



## ELABORAÇÃO DE CIRCUITOS ELETROPNEUMÁTICOS UTILIZANDO UMA SERRA AUTOMÁTICA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ENGENHARIA

**Richard de Medeiros Castro** – [richard.castro@satc.edu.br](mailto:richard.castro@satc.edu.br)\*

**Lais Marcos Lopes** – [laismarcoslopes@gmail.com](mailto:laismarcoslopes@gmail.com)

**Luiz Fernando Feltrin Inácio** – [nfeltrin@hotmail.com](mailto:nfeltrin@hotmail.com)

**Elvys Isaías Mercado Curi** – [elvys.curi@satc.edu.br](mailto:elvys.curi@satc.edu.br)

Faculdade SATC, Engenharia Mecânica - Rua Pascoal Meller, 73 - CEP 88805380 - Criciúma- SC - Brasil.

**Valdir Noll** – [vnoll@ifsc.edu.br](mailto:vnoll@ifsc.edu.br)

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina - Engenharia Mecatrônica - Av. Mauro Ramos, 950 - CEP 88020-300 - Florianópolis - SC - Brasil.

**Resumo:** *As aulas práticas com a utilização de bancadas didáticas nas engenharias produzem o desenvolvimento das habilidades de procedimentos e processos cognitivos, exigindo que o acadêmico, a partir de uma situação problema, elabore uma hipótese, planeje, e desenvolva uma metodologia, para que ao final, seus resultados possam ser avaliados. Nas instituições de ensino superior é comum o uso de bancadas e equipamentos didáticos que simulam o funcionamento dos equipamentos, aproximando a teoria com a prática. Estes dispositivos são fundamentais no âmbito acadêmico para a compreensão dos princípios teóricos, pois com a prática o aluno tem a possibilidade de construir um conhecimento mais sólido. Este trabalho se propõe demonstrar a aplicação dos métodos de construção de circuitos eletropneumáticos sequenciais, conteúdo este desenvolvido nas disciplinas de automação e sistemas pneumáticos, com base no projeto de uma serra automatizada, dispositivo de comum utilização nos setores industriais. Esse método de ensino também está inserido em Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL), muito difundida em práticas pedagógicas, que atualmente estão em pauta no ensino superior, como proposta de motivação e desenvolvimento intelectual dos acadêmicos. Ao final, através dos resultados obtidos via simulação da bancada e pela enquete feita pelos específicos acadêmicos desta disciplina, o projeto se mostrará de grande importância para solidificar os conceitos teóricos envolvidos.*

**Palavras-chave:** *Bancada didática, Circuitos pneumáticos, Ensino em Engenharia.*

### 1. INTRODUÇÃO

A atividade experimental é um excelente recurso para motivar e ampliar a aprendizagem, mas para isso deve auxiliar o aluno a assumir seu papel de agente do próprio aprendizado estimulando a autonomia e o senso crítico (TOLEDO & FERREIRA, 2016).

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



Teoria e prática se completam, e quando este princípio não é respeitado a teoria torna-se monótona e a prática obsoleta, pois não há um complemento entre o processo ensinar e aprender (FREIRE, 1996).

A criação de dispositivos e bancadas devem proporcionar a preparação de especialistas altamente qualificados capazes de resolver problemas e aplicar na prática. O desenvolvimento de bancadas de ensaio e bancadas de demonstração promovem a eficiência do ensino (RAKHMUNOV & AKRAMOVA, 2016).

Com o avanço tecnológico e o crescente uso da pneumática no meio industrial, foram surgindo novas metodologias de desenvolvimento de circuitos pneumáticos. Muitos recursos em pneumática vem sendo desenvolvidos para as mais diversas aplicações gerais e específicas. Tais recursos vão desde os componentes pneumáticos propriamente ditos, bem como as metodologias de desenvolvimento de projetos, afim de, proporcionar e garantir a sua correta funcionalidade (VASCONSELOS, M. *et al.*, 2015).

Ações como transportar, fechar, abrir, apertar, prensar, empurrar, puxar, elevar, são algumas das aplicações do movimento linear que servirão de apoio ao estudo que de imediato será aplicado (NOVAIS, 1997).

A implantação da automação pneumática possui diversas vantagens entre elas, o incremento da produção com investimentos relativamente pequenos, redução de custos operacionais, rapidez nos movimentos pneumáticos, o aumento do ritmo de trabalho, da produtividade e, portanto, um menor custo operacional (GARCIA, 2008).

Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, com pessoas e com o próprio equipamento, garantindo a segurança dos envolvidos. A automação pneumática possui fácil implantação, no entanto pequenas modificações nas máquinas convencionais aliadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para a implantação dos controles pneumáticos (SILVA, 2016).

Por se tratar de soluções abrangentes, métodos diferentes para resolução de problemas em pneumática estão disponíveis, dentre eles, o método intuitivo, o método cascata (sequência mínima os contatos), método passo a passo (sequência máxima dos contatos) e o método sequencial analítico (BONACORSO & NOLL, 2008).

O método intuitivo é o mais simples de todos os métodos e limita-se a pequenos circuitos, enquanto que os circuitos maiores necessitam de uma grande experiência do projetista. Esses métodos normalmente são utilizados para o desenvolvimento de sequências diretas, ou seja, os movimentos de avanço e retorno ocorrem na mesma ordem, não apresentando sobreposição de sinais de pilotagem ou tensão elétrica nas válvulas direcionais que comandam os elementos de trabalho.

Diferentemente do método intuitivo, o método cascata ou de minimização dos contatos, permite seguir um “roteiro”, ou uma metodologia pré-estabelecida. Este método, consiste em cortar a alimentação elétrica dos elementos de sinal que estiverem provocando um duplo sinal de tensão elétrica ou de sobreposição na outra bobina da válvula de comando, interferindo, dessa forma, na sequência de movimentos dos elementos de trabalho. Esse método baseia-se no chamado “seletor em cascata” (SANTOS & SILVA, 2009). Para PRUDENTE (2013), nesse método tem-se o sinal de comando somente no momento necessário, e deve ser realizado com a utilização de válvulas distribuidoras biestáveis. Nesse caso, a correta interpretação da sequência lógica de movimentos, bem como, a correta aplicação do “cascateamento” das válvulas

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





inversoras, ou relés dentro de cada grupo, serão fatores essenciais para a funcionalidade do projeto. Esse método define o número mínimo de válvulas inversoras ou relés, que é igual ao número de setores menos um (- 1), ou seja, tem como objetivo a redução do número de componentes, mas em contrapartida, propõe uma menor segurança funcional do circuito.

O método passo a passo ou de maximização dos contatos é um método prático e simples, cuja regra é de fácil assimilação. Neste método há a individualidade dos passos do diagrama, onde cada movimento individual ou simultâneo, ocorre baseado no comando de uma saída, a qual foi habilitada pelo passo anterior e pelo respectivo emissor de sinal - chave fim de curso. Este método não requer grande experiência por parte do projetista e pode ser aplicado em qualquer tipo de circuito. Ao contrário do método anterior citado, o método passo a passo, ou de maximização, dispõe de um maior número de componentes, portanto fornece uma maior segurança funcional ao circuito. Para determinar o número de relés, ou válvulas inversoras que devem ser utilizados, soma-se um (+1) ao número de setores.

O método sequencial analítico é mais eficiente do que os outros métodos, já que o resultado pode fornecer válvulas direcionais de duplo ou de simples solenóide, ou uma combinação delas. A principal vantagem é que o circuito elétrico de controle, resultante desse método, já é o circuito elétrico otimizado, portanto mais confiável, tanto do ponto de vista da operação, quanto do ponto de vista da manutenção (BONACORSO & NOLL, 2008).

A concepção, computação e seleção dos circuitos pneumáticos depende de tabelas padrão. Essas tabelas permitem a seleção de atuadores e válvulas que dependem da força necessária e da pressão (ALSSARRAF, 2007).

A força teórica ( $F_A$ ) de avanço para um atuador pode ser obtida pela equação (1):

$$F_A = \frac{\pi \cdot (D^2) \cdot p}{4} \quad (1)$$

A força teórica do retorno ( $F_R$ ) para um dado atuador é calculada pela equação (2).

$$F_R = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot p}{4} \quad (2)$$

Onde,  $F$  é a força dada normalmente em N,  $D$  é o diâmetro do êmbolo do atuador,  $d$  é o diâmetro da haste do atuador e  $p$  é a pressão disponível nas câmaras do atuador.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o intuito de atender as necessidades de ensino, através das aulas práticas do curso de engenharia mecânica, foi desenvolvido um projeto de uma serra pneumática automatizada, para corte de tubos. O projeto foi realizado com o *software* Solidworks®. Neste projeto foi idealizado um sistema totalmente integrado, capaz de ser utilizado para fins educativos. O sistema inclui vários componentes utilizados na automação pneumática, como válvulas e atuadores.

Organização



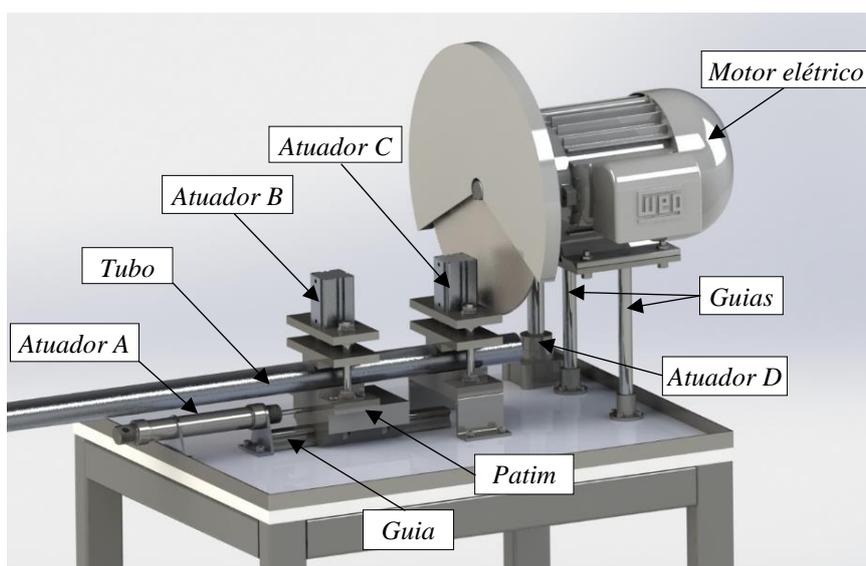
Promoção





Através do projeto, chegou-se a um sistema de construção e de operação simples. O projeto da bancada consiste de um motor de indução trifásico de 1 CV, um disco de serra de 300 milímetros de diâmetro, dois guias lineares, um guia linear com patim e quatro atuadores pneumáticos, conforme apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Projeto da bancada desenvolvida em SolidWorks®.



Através das equações 1 e 2 chegou-se no diâmetro dos atuadores pneumáticos. Para encontrar a força do atuador A, foi considerada a força de atrito entre o guia e o patim e a força peso do atuador B. Para o dimensionamento dos atuadores B e C, considerou-se as propriedades mecânicas e a geometria do material a ser cortado, neste caso, o alumínio, evitando a ocorrência da deformação do mesmo. Para o atuador D, a força foi calculada a partir do peso do motor, da serra e da força de atrito dos elementos guias. A Tabela 1 apresenta as dimensões dos atuadores selecionados.

Tabela 1 – Características dos atuadores.

Atuadores	Modelo	$\phi$ embolo (mm)	$\phi$ haste (mm)	Curso (mm)
A	MD 8	25	10	100
B	CP 10	32	10	30
C	CP 10	32	10	30
D	CVM	50	20	80

As funções de cada atuador são apresentadas: O atuador A, servirá para o avanço do tubo de alumínio, o atuador B, prenderá o tubo e auxiliará no avanço também, o atuador C fará a função de fixação, como um torno de bancada (morsa), com o único objetivo de prender o tubo para o corte. O atuador D, juntamente com os dois guias lineares, avançará e recuará o disco de corte.

Para o correto funcionamento da bancada didática foi desenvolvida uma sequência de movimentação dos atuadores pneumáticos, que atendesse a necessidade do processo de corte automático. A Figura 2 apresenta a sequência do movimento dos atuadores.

Organização

Promoção



Figura 2 - Diagrama “Trajeto x Passo”.

Passo Cilindro	Passo							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
A								
B								
C								
D								

Para a validação inicial da bancada, foram elaborados os circuitos eletropneumáticos no *software* FluidSIM®, utilizando os métodos: minimização dos contatos, maximização dos contatos e o sequencial-analítico.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Nessa seção serão apresentados a simulação via FluidSIM® dos circuitos eletropneumáticos, evidenciando-se a importância da construção desta unidade experimental. Além disso, serão apresentados os resultados de satisfação acadêmicos com relação ao desenvolvimento posterior desta unidade.

#### 3.1 Método cascata – minimização dos contatos

Primeiramente foram colocados os quatro atuadores, nomeados de A a D, em seguida foram inseridas as quatro válvulas de controle direcional 5/2 vias, acionadas por duplo solenóide. Da análise desse sistema pode-se concluir que esse circuito possui apenas dois setores, necessitando de apenas um rele (k), visto que neste método o número de reles é igual ao número de setores menos um (-1). Na Figura 3, tem-se a sequência do circuito que mostra o momento em que ocorre a mudança de setor, quando o mesmo atuador recua e avança sequencialmente.

Figura 3 – Sequência algébrica dos movimentos.

$$B + A + C + D - / D + B - A - C -$$

Setor I                      Setor II

A Figura 4 apresenta o circuito completo utilizando este método para a elaboração do circuito eletropneumático.

Organização

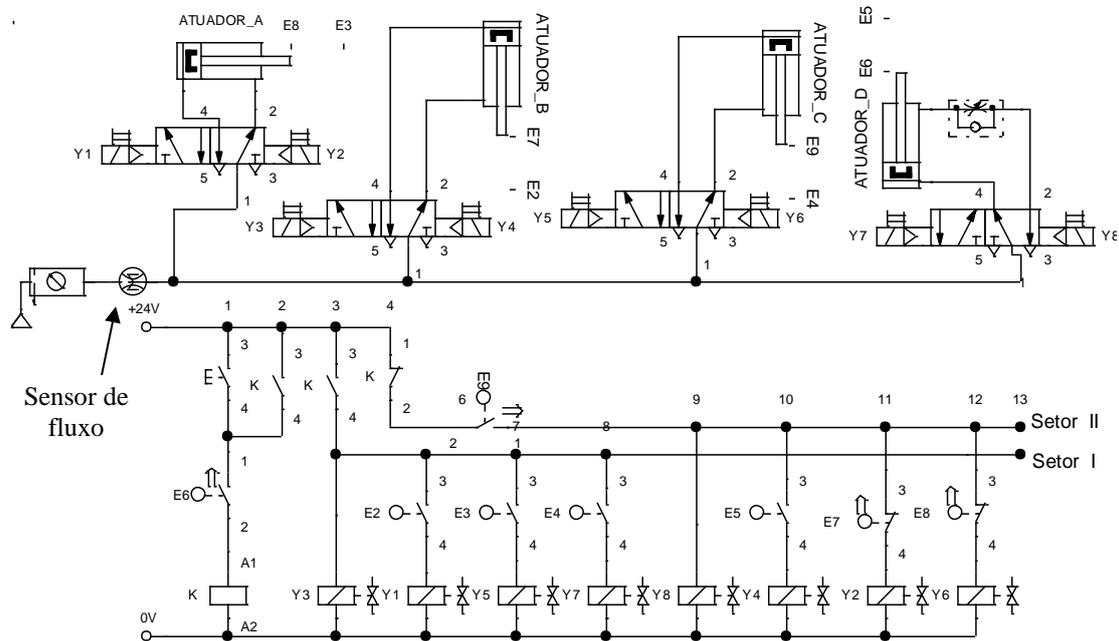


Promoção



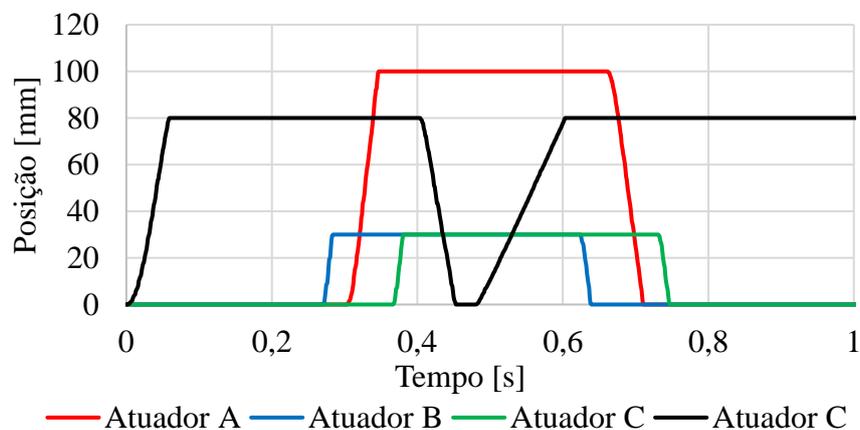


Figura 4 – Circuito eletropneumático utilizando o método de minimização dos contatos.



Analisando o circuito, observa-se que a minimização dos contatos torna o processo mais estruturado, havendo uma ordem sequencial de fases. Em contrapartida, não permite a atualização ou redefinição das fases anteriores, tampouco suporta modificações nos requisitos, e se ocorrer um atraso, todo o processo é afetado. Sua aplicabilidade pode se tornar ineficiente a partir da construção que envolva mais de cinco válvulas bidirecionais, especialmente numa eventual necessidade de correção de falhas no sistema, onde pode ser difícil sua detecção. Apesar de algumas desvantagens deste método, ele apresenta boa indicação, uma vez que os relés desempenham a função de inverter os setores, e estes, não armazenam informações dos movimentos anteriores. Dessa forma, evita-se a ocorrência indesejada de sobreposição de tensão na bobina das válvulas direcionais. A Figura 5 apresenta o momento em que cada cilindro é acionado, bem como o tempo de avanço e de recuo em cada dispositivo, via simulação no *software FluidSIM®*.

Figura 5 – Gráfico tempo x posição dos atuadores.





### 3.2 Método passo a passo – maximização dos contatos

No método passo a passo, ou também designado de maximização dos contatos, cada passo terá um relé para controle daquele passo, e por isso será composto de oito setores ao invés de dois, como apresentado no método anterior. A Figura 6 apresenta a sequência de movimentos.

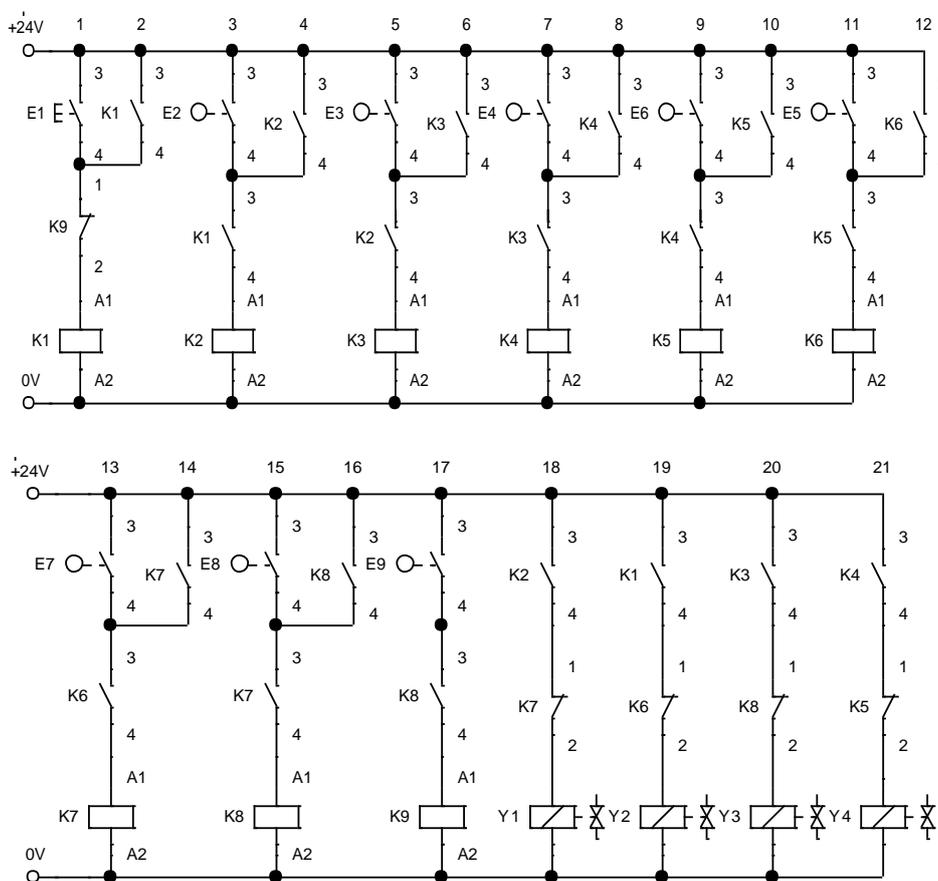
Figura 6 – Sequência algébrica dos movimentos em cada passo.

B+ / A+ / C+ / D- / D+ / B- / A- / C-  
 I    II    III    IV    V    VI    VII    VIII

Conforme a metodologia do método, foram utilizados nove relés. A função de cada um dos relés é fazer a auto retenção, habilitar o próximo passo e ligar os solenoides. O último relé, nesse caso o K9, tem como função desabilitar e reiniciar o circuito.

Para cada atuador, foi inserida uma válvula de controle direcional de 5/2 vias acionado por simples solenóide, já que neste método pode-se utilizar tanto duplo quanto simples solenóide. Na Figura 7 é apresentado o circuito elétrico de comando que será utilizado na bancada.

Figura 7 – Circuito eletropneumático utilizando o método passo a passo.



Organização



Promoção



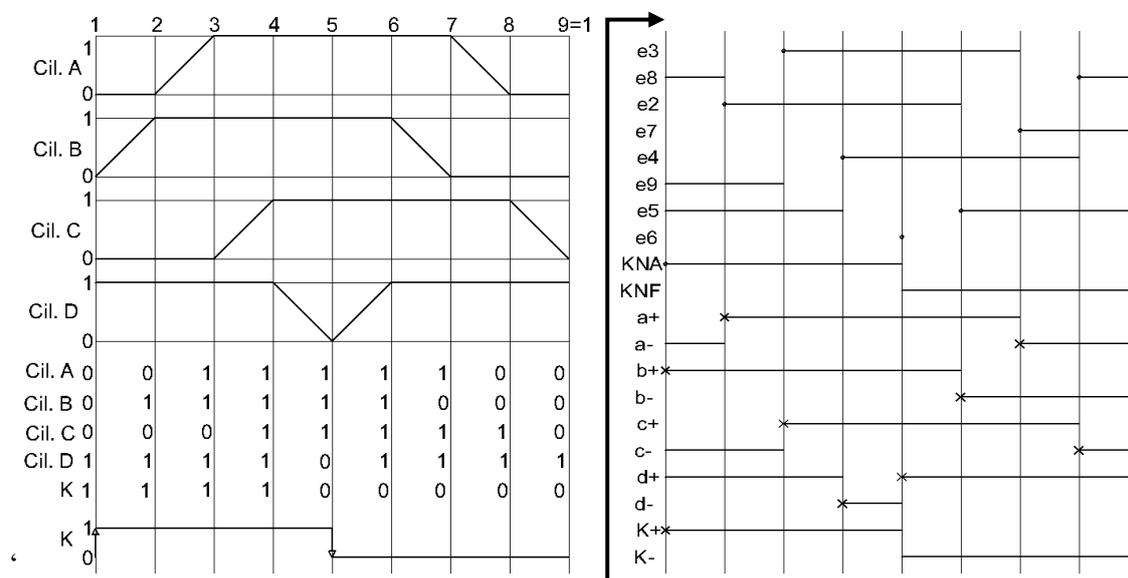


Neste método, foi utilizado um maior número de componentes, comparado ao método anterior, gerando conseqüentemente, um custo mais elevado. No entanto, como o passo seguinte será habilitado pelo passo anterior, disponibilizará uma maior segurança funcional ao sistema.

### 3.3 Método Sequencial-analítico

Para a execução do método sequencial-analítico, foi necessário a elaboração de um diagrama funcional para definir a solução de cada movimento, apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama do método sequencial-analítico para a bancada.



Verifica-se que os passos 4 e 6 possuem a mesma combinação (1, 1, 1, 1), assim como os passos 1 e 9 (0, 0, 0, 1) no posicionamento dos atuadores. Portanto, foi inserido um relé auxiliar que irá diferenciar a combinação desses passos.

A partir do diagrama sequencial analítico, foram obtidas as equações lógicas dos atuadores, mostradas na seqüência (Figura 8), que definem seus movimentos, utilizando circuito elétrico de controle do processo automatizado.

$$A^+ = E2 + \overline{E7} \cdot KNF \quad (3)$$

$$C^+ = E3 + E7 \cdot \overline{E8} \quad (4)$$

$$B^+ = KNA + \overline{E5} \quad (5)$$

$$D^+ = KNF + KNA \cdot \overline{E6} \quad (6)$$

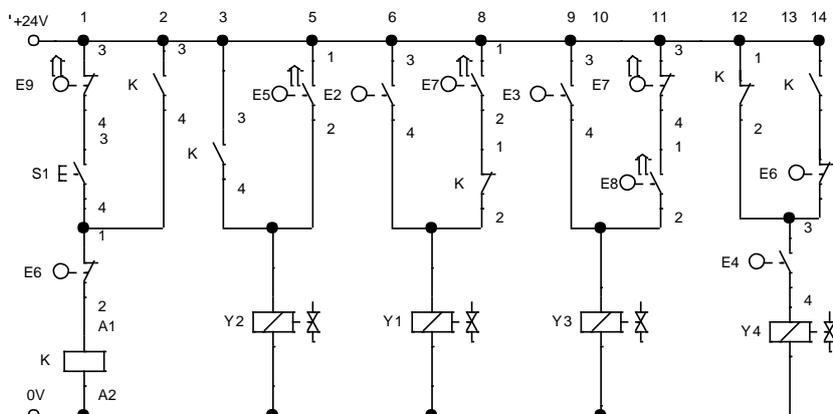
$$K^+ = E9 \cdot S1 + KNA \quad (7)$$

$$K^- = \overline{E6} \quad (8)$$

Através do diagrama, concluiu-se que todas as válvulas direcionais serão de única bobina com retorno por mola, e por isso não possuem equações da parte negativa. A Figura 9 apresenta o circuito elaborado a partir das equações (3) até (8).



Figura 9 – Circuito eletropneumático utilizando o método sequencial-analítico.



Além de realizar a simulação no *software* e avaliar a forma funcional dos circuitos pneumáticos do dispositivo, foi aplicado um questionário aos acadêmicos da instituição, para obter um feedback da bancada para possível aplicação real (Tabela 2). O questionário foi realizado com 38 acadêmicos do curso de engenharia mecânica para responder a quatro perguntas, referente à influência que a bancada trará ao ensino de engenharia.

Tabela 2 – Questionário realizado com os acadêmicos.

Na sua opinião, o desenvolvimento de bancadas didáticas promove a eficiência do ensino?			
Excelente	Bom	Regular	Fraco
68,42 %	31,58 %	0,00 %	0,00 %
Este experimento funcionaria como uma ferramenta para despertar o interesse dos alunos em aprender?			
Excelente	Bom	Regular	Fraco
57,89 %	39,47 %	2,63 %	0,00 %
Essa ideia pode fortalecer o vínculo entre escola e aluno, a fim de melhorar o aprendizado?			
Excelente	Bom	Regular	Fraco
52,63 %	39,47 %	7,89 %	0,00 %
É possível levar esse tipo de ideia para outros níveis de educação e outras áreas?			
Excelente	Bom	Regular	Fraco
60,53 %	36,84 %	2,63 %	0,00 %

Como pode ser visto na Tabela 2, a inserção de bancadas didáticas no ensino é muito bem vista pelos acadêmicos, pois além de promover a eficiência do ensino ajudam a motivar e ampliar a aprendizagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo realizado, pode-se concluir que o trabalho cumpre com o objetivo de melhorar o aprendizado dos acadêmicos, durante as aulas práticas, como uma

Organização



Promoção





plataforma de exercícios de atividades experimentais. As bancadas didáticas são ótimas ferramentas de auxílio para a realização de experimentos, possibilitando ao acadêmico, o entendimento de diversos sistemas, conhecer os componentes, e ao mesmo tempo, verificar na prática a teoria apresentada em sala de aula. Com a fabricação desta bancada, se construiria uma ponte de ligação entre o conhecimento teórico e prático, e ainda promoveria a eficiência de ensino, já que esta ferramenta é bem aceita pelos estudantes como pode ser visto nos resultados da pesquisa realizada.

A partir das atividades que serão feitas pelos acadêmicos na bancada, os mesmos poderão observar que embora o método cascata apresente regras a serem seguidas, não se pode presumir que se trata de algo simples. Projetar um circuito através do método cascata pode ser muito complexo, especialmente quando sistemas rígidos de segurança necessitam estar presentes, logo, quando há necessidade de segurança, o melhor dos métodos é método passo a passo. Destaca-se, contudo, o método sequencial-analítico é muito eficiente, pois através das equações, pode-se definir os tipos de válvulas direcionais, além da quantidade mínima e necessária de componentes, para o correto funcionamento do circuito.

Através dessa bancada os acadêmicos terão a oportunidade de ver na prática a aplicação dos métodos dos circuitos pneumáticos, e por fim avaliar as características de um projeto para a decisão de qual método é o mais adequado, devido às características de cada um, e o que pode torna-lo mais ou menos complexos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSSARRAF, A. A. Y at all. Design and Development of a Pneumatic Circuits Bench for Education Purposes. Faculty of Engineering, University of Blue Nile, P.O. Box 143, Elrosseris, Sudan. 2007.

BONACORSO, N. G. Noll, V. Automação Eletropneumática. 11ª ed. São Paulo: Érica, 2008.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 25ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GARCIA, M. V. R. Aplicação da metodologia seis sigma para melhoria de processo utilizando automação industrial. Universidade de Taubaté, São Paulo, 2008.

NOVAIS, José. Método sequencial para automatização electropneumática. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 461p.

PRUDENTE, Francesco. Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

RAKHMONOV, B. R. AKRAMOVA, F.M. Original educational devices and benches on basis of solar elements. Universidade Técnica Estadual de Tashkent, 2016.

SANTOS, Adriano. SILVA, Ferreira. Automação Pneumática. 2ª ed. Porto: Publindustria, edições técnicas, 2009. 319p.

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





SILVA, Clodoaldo. Introdução a pneumática. Set 2016.

TOLEDO, E. J. L. FERREIRA, L. H. Revista brasileira de ciência e tecnologia. A atividade investigativa na elaboração e análise de experimentos didáticos. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2016.

VASCONSELOS, N. O. MACHADO, E. *et al.* Análise Comparativa Entre os Métodos “Intuitivo” e “Cascata” Para Resolução de Problemas em Pneumática. Simpósio: XII - Simpósio de excelência em Gestão e tecnologia. Rio de Janeiro, AEDB: 2015.

## **ELABORATION OF ELECTROPNEUMATIC CIRCUITS USING AN AUTOMATIC SAW AS TOOL OF ENGINEERING TEACHING**

**Abstract:** *The practical classes with the use of didactic benches in engineering produce the development of the skills of cognitive procedures and processes, requiring the academic, from a problem situation, to elaborate a hypothesis, to plan, and to develop a methodology, so that in the end, results can be evaluated. It is common to use didactic equipment in higher education institutions to simulate the operation of the equipment, bringing theory closer to practice. These devices are fundamental in the academic scope for the understanding of theoretical principles, because with practice the student has the possibility to build a more solid knowledge. This work will demonstrate the application of the methods of construction of sequential electro pneumatic circuits, this content, developed in the disciplines of automation and pneumatic systems, based on an automatic saw, commonly used device in industrial sectors. This teaching method is also embedded in Project Based Learning (PjBL), which is widespread in pedagogical practices, which are currently in the field of higher education, as a proposal for motivation and intellectual development of academics. In the end, through the results obtained through the bench simulation and the poll done. In the end, through the results of simulation of the electropneumatic circuits and the research done by the academics, the project will be of great importance to strengthen the theoretical concepts involved.*

**Key-words:** *Didactic bench, Pneumatic circuits, Teaching in engineering*

Organização



Promoção

