

DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO E AUTOMAÇÃO DO FIXADOR DE MADEIRA DO CARRO PORTA TORA DE UMA SERRARIA EM ITAMARANDIBA – MG



10.56238/edimpacto2025.005-001

Heitor Misael Alves Neves

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Adriana da Silva Torres

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Moisés de Matos Torres

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

RESUMO

Devido ao crescente número de áreas destinadas ao reflorestamento e da demanda de madeira serrada, as empresas que prestam este tipo de serviço precisam aperfeiçoar os processos de produção. A automatização do carro porta toras pode influenciar na diminuição do tempo de fixação da madeira a ser serrada, aumentando a produtividade. Além disso, os equipamentos pneumáticos utilizados nos processos de fabricação possuirão maior robustez e vida útil. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo distribuir o ar comprimido e automatizar o fixador de madeira do carro porta tora de uma serraria, situada na cidade de Itamarandiba-MG. Foi realizado um *layout* da empresa para demonstrar onde será utilizado o ar comprimido e o percurso do ar pela empresa. Para a realização deste projeto foram utilizadas informações obtidas na literatura e dados coletados dentro da serraria. Foram realizados cálculos, utilizando-se manuais e catálogos de fabricantes de equipamentos para o dimensionamento das linhas de distribuição, alimentação, compressor, atuadores e volume do reservatório. Com isso, o sistema de ar comprimido bem dimensionado poderá atender às necessidades dos equipamentos da empresa tornando o empreendimento mais lucrativo e competitivo.

Palavras-chave: Automatização. Compressores. Dimensionamento de rede de distribuição.



1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da indústria brasileira de árvores (IBA, 2017), o Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas em 2016, devido exclusivamente ao aumento das áreas com silvicultura de eucalipto. As áreas com pinus e outros gêneros permaneceram inalteradas no período. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas do país e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%).

O estado com maior área de floresta plantada no Brasil é Minas Gerais, com 1.880.538 hectares em 2016, com 98% do gênero *Eucalyptus*. A madeira serrada aumentou a produção para 8.546.365 m³ (crescimento de 52,3%) (BOLETIM SNIF, 2017).

A atividade de madeira serrada brasileira é um dos maiores destaques entre os produtores de derivados sólidos de madeira. Esta atividade geralmente é realizada por um determinado segmento do mercado, as serrarias. Neste tipo de mercado, as peças são arranjadas através do desdobro de toras em serras, o que caracteriza um tipo de transformação primária da madeira (ABIMCI, 2009).

As serrarias são indústrias de pequeno porte que, na maioria das vezes contam com pequeno capital de giro, empregam maquinário de péssimas condições, de baixa produtividade e elevado desperdício de matéria prima.

Na maioria dos empreendimentos deste setor ocorre o desdobramento de madeiras (operação onde a tora é serrada longitudinalmente, gerando as denominadas tábuas ou pranchões), e esta atividade é realizada apenas com base na experiência dos funcionários que na maioria das vezes se reflete em um baixo rendimento e qualidade (VITAL, 2008).

No ano de 1896 surgiu a primeira serra alimentada por motor movido a corrente elétrica e desde então as serrarias se tornaram construções de grande porte, podendo ser construídas longe dos rios (LATORRACA, 2004, apud BATISTA, 2006). Com o aprimoramento das máquinas para serrar madeira e dos elementos de corte, juntamente com os motores elétricos, a automação dos processos industriais surge como necessária à produção em série e consequentemente elevando os rendimentos na produção (BATISTA, 2006).

O ar comprimido desempenha um papel importante na automação de muitos processos em uma serraria, ao ser utilizado para mover materiais, como toras empilhadas, ou empregado no controle do movimento das toras à medida que são utilizadas na serra fita. A utilização do ar comprimido na indústria é justificada pelo fato de que ele é um condutor de energia para variadas áreas de aplicações industriais (PACCO, 2013).

Com o crescente número de florestas renováveis e uma maior demanda pela utilização de madeiras no mercado atual, surge a necessidade de tecnologias que aperfeiçoem o desdobramento da



madeira. Entretanto, novas tecnologias também significam dispendiosos gastos para a aquisição deste tipo de maquinário e necessitam de um aporte de capital.

Neste sentido a automatização de modelos manuais (carros de porta tora) poderia minimizar custos uma vez que o empreendimento somente adequaria o maquinário já existente. Desta forma, a automação surge como uma grande ferramenta no aumento da produtividade ao reduzir horas trabalhadas/homens para realizar as atividades corriqueiras, além de manter uma maior segurança no ambiente de trabalho, diminuição de custos e obtenção de lucros.

1.1 OBJETIVO GERAL

Automatização do fixador de madeira do carro porta tora e distribuição do ar comprimido com foco em possibilitar uma maior produtividade no empreendimento.

1.1.1 Objetivo específico

Determinar qual tipo de sistema seria o mais adequado para o dimensionamento de equipamentos como compressores, tubulações e atuadores.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será desenvolvida uma breve descrição sobre a pneumática atrelada a máquinas utilizadas em serrarias. Na automação industrial, para a geração de movimentos em máquinas é necessário empregar tecnologias tais como a pneumática e a hidráulica. Estas ciências são as principais utilizadas para substituir os trabalhos manuais, como na abertura de portas de ônibus e freios automotivos (PAVANI, 2011).

2.1 PNEUMÁTICA

A etimologia da palavra pneumática vem do grego *pneuma*, que é sinônimo de vento, sopro, desta forma, esta ciência trata dos movimentos e fenômenos dos gases (FIALHO, 2011). A qual estuda o comportamento do ar comprimido, aplicada na engenharia para a transmissão de energia, para movimentação, fixação e transporte de peças. A utilização da pneumática se tornou um meio relativamente barato e simples devido as suas propriedades (SILVA, 2002).

A produção de ar comprimido, nada mais é que, a acumulação de energia para o acionamento de engenhos diversos em aplicação mecânica, ou para participação como um integrante relevante na transformação de matérias primas em processos de produção industrial (SCHULZ, 2002). Os pontos positivos do ar comprimido são, a quantidade (podendo ser encontrada em qualquer lugar), transporte (possui facilidades de ser transportado por tubulações), armazenamento (é possível armazenar para depois ser usada), temperatura (não influencia no trabalho), segurança (não existe perigo de ocorrência



de incêndio e explosão), limpeza (possibilidade de se liberar em qualquer lugar sem tratamento), velocidade (permite o alcance de altas velocidades de trabalho e facilidade de manutenção) (FIALHO, 2011).

Dentre os pontos negativos que temos com a pneumática, tem-se a preparação do ar comprimido, onde é necessário que o mesmo não apresente impurezas e umidade, detalhes que podem acarretar em desgaste nos equipamentos e oxidação das tubulações. Além do alto custo para obtenção do ar comprimido uma vez que o gasto com energia é elevado, este problema é minimizado pelo baixo custo de instalação e rentabilidade do ciclo de trabalho. A força também aparece como outro problema, uma vez que limita a utilização de pressão máxima de 1723,6 kPa, valor pequeno quando comparado ao sistema hidráulico (FIALHO, 2011).

Para a utilização da pneumática, primeiro é imprescindível que o ar passe por um processo de tratamento e preparação, pois este é constituído por aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases. O ar apresenta ainda em sua composição, contaminantes como água em forma de vapor d'água, óleo e poeira. O processo se inicia com o ar passando pelas fases de filtração, compressão, resfriamento, secagem, armazenamento, distribuição e tratamento (SILVA, 2002).

2.1.1 Filtragem

A filtragem ocorre com a utilização de um filtro de ar que retém as partículas de impurezas e água condensada contida no ar, como representado na Figura 1. O funcionamento do filtro se dá quando o ar entra no mesmo forçando-o a um movimento de rotação por meio de fenda direcional. Pela força centrífuga e do resfriamento causado pela velocidade, a água condensa e fica depositada no fundo do filtro juntamente com as partículas sólidas que foram lançadas de encontro à parede do filtro. Posteriormente este resíduo é drenado do filtro podendo ser de forma manual ou automática (MARINS, 2009).

Figura 1: Filtro de ar

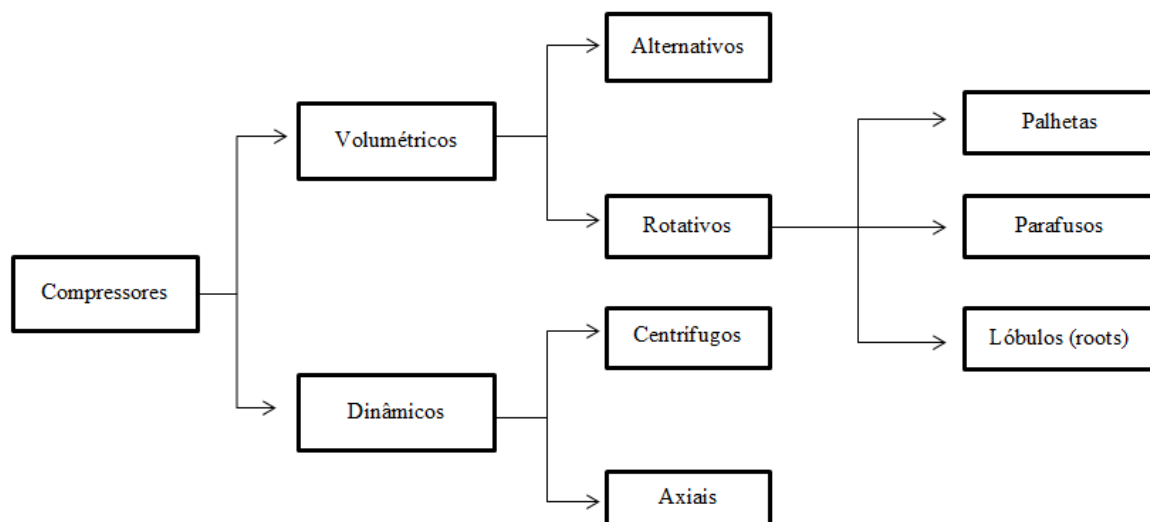


Fonte: PARKER TRAINING, 2006, p. 42.

2.1.2 Compressão

Para que haja a compressão do ar são utilizadas máquinas denominadas de compressores, que são responsáveis por realizar trabalho sobre um fluido compressível ao se elevar a pressão em decorrência da diminuição de um volume de ar (PEIXOTO; INDRUSIAK, 2011). Os compressores podem ser classificados como de deslocamento positivo (volumétrico) ou dinâmico, como mostrado na Figura 2. Nos casos de deslocamento positivo (volumétrico), o ar é admitido em uma câmara isolada do meio sendo seu volume comprimido e empurrado para o tubo de descarga, sendo que este tipo de compressor pode ser dividido em alternativo e rotativo (PAVANI, 2011).

Figura 2: Classificação dos compressores.



Fonte: Adaptado de FIALHO, 2011, pg. 42.

Os compressores volumétricos alternativos se utilizam de um êmbolo (pistão) que acoplado a uma biela e um eixo excêntrico executa movimentos de forma alternada (subida e descida do pistão), podendo ser de dupla ou simples ação, como pode ser observado na Figura 3 (PARKER TRAINING, 2000). Os de dupla ação são aqueles que têm duas câmaras de compressão no mesmo pistão, uma acima e outra abaixo. Outro tipo de configuração é a utilização de múltiplos estágios de compressão, no qual o ar comprimido em uma câmara de combustão passa por outra câmara de combustão aumentando assim a sua pressão. Os compressores alternativos são indicados para a compressão de gases tóxicos, corrosivos e inflamáveis, além de apresentarem boa relação entre as temperaturas de sucção e descarga (CACHONIS *et. al.*, 2011).

Figura 3: Compressor a pistão com reservatório e motor elétrico.



Fonte: SCHULZ, 2018

Os compressores rotativos podem ser do tipo parafuso, *scroll*, palhetas e pistão rolante (MACAGNAN, 2015). Compressores do tipo parafuso apresentado na Figura 4 são os mais comuns

sendo compostos de dois rotores em forma de parafuso que girando em sentido oposto dentro de uma carcaça faz com que o ar se desloque pelo parafuso tornando-se mais comprimido. Já o compressor de paletas possui um rotor descentralizado e paletas que delimitam o espaço do ar, no movimento de rotação do rotor, as paletas ao possuírem um movimento radial fazem com que o ar seja comprimido no sentido da carcaça do rotor (SILVA, 2002).

Figura 4: Compressor de ar de parafuso com reservatório e motor elétrico.



Fonte: SCHULZ, 2018

Já os compressores dinâmicos são formados por duas peças centrais: impelidor e difusor. Neste tipo de compressor, a pressão é obtida através da conversão de energia cinética em energia de pressão, quando o ar é acelerado pelo impelidor que é um rotor constituído de pás que transfere energia cinética ao ar quando o mesmo passa pelo difusor, órgão responsável pela transformação da energia cinética do gás em entalpia (PARKER TRAINING, 2000).

Os compressores dinâmicos são divididos em centrífugos (radial) e axiais. No primeiro tipo, o escoamento do ar é perpendicular ao eixo enquanto que no segundo, tanto a aspiração como a descarga ocorrem no mesmo sentido axial paralelo ao eixo e a aceleração ocorre por meio de hélices (PAVANI, 2011).

2.1.3 Resfriamento

A etapa de resfriamento é necessária para evitar a dilatação da linha de distribuição do ar comprimido e este processo de resfriamento ocorre pela passagem do ar comprimido quente e úmido proveniente do compressor para um trocador de calor, sendo que este resfriamento leva a uma condensação de água (FARGON, 2018). Após o resfriamento é necessário a utilização de um equipamento denominado secador de ar que tem por objetivo secar o vapor de água gerado no ar comprimido, ao condensar e separar a água condensada (PEIXOTO e INDRUSIAK, 2011).

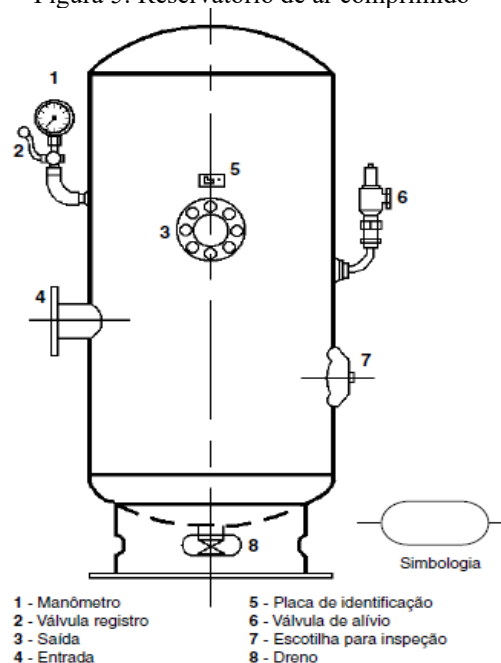
2.1.4 Secagem

Dentre os principais tipos de secadores podemos citar os por refrigeração, em que um ciclo frigorífico retém de forma contínua, uma superfície gelada pela qual escoar o fluxo da mistura; por adsorção, por meio de um processo físico. Através deste processo, uma substância de elevada capacidade higroscópica agrega massa de água, por absorção, por meio de uma substância química também com grande capacidade higroscópica incorporando massa de água. Desta etapa é gerada outra substância que pode ser descartada; por membrana, utilizando-se de um meio filtrante especial (FARGON, 2006).

2.1.5 Armazenamento e distribuição

Posteriormente ao tratamento do ar comprimido, o próximo passo é o processo de armazenamento e distribuição, no qual o reservatório de armazenamento, representado na Figura 5, tem como seu principal objetivo a estabilidade da distribuição do ar comprimido, não deixando ocorrer oscilações de pressão e reduzindo o consumo de energia do compressor. No processo de distribuição requer-se um correto dimensionamento e montagem das tubulações, pois a esta requer manutenções regulares, não podendo ser instalada dentro de paredes. Normalmente as redes de distribuição são constituídas de tubos de aços carbono ou galvanizadas (FIALHO, 2011).

Figura 5: Reservatório de ar comprimido



Fonte: PARKER TRAINING, 2006, pg. 18.

Segundo Parker Training (2006), para dimensionar um reservatório é necessário empregar os seguintes parâmetros:



- Compressores a pistão: o volume do reservatório será igual a 20% da vazão total do sistema em m³/min.
- Compressores rotativos: o volume do reservatório será igual a 10% da vazão total do sistema em m³/min.

O sistema de distribuição tem como tarefa conduzir o ar comprimido dos compressores e/ou reservatórios até o local de uso, sendo que o sucesso deste sistema está relacionado com a capacidade de transportar o ar comprimido com as menores perdas possíveis (OLIVEIRA *et. al.*, 2015).

A função básica da distribuição é fazer a interligação entre o equipamento gerador ao consumidor, e esta rede de distribuição pode ser tanto de circuito aberto quanto fechado, sendo que no circuito aberto deve-se atentar para uma inclinação do circuito capaz de drenar o condensado formado. Este tipo de rede é muito utilizado para levar ar em pontos distantes, mas impede de ter-se uma distribuição uniforme na rede. Por outro lado, a rede de distribuição fechada possui distribuição uniforme que facilita a manutenção ao não ser necessário parar o processo, todavia não apresenta um sentido para o escoamento do condensado. É possível obter-se ainda uma rede de distribuição combinada (aberta e fechada) (PAVANI, 2011).

Para o dimensionamento da tubulação, segundo Fialho (2011), o diâmetro mínimo preciso para dimensionar a tubulação principal de ar comprimido é obtido por meio da Equação 1. Essa equação também é utilizada para estimar o diâmetro interno da tubulação e para o dimensionamento do diâmetro da linha de alimentação. Para a utilização desta equação devem-se ajustar os valores das variáveis de vazão e comprimento.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} Q^{1,85} L_t}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (1)$$

Onde:

- d = Diâmetro interno da tubulação, em mm;
- Q = Volume de ar (vazão total dos equipamentos + futura ampliação, em m³/h);
- L_t = Comprimento total da linha (somatório do comprimento linear da tubulação e do comprimento equivalente ocasionado pelas singularidades (tês, curvas, registros), em m);
- ΔP = Queda de pressão admitida (perda de carga em função dos atritos internos da tubulação e das singularidades, em kgf/cm²);
- P = Pressão de regime (pressão do reservatório de armazenamento, em kgf/cm²).

2.1.6 Unidade de tratamento

Logo após o processo de produção, tratamento e distribuição, o ar comprimido passa pela última benfeitoria, passando por uma unidade de conservação ou unidade de preparação composta por um filtro, uma válvula reguladora da pressão e da adição de um pouco de óleo para a lubrificação das partes mecânicas dos equipamentos pneumáticos (PAVANI, 2011). Estas unidades de tratamento também conhecidas como “lubrefil”, representado na Figura 6, são imprescindíveis, pois permitem uma boa eficiência do maquinário, além de aumentarem sua vida útil, podendo ser utilizadas desde os sistemas mais simples até os mais robustos (BLOCH apud CORADI, 2011 e CORADI, 2011).

Figura 6: Unidade de tratamento lubrefil.



Fonte: SCHULZ, 2018.

Para a realização do trabalho do ar comprimido são utilizados atuadores que transformam energia contida no ar em trabalho (PARKER TRAINING, 2000). Dos tipos de atuadores existentes, têm-se os lineares que transformam energia pneumática em movimento retilíneo e são representados por cilindros pneumáticos e os atuadores rotativos que geram momentos torsores e são muito empregados em motores pneumáticos (PAVANI, 2011).

2.1.7 Atuadores

Os atuadores podem possuir modelos como o de simples ação, em que o ar comprimido é acionado por um lado e seu retorno é feito por meio de mola, fazendo com que o pistão retorne a sua

posição inicial, nesse tipo de atuador, o trabalho se dá apenas em uma direção. Os atuadores de duplo efeito ou ação como representado na Figura 7, podem realizar trabalho tanto no avanço quanto no recuo do atuador, sendo empregados na maioria dos casos em que se necessita de força nos dois sentidos (PARKER TRAINING, 2000). Os atuadores podem possuir amortecimento, muito utilizado para evitar impactos nos fins de curso aumentando assim a sua vida útil. Tem-se outras configurações de atuador como, o de haste dupla (passante) onde o mesmo apresenta duas hastes conectadas em um êmbolo, atuadores formados por dois êmbolos unidos pela mesma haste e que possuem entrada de ar independente, onde sua força é o somatório das forças produzidas por cada êmbolo apresentando assim maior força neste tipo de atuador (PARKER TRAINING, 2000). O atuador linear de posição múltipla é constituído de dois atuadores de dupla ação unidos com câmaras de ar (PAVANI, 2011).

Figura 7: Atuador pneumático



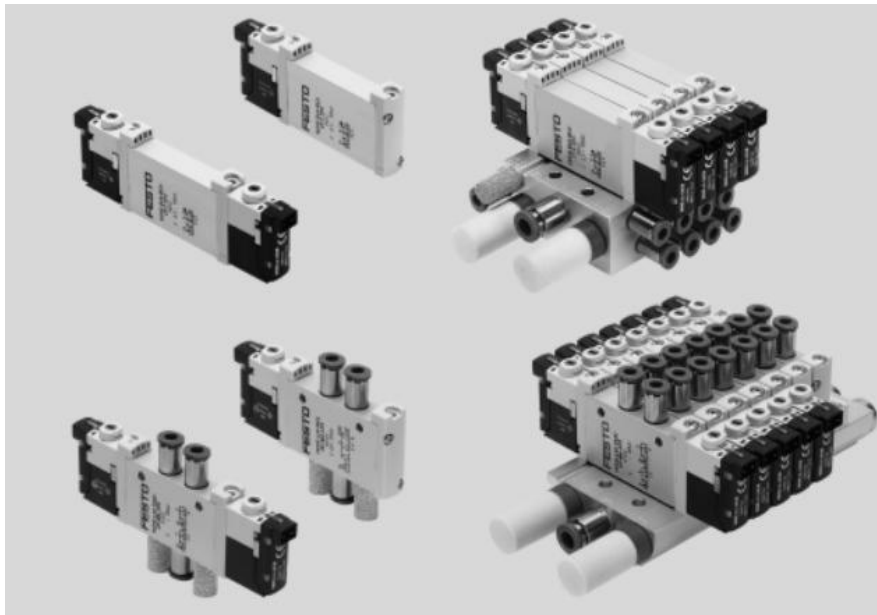
Fonte: FESTO, 2018.

Fazendo uma divisão na pneumática em comandos os atuadores são os elementos de trabalho, ainda temos os elementos de sinais e de comando sendo que este último tem a finalidade de controlar o fluxo do ar comprimido. Estes elementos são conhecidos como válvulas (MARINS, 2009).

2.1.8 Válvulas

As válvulas podem ser classificadas de acordo com sua função, sendo as mais utilizadas: as válvulas direcionais, de bloqueio, controle de fluxo e de controle de pressão. As válvulas são constituídas de símbolos e quadrados sendo os quadrados as posições e as vias são representadas pelas setas. Apresentam nas válvulas os tipos de comando de retorno podendo ser ele mecânico através de roletes que são válvulas de fim de curso molas já o manual necessita de força muscular e através de botão, alavanca e pedal os elétricos são feitos através de sinais elétricos através de solenoides (PAVANI, 2011). Na Figura 8 é representado modelos de válvulas pneumáticas.

Figura 8: Válvulas



Fonte: FESTO, 2018.

A eletropneumática surge como um braço da pneumática responsável por usufruir da energia elétrica, aspecto muito relevante no acionamento de válvulas direcionais e proporcionais, além de energizar vários tipos de sensores (FIALHO, 2011).

2.2 NA SERRARIA

A serraria é um tipo de estabelecimento que geralmente tem como objetivo principal o mercado de desdobramento de toras para os mais diversos fins econômicos.

O maquinário mais empregado no desdobro são serras de quadro ou alternativas, serras circulares, serras de fita e carro porta toras, estes equipamentos são responsáveis por atividades que geram produtos como pranchões, tábuas, ripas (DA SILVA, 2010, ROCHA, 2002).

Das máquinas utilizadas nas serrarias, podemos elencar a serra fita, como o equipamento mais utilizado, devido a sua grande mobilidade em diversos empregos. Ela é composta basicamente de uma lâmina de aço contínua tencionada por dois volantes (ROCHA, 2002). Como pode ser observada pela Figura 9.

A serra fita quando é usada no desdobro principal, geralmente a tora é presa a um carrinho móvel, equipamento com a função de levá-la até a serra fita a uma velocidade determinada, podendo ser utilizado neste equipamento com controle do tipo manual ou automático. Este carrinho é conhecido como carro porta toras e normalmente possui de três a quatro garras que se fixam na madeira, e que se afastam e se aproximam da serra em conjunto, conforme Figura 10 (ROCHA, 2002).

Figura 9: Serra fita



Figura 10: Carro porta tora convencional



Fonte: SHIFFER, 2018.

3 ANÁLISE DO PROBLEMA

O presente trabalho foi realizado em uma serraria de pequeno porte em Itamarandiba, situada na região nordeste de Minas Gerais. A empresa trabalha exclusivamente com toras de madeira reflorestada do gênero *Eucalyptus* sp., que são desdobradas em ripas e pranchões.

A serraria é composta por maquinário variado utilizado no corte e acabamento da madeira, como uma serra fita, carro de porta tora manual (suas dimensões são de 5 x 1 x 0,8 metros de comprimento, abertura e altura respectivamente), serra fita de bancada, serra circular e desengrosso. Estas máquinas possuem motores elétricos além de disporem de um compressor usado para envernizar as peças fabricadas. A empresa possui ainda em seu almoxarifado, máquinas elétricas, como furadeira, parafusadeira e lixadeira, utilizadas no acabamento e na montagem das peças.

Com a necessidade de aumentar a produtividade da madeira, e especificamente da madeira serrada, notou-se que existe certa demora na fixação das toras no carro de porta tora. Sabe-se que os carros porta tora automáticos possuem facilidade e rapidez em fixar as madeiras, sendo assim foi proposto um estudo com futura implantação da automatização do carro porta tora com a utilização de atuadores pneumáticos responsáveis pela fixação das toras no carro que o empreendimento já possui. Como será utilizado sistema pneumático na automatização do carro porta tora far-se-á uma distribuição do ar pela empresa a fim de trocar o maquinário elétrico pelo pneumático.

4 METODOLOGIA

Depois de uma análise detalhada do ar comprimido, dos seus processos de produção, distribuição e preparação do ar e da metodologia que será utilizada, partiu-se para a apresentação do layout da empresa, dimensionamento das linhas de distribuição, alimentação e escolha do compressor.



Para um menor custo de produção em uma empresa, é utilizado em alguns casos o ar comprimido. Com uma rede de ar bem dimensionada é possível diminuir o consumo de energia e proporcionar maior vida útil aos equipamentos pneumáticos. Desta forma é imprescindível a escolha dos melhores caminhos para a execução do dimensionamento do sistema de ar comprimido.

Neste estudo serão levantados os equipamentos que fazem uso do ar comprimido, além de especificar o volume de ar consumido, pressão necessária para o funcionamento e sua localização para traçar as linhas de alimentação e distribuição dos fixadores do carro porta tora para uma serraria.

Para a realização dos cálculos referentes aos diâmetros da tubulação, primeiramente foram selecionados os equipamentos pneumáticos que serão usados na serraria, sendo estes listados abaixo, bem como a sua função.

- 2 bicos de limpeza: utilizados na remoção de material particulado;
- 1 lixadeira: usada no acabamento e na remoção de rebarbas da madeira;
- 1 pistola de pintura: usada para envernizar peças de madeira.

O valor de vazão foi seguido conforme as descrições dos equipamentos contidas no manual do fabricante.

Em relação ao dimensionamento dos atuadores do carro porta tora serão levados em consideração a abertura da serra fita. Esta apresenta uma distância entre os volantes de um metro de comprimento e tem o poder de serrar toras de madeira de até 80 centímetros de diâmetro. Sendo assim utilizar-se-á:

- 4 atuadores de 1 metro de deslocamento;
- 2 botões elétricos para permutar a válvula de controle direcional eletropneumática;
- 1 botão alto travante pneumático, 3 vias e 2 posições com retorno por mola usado em caso de emergência;
- 1 válvula de controle direcional eletropneumática de 5 vias e 2 posições.

Segundo Fialho (2011), para se calcular o consumo de ar do atuador é utilizada a Equação 2:

$$Q = \frac{A_p \cdot L \cdot (P_t + 1,013)}{T \cdot 1,013 \cdot 10^6} \quad (2)$$

Onde:

Q = Fluxo de ar [l/seg].

A_p = Área efetiva do pistão [mm²]. $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$

L = Curso [mm].

P_t = Pressão de trabalho [bar].



T= Tempo para um ciclo em segundos [s].

Ao considerar que, o tempo gasto para serrar a madeira é de 30 segundos e que o atuador escolhido foi o linear de dupla ação com diâmetro do êmbolo igual a 63 mm, força teórica a 6 bar igual a 1682 N, conforme manual do fabricante (FESTO, 2018). O valor da vazão será dado pela Equação 2.

$$Q = \frac{\frac{\pi \cdot 63^2}{4} \cdot 1000 \cdot (6 + 1,013)}{30 \cdot 1,013 \cdot 10^6} \quad (3)$$

Q=0,72 l/s ou 2,6 m³/h

A Tabela 1 apresenta os equipamentos pneumáticos que serão utilizados na empresa com suas vazões e pressões recomendadas pelo fabricante.

Tabela1: Equipamentos e suas vazões e pressões utilizados na empresa.

Equipamento	Quantidade	Pressão (bar)	Vazão Unitária (m³/h)	Vazão Total (m³/h)
Bico de limpeza	2	5,89	25,2	50,40
Lixadeira	1	6,00	33,98	33,98
Pistola de pintura	1	3,40	24,64	24,64
Atuadores	4	6,00	2,60	10,40
Total	8			119,42

Fonte: Catálogos dos fabricantes STEULA, 2014; V8BRASIL, 2018; MAXX TOOLS, 2018; FESTO, 2018.

De acordo com a tabela é possível notar que a vazão total corresponde a um valor de 119,42 m³/h. Segundo Parker (2006) depois de ter obtido a vazão total dos equipamentos deve-se determinar um fator entre 20% e 50% para futuras ampliações do empreendimento. Partindo da concepção de uma análise de máximo crescimento da empresa nas futuras instalações adotou-se a uma porcentagem de 50% de aumento. Passando a vazão a um valor aproximado de 179,13 m³/h, a ser usado para o dimensionamento das tubulações. As tubulações serão divididas em duas linhas, a de distribuição, responsável por levar o ar do compressor até a linha de alimentação e terá um comprimento de 75 metros, enquanto que a linha de alimentação, responsável por levar o ar da linha de distribuição até o equipamento apresenta um comprimento de 3 metros.

Já para os atuadores do carro porta tora será necessário, um comprimento de linha maior, pois se tem o deslocamento do carro tanto para frente quanto para trás. Dessa forma usar-se-á um comprimento de 10 metros até a válvula de controle de direção. Observa-se que todas as dimensões aqui definidas levam em consideração o tamanho do carro porta tora já existente e que será automatizado. As singularidades das curvas, registros e meios de ligações de tubos (tês) das linhas de distribuição e alimentação foram obtidas para seus comprimentos equivalentes. Como o ar comprimido



sofre queda de pressão ao longo da tubulação pelo atrito e por outras singularidades, um bom dimensionamento da linha deve adotar uma queda de pressão admissível de $0,3 \text{ kgf/cm}^2$ (FIALHO, 2011).

Uma pressão de regime (pressão em que o ar é armazenado no reservatório) varia de 6 kgf/cm^2 a 12 kgf/cm^2 , então neste trabalho será adotada uma pressão de regime de 10 kgf/cm^2 , suficiente para uma pressão de trabalho de 6 kgf/cm^2 (FIALHO, 2011).

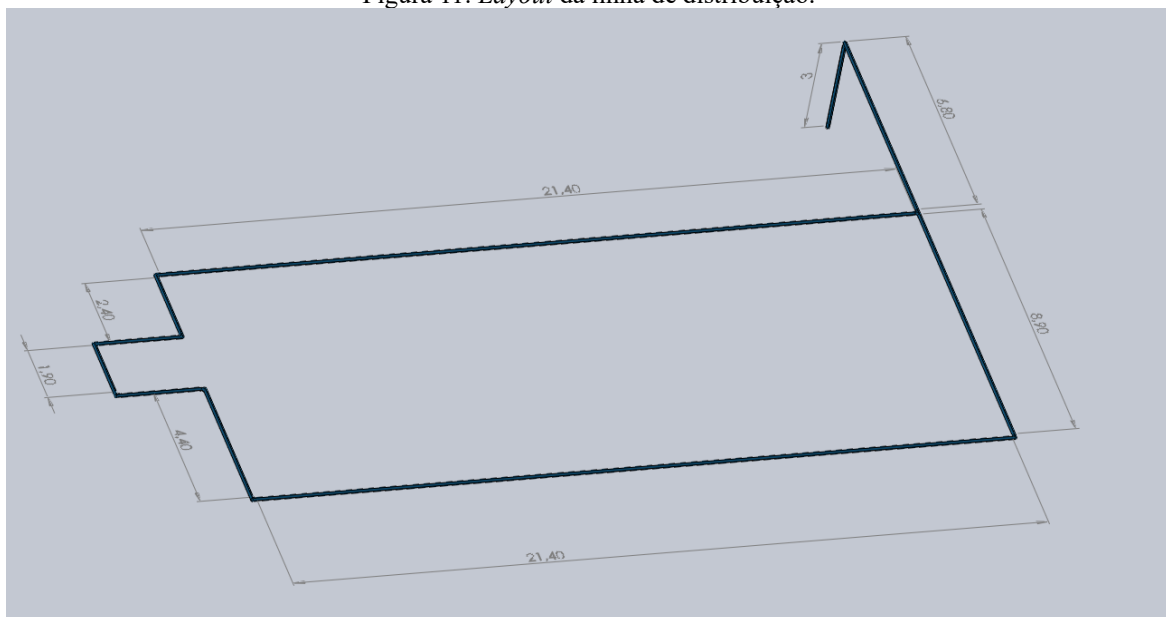
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para dimensionar a rede de ar pneumática conforme a necessidade da empresa foi necessária o desenvolvimento do *layout* da mesma. Dessa forma diversas aferições foram realizadas com o intuito de determinar o menor caminho das tubulações e assim a definição do caminho percorrido pela rede de ar.

Para a definição do layout levou-se em consideração o melhor circuito (fechado ou aberto) para o sistema, ao analisar as vantagens e desvantagens de cada um. Optou-se pela escolha do circuito fechado, pois este tipo de circuito possibilita ao ar fluir para os dois lados, uniformizar a alimentação. Além de favorecer a instalação de outros pontos de consumo não previstos, uma vez que a rede percorre toda a empresa.

O *layout* das linhas de distribuição e alimentação foi desenvolvido com o auxílio do software *Autodesk Inventor*. A linha de distribuição que liga o compressor a linha de alimentação está representada na Figura 11.

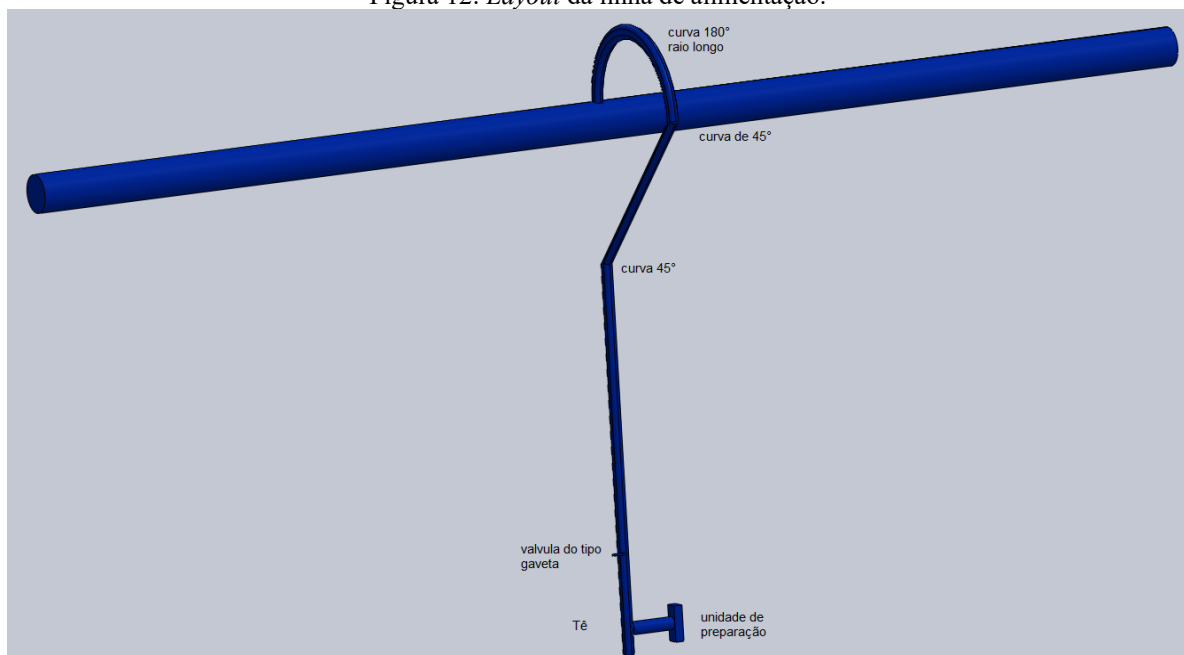
Figura 11: *Layout* da linha de distribuição.



Fonte: Próprio autor.

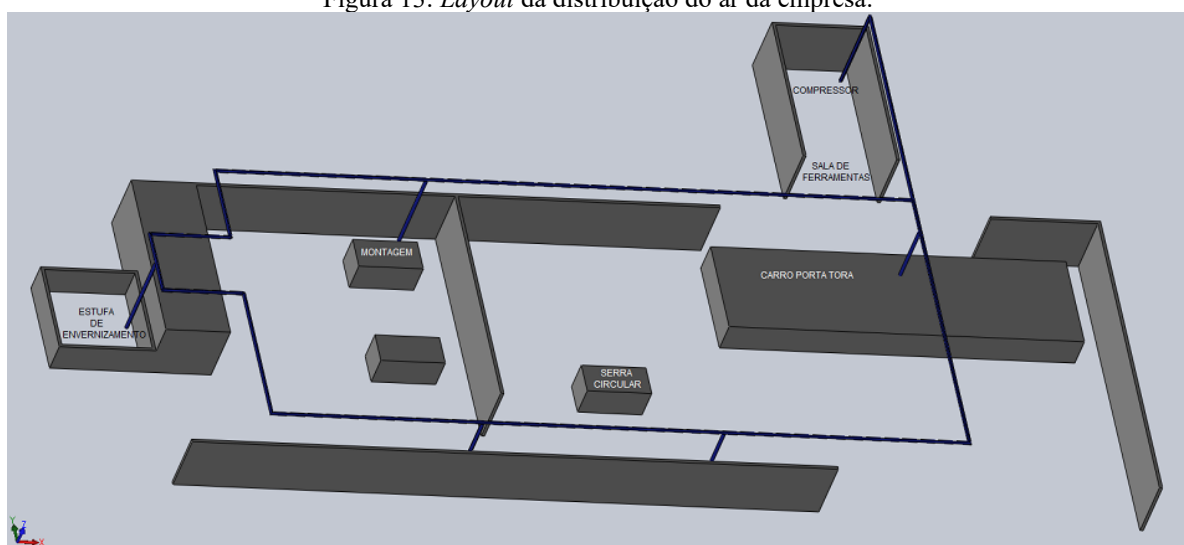
A linha de alimentação, responsável por ligar a linha de distribuição ao equipamento conforme está sendo representado pela Figura 12. O projeto prevê que a linha de alimentação possua um registro para manutenção da unidade de preparação sem que a mesma desligue a linha de distribuição, ressaltando-se ainda que o ar seja fornecido pela parte superior da tubulação da linha de distribuição, para evitar que condensados formados vão para a linha de alimentação. Já na Figura 13 é possível observar o desenho de como as linhas de alimentação e distribuição deverão ficar na serraria em Itamarandiba - MG.

Figura 12: *Layout* da linha de alimentação.



Fonte: Próprio autor.

Figura 13: *Layout* da distribuição do ar da empresa.



Fonte: Próprio autor.



Para o dimensionamento da linha de distribuição, primeiramente dimensiona-se a linha de distribuição que conduzirá ar do compressor até a linha de alimentação. Os parâmetros coletados da linha são:

- Comprimento da tubulação linear: 75 metros;
- Queda de pressão admitida: 0,3 kgf/cm²;
- Pressão de regime: 10 kgf/cm²;
- Volume de ar com futura ampliação: 179,13 m³/h;
- Singularidade (a ser calculada);
- 5 válvulas do tipo gaveta rosqueada;
- 8 curvas de 90° de raio longo rosqueadas;
- 1 tê rosqueado de fluxo em ramal;
- 5 tê rosqueados de fluxo em linha;

Cálculo do diâmetro da tubulação pela Equação 1.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 179,13^{1,8575}}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (4)$$

d=36,1mm

A linha principal pode ser confeccionada em tubo de aço galvanizado ou preto conforme a Norma ASTM A-120 Schedule 40, entretanto para o diâmetro de 36,1 mm não foi possível encontrar valores correspondentes na referida norma (FIALHO, 2011). Desta forma usar-se-á um valor maior, 1.1/2 polegadas que corresponde a 40,9 mm de diâmetro interno. Este dado será usado para calcular o comprimento equivalente, onde o mesmo considera todas as singularidades (valor adicionado referente a curvas, registros, tê) existentes na linha de distribuição. Na Tabela 2 a seguir encontram-se os valores das singularidades da linha de distribuição.

Tabela 2: Singularidades da linha de distribuição.

Singularidade	Qtd	Comp. Equi. (m)	Total (m)
Válvulas do tipo gaveta rosqueadas	5	0,37	1,85
Curva de 90° de raio longo rosqueada	8	1,00	8,00
Tê rosqueado com fluxo em ramal	1	3,00	3,00
Tê rosqueado com fluxo em linha	5	1,70	8,50
Total	19		21,35

Fonte: FIALHO, 2011, pg. 290 e 291.

De posse destes dados obtém-se o comprimento total da linha de distribuição Lt, será:



$$L_t = L_1 + L_2 = 75 + 21,35 = 96,35 \text{ m}$$

Aplicando a Equação 1 para o diâmetro.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 179,13^{1,85} \cdot 96,35}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (5)$$

$$d = 37,9 \text{ mm}$$

Ao refazer os cálculos com o comprimento das singularidades, o valor do diâmetro encontrado será de 37,9 mm, valor menor que aquele referente a 1.1/2 polegadas (40,9 mm). Dessa forma o diâmetro nominal da linha de distribuição adotado também para este caso será de 1.1/2 polegadas.

Para o dimensionamento da linha de alimentação segue-se o mesmo princípio usado para o cálculo da linha de distribuição, em que primeiramente será dividir a vazão total pelo número de linhas de alimentação (FIALHO, 2011).

$$\frac{179,13 \text{ m}^3/\text{h}}{5} = 35,82 \text{ m}^3/\text{h}$$

A linha de alimentação apresenta as seguintes características:

- Comprimento da tubulação linear: 3 m;
- Pressão de regime: 10 kgf/cm²;
- Queda de pressão admitida: 0,3 kgf/cm²;
- Volume de ar: 35,82 m³/h.

Aplicando a Equação 1 para o diâmetro da linha de alimentação.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 35,82^{1,85} \cdot 3}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (6)$$

$$d = 10,4 \text{ mm}$$

Para o diâmetro de 10,4 mm não foram encontrados valores de referência conforme a Norma ASTM A-120 Schedule 40, para o tubo de aço preto ou galvanizado (FIALHO, 2011). Sendo assim usar-se-á um valor maior, 3/8 de polegada que corresponde a 12,6 mm de diâmetro interno. Depois se calcula o comprimento equivalente das singularidades, como não se tem valores equivalentes para singularidade de 3/8 de polegada será usado valores equivalentes para uma tubulação de diâmetro de 1/2. Na Tabela 3 a seguir encontram-se os valores das singularidades da linha de alimentação.



Tabela 3: Singularidades da linha de alimentação.

Singularidade	Qtd	Comp. Equi. (m)	Total (m)
Curva de 180° raio longo rosqueada	1	1,10	1,10
Curva de 45° rosqueada	2	0,21	0,42
Válvula do tipo gaveta rosqueada	1	0,17	0,17
Tê de fluxo em ramal rosqueado	1	1,30	1,30
Total	5		2,99

Fonte: FIALHO, 2011, pg. 290 e 291.

Obtém-se o comprimento total da linha de alimentação L_t , será:

$$L_t = L_1 + L_2 = 3,00 + 2,99 = 5,99 \text{ m}$$

Aplicando a Equação 1 para o diâmetro.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 35,82^{1,85} \cdot 5,99}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (7)$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

Ao recalcular levando em consideração as singularidades e suas perdas de carga para tubulação de 1/2 polegada, encontra-se um diâmetro de 12 mm, valor menor que aquele referente à 3/8 polegada (12,6 mm) para tubo de aço preto ou galvanizado. Desta forma o diâmetro nominal da linha de alimentação adotado também para este caso será de 3/8 polegada.

Para o carro porta tora usar-se-á mangueiras no lugar de tubos rígidos, pois ocorre deslocamento e é necessário que o comprimento de linha se desloque também. Como o carro porta tora apresenta um comprimento de 10 m de linha será imprescindível o dimensionamento do diâmetro da mangueira, utilizar-se-á a vazão de 35,82 m³/h, valor igual à linha de alimentação. Aplicando a Equação 1 temos o diâmetro da mangueira.

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 35,82^{1,85} \cdot 10}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (8)$$

$$d = 13,3 \text{ mm}$$

Para encontrar o diâmetro nominal e interno do tubo flexível fez-se o dimensionamento com o auxílio do site de uma fabricante e desta forma será adotado para diâmetro interno valor igual 18 mm (FESTO, 2018). Para a alimentação da rede usar-se-á as conexões descritas na Tabela 4. Na Tabela 4 a seguir encontram-se os valores das singularidades em relação a um diâmetro de 1/2 polegada.

Tabela 4: Singularidades da linha que alimenta o carro porta tora.

Singularidade	Qtd	Comp. Equi. (m)	Total (m)
Curva de 180° de raio longo rosqueado	1	1,10	1,10
Válvula do tipo gaveta rosqueada	1	0,17	0,17
Total	2		1,27

Fonte: FIALHO, 2011, pg. 290 e 291.

Após o cálculo das singularidades obtém-se o novo comprimento equivalente L_t , será:

$$L_t = 10 + 1,27 = 11,27 \text{ mm}$$

Usando a Equação 1 para o cálculo do diâmetro com o novo comprimento, tem-se:

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} 35,82^{1,85} 11,27}{0,3 \cdot 10}} \right] \quad (9)$$

$$d = 13,6 \text{ mm}$$

Ao calcular novamente para a inclusão das singularidades obtém-se um novo diâmetro interno igual a 13,6 mm. O tubo flexível modelo PAN-R-22X2-SW de diâmetro externo de 22 mm e interno de 18 mm é adequado para a alimentação dos atuadores (FESTO, 2018).

O carro porta tora a ser automatizado é mostrado nas Figuras 14 e 15, pode-se notar a representação do fixador da tora, onde a mesma será mantida por meio de atuadores pneumáticos assim que a automação for empregada.

Figura 14: Fixador da tora no carro porta tora



Fonte: Próprio autor.

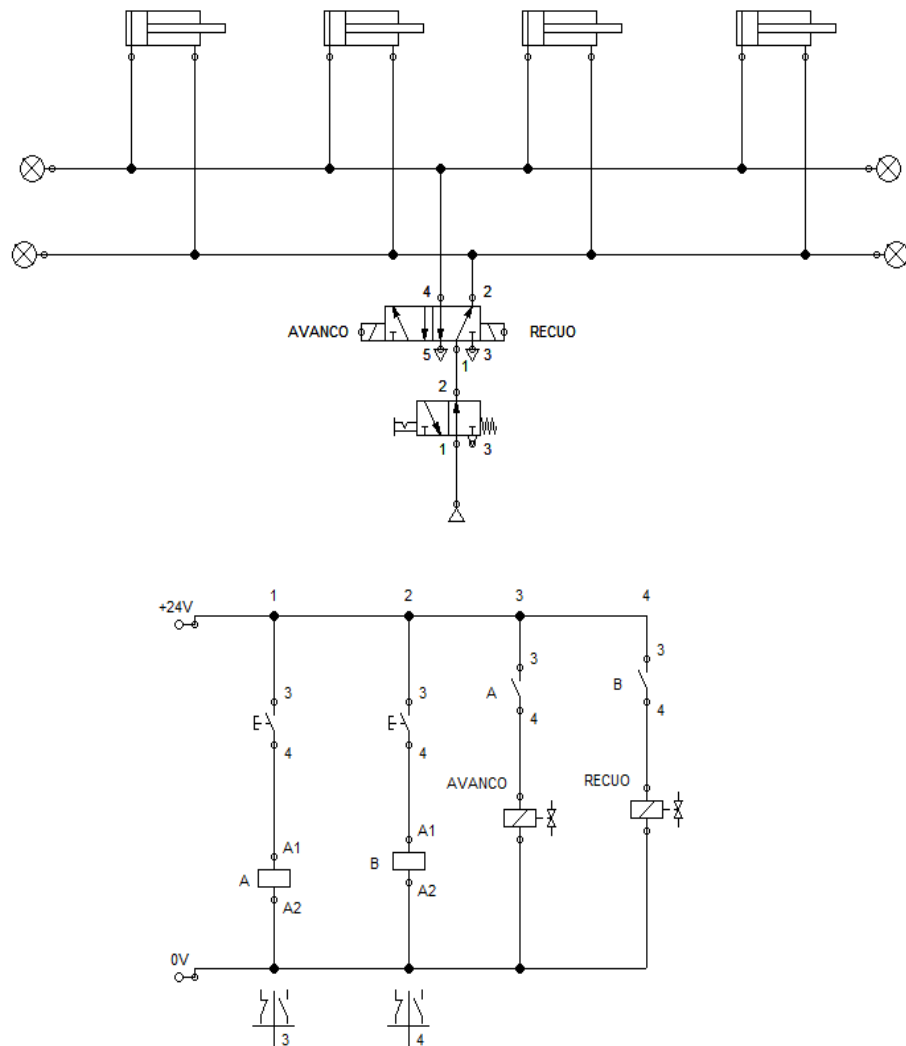
Figura 15: Detalhe do fixador



Fonte: Próprio autor.

O sistema de automação será realizado por botões elétricos e válvulas conforme esquematizado pela Figura 16, sendo desenvolvido com o auxílio do software *Fluidsim* da fabricante Festo. É representada a automação através de um esquema eletropneumático que será composto por dois botões, sendo um para avanço e o outro para o recuo do atuador que irá fixar a madeira.

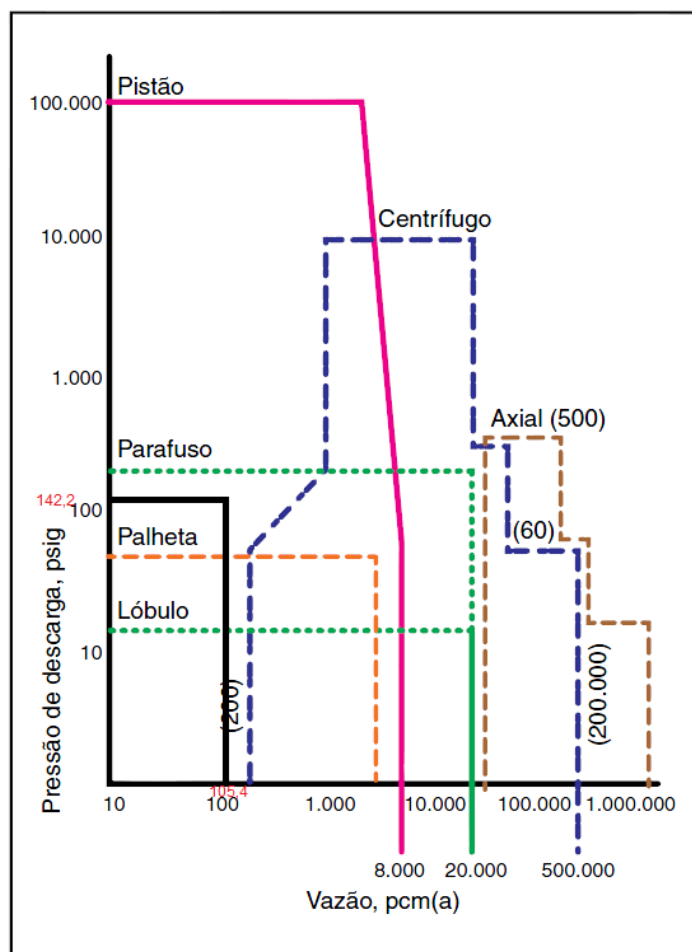
Figura 16: Esquema da automação do fixador do carro porta tora.



Fonte: Próprio autor.

Para selecionar o compressor usar-se-á os valores calculados de vazão total do sistema, 179,13 m³/h e pressão de regime de 10 kgf/cm². Para esta análise é preciso converter a vazão de m³/h para pcm e a pressão de kgf/cm² para psi correspondendo assim em 105,4 pcm e 142,2 psi, pois o diagrama de seleção do compressor funciona nestas unidades. Na Figura 17, onde é apresentado o gráfico da vazão em função da pressão é possível determinar quais tipos de compressores seriam utilizados no caso aqui discutido.

Figura 17: Diagrama para seleção do compressor.



Fonte: Adaptado de PARKER, 2006, pg. 17.

De acordo com o diagrama acima temos duas opções de compressor que satisfariam o sistema, sendo eles o compressor alternativo do tipo pistão ou rotativo do tipo parafuso. Neste caso usar-se-á o de parafuso. Segundo Geralmaq (2018) os compressores do tipo parafuso consomem menos energia, produzem menos barulho e maior rendimento em relação aos compressores do tipo pistão.

Segundo Parker Training (2006), em relação ao dimensionamento de reservatórios de ar adota-se para compressores de pistão um valor igual a 20% da vazão total e para compressores rotativos (parafuso) um valor igual a 10% sendo que a vazão total é dada em m^3/min . Para dimensionar o reservatório para o compressor do tipo parafuso, a vazão total do sistema aqui proposto será de 179,13 m^3/h que equivale a 2,9855 m^3/min , logo 10% será igual a 0,298 m^3 , sendo o volume necessário do reservatório de ar correspondendo a 298 litros.

De posse de todos os dados aqui apresentados e do dimensionamento de todos os equipamentos, bem como das linhas de distribuição e alimentação será possível mudar o sistema de fixação da madeira no carro porta toras. Atualmente este processo é realizado por funcionários, de modo a fixar a tora por meio de alavancas. Com a adoção de um sistema automatizado, através do pressionamento de um botão no painel elétrico será possível fixar a madeira de forma automática, precisa e uniforme, ao otimizar

este processo. Na Figura 18 é mostrado um carro porta tora já automatizado que possui um atuador pneumático com pinças em suas extremidades para fixação da madeira a ser serrada.

Figura 18: Carro porta tora automatizado.



Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÃO

Atualmente, o mercado de trabalho está mais competitivo e os clientes estão procurando produtos cada vez mais baratos e com maior rapidez na entrega. Dessa forma, as empresas devem sempre aperfeiçoar os processos de fabricação de seus produtos. Para isso, neste trabalho foi proposto um dimensionamento do ar comprimido pela empresa e automação do carro porta tora, uma vez que a mesma não possui tal sistema. Este método é essencial para automatização e para os processos de acabamento na fabricação de produtos.

Para um bom dimensionamento do compressor, reservatório e das redes de distribuição do ar comprimido e a aplicação de processos automatizados, deve-se ter um bom conhecimento das técnicas de engenharia com capacidade de analisar e interpretar as necessidades da empresa. Para evitar um baixo rendimento dos equipamentos e o superdimensionamento, que poderia ocasionar um alto investimento, é necessário levar em consideração as futuras ampliações que podem vir a ocorrer no empreendimento.

Para trabalhos posteriores, sugere-se o desenvolvimento da modelagem de um alimentador de toras. Atualmente este trabalho é feito manualmente ao utilizar o desnível do terreno para facilitar a alimentação das madeiras.



Outra sugestão de trabalho futuro é o aperfeiçoamento do carro porta tora, empregando um equipamento já disponível no mercado denominado de braço virador de toras. Este equipamento é utilizado junto ao carro porta tora com o intuito de girar a madeira.

Por fim cabe destacar que o ramo da automação é muito promissor tanto para encontrar problemas quanto para achar soluções que possam sair do campo empírico e ganhar o mercado comercial dos pequenos e médios empreendimentos.



REFERÊNCIAS

- ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. 2009. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/2009.pdf>>. Acessado em: 23/06/2018.
- BATISTA, D. C. Avaliação do desempenho de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência: estudo de caso em Pirai-RJ. 2006. 64f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- BOLETIM SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. 2017. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>>. Acessado em: 25/06/2018.
- CACHONIS, L. T., DE MELLO, R. F., MORAES JÚNIOR, D. e SANTOS, A. R. Estudo comparativo entre compressores alternativos e Compressores centrífugos. Dincon, Águas de Lindóia, 2011.
- CORADI, F. E. Análise energética e econômica na rede de distribuição de ar de uma indústria de autopeças. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2011.
- DA SILVA, J. G. M. Desempenho e amostragem do trabalho de uma serraria no município de Alegre, Espírito Santo. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial da Madeira) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.
- FARGON. Catálogo de resfriador posterior para ar comprimido. Disponível em: <www.fargon.com.br>. Acesso em: 03/06/2018.
- FARGON. Manual de tratamento de ar comprimido. Santo Amaro, 2006. Versão 01. 2006.
- FESTO. Catálogo do fabricante. Disponível em: <www.festo.com>. Acesso em: 15/06/2018.
- FIALHO, A. B. Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- GERALMAQ. Locação de compressores e ferramentas para demolição. Disponível em: <www.geralmaq.com.br>. Acesso em: 11/08/2018.
- IBA. Indústria Brasileira de Árvores. Anuário Estatístico. Relatório 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acessado em 20/05/2018.
- LATORRACA, J.V.F. Processamento mecânico da madeira. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. 116p.
- MACAGNAN, M. H. Apostila - Princípios básicos de refrigeração, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.
- MARINS, A. Apostila – Tecnologia Pneumática: Circuitos Pneumáticos e Comandos Eletropneumáticos, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo, Campus Salto, 2009.
- MAXXTOOLS. Catálogo do fabricante. Disponível em: <www.sigmatools.com.br>. Acesso em: 10/06/2018.



OLIVEIRA, G. C. S.; PINHEIRO, M. A.; SIMEÃO, J. D. e DE OLIVEIRA, C. M. C. Eficiência energética aplicada ao sistema pneumático para indústria moveleira. Contecc, Fortaleza, 2015.

PACCO, R. Projeto de uma rede de ar comprimido industrial. 2013. 61f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

PARKER TRAINING. Dimensionamento de redes de ar comprimido. Jacareí, 2006. Apostila M1004 BR.

PARKER TRAINING. Tecnologia da pneumática industrial. Jacareí, 2000. Apostila M1001 BR.

PAVANI, S. A. Comandos pneumáticos e hidráulicos. 3. ed. Santa Maria: Universidade de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011, 182p. .

PEIXOTO, D.; INDRUSIAK, M. L. S. Análise do sistema de resfriamento de uma planta de ar comprimido. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

ROCHA, M. P. Técnicas e planejamento de serrarias. Edição Revisada. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002. 121p

SCHIFFER. Máquinas para indústria madeireira. Ponta Grossa. Disponível em < www.schiffer.com.br > Acesso em 25/07/2018.

SCHULZ. Catálogo do fabricante. Disponível em: < www.schulz.com.br >. Acesso em: 24/07/2018.

SCHULZ. Tratamento e aplicação do ar comprimido. 2002.

SILVA, E.C.N. Apostila - Sistemas Fluidomecânicos, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2002.

STEULA. Catálogo do fabricante, 2014. Disponível em: < www.steula.com.br >. Acesso em: 03/06/2018.

VITAL, B. R. Planejamento e operações de serrarias. Viçosa: UFV; 2008. 211p.

V8BRASIL. Catálogo do fabricante. Disponível em: < www.v8brasil.com.br >. Acesso em: 10/06/2018.