

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MECÂNICO  
AUTOMÁTICO DE LAVAGEM DE UM FILTRO LENTO DE  
ÁGUA DE ABASTECIMENTO EM MEIO RURAL**

**Marcus Bruno Domingues Soares**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MECÂNICO  
AUTOMÁTICO DE LAVAGEM DE UM FILTRO LENTO PARA  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO EM MEIO  
RURAL**

**Marcus Bruno Domingues Soares**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Conclusão  
do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
Co-Orientador  
Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MECÂNICO AUTOMÁTICO DE  
LAVAGEM DE UM FILTRO LENTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO EM MEIO RURAL

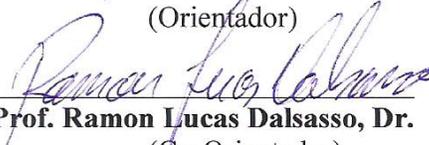
MARCUS BRUNO DOMINGUES SOARES

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental-TCC II

BANCA EXAMINADORA :



Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
(Orientador)



Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.  
(Co-Orientador)



Enga. Denise Conceição de  
Góis Santos, Msc  
(Membro da Banca)



Engo. Zacarias Navarro, Msc.  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2007

*"Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os  
outros foram."  
Alexandre Graham Bell*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades que apareceram e que serviram para o meu engrandecimento pessoal e espiritual.

Agradeço aos meus Pais por ter me concebido, pelo carinho, paciência, apoio e orientação nos momentos aprazíveis e árduos.

A minha querida namorada Luiza que nunca deixou de acreditar e de me apoiar.

Agradeço ao Prof. Dr. Maurício Luiz Sens, com quem desde 2003 venho trabalhando no desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água de abastecimento, pela orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ramon Lucas Dalssaso, com quem aprendi a desenvolver sistemas piloto e a trabalhar sempre voltado ao desenvolvimento de tecnologias eficientes do ponto de vista técnico e econômico, pela ajuda no desenvolvimento da concepção do sistema.

Ao Prof. Ivo Cesar Martorano do Departamento de Engenharia Civil pela ajuda nos cálculos do centro de massa.

Agradeço a banca examinadora Zacarias Navarro e Denise Góis por ter aceitado o convite na apreciação deste trabalho.

Agradeço também o imenso apoio recebido dos laboratórios LAPOÁ e LIMA que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos de trabalho Dimas Murakami, Fernanda Lenzi, Renata Iza, Luiz Melo, Bianca Coelho e Arlete Medeiros pela ajuda e colaboração.

E agradeço especialmente aos amigos Bruno Segala Pizzolatti e Charles Belletini Hahn pela companhia, compreensão e profunda amizade desenvolvida ao longo do curso.

## RESUMO

A ampliação das técnicas de tratamento de água vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos no Brasil. A filtração lenta por retrolavagem é uma das técnicas que se destaca, em meio as tecnologias desenvolvidas para pequenas comunidades, por seu simples funcionamento e econômica instalação. Porém, a lavagem de seu leito exige certo entendimento da importância de tal, o que muitas vezes é ignorado de forma involuntária pelo proprietário-operador, que normalmente não é capacitado para o trabalho. Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema automático de lavagem do leito filtrante de um filtro lento na comunidade de Agronômica - SC, de forma a desvincular o proprietário-operador do funcionamento do filtro garantindo assim a qualidade da água para a comunidade local. Foi necessário antes de instalação do equipamento em campo fazer testes em bancada para avaliar o verdadeiro centro de massa deste. Testes em campo mostraram que a altura de tombamento ficou em torno de 33 centímetros e após alguns ajustes o tempo de esvaziamento do sistema ficou em torno de 36 minutos garantindo desta forma a lavagem do leito filtrante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Automação no saneamento e potabilização de água - Formas de lavagem automática de filtros – Filtro Lento Retrolavável.

## ABSTRACT

The development of water treatment techniques has increased in an exponential way in the last decades in Brazil. The slow filtration with water retrolaundersing is one of the techniques that outstands among developed technologies for small communities for their functional and economical installation. However, the launderinging of the filter sand demands a certain understanding of its importance which in some occasions is ignored in an involuntary way by operator-owner who is normally not capable for this kind of work. The purpose of this work is the development of an automatic launderinging system in a slow filter in the community of Agronômica – SC, in a way to disconnect the operator-owner from functioning of the filter to guarantee the quality of the water for the local community. Before the installation of the equipment it was necessary to check the real gravity centre of it. Tests in field showed that the height of fall of the equipment was about 33 centimeters and after some adjusts the time of empty the system was about 36 minutes warranting, in this way, the launderinging of the filter.

**KEYWORDS:** Automation in the sanitation and drinking water – Ways of automatic launderinging systems of filters – Retrolaundersing Slow Filter.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>7</b>
3.1 A AUTOMAÇÃO.....	7
3.2 A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO .....	7
3.3 AUTOMAÇÃO, SANEAMENTO E POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA.....	8
3.4 FORMAS DE LAVAGEM AUTOMÁTICA DE FILTROS.....	9
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
4.1 LOCAL DE TRABALHO .....	14
4.2 MONTAGEM DO PILOTO .....	15
4.3 INSTALAÇÃO DO TAMPÃO DE DESCARGA.....	16
4.4 INSTALAÇÃO DAS ROLDANAS .....	17
4.5 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO.....	18
4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	19
4.6.1 Dimensões do Sistema.....	20
4.6.2 Cálculo do Centro de Massa .....	20
4.6.3 Cálculo dos Momentos.....	22
4.6.4 Cálculo dos Momentos de Tombamento (Bico e Área X).....	22
4.6.5 Cálculo dos Momentos de Oposição ao Tombamento (Área Y).....	23
4.6.6 Cálculo do Tempo de Descida da Água no Filtro.....	26
4.6.7 Cálculo do Tempo de Descida da Água no Equipamento .....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>30</b>
5.1 VERIFICAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DO EQUIPAMENTO .....	30
5.2 AJUSTES DO CENTRO DE MASSA DO EQUIPAMENTO EM CAMPO .....	30
5.3 AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA .....	31
5.4 AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA AJUSTADO.....	34
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>7 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>39</b>
<b>9 APÊNDICE</b> .....	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de técnicas de pré-tratamento e tratamento de água nas últimas décadas vem crescendo de forma extraordinária no Brasil. As águas que mais freqüentemente dispensam tratamento são provenientes de fontes, de poços profundos protegidos, de galerias de infiltração e de bacias de captação ou de acumulação, porém essas águas muitas vezes são alvos de contaminação pela crescente poluição dos mananciais que atacam inclusive as pequenas comunidades. Diante disto, as tecnologias de tratamento de água para pequenas comunidades vêm tomando um importante destaque devido sua técnica simples de aplicação e seu baixo custo econômico.

A filtração lenta por retrolavagem vem sendo uma excelente opção por seu baixo custo de operação, se comparado a outros tipos de tratamento. Porém, sua retrolavagem exige operação humana que muitas vezes por se tratar de pessoas desabilitadas, ou seja, se operado por pessoas sem treinamento, pode vir a comprometer a qualidade da água.

Desta maneira, foi desenvolvido um sistema automático de lavagem que pode vir a solucionar, de maneira eficiente e econômica, este problema. O equipamento abrirá de forma automática, hidráulico-mecânica e sem o uso de energia elétrica a válvula de descarga o que permitirá o acontecimento da retrolavagem, e fechará da mesma forma reiniciando o sistema de filtração com o leito filtrante já limpo.

O sistema automatizado de lavagem tem como foco principal a desvinculação do operador, que muitas vezes é desabilitado ou simplesmente não compreende a importância do sistema de filtração da água e sua relação com a saúde humana, da operação de lavagem do filtro de forma a garantir a qualidade da água e a saúde na comunidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um sistema mecânico para automatizar o processo de limpeza de um filtro lento retrolavável para produção de água potável em meio rural.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Projetar e construir um sistema mecânico para lavação automática de um Filtro Lento Retrolavável;
- Avaliar o tempo de esvaziamento do equipamento e compará-lo ao tempo de lavagem do filtro;
- Verificar o nível de água dentro do equipamento no momento do tombamento;
- Calcular os momentos de tombamento e oposição ao tombamento fazendo a simulação do funcionamento do sistema;
- Verificar possíveis problemas operacionais com o sistema de lavagem automática.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A AUTOMAÇÃO

Automação (do inglês *Automation*) é um sistema automático de controle pelo quais os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência do homem. Hoje em dia está presente em diferentes níveis de atividades do homem, desde a medicina até a astronomia, ampliando a capacidade de interação com a natureza e os processos (HOLANDA, 1975).

#### 3.2 A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO

Desde o início de sua existência o homem vem utilizando a sua capacidade criadora para desenvolver instrumentos ou utensílios que o ajudassem a controlar e transformar o meio ambiente em que está inserido, melhorando assim, sua condição de vida. Com o decorrer da história, compreendeu-se que o emprego de equipamentos que pudessem substituir o processo produtivo artesanal poderia ser a chave para o sucesso, e a possibilidade do alcance dos seus objetivos de forma rápida, eficaz e econômica.

Com essa nova meta traçada e com a promessa da melhoria da qualidade de vida e liberação do ser humano da mão-de-obra braçal, é que em meados do século XVIII, foram desenvolvidas as primeiras máquinas que acabaram dando suporte tecnológico para a primeira revolução industrial. Essa primeira revolução industrial, também conhecida como revolução da máquina, ocorreu na Inglaterra, mais precisamente no período de 1760 a 1850, foi caracterizada pela transição de um processo predominantemente agrícola de subsistência e da produção de bens e consumo para uma sociedade industrializada, caracterizada pela introdução de máquina simples, para substituição da força muscular pela mecânica, em tarefas repetidas, antes executadas pelo homem. (FRANTZ e GOMIDE, 2003).

A segunda revolução industrial se deu com aperfeiçoamento e implantação das máquinas por toda a Europa no período de 1850 a 1900, foi caracterizada por um grande avanço na tecnologia, onde apareceram a locomotiva e o barco a vapor. O primeiro trabalho significativo ocorreu neste período, foi James Watt, que construiu, no século XVIII, um controlador centrífugo para o controle de velocidade de uma máquina a vapor. A automação apareceu da necessidade de aumento de flexibilização, maior rapidez na produção e redução de custos das empresas de manufatura ou de processo contínuo, afim de que pudessem se adequar rapidamente às necessidades do consumidor e assim manter-se competitivo no mercado cada vez mais exigente (FRANTZ e GOMIDE, 2003).

Segundo BETTONI (2006), a indústria de processos e de produção foi a pioneira na utilização de automação como ferramenta básica na sua estrutura produtiva. A história da automação industrial começa com a criação das linhas de montagens automobilísticas com Henry Ford, na década de 1920. De lá para cá o avanço tecnológico nas mais diversas áreas da automação industrial tem sido cada vez maior, proporcionando um aumento na qualidade e quantidade de produção e reduzindo custos.

As complexas demandas das sociedades modernas são atendidas por tecnologias crescentemente resultantes da aplicação de conhecimentos científicos (LONGO, 1989). Em decorrência da busca e apropriação sistemática, e bem sucedida, de conhecimentos científicos para a produção de tecnologias que passou a ocorrer em larga escala a partir da segunda metade do Século XIX, o conhecimento científico deixou de ser um bem puramente cultural, para tornar-se o principal insumo para crescimento do poder econômico, político e militar (PRICE, 1963).

Desde então, graças a investimentos vultuosos feitos pelos países mais desenvolvidos, estima-se que os conhecimentos científicos e tecnológicos têm duplicado a cada 10 ou 15 anos (PRICE, 1963), e que mais de 80% deles foram gerados após a Segunda Guerra Mundial. A continuar tal dinâmica, dentro de 10 anos, 50% dos objetos que estaremos usando, ainda não foram inventados atualmente (DE BROCHARD, 1991).

Considerando que os avanços na teoria e na prática na automação industrial propiciam meios para se atingir um desempenho ótimo de sistemas dinâmicos, melhoria da produtividade, alívio no trabalho pesado de muitas operações manuais repetitivas de rotina e etc., os engenheiros e cientistas, em sua maioria, devem possuir agora um bom conhecimento deste campo. Além do mais, os grandes desafios enfrentados pelos países estão, hoje, intimamente relacionados com as contínuas e profundas transformações sociais ocasionadas pela velocidade com que têm sido gerados novos conhecimentos científicos e tecnológicos, sua rápida difusão e uso pelo setor produtivo e pela sociedade em geral.

### 3.3 AUTOMAÇÃO, SANEAMENTO E POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA

Dentre todos os recursos naturais, o mais importante para o bem-estar da humanidade é a água. Durante milênios, constituiu-se em patrimônio inteiramente livre de que os habitantes da Terra se serviam despreocupadamente. Com o progresso, surgiram os agrupamentos urbanos, cujas múltiplas atividades exigiam, a cada dia, uma maior quantidade de água. Além de ser um bem indispensável para a vida humana, a água é também matéria-prima industrial tornando-se cada vez mais escassa.

A falta de água potável é um problema que afeta muitas pessoas nos países subdesenvolvidos. Acima de 1 bilhão de pessoas no mundo ainda não tem acesso a água tratada. Cerca de 1,6 bilhões de crianças no mundo morrem por causa de diarreia e muitas outras são adoentadas devido à má qualidade da água (ARNAL *et al*, 2006). Outro problema é o uso de água para consumo com qualidade aquém do recomendado comprometendo assim a saúde das pessoas que a utilizam.

A falta de tecnologias de tratamento de água em países em desenvolvimento é devido à falta de recursos econômicos e infra-estrutura apropriada. Desta forma, as pessoas são forçadas a usarem formas de tratamento domiciliar rudimentares, que normalmente tem baixo custo econômico e uma discutível eficiência, devido a problemas de armazenamento e práticas de manipulação. Os exemplos mais comuns são a fervura da água e a desinfecção por cloro (ARNAL *et al*, 2006).

Os sistemas de tratamento de água unifamiliar são tecnologias que cada vez mais vem crescendo ao longo dos anos. Seu uso vem se tornando cada vez mais freqüente por motivos já citados anteriormente. O uso da automação nesses sistemas vem a contribuir para a melhoria do funcionamento e a qualidade da água.

O uso da automação em sistemas de controle em vários estágios do tratamento de água permite redução de custos de operação, além de possibilitar o acompanhamento real e instantâneo do tratamento e distribuição. Sendo assim, a automação de sistemas pode contribuir, significativamente, para um melhor aproveitamento de vários recursos naturais, seja no simples controle da iluminação de um ambiente ou no controle operacional de um sistema de tratamento de água de uma cidade (FILHO, 2001).

A automação em saneamento ainda é pontual. Isso é reflexo da falta de recursos das companhias de saneamento, majoritariamente estatais. Os principais atrativos para se justificar o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento de água através do monitoramento e controle em tempo real, redução de custos operacionais através do gerenciamento de energia elétrica consumida e controle de perdas físicas no sistema (FILHO, 2001).

FILHO (2001) ressalta ainda que, a automação em saneamento soluciona também uma série de dificuldades operacionais, como manter operadores nas unidades de tratamento, ligando e desligando bombas. Por comandos realizados principalmente por telemetria, várias unidades podem ser assistidas a partir de um centro de controle operacional com funções de operação, otimização e planejamento (menor custo, maior segurança).

Com base nisso, pode-se concluir que a automação no saneamento e na potabilização das águas é fator imprescindível para a garantia da qualidade no tratamento e na distribuição de água potável. Para sistemas de tratamento de água unifamiliar, por exemplo, onde o operador do sistema é normalmente o proprietário, a automação por vir a contribuir de forma extraordinária, desvinculando assim o operador-proprietário do sistema, de forma a garantir o correto funcionamento deste e a qualidade da água. A experiência tem nos mostrado que pessoas sem treinamento, ou seja, não capacitada para tal trabalho pode prejudicar a qualidade do produto que neste caso é a água. Em trabalhos desenvolvidos por alguns autores sobre tratamento de água relata-se tal problema operacional, para tanto, a automatização destes tipos de sistema é de fundamental importância.

### 3.4 FORMAS DE LAVAGEM AUTOMÁTICA DE FILTROS

Uma das etapas mais importantes dentro do processo de filtração de águas de abastecimento é a sua limpeza, uma vez encerrada a sua carreira de filtração (AMIRTHARAJAH, 1985). Os problemas oriundos da lavagem inadequada de meios filtrantes no que diz respeito à qualidade do efluente produzido por uma unidade de filtração após a sua lavagem, bem como aqueles crônicos que porventura podem resultar da ineficácia do processo de lavagem utilizado, têm sido bem documentados na literatura (BAYLIS, 1937 , BAYLIS, 1954).

Segundo RICHTER e AZEVEDO NETO (2003), a maior parte dos problemas que ocorrem com os filtros está relacionada com a manutenção do leito filtrante em boas condições. Pode-se até dizer que um filtro é tão bom quanto é a sua lavagem. Se a lavagem for inadequada, permanece aderida uma película de flocos ou de impurezas em volta dos grãos. Esta película sendo compressível, a medida que aumenta a perda de carga através do meio filtrante, os grãos são comprimidos uns aos outros, surgindo assim as fendas e gretas que freqüentemente se vê em alguns filtros. Uma lavagem adequada, dependendo das características do meio, geralmente deverá ser completada com uma lavagem auxiliar, como a lavagem superficial, para desprender a película aderida.

WIECHETECK *et al* (2000), diz que a lavagem inadequada dos filtros apresenta diversos problemas, tais como: aparecimento de bolas de lodo no interior do meio filtrante, menor volume de água produzido na carreira de filtração, água filtrada de pior qualidade, aumento da perda de carga no meio filtrante.

Os sistemas automáticos de lavagem de filtros aparecem para solucionar os problemas mencionados anteriormente, uma vez que as condições de lavagem dos filtros estão diretamente relacionadas à qualidade do trabalho do operador. Tais sistemas, normalmente, são desenvolvidos por empresas privadas com o objetivo de melhorar a qualidade da água de uso, portanto, essas empresas mantêm sob sigilo o funcionamento dos equipamentos com o objetivo de comercializar a tecnologia.

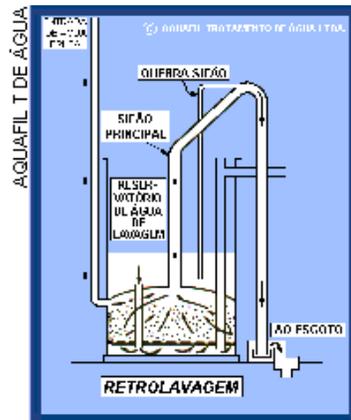
Um dos sistemas automático de lavagem foi desenvolvido pela empresa **Filtrando Equipamentos e Serviços para Saneamento** (Figura 1), especializada em tecnologias no ramo de tratamento de água. Trata-se de um filtro construído no formato cilíndrico vertical, com chapas de aço, revestidos internamente com epóxi de alta espessura e externamente com primer zarcão misto epóxi, aplicados após jateamento abrasivo ao metal quase branco, assegurando excelente durabilidade, sendo dotado de sifão de retrolavagem o que permite a lavagem automática do meio filtrante.



**Figura 1 – Ilustração do filtro automático da Filtrando Equipamentos e Serviços para Saneamento.**  
**Fonte: Filtrando Equipamentos e Serviços para Saneamento**

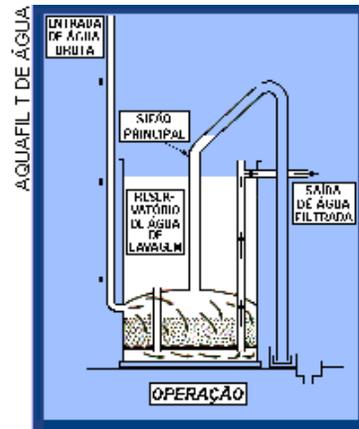
Outro sistema utilizado é o filtro de gravidade automático desenvolvido pela **Aquafil Tratamento de Água LTDA**, é um filtro à gravidade altamente eficiente, que opera automaticamente sem válvulas, sem bombas de retrolavagem, controladores de vazão elétricos ou mecânicos ou qualquer outro tipo de instrumento ou supervisão. Através dele, nada se move além da água. O filtro se adapta a variadas condições, retrolava-se quando o leito filtrante está colmatado, reclassifica-se após essa etapa e retorna então a operar automaticamente.

O princípio básico de operação do **FAL** (Filtro Auto-Limpante) é a perda de carga, que é o indicador da condição do leito filtrante. A água bruta penetra no filtro pela câmara intermediária, passa pelo meio filtrante e chega à câmara de coleta, ou inferior. Agora no sentido vertical para cima, a água sobe para a câmara superior e ao mesmo tempo, depois de cheio este compartimento, se dirige para fora do filtro. O manto filtrante retém os sólidos e a turbidez na água contidos, e depois de certo tempo ele estará colmatado. Isto irá dificultar a passagem da água cada vez mais, ocasionando um aumento excessivo da perda de carga no filtro. Nesse momento tem início a retrolavagem do leito. (Figura 2)



**Figura 2 - A retrolavagem do filtro automático inicia-se quando a perda de carga causada pelas impurezas retidas no leito filtrante força a água a seguir pelo sifão, lavando o filtro.**  
**Fonte: Aquafil Tratamento de Água LTDA.**

No teto da câmara intermediária encontra-se o bocal do sifão principal que estará com o tubo interno cheio de água. Abaixo do seu vértice localiza-se o sifão auxiliar. A extremidade inferior do sifão principal está sempre afogada na caixa de drenagem externa ao filtro. Na parte externa do sifão auxiliar encontra-se um ejetor hidráulico que por sua vez tem sua conexão de sucção interligada com o vértice superior do sifão. Conforme aumenta a perda de carga no manto filtrante, o nível de água dentro dos sifões irá subir até verter pelas partes externas. A água começará a verter primeiro pelo auxiliar, alimentando o ejetor que imediatamente começará a succionar o ar que está dentro do sifão principal. (Figura 3)



**Figura 3 - Operação do filtro automático com a primeira água filtrada sendo estocada para a próxima limpeza do filtro.**

**Fonte: Aquafil Tratamento de Água LTDA.**

Esgotado o ar em seu interior forma-se vácuo, que força a água estocada na câmara superior a fluir no sentido para a caixa de lavagem externa ao filtro. Para essa água sair do filtro lavando-o no processo, ela retorna pelo duto de ligação com a câmara inferior, passa pelas crepinas agora de baixo para cima, atravessando o manto filtrante expandindo-o e carregando as impurezas ali retidas e finalmente verte para o esgoto geral. A retrolavagem continua até que se esgote o volume de água da câmara superior, até a altura da extremidade inferior do tubo de quebra-sifão. Essa ação admite ar pelo topo do sifão, quebrando o vácuo, encerrando o sifonamento e conseqüentemente a retrolavagem. Quando existem dois ou mais FAL instalados, uma tubulação de pequeno diâmetro é disposta de tal forma que os interliga, evitando assim que mais de um FAL se lave ao mesmo tempo.

RICHTER e AZEVEDO NETO (2003) desenvolveram experimentos com flocladores de pedra com filtro autolavável. Os ensaios foram realizados na estação de tratamento de Iguazu, em Curitiba, em uma instalação piloto, cuja finalidade não era somente a eficiência de um floclador de pedras, mas estudar também o comportamento, em escala piloto, de uma estação de tratamento simplificada e de baixo custo para pequenas comunidades.

Conforme os autores, a instalação piloto consta, essencialmente, de dois tubos cilíndricos transparentes (Figura 4), o primeiro dos quais utilizado como floclador e o segundo como filtro descendente de lavagem automática.

Foram colocados piezômetros ao longo do filtro para o monitoramento da pressão interna e um sistema de sifão. Quando a pressão chegasse a um nível determinado, um dos piezômetros sifona o sistema fazendo com que a lavagem automática aconteça, encerrando quando o reservatório de lavagem esvaziar (Figura 4).

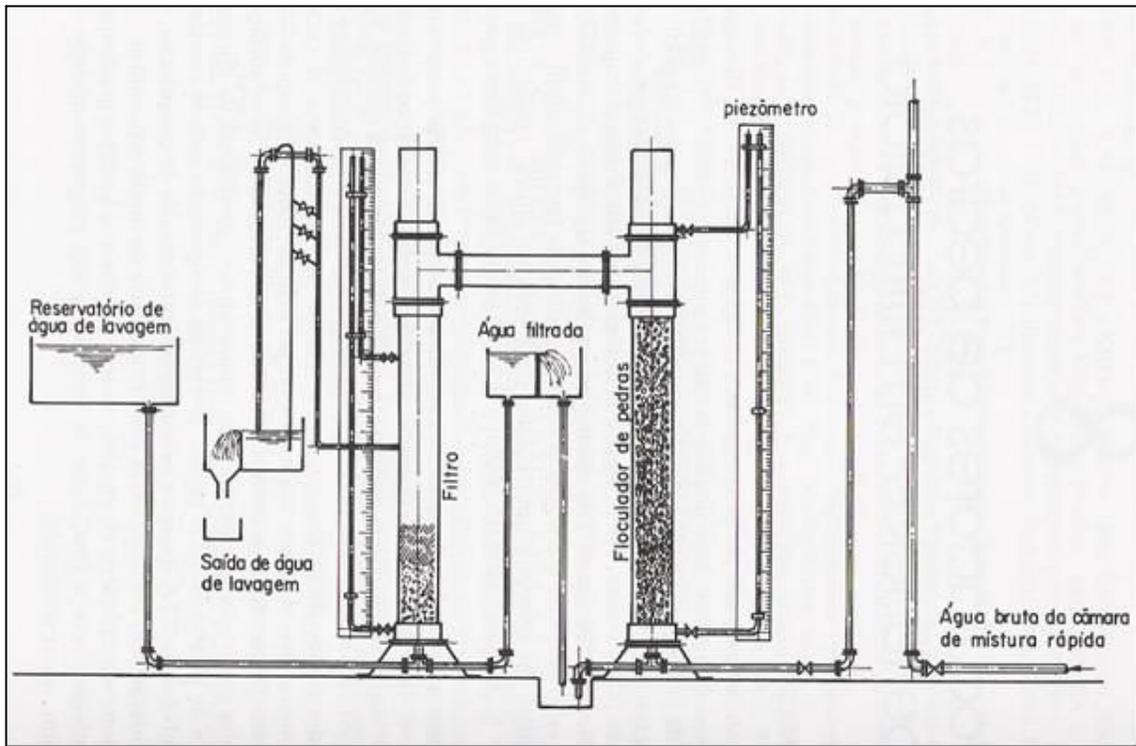


Figura 4 – Esquema do floculador de pedra com filtro autolimpante.  
Fonte: Richter, 1979.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE TRABALHO

O local da instalação do projeto é no município de Agronômica, interior de Santa Catarina (Figura 5). O local tem por característica econômica principal a plantação de arroz e possui a maior produtividade de arroz irrigado por hectare do mundo, com 10,6 toneladas por hectare.

O município tem população de aproximadamente 4.255 habitantes distribuídos em uma área de 135 km<sup>2</sup> localizada no Alto Vale do Itajaí, possui latitude de 27° 16' 10,7'' e longitude de 49° 42' 20,1'', está ainda situado a 369 metros acima do nível do mar na microrregião de Rio do Sul, a 194 km de Florianópolis, a capital de Santa Catarina. O clima é de característica mesotérmico úmido, com temperatura média de 25°C. A cidade próxima mais importante é Rio do Sul e a data de fundação da cidade é 6 de junho de 1964.

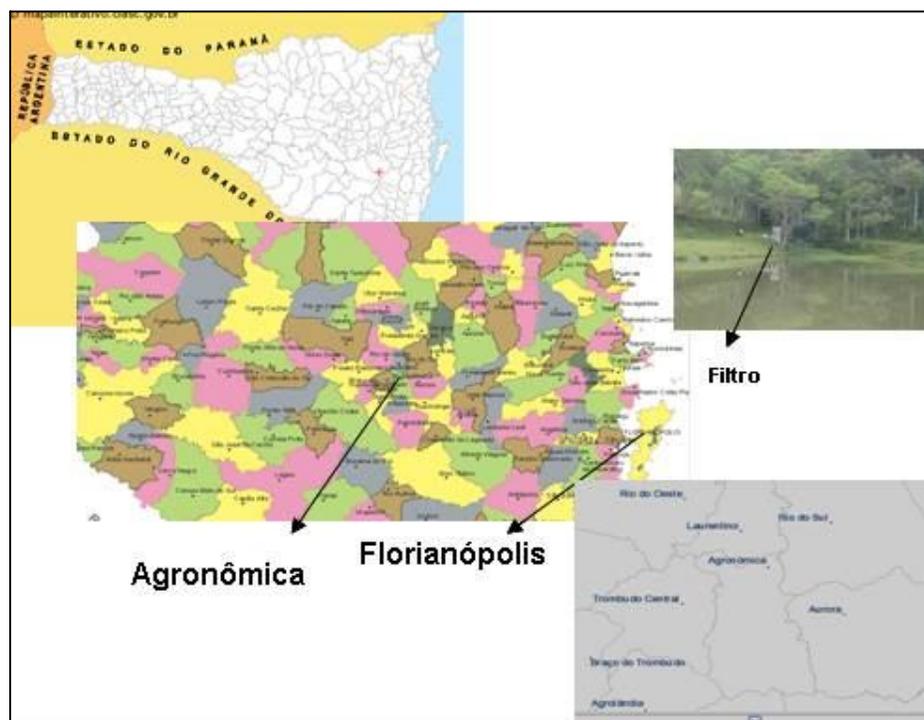


Figura 5 – Localização do Município de Agronômica. Fonte: Site Oficial do Governo do Estado de Santa Catarina.

## 4.2 MONTAGEM DO PILOTO

O sistema piloto foi montado em um filtro lento descendente que opera por retrolavagem e foi dimensionado em caráter experimental para uma dissertação de mestrado, portanto, o equipamento foi ajustado às características do filtro já existente. A lavagem do leito filtrante é realizada por retrolavagem e é feita por um operador a cada quinze dias.

O equipamento dimensionado tem por finalidade abrir uma válvula de descarga de forma automática, porém sem o uso de energia elétrica, assim a retrolavagem acontecerá e após um determinado tempo o equipamento voltará a posição inicial, interrompendo o tubo de descarga reiniciando uma nova carreira de filtração. A caixa foi idealizada em forma de “L” invertido para que facilitasse o deslocamento do centro de massa e conseqüentemente o tombamento da mesma. O orifício de esvaziamento da caixa também foi pré-determinado para que o equipamento não interrompa a lavagem do filtro prejudicando assim a sua lavagem (Figura 6).

Ao lado externo do filtro foi fixadas duas pernas de serra que servem de pilar para a fixação das cantoneiras, que é o local onde foi instalada a caixa e é onde esta irá rotacionar como um pêndulo, acionando o sistema de retrolavagem (Figura 6).

Na tampa do filtro foi colocado um sistema de roldanas que permitem o deslizamento do cabo de aço de 3 mm que levantará o tampão do tubo de descarga no momento da lavagem do filtro (Figura 6).

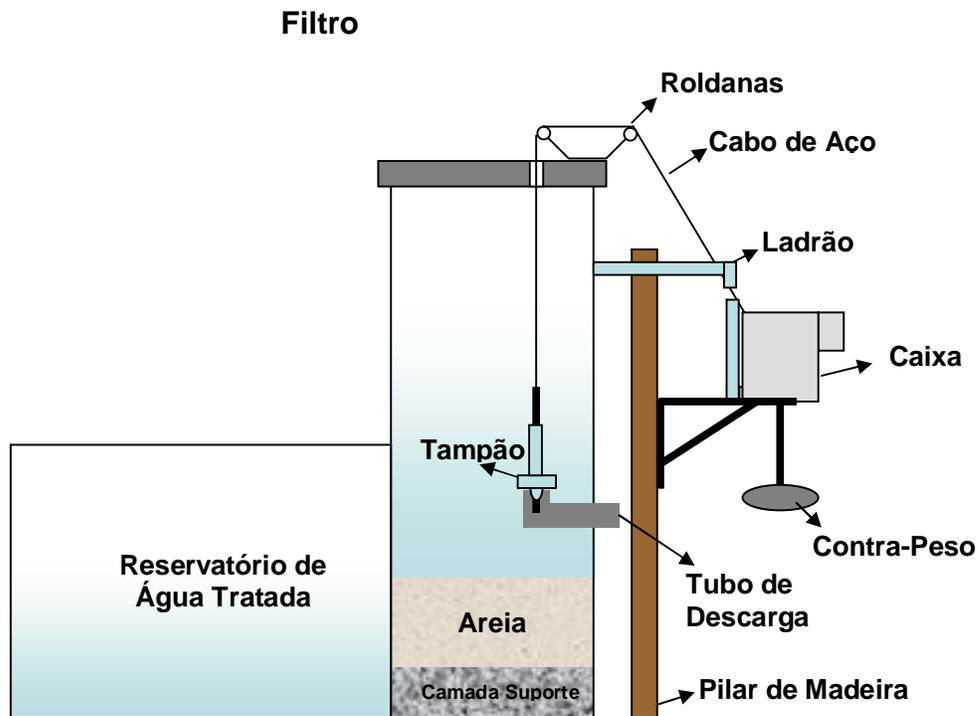


Figura 6 – Desenho esquemático do equipamento.

### 4.3 INSTALAÇÃO DO TAMPÃO DE DESCARGA

Para a instalação do tampão de descarga, houve a necessidade de prolongamento do tubo de descarga para dentro do filtro e a instalação de um “T” para que não ocorresse perda de carga na lavagem do filtro, como pode ser visto a seguir (Figura 7 e Figura 8):

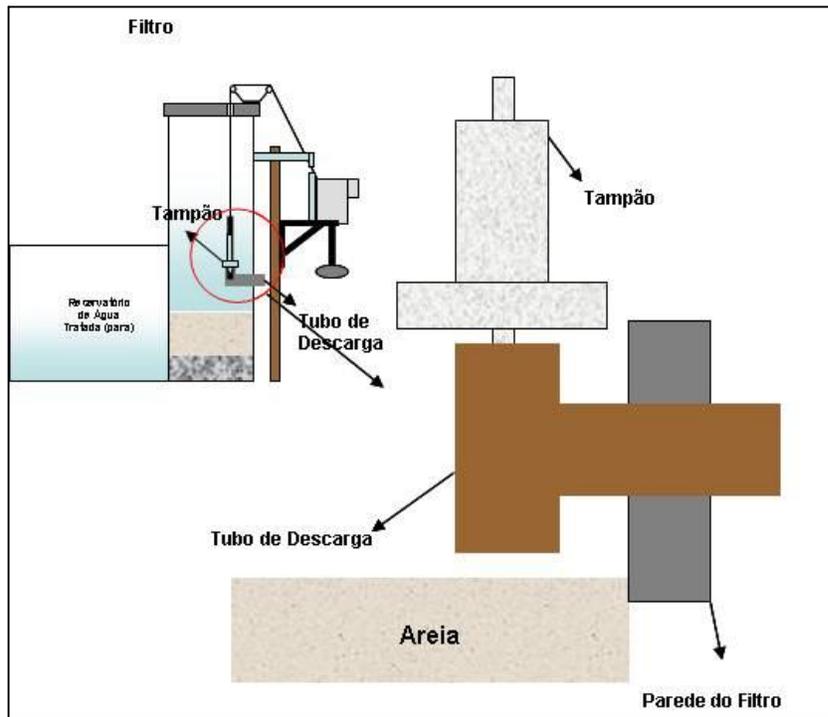


Figura 7 – Detalhamento do tubo de descarga e tampão.



Figura 8 – Foto do Detalhamento do tubo de descarga e tampão.

Com o objetivo de vedar o tubo de descarga e evitar possíveis perdas, utilizou-se um anel de borracha rígida para a vedação do tubo e um tipo de borracha “soft” para a vedação do tampão de forma que o peso deste vedasse eficientemente o referido tubo. Os detalhes podem ser observados a seguir (Figura 9):

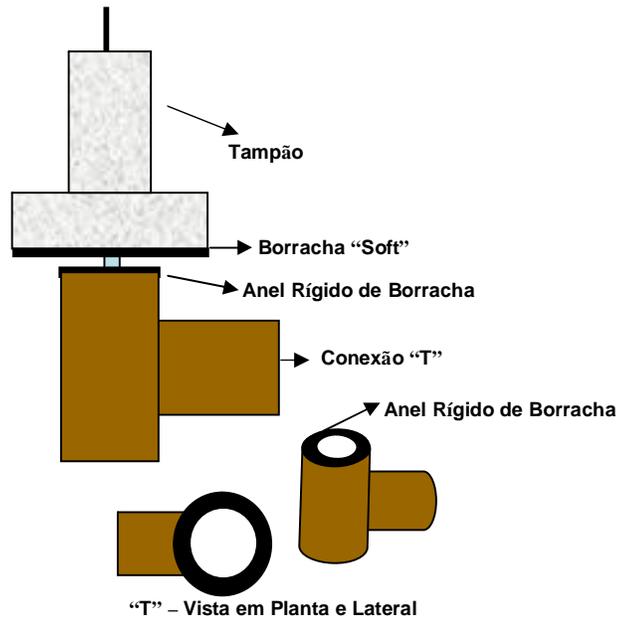


Figura 9 – Detalhamento da vedação do tubo de descarga.

#### 4.4 INSTALAÇÃO DAS ROLDANAS

Com o objetivo de ligar o tampão ao equipamento, foi utilizado um cabo de aço inoxidável conectando os mesmos, para tanto, foi necessário valer-se de um conjunto de roldanas das quais o cabo poderia deslizar perfeitamente, com auxílio de graxa quase isento de atrito. As roldanas foram instaladas na tampa do filtro e para que não fosse obstruída a passagem para dentro do mesmo em caso de manutenção, foi indispensável a construção de uma segunda tampa sobre a original. Os detalhes podem ser visto a seguir (Figura 10):



Figura 10 – Foto do sistema de roldanas sobre a tampa do filtro.

#### 4.5 FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Na medida em que o leito filtrante colmata, o nível de água dentro do filtro sobe em direção ao ladrão, localizado próximo ao topo do filtro (Figura 11). A água então começa a transbordar pelo ladrão que a guia ao equipamento enchendo-o lentamente até o rompimento do centro de massa. Como consequência, a caixa tomba para frente e a válvula de descarga do filtro é aberta através de um tampão guiado por um cabo de aço de 3 mm conectado a caixa, passando por uma roldana localizada no topo do filtro. O nível de água dentro do filtro irá descer (e isto acontecerá velozmente) e quando este chegar ao nível do tubo de descarga, o reservatório de água tratada, que possui maior carga, iniciará por contra-fluxo a retrolavagem, expandindo o leito filtrante. A água de lavagem irá também ser expelida para fora do filtro através do tubo de descarga. A caixa, agora na posição horizontal (Figura 12), começará a esvaziar por um orifício pré-estabelecido localizado no bico da mesma. O tempo de esvaziamento do equipamento será superior ao tempo de esvaziamento e lavagem do filtro para que este não impeça a limpeza do leito. Esvaziada a caixa, esta irá voltar a posição original a partir do momento em que o peso do contra-peso for superior ao peso da caixa, então o tampão voltará a obstruir a válvula de descarga e o filtro recomeçará uma nova carreira de filtração.

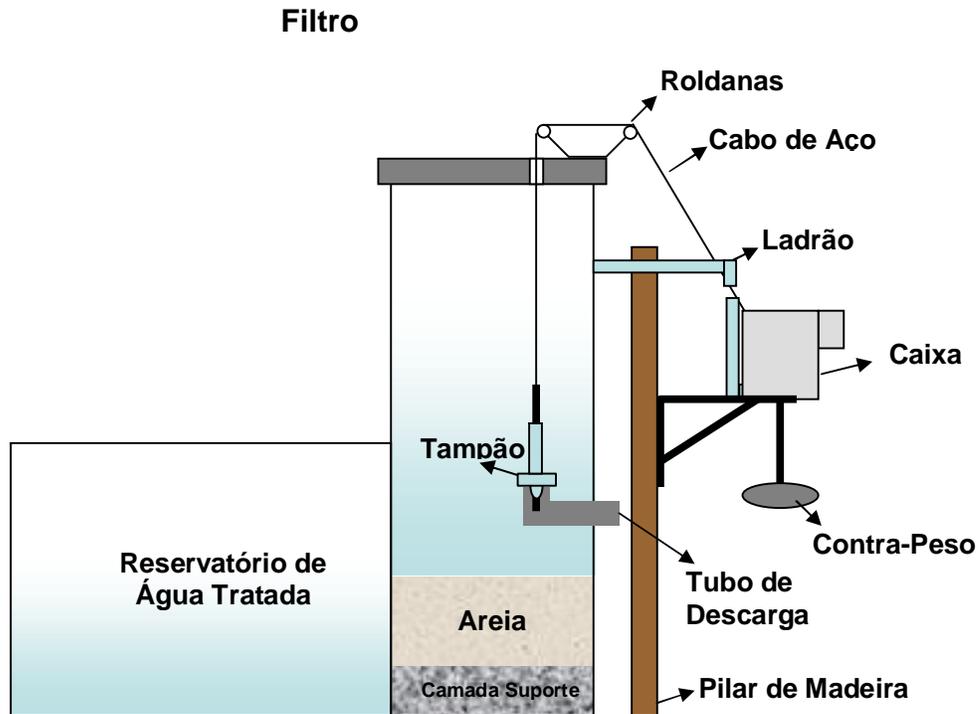


Figura 11 – Desenho esquemático do equipamento na posição original.

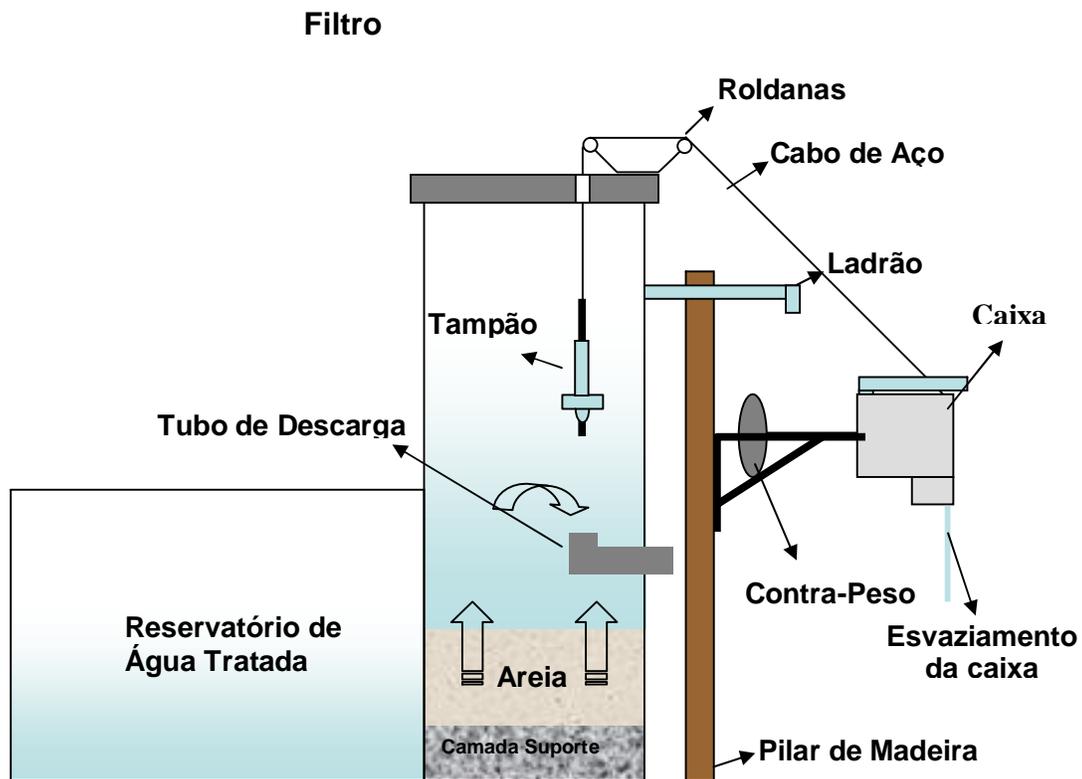


Figura 12 – Desenho esquemático do filtro em retrolavagem e do equipamento na posição horizontal abrindo a válvula de descarga iniciando o processo de lavagem do leito.

#### 4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema foi dimensionado considerando que este faça o movimento de um pêndulo composto. Portanto, foram calculados os momentos, que se define como o produto do módulo da força pela distância do seu ponto de aplicação ao eixo considerado, bem como o cálculo do centro de massa do equipamento para que este gire em torno de um eixo (Figura 13).

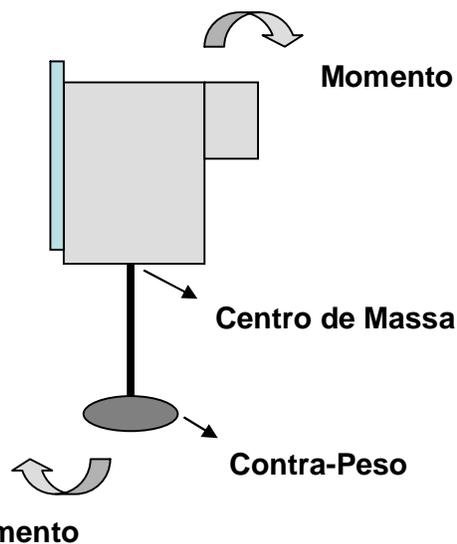


Figura 13 – Desenho esquemático do equipamento e as forças consideradas.

#### 4.6.1 Dimensões do Sistema

O equipamento foi construído em aço galvanizado e possui as seguintes dimensões (Figuras 14 e 15):

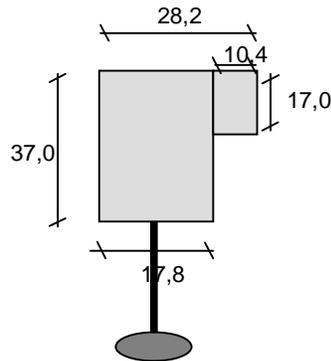


Figura 14 – Dimensões laterais do equipamento.

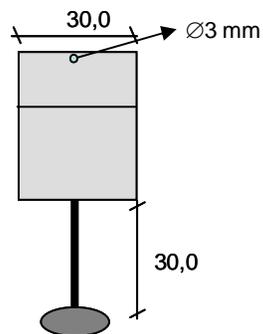


Figura 15 – Dimensões da parte frontal do equipamento.

O orifício na parte frontal do dispositivo tem dimensões pré-definidas para que seja possível determinar o tempo de esvaziamento da caixa como veremos adiante.

#### 4.6.2 Cálculo do Centro de Massa

O cálculo do centro de massa da caixa foi determinado dividindo-se o equipamento em dois segmentos  $A_1$  e  $A_2$  como pode ser visto a seguir (Figura 16), e calculado conforme a Equação 1 e a Tabela 1:

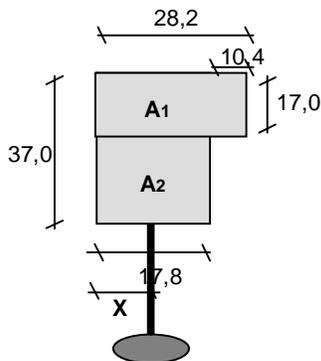


Figura 16 – Divisão do equipamento em dois segmentos para o cálculo do centro de massa.

Sabendo que:

$$\bar{X} = \frac{\sum Axi}{\sum Ai} \text{ , onde: } (1)$$

A – Área (cm<sup>2</sup>);

x – comprimento no eixo x (cm);

Temos:

Tabela 1 – Tabela para o cálculo do centro de massa.

Tabela de Cálculo do Centro de Massa			
Área	Dimensão (A) (cm <sup>2</sup> )	Ponto Médio (x) (cm)	A.x (cm <sup>3</sup> )
1	479,4	14,1	6759,54
2	356	8,9	3168,4
<b>Σ</b>	<b>835,4</b>		<b>9927,94</b>

Logo:

$$\bar{X} = \frac{9927,94}{835,4}$$

$$\bar{X} = 11,88\text{cm}$$

Portanto, o centro de massa do equipamento está localizado a 11,88 cm como pode ser observado na Figura 17. Para facilitar os cálculos e chegar o mais próximo possível do centro de gravidade do sistema, os cálculos foram realizados considerando o equipamento em duas dimensões (2D).

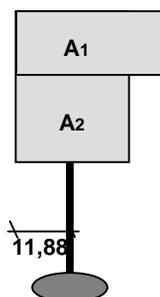
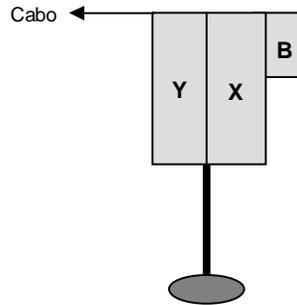


Figura 17 – Localização do centro de massa do equipamento.

#### 4.6.3 Cálculo dos Momentos

Para o cálculo do momento de tombamento e do momento de oposição ao tombamento foi necessário dividir a caixa em três segmentos (Figura 18), além de aferir o peso próprio de cada peça considerando que a placa de aço possui  $15,3 \text{ kg/m}^2$ .



**Figura 18 – Divisão do equipamento em três segmentos para o cálculo dos momentos.**

Peso Próprio:

Bico (B): Dimensão:  $0,149 \text{ m}^2$   
Peso ( $P_B$ ): 2,28 Kg ou 22,33 N

Área (X): Dimensão:  $0,08 \text{ m}^2$   
Peso ( $P_X$ ): 1,21 Kg ou 11,87 N

Área (Y): Dimensão:  $0,27 \text{ m}^2$   
Peso ( $P_Y$ ): 4,12 Kg ou 40,40 N

Para a conversão da unidade de massa (Kg) para a unidade de força (N), basta multiplicar o valor referente em massa (Kg) pela aceleração da gravidade “g”, sendo o valor desta de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , desta forma obtém-se o valor em unidade de força (N).

#### 4.6.4 Cálculo dos Momentos de Tombamento (Bico e Área X)

##### **Bico e Área X**

**Bico:**

$$M_{\text{Bico}} = P_B \cdot d$$

Onde:

$P_B$  – Peso próprio do bico (N);

d – Braço de alavanca em relação ao centro de massa (m).

$$M_{\text{Bico}} = 22,33 \cdot 0,111$$

$$M_{\text{Bico}} = \mathbf{2,48 \text{ Nm}}$$

**Área X:**

$$M_X = P_X \cdot d$$

Onde:

$P_X$  – Peso próprio da área X (N);

d – Braço de alavanca em relação ao centro de massa (m).

$$M_X = 11,87 \cdot 0,0295$$

$$\mathbf{M_X = 0,35 Nm}$$

Logo;

$$M_{Tomb} = M_{Bico} + M_X$$

$$M_{Tomb} = 2,48 + 0,35$$

$$\mathbf{M_{Tomb} = 2,83 Nm}$$

#### 4.6.5 Cálculo dos Momentos de Oposição ao Tombamento (Área Y)

**Área Y:**

$$M_Y = P_Y \cdot d$$

Onde:

$P_Y$  – Peso próprio da área Y (N);

d – Braço de alavanca em relação ao centro de massa (m).

$$M_Y = 40,4 \cdot 0,059$$

$$\mathbf{M_Y = 2,38 Nm}$$

Logo:

$$M_{Op-tomb} = M_Y$$

$$\mathbf{M_{Op-tomb} = 2,38 Nm}$$

Mesmo que os valores dos momentos de tombamento e de oposição ao tombamento não sejam iguais, eles mostram o equilíbrio existente no sistema uma vez que para o cálculo do centro de massa foi considerado o equipamento em duas dimensões (2D) e neste caso em três dimensões (3D).

Agora simulemos o tombamento da caixa com água a 37 centímetros de altura ou 5,3 kg de água (52,03 N) no Bico, 6,57 kg de água (64,25 N) segmentos X e 13,20 kg de água (129,5 N) no segmento Y e o centro de massa levemente deslocado para 11 cm e não mais em 11,88 para que ocorra o tombamento.

Então:

**Bico (B):**

$$M_{Bico} = (P_{Bico} + P_{\text{água}}) \cdot d$$

$$M_{Bico} = (22,33 + 52,03) \cdot 0,12$$

$$M_{\text{Bico}} = 8,92 \text{ Nm}$$

#### Área X:

$$M_X = (P_X + P_{\text{água}}) \cdot d$$

$$M_X = (11,87 + 64,25) \cdot 0,034$$

$$M_X = 2,59 \text{ Nm}$$

Logo;

$$M_{\text{Total}} = M_{\text{Bico}} + M_X$$

$$M_X = 8,92 + 2,59$$

$$M_X = 11,51 \text{ Nm}$$

#### Área Y:

$$M_Y = (P_Y + P_{\text{água}}) \cdot d$$

$$M_Y = (40,4 + 129,5) \cdot 0,055$$

$$M_Y = 9,34 \text{ Nm}$$

Este valor ( $M_X$ ) é suficiente para deslocar o centro de massa e fazer com que a caixa tombe para frente, abrindo o tampão de descarga iniciando assim a retrolavagem automática.

É importante ressaltar que o contrapeso localizado no centro de massa em uma haste no fundo da caixa e o cabo de ligação entre a caixa e o tampão tem a função de pura e simplesmente retornar o equipamento a posição original, interrompendo o sistema de retrolavagem, portanto ele situa-se na linha no centro de massa. Eles é que fazem com que o equipamento funcione como uma espécie de pêndulo exercendo um momento em relação ao eixo de rotação. O contrapeso e o peso do tampão (considerando que o cabo de aço não esteja esticado) não influenciam no tombamento da caixa, pois no momento em que o centro de massa é deslocado a força da gravidade atua de forma a impulsionar o equipamento para frente praticamente ignorando a força contrária exercida por ambos. Desta forma, desprezamos a força retrógrada do contrapeso e do tampão utilizando ela apenas para a função de retorno da caixa que pode ser calculada da seguinte forma:

Sendo:

$$P = 7,65 \text{ Kg ou } 75 \text{ N (peso da caixa vazia);}$$

$$CP = 6 \text{ Kg ou } 58,86 \text{ N (contrapeso);}$$

CABO = 2 Kg ou 19,62 N (força exercida pelo cabo).

Para uma melhor visualização das forças que interagem sobre o equipamento, montou-se um diagrama como pode ser visto a seguir (Figura 19):

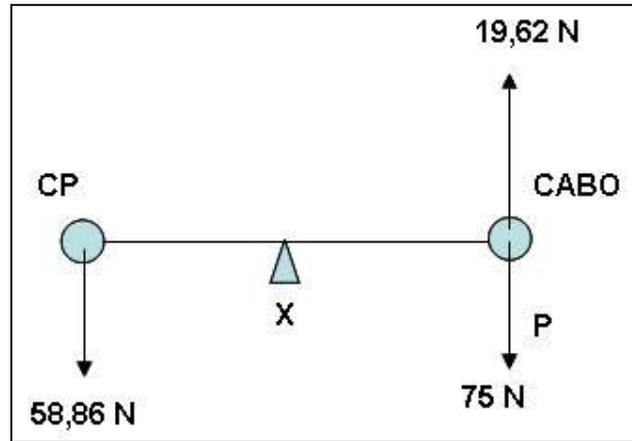


Figura 19 – Diagrama esquemático das forças atuantes em relação ao eixo de rotação X.

É fácil notar mesmo sem a apresentação de cálculos matemáticos que, considerando o eixo exatamente no centro entre o contrapeso (CP) e a caixa (P), na resultante das forças o contrapeso (CP) exerce um maior momento em relação ao eixo X que a caixa (P), fazendo então com que a caixa retorne a posição inicial, como pode ser visualizada a seguir (Figura 20):

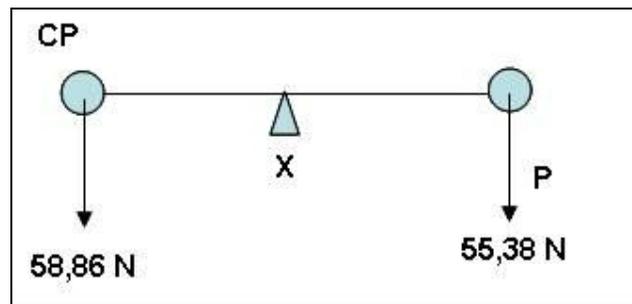


Figura 20 – Resultante das forças em relação ao eixo X.

No entanto, é consenso mostrar os cálculos matemáticos para o melhor entendimento do sistema, portanto, para o cálculo do momento do contrapeso (CP) e relação ao eixo X tem-se:

$$M_{cp-x} = F_{cp} \cdot d$$

Como:

$$F_{cp} = 58,86 \text{ N}$$
$$d = 0,3 \text{ m}$$

Então:

$$M_{cp-x} = 58,86 \cdot 0,3$$

$$\mathbf{M_{cp-x} = 17,66 Nm}$$

Para o cálculo do momento da caixa (P) em relação ao eixo X, temos:

$$M_{p-x} = F_p \cdot d$$

Como:

$$F_{p-x} = 55,38 \text{ N}$$

$$d = 0,3 \text{ m}$$

Então:

$$M_{p-x} = 55,38 \cdot 0,3$$

$$\mathbf{M_{p-x} = 16,61 Nm}$$

Como podemos perceber agora de forma matemática, o momento de CP em relação a X é superior ao momento P em relação ao mesmo eixo, garantindo assim que a caixa retorne a posição inicial.

#### 4.6.6 Cálculo do Tempo de Descida da Água no Filtro

Para o dimensionamento do sistema é necessário calcular o tempo de descida de água no filtro e adicionar a este tempo o tempo de lavagem do filtro, para que o equipamento não interrompa a lavagem deste, prejudicando assim seu desempenho. Para o cálculo do tempo de descida da água no filtro, será utilizada a equação matemática para esvaziamento de um reservatório retangular por um orifício (Equação 2), como mostra a seguir:

$$t = \frac{2 \cdot A \left( \sqrt{h_1 - h_2} \right)}{Cd \cdot Ao \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \quad (2)$$

t – tempo de descida da água no filtro (seg.);

Ao – Área do Tubo de Descarga (m<sup>2</sup>);

h<sub>1</sub> – Diferença de cota entre o nível de água dentro do filtro e o tubo de descarga (metros) (Figura 16);

h<sub>2</sub> – Diferença de cota entre o tubo de descarga e a base do filtro (metros) (Figura 21);

Cd – Coeficiente de descarga (0,35 - tabelado);

A – Área do filtro (m<sup>2</sup>);

g – Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

Obs: O tempo de lavagem do filtro já era conhecido sendo este de 5 minutos.

Sabendo que:

$$C_d = 0,35$$

$$A_o = 2,83 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ (60 mm)}$$

$$A = 0,64 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 2,42 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,92 \text{ m}$$

$$t = \frac{2 \cdot 0,64 (\sqrt{2,42 - 0,92})}{0,35 \cdot 2,83 \times 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}$$

$$t = 357,07 \text{ seg.}$$

$$t = 5,95 \text{ min.}$$

Acrescentando 5 minutos de lavagem do filtro, temos:

$$t = 10,95 \text{ minutos}$$

### Filtro

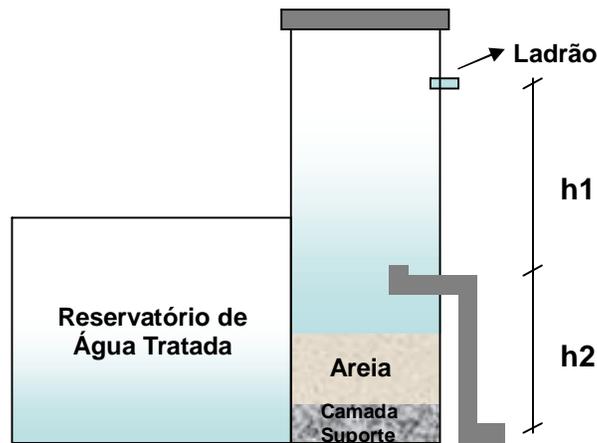


Figura 21 - Figura esquemática do filtro demonstrando  $h_1$  e  $h_2$ .

#### 4.6.7 Cálculo do Tempo de Descida da Água no Equipamento

O cálculo do tempo de descida da água no equipamento é de fundamental importância, pois este deve trabalhar em perfeita harmonia com o tempo de lavagem do filtro para que não prejudique o seu desempenho. Para o cálculo do tempo de descida da água no equipamento será utilizada a equação matemática para esvaziamento de um reservatório retangular por um orifício novamente (Equação 2), como mostra a seguir:

$$t = \frac{2 \cdot A (\sqrt{h_1 - h_2})}{C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \quad (2)$$

$t$  – tempo de descida da água no equipamento (seg.);  
 $A_o$  – Área do Orifício de saída d'água ( $m^2$ );  
 $h_1$  – Diferença de cota entre o nível de água dentro do equipamento até o orifício (metros) (Figura 17);  
 $h_2$  – Altura do nível de água do bico do equipamento até o orifício (metros) (Figura 22);  
 $C_d$  – Coeficiente de descarga (0,62 - tabelado);  
 $A$  – Área do filtro ( $m^2$ );  
 $g$  – Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

Sabendo que:

$C_d = 0,62$   
 $A_o = 7,06 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  (3 mm)  
 $A = 0,111 \text{ m}^2$  (0,3x0,37m)  
 $h_1 = 0,282 \text{ m}$   
 $h_2 = 0,104 \text{ m}$

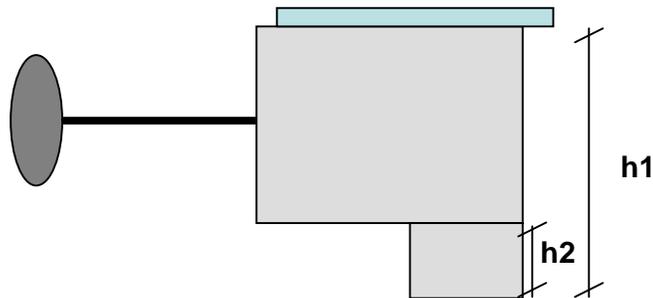


Figura 22 – Figura esquemática do equipamento demonstrando  $h_1$  e  $h_2$ .

$$t = \frac{2 \times 0,111 (\sqrt{0,282 - 0,104})}{0,62 \cdot 7,06 \times 10^{-6} \cdot \sqrt{2} \cdot 9,81}$$

$$t = 4830,7 \text{ seg.}$$

$$t \approx 80 \text{ min.}$$

Esse é tempo gasto para que a água desça até o bico da caixa. O tempo de esvaziamento no bico está demonstrado a seguir, através da mesma equação (Equação 3) agora utilizando apenas o  $h_2$ .

$$t = \frac{2 \times A (\sqrt{h_2})}{C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2} \cdot g} \quad (3)$$

Sabendo que:

$C_d = 0,62$   
 $A_o = 7,06 \times 10^{-6}$  (3 mm)  
 $A = 0,051 \text{ m}^2$  (0,17x0,3m)  
 $h_2 = 0,104 \text{ m}$

$$t = \frac{2 \times 0,051(\sqrt{0,104})}{0,62 \cdot 7,06 \times 10^{-6} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}$$

$$t = 1697,4 \text{ seg.}$$

$$t = 28,29 \text{ min.}$$

O tempo total de esvaziamento da caixa é simplesmente a soma dos tempos calculados acima, ou seja, a soma do tempo despendido até o bico e o tempo de esvaziamento do bico, como podemos ver abaixo:

$$T_{total} = 80 + 28,29$$

$$T_{total} = \mathbf{108,29 \text{ minutos}}$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos cálculos e da metodologia demonstrada, pôde-se construir e instalar o equipamento e realizar os ensaios para a avaliação da eficácia deste em campo, para tanto se obteve os seguintes resultados:

### 5.1 VERIFICAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DO EQUIPAMENTO

Sabendo dos fatores externos que poderiam contribuir para o deslocamento do centro de massa do equipamento como uniformidade do material e peças soldadas e conectadas a caixa, influenciando assim no tombamento do mesmo, houve a necessidade da aferição do centro de gravidade do equipamento antes de levá-lo a campo e instalá-lo no filtro. Para tanto, a caixa foi instalada em uma bancada nas dependências da metalúrgica onde o dispositivo foi erigido para realizar o teste e avaliar o real centro de gravidade ficando este a 12 cm no eixo X (Figura 23).



Figura 23 – Foto do teste em bancada.

### 5.2 AJUSTES DO CENTRO DE MASSA DO EQUIPAMENTO EM CAMPO

Depois de realizada a aferição do centro de massa do equipamento em bancada, o mesmo foi levado a campo para a instalação e ajuste a realidade do filtro. A instalação teve como base a alocação do equipamento sobre as cantoneiras, do contrapeso e do cabo de aço que faz a ligação da caixa ao tampão de descarga de retrolavagem do filtro. Agora em uma outra realidade, houve novamente a necessidade de ajuste do centro de massa com o equipamento instalado sobre a cantoneira no filtro, onde com um ajuste fino (real) localizado em um dos vértices desta, possibilitou a regulação do mesmo (Figura 24).



**Figura 24 – Foto do ajuste fino.**

O eixo de rotação da caixa ficou localizado exatamente como calculado, ou seja, a aproximadamente 12 centímetros no eixo X, porém, como mencionado anteriormente, devido a uma série de fatores externos, como irregularidades no material, peso do tubo de enchimento, peso do joelho de ferro fundido entre outros, e com a necessidade de utilização do ajuste fino, a caixa não ficou exatamente assentada em um eixo horizontal, mas sim a uma inclinação de aproximadamente  $10^\circ$  em relação a este, deslocando assim o centro de massa para trás facilitando o tombamento (Figura 25).



**Figura 25 – Foto da inclinação do equipamento em relação a base horizontal.**

### 5.3 AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Instalado o equipamento no filtro, partiu-se para a avaliação do seu funcionamento. Então, com o auxílio de um balde e um pequeno recipiente, encheu-se lentamente com água a caixa através do funil localizado no topo do tubo comunicante de enchimento, podendo assim simular o enchimento através do ladrão do filtro e, conseqüentemente o tombamento (Figura 26). Para a aferição da altura da água no tombamento, foi conectado um piezômetro no tubo comunicante de enchimento e utilizando uma trena, o que permitiu-nos avaliar a altura da água (Figura 27). O tempo de esvaziamento do sistema foi verificado com o auxílio de um cronômetro a partir do momento em que a caixa tombou e foi cessado quando a caixa retornou a posição inicial.



Figura 26 – Foto da simulação de enchimento e tombamento do equipamento.



Figura 27 – Foto da localização do piezômetro para medição da altura no tombamento.

Foram feitas quatro simulações e os resultados podem ser observados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Tabela de simulação de enchimento e altura de tombamento do equipamento.

**Tabela de Simulações**

No.Simulações	Altura no Tombo (cm)	Tempo de Esvaziamento (min.)
1	33 (32,8)	55,0
2	33 (33,1)	58,0
3	33 (33,0)	57,0
4	33 (32,9)	55,0

Os tempos de esvaziamento da caixa ficaram em torno de 56 minutos e como o tempo real de lavagem do filtro foi pouco mais de 10 minutos, garantiu-se tempo necessário para a lavagem do leito filtrante.

Contudo, esta etapa foi a mais crítica, onde pode-se visualizar a fragilidade do equipamento no tocante ao material empregado. Observou-se que a cada tombo, havia certo comprometimento do eixo de rotação, e no retorno da caixa também observou-se que esta encontrava um ponto de equilíbrio, ou seja, ao final do esvaziamento, o equipamento começava a retornar lentamente para a posição original, porém, em certo ponto este encontrava o equilíbrio entre o contrapeso e o pouco de água que restava no bico (razão também pela qual o tempo calculado não aproximou-se ainda mais do real), então a caixa não voltava a posição inicial impossibilitando o fechamento da válvula de descarga (Figura 28).

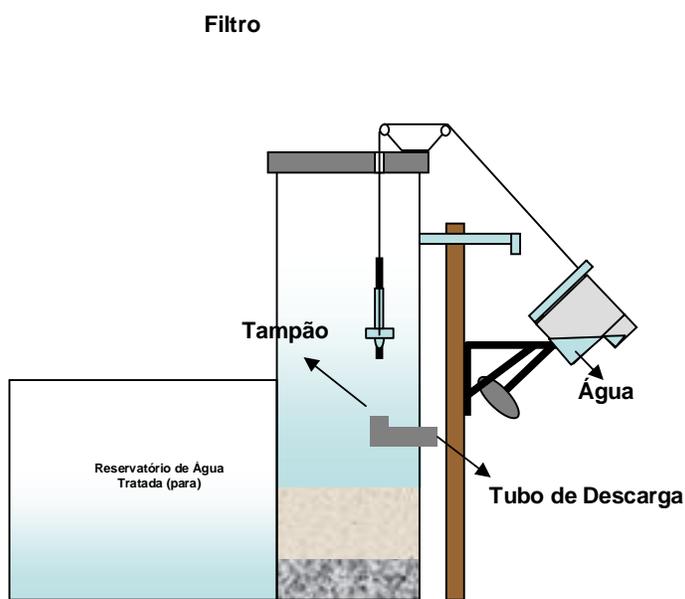


Figura 28 – Equipamento na posição de equilíbrio com o contrapeso.

Para a solução destes problemas algumas medidas foram tomadas. Primeiramente utilizou-se de um freio conectando a caixa à cantoneira para evitar um tombo severo. Ainda, para preservar o eixo de rotação, principal alvo da fragilidade do sistema, decidimos que a queda não seria por completo, ou seja, o equipamento não tombaria mais a  $90^\circ$ , e sim agora em torno de  $60^\circ$  (Figura 29). Outra decisão tomada foi a introdução de um sifão no orifício de saída da água, desta forma, toda água remanescente no bico seria “sugada” por ele, então, o equipamento romperia o ponto de equilíbrio voltando assim a posição original (Figura 30).



Figura 29 – Foto da alocação do freio e regulagem da caixa para aproximadamente 60°.



Figura 30 – Foto da alocação do sifão e sifão em funcionamento.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA AJUSTADO

Ajustado o sistema, este foi avaliado para verificar se mesmo com as medidas tomadas ele faria o seu papel original, ou seja, a permanência na posição inclinada mantendo assim o tubo de descarga aberto, no tempo necessário para a limpeza do filtro. Nesta etapa também foi verificado a altura da água no momento do tombamento, através de um piezômetro localizado no tubo de enchimento, por uma trena (Figura 31) e o tempo de esvaziamento do equipamento, aferido por um cronômetro. Os resultados podem ser verificados na Tabela 3 abaixo:



Figura 31 – Localização do piezômetro para medição da altura no tombamento com o equipamento ajustado.

Tabela 3 – Tabela de simulações após ajustes.

**Tabela de Simulações**

Nº.Simulações	Altura no Tombo (cm)	Tempo de Esvaziamento (min.)
1	33 (32,9)	35,0
2	33 (33,0)	36,5
3	33 (33,3)	40,5
4	33 (33,2)	38,5
5	33 (32,8)	35,0
6	33 (32,8)	35,0
7	33 (32,8)	35,0
8	33 (32,0)	34,0

Como pode ser observado, foram feitas oito simulações, o que corresponde a quatro meses de funcionamento do sistema sem qualquer interferência humana, considerando que é feita a lavagem do filtro duas vezes por mês. Nota-se que mesmo após os ajustes (alocação do freio e do sifão), o tempo de esvaziamento da caixa ainda foi suficiente para que ocorresse a lavagem do filtro, que foi de pouco mais de 10 minutos. A altura da água no tombamento ficou em torno de 33 centímetros.

Notou-se que a medida que a água se aproximava da altura crítica, ou seja, a altura em que o equilíbrio era rompido e o equipamento tombado, qualquer ação do meio externo, como uma leve brisa ou chuvas fortes, poderia fazer com que a caixa ruísse, acionando o sistema de lavagem. Da mesma forma, a medida que o equipamento se esvaziava, este também encontrava um ponto crítico de equilíbrio em que qualquer ação exterior poderia fazer com que ele voltasse a posição original. Diante disso, verificou-se que a altura crítica de equilíbrio estava em torno de 33 centímetros e qualquer tombamento antes ou depois desta altura afetaria o tempo de esvaziamento da caixa. Ainda, no momento em que a caixa se aproximava do seu total esvaziamento e esta encontrava o seu ponto crítico de equilíbrio, qualquer inesperada ação externa fazia com que a caixa fosse restituída a posição original, também afetando o tempo de esvaziamento.

É importante ressaltar que os agentes externos citados, em momento algum interromperam a lavagem do filtro sem que este estivesse limpo. Estas ações afetaram levemente o tempo de esvaziamento como pode ser verificado na Tabela 3. Ventos fortes dificilmente interromperão a lavagem do filtro por causa do peso que caixa e a água dentro desta exercem junto com a força da gravidade, embora isto não seja improvável em casos extremos.

## 6 CONCLUSÕES

A tecnologia de automação de lavagem de filtros lentos pode ser uma excelente alternativa no melhoramento da água potável em meios rurais como a apresentada neste trabalho. A tecnologia mostrou-se eficaz na lavagem do leito filtrante sem a intervenção humana, porém ainda necessita de alguns ajustes e melhoramentos como a procura de um material mais resistente e prático para que o proprietário-operador possa manipular de forma simples e segura o equipamento, garantido a qualidade da água tratada.

A adaptação do equipamento a um filtro já existente foi outro fator que forçou-nos a adaptar o sistema a realidade encontrada, quando o ideal é dimensionar o filtro prevendo a instalação de um sistema de auto-limpeza, desta forma, evita-se toda e qualquer adaptação que possa vir a prejudicar de alguma maneira o filtro e conseqüentemente a qualidade da água a ser consumida.

A altura de água dentro do equipamento no momento do tombamento ficou em torno de 33 centímetros, altura esta ajustável com a regulagem fina. O tempo de esvaziamento do equipamento ajustado foi de aproximadamente 36 minutos o que garantiu a lavagem do leito filtrante sem interrupção considerando que a lavagem do filtro tomou cerca de 10 minutos. Os cálculos dos momentos de tombamento e de oposição ao tombamento ratificaram o equilíbrio do sistema mesmo considerando para o cálculo do centro de massa a caixa em duas dimensões (2D). A simulação da queda do equipamento com água a 37 centímetros de altura fortaleceu a hipótese de funcionamento deste.

Assim sendo, o desenvolvimento de uma tecnologia simples, econômica e de fácil manipulação como está apresentada neste trabalho atingiu o seu objetivo de desvincular o proprietário-operador da limpeza do filtro, preservando a saúde e o bem estar das comunidades no meio rural através de uma água de qualidade e dentro dos parâmetros legais exigidos.

## **7 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES**

Diante de tudo que foi estudado, dimensionado e exposto, é relevante que se faça algumas sugestões e recomendações para o melhor funcionamento do sistema.

Como vimos, o equipamento apresenta certa fragilidade no tocante ao material empregado, portanto, o uso de um material mais resistente pode vir a prolongar o tempo de vida útil do mesmo, caso contrário a manutenção de ao menos três vezes por ano é recomendável. A utilização da fibra de vidro é uma boa sugestão de material a ser empregado se adaptado as condições da mesma. A não utilização do contrapeso no possível uso da fibra de vidro como material é uma das modificações necessárias, assim, o equipamento tornar-se-ia mais leve e retornaria a posição original apenas com o peso do tampão preservando o eixo de rotação do mesmo.

O encontro do centro de massa ideal para a realidade do filtro também foi uma dificuldade encontrada ao longo deste estudo, para tanto, recomenda-se idealizar um sistema de ajuste manual do centro de gravidade, facilitando desta forma a instalação por parte do proprietário-operador. Ainda, um orifício de esvaziamento ajustável também pode vir a contribuir para a regulagem de esvaziamento do equipamento em caso de necessidade.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRTHARAJAH, A. A. **The interface between filtration and backwashing**. Water Research, v.19, n.5, p.581-588, 1985.

Aquafil Tratamento de Água LTDA. Disponível em <<http://www.aquafil.com.br/>> . Acessado em 18 de maio de 2007.

ARNAL J. M., SANCHO M., VERDÚ G., LORA J., MARTÍN J. F., CHAFER AQUAPOT J.: **UF real application for water potabilization in developing countries. Problems, location and solutions adopted**. Desalination v. 204., p. 316-321 (2006) 316-321.

BAYLIS, J. R. Experiences in filtration. **Journal American Water Works Association**, v.29, n.7, p.1010-1048, 1937.

BAYLIS, J. R. Washing and maintenance of filters. **Journal American Water Works Association**, p.176-186, February 1954.

BETTONI, R. L. **Automação de Processos Industriais e Produtivos – Conceitos Gerais**. Revista Climatização e Refrigeração, Editora RPA, ISSN 1678-6866, Agosto 2006, São Paulo, SP, 2006.

DE BROCHARD, J. P. **“A miragem do futuro”**, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1991.

FILHO, M. **Automação no saneamento básico: diferentes necessidades para um mesmo objetivo**. Revista Controle & Instrumentação, ed. 61, São Paulo, SP, 2001.

Filtrando Equipamentos e Serviços para Saneamento. Disponível em <<http://www.filtrando.com.br/>> . Acessado em 01 de junho de 2007.

FRANTZ, C. H., GOMIDE, R. M. P. **Interface para Sistema de Controle de Religador Automático**. Goiás. Universidade Federal de Goiás, 2003.

GESC – Governo do Estado de Santa Catarina. Disponível em <<http://www.sc.gov.br/>> . Acessado em 10 de junho de 2007.

HOLANDA, A. B. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 12a. impressão. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1975. p. 163.

LONGO, W.P., “Ciência e Tecnologia: evolução, inter-relação e perspectivas”. **Anais do 9º Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, vol. 1, 42, Porto Alegre, 1989.

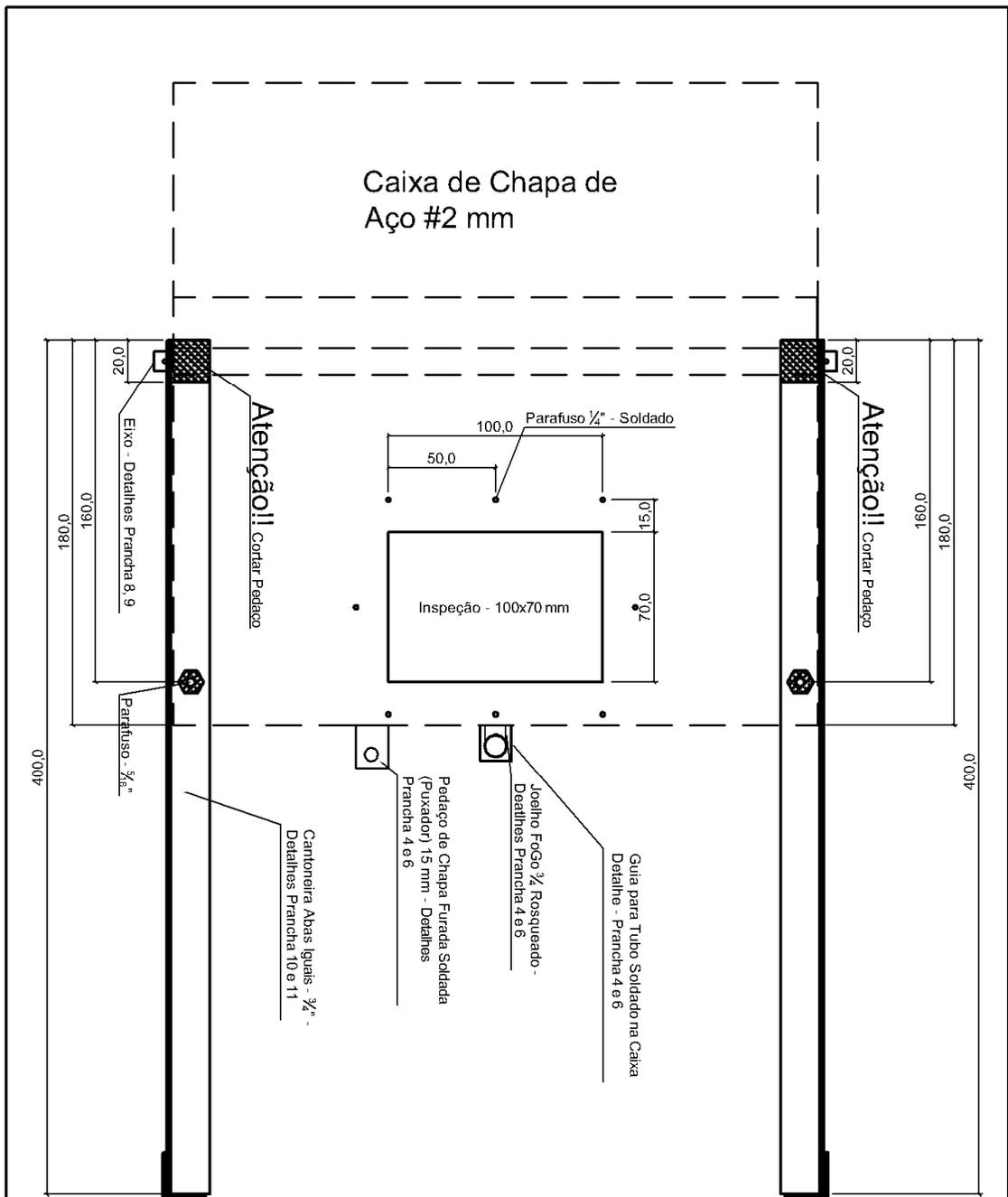
Orival Water Filter. Disponível em <<http://www.orival.com/>> . Acessado em 02 de maio de 2007.

PRICE, D.S., **“Little science, big science”**, Columbia University Press, Nova Iorque, 1963.

**RICHETR, C. A., AZEVEDO NETO, J. M. Tratamento de Água. Tecnologia Atualizada.** Editora Edgard Blücher LTDA, 5<sup>a</sup> reimpressão, São Paulo, 2003, 117p.

**WIECHETECK, G. K., DI BERNARDO, L., MOLINA, F. R. O. Influencia do Método de Lavagem nas Características do Carvão Antracito Utilizado em meio Filtrante.** Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2000.

## 9 APÊNDICE



**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

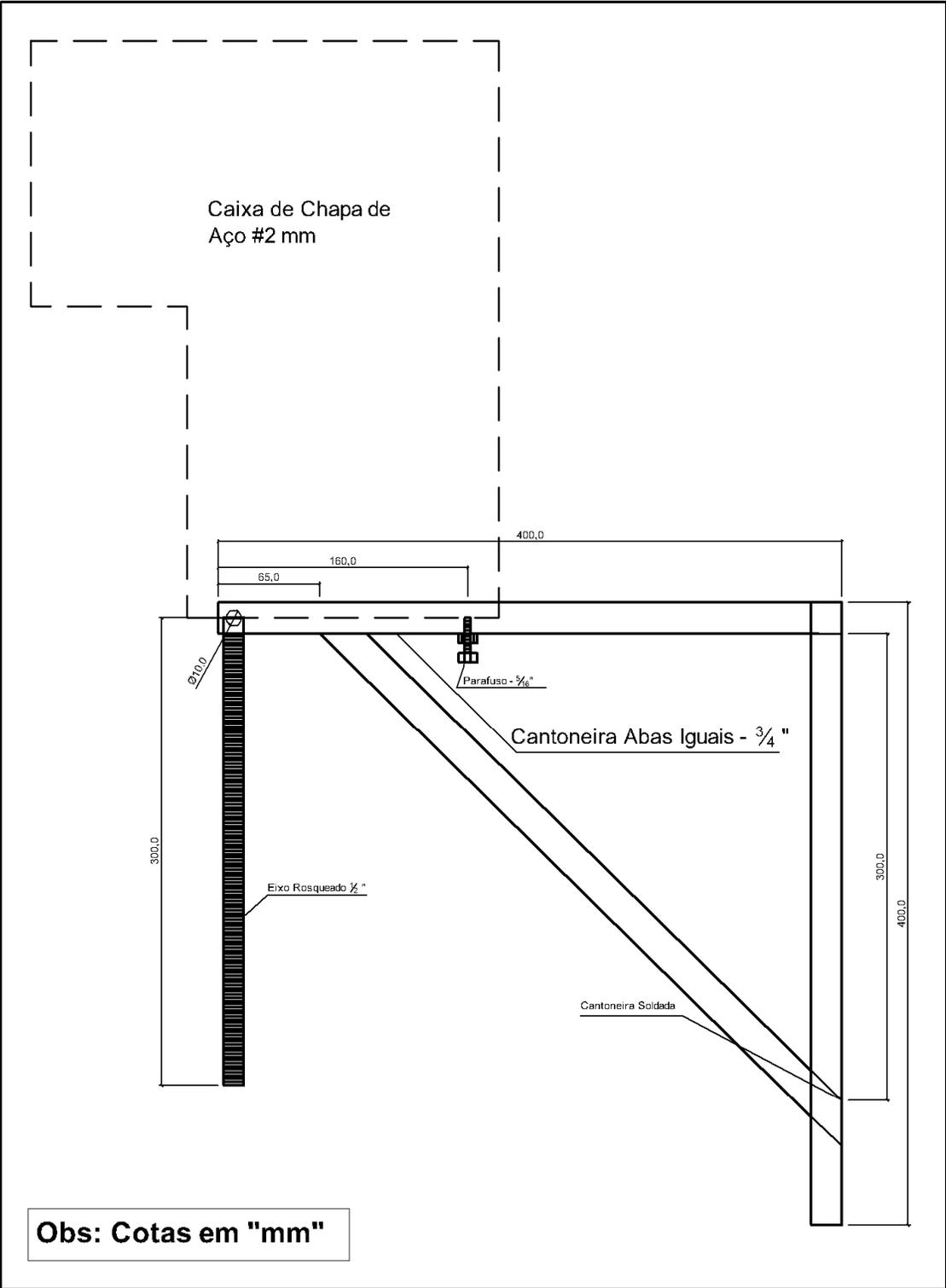
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Planta Baixa - Caixa

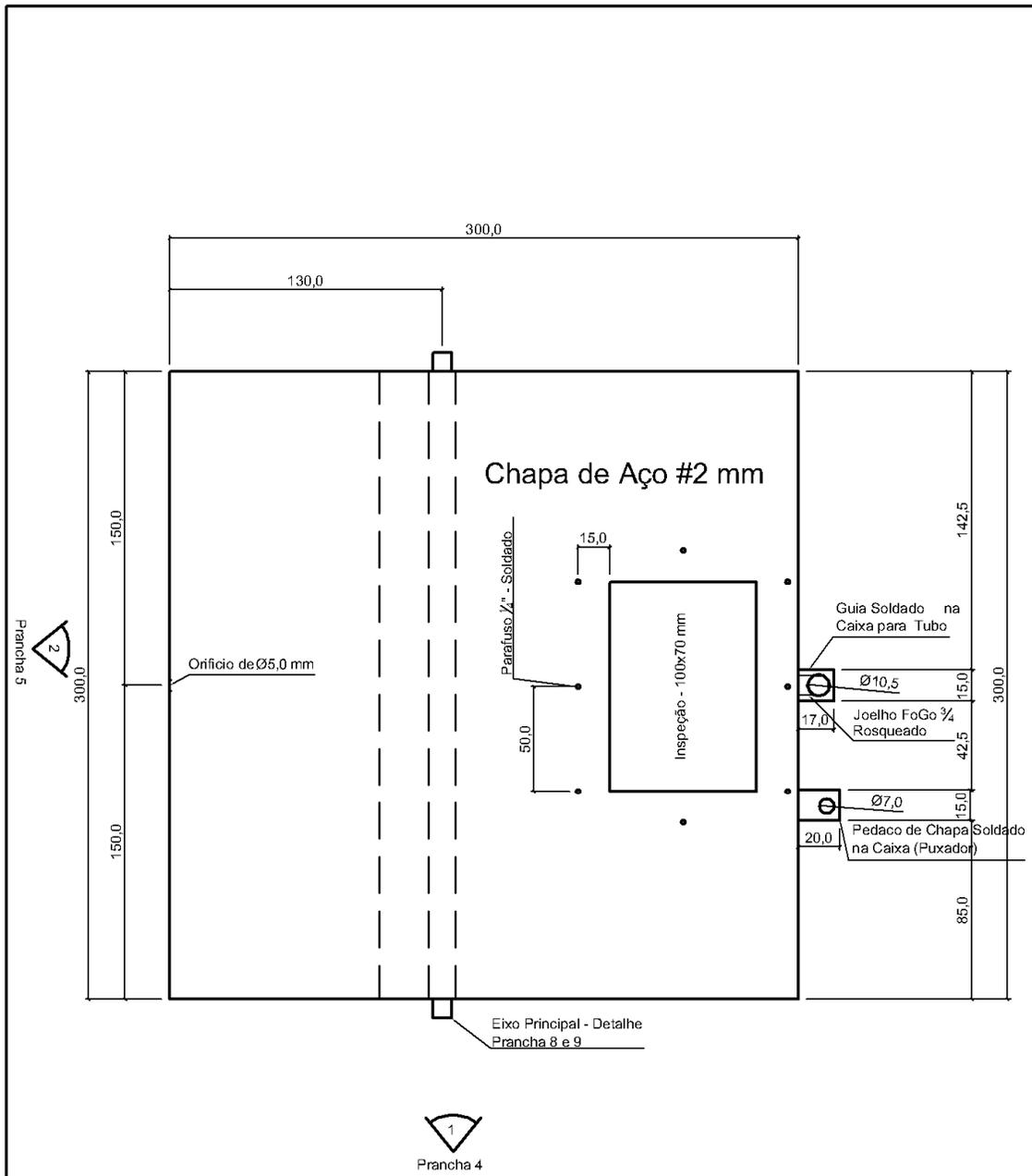
Escala : s/ escala

1



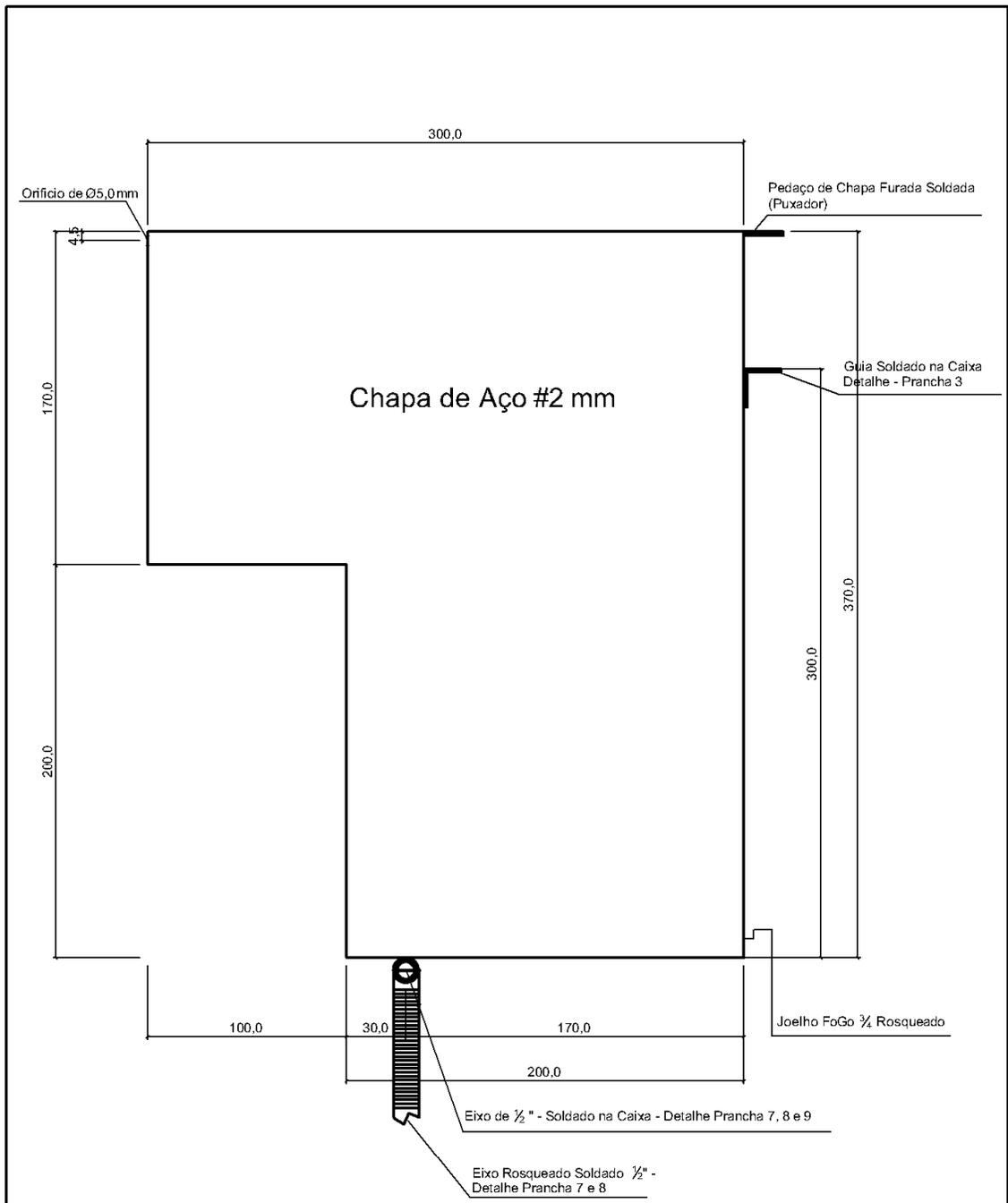
Universidade Federal de Santa Catarina	
Nome: Marcus Bruno D. Soares	
Data: 2007	
Desenho Esquemático	Escala : s/ escala

2



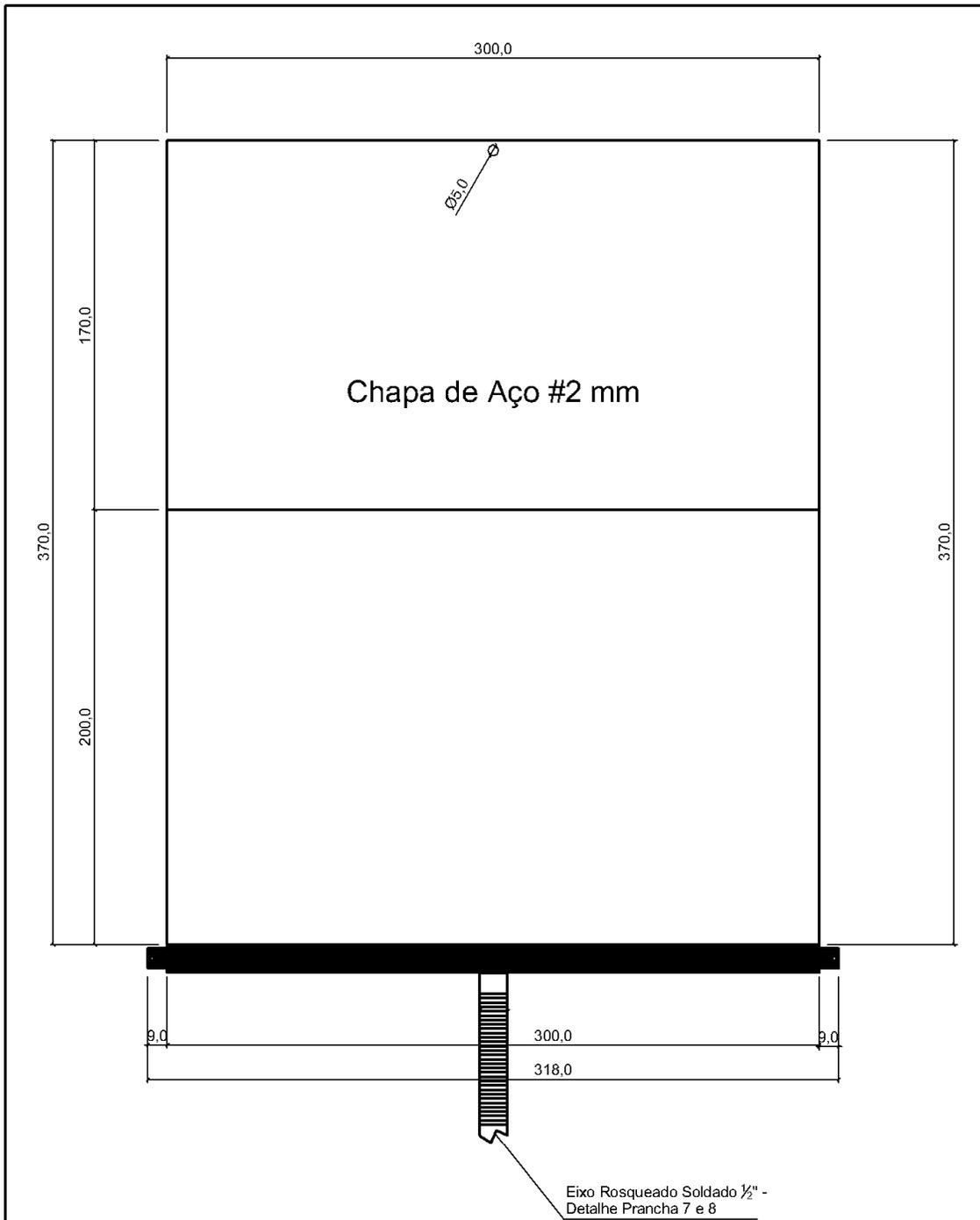
**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina		<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">3</span> </div>
Nome: Marcus Bruno D. Soares		
Data: 2007		
Planta Baixa - Caixa	Escala : s/ escala	



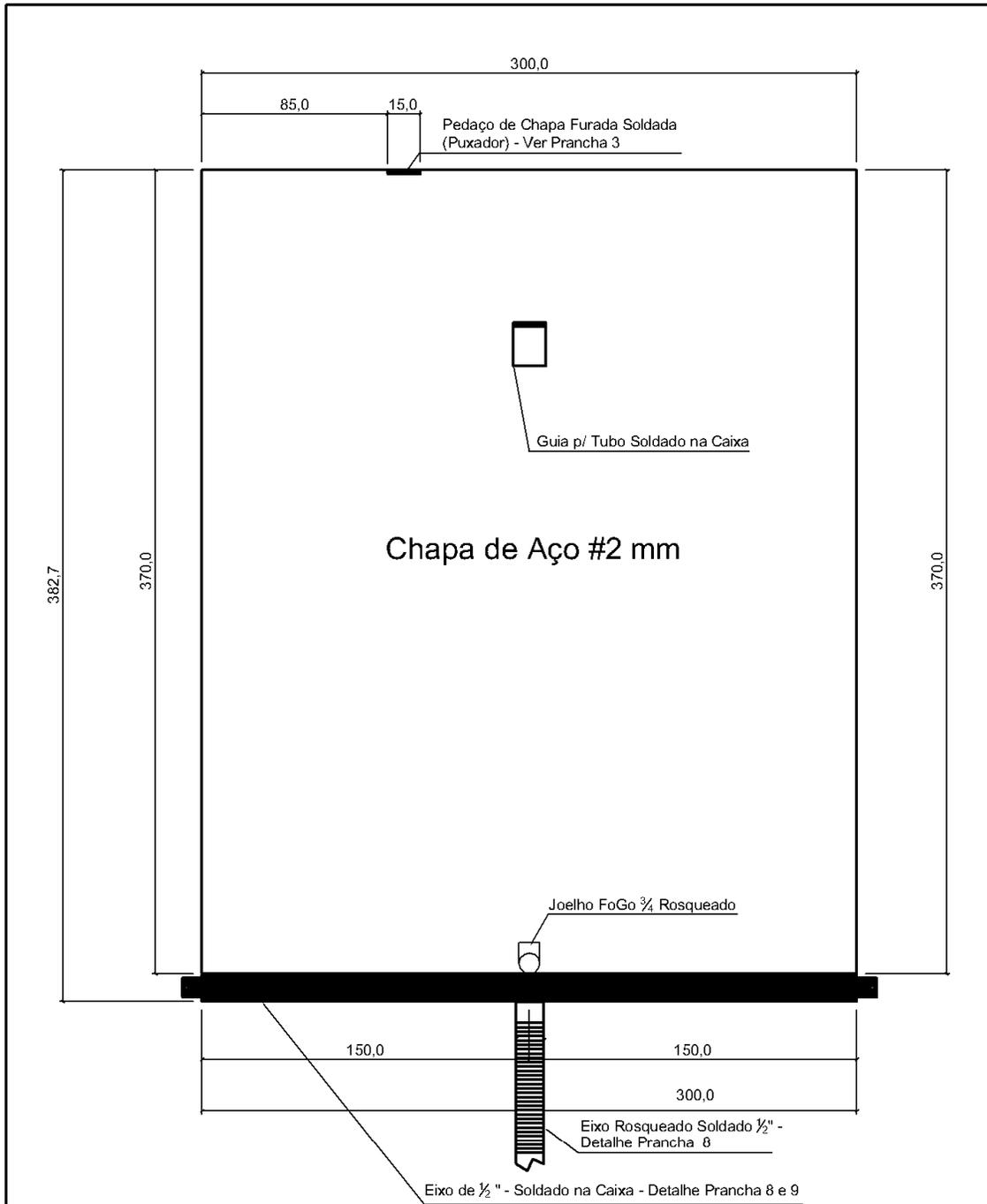
**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">4</span> </div>
Nome: Marcus Bruno D. Soares		
Data: 2007		
Vista Lateral - Caixa	Escala : s/ escala	



**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina		<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">5</span> </div>
Nome: Marcus Bruno D. Soares		
Data: 2007		
Vista Frontal - Caixa	Escala : s/ escala	



**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

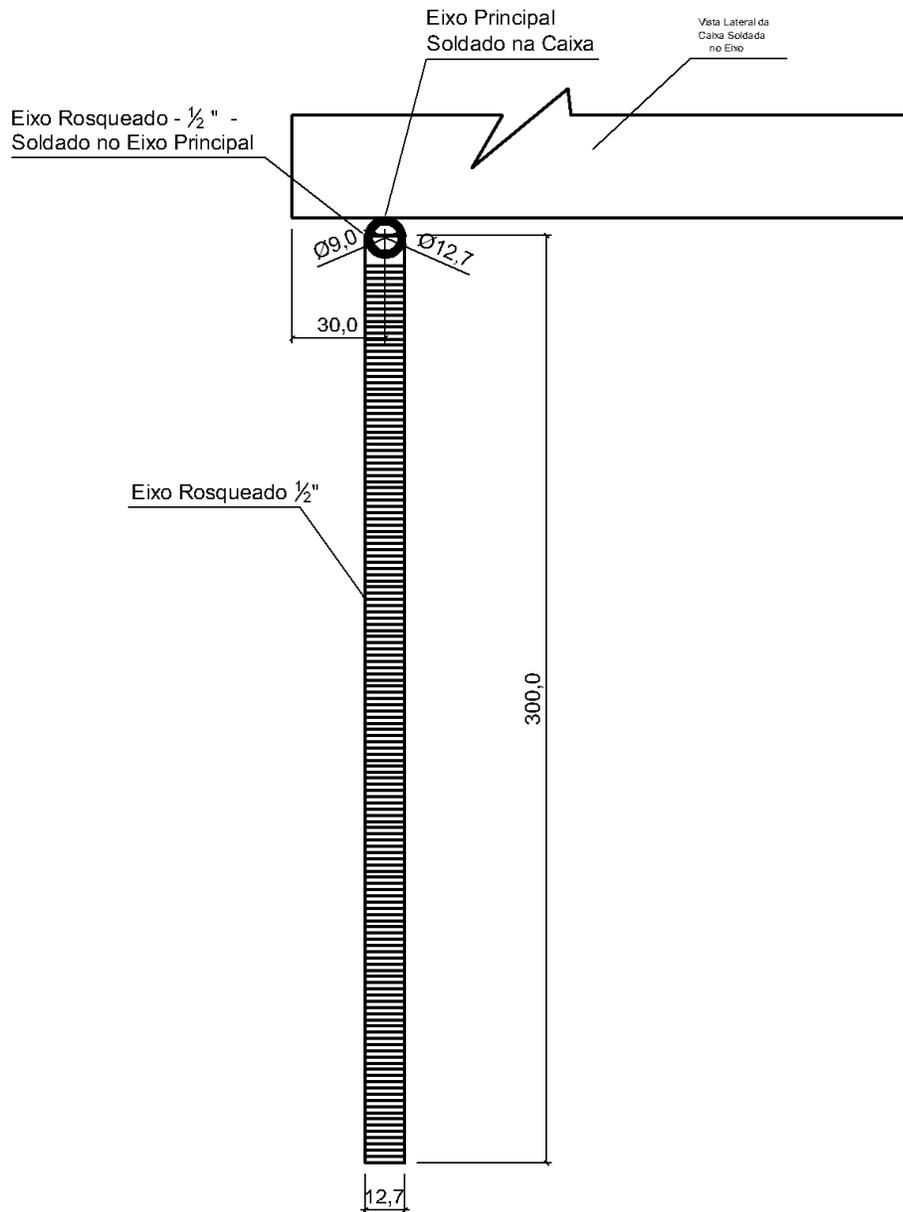
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Vista Traseira - Caixa

Escala : s/ escala

6



**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

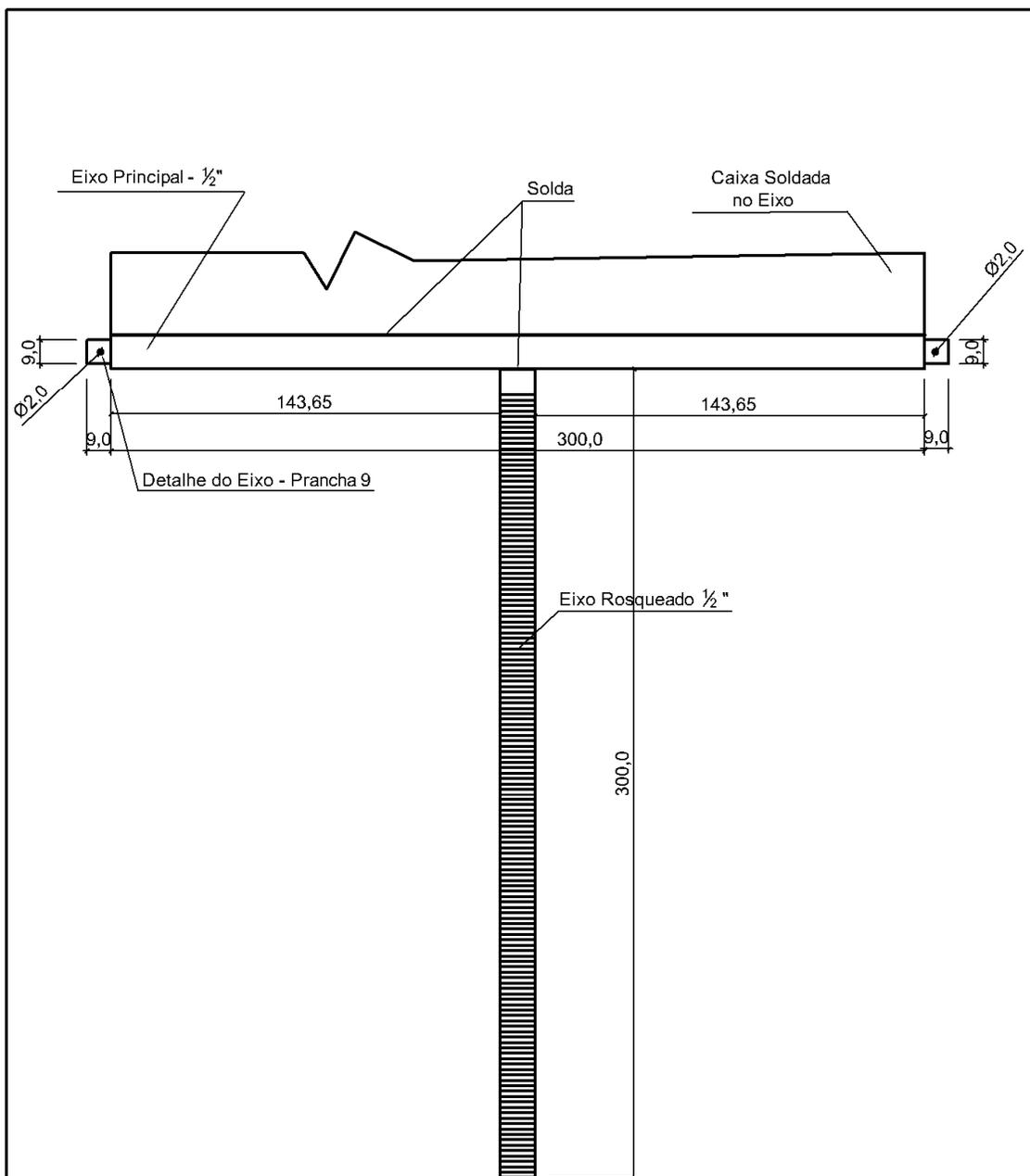
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Vista Lateral - Eixo

Escala : s/ escala

7



Obs: Cotas em "mm"

Universidade Federal de Santa Catarina

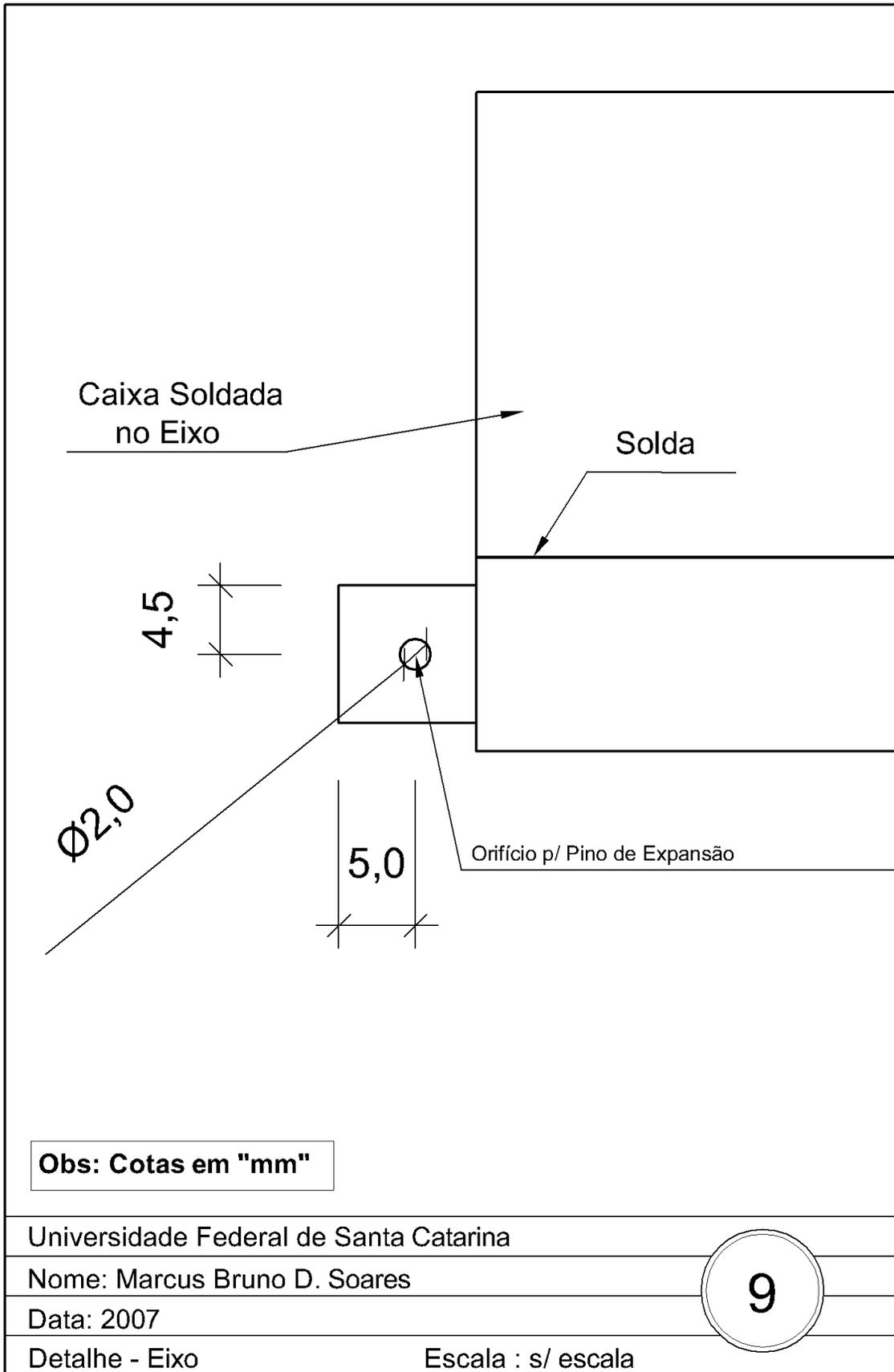
Nome: Marcus Bruno D. Soares

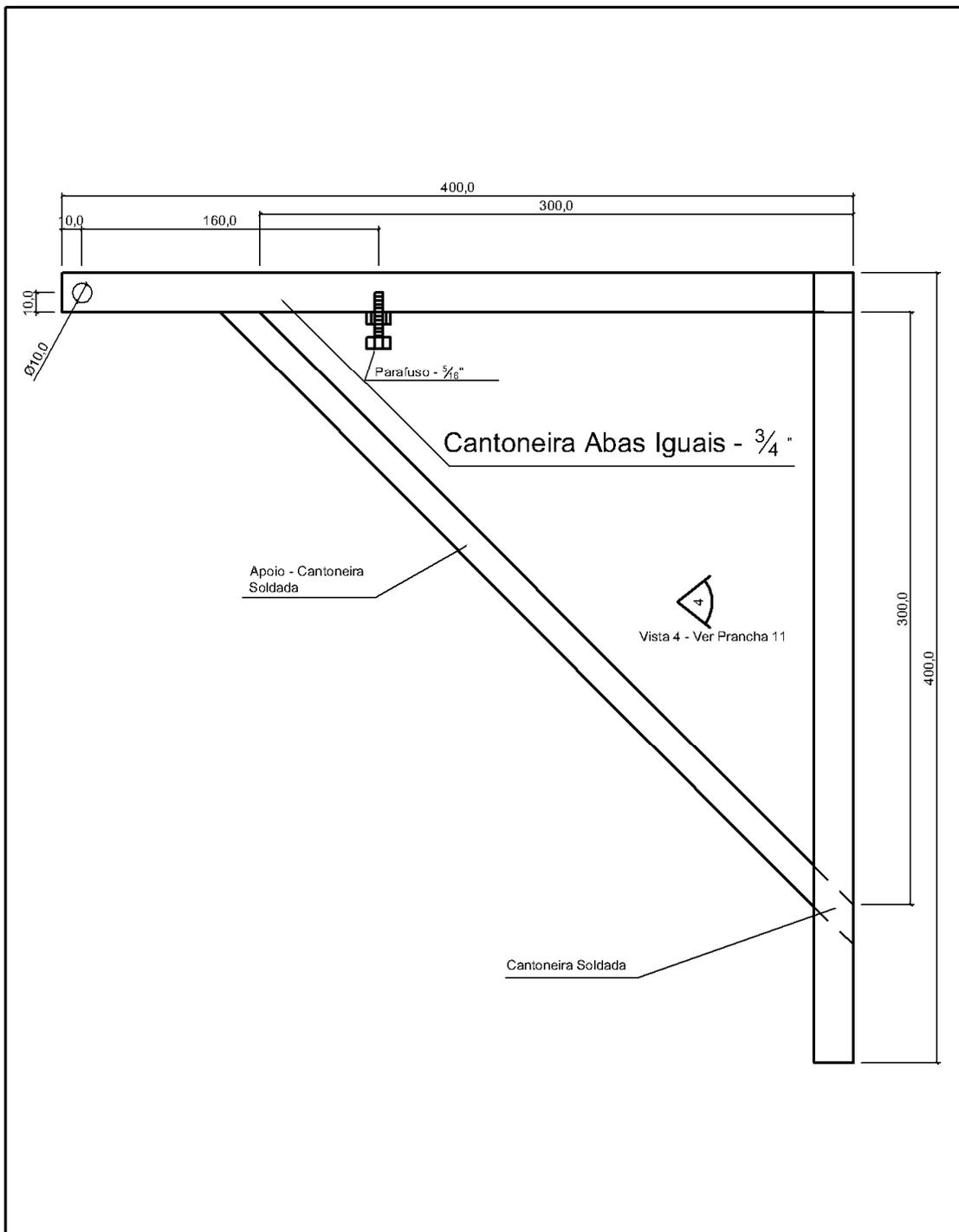
Data: 2007

Vista Frontal - Eixo

Escala : s/ escala

8

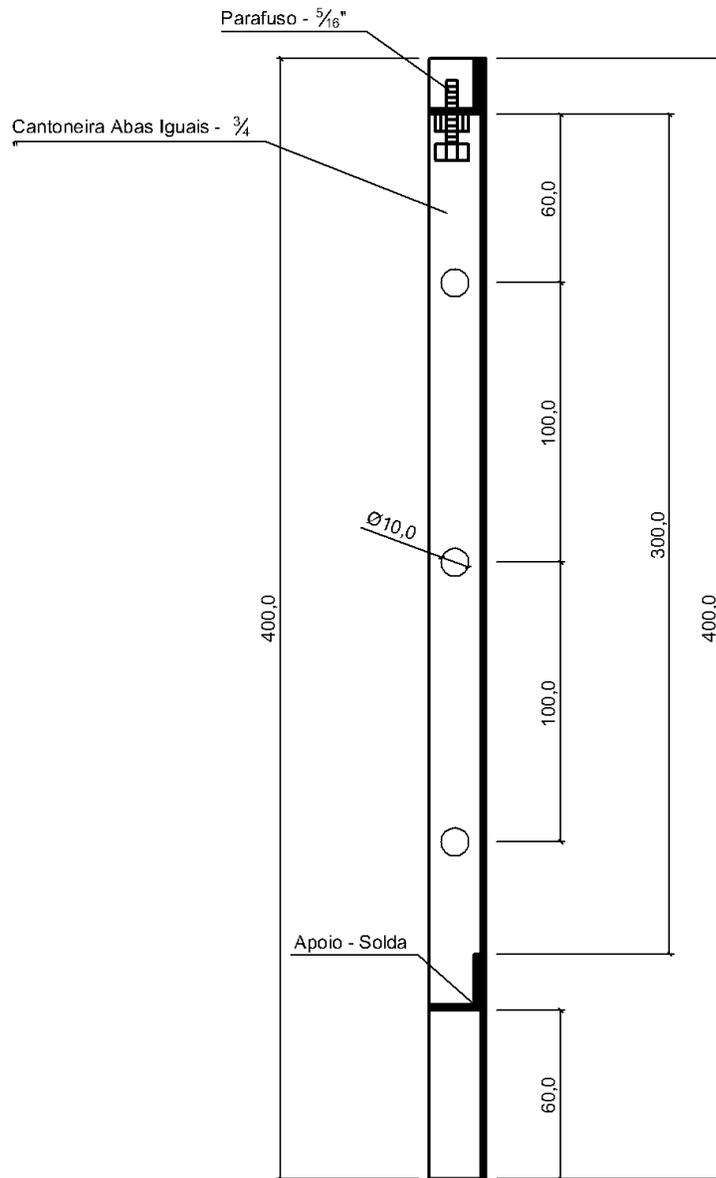




**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina	
Nome: Marcus Bruno D. Soares	
Data: 2007	
Vista Lateral - Cantoneira	Escala : s/ escala

10



**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

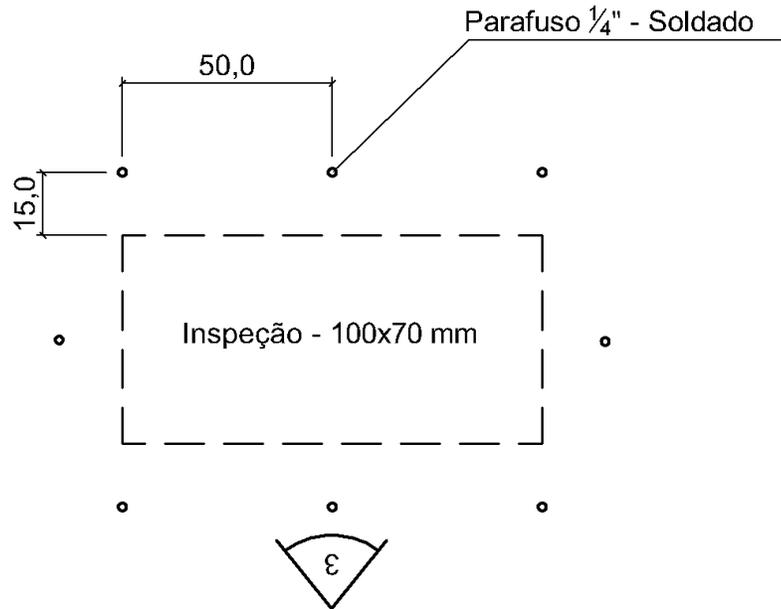
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

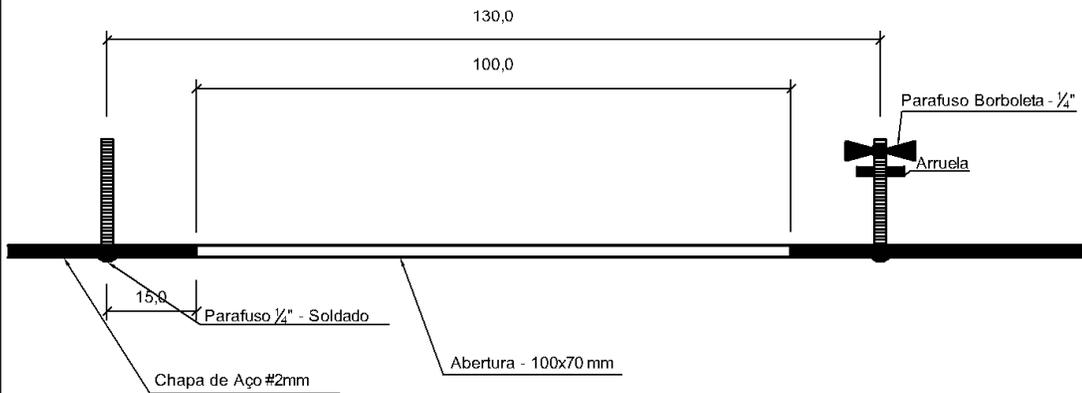
Vista Frontal - Cantoneira

Escala : s/ escala

11



**Planta Baixa - Inspeção**



**Inspeção - Vista 3**

**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

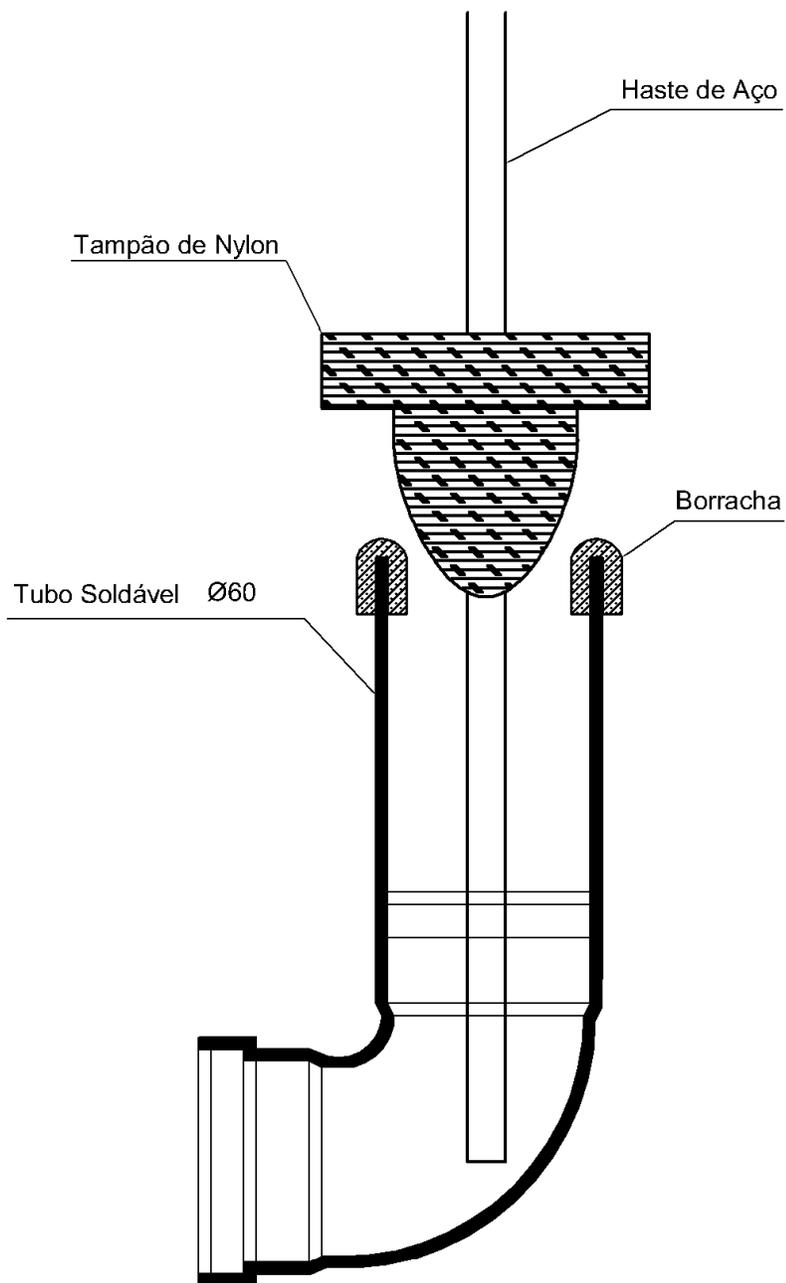
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Inspeção

Escala : s/ escala

12



Universidade Federal de Santa Catarina

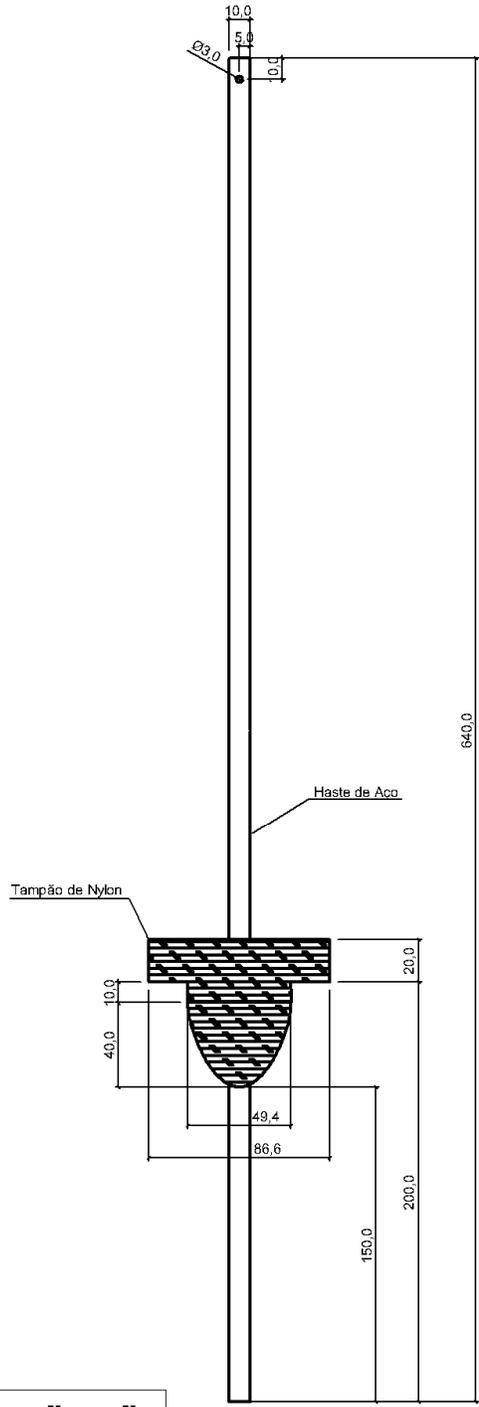
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Desenho Esquemático

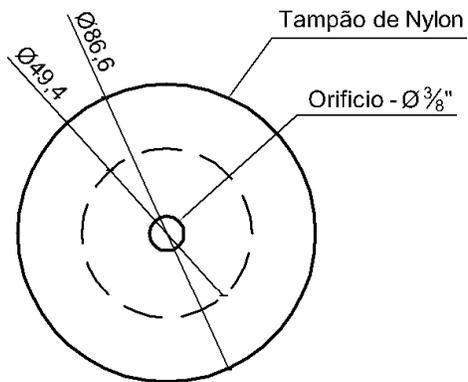
Escala : s/ escala

13

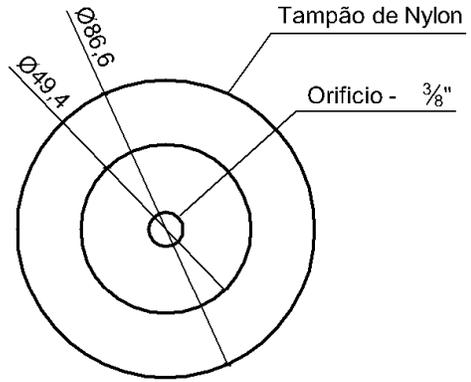


**Obs: Cotas em "mm"**

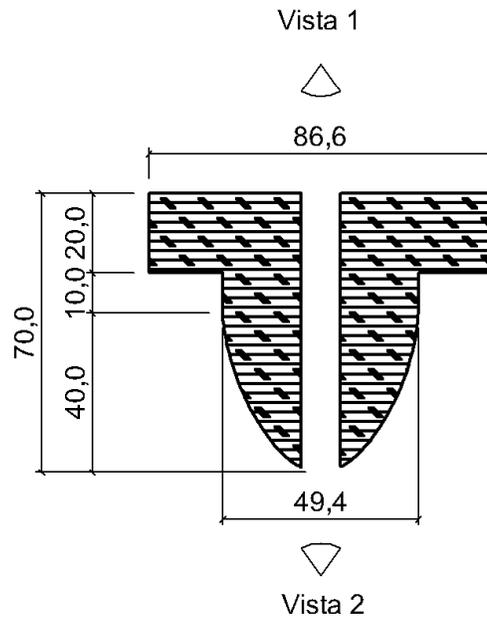
Universidade Federal de Santa Catarina		<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">14</span> </div>
Nome: Marcus Bruno D. Soares		
Data: 2007		
Vista Lateral	Escala : s/ escala	



**Vista 1 - Superior**



**Vista 2 - Inferior**



**Corte**

**Obs: Cotas em "mm"**

Universidade Federal de Santa Catarina

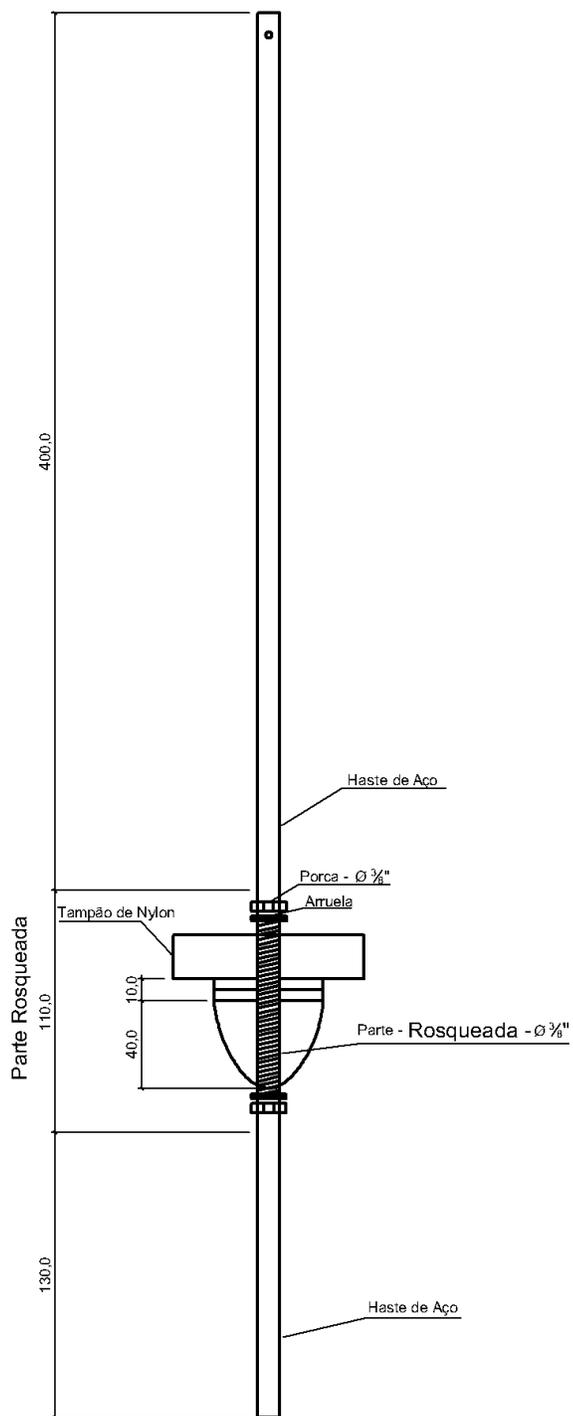
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Tampão - Vistas e Corte

Escala : s/ escala

15



Obs: Cotas em "mm"

Universidade Federal de Santa Catarina

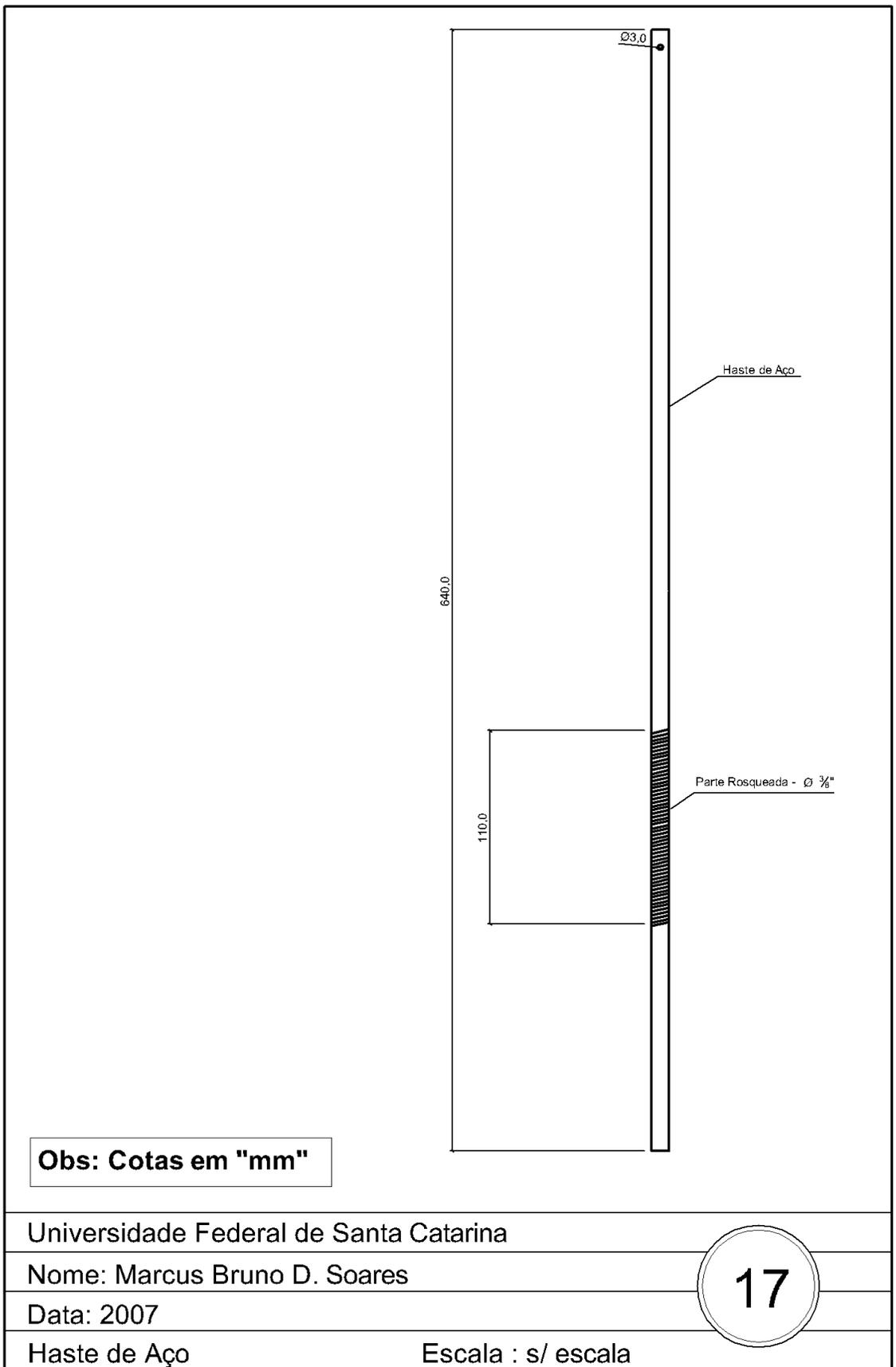
Nome: Marcus Bruno D. Soares

Data: 2007

Corte

Escala : s/ escala

16



17