



DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO AUTOMÁTICO DE UMA VÁLVULA FLAP PARA CONTROLE DE REJEITOS PLUVIAIS URBANOS

Elaine Peterle Francisconi¹

Richard de Medeiros Castro²

Resumo: Atualmente com o surgimento de novas leis para o setor do saneamento, empresas públicas e privadas necessitam prover de tecnologia para que se cumpram as diretrizes do novo Marco legal do saneamento básico. Entre as demandas encontra-se a necessidade de controle e monitoramento do esgoto urbano que desembocam em mares e rios. Com o extravasamento do esgoto em dias de grande precipitação, grande parte desse esgoto acaba indo para o mar sem o devido tratamento, causando contaminação. Diante dessa demanda, foi observado a necessidade de aplicar automação para controlar os rejeitos pluviais urbanos que desaguam nas marés e rios. Dessa forma, todo esgoto urbano passa a ser controlado e tratado evitando poluição ambiental. Essa automação foi aplicada a uma válvula flap, que trabalha como um sistema auxiliar para evitar danos ao sistema pluvial. Através dos cálculos dos componentes mecânicos e aplicando a metodologia de escala reduzida, foi possível realizar a montagem de um protótipo. Foi observado que para uma válvula de 400mm e 100mm o valor da força exercida pelo sistema é de 219,58 N e 132,88 N respectivamente. Através dos resultados foi possível observar que para simulação de comporta obstruída, o motor apresentou uma elevação no valor da corrente obtendo uma média de 1,98 A. Em uma aplicação real, essa condição poderia auxiliar na tomada de decisões, como por exemplo, a parada do sistema por corrente alta, enviando um alarme ao sistema de monitoramento. Foi possível observar também que a corrente de partida do motor se manteve maior do que a corrente nominal. Apresentando assim um valor de 1,39 A e 1,23 A durante a partida e valores de 1,02 A e 1,01 A na corrente nominal de abertura e fechamento respectivamente. Isso mostra que o protótipo se comportou de forma coerente com o real. Este estudo revelou através da prototipagem, que o sistema automático aplicado para esta finalidade, aumenta significativamente o controle de extravasamento dos rejeitos. Os resultados deste estudo mostraram-se eficazes e de excelente ajuda para o setor do saneamento básico, podendo ser aplicado em outros sistemas de controle de rejeitos.

Palavras-chave: Saneamento básico. Automação. Válvula flap. Prototipagem

1. INTRODUÇÃO

Investir em saneamento básico, é uma das maneiras de investir em saúde e qualidade de vida da população. Investir em mecanismos e automação voltada ao

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica, 2023. E-mail: peterle103@gmail.com:

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: richard.castro@satc.edu.br



saneamento, é reduzir custos e desperdícios, diminuir os impactos ambientais e contribuir para a difusão desses serviços.

Dentro da abordagem relacionada a drenagem urbana das águas pluviais, observa-se algumas sanções específicas dentro da lei do marco legal do saneamento básico. Conforme a lei nº 14.026 (2020), a universalização do setor, e deverá garantir o acesso de 99 % da população de água potável tratada e que 90 % dos brasileiros tenham acesso ao esgoto tratado. Por este motivo, as empresas de saneamento básico, possuem prazo para implantar ou regularizar a coleta e tratamento de esgoto até o ano de 2033.

Dentre os investimentos necessários, também fica previsto a cobrança do tratamento de esgoto equivalente para cada metro cúbico de água consumida. Ou seja, quanto antes for assegurado a coleta e o tratamento de esgoto aos consumidores, mais cedo a empresa poderá cobrar por este serviço prestado.

Por este motivo, empresas que atuam no setor de saneamento, possuem necessidade de controlar os rejeitos hídricos, para evitar ou identificar possíveis vazamentos. Em tempos de grande precipitação, esse volume aumenta consideravelmente, extravasando para as marés e rios sem o devido tratamento através de válvulas flap, que trabalham como um auxiliar para evitar danos ao sistema hidráulico. Muitas vezes ocorre o descarte inapropriado de objetos como pedras, galhos e garrafas pet nos canais de coleta da cidade. Quando a válvula abre para esses objetos são carregados junto pela força da correnteza interna da tubulação e, eventualmente, ficam presos na extremidade da portinhola. Isso impede seu retorno ao estado natural e permite indevidamente o vazamento de esgoto na natureza.

A fim de evitar que estes vazamentos ocorram ou, quando não for possível evitá-los, permitir uma tomada de decisão ágil, pretende-se desenvolver um protótipo para simular o funcionamento da automação perante as condições de operação de extravasamento de efluente. Para isso, serão empregados os conceitos das áreas de elementos de máquinas, mecanismos, automação industrial e estática relacionados a engenharia mecânica, para controlar a abertura e fechamento da válvula flap e todo o sistema automático.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item serão apresentadas as pesquisas utilizadas para embasamento teórico.

2.1 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO

Atualmente o setor de saneamento básico tem recebido investimentos governamentais para sua melhoria. Esses investimentos devem, além de gerar benefícios a saúde pública, seguir os padrões de qualidade, que são definidos pelas legislações específicas garantindo a conservação e sustentabilidade desses recursos.

Essa legislação trata-se do novo marco Legal do Saneamento Básico, alterado pela Lei nº 14.026 sancionado no dia 15 de junho de 2020, traz como proposta a universalização do setor, garantindo que 99% da população tenha acesso a água tratada e que 90% dos brasileiros tenham acesso ao tratamento de esgoto.

Diante do investimento as concessões de saneamento básico precisam se adequar a nova lei. Trazendo para dentro do cenário de esgoto, ficou ainda mais evidente a importância do controle e tratamento desses resíduos.

É necessário tratar do tema do saneamento básico mais especificamente sobre o controle de águas pluviais de rejeitos urbanos, visto a sua previsão na lei nº 9984, de 17 de julho de 2020, e sua mais recente alteração com o novo Marco Legal do Saneamento Básico, mais especificamente em seu artigo 3º.

Dentro do tema saneamento básico, ainda cabe ressaltar a “Política Nacional de Recursos Hídricos”, instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que traz entre outros temas, um rol de infrações quanto a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos em seu artigo 49, e as sanções previstas no artigo 50.

Ainda, se da má utilização dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos resultar em crime ambiental, temos a Lei nº lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Além de leis estaduais aplicáveis ao caso.

2.2 VALVULA FLAP

As válvulas de retenção mais popularmente conhecidas como válvulas flap, são equipamentos robustos geralmente acoplados na extremidade de uma tubulação por flange parafusada. Seu objetivo é que haja fluxo em apenas um sentido, protegendo contra refluxo em períodos de enchentes ou maré alta, conforme figura 1.

Figura 1: Exemplo de válvula flap



Fonte: Paulmon (2022)

Segundo Abu-Zeid (2019), as válvulas flap são projetadas para uso na extremidade de descarga dos tubos para evitar o fluxo de retorno ou intrusão no tubo. Aplicações típicas incluem descargas para reservatórios, bacias de lagoas e chaminés. Quando instalada para trabalhar em sistemas de esgoto de forma autônoma, sua portinhola abre quando houver o aumento de nível de reservatório, liberando o líquido para fluir de dentro para fora. Quando o nível do reservatório diminuir, a portinhola fecha novamente por efeito da gravidade.

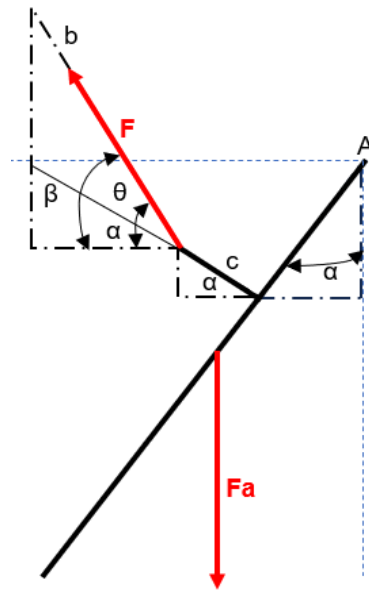
2.3 ESTUDO DAS FORÇAS EXERCIDAS PELO SISTEMA

Estudar a aplicação das forças para dimensionamento de projeto, é necessário para atender as especificações funcionais de desempenho, e modelamento da melhor geometria, além de obter a resistência mecânica adequada.

Segundo Collins, Jack A. (2006), para uma boa análise de forças para o projeto de qualquer elemento de máquina, deve-se observar como as forças e os momentos são aplicados e transmitidos através da estrutura e como eles reagem.

Um sistema de forças aplicado em um movimento vertical, está relacionado a força de atrito e a força necessária para a movimentação de uma carga, conforme mostra figura 2.

Figura 2: Diagrama de forças flap



Fonte: Autor (2022)

De maneira geral, as forças exercidas para a elevação de cargas podem ser representadas conforme análise variando em cada tipo de sistema. Segundo Luciano Galdino (2014), se o corpo estiver suspenso sem estar guiado, deve-se considerar apenas o peso da carga que será elevada, se o corpo estiver guiado deve-se adicionar à força peso a força de atrito correspondente ao movimento na guia podendo ser representada conforme a equação 1.

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F_a \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin(\alpha) - F \cdot c \cdot \cos(\theta) - F \cdot c \cdot \sin(\theta) = 0 \quad (1)$$

Onde:

F_a = força atrito (N);

F = força (N)

c = distância c (mm)

d = distância total (mm)

Separando as componentes em função de seno e cossenos tem-se:

$$a - c \cdot \cos(\alpha) - \varphi \sin(\alpha)$$

$$\theta = \beta - \alpha$$

Desta forma isolando os ângulos β e θ obtém-se a seguinte equação:



$$\beta = \arccos\left(\frac{a - C * \cos(\alpha) - \varphi * \sin(\alpha)}{b}\right) \quad (2)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{a - C * \cos(\alpha) - \varphi * \sin(\alpha)}{b}\right) - \alpha \quad (3)$$

Considerando as equações (1), (2) e (3) para o cálculo do somatório do momento no ponto A obtém-se equação 4.

$$Fa \cdot \frac{d}{2} \cdot \varphi \cdot \cos(\theta) - F \cdot c \cdot \sin(\theta) = 0 \quad (4)$$

Logo, simplificando a equação do momento tem-se equação 5.

$$F = \frac{Fa \cdot d \cdot \sin(\alpha)}{2 \cdot (l \cdot \cos(\theta) + c \cdot \sin(\theta))} \quad (5)$$

Dessa forma, a partir dessa equação será definida a carga dinâmica necessária para escolha do fuso necessários para a operação do sistema de forma automatizada.

2.4 METODO DAS SEMELHANÇAS GEOMÉTRICAS

A teoria das semelhanças geométricas por modelos reduzidos, é utilizada para confecção de modelos em dimensões menores com uma relação de grandeza aplicada. Segundo Carl Pfeleiderer e Hartwing Petermann (1979), “A semelhança geométrica garante a igualdade das tensões devido a sobrepressão, desde que a pressão de acionamento permaneça constante”.

Dessa forma utilizando a teoria de semelhança geométrica, podemos considerar a seguinte equação para definição das dimensões do projeto.

$$P = \frac{F_x}{A_x} \quad (9)$$

Onde:

P = Pressão real do sistema (Pa)

F_x = Força exercida no protótipo (N)

A_x = Area da tampa do protótipo (m²)



Logo, não será levado em consideração o fluxo do fluido, mas sim a fabricação mecânica do sistema, bem como aplicação de forças na abertura e fechamento da comporta.

2.5 DEFINIÇÃO PARAFUSO DE POTÊNCIA

Existem diversos perfis de roscas, desenvolvidas para aplicações e situações diferentes. Segundo Gordo e Ferreira (2012), as roscas são conjuntos de filetes que contornam corpos cilíndricos, já os parafusos são corpos constituídos por roscas que servem para fixação e transmissão de movimentos.

Segundo Bento (2009), para auxiliar na eficiência do tipo de rosca escolhido, pode-se acrescentar um fuso de esfera, onde este possui algumas características como movimentação suave, deslocamento preciso, redução no desgaste e eficiência superior a 95%.

Inicialmente para dimensionar o fuso ideal para a aplicação, precisa-se definir a velocidade crítica conforme o diâmetro do fuso.

2.5.1 Velocidade crítica do fuso

Bento (2009), descreve que a velocidade crítica é a velocidade na qual a frequência natural faz com que o fuso de esfera entre em ressonância. Recomenda-se não ultrapassar 80% deste valor.

Segundo OBR (2017), os tipos de montagem podem ser considerados fixo-livre, suportado-suportado, fixo-suportado ou fixo-fixo, onde cada modelo de montagem apresenta um coeficiente de ressonância, conforme tabela 1.

Tabela 1: Coeficiente de ressonância do fuso de esfera

Tipo montagem	Coef. de ressonância
apoiado - apoiado	f = 9,7
fixo – apoiado	f = 15,1
fixo – fixo	f = 21,9
fixo - livre	f = 3,4

Fonte: OBR (2017)

Ainda, para cada montagem deve ser realizado o cálculo de rotação máxima permitida, onde a partir dessa informação, pode-se obter a rotação máxima permitida de cada fuso. A equação pode ser definida conforme equação 6.

$$n = f \times (dr/L^2) \times 10^7 \times 0,8 \quad (6)$$

Onde:

n = rotação máxima permitida (rpm)

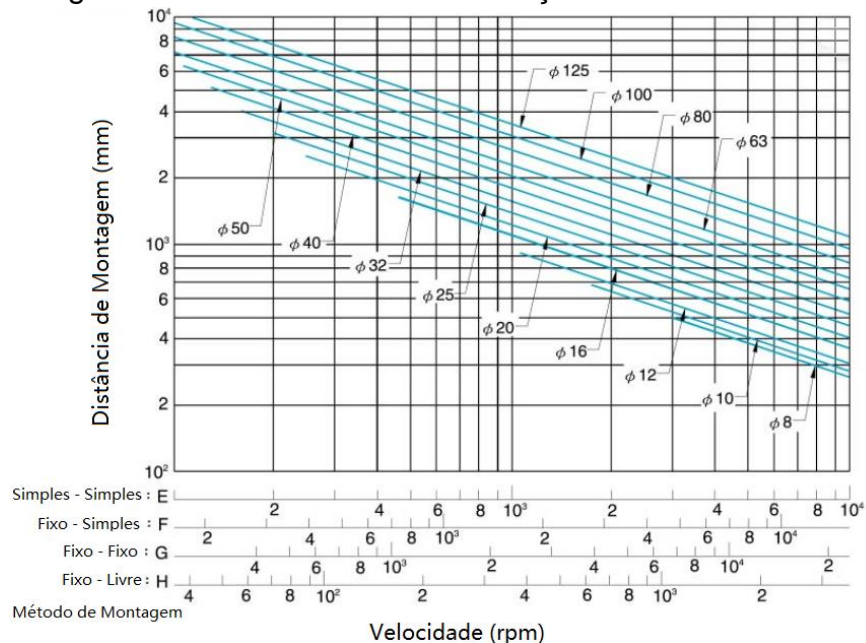
f = coeficiente de ressonância (---)

dr = diâmetro interno do fuso (mm)

L = distância entre os mancais (mm)

Caso já haja uma velocidade de rotação definida e a distância percorrida durante o acionamento, pode-se verificar na intersecção dessas duas informações o diâmetro do fuso de esfera a ser utilizado no sistema. Na figura 3 é selecionado a velocidade com relação ao diâmetro do fuso.

Figura 3: Velocidade crítica em relação ao diâmetro do fuso



Fonte: Adaptado, Kalatec (2018)

Após a definição da rotação máxima aplicável ao fuso, realiza-se o cálculo do passo do fuso, que nada mais é do que a distância entre os filetes da rosca, conforme apresentado na equação 7.



$$p = \frac{V}{N} \quad (7)$$

Onde:

p = passo (mm)

V = velocidade máxima permissível (mm/min)

N = rotação nominal de trabalho (rpm)

Ainda conforme descreve Bento (2009), para definir o fuso de esfera ideal é necessário que seja aplicado o fator de operação, que especifica o tipo de trabalho que o fuso será exposto. Dessa forma observa-se a tabela 2.

Tabela 2: Fator de operação do fuso conforme condição de operação

Condição de operação	F_w (Fator operação)
Operação suave sem impactos	1,0 a 1,2
Operação normal	1,2 a 1,5
Operação com impacto e vibrações	1,5 a 3,0

Fonte: Bento (2009)

Logo na sequência, deve ser observado a estimativa de vida útil do fuso conforme a sua aplicação e sua rotina de trabalho.

Segundo NSK (2022), a vida dos fusos de esferas pode ser definida pelo número total de revoluções, onde por média pode ser definido conforme a tabela de operações.

Tabela 3: Vida útil dos fusos em relação ao tipo de operação

Tipo de operação	Vida útil média (V_u)
Centros de usinagem	20.000 h
Máquinas de Produção	10.000 h
Máquinas de controle automática	15.000 h
Dispositivos e outros equipamentos	5.000 h

Fonte: OBR (2017)

Após a definição de todos os parâmetros, é necessário calcular a força axial total aplicada ao sistema, para posteriormente definir a carga dinâmica que o fuso será exposto. Pode-se considerar a força axial como a soma total das massas existentes no sistema, multiplicado pelo coeficiente de atrito. O coeficiente de atrito é um valor tabelado e é definido conforme o tipo de fuso selecionado. Ao definir a carga axial total, é possível definir a carga dinâmica de todo o sistema para definir o tipo ideal de fuso a ser utilizado.

2.5.2 Carga Dinâmica

Pode-se afirmar segundo Kerkoff A.M. e Tomazini A.A. (2018), que carregamentos dinâmicos, por definição, são carregamentos em que a direção e a posição podem variar ao longo do tempo. A carga dinâmica enfrentada pelo fuso é definida pela soma das forças aplicadas ao sistema e é demonstrado na equação 8:

$$Ca = (60 * N * Vuh)^{\frac{1}{3}} * Fa * Fw * 10^{-2} \quad (8)$$

Onde:

Ca = carga dinâmica (kgf)

N = rpm de trabalho (rpm)

Vuh = vida Útil (h)

Fw = fator operação (---)

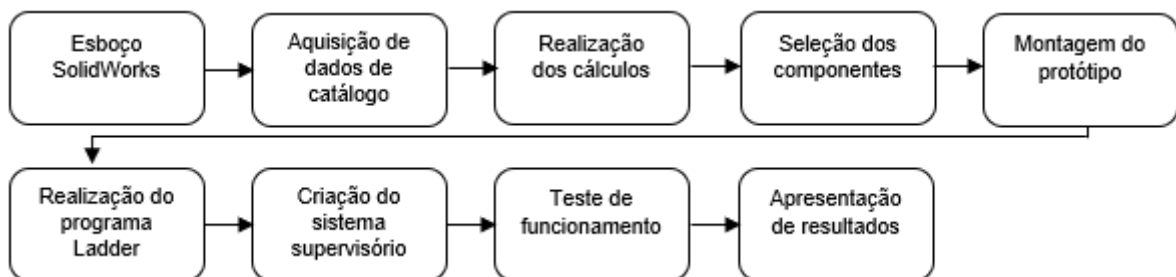
Fa = força crítica (N)

A partir do cálculo da carga dinâmica, é possível então dimensionar o fuso ideal para a aplicação conforme o catálogo do fabricante.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As etapas para a execução do projeto final, estão descritas na figura 4.

Figura 4: Organograma das atividades



Fonte: Autor (2022)

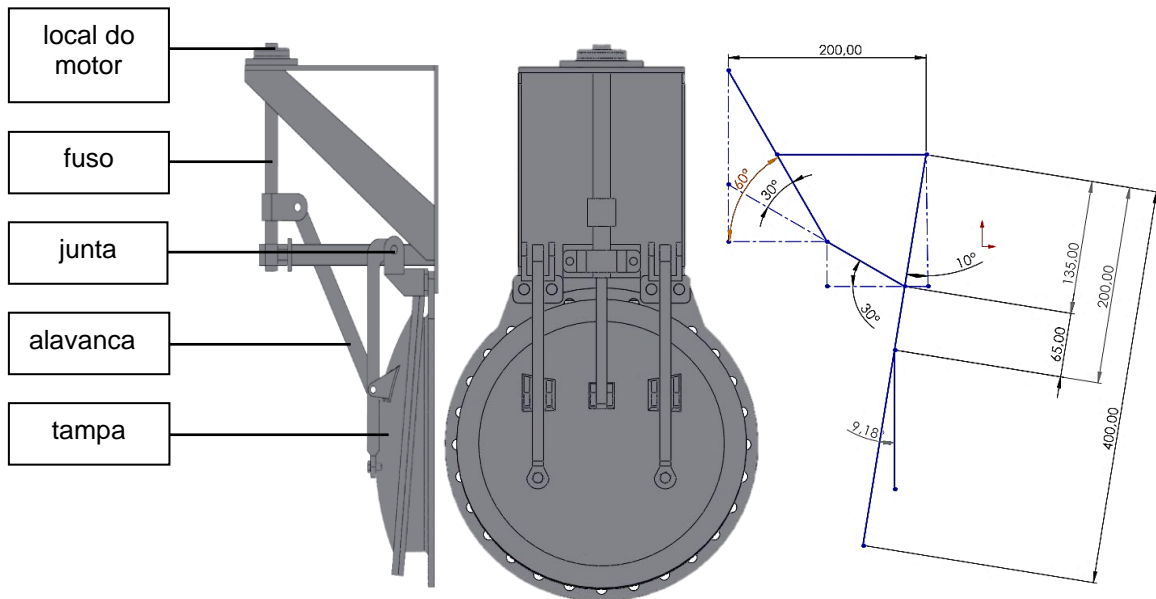
3.1 MODELAMENTO DE SÓLIDO DO DISPOSITIVO

Para iniciar o desenvolvimento do protótipo, foi realizado um esboço da bancada e a distribuição de cada componente do sistema. O modelamento foi desenvolvido no software do SolidWorks® onde foi analisada a montagem e o trabalho que seria realizado em cada peça. As figuras 5^a, 5b e 5c, representam a montagem

de cada componente, a vista frontal e o diagrama de forças respectivamente. Essas dimensões foram selecionadas conforme dimensões aplicadas em campo, e serão utilizadas para base de cálculos.

Figura 5: Montagem de cada componente, a vista frontal e diagrama de forças

a) Componentes da tampa b) Vista frontal da tampa c) Diagrama de forças



Fonte: Autor (2022)

O modelamento se fez necessário para que fosse possível esboçar o perfil da tampa para posteriormente fabricar o protótipo. Dessa forma se pode analisar cada componente de forma individualizada para ter noção de montagem e disposição de cada componente.

3.1.1 Detalhamento das peças

Para iniciar o processo de simulação foram coletados os dados do catálogo do fabricante para que posteriormente pudessem ser aplicados as metodologias necessárias para a execução do protótipo. Tais dados servirão como parâmetros para validação. A válvula flap utilizada para retirada dos dados utilizados para base de cálculo, será do fabricante Hidramaco, modelo DN 400 produzida em ferro dúctil.

Tabela 4: Dimensões da válvula flap (tamanho real)

Diâmetro Nominal (DN)	DE (mm)	H (mm)	C (mm)	Massa total (kg)	Massa tampa (kg)
400	565	600	16	60	12

Fonte: Catálogo Hidramaco

Para a aplicação na bancada foi utilizado um fator de escala reduzida em 75% que permitiu o desenvolvimento do protótipo.

Foram aplicadas as dimensões na equação 5 e foram encontrados para os possíveis tamanhos de flap os seguintes valores de força crítica resultante, apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Força crítica resultante para diferentes dimensões

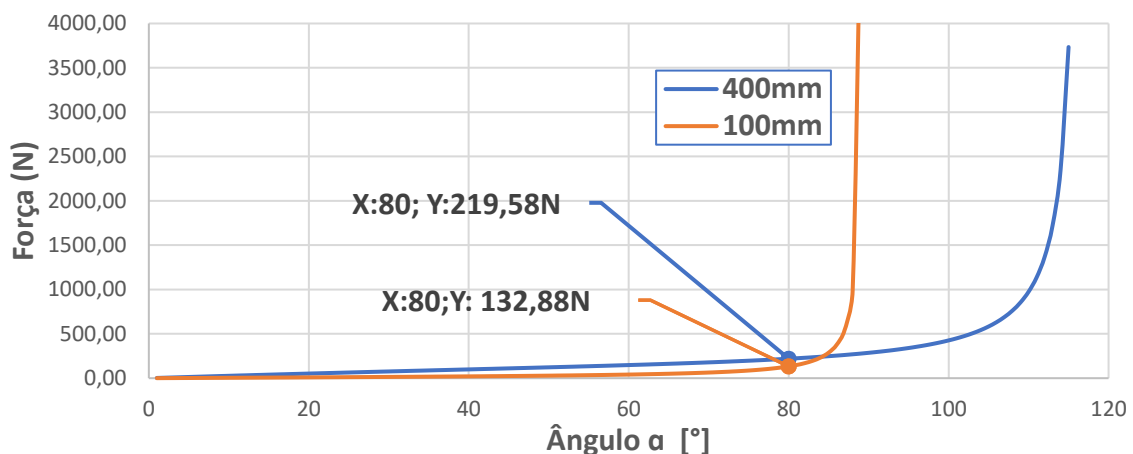
Dimensão (mm)	Força resultante (N)	Força resultante (kgf)
400 mm	219,58 N	22,39 kgf
300 mm	183,28 N	18,69 kgf
200 mm	157,82 N	16,09 kgf
100 mm	132,88 N	13,55 kgf

Fonte: Autor (2022)

Devido a necessidade de facilitar a fabricação e simulação do protótipo foi considerado o fator de relação de 75 % do diâmetro real, ficando assim um diâmetro de 100 mm.

Dessa forma, foram utilizadas ambas as medidas, onde para cada valor de ângulo foi realizado a análise de variação na força de abertura conforme apresentado na figura 6.

Figura 6: Força crítica em relação ao ângulo de abertura real x protótipo



Fonte: Autor (2023)

É perceptível na figura 6, que a força crítica passa a ter uma maior variação em relação ao ângulo quando atinge um valor próximo a um ângulo de 100 graus quando trata-se da dimensão de 400 mm. Porém como a válvula tende a trabalhar com abertura menor devido ao espaço disponível dentro da elevatória de esgoto, realiza-se o cálculo buscando o pior caso, considerando o ângulo de 80 graus.

3.2 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Para o desenvolvimento do protótipo e para nortear os cálculos, foram utilizadas algumas metodologias. Após a modelagem no *software* foi iniciado o processo de cálculo dos componentes, utilizando inicialmente as medidas padrões e aplicando o método das semelhanças geométricas.

3.2.1 Definição das semelhanças geométricas

Para essa teoria será utilizado o método de estudo da semelhança por escalas geométrica, pois o projeto não se enquadra no estudo de uma máquina de fluxo, e não será relevante para o estudo, a análise do número de Reynolds e de Mash.

Para o projeto, foi considerado um ponto de máxima pressão, (ruptura da força máxima), determinando assim que a pressão é constante naquele exato momento em que o sistema realiza a abertura e o fechamento da válvula. Ou seja, foi determinado que quando o sistema identificar determinada pressão, configurada a partir de um setpoint, o sistema automático irá atuar no acionamento da válvula flap.

3.2.2 Definição do fuso

Inicialmente para a definição do fuso, foi considerado para a força axial a soma das massas existentes no sistema multiplicado pelo coeficiente de atrito. Para este projeto foi definido o fator de atrito com o valor de 0,01 conforme especificado na curva de Stribeck.

A curva de Stribeck, trata do coeficiente de atrito levando em consideração o regime de lubrificação do mecanismo. Segundo Dowson, (1979), a curva característica, mostra claramente a existência de um ponto de valor mínimo do coeficiente de atrito. No caso deste projeto como se trata de um regime misto, justifica a seleção do valor de 0,01 para aplicação nos cálculos.

Segundo José Profito F. (2010), no regime misto de lubrificação, as superfícies em contato são parcialmente separadas por um fio lubrificante, onde as cargas atuantes são suportadas simultaneamente pelos campos de pressões. A partir do valor de 0,01 do fator de atrito multiplicado pelo valor de 13,55 kgf apresentado na

tabela 5, obteve-se para o protótipo uma força axial resultante de 0,13 kgf. A partir deste dado, pode-se então calcular a carga dinâmica do sistema através da equação 8. Foi considerado um fator de operação normal de 1,5. Já para o tempo de vida útil do fuso será estipulado em torno de 5.000 horas, visto que a frequência de acionamento do mecanismo fica em torno de 3 horas diárias. Dependendo das condições climáticas em especial do volume de chuva. Considerando os valores anteriores, a carga dinâmica encontrada foi no valor de 0,98 kgf.

Para seleção do fuso, foi definido o valor de 400 rpm como velocidade crítica, que geralmente é encontrado em motores elétricos. A distância de montagem entre as fixações foi considerada 500 mm devido a construção do protótipo. Dessa forma justifica-se pelo gráfico da figura 3 e pelo baixo valor da carga dinâmica, que o menor diâmetro de fuso atenderia a carga exercida no sistema. Dessa forma foi utilizado para a bancada uma barra roscada de 8 mm, (5/16") com passo de 1,25 mm.

3.2.3 Definição do motor

Para definir o torque de acionamento da carga é necessário levar em consideração o passo do fuso, multiplicado pela força crítica exercida pelo sistema e pelo rendimento, obtendo um torque de aproximadamente 0,28 Nm.

$$T_a = \frac{F_a * p}{2\pi * \eta} \quad (10)$$

Onde:

T_a = torque acionamento carga (N.m)


p = passo (mm)

η = rendimento (---)

F_a = força axial (kgf)

Dessa forma, como o protótipo exige um motor com baixo torque de acionamento foi definido um motor conforme apresentado na tabela 6:

Tabela 6: Especificações motor elétrico do protótipo

Características motor		Modelo
Tensão entrada	12 V	
Consumo	2,5 A	
Torque	9,12 N.m (93 kg.cm)	
Engrenagens	8 dentes	

Fonte: Cinoy (2023)

Foi definido este modelo de motor, devido a questão de segurança diante a alimentação de 12 VDC ao invés de uma alimentação monofásica 220 VCA. Foi avaliado também a facilidade de transporte do protótipo e o manuseio da estrutura, visto que não seria necessário utilizar um motor de maior porte.

Analisando os modelos de motores elétricos de menor potência, não foi encontrado um modelo que atendesse a uma redução da rotação e um controle de inversão de giro. Dessa forma, seria necessário calcular e desenvolver uma redução na ponta do eixo dos motores o que não seria viável devido ao tempo hábil para finalizar o projeto.

3.3 IMPRESSÃO 3D DA FLAP

A confecção da válvula flap do protótipo foi realizada na impressora 3D no laboratório 3D da SATC. Foi disponibilizado ao setor, o projeto de cada uma das peças, conforme escopo criado no Solidworks.

Figura 7: Impressão componentes da válvula flap



Fonte: Autor (2023)

O material para produção da válvula flap foi o filamento de polímero PLA. A dimensão do furo da válvula flap foi dimensionada para 100 mm, juntamente com as demais peças que também sofreram uma redução correspondente a 75% do tamanho original.

3.4 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

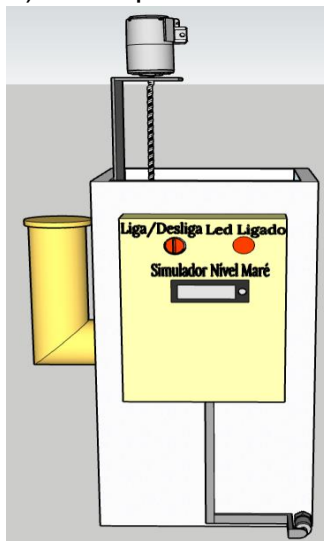
Inicialmente para a montagem do protótipo foi realizado um breve escopo no *software* SketchUp, apresentando a ideia de como ficaria o protótipo montado. Logo após, foi realizado o corte das peças do suporte em chaparia de 2mm, conforme o dimensionamento mostrado na figura 8a sempre aplicando a redução de 75% do

tamanho original. Como em campo, existe um sensor para monitorar o nível do mar, foi optado por simular este mesmo nível com um gerador de sinal de 4 a 20 mA. A ideia do projeto consiste também em monitorar o nível da maré para que não haja fluxo inverso para dentro da tubulação da válvula flap. Para simular o nível dentro da tubulação, foi decidido trabalhar com um transmissor de pressão de 1 bar. Dessa forma foi possível compactar o tamanho do protótipo, sem perder a qualidade dos resultados e a ideia principal do projeto.

A caixa de acrílico servirá para simular o poço onde a flap ficará instalada. Foi acoplado uma tubulação de PVC de 100 mm para injetar a água na válvula flap simulando assim o fluxo de esgoto. Após esboço e corte das chapas foi realizado a montagem da parte mecânica juntamente com o motor elétrico, e posteriormente acoplado na caixa de acrílico.

Figura 8: Escopo e o processo de montagem do protótipo respectivamente

a) Escopo bancada



Fonte: Autor (2023)

b) Montagem da flap

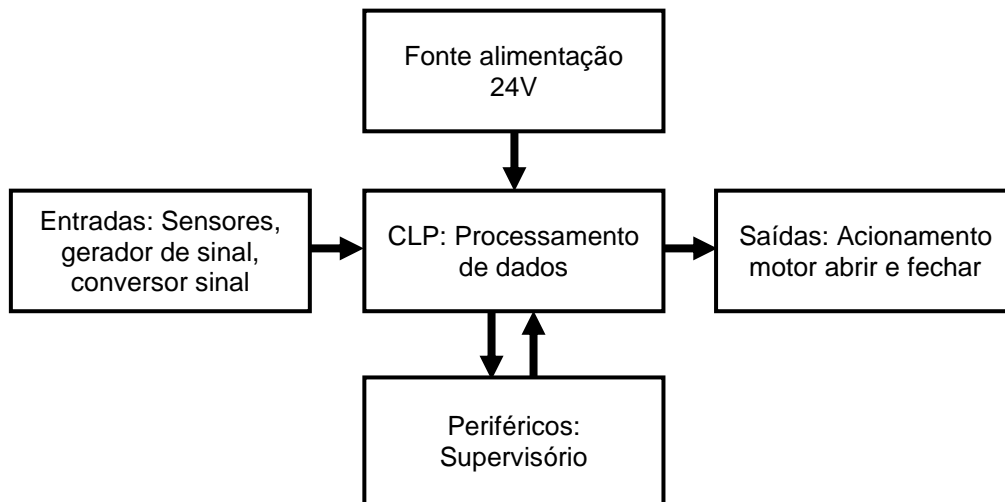


Na figura 8a, aparece a montagem da bancada através do escopo criado no software. Na figura 8b, aparece a montagem da válvula flap no sistema mecânico com as alavancas.

Para a montagem do painel de acionamento, inicialmente foi realizado um esboço no AutoCAD onde estão acomodados o CLP e a parte elétrica. Para entender o funcionamento do sistema, é necessário ter conhecimento dos componentes de entradas e saídas.

A figura 9 mostra o fluxograma de hardware, representando os componentes do sistema de automação.

Figura 9: Fluxograma de hardware de automação



Fonte: Autor (2023)

3.5 DESENVOLVIMENTO E TESTE DA AUTOMAÇÃO

Para o desenvolvimento da lógica de programação, foi utilizado um CLP M221 e o software Machine Expert – Basic da marca Schneider. Todo desenvolvimento da lógica de programação foi realizado na linguagem em LADDER. Conforme Ibrahim, (2014), a linguagem Ladder facilita a construção de toda uma estrutura lógica que irá atuar internamente no CLP controlando um determinado processo.

O funcionamento do projeto foi desenvolvido de forma a permitir uma tomada de decisão ágil e para controlar as condições de campo remotamente.

Antes de iniciar os testes foi realizado o ajuste da escala do sensor para 1 bar (10 mca), dentro da lógica. Dessa forma o sistema é capaz de realizar a leitura do nível de forma coerente com o sinal gerado pelo sensor.

O sensor foi inserido na parte inferior da tubulação de PVC onde irá realizar a leitura do nível da válvula flap, simulando a contribuição de esgoto. Logo após foi adicionado água na tubulação de PVC acoplada a flap até que ela estivesse totalmente preenchida. Dessa forma foi possível observar qual o valor do sinal gerado pelo sensor quando a tubulação estivesse completamente cheia de fluido.



- Quando o nível de esgoto no interior da tubulação subir a até atingir um valor X, a flap deve abrir, pois indica que o tempo está chuvoso por um período muito prolongado e, neste caso, é permitido liberar o material na natureza, evitando ultrapassar a capacidade de tratamento da ETE;
- Se o nível da maré for maior que o nível do esgoto no interior da tubulação, a flap deve permanecer fechada, evitando o retorno de material na rede de coleta.
- Quando o nível de esgoto no interior da tubulação for inferior ao valor do setpoint, a flap deve fechar, pois indica que há um longo período de estiagem.
- Se ao tentar fechar, perceber que ela não atingiu sua posição final (100% fechada), a automação fará mais duas tentativas para fechar e, caso o problema permaneça, será enviado ao sistema supervisorío um alarme de possível obstrução.

Foi adicionado a logica, o funcionamento em automático, onde todo o acionamento do sistema irá obedecer aos níveis conforme já explicado anteriormente.

Durante os testes percebeu-se a necessidade de adicionar um comando manual para abertura e fechamento, que pudesse funcionar de forma independente, sem considerar os níveis a maré. Esta situação se deu devido a necessidade de alguma manutenção na parte mecânica, sensoriamento ou de limpeza da própria flap. Dessa forma, ficaria garantindo assim que ela não iria se movimentar durante as manobras de linha, calibração etc.

Foi percebido durante os testes, que mesmo com a tampa fechada, estavam ocorrendo vazamentos consideráveis no sistema. Desta forma optou-se por incluir um anel de vedação de borracha na abertura interna da válvula flap a fim de conter os vazamentos.

Logo após os testes de acionamento realizados internamente pelo CLP, foi realizado a montagem do sistema de supervisorío, conforme figura 11.

Figura 11: Tela supervisorío rodando em tempo real comunicando com a bancada



Fonte: Autor (2023)

Para esta etapa foi utilizado o supervisorío Elipse E3 em modo demonstração, onde permite a comunicação com até 20 tags em um período de 30 minutos. O sistema supervisorío é de suma importância pois auxilia na visualização gráfica do que está ocorrendo no exato momento além de proporcionar uma segurança operacional maior.

Na figura 11 é possível observar o sistema supervisorío online comunicando com as informações da bancada em tempo real.

Na tela do supervisorío foi adicionado as leituras dos níveis analógicos da maré e da tubulação e os setpoints de trabalho. Essas variáveis do processo, irão enviar as informações necessárias para que o sistema opere de forma automática abrindo e fechando. Também um sinal indicativo na tela foi adicionado para indicar situações adversas como por exemplo, nível alto da maré ou a flap obstruída.

3.6 MONITORAMENTO DE CORRENTE DO MOTOR

Para a bancada foi realizado o teste de acionamento e monitoramento da corrente através de um multímetro ligado em série a alimentação do motor. O multímetro foi alocado em série, pois é necessário medir a corrente exata que passa pelo sistema de acionamento que sai da fonte para acionar o motor. Dessa forma, o equipamento de medição não vai se opor a corrente elétrica, evitando queda de potencial ao sistema.



Os dados foram obtidos através dos acionamentos de abertura e fechamento, que foram repetidos 5 vezes para cada movimento

Para a realização dos testes, foi aguardado 1 minuto entre os acionamentos. Foi percebido que o motor aquecia quando os acionamentos eram sequenciais e isto estava interferindo nos resultados de corrente nominal. Com esse tempo de pausa os resultados foram semelhantes à quando o motor permanecia por mais tempo desligado.

Foram realizados também alguns testes de comporta travada, visando simular o momento de comporta obstruída. Porém, como a comporta é de um material frágil e corria o risco de danificar a estrutura, foi obtido apenas 3 valores. Essa simulação foi realizada colocando uma garrafa pet obstruindo a flap durante o fechamento.

A partir das informações de corrente é possível realizar várias ações, entre elas definir alguma lógica que faça o sistema agir de forma preventiva para evitar uma maior sobrecarga do motor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir deste item, serão apresentados os resultados obtidos através dos testes realizados na bancada, bem como a maneira como os testes foram executados.

4.1 ANÁLISE SOBRE O TEMPO DE ACIONAMENTO

Verificar o tempo que o sistema levou para abrir e fechar completamente a comporta é importante para validar se a automação correspondeu às expectativas do projeto inicial. Desta forma quanto menor o tempo de fechamento, mais rápido o sistema irá estancar o vazamento de efluente, ou impedir a entrada da maré para dentro da tubulação. Esse tempo torna-se aplicável para o sistema sendo ideal que não ultrapasse um minuto e meio, conforme solicitado pelo próprio cliente.

Durante os testes da bancada, foram realizadas cinco manobras de fechamento e cinco de abertura da válvula flap. Foi percebido que o sistema leva o mesmo tempo para fechar e abrir, aproximadamente 35 segundos.

Quando a tubulação está completamente cheia de água, o tempo necessário para esvaziamento completo da tubulação leva em torno de 3 s. Sendo

assim a flap continua abrindo mesmo com a tubulação totalmente vazia até o sistema perceber que o nível baixou, levando em torno de 3 segundos para retornar a fechar.

Com a metade da tubulação preenchida de água, o tempo para esvaziamento completo da tubulação, leva em torno de 2 s. Os demais tempos de abertura e percepção do sistema a alteração do parâmetro de nível continuaram os mesmos. A tabela 7 detalha o que foi explicado anteriormente.

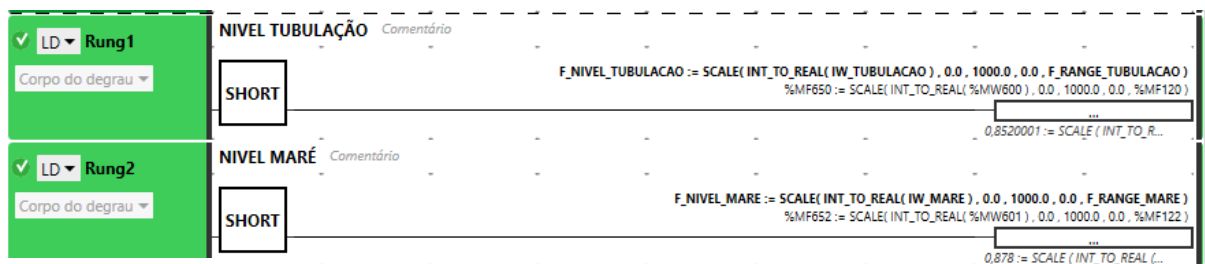
Tabela 7: Resposta do sistema de abertura

Nível Tubulação preenchida	Abertura total (s)	Tempo esvaziamento (s)	Tempo comutação do sistema (s)
100 %	35	3	3
50 %	35	2	3

Fonte: Autor (2023)

A partir dos valores apresentados na tabela 7, avalia-se a necessidade de ajustes no sistema de automação para que o acionamento seja mais rápido. Os valores obtidos, referente ao tempo de abertura, fechamento e percepção do sistema quando o nível muda, é considerado aceitável para uma situação real. Visto que em campo o nível monitorado se altera mais lentamente devido a contribuição contínua de esgoto para o sistema. Na figura 12, observa-se pequenos trechos da lógica indicando a leitura dos níveis de sensor e do simulador.

Figura 12: Lógica Ladder referente as leituras das analógicas do processo



Fonte: Autor (2023)

Dessa maneira percebe-se que os valores de leitura são muito próximos comparando os dois instrumentos.

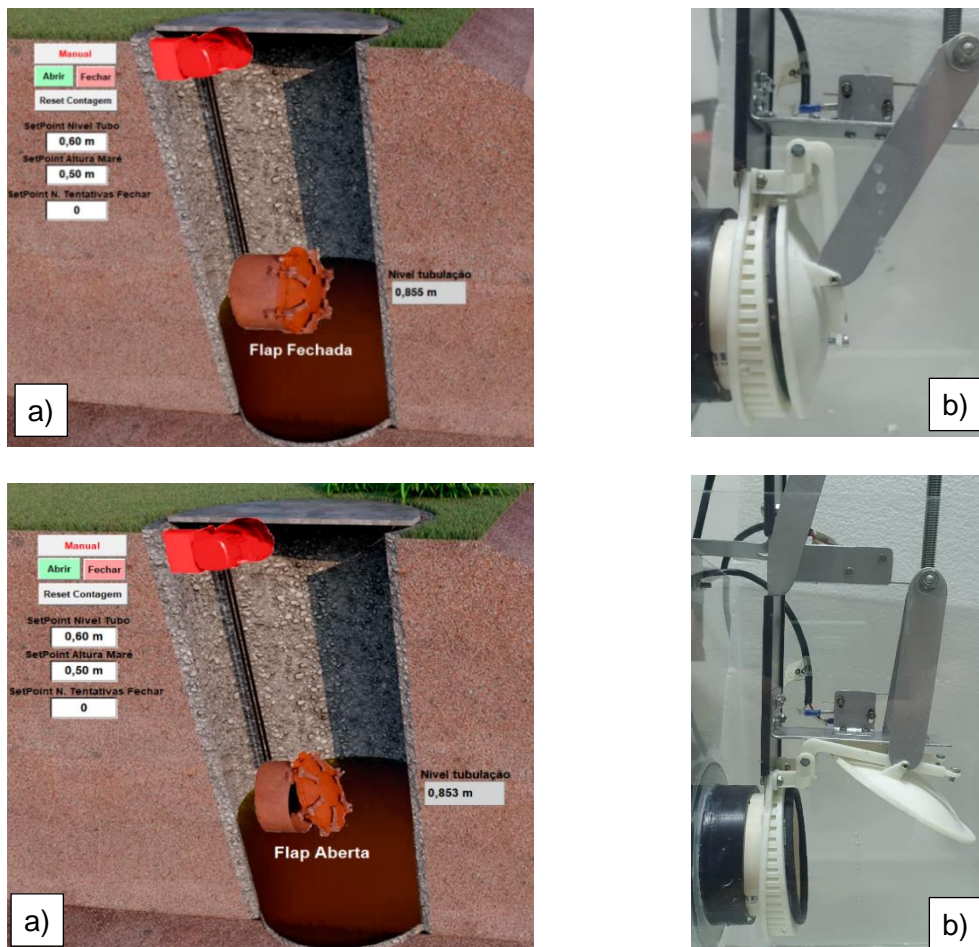
4.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO E PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Conforme explica Rossi L.F, Costa C.A, Tonolli E.J e Stedile I.L.F (2011), existe muita relevância no uso de protótipos. A prototipagem permite a detecção de

erros na fase inicial de desenvolvimento resumindo riscos e garantindo maior qualidade.

Para este protótipo, a utilização do sistema supervisorio, traz melhor visualização das variáveis do processo e daquilo que está acontecendo no sistema em tempo real. A figura 13a e 13b mostram o status da flap aberta e fechada, e a representação no supervisorio simultaneamente.

Figura 13: Status da válvula flap aberta e fechada, e a representação no supervisorio. a) Tela supervisorio com status da válvula flap e b) Estado da válvula flap fisicamente



Fonte: Autor (2023)

A partir dos testes realizados com o protótipo vazio e com água, os resultados obtidos pela lógica de funcionamento, foram satisfatórios. Foi possível concluir que a ideia principal proposta para este projeto, quanto ao controle de extravasamento de rejeitos pluviais foram atendidas e resolvidas com sucesso.

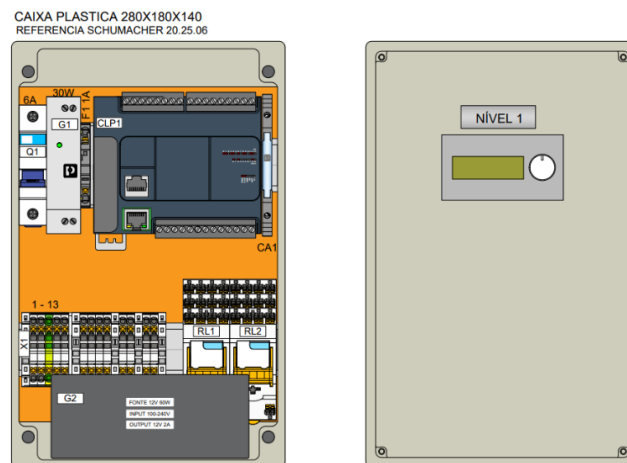
Após os testes foi finalizado os ajustes da bancada e do painel elétrico. O painel elétrico foi dimensionado a partir do software AutoCAD, possibilitando a

visualização dos componentes elétricos dentro do painel de acionamento, conforme mostrado na figura 14.

Alguns dos materiais, equipamentos e instrumentação que serão utilizados no processo de automação, encontram-se discriminados na tabela 8.

Foi optado por alguns equipamentos padrão de mercado, conforme modelo real aplicado em campo e conforme os materiais que a empresa tinha disponível.

Figura 14: Escopo painel elétrico no AutoCAD



Fonte: Autor (2023)

Tabela 8: Principais materiais utilizados na bancada

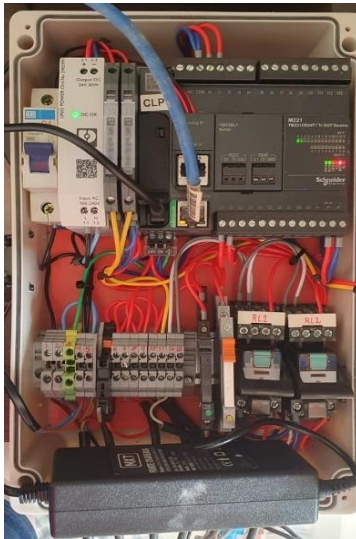
Item	Descrição	Especificação	Qtde
1	Gerador de sinal corrente 4 a 20 mA	4 – 20 mA	1
2	CLP Schneider	TM221CE16T	1
3	Conversor sinal 4 a 20 mA	Siemens	1
4	Sensor analógico	1 bar	1

Fonte: Autor (2022)

A figura 15a mostra o painel elétrico com a montagem e testes elétricos finalizados. Em seguida, a figura 14b mostra a bancada finalizada. Nela não aparece o painel de acionamento, pois este fica desacoplado do protótipo por questões de controle de peso.

Figura 15: Painel elétrico pronto e bancada finalizada

a) Painel elétrico finalizado



Fonte: Autor (2023)

b) Bancada finalizada



Um fator interessante a ser ressaltado, é que durante a prototipagem, mesmo com o anel de vedação, a flap apresentou vazamentos quando fechada. Visto que a tampa do protótipo foi feita por um material leve (PLA), e não apresentar pressão suficiente para vedação, houve pequenos vazamentos.

Acredita-se que na aplicação real a tampa de ferro junto com o anel de vedação, seja suficiente para estancar totalmente o fluxo de água, seria uma condição a ser testada.

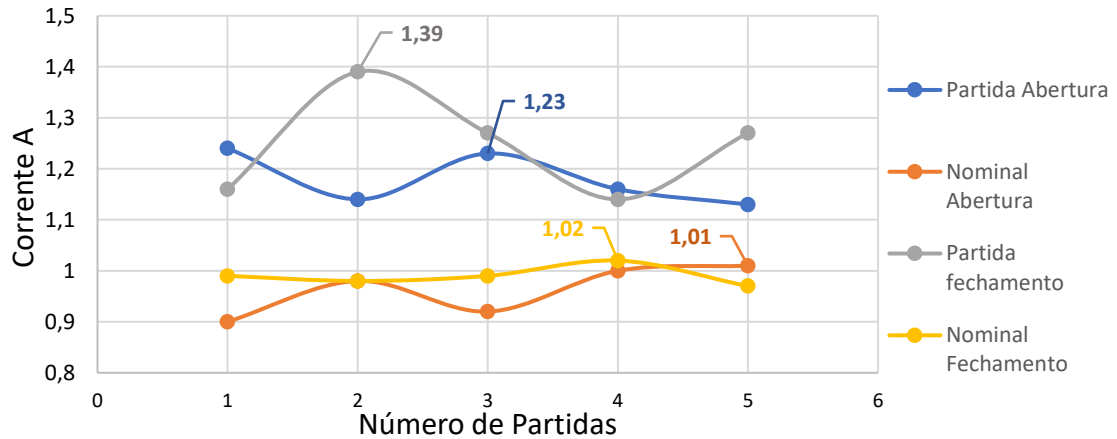
4.3 ANÁLISE DA CORRENTE DO MOTOR ELÉTRICO

Através do monitoramento da corrente nominal e de partida do motor, foi possível acompanhar e obter informações mais próximas das condições de funcionamento reais. Esta análise, torna possível perceber variações, criar um histórico capaz de identificar potenciais falhas ou sobrecargas que com o tempo podem ocasionar danos ao motor. Outra vantagem do monitoramento de corrente do motor, é a capacidade de prever manutenções programadas, evitando a necessidade de manutenções corretivas com paradas maiores.

A partir dos resultados obtidos, foi possível analisar que a corrente de partida do motor se manteve maior do que a corrente nominal tanto durante a abertura quanto no fechamento. Isso ocorre devido ao esforço necessário para tirar todo o

sistema da inércia, tanto para abrir quanto para fechar. A figura 16 mostra os resultados obtidos e a média dos valores obtidos durante as simulações.

Figura 16: Monitoramento de corrente nominal e de partida



Fonte: Autor (2023)

Como a corrente elétrica pode variar até 2,5 A conforme apresentados nos dados do motor, o resultado foi satisfatório visto que não ultrapassou a corrente máxima.

4.4 ANÁLISE DA CORRENTE ELÉTRICA DE OBSTRUÇÃO

É de extrema importância monitorar a corrente dos motores durante situações adversas, durante a obstrução ou situação que cause o travamento do motor. Torna-se importante, pois pode ser capturada variações significativas auxiliando o sistema em uma tomada de decisão mais rapidamente. Através dos resultados, foi possível observar que para simulação de comporta obstruída, o motor apresentou uma elevação no valor da corrente conforme valores apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Monitoramento de corrente obstrução

Corrente elétrica de obstrução (A)

1ª simulação	2,01
2ª simulação	1,99
3ª simulação	1,85
Média	1,98

Fonte: Autor (2023)

Em condições reais a corrente pode ser analisada para identificar a obstrução e utilizada na tomada de decisões, como por exemplo, a parada do sistema



por corrente alta, enviando um alarme ao sistema de monitoramento. Desta forma, foi perceptível que o protótipo apresentou comportamento mecânico e elétrico muito semelhante ao que seria o real, apenas em escalas menores.

5. CONCLUSÃO

Obteve-se as seguintes considerações com a conclusão deste trabalho:

- A prototipagem de sistemas mecânicos automáticos é de extrema importância e possui credibilidade para validação de dados e ideias, visando simular e detectar as mais diversas condições antes da implantação do projeto final.
- Os dados da prototipagem puderam apresentar comportamentos e resultados semelhantes aos reais, porém em escalas menores, quando aplicado a metodologia de semelhanças por geometria reduzida.
- Calcular os componentes mecânicos utilizados antes da realização do projeto, evita custos desnecessários e auxilia no dimensionamento correto.
- A automação aplicada a engenharia mecânica, mostra a evolução dos sistemas mecânicos, possibilitando melhorias nos mais diversos setores industriais.
- Com a bancada finalizada é possível afirmar que se trata de um projeto viável a execução de um protótipo em modelo reduzido. Principalmente quando se pretende executar uma atividade extensa e que necessita trabalhar com proporções e materiais maiores ou espaços confinados por exemplo.
- Por meio dos dados de corrente elétrica foi possível capturar oscilações e informações que possam auxiliar o sistema a tomada de decisão. O controle de corrente analisado neste projeto, mostra que é possível proteger melhor os componentes mecânicos quando a automação é capaz de tomar decisões.
- Outro ponto a ser levado em consideração é a frequência de manutenção dos componentes, visto que a água de rejeito possui maior quantidade de corrosivos devido a sua natureza. Seria interessante montar um plano de manutenção para a condição real da válvula flap, levando em consideração limpeza dos componentes e lubrificação naqueles que se aplicam.
- Pode ser reavaliado os cálculos levando em consideração outros materiais da tampa, para outras aplicações.
- O marco do saneamento básico, abriu portas para que a tecnologia e a inovação sejam utilizadas de maneira a melhorar os sistemas de controle de rejeitos. Este projeto foi impulsionado pela demanda causada por essa nova realidade.



6. REFERÊNCIAS

ABCM – Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. Influência da prototipagem rápida nas dimensões do impacto em inovação e valor agregado ao processo de desenvolvimento de novos produtos. Pesquisada em: <http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0111.pdf>. Data acesso: 03 maio 2023

Abu-Zeid Mostafa A. Finite element analysis for prediction hydraulic performance of a rectangular flap valve. Pesquisada em: https://www.researchgate.net/publication/334469449_Finite_Element_Analysis_For_Prediction_Hydraulic_Performance_Of_A_Rectangular_Flap_Valve. Data Acesso: 15 setembro 2022.

Bento, Daniela A. Parafusos de potência e fusos de esfera. IFSC, 2009.

BRASIL. Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Pesquisado em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm. Acesso em: 02 de setembro 2022

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Pesquisada em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm#art50 Acesso em 03 de setembro de 2022.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Pesquisada em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm Acesso em 03 de setembro de 2022

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Pesquisada em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/novo-marco-legal-do-saneamento#:~:text=Novo%20Marco%20Regulat%C3%B3rio%20do%20Saneamento,a%20editar%20normas%20de%20refer%C3%Aancia>. Data acesso: 25 julho 2022

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Pesquisada em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Data acesso: 24 julho 2022.

CINOY – Produtos Automotivos. Motor de vidro. Pesquisado em: <https://www.cinoy.com.br/produto/yn-mov02pe-motor-de-vidro-eletrico-12v-fio-preto/> Data acesso: 14 abril 2023.

Collins, Jack A. Projeto Mecânico Elementos de Máquinas. LTC, 2006.

DOWSON, D. Men of tribology. Journal of Lubrication Technology. P. 117 – 119, 1979. Acesso em 31 de outubro de 2022, disponível em <http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1464095>

Francisco José Profito. Modelagem unidimensional do regime misto de lubrificação aplicada a superfícies texturizadas. Disponível em:



https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-29112010-155407/publico/Dissertacao_Francisco_Jose_Profito.pdf. Data acesso: 25 de outubro de 2022.

GORDO, Nívia; FERREIRA Joel. Mecânica: Elementos de Máquinas. São Paulo, 2012

Henrique del Sol. Backdrivability on ball screws. Pesquisada em: <https://enriquedelSol.com/2021/01/01/backdrivability-on-ball-screws/>. Data acesso. 15 setembro 2022

Hidramaco. Catálogo válvulas flap. Pesquisada em: <https://www.hidramaco.com.br/pdf/valvulas-de-retencao/valvula-flap.pdf>. Data acesso: 25 julho 2022.

Ibrahim, D. Designing Embedded Systems with 32-bit PIC Microcontrollers and MikroC. 2th. Elsevier Science and Technology Books, 2014.

Juvinall, Robert C., and Kurt M. Marshek. Fundamentals of Machine Component Design. 4th. Wiley, 2005. 396.

Kalatec. Tudo sobre fusos de esfera. Pesquisada em: <https://www.fusodeesfera.com.br/tudo-sobre-fusos-de-esferas>. Data acesso: 18 agosto 2022.

Kerkoff A.M. e Tomazini A.A. Software Development for Dynamic and Non-Linear Geometrical Analysis of Space Frames. ABMEC, 2018.

Luciano Galdino. Cálculo da rotação, do torque e da potência de motores elétricos para transmissão por parafusos de potência. Faculdade ENIAC, 2014.

NSK. Fusos de Esfera. Catálogo fabricante. Pesquisada em: <https://www.nsk.com.br/upload/file/B02.pdf> Data acesso: 18 agosto 2022.

OBR. Fusos de esfera. Pesquisada em: https://www.obr.com.br/wp-content/uploads/2017/11/calculos_fusos.pdf Data acesso. 02 novembro 2022

Paulmon. Comportas e flaps. Pesquisada em: <https://paulmon.com.br/comportas/>. Data acesso: 12 agosto 2022.

RAC. Movimento linear. Pesquisada em: <http://www.racml.com.br/catalogos/fusos-esferas-beneficio.pdf>. Data acesso 18 agosto 2022.