



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA UM PROJETO PILOTO DE CORREIO
PNEUMÁTICO PARA INSTITUIÇÃO FINANCEIRA**

MICHEL AILIS FARIAS RIBEIRO

**TUCURUÍ - PA
2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA UM PROJETO PILOTO DE CORREIO
PNEUMÁTICO PARA INSTITUIÇÃO FINANCEIRA**

MICHEL AILIS FARIAS RIBEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
faculdade de engenharia mecânica do Campus
de Tucuruí, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de engenheiro mecânico.

ORIENTADOR:

PROF. Me. RONALDO MOURA

**TUCURUÍ - PARÁ
2020**

Ribeiro, Michel Ailis Farias

Construção de um protótipo para o projeto piloto
de correio pneumático para instituição
financeira/ Michel Ailis Farias Ribeiro. –
Tucuruí, Pará 2020

Trabalho de conclusão de curso –
Engenharia mecânica



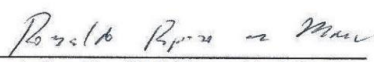
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

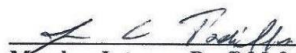
**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA UM PROJETO PILOTO DE CORREIO
PNEUMÁTICO PARA INSTITUIÇÃO FINANCEIRA**

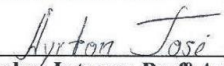
MICHEL AILIS FARIAS RIBEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
faculdade de engenharia mecânica do Campus
de Tucuruí, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de engenheiro mecânico.

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Profº Meº Ronaldo Moura
FEM/CAMTUC/UFPA


Membro Interno: Profº Meº Jessé Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA


Membro Interno: Profº Ayrton de Souza
FEM/CAMTUC/UFPA

Conceito EXC

Tucuruí, 18 de 02 de 2020.

*Dedico este trabalho ao meu filho Samuel Ailis, pois é ele quem me dá forças pra lutar e
vencer todas as batalhas de minha vida, e a todos aqueles que contribuíram para a
realização deste...*

AGRADECIMENTOS

Tenho a honra de agradecer a Deus por esse momento, pois só ele sabe os caminhos e obstáculos que enfrentei pra chegar até aqui, todo o sofrimento, toda abdicação e isolamento por qual passei, longe de familiares e do meu filho Samuel Ailis,.

Gostaria também de externar minha gratidão ao meu sobrinho Mário Victor por ter contribuído na construção desse projeto, à minha irmã Milena Kelly e ao seu marido Caius Marius pela doação dos materiais e ferramentas para construção do protótipo, agradecer também ao meu grande amigo Leandro Borba pelo apoio, gostaria também de deixar aqui meus agradecimentos ao professor e orientador Ronaldo Moura por sua atenção e comprometimento com esse trabalho, agradeço também ao diretor da faculdade de engenharia mecânica do campus de Tucuruí, Leopoldo Bastos pelo seu apoio e colaboração em vários momentos durante o final da minha jornada acadêmica, com toda certeza sem eles esse projeto não seria possível.

Gostaria também de agradecer a todos aqueles que me apoiaram e me incentivaram nos momentos de dificuldades, as palavras de incentivo e apoio me deram forças pra chegar até aqui e concluir esse trabalho com muito orgulho. Fica aqui meus agradecimentos à todos vocês.

RESUMO

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA UM PROJETO PILOTO DE CORREIO PNEUMÁTICO PARA INSTITUIÇÃO FINANCEIRA

RESUMO:. O transporte através do correio pneumático ou também chamado tubo pneumático é um sistema que permite transportar de maneira rápida e segura, objetos como dinheiro em papel, moedas, documentos, entre outros. Os objetos são colocados dentro de cápsulas para o seu transporte através de uma ou várias linhas de tubo onde a cápsula é impulsionada por uma pressão ou sucção de ar. Para enviar e receber essas cápsulas há várias estações de diversos tipos, uma para cada aplicação, no qual podem ser transportados objetos em hospitais, supermercados, indústrias, postos de combustíveis e etc. Nesse trabalho foi desenvolvido um protótipo de um projeto piloto para uma instituição financeira do estado do Pará, transportar numerário (dinheiro em espécie, moedas e envelopes de depósitos), durante a construção foi verificado a viabilidade desse tipo de transporte, e ao final o protótipo foi testado e validado de forma que seus resultados foram descritos através de uma ficha técnica, a partir disso, algumas possíveis melhorias foram expostas ao final do trabalho.

Palavras-chaves: Correio pneumático, tubo pneumático, transporte pneumático, cápsula, sistema pneumático.

ABSTRACT

BUILDING A PROTOTYPE FOR A PILOT PROJECT PNEUMATIC MAIL FOR FINANCIAL INSTITUTION

ABSTRACT: Transport via the pneumatic tube or also called pneumatic mail is a system that allows you to quickly and safely transport objects such as paper money, coins, documents, among others. The objects are placed inside capsules for their transport through one or more lines of tube. The capsule is driven by a pressure or suction of air. To send and receive these capsules there are several stations of different types, one for each application. Objects can be transported in hospitals, supermarkets, industries, gas stations, etc. In this work, a prototype was developed for a pilot project of a financial institution of the state of Pará, with the purpose of transporting cash (cash, coins and deposit envelopes), during construction, the viability of this type of transport was verified, and at the end the prototype was tested and validated so that its results were described through a technical sheet, from these results, possible improvements were exposed at the end of the work.

Keywords: Pneumatic tube, pneumatic tube, pneumatic transport, capsule, pneumatic system.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Gás e líquido	17
Figura 2 - Esquema do cilindro para definição de conceito de pressão	19
Figura 3 – Escoamento de ar sobre uma bola de golfe	20
Figura 4 – Força de arraste entre duas placas	21
Figura 5 - Viscosidade	21
Figura 6 – Regime Permanente	22
Figura 7 – Regime Variado	23
Figura 8 – Regime aproximadamente permanente	23
Figura 9 – Escoamento laminar	23
Figura 10 – Escoamento Turbulento	24
Figura 11 – Experimento de Reynolds	24
Tabela 1 – Viscosidade do fluido	25
Figura 12 – Perfil de velocidade do escoamento	26
Tabela 2 – Rugosidades aparentes	28
Figura 13 – Diagrama de Moody.....	28
Figura 14 – Coeficientes de perda	30
Figura 15 – Valores de coeficientes de perda para escoamentos em entradas e saída	30
Figura 16 – Correio pneumático	32
Figura 17 – Metrô pneumático de Nova York.....	33
Figura 18 – O despacho pneumático	33
Figura 19 – Sistema de tubos pneumáticos	34
Figura 20 – Lamson Pneumático	34
Figura 21 – Funcionamento de um sistema de tubos pneumáticos	35
Figura 22 – Cápsula pneumática utilizada em hospitais	37
Figura 23 – Hall do público e área de espera	39
Tabela 3 – Comparativo (Layout)	42
Tabela 4 – Ficha técnica (Motor Aspirador)	42
Figura 24 – Desenho geométrico.....	43
Figura 25 – Dimensões do projeto.....	43
Tabela 5 – Dados para obtenção de velocidade.....	44
Tabela 6 – Dados para obtenção de Reynolds.....	45
Figura 26 – Planilha excel (equação de Colebrook).....	45

Figura 27 – Perdas de carga em componentes / acessórios	46
Figura 28 – Protótipo.....	47
Tabela 7 – Comparativo (medidas e valores)	48
Figura 29 – Curva 90°	48
Figura 30 – Curva de 45° e luva	49
Figura 31 – Estação de recebimento.....	49
Figura 32 – Motor (Aspirador)	50
Figura 33 – Cápsula de Transporte.....	50
Figura 34 – Protótipo construído.....	53
Figura 35 – Desenho técnico do protótipo	54
Tabela 8 – Ficha técnica	55
Tabela 9 – Custos	55
Tabela 10 – Vantagens e Desvantagens	56
Tabela 11 – Distância Percorrida x Tempo	57

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

PVC – Polyvinyl Chloride – Tubulação de Plástico

SAA – Sala de Autoatendimento

MDF – Medium Density Fiberboard – Placa de fibra de madeira de media densidade

CAD - Computer-aided Design - Desenho Assistido por Computador

TAP – Tampa para tubulações de pvc

3D – Três Dimensões – Formato tridimensional, com percepção de profundidade

Re – Número de Reynolds

RP – Regime Permanente

RAP – Regime Aproximadamente Permanente

RV – Regime Variado

LISTA DE SÍMBOLOS

V – Volume

m – Massa

P – Peso

R – Constante do gás

T – Temperatura

γ – Peso específico

V_s - Volume específico

V_m - Velocidade média

ρ – Massa específica

Δ_s - Variação de espaço

Δ_t - Variação de tempo

$\varnothing$ - Diâmetro

L – Comprimento

f – Fator de atrito

ρ - Massa específica do fluido

ν - Velocidade do escoamento

μ - Viscosidade dinâmica do fluido

D - Diâmetro da tubulação

$[m]$ – Metros

m/s – Metros por segundo

g – Aceleração da gravidade

s – Segundos

K_L - Coeficiente de perda

h_L – Perda de carga total

h_N – Perda de carga normal

h_{LOC} – Perda de carga localizada

ε – Rugosidade aparente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS	17
2.1.1 Fluido	17
2.1.1.1 <i>Propriedade dos fluidos</i>	18
2.1.2 Atmosfera padrão	19
2.1.3 Pressão	19
2.1.4 escoamento interno e externo	20
2.1.5 Viscosidade	20
2.2 A CINEMÁTICA DOS FLUIDOS	22
2.2.1 Conceito	22
2.2.2 Regimes de escoamento de um fluido	22
2.3 ESCOAMENTO INTERNO EM TUBOS E DUTOS	23
2.3.1 Escoamento laminar	23
2.3.2 Escoamento turbulento	24
2.3.3 Número de Reynolds	24
2.3.4 Número de Reynolds em tubos	25
2.3.5 Tabela de viscosidade dinâmica	25
2.4 REGIÃO DE ENTRADA E ESCOAMENTO COMPLETAMENTE DESENVOLVIDO... ..	26
2.5 PERDA DE CARGA EM ESCOAMENTOS INTERNOS	27
2.5.1 Perdas de cargas normais	27
2.5.2 Perdas de cargas localizadas.....	29
2.6 PNEUMÁTICA.....	31
2.7 SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO.....	31
2.8 A HISTÓRICO	32
2.9 COMO FUNCIONA O CORREIO PNEUMÁTICO	35
2.10 TIPOS DE TRANSPORTE	36
2.10.1 Tipo Sucção	36

2.10.2 Tipo Pressão	36
2.11 USOS TÍPICOS	36
2.11.1 Hospitais	37
2.11.2 Postos de Combustíveis	38
2.11.3 Trnasporte Pneumático a gosto do cliente	38
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 A EMPRESA	39
3.2 LEVANTAMENTO DO PROJETO E ESTUDOS PREVIOS	39
3.2.1 Layout das Agências	39
3.2.2 A situação Problema.....	40
3.2.3 Saa (Sala de Autoatendimento)	40
3.2.3.1 Saa agências novas	41
3.2.3.2 Saa agências antigas.....	41
3.2.3.3 Comparativo Saa	41
3.3 O PROJETO	42
3.3.1 Desenho geométrico	43
3.2.2 Calculo da perda de carga total do sistema	43
3.4 O PROTÓTIPO	47
3.5 SELEÇÃO DA TUBULAÇÃO (TUBOS DE TRANSPORTE)	48
3.6 CURVAS E CONEXÕES DE PVC	48
3.7 ESTAÇÃO DE RECEBIMENTO (CAIXA).....	49
3.8 MOTOR COMPACTO (ASPIRADOR)	50
3.9 CÁPSULA DE TRANSPORTE	50
3.10 METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO	51
3.10.1 Tubulação	51
3.10.2 Caixa de madeira (estação de recebimento)	51
3.10.3 Motor Aspirador	51
3.10.4 Cápsula	51
3.11 O PROJETO PILOTO	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 DESENHO TÉCNICO	54
4.2 FICHA TÉCNICA	54
4.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS	56
5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58

5.1 CONCLUSÃO	58
5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	58
6 REFERÊNCIAS	59

ANEXOS

ANEXO A - ANEXOS.....	61
------------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Por causa de sua atividade, as instituições financeiras são muito visadas por criminosos. Ao mesmo tempo elas são repletas de clientes com contas a pagar ou com problemas para resolver. Por isso, a lei de segurança para agências bancárias é bem clara ao estabelecer os pontos principais de proteção. Toda instituição precisa atender a esses requisitos para obter a regularidade quanto à legislação. Além de tudo, é um jeito de garantir a proteção patrimonial e dos clientes.

Aparatos de segurança como porta giratória, detector de metais, câmeras de vigilância com sensores de movimentos, vigilantes armados não são suficientes para inibir ação de criminosos que constantemente tentam subtrair a qualquer custo o numerário das agências bancárias. Esses sistemas devem ser constantemente atualizados e os vigilantes frequentemente passam por cursos de reciclagem a fim de inibir fraudes, roubos ou furtos e mesmo com todas as leis e normas de segurança tais procedimentos podem conter falhas, humana, eletrônica ou de logística, tais problemas podem ser minimizados adotando algumas medidas preventivas ou melhorias.

Depois de alguns anos em contato com a dinâmica e funcionamento do sistema bancário e experiência com os métodos de abastecimentos e recolhimento de numerário é notório perceber que, há falha de segurança no transporte interno de numerário, e um dos principais fatores que contribuem para isso, está relacionado à estrutura física das agências e ao chamado layout das agências (como fica organizado as divisões e setores dentro de uma agência) este sendo peça chave para o fluxo e movimentação de pessoas e serviços. A partir disso é proposto nesse projeto um conceito para aperfeiçoar de modo seguro e eficaz, o transporte de numerário dentro de instituições financeiras, adotando-se o sistema de correio pneumático.

1.1 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho tem por finalidade aperfeiçoar de maneira segura a movimentação e o transporte interno de numerário em instituições financeiras. Atualmente existem vários modelos de agências em diversas cidades em nosso território nacional, uma grande parte dessas agências foi construída há bastante tempo, e com o passar dos anos, elas precisam ser adaptadas e modificadas para se adequarem aos modelos de trabalho atual, assim aconteceu com o sistema de refrigeração, antes equipamentos muito antigos e enormes sendo substituídos por outros menores e mais modernos, assim aconteceu com os caixas eletrônicos

que antes eram escassos e gigantescos, com o tempo algumas mudanças são necessárias para trazer aos clientes conforto e ambientes mais modernos. No entanto em algumas localidades, as agências possuem uma estrutura desfavorável em alguns aspectos funcionais, como por exemplo: o abastecimento de numerário em caixas eletrônicos, o responsável por essa finalidade, precisa se movimentar com malotes passando por áreas de livre acesso entre clientes, tornando essa atividade perigosa e ariscada para quem a executa.

O correio pneumático traz a possibilidade de executar essa tarefa de uma maneira segura e rápida sem proporcionar riscos, facilitando o abastecimento e recolhimento em caixas eletrônicos, além de trazer comodidade e diminuir drasticamente o stress emocional do funcionário aumentando seu rendimento e hora útil de trabalho.

1.2 OBJETIVO GERAL

Construção do protótipo correio pneumático para o transporte interno de numerário em instituições financeiras.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar e construir o protótipo
- Testar e validar o protótipo
- Avaliar viabilidade do projeto piloto

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

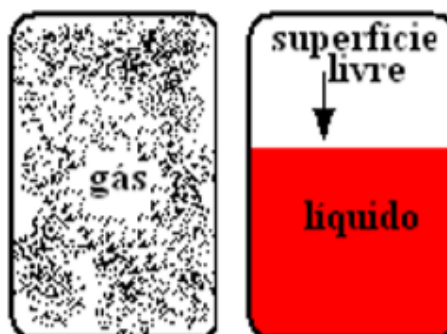
Segundo Gomes (2012), a mecânica dos fluidos trata do comportamento dos fluidos em repouso ou em movimento e das leis que regem este comportamento. São áreas de atuação da mecânica dos fluidos:

- Ação de fluidos sobre superfícies submersas, ex: barragens;
- Ação do vento sobre construções civis;
- Estudo de lubrificações;
- Transporte de sólidos por via pneumática ou hidráulica;
- Cálculo de máquinas hidráulicas, ex: bombas e turbinas;
- Instalações de vapor, ex: caldeiras;
- Ação de fluidos sobre veículos – Aerodinâmica.

2.1.1 Fluido

Pode-se definir fluido como uma substância que se deforma continuamente, isto é, escoar, sob ação de uma força tangencial por menor que ela seja. O conceito de fluidos envolve líquido e gases, logo, é necessário distinguir estas duas classes: Líquido é aquela substância que adquire a forma do recipiente que a contém possuindo volume definido e, é praticamente, incompressível. Já o gás é uma substância que ao preencher o recipiente não forma superfície livre e não tem volume definido, além de serem compressíveis (GOMES, 2012).

Figura 1 – Gás e Líquido



Fonte: (GOMES, 2012)

2.1.1.1 Propriedade dos fluidos

a) massa específica ρ : a massa de um fluido em uma unidade de volume é denominada densidade absoluta, também conhecida como massa específica (kg/m^3) (“densidade”).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left\{ \begin{array}{l} m - \text{massa} \\ V - \text{volume} \end{array} \right. \quad (1)$$

b) peso específico γ : é o peso da unidade de volume desse fluido (N/m^3) (“unidade de peso”).

- para os líquidos

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad \left\{ \begin{array}{l} P - \text{peso} \\ V - \text{volume} \end{array} \right. \quad (2)$$

- para os gases

$$\gamma = \frac{P}{RT} \quad \left\{ \begin{array}{l} P - \text{pressão absoluta (kgf}/\text{m}^2) \\ R - \text{constante do gás} \\ T - \text{temperatura absoluta (}^\circ\text{C)} \end{array} \right. \quad (3)$$

c) volume específico V_s

$$V_s = \frac{V}{m} \quad \left\{ \begin{array}{l} V - \text{volume} \\ m - \text{massa} \end{array} \right. \quad (4)$$

d) compressibilidade

É a propriedade que o fluido apresenta quando sofre a ação de forças adequadamente distribuídas, tendo seu volume diminuído. A compressibilidade volumétrica de um fluido é definida pela relação entre o acréscimo de pressão e o decréscimo do volume.

e) elasticidade

É a propriedade do fluido de aumentar o volume quando diminui a pressão, Berthelot, em 1850, descobriu essa propriedade também para os líquidos pois para os gases, a propriedade já era bem conhecida.

2.1.2 Atmosfera padrão

De acordo com Gomes (2012), a atmosfera terrestre é constituída de uma mistura de gases com alta predominância de nitrogênio e oxigênio que formam o que denominamos de ar. Nas condições próximas ao nível do mar tem-se:

$$\text{AR} \left(\begin{array}{l} 78\% \text{ de nitrogênio} \\ 21\% \text{ de oxigênio} \\ \text{Demais gases porcentagem desprezível} \end{array} \right)$$

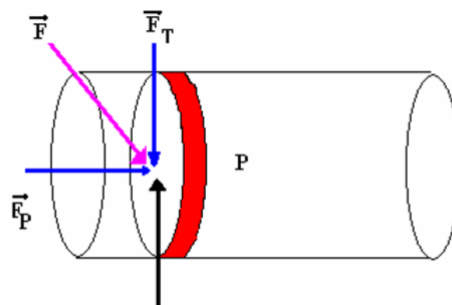
As condições físicas atmosféricas são variáveis em função da localização geográfica e do tempo. A pressão e temperatura dependem da altura em relação ao nível do mar, além de apresentarem forte característica sazonal.

Para uniformizar os estudos que dependem das condições atmosféricas adota-se um valor padrão para as condições normais de pressão e temperatura que se aproximam dos valores encontrados na atmosfera real e constituem a atmosfera-padrão (GOMES, 2012).

2.1.3 Pressão

A pressão é uma das grandezas mais importantes, é definida como a relação entre a força aplicada, perpendicularmente, sobre uma superfície. Para melhor entendermos o conceito consideramos: um cilindro no vácuo cheio de fluido, fechado em uma extremidade e munido de um pistão em outra, mantendo o fluido confinado no cilindro.

Figura 2 – Esquema do cilindro para definição do conceito de pressão



Fonte: (GOMES, 2012)

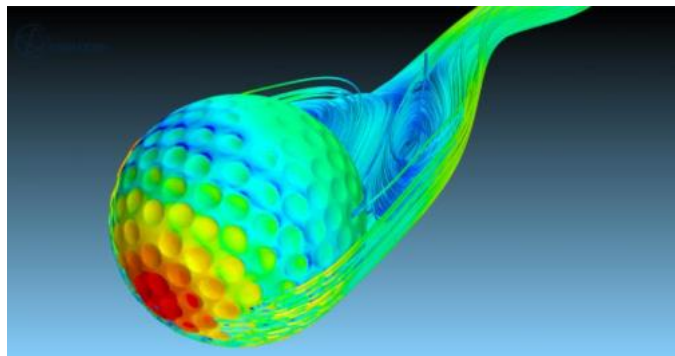
O fluido age sobre toda a face do pistão, a reação é distribuída ao longo da face, gerando uma tensão normal que é uma medida da pressão do fluido sobre o pistão, a pressão é uma grandeza escalar não tendo direção e sentido associados (GOMES, 2012).

2.1.4 Escoamento interno e externo

O escoamento sem limitação de um fluido sobre uma superfície é um escoamento externo, como por exemplo: o escoamento de ar sobre uma bola. O escoamento num tubo ou num duto é chamado de escoamento interno, exemplo: escoamento de água num cano.

Quando o escoamento acontece em um duto parcialmente aberto, estando este parcialmente cheio com o líquido e houver uma superfície livre é chamado de escoamento de canal aberto, exemplo: escoamentos de águas em rios ou valas de irrigação.

Figura 3 – Escoamento de ar sobre uma bola de golfe



Fonte: (NIECKELE, 2020)

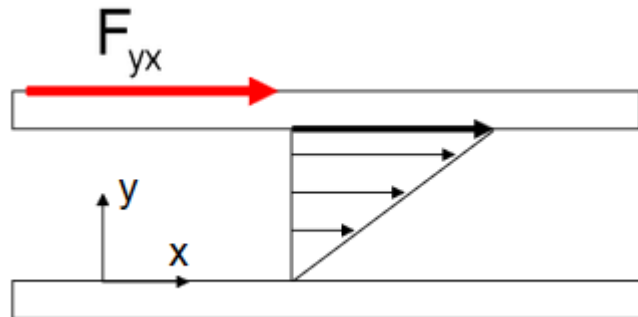
2.1.5 Viscosidade

A viscosidade de um fluido é basicamente uma medida de quanto ela gruda. A água é um fluido com pequena viscosidade, já outros como shampoo ou xaropes possuem maiores viscosidades. A viscosidade também depende da temperatura, o óleo de um motor, por exemplo, é menos viscoso a temperatura mais alta do que quando o motor está frio. Para fluidos que se move através de tubos, a viscosidade leva uma força resistiva. Esta resistência pode ser imaginada como uma força de atrito agindo entre as partes de um fluido que estão se movendo a velocidades diferentes.

O fluido muito perto da parede do tubo, por exemplo, se move muito mais lentamente do que o fluido no centro do mesmo. O fluido em um tubo sofre forças de atrito. Existe atrito com as paredes do tubo, e com o próprio fluido, convertendo parte da energia cinética em calor. As forças de atrito que impedem as diferentes camadas do fluido de escorregar entre si

são chamadas de viscosidade. A viscosidade é uma medida da resistência de movimento do fluido. Podemos medir a viscosidade de um fluido medindo as forças de arraste entre duas placas.

Figura 4 – Força de arraste entre duas placas



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

Sob todas as circunstâncias em que se pode checar experimentalmente, a velocidade de um fluido real diminui para zero próximo da superfície de um objeto sólido. Uma pequena camada de fluido próximo às paredes de um tubo possui velocidade zero. A velocidade do fluido aumenta com a distância às paredes do tubo. Se a viscosidade de um fluido for pequena, ou o tubo possuir um grande diâmetro, uma grande região central irá fluir com velocidade uniforme. Para um fluido de alta viscosidade a transição acontece ao longo de uma grande distância e em um tubo de pequeno diâmetro a velocidade pode variar através do tubo.

Figura 5 – Viscosidade



Fonte: (PAAR, 2020)

2.2 CINEMÁTICA DOS FLUIDOS

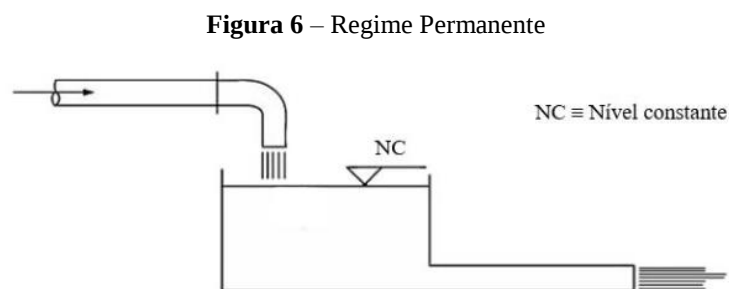
2.2.1 Conceito

A cinemática dos fluidos é a parte da física que estuda o movimento dos fluidos sem considerar as forças que estão atuando. Cabe à cinemática dos fluidos descrever campos de velocidades, descrever campos de acelerações, descrições dos movimentos, auxiliar na visualização dos movimentos dos fluidos, etc. Os fluidos movem-se devido a tensões atuantes sobre eles, tensões normais de compressão, que combinadas resulta na pressão sobre o fluido. Há muitos fenômenos que ocorrem frequentemente ao nosso redor que permitem a visualização dos escoamentos, como por exemplo: fumaça de chaminés e cigarro, movimento de nuvens na atmosfera, movimento de ondas em mares, lagos e rios, mistura de fluidos de coloração diferentes.

2.2.2 Regimes de escoamento de um fluido

O regime de movimento dos fluidos é dividido em:

- a) REGIME PERMANENTE (RP): é aquele em que as propriedades do fluido não variam em cada ponto com o tempo. Um exemplo prático de RP será o escoamento por uma tubulação de um tanque cujo nível do fluido é mantido constante.

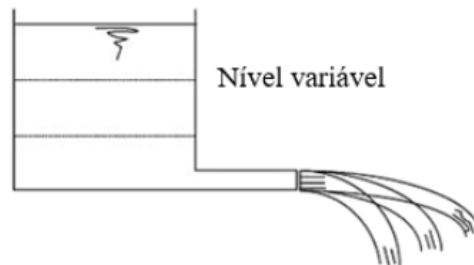


Fonte: (BRUNETTI, 2008)

No regime permanente, propriedades como velocidade, densidade, pressão e etc, em cada ponto e instante são constantes.

b) **REGIME VARIADO (RV):** é aquele em que as propriedades do fluido variam em cada ponto com o tempo.

Figura 7 – Regime Variado



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

c) **REGIME APROXIMADAMENTE PERMANENTE (RAP):** Geralmente um reservatório de grandes dimensões, o nível varia sensivelmente com o passar do tempo.

Figura 8 – Regime Aproximadamente Permanente



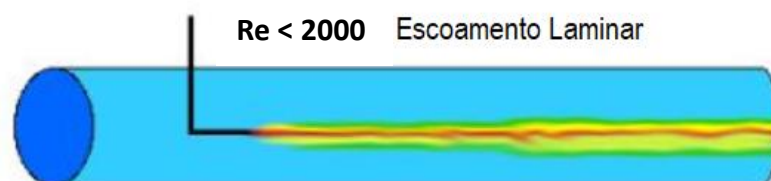
Fonte: (BRUNETTI, 2008)

2.3 ESCOAMENTO INTERNO EM TUBOS E DUTOS

2.3.1 Escoamento laminar

Ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de trajetórias bem definidas em linhas paralelas, apresentando laminas ou camadas (daí o nome laminar). No escoamento laminar a viscosidade age no fluido no sentido de amortecer a tendência de surgimento da turbulência. Este escoamento ocorre geralmente a baixas velocidades e em fluidos que apresentam grande viscosidade.

Figura 9 – Escoamento laminar

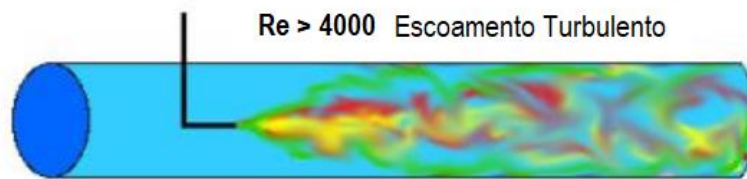


Fonte: (LELI, 2010)

2.3.2 Escoamento turbulento

Ocorre quando as partículas de um fluido não se movem em trajetórias bem definidas, ou seja, as partículas descrevem trajetórias irregulares, com movimentos aleatórios, vórtices geram fluxos em diferentes direções do fluxo principal (ascendente, descendente e lateral). Este escoamento é comum na água, cuja viscosidade é relativamente baixa.

Figura 10 – Escoamento turbulento

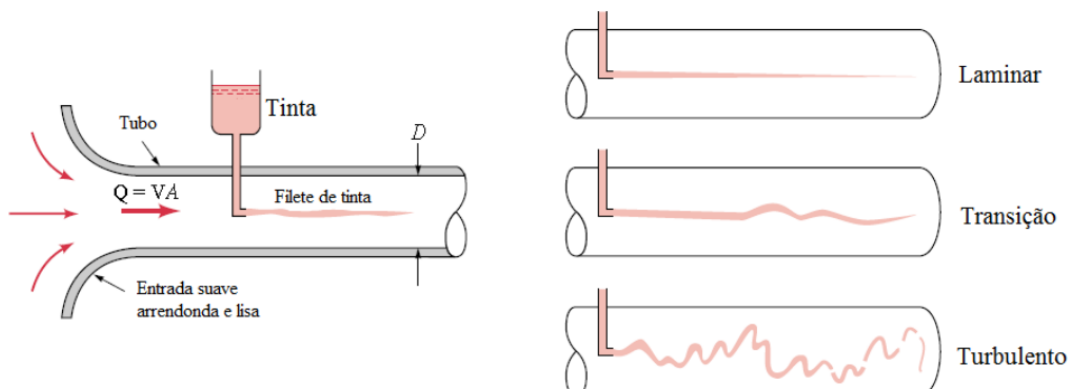


Fonte: (LELI, 2010)

2.3.3 Número de Reynolds

O engenheiro hidráulico Irlandês chamado Osborne Reynolds estudou o escoamento em tubos ou dutos utilizando um experimento muito simples. Em um tubo transparente, Reynolds adaptou uma sonda de corante de forma a introduzir um contraste no escoamento para verificar suas condições. Com esse experimento o cientista verificou que o contraste de corante apresentava comportamentos diferentes, de acordo com as diferentes características do tubo, do fluido e do escoamento. Para identificar o tipo de escoamento, Reynolds propôs um parâmetro adimensional conhecido como número de Reynolds que relaciona as seguintes propriedades do fluido: massa específica e viscosidade; geometria do tubo e velocidade média do escoamento.

Figura 11 – Experimento de Reynolds



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

O número de Reynolds (abreviado como Re) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo de regime de escoamento de determinado fluido dentro de um tubo ou sobre uma superfície. É utilizado, por exemplo, em projetos de tubulações industriais e asas de avião.

2.3.4 Número de Reynolds em Tubos

Através do número Reynolds, pode-se determinar se o escoamento é laminar, transiente ou turbulento.

- $Re < 2000$ – Escoamento Laminar
- $2000 < Re < 4000$ – Escoamento de transição
- $Re > 4000$ – Escoamento Turbulento

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (5)$$

ρ = massa específica do fluido

v = velocidade do escoamento

μ = viscosidade dinâmica do fluido

D = diâmetro da tubulação

2.3.5 Tabela de viscosidade dinâmica

Tabela 1 – Viscosidade do fluido

Gases	Viscosidade (Pa·s)
Hidrogênio	$8,4 \times 10^{-6}$
Ar	$17,4 \times 10^{-6}$
Xenônio	$21,2 \times 10^{-6}$

Fonte: (VILANOVA, 2011)

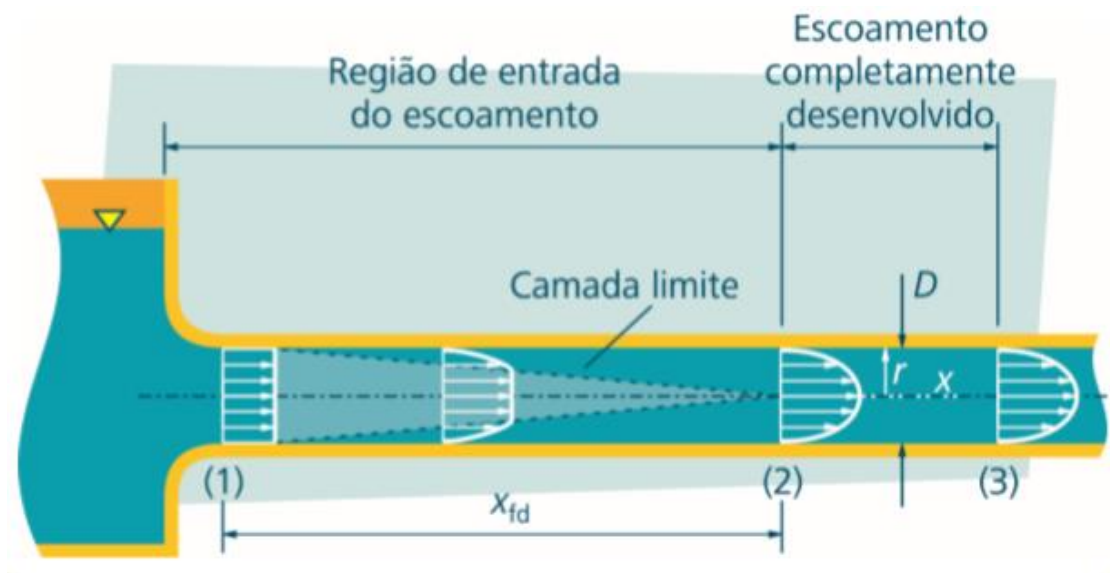
A importância fundamental do número de Reynolds é a possibilidade de se avaliar a estabilidade do fluxo podendo obter uma indicação se o escoamento flui de forma laminar ou turbulenta. O número de Reynolds constitui a base de comportamento de sistemas reais, pelo uso de modelos reduzidos. Um exemplo comum é o túnel aerodinâmico onde se medem as

forças desta natureza em modelos de asas de aviões. Pode-se dizer que dois sistemas são dinamicamente semelhantes se o número de Reynolds, for o mesmo para ambos.

2.4 REGIÃO DE ENTRADA E ESCOAMENTO COMPLETAMENTE DESENVOLVIDO

No escoamento de um fluido através de um tubo ou de um duto, o perfil de velocidade de escoamento na entrada do sistema é normalmente uniforme. Na medida em que o fluido avança na direção do escoamento, os efeitos da viscosidade são percebidos pela aderência de uma camada de fluido sobre a parede do tubo, e há o surgimento de tensões de cisalhamento entre as camadas adjacentes. A camada do escoamento que é influenciada por esse efeito da viscosidade é chamada de camada limite. A velocidade da camada aderida à parede do tubo é zero e a velocidade do fluido cresce no sentido da direção do centro do tubo onde é máxima, de acordo com a figura 13 abaixo. O perfil de velocidade apresenta então em um determinado comprimento do tubo ou duto um comportamento variável que vai de um perfil uniforme na entrada até assumir um perfil parabólico, a partir do qual se diz que o escoamento está completamente desenvolvido. A região onde o perfil de velocidade é variável é chamada de região de entrada.

Figura 12 – Perfil de velocidade do escoamento



Fonte: (VILANOVA, 2011)

2.5 PERDA DE CARGA EM ESCOAMENTOS INTERNOS

Na análise de escoamentos internos em tubos ou dutos é comum que se necessite determinar a perda de carga h_L que a tubulação impõe ao sistema fluido. Essa perda de carga é oriunda dos efeitos da viscosidade do fluido, e pode ser determinada contabilizando-se os efeitos localizados h_{LOC} impostos por componentes como curvas, tês, joelhos, válvulas ou outros componentes que estejam montados no fluxo fluido e pelos efeitos viscosos normais impostos pela tubulação linear h_N . Assim, a perda de carga total do sistema será dada pela seguinte equação:

$$h_L = h_{LOC} + h_N \quad (6)$$

2.5.1 Perdas de cargas normais

As perdas de cargas normais ocorrem em função do efeito viscoso do fluido em escoamento e dependem de fatores como a velocidade do escoamento, a geometria da tubulação (comprimento e diâmetro), a rugosidade da parede da tubulação e das propriedades de viscosidade e massa específica do fluido. Algebricamente, é possível contabilizar as perdas de cargas normais utilizando a equação de Darcy-Weisbach:

$$h_N = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (7)$$

onde L [m] é o comprimento linear da tubulação, V [m/s] é a velocidade média do escoamento, D [m] é o diâmetro da tubulação, g [m/s²] é a aceleração da gravidade e f é o fator de atrito. O fator de atrito é um parâmetro adimensional que depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa. A rugosidade relativa é a relação entre a rugosidade aparente ε , que representa um fator característico da rugosidade da parede, e o diâmetro do tubo:

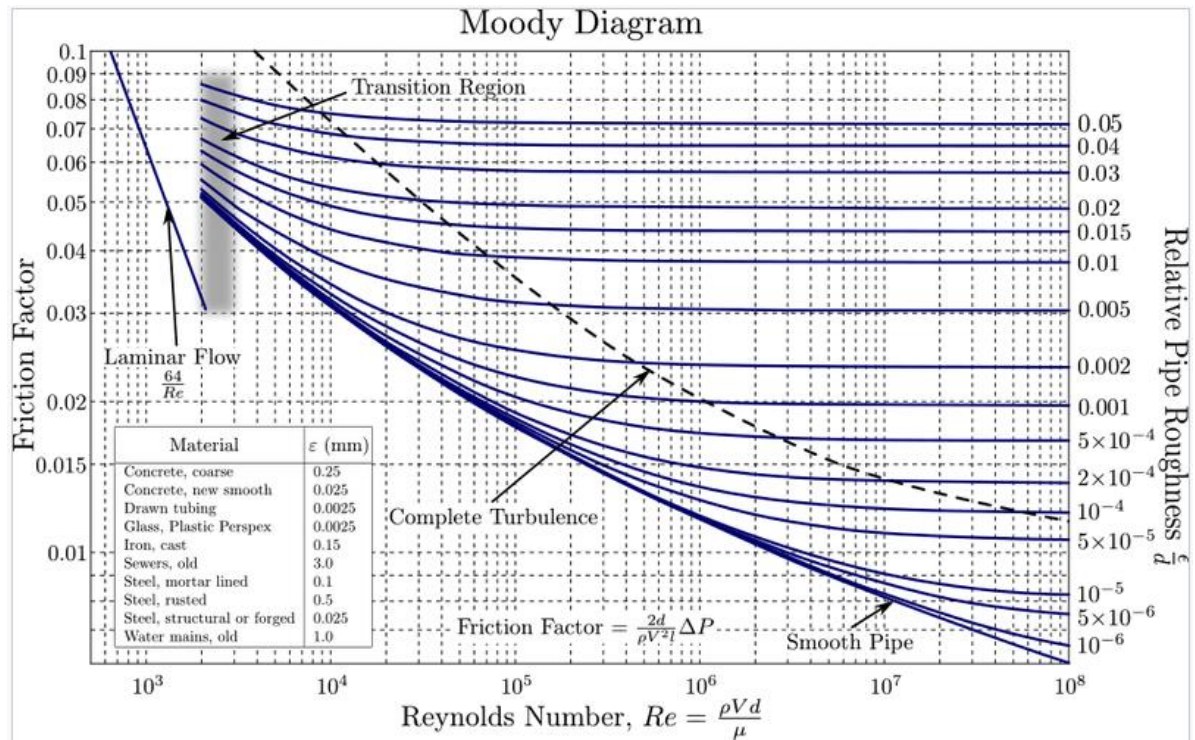
$$\text{Rugosidade relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

Tabela 2 – Rugosidades aparentes

MATERIAL	Rugosidade aparente ϵ (mm)
Vidro / Plástico / PVC	0,0025
Ferro fundido	0,15
Tubulação esgoto Antiga	3,0
Aço enferrujado	0,5
Aço forjado	0,025
Tubulação de água antiga	1,0

Fonte: (VILANOVA, 2011)

Figura 13 – Diagrama de Moody



Fonte: (VILANOVA, 2011)

O fator de atrito é determinado através do diagrama de Moody, que fornece o fator de atrito (ordenada y da esquerda) a partir do número de Reynolds na abscissa (eixo x) e da rugosidade relativa (ordenada y da direita).

Algumas fórmulas e equações para encontrar o fator de atrito foram desenvolvidas, com o objetivo de evitar a necessidade de consultar o diagrama de Moody, a mais utilizadas é a equação de Colebrook descrita abaixo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

Outras equações também podem ser usadas para obtenção do fator de atrito, porém pouco usuais, tais como equação de Von Karman, Harland, Hazen-Williams, entre outras.

2.5.2 Perdas de cargas localizadas

As perdas de cargas localizadas são devidas aos componentes ou geometrias que compõem a tubulação que não sejam o tubo reto. A contabilização dessas perdas é relacionada a um fator experimental chamado coeficiente de perda K_L . O coeficiente de perda está muito relacionado à geometria dos componentes e pouco relacionado às condições do escoamento. O fluido, ao passar por uma válvula, assim como em qualquer outro componente tem dificuldades devido às restrições que se apresentam e que obrigam a várias mudanças de direção do fluxo para o fluido transpassar o componente. Dessa forma, esse componente oferece uma restrição equivalente a um determinado comprimento reto de tubulação, ou seja, o seu efeito é o mesmo que um aumento da tubulação de uma quantia igual ao comprimento equivalente do componente. A determinação algébrica da perda localizada por um componente é dada por:

$$h_{LOC} = K_L \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

O total das perdas de cargas localizadas será obtido pela soma das influencias de cada componente da tubulação (singularidades). Uma tabela pode ser útil para relacionar os componentes do sistema e os valores de K_L .

A Figura 15 apresenta os coeficientes de perda proporcionais aos comprimentos equivalentes de vários componentes encontrados comercialmente. Já a Figura 16 apresenta os coeficientes de perdas para algumas geometrias de entradas e saídas de escoamentos. A determinação da perda total h_L se dá pela contabilização de todas as perdas associadas a componentes localizados, mais as perdas normais da tubulação.

Figura 14 – Coeficientes de Perda (K_L)

Componente	K_L	
a. Curvas: 90° (raio normal), flangeada 90° (raio normal), rosqueada 90° (raio longo), flangeada 90° (raio longo), rosqueada 45° (raio longo), flangeada 45° (raio normal)	0,3 1,5 0,2 0,7 0,2 0,4	
b. Retornos (curvas com 180°): flangeado rosqueado	0,2 1,5	
c. Tês: Escoamento alinhado, flangeado Escoamento alinhado, rosqueado Escoamento derivado, flangeado Escoamento derivado, rosqueado	0,2 0,9 1,0 2,0	
d. União rosqueada	0,08	

Fonte: (VILANOVA, 2011)

Figura 15 – Valores de coeficientes de perda para escoamentos em entradas e saída

Fonte: (VILANOVA, 2011)

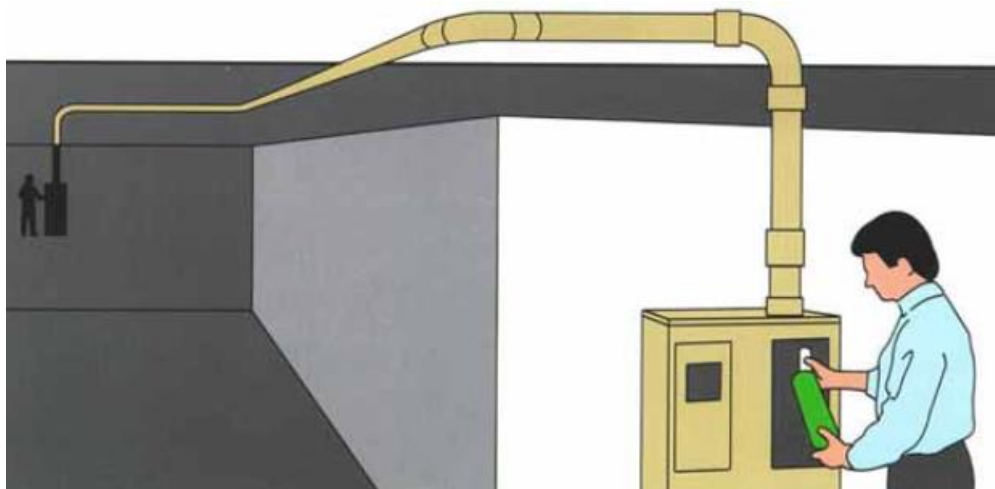
2.6 PNEUMÁTICA

Ciência que trata do comportamento dos gases e seu emprego para a transmissão de energia, fazendo algo se mover ou funcionar. Todos os gases são facilmente compressíveis, e é esta a propriedade que mais os diferencia dos líquidos como meio de transmissão de energia. Praticamente qualquer gás pode ser usado num sistema pneumático, mas, por razões óbvias, o ar (mistura de 78% nitrogênio e 21% oxigênio, aproximadamente), é o mais usual (CIMM, 2020).

De acordo com CIMM (2020), atualmente a pneumática tem importância fundamental na automação industrial. A utilização da pneumática tornou-se um meio barato e simples, devido as propriedades do ar comprimido, que são: quantidade (encontra-se em abundância na nossa atmosfera), transporte (facilmente transportável por tubulações), armazenagem (armazenado em reservatórios para posterior utilização), temperatura (as oscilações não prejudicam o trabalho), segurança (não existem problemas de explosões ou incêndios), limpeza (não polui o ambiente de trabalho), velocidade (altas velocidades de trabalho), sobrecarga (atuam com pressão até a parada final), construção dos elementos (baixo custo) e fácil manutenção. O ar comprimido é conduzido através de tubulações até o ponto de aplicação, onde executa o trabalho útil, seja por expansão, seja por aplicação direta de força. Em seguida é expulso para atmosfera.

2.7 SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO

De acordo com Woodford (2019), os sistemas de transporte pneumático, também chamados tubulações de cápsulas, tubos pneumáticos, transporte aéreo, tubos Lamson, tubos de ar e sistemas de transporte pneumático, são incrivelmente simples. Constituem-se de uma rede de tubos pelos quais recipientes cilíndricos (cápsulas) são propulsionados por ar comprimido ou vácuo. Esses sistemas são utilizados para transportar pacotes pequenos, para entrega urgente, como por exemplo: correio, cobrindo distancias relativamente curtas (entre prédios próximos, por exemplo).

Figura 16 – Correio Pneumático

Fonte: (DELREY, 2015)

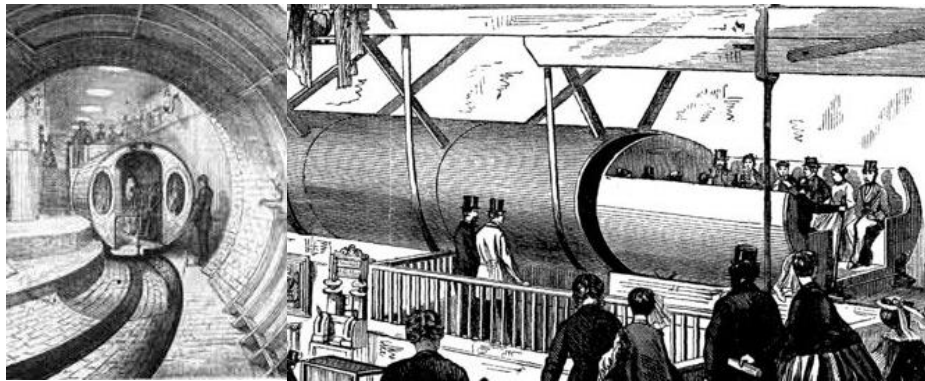
Essa tecnologia continua a ser utilizada, mas em pequena escala. Embora seu uso para enviar e receber informações tenha sido completamente superado pelos sistemas eletrônicos, os tubos pneumáticos ainda são amplamente usados para o transporte rápido de pequenos objetos ou de valores em curta distância. As aplicações atualmente existentes encontram-se basicamente nos bancos e nos hospitais utilizando tubos pneumáticos para transportar dinheiro e documentos. Hospitais utilizam sistemas pneumáticos para transportar medicamentos, documentos ou amostras.

A velocidade da cápsula varia entre, 4 e 15 metros por segundo, a depender não só da aplicação mas também do diâmetro da tubulação, do peso da cápsula e da quantidade de cápsulas que trafegam na tubulação em um determinado período de tempo, a velocidade da cápsula esta diretamente ligada ao tipo de compressor ou exaustor utilizado no sistema.

2.8 HISTÓRICO

De acordo com Levenstein (2009), A história do tubo pneumático pode ser rastreada até o século 19, mas seu início foi algo primitivo. O inventor Alfred Beach recebeu uma patente por seu conceito de trem de metrô pneumático em 1865, e em 1870 um metrô em funcionamento estava em operação nas ruas de Nova York! Formalmente conhecido como Beach Pneumatic Transit , o metrô apresentava um único carro que percorria um único quarteirão: 90 metros da Warren Street à Murray Street, em um túnel de 20 metros de largura sob a Broadway. A idéia de Beach estava adiantada e o metrô foi fechado em 1873. Levaria trinta anos até que outro metrô não pneumático passasse pelas ruas de Nova York.

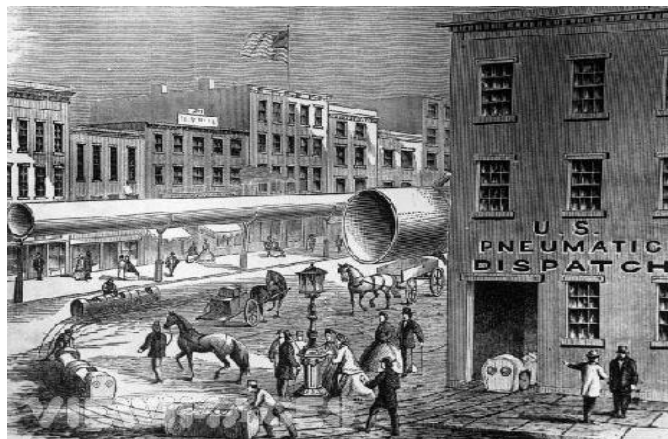
Figura 17 – Metrô pneumático de Nova York



Fonte: (STEVE, 2009)

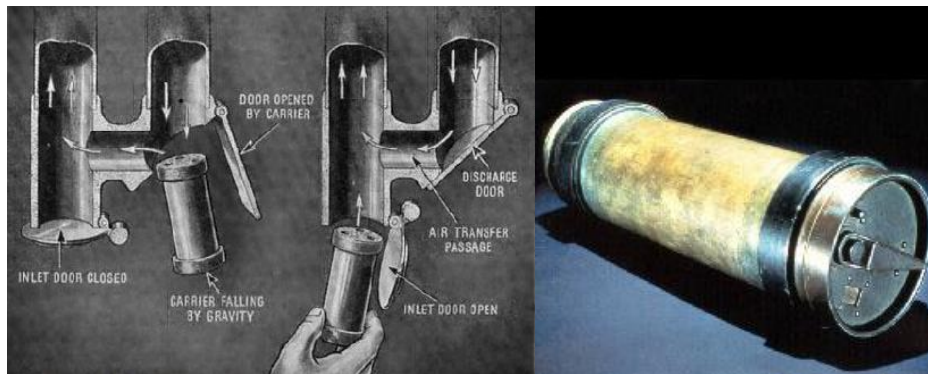
De acordo com Levenstein (2009), a ilustração abaixo de 1868 mostra o que Beach tinha em mente: um sistema de trem pneumático elevado combinado com um sistema de despacho de correio pneumático com caixas de rodas surpreendentemente grandes. Chamado de O “*Despacho Pneumático dos EUA*”.

Figura 18 – O Despacho Pneumático



Fonte: (STEVE, 2009)

Não demorou muito para que inventores e empreendedores criassem aplicações mais práticas para o conceito de tubo pneumático. Um dos primeiros foi Cash Carrier, um sistema projetado para uso na loja de departamentos que movimentava dinheiro e moedas. Logo então patenteados por D. Brown em 13 de julho de 1875 (LEVENSTEIN, 2009). De 1953 a 1987, os correios da cidade de Nova York usaram um amplo sistema de tubos pneumáticos operado pela Tubular Dispatch Company para mover correspondências pela cidade, em 1914, 30% do correio de primeira classe da cidade estava sendo transportado pela cidade através do sistema de tubos, que incluía um trecho muito longo que percorria o comprimento da ponte do Brooklyn (LEVENSTEIN, 2009).

Figura 19 – Sistema de tubos pneumáticos

Fonte: (STEVE, 2009)

As redes de tubos pneumáticos podem ser encontradas em Londres, Paris, Berlim e Viena. O sistema de despacho pneumático de Berlim operou de 1865 a 1976, abrangendo mais de 400 quilômetros (250 milhas) de tubos e sobrevivendo (principalmente) a duas grandes guerras (LEVENSTEN, 2009).

Segundo Levenstein (2009), o americano, Willian Stickney Lamson, foi a principal luz da mania do tubo pneumático que varreu o mundo em desenvolvimento no final do século XIX. As redes de tubos de Lamson percorreram quase todas as principais cidades da Europa e América do Norte. Uma das aplicações mais bem sucedidas das redes de tubos pneumáticos foi em grandes lojas de departamentos, indispensável para transportar rapidamente o dinheiro, mensagens e até pequenos itens de mercadorias para locais precisos. O pioneiro na implantação de um sistema de tubos pneumáticos em lojas foi, o Wanamaker, uma lenda do varfejo da Filadélfia, em 1880 - um ano depois de instalar a iluminação elétrica (LEVENSTEIN, 2009).

Figura 20 – Lamson Pneumátic

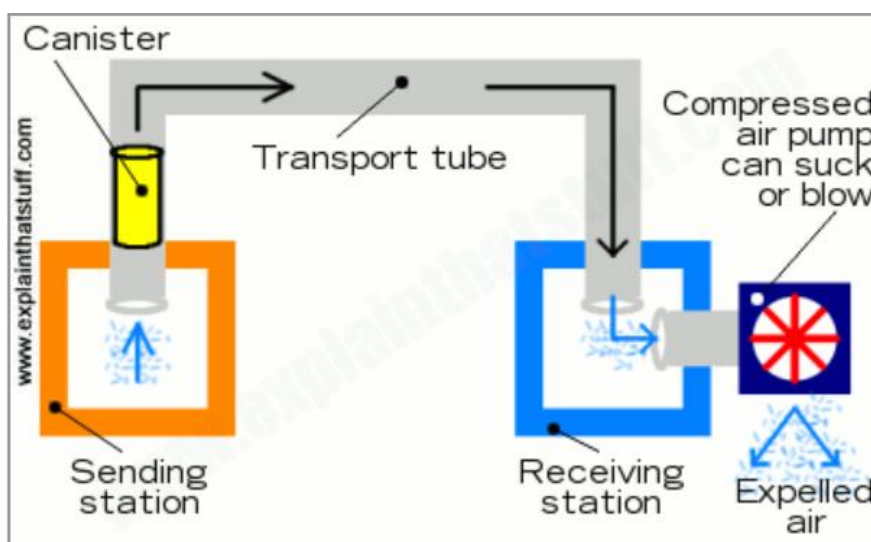
Fonte: (STEVE, 2009)

2.9 COMO FUNCIONA O CORREIO PNEUMÁTICO

O correio pneumático, também chamado de tubo pneumático, efetua o transporte de produtos líquidos ou sólidos, frios ou quentes, entre os diversos setores de uma empresa, através de um sistema pneumático; como por exemplo, entre o laboratório e diversos setores de produção, linha de produção e almoxarifado, cofre e linha de caixas, central administrativa e postos operacionais, etc (Profili, 2011).

Segundo Profili (2011) o transporte pneumático é a interligação de vários ambientes, através de tubos ligados a terminais (estações), onde são inseridas cápsulas que através da pressão pneumática (positiva ou negativa) efetua o movimento de objetos a serem transportados, tais como: peças para montagem na área industrial, documentos, medicamentos, amostras, exames laboratoriais, numerários, joias, valores, etc.

Figura 21 – funcionamento de um sistema de tubos pneumático



Fonte: (WOODFORD, 2019)

De acordo com Profili (2011) as cápsulas são impulsionadas por um compressor radial ou axial que através de válvula (câmbio automático) direcionam o sentido do fluxo de ar (vácuo ou pressão) através de tubulações. Este sistema permite uma conexão bidirecional infinita de pontos (estações de envio/recebimento) em qualquer distância e com uma velocidade media de até 10 m/s, com tamanhos de cápsulas que normalmente chegam até 280 mm de diâmetro e 500 mm de comprimento, os pesos normalmente transportados chegam a 10 kg. As remessas alcançam seu destino em poucos segundos com total segurança, rastreabilidade, robustez para o trabalho desde ambientes industriais (que exige do sistema confiabilidade) á laboratoriais (que exige do sistema segurança) em regime contínuo de sete

dias na semana e 24 horas por dia, reduzindo os custos com a movimentação desnecessária e consequentemente aumentando as horas produtivas dos funcionários, aumentando a performance logística global da operação.

O sistema tem topografia flexível permitindo desde uma simples conexão entre dois pontos quanto à interconexão entre múltiplos grupos de estação, ou seja, propicia um arranjo infinito de posições. Esse sistema já é vastamente utilizado na Europa e Estados Unidos, em indústrias, hospitais, bancos, supermercados, postos de gasolina, pedágios, joalherias, etc.

2.10 TIPOS DE TRANSPORTE

Os sistemas de transporte pneumático podem ser divididos em dois grandes grupos:

2.10.1 Tipo Sucção

No transporte pneumático por sucção ou transporte pneumático por pressão negativa, a capsula é sugada por intermédio de um equipamento que gera vácuo, equipamentos utilizados tais como exaustores, compressores, entre outros.

O sistema por sucção é normalmente utilizado nos casos onde existem vários pontos de alimentação em um só ponto de recebimento ou chegada do material

2.10.2 Tipo pressão

No transporte pneumático de pressão positiva a capsula dentro do tubo é empurrada até seu local de origem, nesse tipo de transporte são utilizados para a movimentação de ar sopradores centrífugos, sopradores roots ou outros tipos de sopradores.

Os sistemas de transporte pneumático por pressão positiva são mais comumente utilizados nos casos em que existe um ponto de partida e vários pontos de chegada ou descarregamento do material transportado.

2.11 USOS TÍPICOS

De acordo com Woodford (2019), sistemas como esses são amplamente utilizados em hospitais e lojas de departamento, então esses são os lugares para manter os olhos abertos, se você espera detectar tubos pneumáticos em ação. É mais provável que você os observe perto de caixas, especialmente quando alguém envia um pacote de dinheiro ao departamento do caixa. Procure uma caixa com um tubo saindo da parte superior e desaparecendo no teto acima. É improvável que você use um sistema como esse diretamente, a menos que trabalhe

em um banco, loja ou hospital, embora algumas farmácias e bancos usem tubos pneumáticos para entregar itens com segurança em quiosques eletrônicos de autoatendimento.

Pense no transporte de tubos, e geralmente pensa em cilindros ou tubos redondos, mas é possível enviar em outros formatos (como carteiras planas e flexíveis para documentos) por “tubos” achatados. Lamson patenteou um sistema como esse, para o envio de envelopes flexíveis em 1930 e vários outros sistemas similares foram desenvolvidos desde então para transportar coisas como cheques e notas (WOODFORD, 2019).

2.11.1 Hospitais

Hospitais são sistemas altamente complexos, que possuem uma multiplicidade de tarefas para resolver com as quais não se deve perder nenhum tempo, pois trata-se, enfim da saúde das pessoas.

Meios de transporte como o correio pneumático são por isso peças fundamentais para esse seguimento. As instalações do transporte pneumático não precisam ser feitas já na construção dos prédios, pois mesmo em hospitais em funcionamento podem ser montados, dependendo das peculiaridades da cada local pode-se montar um projeto único que atenda a cada necessidade.

O sistema transporta praticamente tudo o que cabe dentro da capsula: medicamentos, amostras de laboratório, bolsas de sangue, radiografias, documentos e ainda muito mais.

Figura 22 – Capsula pneumática utilizada em hospitais



Fonte: (MEDLUX, 2020)

2.11.2 Postos de Combustíveis

Em alguns postos de combustíveis possuem um sistema pneumático, os frentistas, são aqueles que atendem e recebem os pagamentos trabalham em um local distante da tesouraria e sua movimentação para receber ou passar troco acaba se tornando uma ação cansativa e morosa. O transporte pneumático nessas condições garante a segurança e confiabilidade nas operações de sangria, recolhimentos diretos em cofre, reabastecimento em linha de frente entre outros. Esse sistema nesse tipo de ambiente pode ser implantado adequando o projeto de forma eficaz, na maioria dos casos em postos de combustíveis as tubulações são feitas de modo subterrâneo que levam as capsulas ate o cofre ou sala de administração.

2.11.3 Transporte pneumático a gosto do cliente

Depois de algum tempo quando ficou evidente a utilidade do serviço de transporte pneumático, empresas começaram a instalar redes pneumáticas que funcionavam dentro dos próprios prédios. Bancos encaminhavam dinheiro e cheques diretamente para os caixas, hospitais usavam as linhas para transportar amostras para exames, raios-x e remédios. Em Edina, Minnesota, funcionou até 2011 o único McDonlad's do mundo que enviava os pedidos via linhas pneumáticas.

3 METODOLOGIA

3.1 EMPRESA

A empresa pra qual o projeto foi criado pertence ao setor financeiro brasileiro, constituída na forma de economia mista, é um dos cinco bancos estatais do governo brasileiro, com participação do governo federal do brasil em 54% das ações. A empresa possui 15.133 pontos de atendimento distribuídos pelo país, entre agências e postos, sendo que 95% de suas agências possuem salas de autoatendimento (são mais de 40 mil terminais), que funcionam além do expediente bancário, essa instituição financeira possui mais de 5.400 agências, estando presente na maioria dos municípios do país, com uma estrutura de mais de 100.000 funcionários e esta presente em mais de 21 países além do Brasil.

3.2 LEVANTAMENTO DO PROJETO E ESTUDOS PRÉVIOS

Este tópico apresenta o levantamento deste projeto e estudos prévios necessários para o desenvolvimento do trabalho. São descritas as necessidades pela qual se faz necessário tais melhorias e alguns detalhes de dimensionamento, custos, vantagens e desvantagens.

3.2.1 Layout das agências

Há muitas razões pela quais um layout é, de certa forma essencial, para uma organização, mas escolher um modelo é uma grande responsabilidade. Para que a escolha seja coerente com o objetivo da empresa, é necessário coletar informações sobre todo o procedimento executado, não havendo uma boa elaboração no inicio, todo o fluxo do processo de operações será afetado, tornando este demorado, dificultando as tarefas e aumentando o tempo de execução, entre outros.

Figura 23 – Hall do publico e área de espera



Fonte: (UNIDADE DE SERVIÇO EM INFRAESTRUTURA, 2016)

- Obter um fluxo de trabalho eficiente
- Utilizar melhor a área disponível
- Reduzir a fadiga do empregado
- Isolar elementos insalubres (ruídos, vapores, iluminação, etc)
- Clima favorável para o trabalho (motivação);
- Impressionar favoravelmente clientes e visitantes

3.2.2 A Situação Problema

Devido à forte influencia do mercado consumidor que altamente exige cada vez mais das empresas um grau elevado de excelência que vai além do cumprimento de prazos e qualidade, o projeto tem como objetivo melhorar a organização logística de numerário, agregando um diferencial na execução do serviço que apresenta alguns problemas de mobilidade, eficiência e principalmente segurança.

Desta forma podemos destacar o quadro estrutural da empresa em alguns aspectos. O principal aspecto é relacionado ao setor de infraestrutura, existem diversas agências, algumas possuem projetos mais modernos, seguros e eficazes outras nem tanto.

A empresa existe há muitos anos, e alguns prédios são considerados antigos e os custos com obras e reformas acabam tornando a modernização estrutural relativamente caro e inviável.

3.2.3 SAA (Sala de Autoatendimento)

A sala de autoatendimento é o primeiro ambiente acessado pelo cliente sendo um espaço de transição para área negocial, é um ambiente que permite executar transações bancárias por meio do autosserviço e tem como função:

- Filtrar o fluxo de clientes
- Descongestionar o espaço interno da agência
- Aliviar a demanda na área de atendimento e bateria de caixas

As salas de autoatendimento devem situar-se à entrada principal da agência isolada das demais áreas e que possa ser acessada por clientes em horários fora do expediente bancário, nelas estão localizadas os caixas eletrônicos e dependendo do porte da agência pode conter dezenas deles.

3.2.3.1 Saa agências novas

As novas agências possuem uma organização estrutural bem mais adequada e segura, podemos destacar que nesse novo estilo (layout), a circulação de funcionários para acesso aos caixas eletrônicos é de forma segura, localizada posterior aos equipamentos (caixas eletrônicos), denominada “corredor de abastecimento” no qual deve possuir dois acessos, um ligando ao hall da Saa e outro ao interior da agência, dessa forma torna mais seguro qualquer tipo de serviço feito nos equipamentos, seja abastecimento ou manutenção. Mesmo com toda segurança o serviço de abastecimento de numerário ainda permanece pouco eficaz, o funcionário responsável precisa se locomover dentro da agencia passando por ambientes distintos, carregando numerário em malotes ate o local de abastecimento ou recolhendo envelopes para o processamento, faz-se esse processo várias vezes ao dia aumentando as chances de falha de segurança ou falha humana (descuido) no transporte de valores.

3.2.3.2 Saa agências antigas

Em agências onde o layout ainda não foi modificado o processo de abastecimento de numerário torna-se um pouco mais complicado e inseguro. Para um funcionário realizar algum tipo de serviço nos caixas eletrônicos precisa passar pelo hall da agência onde se encontram os clientes, que é um loca de livre acesso, tornando esse tipo de serviço muito dificultoso e temerário.

3.2.3.3 Comparativo Saa

Sendo assim pode-se fazer um comparativo quais as principais localidades possuem o novo layout, percebe-se que 87,5% das agências não possuem o novo layout conforme descrito na tabela 3 abaixo, os motivos prováveis seriam os custos elevados com reformas estruturais inviabilizando as adequações. É nesse exato momento em que o projeto de transporte de tubo pneumático (correio pneumático) ganha força, devido seu baixo custo de implementação e possibilidade de instalação em quase todos os tipos de ambientes.

As agências variam desde pequeno porte com pouco movimento de clientes, até aquelas agências com maiores fluxos de movimentação, que possuem grandes quantidades de clientes e transeuntes e que utilizam os terminais de autoatendimento, partindo do principio de que todas as agências necessitam executar os serviços de abastecimento e recolhimento nos caixas eletrônicos, podemos considerar que o projeto de transporte de tubo pneumático é uma ótima opção de melhoria e eficiência para tal serviço nesse tipo de ambiente. A seguir

veremos quais agências possuem o novo layout e quais delas não possuem, assim possibilitando a implantação do projeto.

Tabela 3 – Comparativo (Layout)

AGÊNCIAS BANCÁRIAS (CIDADES)	LAYOUT NOVO MODELO	
	SIM	NÃO
TUCURUÍ		X
JACUNDÁ		X
BREU BRANCO		X
GOIANÉSIA		X
NOVO REPARTIMENTO		X
MARABÁ I	✓	
MARABÁ II		X
MARABÁ III		X

Fonte: Do autor

3.3 O PROJETO

O ponto de partida para elaboração do projeto foi o exaustor (motor aspirador), através dos dados fornecidos pelo manual do fabricante conforme tabela 4 abaixo, tornou-se possível dimensionar e construir o protótipo e calcular as perdas de cargas totais do sistema.

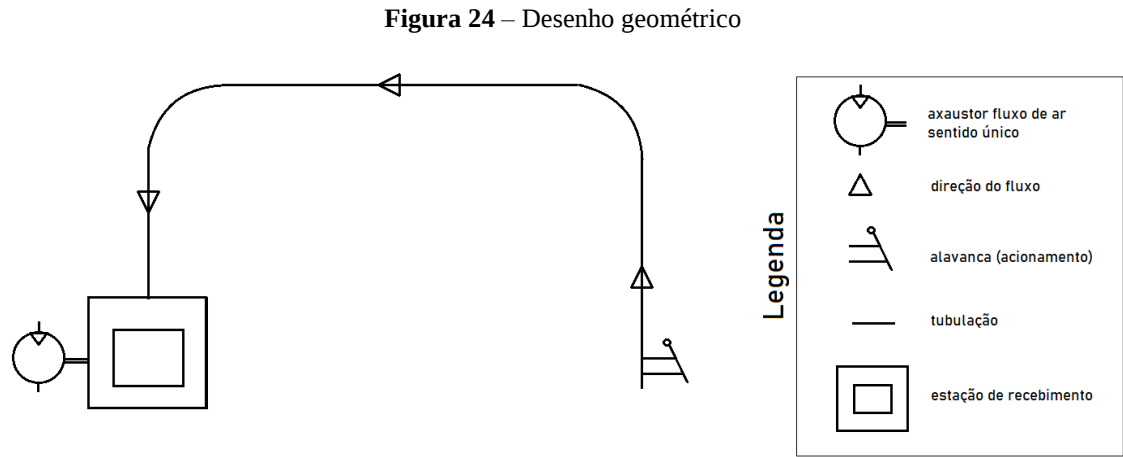
Tabela 4 – Ficha técnica (Motor Aspirador)

 Dados Exaustor (Motor Aspirador)	
Origem	Jiangsu china
Marca	Yongjie Motor
Número do Modelo	DW- PC22
Tipo	Motor de indução
Frequência	50/60 Hz
Potência	1200 W
Voltagem	220 v
Ruído	96db
Max Eficiência	35%
Max Sucção Potência	480 – 490 (W)
Max Grau de Vácuo	22 KPa
Peso Bruto	1,86 Kg

Fonte: (YONGJIE MOTOR, 2020)

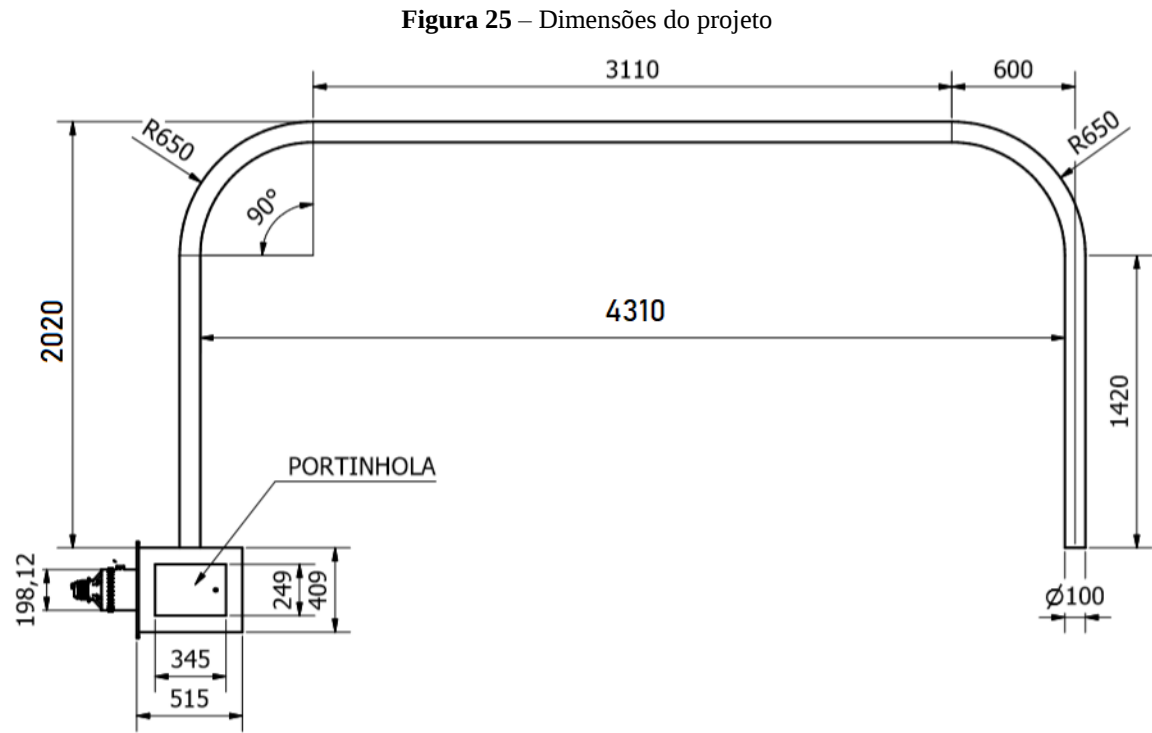
Esse projeto é destinado para a construção do protótipo, no entanto todos os critérios adotados para este fim podem ser utilizados para construir o sistema real.

3.3.1 Desenho geométrico



Fonte: Do autor

3.3.2 Calculo da Perda de carga total do sistema



Fonte: Do autor

A determinação da perda de carga total é obtida pela contabilização das perdas normais e localizadas. O comprimento linear da tubulação será obtido pelo somatório dos comprimentos individuais de cada trecho, a vazão consta no manual do fabricante conforme tabela 5.

$$L = 2020\text{mm} + 600\text{mm} + 3110\text{mm} + 600\text{mm} + 2020\text{mm}$$

$$L = 8350\text{mm} \longrightarrow 8,35\text{m} \quad (10)$$

A velocidade V [m/s] do ar no tubo será obtida por:

Dados:

Tabela 5 – Dados para obtenção de velocidade

Vazão
$Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{min} = 3,5 \text{ m}^3/60\text{s} = 0,058 \text{ m}^3/\text{s}$
Raio
$r = 0,05\text{m}$

Fonte: Do autor

$$V = \frac{Q}{A} \longrightarrow V = \frac{0,058}{\pi \cdot r^2} \longrightarrow V = \frac{0,058 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (0,05\text{m})^2} \longrightarrow \boxed{V = 7,4 \text{ m/s}} \quad (11)$$

O fator de atrito f é obtido pelo diagrama de Moody, mas nesse caso será feito pela equação de Colebrook. Contudo, é preciso ainda que se determinem a rugosidade relativa ε/D e o número de Reynolds. Da tabela 2 obtém-se que a rugosidade para tubo PVC (plastic) é $\varepsilon=0,0025$, então:

$$\text{Rugosidade relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0025}{100} \longrightarrow \frac{\varepsilon}{D} = 2,5 \times 10^{-5} \longrightarrow \boxed{\frac{\varepsilon}{D} = 0,000025} \quad (12)$$

O número de Reynolds é dado por:

Dados:

Tabela 6 – Dados para obtenção de Reynolds

Massa específica
$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
Velocidade média do escoamento
$v = 7,4 \text{ m/s}$
Diâmetro tubulação
$D = 0,1 \text{ m}$
Viscosidade do fluido
$\mu = 17,4 \times 10^{-6} \text{ Pa.s} = 0,02 \text{ cP (centipoise)} = 2,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

Fonte: Do autor

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \longrightarrow R_e = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 7,4 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m}}{17,4 \times 10^{-6} \text{ Pa.s}}$$

$$R_e = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 7,4 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m}}{0,02 \text{ cP}} \longrightarrow R_e = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 7,4 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m}}{2,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$R_e = 44400$

(13)

Re > 4000 escoamento turbulento

Observando o diagrama de Moody, podemos encontrar o fator de atrito, porém, com objetivo de minimizar erros e falhas de cálculos utilizaremos uma planilha do Excel para obtenção dos resultados utilizando a equação de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (14)$$

Figura 26 – Planilha Excel (equação de Colebrook)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Moody Chart Solver								
2	J. M. Cimbala, written August 2003; latest update 05 January 2012								
3									
4	This worksheet enables a user to specify a Reynolds number and a roughness factor, and the Darcy friction factor for pipe flow is calculated.								
5	Change values ONLY in the yellow highlighted cells.								
6	Enter the Reynolds number:	Re =	44400						
7	Enter the dimensionless roughness factor:	$\varepsilon/D =$	0,000025						
8									
9	Result from Colebrook equation (Moody chart):	f =	0,02154						
10									
11	Do not mess with the hidden cells below:								
16									

Fonte: (CIMBALA, 2003)

Fator de atrito utilizando o excel, verificamos que o valor é $f = 0,02154$

Finalmente pode-se obter a perda de carga normal por:

$$h_N = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$h_N = 0,02154 \frac{8,35m \cdot 7,4^2 m^2/s^2}{0,1m \cdot 2 \cdot 9,81m/s^2}$$

$$h_N = 0,02154 \frac{457,246}{1,962}$$

$h_N = 5,02m$

(15)

O total das perdas de cargas localizadas será obtido pela soma das influências de cada componente / acessórios da tubulação (singularidades). A tabela abaixo relaciona os componentes do sistema e os valores de k_L são obtidos na tabela 2.

Figura 27 – Perdas de carga em componentes / acessórios

Componente	Quantidade	k_L	$h_{Loc} = K_L \frac{v^2}{2g}$	Total de perda por componente
Curva 45° raio longo	4	0,20	0,56	2,24
Luva de correr	2	0,10	0,28	0,56
Entrada do escoamento delgada	1	0,5	1,4	1,4

Fonte: Do autor

O total das perdas localizadas será então:

$$h_{LOC} = 2,24 + 0,56 + 1,4$$

$h_{LOC} = 4,2m$

(16)

A perda de carga total será:

$$h_L = h_{LOC} + h_N$$

$$h_L = 4,2m + 5,02m$$

$h_L = 9,22m$

(17)

3.4 O PROTÓTIPO

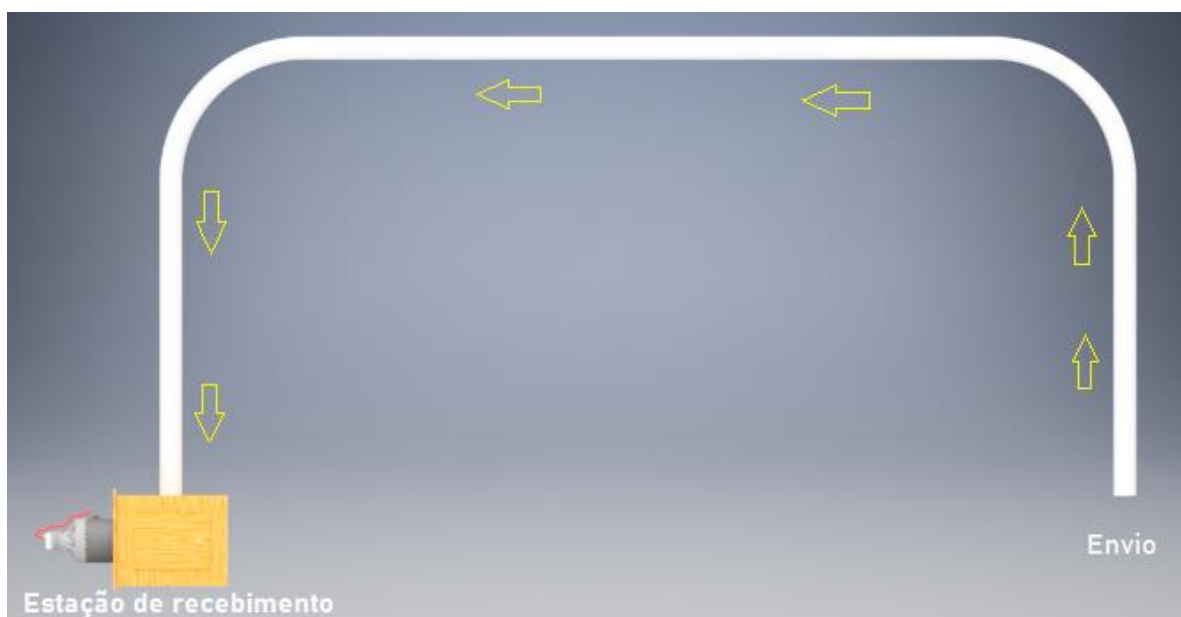
A melhor forma de testar e validar um projeto, em linhas gerais, é a criação de um protótipo no qual se refere a primeira unidade de um produto, que servirá de modelo ou molde para futuras produções em larga escala, o protótipo pode ser ricamente explicativo, visual a até interativo, possibilitando a execução de testes com o usuário final.

Se tratando de transporte de tubo pneumático, é bem difícil encontrar algo parecido, a maioria desses sistemas encontra-se em acessos restritos ou não existe tal investimento para essa finalidade principalmente na região do interior do estado. O protótipo foi construído com materiais disponíveis no mercado podendo ser utilizados pelo projeto original, com base em todas as informações do protótipo e possível implementar e fazer alterações utilizando a semelhança dinâmica dos fluidos, então digamos que o sucesso do projeto parte do princípio de elaborar um ótimo trabalho.

O protótipo final no qual foi desenhado utilizando o software 3D Cad SolidWorks, de forma a proporcionar uma compreensão mais realista dos resultados pretendidos.

Esse protótipo foi desenvolvido para um local com apenas uma divisão de ambiente, em uma linha reta do ponto de envio até o ponto de recebimento, essa é a configuração para o prédio atual no qual se encontra a instituição financeira.

Figura 28 – Protótipo



Fonte: Do autor

3.5 SELEÇÃO DA TUBULAÇÃO (TUBOS DE TRANSPORTE)

A rede de tubos varia de acordo com o projeto, existem vários tipos de tubulação, os mais utilizados são de aço galvanizado e tubos PVC. Nesse protótipo o material escolhido foi o PVC tanto pela acessibilidade do material quanto o seu custo benefício.

A distância e altura não são obstáculos para o sistema de transporte pneumático, as tubulações podem atravessar vários andares com seus tubos e equipamentos mecânicos escondidos atrás de paredes, acima do teto, debaixo do chão ou na parte exterior do edifício, sempre é possível embutir, esconder ou tornar a tubulação aparente de uma forma bem discreta para que não prejudique ou polua o ambiente visualmente.

Tabela 7 – Comparativo (medidas e valores)

MATERIAL	COMPRIMENTO	VALOR MÉDIO
Aço galvanizado 4"	6m	R\$ 551,72
PVC 100 mm	6m	R\$ 97,45

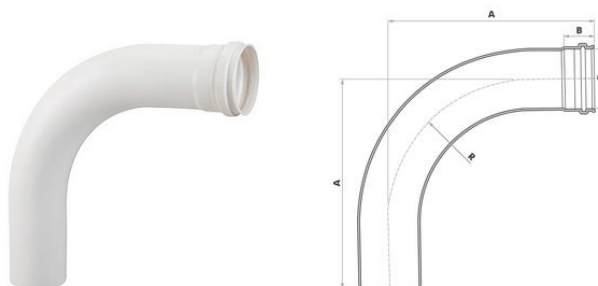
Fonte: Do autor

De acordo com a tabela acima a tubulação de aço galvanizado elevaria os custos do projeto comparado ao pvc, sendo que a tubulação de pvc atende às exigências do projeto.

3.6 CURVAS E CONEXÃO DE PVC

As curvas e conexões utilizadas no protótipo foram selecionadas de acordo com a disponibilidade comercial, as curvas precisam mudar a direção e possuir uma curvatura de 90° o mais sutil possível para que a capsula se movimente e não fique presa. O mais comum e mais comercializado são as curvaturas de pvc 90°, no entanto esse formato da curva e mudança de direção é muito brusca inviabilizando o projeto, conforme figura abaixo.

Figura 29 – Curva 90°



Fonte: (FORTLEV, 2020)

Portanto para a viabilidade do projeto foi necessário utilizar uma curva com ângulos mais suaves, e com os materiais disponíveis no mercado, foi possível construir utilizando duas curvas de 45°, unidas por uma luva de correr, com isolamento de anéis de borracha que ajudam numa melhor fixação e impermeabilidade.

Figura 30 – Curvas 45° e luva



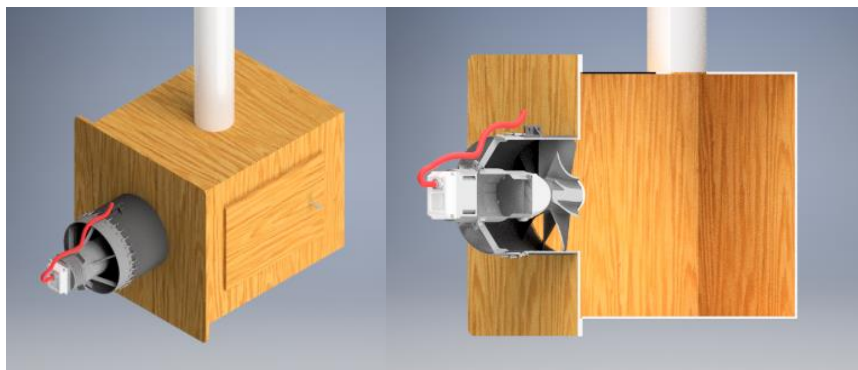
Fonte: Do autor

Totalizando uma curvatura de 90°, e com abertura do ângulo um pouco maior e não tão brusca possibilita a passagem da capsula viabilizando a construção do protótipo.

3.7 ESTAÇÃO DE RECEBIMENTO (CAIXA)

A estação de recebimento foi elaborada para que as cápsulas cheguem ao local de destino de forma segura, a caixa foi elaborada com material MDF painel de madeira, esse material foi utilizado por ter características de fácil manuseio, acabamento e uma boa resistência.

Figura 31 – Estação de recebimento

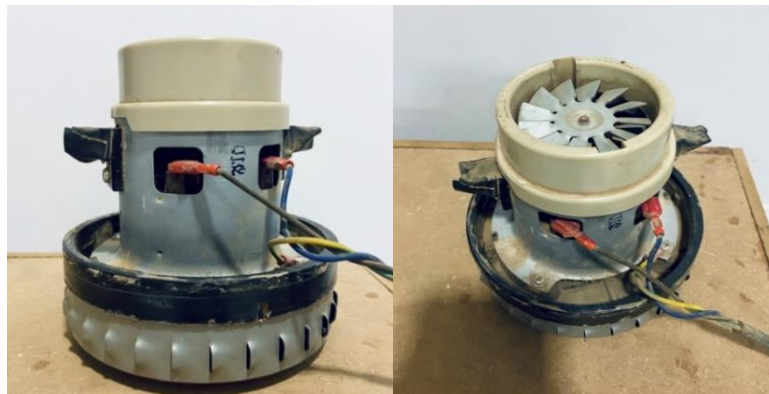


Fonte: Do autor

3.8 MOTOR COMPACTO (ASPIRADOR)

O motor compacto (aspirador) é o coração de todo o sistema, ele quem vai comandar a sucção das capsulas e enviar para os destinos desejados, a partir dele podemos dimensionar o tamanho e peso das capsulas, circuito e tubulação. O sistema é diretamente proporcional, quanto maior o circuito pneumático maior terá que ser a potencia do motor aspirador.

Figura 32 – Motor (aspirador)



Fonte: Do autor

O exaustor utilizado no protótipo é um DW-pc22 de pequeno porte 220v – 1200W de potência e com rotor de aproximadamente 14cm de diâmetro, essa configuração atende perfeitamente os requisitos do protótipo.

3.9 CÁPSULA DE TRANSPORTE

Figura 33 – Cápsula de transporte



Fonte: Do autor

A capsula pneumática pode ser produzido a partir de vários materiais disponíveis no mercado, podendo este ser de alta resistência e qualidade como polímeros, acrílico, aço inox, borracha, sintéticos específicos ou PVC, esse critério define-se a partir do tipo de material que será transportado, nesse protótipo foi utilizado uma capsula de PVC.

A tubulação do sistema possui um diâmetro de 100 mm, portanto a cápsula deve possuir um diâmetro ligeiramente menor, mas que possua uma folga, para casos de alguma eventualidade ou entupimento a capsula não vede todo o sistema, evitando a sobrecarga de outros componentes do sistema.

3.10 METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO

3.10.1 Tubulação

O manuseio da tubulação pvc é algo relativamente simples, as medidas foram escolhidas e realizado os cortes nos pontos adequados utilizando uma serra, a tubulação é fabricada com seus encaixes, para uma melhor fixação pode-se utilizar cola específica para tubos de pvc, melhorando sua fixação e isolamento. Além disso, é necessário utilizar uma luva de conexão entre as curvas da tubulação fazendo a ligação da parte vertical com a horizontal, não é necessário pintar a tubulação, esse tipo de material é bastante resistente.

3.10.2 Caixa de madeira (estação de recebimento)

Esse processo é de longe o mais desafiador, necessário experiência em carpintaria pra efetuar os cortes precisos, depois de efetuado os cortes exatos das placas, a colagem foi realizada utilizando cola especifica de madeira e grampos de fixação, o corte no tamanho ideal sem sobras ou folgas facilita no isolamento e eficiência do exaustor.

3.10.3 Motor Aspirador

O exaustor é fixado no local indicado utilizando cola quente, esse tipo de fixação é temporária, para a execução dos testes funcionou perfeitamente, no entanto para uma melhor fixação é indicado utilizar uma cola mais resistente.

3.10.4 Cápsula

A cápsula é definida a partir do diâmetro da tubulação, considerando a tubulação com diâmetro de 100 mm, foi utilizado cano pvc de 75mm para a construção do corpo da cápsula, e em suas extremidades fechadas com uma tampa de pvc chamada tap, que pode ser desacoplada a qualquer momento para inserir o objeto que será transportado.

3.11 O PROJETO PILOTO

Esse projeto piloto é considerado como uma ideia inovadora para empresa, destacando a ausência de qualquer tipo de melhoria ou algo semelhante para este setor, pode-se ressaltar também a importância deste tipo de serviço tanto para a instituição, mantendo a qualidade de seus serviços essenciais, quanto para a comunidade que irá usufruir de serviços ágeis e eficientes. Portanto para que esse projeto obtenha sucesso, além de bons resultados com o protótipo é preciso fazer algumas considerações importantes, citadas abaixo:

- ✓ Dimensões estruturais da agência
- ✓ Fluxo de movimentação em taa
- ✓ Quantidade de terminais de autoatendimento

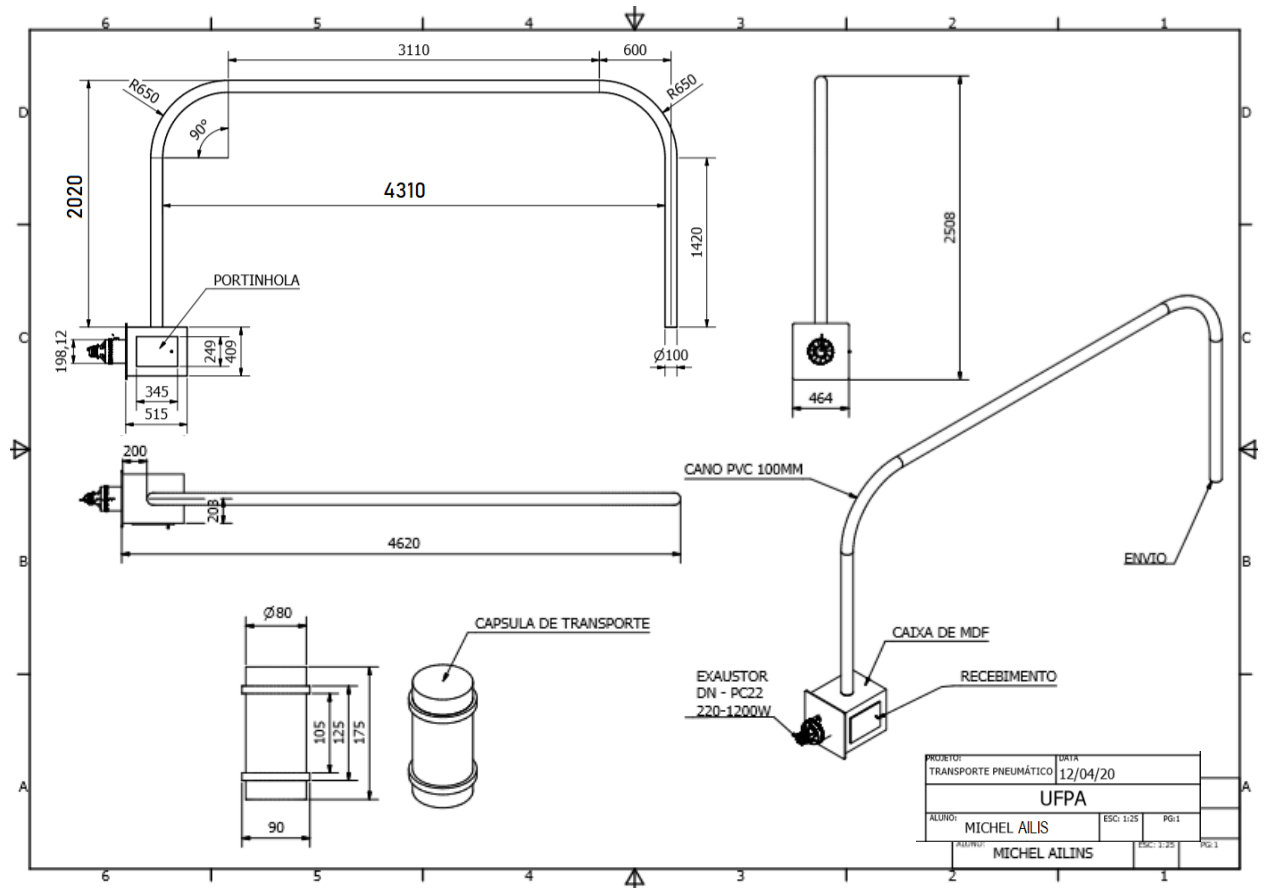
Com os parâmetros principais definidos para instalação do projeto, é necessário vistorias e estudos de viabilidade em cada agência. Partindo do princípio que em cada agência possui sua estrutura física específica e suas particularidades de ambientação, cada projeto precisa ser adaptado ou alterado em determinado tipo de agência.

O projeto admite-se bastante flexível começando pelo tipo de numerário a ser transportado, como por exemplo: dinheiro em espécie, envelopes depositados (cheque/dinheiro), documentos e até mesmo transporte de moedas. As cápsulas de transporte podem ser projetadas para diversas finalidades, mas para instituições bancárias que é o caso deste projeto, limita-se ao transporte de numerário.

Sendo assim o projeto real pode ser facilmente construído, adotando os mesmos critérios utilizados na construção do protótipo.

4.1 DESENHO TÉCNICO

Figura 35 – Desenho técnico do protótipo



Fonte: Do autor

A representação acima (Anexo A), mostra as dimensões e posições de cada objeto e peça do protótipo, facilitando a exemplificação, leitura, correções e alterações do projeto. Esse tipo de linguagem é de suma importância para engenheiros, construtores e projetistas, visto que fornece todas as informações precisas do planejamento, concepção e construção de um determinado objeto em seu sentido mais amplo, a necessidade de precisão nas informações do protótipo se faz necessário o uso desta ferramenta.

4.2 FICHA TÉCNICA

Como já temos a distância percorrida pela cápsula que nesse caso representa o ΔS , o tempo foi obtido através do vídeo de testes, coletando o tempo em que a cápsula percorre toda a tubulação até chegar à estação de recebimento, esse resultado representa o Δt , garantindo desse modo o valor aproximado da velocidade média em que a cápsula percorre todo o sistema.

O valor de velocidade média foi obtido através da fórmula universal que conhecemos onde:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{8,35}{2} = 4,175\text{m/s} \quad (18)$$

Tabela 8 – Ficha técnica

ALTURA	2,52m
COMPRIMENTO	4,62m
Ø TUBULAÇÃO	100 mm
Ø CÁPSULA	75mm corpo / 90mm (corpo + rebarba)
PESO DA CÁPSULA	500g
POTÊNCIA DO EXAUSTOR	1200w
VOLTAGEM	220v
DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA CÁPSULA	8,35m
TEMPO APROXIMADO	≈ 2s
VELOCIDADE MÉDIA	≈ 4,175m/s ou ≈ 15,03 km/h
DMENSÕES DA CAIXA (ESTAÇÃO DE RECEBIMENTO)	20cm x 32cm x 48cm
(CAIXA MDF) ESPESSURA	9mm

Fonte: Do autor

Outra informação importante que devemos destacar aqui nesse trabalho são os gastos com a construção do protótipo, especificados na tabela abaixo, apesar de boa parte dos materiais terem sido doados, se faz necessário demonstrar os gastos.

Tabela 9 – Custos

DESCRIÇÃO MATERIAL	QTD.	VALOR UNID.	TOTAL
PLACA MDF	2	R\$ 0,00	R\$ 0,00
EXAUSTOR	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
TUBULAÇÃO DE PVC	3	R\$ 0,00	R\$ 0,00
CURVA LONGA 45°	4	R\$ 20,95	R\$ 83,80
CONEXÃO LUVA DE CORRER	2	R\$ 15,12	R\$ 30,24
COLA DE MADEIRA	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
FERRAMENTAS		R\$ 0,00	R\$ 0,00
INSUMOS E SERVIÇOS		R\$ 0,00	R\$ 0,00
TOTAL			R\$ 114,04

Fonte: Do autor

Esta relação de gastos não representa de fato os gastos reais da construção do protótipo, a caixa de madeira, por exemplo, ausência de ferramentas específica de corte, tornaria impossível fazê-lo, o que acarretaria a solicitação de serviços de um profissional em marcenaria, não houve também aquisição de ferramentas o que acabaria encarecendo os custos, e ressaltando os materiais doados foi de grande importância para economia do projeto tornando-o muito mais barato e viável.

4.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Os sistemas de tubos pneumáticos são uma maneira rápida, simples segura e confiável de transportar objetos pequenos a distâncias relativamente grandes, passando por edifícios ou usando tubos subterrâneos. Eles podem mover as coisas para cima, para baixo ou para os lados, por serem pneumáticos, proporcionam passeio suave e com amortecimento para itens frágeis (muitos sistemas usam freios ou para-choques com amortecimento para que as cápsulas cheguem lentamente a um descanso na estação de recebimento). Como eles eliminam a necessidade de uma pessoa carregar coisas, sistemas como esse economizam tempo e dinheiro e tendem a se pagar rapidamente. Eles também oferecem conexões seguras entre diferentes partes de um edifício, reduzindo as oportunidades de roubo e danos acidentais em trânsito.

Tabela 10 – Vantagens e Desvantagens

CORREIO PNEUMÁTICO	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Rápido	Não transporta objetos grandes
Eficiência no Processo Logístico	
Simples	
Transporte Seguro e confiável	Entupimento da cápsula na tubulação
Distâncias relativamente grandes	
Minimização de erros humanos	
Transporta objetos frágeis	Sistemas complexos Planejamento no projeto edifício
Reduz oportunidades de roubo e danos acidentais	
Redução no tempo de transporte	
Sistema pode ser expandido gradualmente	

Fonte: Do autor

As desvantagem, são quando se tratar de um sistema complexo com muitos terminais de envio e recebimento as estações precisam idealmente ser planejados na infraestrutura do edifício quando ele é projetado pela primeira vez, é mais difícil embora longe de ser impossível instalar um sistema complexo em um prédio antigo já existente. Outra possível desvantagem é o entupimento da cápsula na tubulação, mas atualmente com ajuda da automatização e dispositivos de rastreo e segurança essa possibilidade cai drasticamente.

4.4 CUSTO BENEFÍCIO

Com ajuda do sistema de correio pneumático as rotas de entrega podem ser reduzidas e, conseqüentemente, seus funcionários podem ser aproveitados de maneira mais eficiente.

Basta pensar em quantas vezes e por quanto tempo o funcionário gasta pra se deslocar de um ponto A ao ponto B. Assim pode-se calcular facilmente os custos da economia listados na tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Distância percorrida x tempo

Quantidade de vezes do caminho a ser percorrido	
6x	
Tempo necessário para percorrer o caminho por vez	
10min	
Tempo total	
6 x 10 = 60min → 1 hora por dia	

Fonte: Do autor

Considerando uma jornada de trabalho de um bancário de 6h diárias, 30h semanais e 120h mensais, o tempo gasto apenas com deslocamento é equivalente 1h diária, 5h semanal e 20h mensal.

Calculando o tempo gasto apenas com deslocamento em um ano tem-se $20h \times 12 = 240h$, isso significa que em um ano o funcionário de uma instituição financeira responsável por essa atividade, respectivamente gasta dois meses de sua jornada de trabalho anual apenas com deslocamento dentro da agência.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

O protótipo foi construído e validado com sucesso, e seu objetivo foi cumprido de acordo com os critérios estabelecidos: demonstrar e comprovar a eficiência do sistema de tubo pneumático, mesmo em escala reduzida pode-se concluir que os testes foram realizados com muito sucesso comprovando sua eficácia.

Durante os testes, a cápsula de transporte pneumático transportou um peso de 500g, utilizando um exaustor com pouca potência, tubulações com diâmetros reduzidos e com uma cápsula de pequena capacidade, podemos concluir que todo o sistema funcionou muito além do esperado, superando as expectativas, tratando-se de protótipo. De acordo com o modelo adotado todos os cálculos do projeto para o protótipo podem ser aplicados de maneira semelhante para o modelo real.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por se tratar de uma tarefa repetitiva a automatização do sistema é essencial para executar tarefas como emissão de relatórios sobre cada transporte, data, hora, identificação da estação de envio, e de recepção, quantidade de envio, alertas sonoros ou luminoso, alertas de falhas operacionais ou do sistema, manutenção preventiva recomendada, etc. além de tornar o manuseio do equipamento mais prático, podendo ser operado por qualquer pessoa e tornando o processo mais confiável.

A customização do ângulo de curvatura é outro ponto muito importante, sua melhoria pode trazer uma grande eficiência para o sistema, aumentando a velocidade de transporte e minimizando o atrito no ponto mais crítico do sistema.

6 REFERÊNCIAS

PROFILI, Walter. **Correio pneumático - Sistema de envio de material por pressão de ar.** Disponível em: <<http://correio-pneumatico.blogspot.com>>. Acesso em: 15 nov. 2019, 00:43:23.

MANUTENÇÃO EM FOCO, Soluções e treinamentos. **Pneumática história e sua evolução.** disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/pneumatica-historia-e-sua-evolucao/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

BESTCHARGER, tubos pneumáticos. **Correio pneumático para valores e documentos.** Disponível em: <<https://bestcharger.com.br/transporte-de-valores>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

TELECOM, sistemas pneumáticos de tubos. **Produtos para sistemas de tubos Hidra.** Disponível em: <https://www.telecomtubesystems.com/en/Hydra_5_6.html>. Acesso em: 18 nov. 2019, 23:03:01.

GONÇALVES, Cleber Baptista. **Casa da Moeda do Brasil: 290 anos de história.** São Paulo: Do autor, 1984.

WERBER, Andrew. **Library of congress, uma série de tubos – foto da semana.** [S.l.:s.n], 2011. Disponível em: <<https://blogs.loc.gov/law/2011/12/a-series-of-tubes-pic-of-the-week/>>. Acesso em: 21 nov. 2019, 21:45:09.

WOODFORD, Chirs. **Transporte de tubo pneumático.** [S.l.:s.n], 7 de fevereiro de 2019. Disponível em: <<https://www.explainthatstuff.com/pneumatic-tube-transport.html>>. Acesso em: 21 nov. 2019, 21:51:45.

LIBRARY, Library of congress. **Chicago, Illinois. Um sistema de tubos pneumáticos conecta os escritórios principal do pátio com os escritórios da yardmasters em todo o pátio da Illinois Central Railroad. Lista de computadores e outras comunicações são rapidamente enviadas dessa maneira.** [S.l.:s.n], nov. 1942. Disponível em: <<https://www.loc.gov/pictures/item/2017839337/>>. Acesso em: 22 nov. 2019, 22:35:21.

DA HORA, Henrique Rego Monteiro et al. **Análise crítica do layout de uma instituição financeira: um estudo de caso em uma agência bancária.** 2011, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: III Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, 2011.

SANTOS, A.; SANTOS, G.; MENTEN, G. **Projeto conceitual de um sistema de coleta pneumática de resíduos sólidos.** 2014. 107 f. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia Ambiental, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MEDLUX, Medical Engineering. **Correio Pneumático.** Disponível em: <https://http://www.medlux.com.br/produto_correio.html>. Acesso em: 13 jan. 2020, 20:12:02.

PANIN, Luiz Kuchenbecker. **Tecni-ar - Sistema de controle de fluidos e automação.** Disponível em: <<http://www.tecniar.com.br/tag/pneumatica-parker/>>. Acesso em: 13 jan. 2020, 21:58:07.

ADARVE, Sistema de Correio Pneumático. **Correio Pneumático Adarve – Swisslog, A Solução no rápido atendimento aos seus clientes.** Disponível em: < <https://www.adarve.com.br/2013-12-18-12-43-05/correio-pneumatico>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SEGURIDADE, Segurança e limpeza. **O que diz a lei de segurança para agências bancárias? Descubra aqui.** Disponível em: < <http://blog.seguridade.com.br/o-que-diz-a-lei-de-seguranca-para-agencias-bancarias-descubra-aqui/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

COPAFAER, Copafer.com. **Tubulação pvc 90°.** Disponível em: < <https://m.copafer.com.br/curva-90-graus-longa-esgoto-secundario-100mm-26121000-tigre-p1108997>> Acesso em: 16 jan. 2020.

MORAIS, Jaider. **Prototipação, a melhor forma de testar e validar um projeto.** Disponível em: < <https://designcomcafe.com.br/prototipacao-a-melhor-forma-de-testar-e-validar-um-projeto/>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

MEYER, Maximiliano. **Como funciona o hyperloop e como ele vai mudar nossas vidas.** Disponível em: < <https://www.oficinadanet.com.br/post/18463-o-que-e-hyperloop-e-como-ele-vai-mudar-nossas-vidas/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

STEVE, Web Urbanist. **Series of tubes: Pneumatic tube Networks then & Now.** Disponível em: <<https://weburbanist.com/2009/04/11/a-series-of-tubes-pneumatic-networks-past-present-futurama/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

CIMM, Centro de Informação Metal Mecânica. **Definição – O que é Pneumática.** Disponível em: < <https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/7-pneumatica>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

BERTULANI, Carlos. **Viscosidade, turbulência e tensão superficial.** 1999. Disponível em: < <https://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrodinamica/viscosidade.html>>. Acesso em: 03 fev. 2020. .

DOCPLAYER. **Fenômenos De transporte aula 4 Cinemática dos fluidos.** Disponível em: < <https://docplayer.com.br/61755156-Fenomenos-de-transporte-i-aula-04-cinematica-dos-fluidos.html>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

VILANOVA, Luciano Caldeira. **Mecânica dos fluidos.** 2011. E-tec brasil, escola técnica aberta do brasil, Colégio Técnico Industrial - UFSM, Santa Maria RS, 2011.

GOMES, Maria Helena Rodrigues. **Apostila de Mecânica dos Fluidos.** Dep. Eng. Sanitária e Ambiental – Faculdade de Engenharia UFJF, Mecânica dos fluidos, Universidade Federal de Juiz de Fora.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos.** 2º Ed, Pearson, São Paulo, 2008.

LELI, Isabel Teresinha. **Variação Espacial e Temporal da Carga Suspensa do Rio Avaí.** Programa de Pós Graduação em Geografia – Universidade Estadual de Maringá, Maringá PR, 2010.

ANEXO A

