



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GABRIEL GONÇALVES FABIÁN

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA DIDÁTICA VOLTADA AO ESTUDO DE
SISTEMAS PNEUMÁTICOS

FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL

2017

GABRIEL GONÇALVES FABIÁN

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA DIDÁTICA VOLTADA AO ESTUDO DE SISTEMAS
PNEUMÁTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F117d Fabián, Gabriel Gonçalves.
Desenvolvimento de bancada didática voltada ao estudo de Sistemas pneumáticos / Gabriel Gonçalves Fabián. – 2017.
75 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.
1. Bancadas didáticas. 2. Sistemas pneumáticos. 3. Pneumática. 4. Ensino prático. I. Título.
CDD 620.1
-

GABRIEL GONÇALVES FABIÁN

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA DIDÁTICA VOLTADA AO ESTUDO DE SISTEMAS
PNEUMÁTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 15 / 12 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Pierre Maurice Christophe Lamary
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

À minha família, meus pais Héctor e Dulce, e meus irmãos, Anna Raquel e Samuel.

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha base.

Ao Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima, pela orientação e apoio.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra e Prof. Dr. Pierre Maurice Christophe Lamary.

Ao colega James Alves pelo tempo e pela colaboração imprescindíveis ao projeto.

Aos colegas Diego Vidal, João Paulo e Davi Lins, pelas críticas, sugestões e apoio recebidos.

Aos amigos Victor Melos, Winner Nobre, João Cairo, Lucas Carlos, Carlos Ítallo, Carlos Eduardo, Larissa Sousa, Lucas Hideki, Ramsés Rodrigues, Victor Cavalcante e Julio Nogueira, companheiros da equipe Siará Baja, e a toda a equipe em si, projeto essencial para minha formação.

A todos os outros colegas que eventualmente colaboraram durante o processo de graduação.

“Meu contato com a natureza e suas leis induziu-me à convicção de que não deveríamos ter preocupações sobre a morte e sobre o futuro, pois tudo está ordenado de maneira tão infinitamente sábia, que o medo sobre o que será de nós após a morte não pode firmar-se no espírito do homem de ciências. Tudo foi provido, e o que será de nós será certamente o melhor”.

(Justus Von Liebig)

RESUMO

Bancadas didáticas constituem ferramentas de ensino eficazes para a formação completa de alunos em diversos níveis. O uso deste meio multissensorial de aprendizagem como complemento à teoria repassada em sala de aula oferece ao aluno a oportunidade de buscar sua autonomia na construção de seu próprio conhecimento. Sendo a área foco deste trabalho o exercício de ensino de pneumática, a bancada aqui desenvolvida busca reproduzir condições em que o estudante se depare com situações nas quais ele pode desenvolver uma análise crítica acerca da teoria aplicada e conseqüentemente resolva problemas de forma rápida e eficiente. Eficiência é a palavra chave no mercado profissional de um engenheiro. As empresas buscam cada vez mais profissionais mais capacitados para diversas áreas de atuação. Com o advento da automação esta exigência se tornou ainda maior. Nestes sistemas de automação, a pneumática é amplamente aplicada para a execução de trabalhos diversos desde movimento de produtos em linhas de produção até o uso de grandes pistões em processos de fabricação. Este ponto deixa clara a real importância de um ensino completo que aborde sistemas pneumáticos para que o aluno, quando finalizar sua graduação, possa sair preparado para oferecer soluções.

Palavras-chave: Bancadas didáticas. Sistemas pneumáticos. Ensino prático. Pneumática.

ABSTRACT

Didactic workbenches are effective teaching tools for the complete training of students at various levels. The use of this multi-sensory learning resource as a complement to the theory taught in classroom offers to student the opportunity to seek autonomy in the construction of his own knowledge. As the focus area of this work is the teaching process on pneumatics, the bench developed here seeks to reproduce conditions in which the student is faced with situations he can develop a critical analysis about applied theory and consequently solve problems quickly and efficiently. Efficiency is the key word in the engineering professional environment. Companies are increasingly seeking more qualified professionals for different areas. With the advent of automation this requirement has become even greater. In these automation systems, pneumatics is widely applied for the execution of various processes from product transport on production lines to the use of large pistons in manufacturing processes. This point makes clear the real importance of a complete teaching focused on pneumatic systems so that the student, when he finishes his graduation, can be prepared to offer solutions.

Keywords: Didactic Workbenches. Pneumatic Systems. Practical Teaching. Pneumatics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O laboratório de Liebig em Giessen, conforme a gravura de Wilhelm Trautschold (1815-1877).	6
Figura 2 - Efeito combinado das três variáveis físicas: Pressão, volume e temperatura.	11
Figura 3 - Aplicação do princípio de Pascal para transmissão e multiplicação de forças.	12
Figura 4 - Diagrama da organização operacional de um sistema de automação.	13
Figura 5 - Máquina de moldagem por injeção plástica com controle pneumático.	14
Figura 6 - Planta automotiva.	14
Figura 7 - Esquema de aplicação de rede pneumática em circuito fechado de modo a equalizar as pressões.	14
Figura 8 - Sistema pneumático genérico.	15
Figura 9 - Tipos de compressores e sua simbologia pneumática.	16
Figura 10 - Compressores de pistão, de parafuso e centrífugos e suas vazões de trabalho.	16
Figura 11 - Diagrama que representa a organização dos elementos de uma válvula de retenção.	20
Figura 12 - Diagrama de válvula alternadora.	21
Figura 13 - Válvula de simultaneidade.	21
Figura 14 - Válvula de controle de fluxo variável bidirecional.	22
Figura 15 - Válvula reguladora de fluxo unidirecional.	22
Figura 16 - Componentes de um atuador linear.	24
Figura 17 - Diagrama de um cilindro de simples ação com retorno por mola.	24
Figura 18 - Diagrama de um cilindro de dupla ação.	25
Figura 19 - Cilindro rotativo.	26
Figura 20 - Cilindro de aleta giratória.	26
Figura 21 - Motores de pistão radial e axial.	27
Figura 22 - Motor de palhetas.	27
Figura 23 - Cilindro de dupla ação com êmbolo magnético.	28
Figura 24 - Cilindro de dupla ação com amortecimento regulável.	28
Figura 25 - Válvula reguladora de fluxo unidirecional.	28
Figura 26 - Válvula de escape rápido.	28
Figura 27 - Tipos de válvulas direcionais.	29
Figura 28 - Tipos de acionamentos manuais, mecânicos, pneumáticos e elétricos.	30

Figura 29 - Circuito com duplo piloto positivo.....	30
Figura 30 - Circuito para movimentar um cilindro com avanço lento e retorno acelerado.....	30
Figura 31 - Bancada de treinamento Parker	33
Figura 32 - Bancada didática Festo	33
Figura 33 - Primeiro design da bancada	34
Figura 34 - Segundo design da bancada	34
Figura 35 - Design final da bancada.....	35
Figura 36 - Imagem renderizada do projeto	36
Figura 37 - Oficina de marcenaria.....	36
Figura 38 – Fabricação das gavetas.....	37
Figura 39 - Montagem das gavetas.....	38
Figura 40 - Montagem final da bancada.....	39
Figura 41 - Exemplo de circuito pneumático	41
Figura 42 - Configuração da bancada didática	42
Figura 43 - Design final.....	43
Figura 44 - Resultado de fabricação	43
Figura 45 - Layout da bancada	53
Figura 46 - Elementos pneumáticos	54
Figura 47 - Princípio de Pascal.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	2
1.2	JUSTIFICATIVA	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1	METODOLOGIA DE ENSINO.....	4
2.1.1	Bancadas Didáticas	6
2.2	PNEUMÁTICA.....	7
2.2.1	Histórico	7
2.2.2	Ar comprimido	8
2.2.3	Propriedades dos gases.....	9
2.2.3.1	Lei dos gases.....	10
2.2.4	Princípio de Pascal	11
2.2.5	Automação e Ação Mecânica	12
2.2.6	Sistemas Pneumáticos	14
2.2.6.1	Produção de Ar Comprimido	15
2.2.6.2	Tratamento de Ar Comprimido	17
2.2.6.3	Armazenamento de Ar Comprimido	18
2.2.6.4	Distribuição de Ar Comprimido.....	18
2.2.6.5	Controle.....	18
2.2.6.6	Atuadores Pneumáticos	23
2.2.6.7	Simbologia.....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	MATERIAIS	31
3.2	MÉTODOS.....	32
3.2.1	Projeto	32
3.2.2	Fabricação	36
3.2.3	Aplicação	39
4	DISCUSSÃO.....	42
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

ANEXO A – SIMBOLOGIA PNEUMÁTICA.....	47
ANEXO B – INVENTÁRIO DE COMPONENTES.....	50
ANEXO C – MANUAL DE PRÁTICAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios encontrados hoje pelas empresas consiste em uma produção eficiente. Esta tão desejada eficiência das linhas de produção pode ser definida por aspectos como o baixo custo do processo e das máquinas, apreciável relação custo-benefício e agilidade dos equipamentos envolvidos no sistema. Com a modernização dos processos, todos esses aspectos puderam ser aprimorados através da mecanização. Em outras palavras, para aumentar a eficiência da produção, dispositivos e sistemas são inseridos na linha produtiva substituindo total ou parcialmente a execução de atividades antes desempenhadas por operários.

Neste contexto, a tecnologia da automação entra em cena assumindo papel protagonista conquistando cada vez mais espaço e expandindo suas capacidades. Inserida neste meio, a tecnologia pneumática apresenta-se como uma solução capaz oferecer inúmeras possibilidades nos mais variados sistemas e procedimentos. A razão disso se deve ao fato de que sistemas pneumáticos possuem componentes otimizados, disponíveis em formatos específicos para as aplicações desejáveis e que possibilitam uma montagem rápida e flexível. Atualmente, estes sistemas podem ser encontrados em prensas, dispositivos de fixação, acionamento de portas, robôs industriais, sistemas de frenagem, entre outros. Atualmente é quase impossível que se encontre um produto manufaturado que não tenha sofrido influência desta tecnologia durante seu processo de fabricação ou distribuição.

Devido à importância da pneumática no campo industrial, infere-se que o projetista, assim como o responsável pela manutenção de tais sistemas, tenha um amplo conhecimento e, conseqüentemente, um domínio sobre a tecnologia pneumática. Define-se pneumática como o ramo da engenharia dedicada ao estudo da aplicação de ar comprimido em técnicas de acionamento e comando. Como um ramo da engenharia e pela sua relevância, este tópico encontra-se na grade curricular de cursos de graduação de diversas instituições, entre eles, a engenharia mecânica.

O ensino da pneumática possui fortes bases teóricas provindas de anos de estudo dos fenômenos envolvidos que constituem a base do conhecimento na área. A questão abordada por este trabalho, no entanto, desenvolve-se a partir da necessidade e da possibilidade da aplicação de

atividades práticas no ensino desta disciplina. Como apresentado anteriormente, faz-se indispensável o domínio da pneumática na aplicação da mesma nos processos de produção para a obtenção de uma maior eficiência. Este domínio deve ser construído pelo profissional desde a sua formação, mostrando-se assim, a real importância do método de ensino na construção do aprendizado. Uma das formas de se atribuir um caráter mais prático ao ensino é representada pelo uso de bancadas didáticas. Estas ferramentas permitem a montagem e simulação de sistemas simplificados de modo a criar a oportunidade de gerar aprendizado e desenvolver um olhar mais crítico sobre determinado assunto. Atualmente existem várias bancadas para ensino da pneumática que atendem as demandas de cursos.

1.1 OBJETIVO

Com o objetivo de possibilitar a realização de atividades práticas no ensino da pneumática, através da disciplina Mecanismos Hidráulicos e Pneumáticos ofertado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, este trabalho parte do desenvolvimento de uma bancada didática voltada para o ensino de sistemas pneumáticos. Através do uso desta bancada, os alunos poderão ter contato com modelos simplificados de sistemas encontrados na indústria e, pela execução de procedimentos, serão motivados a ter um pensamento mais crítico sobre os processos.

1.2 JUSTIFICATIVA

No ensino da grande maioria dos cursos de graduação, a base do conhecimento está na transmissão dos temas através de fatos, descrição de fenômenos e enunciados de teorias. Focando na área de engenharia, a teoria abordada em todas as disciplinas possui imensurável importância na construção do conhecimento do aluno como futuro profissional, no entanto o estudo de processos aplicados no espaço real de trabalho para qual o estudante está se preparando acaba sendo insuficiente. Muitas vezes não se há espaço para que os alunos percebam os mecanismos dos processos que são abordados, inferindo na percepção crítica e nas análises de causa e efeito, o que acaba limitando a compreensão do conteúdo e de suas reais aplicações.

A fim de complementar e facilitar o aprendizado no percurso estudantil no ensino superior, atividades práticas apresentam-se como um caminho viável e efetivo. Compreende-se que quanto mais próximas às experiências educacionais são dos futuros cenários de trabalho dos

estudantes, mais facilmente o aprendizado se concretizará. O estudante que se depara com problemas e desenvolve soluções em situações práticas na universidade se encontrará apto a solucionar problemas na empresa em que estiver trabalhando.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METODOLOGIA DE ENSINO

Cada vez mais o mercado de trabalho carrega consigo uma demanda por profissionais mais e mais qualificados para atuar em diversas áreas. No campo de engenharia não é diferente. Espera-se que profissionais formados tenham a capacidade de lidar com problemas e encontrar soluções de forma rápida e eficiente. Para atuar neste setor hoje, o indivíduo deve preparar-se em durante um período que varia entre quatro e seis anos, dedicando-se ao aprendizado de disciplinas que por fim resultaram em um título e em um diploma. Esta formação deve se adequar aos padrões nacionais definidos pelo Ministério da Educação que define suas diretrizes.

Segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia:

O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. (Art. 3º, Resolução CNE/CES 11, De 11 De Março De 2002).

Durante o processo de construção de conhecimento dois aspectos podem ser destacados: o aspecto teórico, que pode ser entendido como conhecer e entender o conteúdo ensinado, e o aspecto prático, onde o estudante pode enfrentar problemas que simulam o que acontece de fato.

A literatura teórica expõem conhecimentos provindos de anos de estudo através de afirmações comprovadas e conceitos desenvolvidos. Esta gama de informações apresenta-se como a base do ensino isto porque é a partir delas que o estudante torna-se imerso em conteúdos que o encaminharão a compreender os fenômenos e situações para os quais ele está se preparando. De modo a complementar o aprendizado obtido pela literatura pode-se incluir o ensino prático. Esta atividade prática pode surgir pela própria curiosidade de provar as teorias ou pela real necessidade de compreender os fenômenos. De fato, segundo as próprias Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia:

Deverão também ser estimuladas atividades complementares, tais como trabalhos de iniciação científica, projetos multidisciplinares, visitas teóricas, trabalhos em equipe, desenvolvimento de protótipos, monitorias, participação em empresas juniores e outras atividades empreendedoras. (Art. 5º, Parágrafo 2, Resolução CNE/CES 11, De 11 De Março De 2002).

Seguindo o conceito de Bordenave e Pereira (2008), as atividades educacionais devem seguir critérios de escolha observando as capacidades dos alunos. Os critérios relacionam-se como os objetivos educacionais, com a estrutura do assunto, com as características das atividades e com as etapas do processo do ensino. Tendo em vista estes critérios, espera-se que o aluno detenha capacidades tais quais a capacidade de observar, analisar, teorizar, sintetizar e de ampliar e transferir conteúdo.

Para Bordenave e Pereira (2008), atividades são os veículos usados pelo professor para criar situações e abordar conteúdos que permitem ao aluno viver experiências necessárias para a própria transformação. Todo método de ensino e aprendizagem pode ser usado como instrumento para criar e ampliar atitudes científicas nos estudantes, entretanto existem atividades didáticas que fornecem mais diretamente ao aluno qualidades ligadas ao ser científico. Atividades que aplicam meios multissensoriais no ensino desempenham função de facilitar o reconhecimento e descrição de sistemas e processos, permitir comparação entre situações, relacionar as partes de um todo e servir de análise. Entre elas está a pesquisa e prática laboratorial.

Krasilchik (2004), citado por Andrade e Massabni (2011, p. 840) se refere às aulas práticas como aquelas que permitem aos alunos ter contato direto com os fenômenos, manipulando os materiais e equipamentos e observando organismos, em geral envolvendo a experimentação. Este tipo de atividade tende a motivar a busca pelo envolvimento do aluno no processo crítico do aprendizado. A partir delas, o aluno tende a questionar, observar e explorar os processos levando ao desenvolvimento de novos conhecimentos. As atividades experimentais devem possuir significados reais, provocando a elaboração e construção pessoal de ideias, a fim de que seja utilizado para interpretação e construção de outros conceitos.

O uso de laboratórios e procedimentos práticos voltados ao ensino ganhou destaque com o químico Justus Von Liebig (1803-1873) que, diferente de outros professores, permitia que seus alunos usassem o laboratório para fazerem suas próprias descobertas. Este procedimento ficou conhecido como o modelo de Giessen. Wilhelm Trautschold (1815-1877) retratou esta prática em

desenhos como os da Figura 1. Atualmente cada vez mais se faz necessário a aplicação de práticas experimentais nos cursos de engenharia para a adaptação do graduando às exigências do mercado. Nos institutos de educação, sejam faculdades ou universidades, os laboratórios buscam aproximar os estudantes das ferramentas do engenheiro. Esta aproximação ocorre por vários meios tais quais bancadas didáticas, máquinas, ferramentas e aparelhos metrológicos o que introduz o acadêmico a reais situações que aparecem no dia-a-dia do profissional.

Figura 1 - O laboratório de Liebig em Giessen, conforme a gravura de Wilhelm Trautschold (1815-1877).



Fonte: MAAR, J. H. Justus Von Liebig, 1803-1873. Parte I: Vida, Personalidade, Pensamento. *Quim. Nova*, São Paulo, v. 29, n.5, p. 1129-1137, Oct. 2006.

2.1.1 Bancadas Didáticas

No âmbito da compreensão de processos e sistemas, as práticas no processo do ensino de engenharia focam-se no uso de bancadas didáticas. Estas bancadas são ferramentas que auxiliam a realização de experimentos a partir da possibilidade de montagem e simulação desses sistemas e circuitos. Este processo permite ao aluno um contato direto com seus componentes e partes. Durante o desempenho da prática, o estudante experimenta problemas que podem refletir futuros desafios de sua vida profissional. Depois que finalizar sua formação, para ele, os processos não serão algo inédito, logo, seu rendimento e sua eficiência serão superiores na realização de suas tarefas. Além disso, estas práticas em bancadas dão ao graduando a oportunidade enfrentar situações que exigem sua interação com colegas e com o professor e acabam por desenvolver mais do que o aspecto científico.

Hoje existe um mercado de produção de bancadas voltadas ao ensino de sistemas como hidráulicos e pneumáticos, porém muitas vezes o custo se torna um obstáculo na aquisição deste tipo de instrumento.

Seguindo estas ideias, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma bancada didática onde serão executadas simulações de sistemas a partir da permutação de componentes e que será aplicada no ensino da disciplina de Mecânica dos Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos que faz parte do currículo do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Ceará. Sistemas pneumáticos são amplamente aplicados na automação de processos, sendo assim, sua compreensão é de grande importância na formação dos futuros engenheiros.

2.2 PNEUMÁTICA

2.2.1 Histórico

A etimologia da palavra pneumática nos leva ao grego antigo onde πνευματικός (pneumatikós) remete a sopro. Pneumática consiste no estudo da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados aos gases, principalmente ar comprimido, para a aplicação em sistemas para transmissão de energia. Mecanismos pneumáticos são os sistemas que utilizam as propriedades do ar comprimido para finalidades de acionamento e comando de operações em processos diversos. Através desses sistemas, pode-se realizar um gama muito grande ações que exigem precisão e força. Além disso, procedimentos podem ser executados de forma repetitiva e eficiente a um baixo custo.

O uso do ar comprimido pelo homem remete ao velho testamento onde se encontram relatos de operações executadas com o emprego de ar na fundição de diversos metais como ferro e chumbo. Também há relatos de que a cerca de 2000 anos empregava-se máquinas pneumáticas que produziam energia através de pistões e êmbolos de madeira. Energia também era obtida pela dilatação do ar aquecido e pela força do vento.

Por volta do século III a.C. Ctesibios fundou em Alexandria a Escola de Mecânicos que se tornou precursora na técnica de compressão de ar e na construção de máquinas impulsionadas por esta fonte de energia. No mesmo período Hero também contribuiu no estudo das possibilidades do uso de ar em diversas aplicações. Contudo, a carência de recursos e incentivo

impediu que a maior parte desses projetos fossem postos em prática, uma vez que elas não eram voltadas para uso militar ou a serviço dos regentes.

Depois de um grande período de estagnação, o estudo de pneumática voltou a se desenvolver por volta dos séculos XVI e XVII graças a pesquisas a cerca dos fenômenos dos gases realizadas por cientistas como Galileu e Robert Boyle, entre outros. Mais tarde, Torricelli criou o barômetro como instrumento de medição de pressão. A partir da invenção da máquina a vapor por Watt, no decorrer dos séculos foram desenvolvidas varias formas de aplicação do ar através de aprimoramento e descobertas.

Através da retrospectiva histórica, infere-se o fascínio do homem pelas capacidades e possibilidades inerentes do uso do ar como fonte de energia. Atualmente, na era pós-moderna, o uso de ar comprimido está intimamente ligado à automação de processos. Através de sua aplicação na indústria atingem-se altos níveis de eficiência na cadeia produtiva com economia de tempo, mínimo esforço e com segurança.

2.2.2 Ar comprimido

Já foi mostrado como o ar tornou-se importante para o desenvolvimento dos processos de produção. A partir deste ponto serão apresentadas as razões pelas quais o uso de ar comprimido é tão disseminado na indústria, além de uma breve explicação de suas propriedades que, por sua vez, permitem que, através da compressão, o ar possa ser aplicado como força de trabalho em diversos sistemas.

Ar comprimido constitui por si só, uma importante forma de energia aplicável em inúmeras situações. Ele é resultado da compressão do ar ambiente que consiste de uma mistura de aproximadamente 79% de nitrogênio, cerca de 20,5% de oxigênio e outros gases. Sua fonte é abundante e de fácil obtenção.

A energia elétrica normalmente chega a custar bem menos que a energia pneumática na realização de simples aplicações, sendo que a pneumática pode custar de sete a dez vezes mais, porém esse valor se compensa devido à segurança e flexibilidade oferecida. Atualmente, cerca de cinco bilhões de toneladas de ar são comprimidas por ano em todo o planeta gerando um consumo de 400 bilhões de kWh a um custo de 20 bilhões de dólares (Manual de Ar

Comprimido, Metalplan Airpower, 4ª edição, 2010). Estes números reforçam o valor que é dado para a aplicabilidade do ar em diversos setores através de circuitos pneumáticos.

Ar comprimido é uma forma de energia que assegura segurança e respeito às questões ambientais em suas aplicações. A compressão de ar resulta em uma energia que pode se expandir muito rapidamente resultando em uma ameaça ao operador que esteja próximo, em caso de algum incidente, contudo são poucos os acidentes envolvendo o uso de ar comprimido, sendo sempre observadas as legislações de segurança e as boas práticas. Também observando a regulamentação, um sistema bem planejado e eficiente gera muito pouca contaminação ao ambiente.

Sistemas pneumáticos utilizam fluido pressurizado como elemento de transmissão de energia, sendo o ar atmosférico o fluido mais comumente aplicado nos circuitos. São definidos como *fluidos* as substâncias que possuem a capacidade de se deformarem continuamente quando sob influência de uma força tangencial ou cisalhante. Esta característica dá ao fluido a capacidade de escoar e a propriedade de não oferecer resistência à deformação. Entre os fluidos, o ar atmosférico está no grupo dos gases.

2.2.3 Propriedades dos gases

As principais propriedades dos gases são quatro: *compressibilidade*, *elasticidade*, *difusibilidade* e *expansibilidade*. O ar comprimido, assim como qualquer fluido pode ser inserido em um recipiente assumindo assim sua forma e volume. Devido às características citadas anteriormente, o ar condito em um recipiente pode ser submetido a uma força externa que, por sua vez, tende a reduzir seu volume inicial. Esta propriedade é denominada *compressibilidade*. A força contrária que este fluido sob compressão exerce e que permite que ele volte ao seu volume inicial quando a primeira força, responsável pela compressão, é extinta está relacionada com outra propriedade conhecida como *elasticidade*. *Difusibilidade* refere-se à capacidade que o ar possui de misturar-se homogeneamente em um volume gasoso que não esteja saturado. *Expansibilidade* é definida como a característica que o ar possui de ocupar toda e completamente o volume de qualquer recipiente. Estas propriedades são essenciais na compreensão do comportamento do ar usado em sistemas pneumáticos.

2.2.3.1 Lei dos gases

Para uma melhor compreensão das leis e das condições do ar, faz-se necessária a consideração das leis físicas que regem os gases. É importante ressaltar que as três leis dos gases mostram o comportamento dos gases definidos como gases perfeitos ou ideais. Este modelo de gás ideal trata de uma idealização para facilitar o estudo sobre os gases, uma vez que a maioria dos gases comporta-se como gás ideal.

A *Lei de Boyle-Mariotte* propõe uma transformação isotérmica para os gases. Em outras palavras, a uma temperatura constante, o produto da pressão e volume de um gás ideal é constante. A equação para este enunciado é definida por:

$$P \cdot V = k_1 \quad (1)$$

Onde P é a pressão, V refere-se ao volume do gás e k_1 representa um valor constante para a equação.

O físico Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1850) propôs uma transformação isobárica para os gases ideais, ou seja, mantida a pressão em um valor constante, a temperatura e o volume do sistema tornam-se diretamente proporcional. Segundo a *Lei de Gay-Lussac*:

$$V = k_2 \cdot T \quad (2)$$

Na equação, V representa o volume do gás, k_2 é a constante isobárica da pressão e T refere-se à temperatura.

A *Lei de Charles* enuncia a transformação isocórica ou isométrica dos gases. Neste caso, mantendo-se constante o volume do sistema, a pressão e a temperatura tornam-se diretamente proporcionais. Na forma equacionada tem-se:

$$P = k_3 \cdot T \quad (3)$$

Aqui, P representa a pressão, k_3 é a constante volumétrica e T , a temperatura.

As leis de Boyle, Gay-Lussac e Charles fazem referência às transformações de estado nas quais uma das variáveis físicas mantem-se constante. Contudo, essas transformações costumam

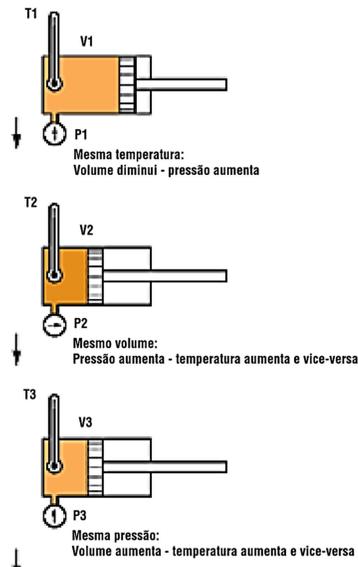
relacionar todas as variáveis. Para isso tem-se a relação generalizada definida pela *Lei Geral dos Gases*:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (4)$$

A partir desta equação tem-se que, se qualquer uma das variáveis sofrer alguma alteração, o efeito desta alteração nas outras variáveis poderá ser previsto. Na Figura 2 abaixo está ilustrado o efeito combinado entre as três variáveis físicas.

Figura 2 - Efeito combinado das três variáveis físicas: Pressão, volume e temperatura.

• Efeito combinado entre as três variáveis físicas



Fonte: PARKER TRAINING. Tecnologia Pneumática Industrial: Apostila M1001-1 BR.

2.2.4 Princípio de Pascal

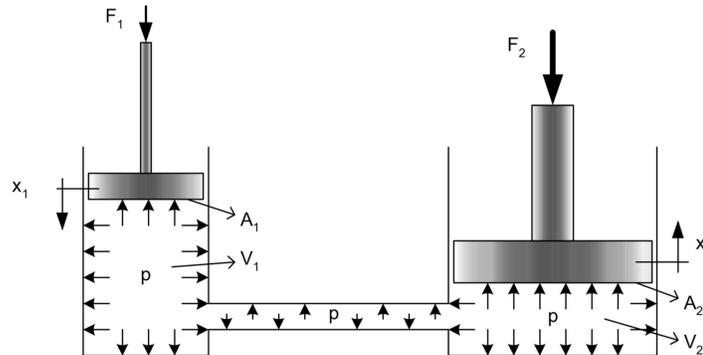
Na prática, sistemas pneumáticos funcionam a partir das leis que regem o comportamento de fluidos em confinamento. A essência da transmissão de energia através dos gases baseia-se em um princípio apresentado pelo físico e matemático francês Blaise Pascal (1623 – 1662). O princípio de Pascal estabelece que uma força externa quando aplicada sobre certa área de um fluido em confinamento irá gerar uma pressão que conseqüentemente será transmitida integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente. Este princípio de distribuição de pressão pode ser estendido para demonstrar a transmissão e multiplicação de força como mostrado na Figura 3, onde uma força de menor magnitude consegue ser capaz de suportar

uma força de maior magnitude a partir de uma relação de áreas. Esta relação pode ser expressa partindo da equação que relaciona pressão, força e área:

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (5)$$

Onde P é a pressão no sistema, F_1 e F_2 são as cargas externas. A_1 e A_2 são as áreas dos êmbolos.

Figura 3 - Aplicação do princípio de Pascal para transmissão e multiplicação de forças.



Fonte: DE NEGRI, V. J. *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle: Parte I – Princípios Gerais da Hidráulica e Pneumática*. Florianópolis, 2001.

Seguindo a ideia do circuito apresentado acima, os sistemas pneumáticos apresentam um maior número de elementos desde compressores que transferem ar comprimido através das válvulas e tubulações até atuadores que exercerão a função designada.

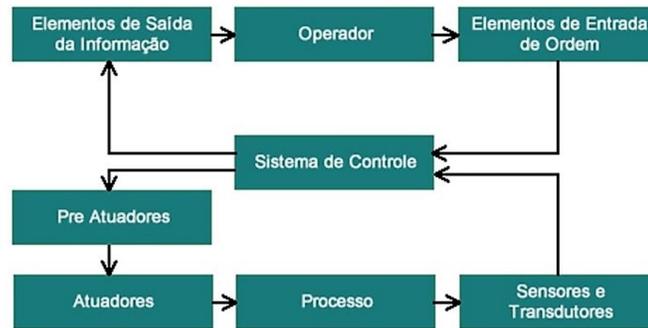
2.2.5 Automação e Ação Mecânica

O principal objetivo da automação é criar um sistema capaz de produzir o melhor produto no menor tempo e a baixo custo e assim, aumentar a produtividade mantendo a qualidade. Pela simplificação dos processos, podem-se produzir componentes mais complexos melhorando as condições de trabalho e de segurança do operador. Essa simplificação dos processos ganha cada vez mais espaço nos segmentos de transporte, produção e geração de energia e, principalmente na produção industrial.

Normalmente um sistema automatizado consiste de duas partes: a parte de controle e a parte operacional. A parte de controle relaciona-se com a programação do sistema através de computadores industriais que processam as informações e as ações de controle dos procedimentos. Também existem controles que não passam por computador e são realizados pelo

contato direto do operador com a máquina. A parte operacional atua diretamente no processo, consiste dos dispositivos de pré-atuação e de atuação. Na Figura 4 a seguir apresenta-se um esquema comum de organização de um sistema de automação. Para a temática deste trabalho, focamos na parte operacional.

Figura 4 - Diagrama da organização operacional de um sistema de automação.



Fonte: <https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/> acesso em 22/06/2017.

Os processos e, mais especificamente as máquinas, são projetadas para realizar atividades que podem incluir movimentos lineares ou rotativos. Procedimentos como o transporte de produtos, conformação de peças, e empacotamento mercadorias são comuns em linhas de produção e estão fortemente ligadas a automação. Todas estas ações podem ser realizadas por atuadores que, por sua vez, podem ser ativados pelo uso da tecnologia de ar comprimido.

Atuadores pneumáticos são aplicados em operações que envolvem grandes cargas na ordem de até uma tonelada e onde há a necessidade de movimentos em duas posições limitadas, como em elevadores de esteiras transportadoras, ou quando se requer alta rotação como no caso de esmerilhadoras pneumáticas. Há também a possibilidade de encontrar sistemas que englobem estas duas aplicações como em robôs industriais. Exemplos de aplicações são encontrados nas Figuras 5 e 6 seguintes.

Figura 5 - Máquina de moldagem por injeção plástica com controle pneumático.



Fonte: COMPRESSED AIR & GAS INSTITUTE (CAGI). *Compressed Air & Gas Handbook. Seventh Edition. Cleveland, 2016.*

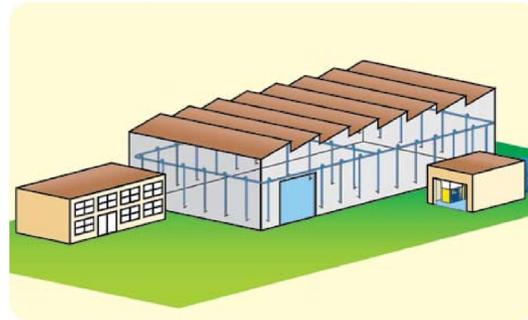
Figura 6 - Planta automotiva.



Planta automotiva, onde corretores de porca robóticos, pistolas de impacto e atuadores pneumáticos permitem desempenho de trabalho eficiente e de alta qualidade sem fadiga humana. Fonte: COMPRESSED AIR & GAS INSTITUTE (CAGI). *Compressed Air & Gas Handbook. Seventh Edition. Cleveland, 2016.*

Na indústria, para que o ar comprimido chegue até ao ponto de uso, ele normalmente circula por uma rede de tubos devidamente dimensionados que circula por toda a planta industrial, como mostrado na Figura 7. Esta rede assegura que a energia transmitida pelo ar seja controlada por válvulas e chegue ao ponto de trabalho acionando os atuadores. A bancada aqui desenvolvida tem como objetivo proporcionar a simulação de uma rede de transmissão e controle de um sistema pneumático através da permutação de elementos como válvulas direcionais e atuadores lineares para a construção de circuitos como os encontrados comumente na indústria.

Figura 7 - Esquema de aplicação de rede pneumática em circuito fechado de modo a equalizar as pressões.



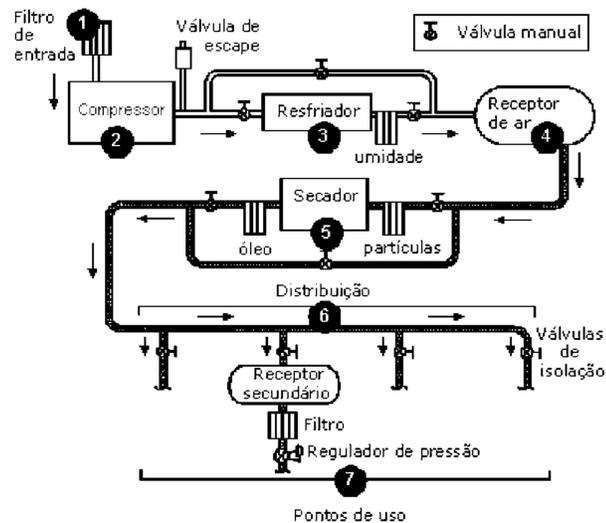
Fonte: METALPLAN AIRPOWER. *Manual de Ar Comprimido. 4o Edição. 2010.*

2.2.6 Sistemas Pneumáticos

Sistemas pneumáticos apresentam-se em diversas configurações e constituído de diferentes elementos em função de sua aplicação. Alguns dos componentes são essenciais para o

eficiente funcionamento do circuito tais quais filtros, enquanto outros são intermediários e controlam a vazão e direção, como válvulas. Já outros permitem a ação propriamente dita da máquina em que a energia pneumática age: os atuadores. Em geral tais sistemas são abertos, ou seja, não há retorno do fluido, uma vez que este é basicamente o ar atmosférico e o custo não se justificaria. Na Figura 8 a seguir apresenta-se um circuito pneumático genérico.

Figura 8 - Sistema pneumático genérico.



Fonte: AGOSTINI, N. *Sistemas Pneumáticos Industriais*. Rio do Sul, 2008.

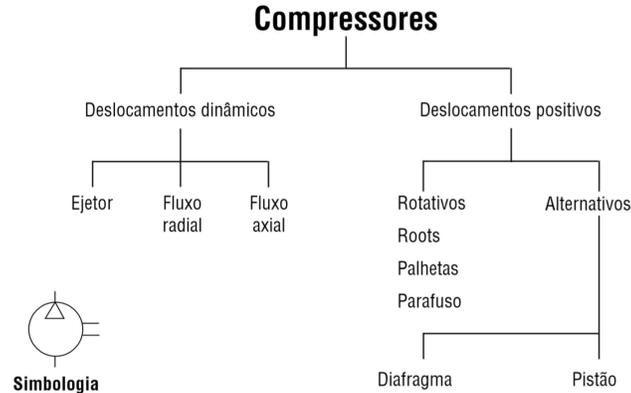
2.2.6.1 Produção de Ar Comprimido

O componente de sistema ligado à geração de ar comprimido é o compressor. Compressores são máquinas destinadas a fazer a transformação da energia mecânica em energia pneumática através da elevação da pressão de certo volume de ar para um valor determinado exigido para a realização de certa atividade. Sua eficiência é função da capacidade de ar que ele pode comprimir com o mínimo de esforço e é de suma importância no projeto.

Os compressores podem ser classificados segundo seus princípios de trabalho como compressores de deslocamento positivo e de deslocamento dinâmico. Deslocamento positivo refere-se aos compressores onde o ar é admitido em uma câmara sendo então comprimido e liberado quando atinge certa pressão. Por sua vez, compressores de deslocamento dinâmico convertem energia cinética em energia de pressão através do contato do ar admitido com

impulsores em alta velocidade. A divisão dos compressores ainda prossegue para tipos de compressores mais específicos como mostrado na Figura 9 abaixo.

Figura 9 - Tipos de compressores e sua simbologia pneumática.



Fonte: PARKER TRAINING. *Tecnologia Pneumática Industrial: Apostila M1001-1 BR.*

Na indústria, os compressores mais encontrados caem em dois grupos: compressores alternativos, no caso os de pistão, e compressores rotativos principalmente os de parafuso e centrífugo. A seleção do compressor mais adequado para uma determinada aplicação é função da vazão, pressão e nível de pureza exigida por tal aplicação. Na Figura 10 exibe-se os tipos de compressores em função de suas vazões aplicadas.

Figura 10 - Compressores de pistão, de parafuso e centrífugos e suas vazões de trabalho.



Os compressores de pistão são comumente aplicados para pequenas vazões (até 100 m³/h).



Os compressores de parafuso são mais indicados para pequenas, médias e grandes vazões (50 m³/h a 2000 m³/h).



Os compressores centrífugos são mais indicados para vazões grandes e muito grandes (> 1500 m³/h).

Fonte: METALPLAN AIRPOWER. *Manual de Ar Comprimido. 4o Edição. 2010.*

Para usos gerais, compressores devem seguir parâmetros ligados ao seu posicionamento para que sua eficiência e a qualidade do ar gerada sejam otimizadas. A captação de ar deve estar distante de qualquer forma de contaminação e calor. O ideal é que sejam posicionados em uma sala isolada cuja entrada seja permitida apenas para pessoal autorizado e devidamente protegido.

2.2.6.2 Tratamento de Ar Comprimido

O ar ambiente não se encontra em estado adequado para ser diretamente absorvido e usado em sistemas por conter impurezas. A contaminação do ar é resultado da presença de substâncias tais quais partículas sólidas como poeira, vapor de água, vapores hidrocarbonetos entre outros. Durante o próprio processo de compressão e distribuição, o ar contamina-se com óleo ou partículas provenientes de desgastes de máquinas e tubulações.

A pressão e a temperatura do ar comprimido potencializam os efeitos prejudiciais de todos esses contaminantes. A gradual redução gradual da temperatura do ar comprimido ao longo da tubulação provoca a condensação de alguns contaminantes antes em fase gasosa. Ao condensarem, esses contaminantes se encontrarão no fluxo de ar comprimido sob diferentes formas, desde um conjunto amorfo, no caso de um filete condensado depositado nas partes inferiores da tubulação e dos equipamentos, passando por pequenas gotas e chegando até aerossóis microscópicos dispersos entre as moléculas do ar comprimido. Estas substâncias provocam danos à integridade do sistema e, posteriormente, à devida aplicação para a qual o ar foi preparado.

A fim de evitar ao máximo a presença dessas substâncias no circuito, aplicam-se dispositivos que filtram e eliminam esses contaminantes. Esses componentes são os *filtros*, *resfriadores* e *secadores*.

Em um sistema de ar comprimido, filtros podem ser alocados em três posições: Antes do secador, depois do secador e também junto ao ponto de uso. Quando instalado antes do secador, o filtro separa a contaminação sólida e líquida não totalmente eliminada pelo resfriador evitando que estes prejudiquem a eficiência do secador. Já quando o filtro é instalado depois do secador, ele elimina a umidade residual e partículas sólidas sobressalentes. Quando presentes junto ao ponto de uso evitam que contaminantes oriundos da tubulação atinjam a aplicação final. Existe

também um pré-filtro localizado na sucção de ar na entrada do compressor que filtra primordialmente as partículas sólidas maiores.

A função dos resfriadores é reduzir a temperatura do ar que entra de modo a provocar uma condensação dos contaminantes gasosos, especialmente o vapor de água. Este dispositivo possui um purgador por onde o condensado é eliminado sem maiores perdas de ar comprimido.

Secadores eliminam a umidade do ar remanescente através de resfriamento, absorção ou adsorção, dependendo de sua aplicação e relação de custo/benefício.

Os processos de tratamento geralmente envolvem estes dispositivos apresentados, mas pode se tornar mais ou menos sofisticado em função de suas aplicações serem críticas, como em hospitais e laboratórios, ou não, como em serviços industriais simples.

2.2.6.3 Armazenamento de Ar Comprimido

Depois de comprimido, o ar pode seguir o caminho direto para a aplicação ou pode ser armazenado para usos posteriores. Normalmente ele é armazenado e esta armazenagem é feita em um reservatório. Um reservatório deve sempre atender a pressão máxima de trabalho admissível do sistema e sua fabricação e testes deve seguir padrões designados por normas. Faz-se importante a presença de válvula de segurança e manômetro para o controle da pressão.

2.2.6.4 Distribuição de Ar Comprimido

Para aplicações industriais, uma rede pneumática devidamente projetada garante uma boa eficiência desde a geração até o consumo, resultando em um suprimento de ar adequado a um baixo custo. Recomenda-se que estas redes estejam estruturadas em formato de anel fechado de modo a equalizar as pressões. Também, convém construir a rede com certa inclinação no sentido do fluxo e instalar válvulas para captar o condensado, uma vez que a umidade do ar não é completamente eliminada no tratamento.

2.2.6.5 Controle

Durante a circulação do ar, muitas vezes faz-se necessário o controle da vazão, pressão ou da direção do fluxo de ar. Este controle é executado direta ou indiretamente através de *válvulas*.

As válvulas podem ser de controle direcional de 2, 3, 4 ou 5 vias, reguladoras de vazão ou pressão e de bloqueio, com diversos tipos de acionamentos.

Os atuadores das máquinas devem ser alimentados de forma controlada a fim de desenvolverem suas tarefas na linha produtiva. Este controle pode obedecer a uma ordem conveniente através de uma programação ou pode ser efetuado à vontade do operador. Independente disso, as válvulas são aí empregadas para orientar, regular ou bloquear o fluxo e, conseqüentemente controlar os atuadores.

As válvulas encontram-se classificadas nos seguintes grupos: válvulas de controle direcional, válvulas de bloqueio, válvulas de controle de fluxo e válvulas de controle de pressão.

2.2.6.5.1 Válvulas de Controle Direcional

Válvulas de controle direcional influenciam o percurso do fluxo de ar. Elas caracterizam-se pelo número de posições em que podem ser definidas, pelo número de vias pela qual o ar pode passar, pelo tipo de acionamento e pelo tipo de retorno.

As válvulas são representadas em projetos por meio de quadrados que representam as posições possíveis que uma válvula pode assumir. Cada posição possui símbolos internos que representam o caminho e a direção que o fluxo assume quando passa por determinada posição e determinadas vias. Estes termos serão mais bem explicados no tópico de simbologia.

Com relação ao acionamento, dependendo da necessidade, uma válvula pode ser ativada por meio muscular, mecânico, pneumáticos ou elétricos, podendo assumir acionamento direto ou indireto.

Diz-se que uma válvula possui acionamento muscular quando ela necessita que o operador a ative de forma direta a partir de seu contato com um botão ou alavanca, por exemplo. Já quando o acionamento é mecânico a ativação pode ser incorporada a um mecanismo como um rolete ou gatilho. Em acionamentos pneumáticos existe a influencia da própria pressão de trabalho do sistema. No caso de acionamento elétrico, a válvula reage ao um comando elétrico, a um solenoide. Existe também a possibilidade de combinar estes acionamentos.

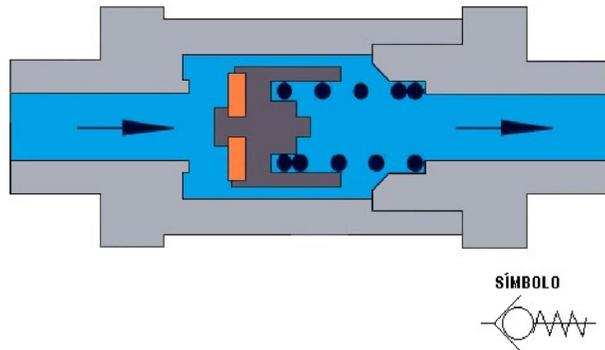
O retorno da válvula para a posição inicial também varia em função da aplicação. Este pode seguir os mesmos parâmetros do tipo de acionamento, como também ser efetuado por mola.

2.2.6.5.2 Válvulas de Bloqueio

Válvulas de bloqueio são dispositivos que auxiliam a retenção ou o controle de fluxo de ar em um sentido ou outro do circuito. Neste contexto estão as válvulas de retenção, as válvulas alternadoras e as válvulas de duas pressões.

Válvulas de retenção funcionam impedindo a passagem do fluxo de ar em uma direção, mas permitindo o fluxo na direção contrária. A própria força do ar pressiona a vedação de modo a fechar o caminho. Na Figura 11 está esquematizado o layout deste tipo de válvula.

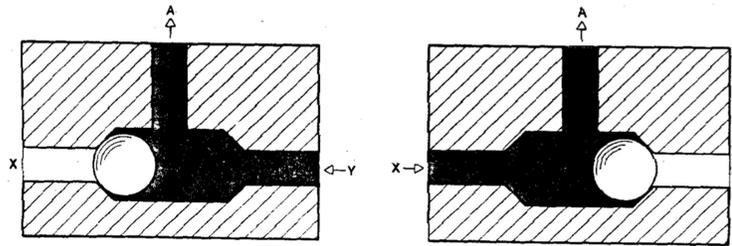
Figura 11 - Diagrama que representa a organização dos elementos de uma válvula de retenção.



Fonte: MARINS, A. *Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos*. Salto, 2009.

Na Figura 12 a seguir está ilustrada uma válvula do tipo alternadora. Estas válvulas denominadas também como válvulas “OU” funcionam como um ponto de três caminhos de modo que quando o ar atravessa uma das entradas, a outra entrada oposta se fecha devido à pressão, permitindo o fluxo de ar pela saída. No caso de emissão de ar comprimido pelas duas entradas, o fluxo se mantém para a maior pressão ou, se as pressões forem iguais, para a pressão que primeiro acionar a vedação. Esta válvula permite a emissão de fluxo por uma ou por outra fonte cujos acionamentos originam-se de lugares diferentes.

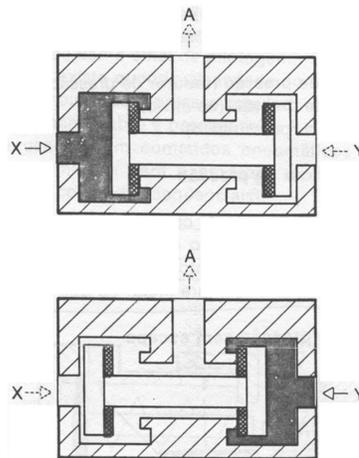
Figura 12 - Diagrama de válvula alternadora.



Fonte: SILVA, E. C. N. PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

Da mesma maneira que na válvula alternadora, as válvulas de simultaneidade ou válvulas “E” possuem três orifícios, sendo duas entradas e uma saída. Estas, por sua vez, permitem a passagem de ar para o destino a partir da ativação simultânea de válvulas direcionais que a alimentam. Neste caso, a corrente de menor pressão se bloqueará de modo a permitir que a outra passe até a saída. A estrutura desta válvula segue o esquema da Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Válvula de simultaneidade.



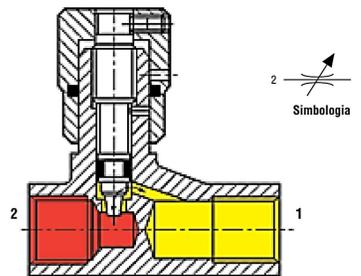
Fonte: SILVA, E. C. N. PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

2.2.6.5.3 Válvulas de Controle de Fluxo

Em alguns casos faz-se necessária a diminuição da quantidade de ar que atravessa uma tubulação seja para temporização ou para controle de velocidade de atuação. Nestes casos pode se empregar as chamadas válvulas de controle de fluxo podendo estas serem fixas ou variáveis e unidirecionais ou bidirecionais.

Observando a Figura 14 abaixo nota-se que a quantidade de ar que entra por 1 ou por 2 pode ser ajustada pelo movimento do parafuso cônico quanto este é afastado ou aproximado do batente. Em muitos casos é necessário que haja este tipo de ajuste regulando assim um maior ou menor fluxo de passagem. Este controle é obtido pelas válvulas de fluxo variável bidirecional.

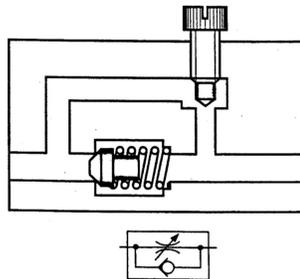
Figura 14 - Válvula de controle de fluxo variável bidirecional.



Fonte: PARKER TRAINING. Tecnologia Pneumática Industrial: Apostila M1001-1 BR. Jacarei, 2007.

Válvulas de controle de fluxo unidirecional, como a mostrada na Figura 15, possuem duas condições distintas de funcionamento em relação ao fluxo de ar. Sendo de fluxo controlado, em um sentido pré-fixado, o ar é bloqueado pela válvula de retenção sendo obrigado a passar pelo ajuste fixo de forma restringida. Já se for de fluxo livre, no sentido oposto ao exposto anteriormente, o ar possui livre vazão pela válvula de retenção, embora uma pequena quantidade passe através do dispositivo em favor do fluxo.

Figura 15 - Válvula reguladora de fluxo unidirecional.



Fonte: SILVA, E. C. N. PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

2.2.6.5.4 Válvulas de Controle de Pressão

As válvulas controladoras de pressão têm por finalidade influenciar ou serem influenciadas pela pressão para executarem ajustes no sistema. Entre elas encontra-se a válvula de alívio que limita a pressão de um reservatório, compressor ou linha de pressão, evitando sua

elevação além do ponto de segurança, através do acionamento de uma mola calibrada que libera o fluxo em determinada pressão. Outros tipos de controle de pressão estão disponíveis de acordo com a necessidade do usuário.

2.2.6.6 Atuadores Pneumáticos

Primeiramente foi visto como o ar é preparado e como ele, comprimido, é transmitido e controlado através da linha pneumática. A partir de aqui será apresentada a forma como esta energia é aplicada na execução de um trabalho.

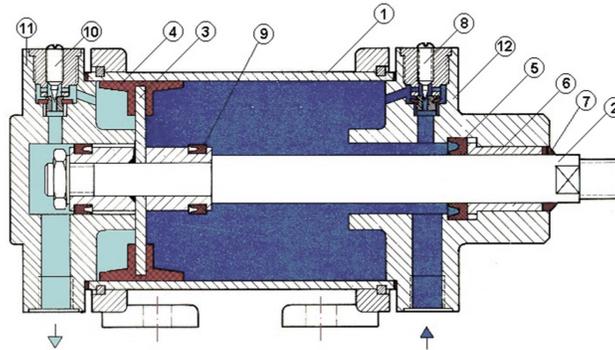
Para o desempenho de alguma tarefa, a partir do uso de ar comprimido, torna-se necessário o conhecimento das forças e/ou dos torques envolvidos para que se obtenha o efeito final desejado. Para tanto são aplicados dispositivos que possuem a função de converter a energia pneumática em trabalho que é transmitido de forma mecânica à carga. Estes conversores de energia são denominados atuadores que são divididos em dois grupos que produzem movimentos lineares ou rotativos/oscilantes.

2.2.6.6.1 Atuadores Lineares

Atuadores lineares convertem a pressão do ar em uma força que atua um movimento linear ou angular. Na prática, são representados por cilindros pneumáticos, cuja estrutura básica segue o esquema apresentado na Figura 16 a seguir. Atualmente existem diversas configurações de cilindros cuja seleção depende da natureza dos movimentos, velocidade, força e curso requerido. Para o dimensionamento dos cilindros leva-se mais em consideração a força, e conseqüentemente a pressão de trabalho, e o curso. Estes fatores são relacionados para a definição das áreas através da equação para o cálculo da força teórica apresentada na equação 6, onde F representa a força, P , a pressão de ar. O termo A representa a área onde a pressão atua, seja ela a área do cilindro ou a área da coroa, ou seja, a área do cilindro subtraída da área da haste. Entre as configurações disponíveis, as que mais se destacam são os cilindros de simples e de dupla ação.

$$F = P \cdot A \quad (6)$$

Figura 16 - Componentes de um atuador linear.



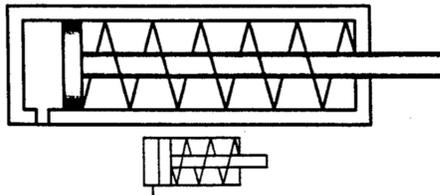
LEGENDA	
1	Camisa
2	Haste
3	Êmbolo
4	Vedação do êmbolo
5	Vedação da haste
6	Bucha de guia da haste
7	Anel raspador (limpador da haste)
8	Regulagem do amortecimento dianteiro
9	Vedação do amortecimento
10	Regulagem do amortecimento traseiro
11	Tampa traseira
12	Tampa dianteira

Fonte: MARINS, A. *Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos*. Salto, 2009.

Cilindros de Simples Ação

Eles recebem esta denominação por conduzirem trabalho derivado do ar comprimido em apenas um sentido de movimento seja ele para avanço ou retorno. Sua estrutura, como ilustrado abaixo na Figura 17, possui um único orifício por onde o ar flui passa dentro da câmara acionando o êmbolo. Uma vez acionado, seu retorno a posição inicial é efetuado por ação de mola ou força externa.

Figura 17 - Diagrama de um cilindro de simples ação com retorno por mola.



Fonte: MARINS, A. *Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos*. Salto, 2009.

Devido ao próprio princípio de funcionamento, estes cilindros tem curso e velocidade de retorno limitados pela mola aplicada. Em caso de o retorno ser executado por força externa ou gravidade, o cilindro limita-se à posição vertical.

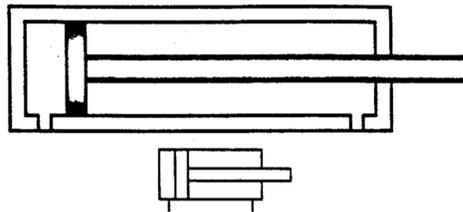
Os cilindros de simples ação com retorno por mola são encontrados em aplicações de fixação, marcação, expulsão de peças, rotulação e alimentações de dispositivos. Já cilindros de

simples ação com avanço por mola e retorno por ar são empregados em alguns sistemas de frenagem e segurança.

Cilindros de Dupla Ação

Cilindros de dupla ação aplicam ar comprimido para produzir movimento em ambos os sentidos, avanço e retorno, de um cilindro, como mostrado no esquema da Figura 18. Caracterizam-se então pelo fato de produzirem trabalho tanto no avanço quanto no retorno. Neles, o ar comprimido é admitido e liberado alternadamente por dois orifícios presentes nos cabeçotes resultando nos movimentos de ida e de volta.

Figura 18 - Diagrama de um cilindro de dupla ação.



Fonte: MARINS, A. Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos. Salto, 2009.

Apesar de o ar comprimido exercer pressão em ambos os lados do êmbolo há uma grande diferença quanto ao esforço desenvolvido uma vez que as áreas de atuação são distintas; a área da câmara traseira é maior que a área da câmara dianteira devido à presença da haste.

Devido às forças de acionamento ser em ambos os sentidos, deve-se atentar aos esforços de flexão, e conseqüentemente ao comprimento do curso que é limitado. Este tipo de cilindro é o mais utilizado possuindo aplicações em prensas e fixadores.

2.2.6.6.2 Atuadores Rotativos

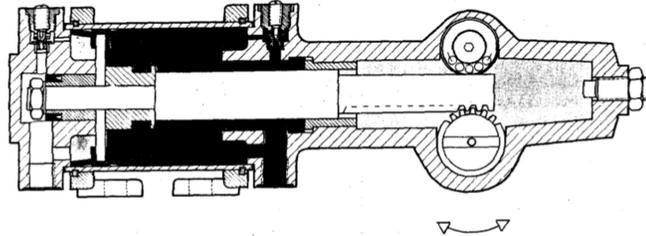
Atuadores pneumáticos rotativos são dispositivos que convertem a pressão do ar em um movimento rotativo, seja ela por transformação do movimento linear de cilindros ou por própria atuação do ar comprimido.

Atuadores Oscilantes

Na Figura 19 está representado um atuador que converte o movimento linear através da aplicação de um sistema pinhão-cremalheira. Já na Figura 20 seguinte ilustra-se outro tipo de

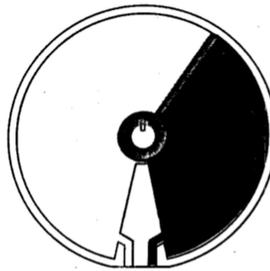
cilindro chamado cilindro de aleta giratória. Estes dispositivos tem movimento angular limitado e são aplicados para girar peças, curvar tubos e acionar válvulas.

Figura 19 - Cilindro rotativo.



Fonte: MARINS, A. *Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos*. Salto, 2009.

Figura 20 - Cilindro de aleta giratória.



Fonte: MARINS, A. *Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos*. Salto, 2009.

Motores Pneumáticos

Entre os atuadores rotativos temos também os motores pneumáticos. Eles se caracterizam por possuírem movimento angular ilimitado possuindo grandes aplicações na indústria moderna em tarefas relacionadas a parafusar, furar, lixar, polir e rebitar.

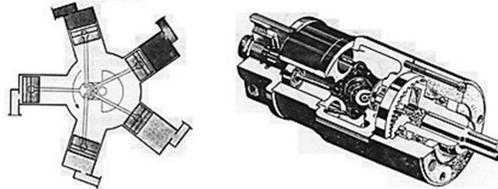
Motores pneumáticos possuem dois tipos mais usados: motores de pistão e motores de palheta.

Motores de Pistão

Motores de pistão são subdivididos em dois grupos, ilustrados na Figura 21: motores de pistão radial e de pistão axial. Quando acionados por pistões radiais, os êmbolos rotacionam o eixo através da biela. A potência dos motores depende da pressão de entrada, quantidade de

pistões e das dimensões de área e curso dos mesmos. Motores de pistão axial atuam de forma similar. Um disco oscilante transforma o movimento de cilindros axialmente posicionados no movimento giratório do eixo. Segundo Agostini (2008), a faixa de potência, em pressão normal, varia entre 1.5 e 19 kW.

Figura 21 - Motores de pistao radial e axial.

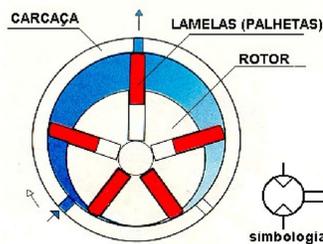


Fonte: Autor.

Motores de Palheta

Nestes motores, o trabalho mecânico é obtido a partir da expansão de ar nas regiões entre as palhetas. Como ilustrado na Figura 22 a seguir. Com este sistema é possível obter potencia, em pressão normal, na faixa de 0.1 a 17 kW, segundo Silva (2002).

Figura 22 - Motor de palhetas.

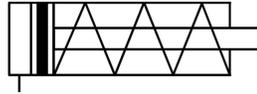


Fonte: MARINS, A. Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos. Salto, 2009.

2.2.6.7 Simbologia

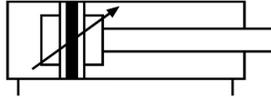
De modo a criar um padrão mundial para o desenvolvimento de projetos pneumáticos foram criados símbolos para representar os componentes desses sistemas. A simbologia usada é definida pelas normas ABNT NBR 8897, DIN 24300 e ISO 1219. Alguns exemplos são mostrados nas Figuras 23, 24, 25 e 26 a seguir.

Figura 23 - Cilindro de dupla ação com êmbolo magnético.



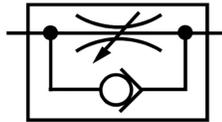
Fonte: FESTO DIDATIC. Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. São Paulo.

Figura 24 - Cilindro de dupla ação com amortecimento regulável.



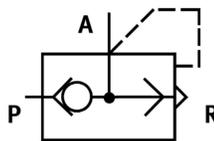
Fonte: FESTO DIDATIC. Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. São Paulo.

Figura 25 - Válvula reguladora de fluxo unidirecional.



Fonte: FESTO DIDATIC. Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. São Paulo.

Figura 26 - Válvula de escape rápido.

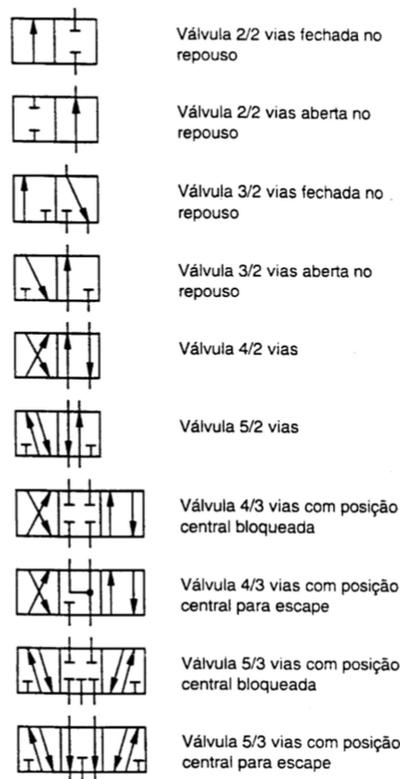


Fonte: FESTO DIDATIC. Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. São Paulo.

As válvulas direcionais possuem várias configurações devido às posições, vias, acionamentos e retornos, sendo a representação simbólica essencial para que haja praticidade na elaboração e leitura de um diagrama.

Como dito anteriormente, para representação usual temos que as válvulas são representadas por quadrados onde o número de quadrados define o número de posições possíveis para aquele dispositivo. As setas presentes nos quadrados indicam o sentido do fluxo. Bloqueios são representados por um pequeno T. Conexões ficam na parte externa do quadrado representando o número de vias pelas quais o fluxo entra e sai. A combinação destes fatores representa a válvula direcional e devem estar perfeitamente definidos assim como a posição normal inicial da válvula. A nomenclatura das destas válvulas obedece estes termos segundo a regra m/n, onde m refere-se ao número de vias e n às posições. Na Figura 27 abaixo temos exemplos de válvula direcionais de fluxo e suas respectivas designações.

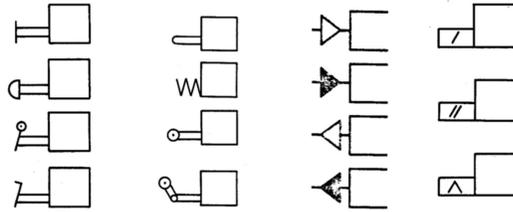
Figura 27 - Tipos de válvulas direcionais.



Fonte: SILVA, E. C. N. PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

Para executar a mudança de posições das válvulas temos os acionamentos externos que também possuem representações segundo as normas. Na Figura 28 mostra-se os principais mecanismos de acionamento. A primeira coluna contém acionamentos musculares, a segunda, acionamentos mecânicos, seguida de acionamentos pneumáticos, em terceiro e elétricos ao fim.

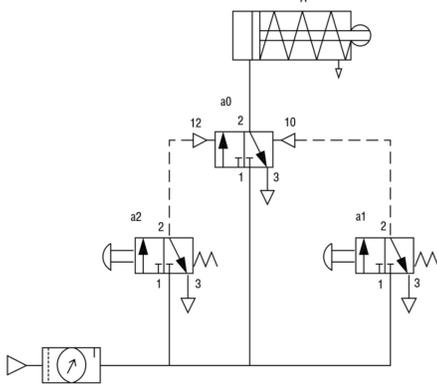
Figura 28 - Tipos de acionamentos manuais, mecânicos, pneumáticos e elétricos.



Fonte: SILVA, E. C. N. PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

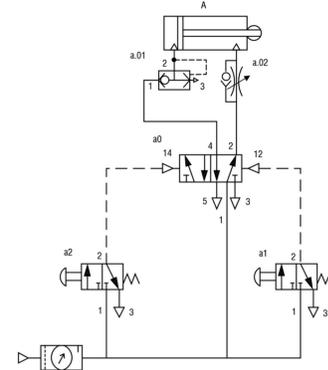
A partir da combinação destes símbolos esquemas mais complexos de sistemas pneumáticos e eletropneumáticos. Existem programas que usam estes símbolos para projeto e simulação virtual deste tipo de circuito. Exemplos de combinações são mostrados nas Figuras 29 e 30:

Figura 29 - Circuito com duplo piloto positivo.



Fonte: PARKER TRAINING. **Tecnologia Pneumática Industrial**: Apostila M1001-1 BR. Jacareí, 2007.

Figura 30 - Circuito para movimentar um cilindro com avanço lento e retorno acelerado.



Fonte: PARKER TRAINING. **Tecnologia Pneumática Industrial**: Apostila M1001-1 BR. Jacareí, 2007.

Mais símbolos podem ser encontrados no Anexo A. Descrição de outros símbolos e definições adicionais devem ser consultadas nas próprias normas ABNT NBR 8897, DIN 24300 e ISO 1219.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Existem atualmente no mercado diversas empresas que produzem e distribuem componentes e sistemas pneumáticos. Uma prática comum dessas empresas é a composição de sistemas mais simples voltados ao treinamento através de bancadas para ensino aprimoramento e de materiais didáticos técnicos. A justificativa para tanto é a preparação dos alunos para condições reais de funcionamento de trabalho, tornando-os aptos para desenvolverem soluções de forma rápida.

Esses sistemas possuem diferentes combinações e modelos. A sua seleção depende principalmente do nível de aplicação e do custo. Para o primeiro desenvolvimento aqui apresentado foram adquiridos alguns elementos pneumáticos que oferecem um bom grau de permutação na elaboração de sistemas.

3.1 MATERIAIS

Para a construção da bancada em si foi utilizado material de baixo custo e fácil acesso tendo como base madeira. A estrutura principal constituiu-se de uma montagem de compensado para as paredes e madeira dura, maçaranduba, para reforço ao suporte. A fixação e efetuada por colagem e uso de parafusos.

As gavetas foram fabricadas também em compensado e fixadas juntas por cola e parafusos.

O painel foi construído tendo como base uma folha de madeira multilaminada pré-furada que foi montada em uma estrutura de compensado e madeira dura de modo a constituir uma estrutura mais firme com um apoio para uso durante as aplicações da bancada. Dobradiças permitem o movimento angular do painel assim como o dos suportes desta estrutura.

Foram usados também rodízios com e sem freio sob a bancada de modo a facilitar o transporte da estrutura.

A seguir, apresenta-se a lista de materiais aplicados na manufatura da estrutura da bancada.

Tabela 1 – Lista de materiais

MATERIAL	QUANTIDADE	DIMENSAO
Folha de madeira pré-furada	1	2750 mm x 1220 mm x 2.5 mm
Folha de compensado	2	2200 mm x 1600 mm x 15 mm
Viga maçaranduba	1	3000 mm x 30 mm x 30 mm
Parafusos cabeça chata Phillips	100	3,5 mm x 25 mm
Parafusos cabeça chata Phillips	100	3,5 mm x 12 mm
Parafusos cabeça Phillips	100	3,0 mm x 12 mm
Cola	½ kg	-
Dobradiças	6	-
Cupinicida	900 ml	-
Rodízios sem freio	3	50 mm
Rodízios com freio	2	50 mm

Fonte: Autor

Uma vez que se completa a lista principal de materiais a serem implementados passa-se a próxima fase que se constituiu da fabricação da bancada.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Projeto

A ideia do projeto em si surgiu do interesse de oferecer aos alunos a oportunidade de interagir com elementos práticos de sistemas pneumáticos. Para que essa interação acontecesse da melhor forma o projeto da bancada precisaria atender alguns requisitos preestabelecidos. Estes seriam fabricação acessível, fácil manuseio e ergonomia de uso. Seguindo estes parâmetros tomou-se como base projetos de bancadas comercializadas como as ilustradas a seguir.

Figura 31 - Bancada de treinamento Parker



Fonte: PARKER TRAINING. Folheto 1003-6 BR. Jacareí, 2014.

Figura 32 - Bancada didática Festo



Fonte: FESTO DIDATIC. Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática. São Paulo, 2017.

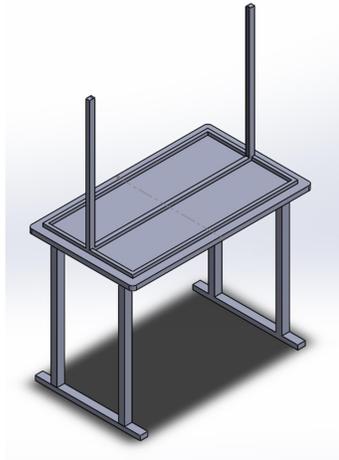
As duas bancadas acima serviram de base para o dimensionamento do projeto. Segundo o catálogo da Festo Didatic temos para seu modelo 1200 mm de comprimento, 700 mm de largura e um painel de 1800 mm de altura. Para o modelo da Parker Training o comprimento atinge 1270 mm, a largura, 760 mm, e a altura, 1900 mm. A partir desses valores se obteve um intervalo padrão para as dimensões do projeto.

O processo de design do projeto levou a constituição de três modelos. Os dois primeiros podem ser qualificados como pré-designs. Os desenhos 3D do projeto foram feitos no software Solidworks.

Design 1

Seguindo o layout das bancadas existentes, o primeiro design seguiu o desenho apresentado na Figura 33. Ele consistiu em uma mesa com uma estrutura sobre ela de modo a acomodar o painel verticalmente, como se vê nas Figuras 31 e 32.

Figura 33 - Primeiro design da bancada

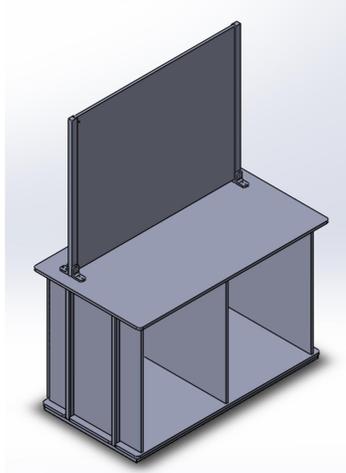


Fonte: Autor.

Design 2

O segundo design, Figura 34, foi baseado em uma estrutura metálica que serviria de base para a acomodação de paredes e compartimentos de madeira. O painel seria também acomodado verticalmente, desta vez, porém, fixado entre duas peças compridas de madeira presas à mesa. Uma forma mais simples do que a vista no design 1.

Figura 34 - Segundo design da bancada



Fonte: Autor.

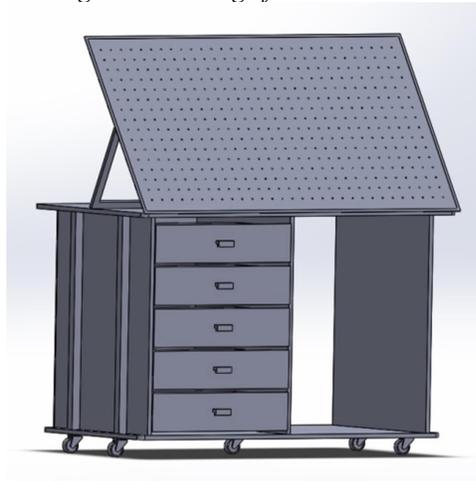
Design 3 – Final

Observa-se que as mesas comercializadas possuem uma estrutura base de metal. Nessa estrutura, depois, é incluído a parte de gaveteiros. A priori, o projeto deste trabalho considerou

construir uma estrutura metálica seguindo esta ideia. O problema aqui seria a adição de um trabalho a mais no processo, no caso o trabalho de manufatura da estrutura o qual se refere à corte, montagem e soldagem do material. Considerada esta adição, optou-se pela fusão de estrutura e gaveteiro fabricados em madeira. Dessa forma, a fabricação seria facilitada e os custos seriam reduzidos.

Na Figura 35 apresenta-se o layout do design final da bancada. A mesa consiste em uma estrutura de madeira com uma base conectada a três paredes que por sua vez se conectam ao topo da bancada. Quatro peças de madeira dura são fixadas nas laterais de modo a garantir sustentação à estrutura. Em um dos lados estão dispostas as gavetas. O outro se mantém livre para uso. Na parte superior encontra-se o painel de madeira pré-furado para fixação dos elementos pneumáticos.

Figura 35 - Design final da bancada



Fonte: Autor.

Como apresentado na Figura 35 acima, ocorreu uma mudança na orientação do painel que agora apresenta configuração inclinada. A escolha de um painel com inclinação se deve a criação de uma estrutura única de mesa e painel reclinável de modo a facilitar transporte, se preciso. Além disso, a visualização e operação do painel se torna mais segura para o operador no sentido de manter os elementos pneumáticos mais a favor da gravidade do que se estivesse na vertical.

Ao final foram adicionados cinco rodízios a fim de locomoção. A seguir se encontra uma imagem renderizada do projeto (Figura 36).

Figura 36 - Imagem renderizada do projeto



Fonte: Autor.

3.2.2 Fabricação

Cada etapa da manufatura da mesa foi executada em uma oficina na qual se tinha acesso a uma gama de equipamentos de marcenaria e o apoio de pessoal qualificado. A fim de facilitar o fluxo do processo, a fabricação se deu em algumas etapas. A Figura 37 abaixo é uma fotografia do local onde aconteceram os trabalhos.

É importante ressaltar que as etapas de fabricação foram executadas seguindo parâmetros de segurança pelo uso de EPI's.

Figura 37 - Oficina de marcenaria



A imagem mostra a oficina onde a bancada foi fabricada. Fonte: Autor.

Etapa de preparação

Primeiramente o material foi preparado no sentido de eliminação de rebarbas e irregularidades. Também foi feita a aferição das medições conforme projeto. O material havia sido comprado já em pedaços com as dimensões de projeto.

Etapa de montagem das gavetas

Antes da mesa, os corpos principais das gavetas foram montados sistematicamente através de cola e parafusos Phillips segundo projeto. Esta montagem das gavetas antes da montagem da mesa diminui a possibilidade de erro na montagem final gaveta/mesa uma vez que assim podemos ajustar as distancias das bases da mesa à gaveta ao invés de ter que ajustar a gaveta à mesa. Na Figura 38 ilustra-se o processo.

Figura 38 – Fabricação das gavetas



Fonte: Autor.

Etapa de montagem da mesa

Tendo aferido as distancias de projeto e as distâncias reais das gavetas efetuou-se a montagem da estrutura da mesa a começar pela conexão da base às paredes verticais e depois a montagem da parte superior da mesa.

Uma vez que estava definida a forma da bancada, foram inseridos os quatro suportes de madeira dura a fim de reforçar a estrutura. Tudo foi conectado por cola e parafusos.

Etapa de montagem das gavetas na bancada.

O sistema de movimento das gavetas em relação à bancada escolhido foi o mais simples possível. Trata-se de um esquema de deslizamento onde uma peça comprida de madeira é fixa à base enquanto a parede da gaveta é entalhada externamente de forma a encaixar nessa peça. Uma vez tiradas as medidas de altura, as peças são encaixadas e as gavetas, montadas conforme ilustrado na Figura 39.

Figura 39 - Montagem das gavetas



Fonte: Autor.

Etapa de montagem dos rodízios

Nesta etapa foram fixados à base os cinco rodízios que facilitam o transporte da bancada.

Etapa de fabricação do painel

A folha multilaminada pré-furada foi cortada nas dimensões definidas e emoldurada em madeira dura de forma a gerar uma estrutura de sustentação. Primeiramente também foram fixados à folha, quatro estruturas de compensado na parte posterior. Duas delas, pequenas na parte inferior para a fixação da dobradiça. As outras duas, de comprimento igual à altura da folha, foram dispostas verticalmente de modo a servir de suporte e como conexão para o apoio. Depois de pronto verificou-se a ausência de sustentação suficiente. Para solucionar este problema foi acrescentado mais uma peça de compensado verticalmente no meio do painel.

Etapa de montagem do painel

Na parte superior da mesa foram fixados duas peças de compensado servindo de pares para as peças do painel. Esses pares conectam-se pelas dobradiças, ligando assim, a mesa ao painel.

O apoio para a sustentação do painel quando elevado é constituído de peças de compensado conectados ao próprio painel através de dobradiças. Para evitar seu escorregamento na bancada, dois blocos de compensado foram fixados à mesa.

Etapa de acabamento

Depois da montagem dos principais elementos do projeto passou-se para a parte do acabamento. Nesta etapa foram fabricadas as alças das gavetas em madeira dura, assim como os detalhes das bordas da bancada.

O processo seguinte foi a aplicação de cupinicida de modo a prover durabilidade ao projeto.

Na Figura 40 abaixo exhibe-se a montagem completa da bancada.

Figura 40 - Montagem final da bancada



Fonte: Autor.

3.2.3 Aplicação

Todo o projeto foi pensado para o uso no ensino de sistemas pneumáticos. Neste contexto, de modo a potencializar o aproveitamento deste recurso pelos estudantes, foi realizado o

planejamento de um manual de práticas. Este manual consiste basicamente em uma lista de circuitos pneumáticos os quais o estudante poderá montar na bancada a partir dos elementos pneumáticos disponíveis no momento que este trabalho foi elaborado. Estes circuitos são obtidos pela permutação destes elementos de modo a possibilitar a aplicação de todos eles.

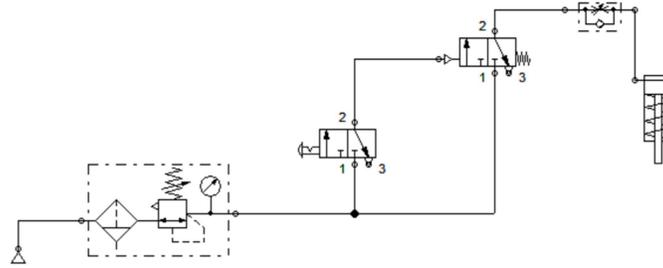
Os elementos pneumáticos disponíveis no momento são os seguintes:

- Compressor Schulz 8,0 bar
- Uma unidade de preparação de ar (Lubrifil)
- Um cilindro de simples ação com retorno por mola
- Um cilindro de dupla ação
- Uma válvula de simultaneidade (AND)
- Uma válvula alternadora (OR)
- Uma válvula de fluxo unidirecional
- Uma válvula 5/2 vias com acionamento por alavanca e retorno por mola
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento por botão e retorno por mola
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento por botão com trava
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento pneumático e retorno por mola
- Um manômetro
- Tubulação PU
- 10 conexões em T

Os componentes pneumáticos disponíveis no momento podem ser encontrados também em uma lista no Anexo B.

A representação destes circuitos para o aluno no manual é feita a partir do uso da simbologia pneumática, como ilustrada na Figura 41 a seguir. Estes sistemas foram construídos virtualmente no software FluidSIM® da Festo que possui versão trial gratuita.

Figura 41 - Exemplo de circuito pneumático



Fonte: Autor.

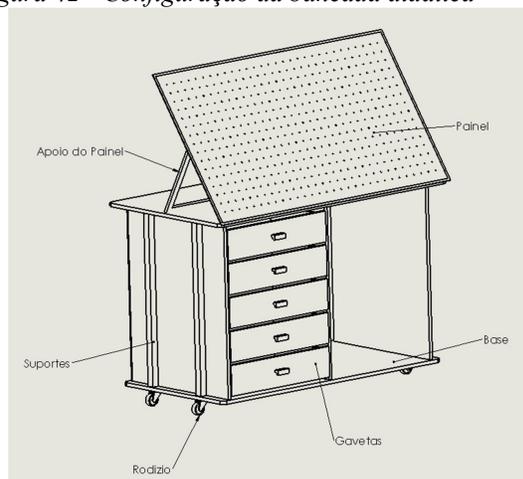
O manual, que além dos circuitos possui recomendações de bom uso da bancada e do equipamento, pode ser encontrado no Anexo C deste trabalho.

4 DISCUSSÃO

O desenvolvimento deste projeto partiu da ideia de criar uma oportunidade para o aluno de interagir com algo que ele já conhece, porém de uma forma mais dinâmica e palpável. A partir do envolvimento ativo e da visualização dos sistemas, o estudante passa a desenvolver um pensamento mais crítico e um desenvolvimento mais autônomo, como mostram os estudos das metodologias de ensino. Dessa forma, tendo como base os objetivos predefinidos no pré-projeto que consistiam em uma bancada de fácil fabricação, de fácil manuseio e com ergonomia para uso, desenvolveu-se um projeto simples que trará benefícios para o aprendizado dos estudantes na área da pneumática.

A bancada se apresenta com a seguinte configuração apresentada na Figura 42:

Figura 42 - Configuração da bancada didática



Fonte: Autor.

O processo de desenvolvimento da bancada acabou por integrar aspectos tomados de modelos base comercializados, tais quais os modelos da Festo e da Parker, somados a ideia pessoais de colaboradores e do orientador. Traduzindo para valores pode-se fazer uma análise das dimensões do projeto concluído. A mesa final, montada possui 1250 mm de comprimento e 700 mm de largura. Ambos os valores se encaixa na faixa comercial. Por outro lado, por possuir um painel inclinado, a altura de visualização não atinge os valores de bancadas de treino do mercado. Contudo, o layout escolhido trabalha em conjunto com o tipo de fixação dos elementos e gera um campo de trabalho confortável para o usuário, além de facilitar a armazenagem e o transporte da bancada.

Ainda sobre os objetivos de projeto pode-se destacar que o processo de fabricação foi executado a partir de materiais e processo de fácil alcance no mercado local, o que contribuiu para a execução do trabalho. As Figuras 43 e 44 abaixo representam um comparativo do design final da bancada e da montagem final, depois do processo de fabricação.

Figura 43 - Design final



Fonte: Autor.

Figura 44 - Resultado de fabricação



Fonte: Autor.

A partir da consolidação da base do projeto, passou-se a explorar suas possibilidades a partir do planejamento do uso deste recurso por meio de um manual de execução de experimentos. A formulação deste manual partiu da análise dos recursos disponíveis, no caso os elementos pneumáticos, e, desta análise, pode-se construir cerca de vinte e cinco circuitos através da permutação destes elementos. Alguns dos sistemas criados foram estabelecidos como sistemas a serem montados em conjunto com o desenvolvimento da disciplina e postos no manual de práticas. O manual encontra-se na íntegra no Anexo C O importante aqui, no entanto é criar a oportunidade de o aluno pensar e descobrir novas possibilidades para esses sistemas. Fazer com que ele se questione sobre o que de fato ocorre em determinado fenômeno. Novamente, esse conceito é bem explorado pela oportunidade de interagir com o processo. É algo que é alcançado aqui.

A bancada, o manual e o próprio uso do meio virtual através do software FluidSIM® acabam por formar um grupo de ferramentas que tentem transformar a metodologia de ensino da disciplina de pneumática, além abrir portas para a interação com outras disciplinas através de projetos mais complexos em associação com as diversas áreas das muitas disciplinas do curso.

5 CONCLUSÃO

Partindo da premissa de possibilitar a realização de atividades práticas no ensino da pneumática, através da disciplina Mecanismos Hidráulicos e Pneumáticos ofertado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, conclui-se que este projeto conseguiu alcançar o objetivo de desenvolver e apresentar um novo recurso de ensino-aprendizagem. Através do uso da bancada aqui desenvolvida, os alunos poderão ter contato com modelos simplificados de sistemas pneumáticos e, guiados pelo manual de práticas experimentais, serão desafiados a interagir com problemas, compreender processos e desenvolver um pensamento mais crítico sobre os seus conhecimentos e sobre seu próprio aprendizado.

Observa-se, no entanto, que este constitui apenas o início de um processo. A indústria conta como inúmeros tipos de sistemas e processos que não se conseguiu representar com os recursos que se tinham disponíveis. Este primeiro projeto de implementação de práticas no ensino de pneumática para a respectiva disciplina contou com um número limitado de componentes, contudo, espera-se que com o passar do tempo, este número aumente e torne a bancada didática em uma ferramenta que transforme a visão de aluno e o prepare para quaisquer desafios que ele possa encontrar na vida profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, N. **Sistemas Pneumáticos Industriais**. Rio do Sul, 2008.
- ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. O Desenvolvimento de atividades práticas na escola: Um desafio para os professores de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v.17, n.4, p. 835-854, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132011000400005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 21 July 2017.
- BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. **Estratégias de ensino-aprendizagem**. 29. Ed. Petrópolis, Editora Vozes, 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES 11, de 11 de Março de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, Seção 1, p.32, Brasília, 2002.
- COMPRESSED AIR & GAS INSTITUTE (CAGI). **Compressed Air & Gas Handbook**. Seventh Edition. Cleveland, 2016. Disponível em <http://www.cagi.org/requestinator_dl.aspx?txdata=L3BkZnMvQ0FHSV9FbGVjdEhCX2NoMS5wZGY=>>. Acesso em 22 de Junho de 2017.
- DE NEGRI, V. J. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle: Parte I – Princípios Gerais da Hidráulica e Pneumática**. Florianópolis, 2001.
- FESTO DIDATIC. **Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos: Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática**. São Paulo. Disponível em <http://www.festo-didactic.com/download.php?name=Cat%C3%A1logo%20de%20Componentes%20Pneum%C3%A1ticos%20e%20El%C3%A9tricos%20-%20FESTO.pdf&c_id=1100&file=cat_logo_de_componentes_pneum_ticos_e_el_tricos_festo_2.pdf>. Acesso em 22 de Junho de 2017.
- MAAR, J. H. Justus Von Liebig, 1803-1873. Parte 1: Vida, Personalidade, Pensamento. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 29, n.5, p. 1129-1137, Oct. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000500039&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 de Junho de 2017.
- MARINS, A. **Tecnologia Pneumática. Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos**. Salto, 2009.
- METALPLAN AIRPOWER. **Manual de Ar Comprimido**. 4º Edição. 2010.
- PARKER TRAINING. **Tecnologia Pneumática Industrial: Apostila M1001-1 BR**. Jacareí, 2007.

PARKER TRAINING. Folheto 1003-6 BR. Jacareí, 2014.

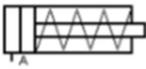
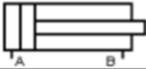
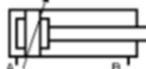
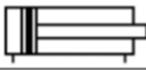
PAVANI, S. A. **Comandos Pneumáticos e Hidráulicos**. Santa Maria, 2011. Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

SILVA, E. C. N. **PMR 2481 – Sistemas Fluidomecânicos**: Apostila de Pneumática. São Paulo, 2002.

ANEXO A – SIMBOLOGIA PNEUMÁTICA

Este anexo apresenta símbolos empregados em diagramas Pneumáticos e hidráulicos conforme as normas ABNT NBR 8897, DIN 24300 e ISO 1219.

ATUADORES

	Cilindro de simples ação (posição de repouso recuado).
	Cilindro de simples ação (posição de repouso avançado).
	Cilindro de dupla ação.
	Cilindro de dupla ação (com amortecimento de fim de curso, sem regulagem).
	Cilindro de dupla ação (com amortecimento de fim de curso regulável).
	Cilindro com haste passante.
	Cilindro de dupla ação com êmbolo magnético.
	Cilindro tipo Tandem.
	Cilindro duplo.
	Cilindro sem haste.
	Oscilador.
	Motor Pneumático.
	Motor Hidráulico.

VÁLVULAS DIRECIONAIS

<ul style="list-style-type: none"> As válvulas são simbolizadas por meio de quadrados. 	
<ul style="list-style-type: none"> O número de quadrados representa quantas posições de comutação a válvula direcional possui (OBS.: o número mínimo de posições em uma válvula direcional é dois). 	
<ul style="list-style-type: none"> As setas indicam, em geral, o sentido do fluxo. 	
<ul style="list-style-type: none"> Os bloqueios (isto é, pontos por onde não há fluxo) são representados por um “T” apostro internamente ao símbolo. 	
<ul style="list-style-type: none"> As conexões (vias funcionais) são indicadas por traços na parte externa, na posição à direita da válvula (para válvulas com 2 posições de comando) ou ao centro (válvulas com 3 posições de comando). 	<p>(válvula de 4 vias e 3 posições ou 4/3 vias):</p>
<ul style="list-style-type: none"> Válvula direcional de 2 vias e 2 posições de comando, posição normal fechada (abrevia-se a designação para 2/2 vias NF, lê-se: “duas-duas vias ene-efe”). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 2/2 vias NA (normalmente aberta). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/2 vias NF. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/2 vias NA. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/3 vias CF (centro fechado). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 4/2 vias. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 5/2 vias. 	

ACIONAMENTOS

AÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
MUSCULAR		Símbolo genérico, sem especificação do modo de operação.
		Botão.
		Botão com trava.
		Alavanca.
		Pedal.
MECÂNICA		Came ou apalpador.
		Mola (em geral, para retorno à posição de repouso).
		Rolete.
		Rolete escamoteável (“gatilho”).

ELÉTRICO		Solenóide com uma bobina.
		Solenóide com bobina proporcional.
		Motor elétrico reversível.
		Motor elétrico de passos.
PRESSÃO		Piloto pneumático (por acréscimo de pressão).
		Piloto hidráulico (por acréscimo de pressão).
		Servopiloto pneumático (piloto interno à válvula).
COMBINADO		Solenóide pilotado (pneumático).
		Solenóide pilotado (hidráulico).
		Rolete servopilotado (pneumático).
		Acionamento por ação muscular ou por solenóide servopilotado.
		Acionamento por solenóide ou muscular, servopilotados (pré-comando manual).

ANEXO B – INVENTÁRIO DE COMPONENTES

INVENTÁRIO DE COMPONENTES	
Componente	Quantidade
Bancada de ensino	1
Compressor Schulz 8,0 bar	1
Unidade de preparação de ar	1
Cilindro de simples ação	1
Cilindro de dupla ação	1
Válvula de simultaneidade	1
Válvula alternadora	1
Válvula reguladora de fluxo unidirecional	1
Válvula 5/2 vias com acionamento por alavanca e retorno por mola	1
Válvula 3/2 vias com acionamento por botão e retorno por mola	1
Válvula 3/2 vias com acionamento por botão com trava	1
Válvula 3/2 vias com acionamento por pneumático e retorno por mola	1
Manômetro	1
Conexões em T	10
Tubulação PU	-

ANEXO C – MANUAL DE PRÁTICAS



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TE0228 – MECANISMOS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

MANUAL DE PROCEDIMENTOS PRÁTICOS PARA SISTEMAS PNEUMÁTICOS

FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL

Objetivo

Este manual destina-se à orientação de estudantes no desenvolvimento de procedimentos em apoio às atividades de ensino, dando suporte para aulas práticas relacionadas com a disciplina de Mecanismos Hidráulicos e Pneumáticos (TE0228). Através de sua aplicação, os experimentos aqui executados buscam propiciar condições de plena integração da teoria e da prática, dando ao aluno a oportunidade de consolidação de conhecimentos e de autonomia no aprendizado.

Regras básicas de funcionalidade dos procedimentos

Seguem listadas abaixo algumas regras que condicionam uma boa realização de experimentos.

1. Não é permitida a realização de experimentos sem a plena autorização do professor responsável ou monitor.
2. Não ingerir comida ou bebida próximo à bancada de práticas.
3. Identificar componentes e conhecer seu funcionamento antes de operá-los.
4. Não colocar sobre a bancada qualquer material estranho ao trabalho como bolsas, casacos e mochilas.
5. Ao encerrar as atividades acadêmicas organizar os equipamentos que foram utilizados.
6. Comunicar qualquer incidente ao responsável pela prática.

Familiarização com a bancada

A bancada didática usada nestes procedimentos foi desenvolvida para oferecer uma abordagem de ensino que complementa o aprendizado teórico de modo a proporcionar uma maior intimidade entre o estudante e as ferramentas com as quais ele poderá se deparar no futuro profissional. Ela se apresenta conforme a Figura 45 abaixo:



Figura 45 - Layout da bancada

Familiarize-se com sua estrutura e com a organização do material nas gavetas.

Além da estrutura, o conjunto didático conta com um compressor, uma unidade de conservação, válvulas direcionais, atuadores, conexões e tubos. Através da permutação destes componentes (Figura 46) pode-se realizar a montagem de diversos circuitos pneumáticos.

Elementos Pneumáticos



Figura 46 - Elementos pneumáticos

Segue a lista de todos os elementos pneumáticos disponíveis para uso:

- Compressor Schulz 8,0 bar
- Uma unidade de preparação de ar (Lubrifil)
- Um cilindro de simples ação com retorno por mola
- Um cilindro de dupla ação
- Uma válvula de simultaneidade (AND)
- Uma válvula alternadora (OR)
- Uma válvula de fluxo unidirecional
- Uma válvula 5/2 vias com acionamento por alavanca e retorno por mola
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento por botão e retorno por mola
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento por botão com trava
- Uma válvula 3/2 vias com acionamento pneumático e retorno por mola
- Um manômetro
- Tubulação PU
- 10 conexões em T

Identifique cada elemento que for utilizar.

Fundamentação Teórica

O uso do ar pelo homem remete aos tempos antigos desde a fundição de metais até quando já se fabricavam sistemas com êmbolos e pistões de madeira. A partir da invenção de máquinas a vapor, foram desenvolvidas varias aplicações para o ar através de aprimoramento e novas descobertas. Atualmente, a aplicação mais comum do ar está ligada à sua compressão. O uso do ar comprimido possui importante influencia na tecnologia de automação que permite uma produção mais eficiente e de menor custo.

Circuitos pneumáticos são uma das mais comuns maneiras de se desenvolver sistemas de automação. Estes circuitos utilizam o fluido gasoso pressurizado para transmitir energia devido às propriedades destes gases que são compressibilidade, elasticidade, difusibilidade e expansibilidade e as leis dos gases de Boyle, Gay-Lussac e Charles. Estas propriedades são encontradas em ação no princípio de Pascal que estabelece que uma força externa quando aplicada sobre certa área de um fluido em confinamento irá gerar uma pressão que conseqüentemente será transmitida integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente. Este princípio de distribuição de pressão pode ser estendido para demonstrar a transmissão e multiplicação de força como mostrado na Figura 47 abaixo, onde uma força de menor magnitude consegue ser capaz de suportar uma força de maior magnitude a partir de uma relação de áreas conforme mostrado na figura abaixo.

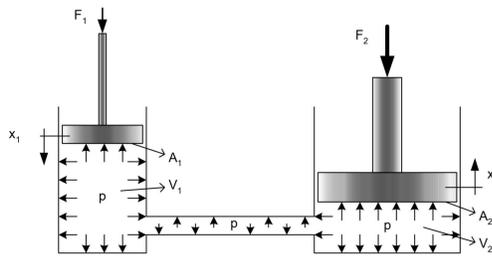


Figura 47 - Princípio de Pascal

Seguindo a ideia do circuito apresentado acima, os sistemas pneumáticos apresentam elementos tais quais compressores que transferem ar comprimido através das válvulas e tubulações até um atuador que exercerá a função designada.

Sistemas pneumáticos apresentam-se em diversas configurações e constituído de diferentes elementos em função de sua aplicação. De qualquer forma, a primeira etapa baseia-se a entrada de ar no compressor onde ele é forçado a ocupar um menor volume enquanto acumula a energia dessa pressurização. Depois ele passa por tratamento para que contaminantes não prejudiquem o sistema. Seu fluxo é controlado pelo operador ou de forma computacional através de válvulas que podem ser:

De controle direcional que influenciam o percurso do fluxo de ar. Elas caracterizam-se pelo número de posições em que podem ser definidas, pelo número de vias pela qual o ar pode passar, pelo tipo de acionamento e pelo tipo de retorno. Com relação ao acionamento, dependendo da necessidade, uma válvula pode ser ativada por meio muscular, mecânico, ou pneumático, podendo este último ser direto ou indireto.

De Bloqueio que são dispositivos que auxiliam a retenção ou o controle de fluxo de ar em um sentido ou outro do circuito. Neste contexto estão as válvulas de retenção, as válvulas alternadoras e as válvulas de duas pressões.

De controle de fluxo que diminuem da quantidade de ar que atravessa uma tubulação seja para temporização ou para controle de velocidade de atuação.

De controle de pressão que têm por finalidade influenciar ou serem influenciadas pela pressão para executarem ajustes no sistema.

A utilização propriamente dita da energia do ar pressurizado é dada pelo uso de atuadores que convertem esta energia em movimento e força, sendo divididos em dois grupos que produzem movimentos lineares ou rotativos/oscilantes.

Todos estes componentes são representados em foram de símbolos de modo a facilitar a compreensão universal de projetos pneumáticos. A simbologia é definida pelas normas ABNT NBR 8897, DIN 24300 e ISO 1219.

Prática #1 – Controle direcional e atuadores lineares I

OBJETIVO

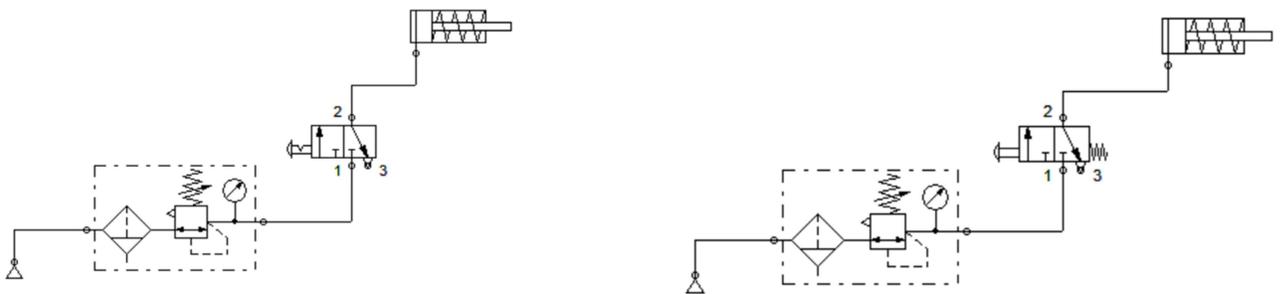
Construir um circuito para simular o controle de um atuador linear de simples ação através de válvulas direcionais acionadas por botão.

MATERIAIS

- Compressor
- Unidade de condicionamento
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão e retorno por mola
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão com trava
- Cilindro pneumático de simples ação
- Conexões
- Tubos PU

MÉTODO

1. Identificar os componentes a serem usados e suas respectivas funções.
2. Construir os seguintes circuitos e simular seu funcionamento:



3. Descrever o sistema e o que é observado no experimento.
4. Inserir no sistema uma válvula reguladora de fluxo de modo a modificar a velocidade de retorno do pistão. Depois, ajuste a válvula pra modificar a velocidade de avanço. Descreva o que se observa.

Prática #2 – Controle direcional e atuadores lineares II

OBJETIVO

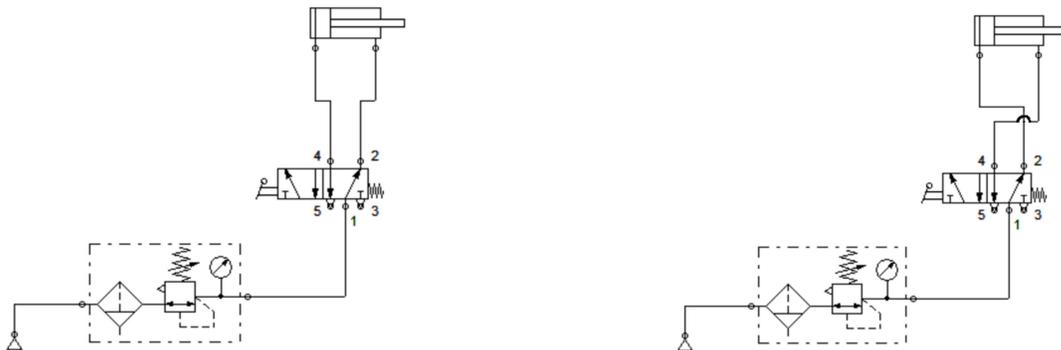
Observar a atuação de um cilindro de dupla ação a partir do uso de uma válvula 5/2 vias.

MATERIAIS

- Compressor
- Unidade de condicionamento
- Válvula direcional 5/2 vias acionada por alavanca e retorno por mola
- Cilindro pneumático de dupla ação
- Conexões
- Tubos PU

MÉTODO

1. Identificar os componentes a serem usados e suas respectivas funções.
2. Construir os seguintes circuitos e simular seu funcionamento:



3. Descreva o caminho do ar e o que é observado.
4. Agora tente usar a válvula reguladora unidirecional para regular as velocidades de entrada e saída de cada caso.

Prática #3 – Controle direcional e atuadores lineares III

OBJETIVO

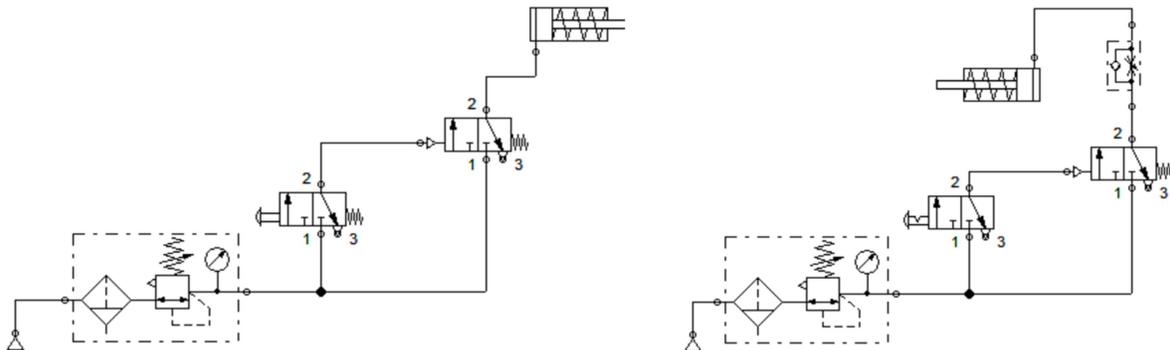
Demonstrar o funcionamento de sistemas compostos por das válvulas direcionais de acionamento mecânico e pneumático.

MATERIAIS

- Compressor
- Unidade de condicionamento
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão e retorno por mola
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão com trava
- Válvula direcional 3/2 vias de acionamento pneumático
- Cilindro pneumático de simples ação
- Conexões
- Tubos PU

MÉTODO

1. Identificar os componentes a serem usados e suas respectivas funções.
2. Construir os seguintes circuitos e simular seu funcionamento:



3. Descrever o sistema e o que é observado em cada caso.

4. Os exemplos acima não constituem sistemas viáveis ou práticos para a aplicação de válvulas direcionais pneumáticas. Por quê? Baseado em seus conhecimentos, dê um exemplo de circuito no qual válvulas direcionais são justificadamente aplicadas.

Prática #4 – Válvula alternadora (OR) e válvula de simultaneidade (AND)

OBJETIVO

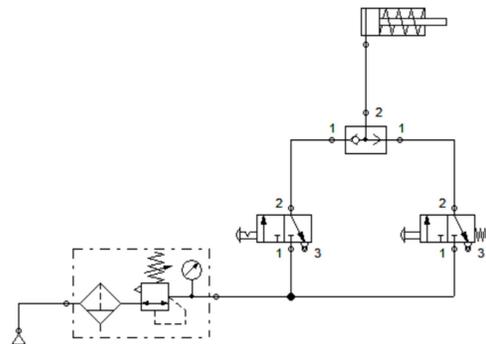
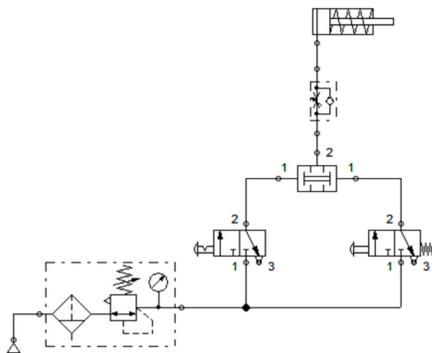
Construir sistemas aplicando o uso de válvulas alternadoras e válvulas de simultaneidade.

MATERIAIS

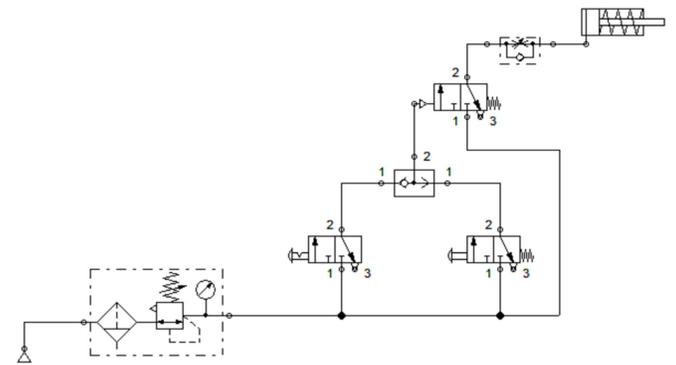
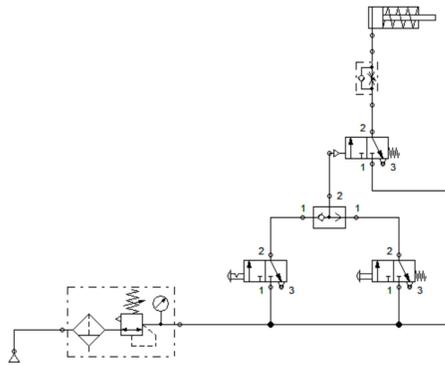
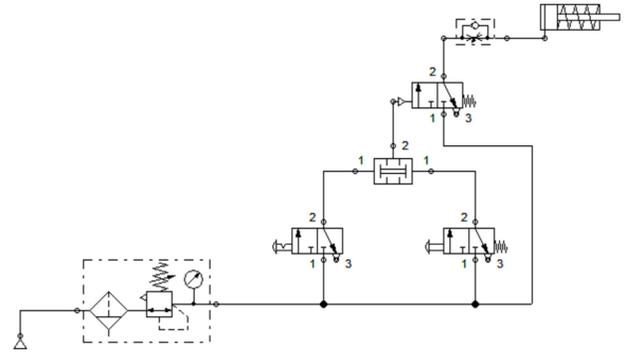
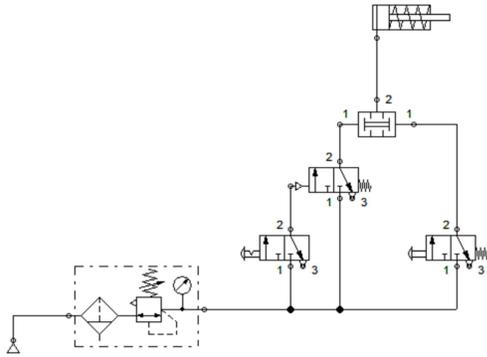
- Compressor
- Unidade de condicionamento
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão e retorno por mola
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão com trava
- Válvula direcional 3/2 vias de acionamento pneumático
- Válvula alternadora (OR)
- Válvula de simultaneidade (AND)
- Cilindro pneumático de simples ação
- Conexões
- Tubos PU

MÉTODO

1. Identificar os componentes a serem usados e suas respectivas funções.
2. Construir os seguintes circuitos e simular seu funcionamento:



3. Descreva cada circuito e comentar o que é observado.
4. Agora construir os seguintes circuitos:



5. Para cada sistema, descreva o caminho do ar e o que acontece em cada válvula e atuador.
6. Baseado em seus conhecimentos exponha exemplos de aplicações de válvulas AND e OR em sistemas industriais.

Prática #5 – Sistemas de compostos de diversos elementos

OBJETIVO

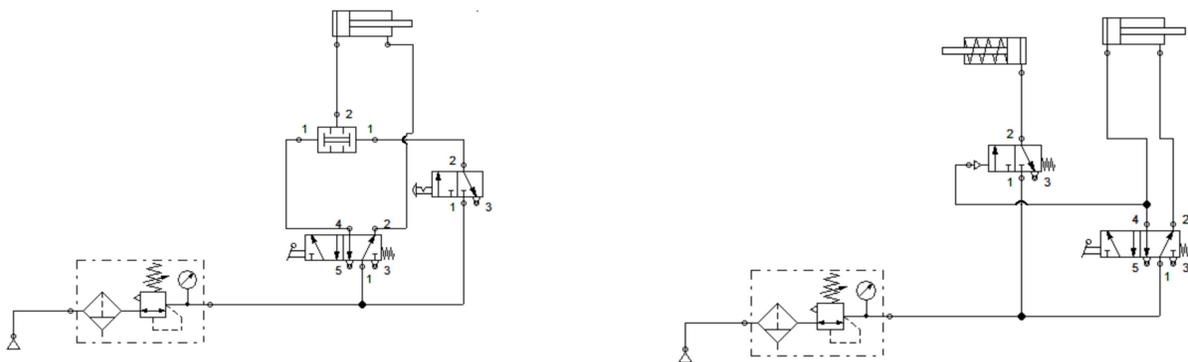
Demonstrar e compreender o funcionamento de circuitos pneumáticos a partir da permutação de válvulas.

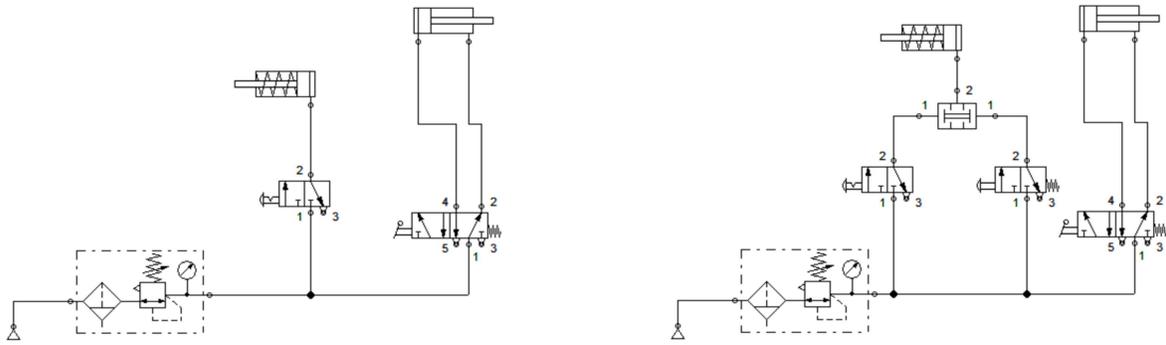
MATERIAIS

- Compressor
- Unidade de condicionamento
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão e retorno por mola
- Válvula direcional 3/2 vias acionada por botão com trava
- Válvula direcional 3/2 vias de acionamento pneumático
- Válvula direcional 5/2 vias acionada por alavanca e retorno por mola
- Válvula de simultaneidade (AND)
- Cilindro pneumático de simples ação
- Cilindro de dupla ação
- Conexões
- Tubos PU

MÉTODO

1. Identificar os componentes a serem usados e suas respectivas funções.
2. Construir os seguintes circuitos e simular seu funcionamento:





3. Descreva detalhadamente o que acontece em cada sistema.
4. Tente montar um sistema diferente daqueles vistos neste manual a partir dos elementos pneumáticos disponíveis.