

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM MECATRÔNICA

CARLOS FILIPE GONÇALVES DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO AUTOMATIZADO PARA
COLETA E ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO MAR**



Apoio

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM MECATRÔNICA

CARLOS FILIPE GONÇALVES DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO AUTOMATIZADO PARA COLETA E
ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO MAR**

Dissertação de mestrado apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Mecatrônica do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Mecatrônica sob a orientação do Professor Doutor Valdir Noll.

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

CDD 629.8
S237d

Santos, Carlos Filipe Gonçalves dos
Desenvolvimento de um protótipo automatizado para coleta e armazenamento de amostras de água do mar [DIS] / Carlos Filipe Gonçalves dos Santos; orientação de Valdir Noll – Florianópolis, 2019.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Mecatrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Mecatrônica. 2. Sistemas de envase. 3. Interface humano-máquina. I. Noll, Valdir. II. Título.

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA
COLETA E ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO MAR**

CARLOS FILIPE GONÇALVES DOS SANTOS

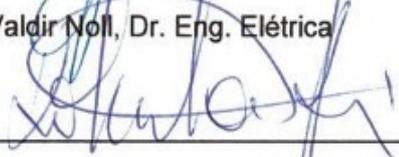
Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Mestre em Mecatrônica e foi aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Mestrado Profissional em Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de dezembro, 2018.

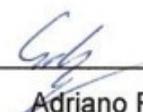
Banca Examinadora:



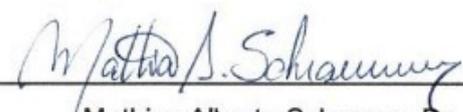
Valdir Noll, Dr. Eng. Elétrica



Roberto Alexandre Dias, Dr. Eng.



Adriano Regis, M. Eng.



Mathias Alberto Schramm, Dr.

Dedico estas linhas primeiramente a Deus, que permitiu que eu vivesse até este momento e me deu força para continuar nos momentos difíceis, com seu amor sempre presente.

À minha esposa, maior incentivadora de todas as horas. Sua presença tornou este trabalho possível.

Aos amigos e professores do Instituto Federal de Educação de Santa Catarina.

AGRADECIMENTOS

Ninguém pode caminhar sozinho, não importa o quão grande seja o esforço pessoal. Por isso, vários foram aqueles que contribuíram para que esta dissertação fosse possível, principalmente o Deus ao qual dedico minha vida e minhas realizações.

Agradeço de forma especial à minha esposa, que com seus conselhos e paciência não permitiu que o peso das atribuições trouxesse desânimo.

Cito de forma especial meu orientador Prof. Valdir Noll, por seu apoio e orientação precisa.

Dignos de nota são também os Tecnólogos em Sistemas Eletrônicos Ismael Bonato de Jesus e Fábio Cabral Pacheco, por emprestarem um pouco de seu tempo e conhecimento quando as dúvidas apareceram.

Não poderia deixar de lembrar dos bolsistas do departamento de mecânica, pelo carinho e atenção com que sempre me atenderam.

Lembro também do apoio do governo do Estado de Santa Catarina através do programa Uniedu, muito importante não apenas nesta dissertação, mas também na vida acadêmica e no desenvolvimento da ciência catarinense.

Por fim agradeço ao IFSC, nas pessoas de seus servidores e professores, sem os quais esse trabalho não seria possível.

SANTOS, C. F. G. dos. Título. 2018. XX f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

RESUMO

Esta dissertação descreve o desenvolvimento de um protótipo mecatrônico que faz a coleta e acondicionamento de água do mar, de maneira automatizada, permitindo posterior análise de suas propriedades físico-químicas. O dispositivo é composto de uma bomba hidráulica que retira água do mar, um sistema de enchimento de tubos de envase automatizado para a coleta e armazenamento da água e uma IHM. Para o acondicionamento das amostras, utilizou-se um carrossel giratório contendo 12 tubos, que devem ser posicionados corretamente antes de serem enchidos. Foram utilizados sensores para detectar o nível de água do tubo e o posicionamento do carrossel para abastecimento da amostra. Foi implementada uma Interface Humano-Máquina de fácil utilização, via rede, que possibilite ao usuário o controle de parâmetros de amostragem e acesso a informações essenciais.

Palavras-chave: Mecatrônica. Sistemas de Envase. Interface Humano-Máquina.

SANTOS, C. F. G. dos. Título. 2018. XX f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

ABSTRACT

This dissertation describes the development of a mechatronic prototyp that makes the collection and conditioning of sea water, in an automated way, allowing later analysis of its physicochemical properties. The device consists of a hydraulic pump that draws water from the sea, an automated filling tube filling system for collection and storage of water and a HMI. For packaging the samples, a rotating carousel containing 12 tubes was used, which must be positioned correctly before being filled. Sensors were used to detect the water level of the tube and the positioning of the carousel to supply the sample. An easy-to-use human-machine interface was implemented via the internet, which enables the user to remotely control sampling parameters and access essential information.

Keywords: Mechatronics. Container Systems. Human-Machine Interface.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Balde Inox.....	27
FIGURA 2 - Batiscafo. (A) fechado. (B) ilustração em corte. (C) Aberto.....	28
FIGURA 3 - Garrafa de Van Dorn de fluxo vertical. (A) Garrafa fechada. (B) Garrafa aberta e pronta para uso.....	28
FIGURA 4 - Amostrador Isco 6712 Full-size Portable Sampler.....	34
FIGURA 5 - Síntese de funções.....	37
FIGURA 6 - Bomba submersa no tanque de água.....	41
FIGURA 7 - Microscópio utilizado.....	41
FIGURA 8 - Amostra visualizada com aumento de 400 vezes.....	42
FIGURA 9 - Microorganismos vistos após passagem pela bomba.....	42
FIGURA 10 - Primeira concepção de carrossel testada.....	43
FIGURA 11 - Beaglebone Black C.....	45
FIGURA 12 - Componentes módulo mecânico.....	47
FIGURA 13 - Projeto do carrossel em software CAD.....	48
FIGURA 14 - Encanamento de entrada e saída de água.....	50
FIGURA 15 - Diagrama de modos da Interface Humano-Máquina.....	51
FIGURA 16 - Diagrama de funcionamento do protótipo.....	53
FIGURA 17 - Ligações elétricas do Protótipo.....	57
FIGURA 18 - Storyboard das telas utilizadas na interface gráfica.....	58
FIGURA 19 - Ícones Utilizados na Interface.....	59
FIGURA 20 - Arquivos para comunicação entre IHM e algoritmo de controle.....	61
FIGURA 21 - Função de temporização de coletas em Python.....	62
FIGURA 22 - Esquemático da placa de relés (A) e corrente consumida (B).....	63
FIGURA 23 - Sensor capacitivo.....	64
FIGURA 24 - Esquemático (A) e layout da placa de interface (B) do sensor capacitivo.....	65
FIGURA 25 - Esquemático da placa de interface (A), esquemático entrada do <i>driver</i> do motor de passo (B) e layout da placa desenvolvida (C).....	66
FIGURA 26 - Painel elétrico construído.....	67
FIGURA 27 - Protótipo montado.....	68
FIGURA 28 - Carrossel construído.....	69

FIGURA 29 - Sistema coletor montado.....	69
FIGURA 30 - Manta térmica utilizada.....	70
FIGURA 31 - Fluxograma simplificado do acionamento via IHM.....	73
FIGURA 32 - Teste carrossel método 1 com deslocamento de 6,7 mm.....	75
FIGURA 33 - Aferição da capacidade do recipiente.....	78
FIGURA 34 - Medição de altura de enchimento do recipiente.....	79
FIGURA 35 - Teste captação de água.....	79
FIGURA 36 - Acondicionamento de gelo no protótipo.....	82
FIGURA 37 - Medição temperatura ambiente após o teste.....	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características dos materiais para recipientes de amostras.....	25
TABELA 2 - Parâmetros de envase e conservação de amostras.....	25
TABELA 3 - Especificação de requisitos.....	35
TABELA 4 - Tipos de bombas analisadas para coleta de amostras.....	40
TABELA 5 - Opções para acondicionamento de amostras.....	43
TABELA 6 - Opções para sistema de limpeza de coleta.....	44
TABELA 7 - Comandos em Linux para embarque de arquivos da interface.....	71
TABELA 8 - Medições de movimentação de carrossel.....	76
TABELA 9 - Resultados de erros de posicionamento do carrossel.....	78
TABELA 10 - Medições de volume de captação de amostras.....	80
TABELA 11 - Resumo dos resultados de erros na coleta de amostras.....	81
TABELA 12 - Medições de temperatura interna após colocação de gelo.....	82
TABELA 13 - Custos dos principais componentes do protótipo.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

IHM - Interface Humano-Máquina

HTML - Hypertext Markup Language

NA – Normamente aberto

NF – Normamente fechado

N_{org} - Nitrogênio orgânico

N_{total} - Nitrogênio total

NTU - Unidade nefelométrica

OD - Oxigênio Dissolvido PH - potencial hidrogeniônico

PVC - Policloreto de polivinila

PHP - Hypertext Preprocessor

STD - Sólidos totais dissolvidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Principal.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.1.3 Justificativa e relevância.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 PARÂMETROS DE INTERESSE EM ANÁLISES DE ÁGUA.....	19
2.2 TIPOS DE AMOSTRAS.....	22
2.3 PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS.....	23
2.4 ACONDICIONAMENTO DE AMOSTRAS.....	24
2.5 EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM.....	27
3 METODOLOGIA UTILIZADA.....	30
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	32
4.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	32
4.1.1 Percepção das necessidades do consumidor.....	32
4.1.2 Descrição da ideia do produto.....	33
4.1.3 Determinação dos requisitos de projeto.....	34
4.1.4 Determinação das especificações do projeto.....	35
4.2 PROJETO CONCEITUAL.....	36
4.2.1 Obtenção de amostras.....	39
4.2.2 Acondicionamento de amostras.....	42
4.2.3 Limpeza de sistema de coleta.....	44
4.2.4 Acionar equipamento e ler informações.....	44
4.2.5 Sistema de controle.....	45
4.3 PROJETO PRELIMINAR.....	45
4.3.1 Módulo de controle.....	46
4.3.2 Módulo mecânico.....	47
4.3.3 Diagrama de Modos da Interface Humano-Máquina.....	50
4.3.4 Método para coleta de amostras.....	51
4.4 PROJETO DETALHADO.....	54
4.4.1 Especificações e medidas do módulo mecânico.....	54

4.5	ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO MÓDULO DE CONTROLE.....	55
4.5.1	Ligações elétricas.....	56
4.5.2	Especificações da Interface com o usuário.....	57
4.5.3	Elaboração de <i>software</i> de controle.....	61
5	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	63
5.1	CONSTRUÇÃO MÓDULO DE CONTROLE.....	63
5.2	CONSTRUÇÃO MÓDULO MECÂNICO.....	68
5.3	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE WEB DA IHM.....	70
5.4	DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE CONTROLE.....	72
6	RESULTADOS E TESTES.....	75
6.1	MEDIÇÃO DE EXATIDÃO PARA POSICIONAMENTO DO CARROSSEL.....	75
6.1.1	Erro sistemático no posicionamento do carrossel.....	76
6.1.2	Erro aleatório no posicionamento do carrossel.....	77
6.1.3	Erro máximo no posicionamento do carrossel.....	77
6.2	MEDIÇÃO DE EXATIDÃO NA OBTENÇÃO DO VOLUME DE AMOSTRAS.....	78
6.2.1	Erro sistemático no volume de aquisição de amostras.....	80
6.2.2	Erro aleatório no volume de aquisição de amostras.....	81
6.2.3	Erro máximo no volume de aquisição de amostras.....	81
6.3	TEMPERATURA INTERNA.....	82
7	CONCLUSÃO.....	84
	REFERÊNCIAS.....	87
	APÊNDICE A	89

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água em zonas costeiras apresenta grande variabilidade em relação ao oceano profundo. Algumas dessas variáveis, como salinidade, temperatura e turbidez da água, são descritores ambientais utilizados para conhecer os processos que condicionam esses ambientes. Monitorar esses e outros parâmetros é a base para adoção de medidas de proteção ao ecossistema e de melhoria da sustentabilidade.

Muitas vezes a obtenção de amostras regulares e frequentes requer esforços manuais ou mesmo a utilização de monitoramento contínuo. Em alguns casos, é necessária a obtenção de amostras para que sejam feitas análises em laboratório, posteriormente, ou amostras que servem para calibrar o sistema de monitoramento. No entanto, para fazer a amostragem manualmente, de tempos em tempos (15 minutos, por exemplo) exige-se a presença física da equipe de coleta, o que nem sempre é possível ou conveniente por causa das condições climáticas adversas. Visando facilitar a coleta e padronizar o processo de amostragem, é que se propõem, nesse trabalho, a automatização da coleta de amostras.

Existem muitas vantagens da utilização de sistemas automatizados de coletas de amostras, como por exemplo a possibilidade de instalação do equipamento em áreas remotas, de difícil acesso ou mesmo áreas de risco.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados os objetivos principal e específicos da pesquisa.

1.1.1 Objetivo Principal

O sistema proposto tem o objetivo de desenvolver um equipamento automatizado para obter diretamente do ambiente monitorado, amostras de água do mar de forma discreta, em quantidades iguais ao longo de tempo e com

pouquíssima contaminação, garantindo a qualidade da amostragem para futuras análises físico-químicas desta amostra.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir ao objetivo geral, tem-se como objetivos específicos:

- 1 - Especificar as funções do protótipo a ser controlado;
- 2 - Pesquisar tecnologias disponíveis para implementação;
- 3 – Medir a exatidão do método de coleta de amostras;
- 4 - Testar a exatidão do volume de água obtido por amostra;
- 5 - Construir e integrar uma IHM de simples utilização.

1.1.3 Justificativa e relevância

O equipamento que foi desenvolvido pode auxiliar na coleta de água para análise com diversos fins. Por exemplo, cita-se a detecção da presença de algas com importância sanitária e econômica (como as causadoras da maré vermelha, que pode impactar seriamente as atividades de maricultura), informações sobre balneabilidade de praias, quantidade de sólidos dissolvidos na água, entre outros. A automação desta tarefa é interessante pois torna desnecessária a presença humana nos locais de coleta, especialmente em horários e condições climáticas desfavoráveis, além de possibilitar o envase e identificação das amostras coletadas. Por isso, é notável a facilitação do trabalho de técnicos e estudantes na obtenção de amostras para análises. Com isso abrem-se possibilidades de resultados mais precisos para embasamento de estudos e ações de órgãos ambientais. Existem no mercado equipamentos com capacidade de realizar esta tarefa, no entanto, os custos são considerados muito elevados para permitir a popularização da tecnologia, o que justifica o investimento no desenvolvimento de tecnologia nacional com custos menores e, portanto, mais acessível.

Por outro lado, uma IHM pode facilitar o acesso aos recursos de máquina ou sistema e necessita de um projeto e implementação condizente com a complexidade

das funções a serem comandadas. O projeto da IHM em questão foi desenvolvido como conclusão de curso de pós-graduação em 2017 e descrito em artigo científico (SANTOS, 2017), e foi aplicado para este trabalho, com alguns melhoramentos em relação à proposta original.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conhecimento das condições de qualidade e preservação ambiental da água é de fundamental importância para as populações que a utilizam. O uso de água com má qualidade pode trazer uma série de problemas de saúde às pessoas e degradação ao ambiente aquático. Para a determinação da qualidade dos corpos de água, tanto marítima quanto de rios e lagos, são utilizadas análises de amostras retiradas segundo diversos critérios técnicos. Os resultados obtidos, que envolvem diversas variáveis, permitem o monitoramento e o diagnóstico da qualidade ambiental e também ações de fiscalização. Possibilitam ainda obter subsídios para a tomada de medidas preventivas e corretivas, de acordo com a legislação. Nesse sentido, os objetivos do trabalho, as estratégias de amostragem e os métodos de análises a serem empregados, devem ser criteriosamente definidos para se obter resultados robustos.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2011):

[...] o material coletado deve representar de forma fidedigna o local amostrado. A seleção criteriosa dos pontos de amostragem e a escolha de técnicas adequadas de coleta e preservação de amostras são primordiais para a confiabilidade e representatividade dos dados gerados.

A realização de uma amostragem é um trabalho de campo, para o qual são necessários profissionais capacitados e um programa de amostragem que considere usos, área de influência e características da área de estudo, para definição da metodologia de amostragem, análise e preservação das amostras (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011).

O meio aquático, por ser um meio fluido, apresenta uma grande variabilidade em diferentes escalas de tempo. Dependendo do fenômeno observado, a necessidade de tomadas de amostra pode ser de alta frequência no espaço ou no tempo. Por exemplo, em poucos minutos a ação de ventos pode causar alterações na turbidez da água em sistemas rasos, como, por exemplo, em baías e enseadas (LALI; PARSONS, 1993). Mesmo em rios, a descarga de efluentes pode alterar a qualidade da água em poucos minutos. Amostradores de alta frequência são úteis para descrever esses tipos de variação. Por outro lado, fenômenos de mais longo período requerem amostras regulares espaçadas por um intervalo de tempo maior.

Tanto em um caso, como em outro, a possibilidade de amostragem autônoma é de grande valor uma vez que possibilita a racionalização do esforço amostral. O desenvolvimento de amostradores automatizados para o meio aquático requer a solução de problemas específicos gerados por esse tipo de ambiente, em especial a corrosão de partes metálicas.

Há fatores a serem considerados como a variabilidade espacial (variação de concentrações de constituintes em diferentes pontos ou mesmo profundidade do corpo de água) e variação temporal (mudanças causadas por marés ou variáveis meteorológicas). Quanto maior o número de amostras, melhor a capacidade de estimar o efeito de impactos ambientais. Conhecendo-se o perfil temporal de um corpo de água, pode-se utilizar cálculos estatísticos para determinar o número de amostras para atingir, com margens adequadas de confiança, valores médios de concentração de parâmetros (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011).

Para caracterizar um corpo de água podem ser usados parâmetros físicos, químicos, microbiológicos, biológicos, toxicológicos e radiológicos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011).

2.1 PARÂMETROS DE INTERESSE EM ANÁLISES DE ÁGUA

O projeto a ser desenvolvido não pretende realizar análises das amostras. Ainda assim, pretende-se ilustrar a relevância do trabalho de coleta, citando-se alguns dos parâmetros analisados nas amostras de água e sua importância na caracterização da saúde dos corpos aquáticos e na qualidade da água. Cita-se alguns dos parâmetros descritos por Parron (2011):

- PH: Mede o potencial hidrogeniônico e pode ser definido como uma grandeza que indica a intensidade de acidez ou neutralidade. Seu valor varia de 0 a 14, indicando neutralidade no valor 7. Valores menores que a neutralidade indicam acidez e maiores demonstram alcalinidade. É um parâmetro muito utilizado, pois tem influência direta e indireta sobre os ecossistemas aquáticos ao influenciar uma série de reações químicas.

- Oxigênio Dissolvido (OD) : constitui-se um componente essencial para seres vivos, especialmente para peixes. Muitas reações como decomposição de matéria

orgânica ocorrem mais eficientemente na presença de oxigênio. Em temperatura ambiente, a água fica saturada em contato de oxigênio em contato com o ar, apresentando uma queda desse parâmetro em águas superficiais quando a temperatura se eleva. Sua unidade é expressa em mg L^{-1} .

- Sólidos totais dissolvidos (STD): constitui-se na soma de todos os constituintes dissolvidos na amostra de água. Sua aplicação liga-se à verificação da estética de água potável e indicador da presença de possível contaminação com produtos químicos. As fontes de contaminação podem ser lixiviação de solos, descargas de resíduos industriais, estações e tratamento de esgoto, entre outros. Sua unidade é expressa em mg L^{-1} .

- Turbidez: Causada por materiais em suspensão (como partícula de argila, silte, organismos microscópicos entre outros), a turbidez é uma propriedade ótica que espalha e absorve parte de luz que atravessa uma amostra de água, tirando a transparência e diminuindo a qualidade estética da água. Sua unidade é NTU (unidade nefelométrica) e é medida por um turbidímetro.

- Demanda Biológica e Demanda Química de Oxigênio (DBO e DQO): São parâmetros para indicar a demanda de oxigênio necessária para estabilização da matéria orgânica encontrada na amostra de água. Sua unidade é expressa em mg L^{-1} . A DBO refere-se a oxidação bioquímica, indicando consumo principalmente por bactérias enquanto utilizam matéria orgânica. A DQO, por sua vez, refere-se a oxidação de matéria orgânica através da amostra através de reagentes químicos como dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), em meio ácido (H_2SO_4). Se a amostra contiver material orgânico não oxidável biologicamente, mas sim quimicamente, haverá diferença entre os valores da DBO e da DQO.

- Série nitrogenada: O nitrogênio é encontrado em diversas formas no meio aquático, de acordo com as várias etapas do ciclo deste elemento e com importante participação das bactérias. Em comum, todas as formas são medidas em mg L^{-1} . Citam-se nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônio, nitrito e nitrato.

- Nitrogênio molecular (N_2 , gás atmosférico geralmente não utilizável por seres vivos);

- Amônio (N-NH_4^+) é um íon que gerado pela ação de microrganismos, podendo ser gerado pela conversão do nitrogênio molecular através de processo chamado

fixação ou pela degradação da matéria orgânica. Altas concentrações podem indicar contaminação por esgoto.

- Nitrito (N-NO^2): Estado intermediário de oxidação do nitrogênio, pode ocorrer pela oxidação do amônio ou pela redução do nitrato. Ambos os processos ocorrem em águas naturais e estações de tratamento de esgoto.

- Nitrato: Constitui maior parte do nitrogênio absorvido pelas plantas. Seu excesso em solos agrícolas, via fertilização, pode ser fonte de contaminação de águas. Em águas superficiais, sua quantidade é mínima, podendo apresentar-se em maiores concentrações em águas subterrâneas.

- Nitrogênio orgânico (N_{org}): Encontrado principalmente nas proteínas de seres vivos, nas formas dissolvida (compostos nitrogenados orgânicos) ou particulada (microrganismos).

- Nitrogênio total (N_{total}): significa a soma de íons de amônio e de nitrogênio orgânico.

- Dureza total: definida como a soma dos cátions bivalentes presentes na água. É expressa como a quantidade equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). Íons de cálcio e manganês são as principais fontes de dureza, embora cátions de ferro, zinco, estrôncio e alumínio causem o mesmo efeito.

- Sulfatos (SO_4): Trata-se de uma das formas mais frequentes de aparecimento do enxofre na natureza. O enxofre elementar oxida-se na forma de sulfatos em condições aeróbias. Materiais particulados ou gases que estejam na atmosfera transformam-se em ácido sulfúrico ao reagirem com o vapor de água, podendo gerar as chuvas ácidas. Esgotos também podem ser fontes importantes de sulfatos, diminuindo a qualidade das águas.

- Fitoplâncton: Composto de algas microscópicas, é responsável pela produção da maior parte do oxigênio dissolvido na água. Constitui a base da cadeia alimentar aquática e pode ser um bioindicador da qualidade da água. Em meios marinhos, algumas algas em concentração excessiva podem causar riscos a saúde do homem. Um exemplo é a chamada “maré vermelha”, que causa contaminação da produção de moluscos e pode gerar intoxicações alimentares em seus consumidores.

- Zooplâncton: grupo de organismos consumidores de primeiro grau como também predadores de outros níveis tróficos. Influenciam grandemente na ciclagem

de nutrientes e outros processos ecológicos fundamentais. Incluem bactérias, protozoários, pequenos crustáceos, entre outros.

- Coliformes: As bactérias do grupo coliforme são bastante usadas como bioindicadores para definição de qualidade de águas de acordo com a Resolução CONAMA 357/05. São classificados em coliformes totais e fecais, estando presentes em águas poluídas ou não. Não há relação direta entre coliformes totais e microrganismos patogênicos. Os coliformes fecais estão presentes no intestino de animais de sangue quente e indicam assim que o corpo de água teve contato com fezes desses animais ou esgoto humano. Os coliformes possuem curta permanência no ambiente e são sensíveis à presença de luz e cloro. Podem permanecer nas amostras por apenas 48 horas.

Além destes listados podem ser utilizados diversos outros parâmetros para definir a qualidade da água e recomendar ou não seu consumo e utilização, com o fim de proteger a saúde humana e do meio natural.

2.2 TIPOS DE AMOSTRAS

Os tipos de amostras a serem coletadas influenciam o projeto no sentido do método de coleta, em que são consideradas características como volume da amostra, frequência de amostragem, composição da amostra e outras características. O protótipo a ser desenvolvido deve levar em consideração estas características.

De acordo com (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011), divide-se as amostras em 3 tipos: simples, compostas ou integradas.

- Simples: também chamada de pontual ou instantânea, é coletada em uma única captura. Este tipo de amostra é indicada para os casos onde a vazão e a composição dos líquidos a serem amostrados não variam significativamente e torna-se obrigatória quando da análise de parâmetros que apresentam alterações rápidas ou não podem ser movidos de frascos (como oxigênio dissolvido, sulfetos, óleos e graxas ou microbiológicos). O volume da amostra dependerá dos parâmetros a serem analisados;

- Compostas: são formadas por uma sequência de amostras simples coletadas durante um período determinado e então misturadas de forma homogênea. Sua vantagem é reduzir a quantidade de amostras a serem utilizadas em casos onde ocorrem grandes variações na composição ou vazão de líquidos. O período para a formação da amostra composta não deve exceder a validade dos parâmetros da primeira amostra, então é uma boa prática adotar períodos menores que 24 horas;

- Integradas: é feita com amostradores que capazes de coleta simultânea de várias alíquotas em uma só amostra.

Ainda segundo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011), a coleta de água também pode ser classificada em função da profundidade onde ocorre:

- Superficial: a amostra é retirada de 0 até 30 centímetros da superfície;
- Em profundidade: ocorre abaixo de 30 centímetros da superfície e utiliza equipamento adequado. Não deve provocar suspensão de sedimentos no fundo do corpo de água.

A caracterização dos tipos de amostras fornece subsídio para elaboração do projeto do protótipo, que deve ser adaptado para a coleta da forma mais eficiente possível.

2.3 PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS

Toda amostra está sujeita a variações naturais, de natureza físico-química e biológica. Como exemplos, íons podem ser adsorvidos pela superfície interna de determinados frascos de coleta; metais podem precipitar-se em hidróxidos; podem ocorrer rupturas de células na solução; e outras alterações. Portanto, é necessário utilizar técnicas para preservação de características de importância das amostras, nas etapas de coleta, acondicionamento, transporte e armazenamento (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011).

Entre os cuidados que devem ser observados para coleta de água, a (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011) recomenda: impedir a entrada de partículas grandes ou detritos em amostras líquidas; coletar um volume tal que permita uma eventual repetição de ensaio; proteger as amostras da luz solar imediatamente após a coleta; refrigerar as amostras que assim o exigirem em caixas

térmicas com gelo; número de identificação da mostra; identificação do local e dos profissionais responsáveis pela coleta; observações de campo e meteorológicas; identificação dos materiais utilizados; entre outras.

Entre as técnicas de preservação, as mais utilizadas de acordo com (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011) são:

- Adição química: é introduzido um reagente químico que causa a estabilização dos constituintes de interesse na amostra, por um período maior. Para ensaios microbiológicos, deve ser adicionado nos frascos antes da coleta, e em outros ensaios, imediatamente após. Trata-se do método mais conveniente para uso.

- Congelamento: método inadequado para amostras cujas partes sólidas alteram-se com o congelamento e também para algumas determinações biológicas.

- Refrigeração: Técnica comum em campo e que pode ser utilizada em complementação à adição química. Muito utilizada para preservação de amostras para ensaios microbiológicos, físico-químicos orgânicos e inorgânicos, biológicos e toxicológicos.

Uma vez conhecidos os principais métodos de preservação de amostras, estes devem ser analisados como opções para a implementação do projeto. Para tanto, deve levar-se em consideração aspectos como custo dos componentes, conhecimento técnico necessário para implementação da técnica no protótipo e outras questões.

2.4 ACONDICIONAMENTO DE AMOSTRAS

Os tipos de recipientes para envase de amostras devem ser escolhidos levando-se em conta qual o parâmetro que será analisado. De acordo com (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011), os tipos de recipientes mais utilizados são os de plástico autoclavável de alta densidade (polietileno, polipropileno, policarbonato ou outro polímero inerte) e os de vidro. A Tabela 1 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011) mostra vantagens e desvantagens de cada tipo.

TABELA 1 - Características dos materiais para recipientes de amostras.

Condições operacionais	Material	
	Vidro (Borossilicato)	Plástico (Polímero inerte)
Interferência com a amostra	Indicado para todas as análises de compostos orgânicos. Inerte a maioria dos constituintes, exceto a forte alcalinidade. Adsorve metais em suas paredes	Indicado para a maioria dos biológicos e microbiológicos. Pode contaminar amostras com ftalatos
Peso	Pesado	Leve
Resistência à quebra	Muito frágil	Durável
Limpeza	Fácil	Alguma dificuldade na remoção de componentes adsorvíveis
Esterilizável	Sim	Apenas por técnicas de uso pouco comum no Brasil, como óxido de etileno e radiação gama. Alguns tipos são autoclaváveis.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2011).

A Tabela 2 mostra alguns tipos de parâmetros que podem ser medidos em amostras de água, bem como tipos apropriados de frascos de envase, métodos e tempo recomendável de conservação.

TABELA 2 - Parâmetros de envase e conservação de amostras.

Parâmetros	Frasco	Preservação	Prazo
Alcalinidade	Vidro, polietileno ou polipropileno	Refrigeração a 4°C	14 dias água limpa 24hrs; poluída < 24hrs*
Alumínio	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO ₃ para pH < que 2	6 meses menor possível
Carbono Orgânico Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, HCl ou H ₂ SO ₄ ou H ₃ PO ₄ para pH < 2	28 dias 7 dias
Condutividade	Polietileno, polipropileno ou vidro	Refrigeração a 4°C	24 horas
Cor	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*

DBO5	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*
DQO	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, H ₂ SO ₄ para pH < que 2	28 dias 7 dias*
Dureza Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C e HNO ₃ para pH < 2	7 dias
Manganês	Polietileno, polipropileno e vidro	HNO ₃ para pH < 2	6 meses
Nitrito	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	48 horas 24 horas*
Nitrogênio Total	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C, H ₂ SO ₄ para pH < que 2	28 dias 7 dias*
O ₂ Consumido em H+	Vidro	Refrigeração a 4°C, HCl para pH < que 2	4 a 8 horas
Óleos e graxas	Vidro	Refrigeração a 4°C, HCl ou H ₂ SO ₄ para pH < que 2	24 horas
O ₂ Dissolvido	Vidro	Refrigeração a 4°C, HCl para pH < que 2	4 a 8 horas
pH	Polietileno, polipropileno e vidro	-----	Análise imediata
Resíduo Mineral	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C	7 dias
Sulfato	Polietileno, polipropileno e vidro	Refrigeração a 4°C; pH < 8,0*	28 dias 7 dias
Turbidez	Polietileno, polipropileno e vidro âmbar	Refrigeração a 4°C; Evitar exposição à luz	48 horas 24 horas
Zinco	Polietileno, polipropileno e vidro	HCl ou HNO ₃ para pH < que 2	6 meses
Coliformes Totais e Fecais	Polietileno, polipropileno e vidro âmbar	Refrigeração a 4°C, 0,008% Na ₂ S ₂ O ₃ – águas cloradas.	8 horas preferência Não exceder 24 horas

Fonte: Adaptado de Manual Técnico para coleta de amostras de água (xx, p. 7).

O conhecimento do tipo de material utilizado na confecção dos frascos para envase das amostras é importante para a correta preservação das mesmas. Também é interessante notar os benefícios que a possibilidade de troca dos frascos pode trazer, ao dar mais flexibilidade ao protótipo no acondicionamento de amostras para fins diversos.

2.5 EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM

O uso do correto equipamento para coleta de água é um fator muito importante para a obtenção de resultados confiáveis. De acordo com o tipo de amostra a ser realizada, existem vários tipos de equipamentos que podem ser utilizados. Alguns podem ser encontrados em (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011):

- Balde de Aço Inox: utilizado normalmente para amostragem de superfície. Para evitar incrustações nas costuras de solda, deve ser construído em aço inox AISI 316L polido. Pode ser observado na Figura 1.

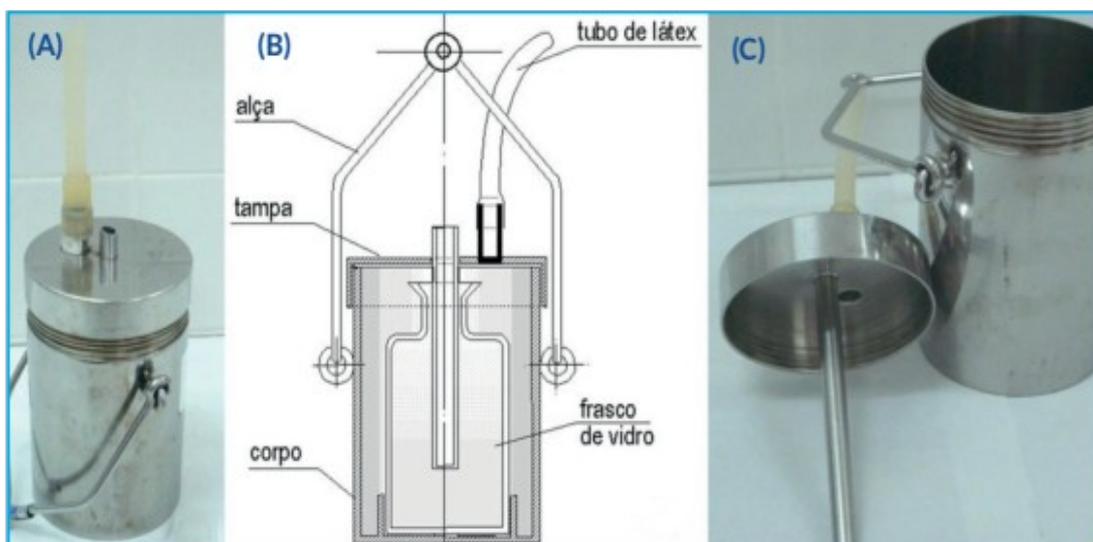
FIGURA 1 - Balde Inox.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2011, p. 840)

- Batiscafo: Tem a forma de um tubo cilíndrico confeccionado em aço inox AISI 316L polido. Usado para coletar águas superficiais. Conforme ilustrado na Figura 2, a amostra entra por um tubo na parte superior da tampa e o ar é expulso por um orifício lateral.

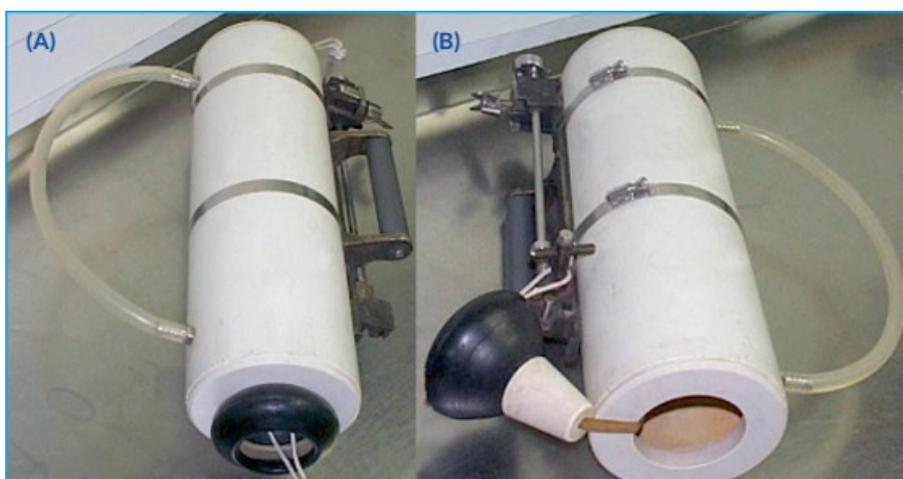
FIGURA 2 - Batiscafo. (A) fechado. (B) ilustração em corte. (C) Aberto.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2011, p. 85)

• Garrafas de Van Dorn e de Niskin: utilizadas para coleta em superfície e em diferentes profundidades. Não permitem coletas de grande volume. A confecção das garrafas pode ser feita em PVC rígido, acrílico ou de aço inox AISI 316L polido com capacidade variadas, por exemplo de 2L, 6L e 10L. A garrafa deve ser mergulhada com suas extremidades abertas e após atingir a profundidade desejada o amostrador é fechado hermeticamente. A Figura 3 ilustra uma garrafa de Van Dorn.

FIGURA 3 - Garrafa de Van Dorn de fluxo vertical. (A) Garrafa fechada. (B) Garrafa aberta e pronta para uso.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2011, p. 87).

- Bomba de Água: Muita empregada para a obtenção de amostras de zooplâncton, pode obter grandes quantidades de água e é de fácil manuseio. Submergindo-se uma mangueira flexível ligada a bomba, é possível determinar a profundidade desejada com boa precisão. Um cuidado a ser tomado é escolher uma bomba que não fragmente os organismos, o que poderia torná-los impossíveis de serem identificados. Uma limitação desse tipo de equipamento é o diâmetro de seu tubo de entrada, caso seja necessário capturar organismos maiores. Pode-se utilizar um funil na entrada do equipamento para aumentar a área de ação e diminuir a velocidade de entrada da água, o que pode diminuir erros de amostragem.

Os equipamentos amostragem expostos mostram a adaptação do sistema de coleta de amostras a diversas realidades e objetivos de coleta. Será portanto necessário definir um escopo de utilização do produto, que atenda às necessidades pretendidas com boa eficiência e utilize as técnicas mais adequadas disponíveis.

3 METODOLOGIA UTILIZADA

Optou-se após a realização de pesquisa bibliográfica adotar o método de desenvolvimento de produtos de Pahl e Beitz (1996) e assim nortear os trabalhos de desenvolvimento de um protótipo. Modelos de desenvolvimento são utilizados visando tornar mais claras as etapas de concepção e especificação de produtos.

Segundo Carpes Júnior (2014), a escola de projeto chamada de escola semântica considera todo produto como tendo uma função principal, que é a tarefa a ser realizada pelo produto. Esta tarefa é executada quando o produto transforma suas entradas (sejam energia, material ou sinal) em saídas diferentes. Para diminuir a complexidade deste processo, divide-se a função do produto em subfunções, que nada mais são do que decomposições da tarefa principal do produto. Em seguida, substitui-se as subfunções pelo fenômeno físico que realizaria a transformação.

Outra escola de projetos a ser mencionada é a escola sintática, que por sua vez enfatiza a descrição detalhada do projeto, concentrando-se em procedimentos a serem executados durante o processo.

Após pesquisa bibliográfica, optou-se pela metodologia de Pahl e Beitz (1996), por sua simplicidade, clareza e eficiência. O seu método definia 4 fases principais: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

No desenvolvimento do Projeto Informacional, levantou-se os requisitos que a máquina deveria atender, levando-se em conta os recursos disponíveis para a construção do protótipo. Esses requisitos são, na verdade, características para atender as necessidades dos futuros usuários. Primeiramente, procedeu-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de obter informações sobre soluções já existentes no mercado ou tecnologias que pudessem ser utilizadas na resolução do problema. Essas informações são relevantes porque permitem dimensionar uma série de variáveis na execução dos projeto, como custo, tempo de desenvolvimento e complexidade esperada da solução.

Em seguida, no Projeto Conceitual, foram levantadas alternativas tecnológicas ou princípios de soluções para tornar viável a construção do protótipo, de forma a atender os requisitos estabelecidos na etapa anterior. Uma das ferramentas utilizadas para a projeto conceitual é o gráfico de síntese de funções do produto.

A terceira etapa, denominada Projeto Preliminar, é onde aplicam-se as tecnologias escolhidas para desenvolver o projeto. Portanto, aqui definiu-se quais componentes seriam utilizados, seu papel no sistema e o funcionamento global do protótipo.

O projeto detalhado é a última etapa a ser desenvolvida. O objetivo dessa etapa é possibilitar a construção do protótipo, através do detalhamento dos componentes, permitindo sua compra e construção.

Uma vez concluídas todas as fases do projeto, realizou-se testes e análise de funcionamento para validar os objetivos do projeto . Entre estes testes incluem-se a medição do volume de amostras coletadas e estudos metrológicos da exatidão e precisão do sistema, além de análises semelhantes para o posicionamento mecânico dos tubos de envase da água e também medições de temperatura interna.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

De acordo com o modelo de desenvolvimento de projetos de Pahl e Beitz (1996), dividiu-se o projeto em 4 etapas. A primeira delas é o projeto informacional, segundo por projeto conceitual, preliminar e detalhado.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional é a fase onde definem-se as características que o produto deverá possuir. Segundo Carpes Júnior (2014), deve fazer um levantamento de informações sobre o mercado e as necessidades dos potenciais consumidores, descrever um produto que atenda a essas necessidades, elaborar uma lista de requisitos e, por fim, transformar os requisitos obtidos em especificações.

4.1.1 Percepção das necessidades do consumidor

As necessidades do consumidor variam de acordo com a sociedade e o grau de desenvolvimento tecnológico nos quais se encontra. As necessidades de cada indivíduo na verdade representam as necessidades de sua própria sociedade (KRECH; CRUTCHFIELD, 1974). Mas, mesmo dentro de uma mesma sociedade, ocorrerão diferenças nos comportamentos dos consumidores, em razão destes apresentarem diferentes constituições biológicas, realidades sociais e até por estarem sujeitos fisicamente a ambientes diversos (KRECH; CRUTCHFIELD, 1974).

Utilizou-se o método criado por Carpes Jr (1995) para percepção das necessidades do consumidor. Este método compõem-se de oito etapas:

- Definição do caso a ser estudado: Foi detectada uma necessidade específica no Campus Itajaí do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). Em relato de professores da instituição, não havia um equipamento que permitisse a coleta automatizada de amostras discretas de água para posterior análise pelos estudantes.

- Definição de mercado de atuação: Deve enquadrar-se no ramo de equipamentos para monitoramento ambiental.

- Definição dos clientes: O produto deveria atender ao Campus Itajaí do IFSC, podendo ser também utilizado para o atendimento a instituições de ensino públicas ou privadas, ou empresas que necessitem de um equipamento de baixo custo análises de água.

- Coleta de informações: Observou-se que cada vez mais é necessário realizar o monitoramento ambiental de águas, devido a exposição de banhistas à poluição, controle de qualidade de água para malacocultura e outras atividades, nas quais o IFSC tem sido protagonista.

- Pesquisa e avaliação das mudanças ocorridas: Nos últimos anos, o IFSC tem sido responsável pela análise de água feita periodicamente para acompanhamento da produção de moluscos.

- Pesquisa e avaliação das alterações percebidas: A coleta de amostras feita manualmente tem se tornado um limitante, em razão da dificuldade de realização em horários noturnos, por exemplo.

- Concepção e avaliação das formas de adaptação: Com um equipamento de fácil utilização, os problemas de coleta de amostras seriam minimizados.

- Concepção e avaliação das ideias de produtos: Para atendimento das necessidades apresentadas, foram esboçadas várias alternativas, levando em conta tempo e recursos disponíveis, além da simplicidade de uso desejada para o protótipo. Várias ideias foram levantadas, com diferentes formas de aquisição das amostras, envase de água, controle e interação com o usuário e outras.

4.1.2 Descrição da ideia do produto

Segundo Carpes Jr (2014), a ideia de um novo produto deve ser clara, para permitir que sua concepção ocorra de forma adequada. Para tanto devem ser respondidas uma série de questões. Entre elas, algumas das mais importantes são:

- Qual a função do produto: Coletar amostras de água de forma automática e configurável pelo usuário.

- Concorrentes existentes: Foram encontrados equipamentos desenvolvidos fora da indústria nacional e que por isso necessitam de importação. Exemplos são os amostradores automáticos da empresa ISCO. Os equipamentos da série 3700

realizam amostras sequenciais e compostas inclusive em condições de adversas de tempo. São opções mais econômicas em relação à série 6700, que por sua vez traz opções mais sofisticadas de monitorização e controle de informações e proteção contra intempéries reforçada. Um exemplo é o modelo 6712 *Full-size Portable Sampler*. Uma imagem deste produto pode ser visto na Figura 4.

- Vantagens e desvantagens em relação aos concorrentes: Como vantagens, domínio da tecnologia e mais baixo custo. Um produto concorrente, no entanto, é construído por uma indústria com padrões rígidos de qualidade e garantia.

FIGURA 4 - Amostrador Isco 6712 Full-size Portable Sampler



Fonte: Teledyne Isco, Inc. (2017)

4.1.3 Determinação dos requisitos de projeto

Os requisitos de projeto podem ser quantitativos e qualitativos e refletem as necessidades ou os desejos do consumidor em relação ao produto. Segundo Carpes Jr (2014), a lista de requisitos limita o conjunto de soluções que podem ser utilizados pelos projetistas, em razão do custo final do equipamento, tamanho, capacidade, design e outros.

Para o atendimento das necessidades detectadas junto a professores do IFSC, relatou-se que o equipamento a ser desenvolvido deveria ser capaz de coletar amostras de forma programável pelo usuário, com capacidade para no mínimo 10 amostras, envasar individualmente cada amostra coletada, possuir pouca manutenção e ter baixo custo. Além disso, deveria fornecer informações e identificar cada amostra obtida.

4.1.4 Determinação das especificações do projeto

A definição do conceito de especificar produtos é essencial para o projeto dos mesmos. Em Carpes Jr (2014, p. 56), encontra-se uma definição de especificação de requisitos:

Especificar ou determinar as especificações do produto significa transformar os requisitos – desejos, expectativas e necessidades em relação ao produto – em uma linguagem menos moldada em interpretações subjetivas, reduzindo com isso a possibilidade de erros de projeto.

Entre as formas de transformação de requisitos em informações, uma das mais comuns é o uso de uma tabela para comparação das especificações dos principais concorrentes para determinação de valores de referência que deverão ser o alvo do projeto. Chegou-se, então, à Tabela 3, que traz as especificações desejadas.

TABELA 3 - Especificação de requisitos

Especificação	Protótipo	ISCO 6712 Full-size Portable Sampler
Capacidade de amostras	> 10	De 1 até 24 dependendo do volume e do material do recipiente coletor.
Refrigeração	Sim (gelo)	Sim (gelo, até 13 kg)
Volume programável de amostras	50 ou 100 ml	10 to 9,990 ml
Seleção de tempo entre amostras	De 20 min a 4 horas.	1 min a 99 horas.
Programas de amostragem	1	5
Possui conexão via rede?	Sim	Sim
Arquivo com dados das amostras	Sim	Sim

Fonte: Elaboração própria.

A especificação de requisitos é o produto final do projeto informacional. Os valores obtidos serão utilizados como ponto de partida para a próxima fase do desenvolvimento, o Projeto Conceitual.

É importante salientar que o equipamento não deve fazer introdução de aditivos como Formol ou Lugol nos recipientes de envase de amostras, ato que deve ser feito previamente pelo usuário. Por essa razão esta característica não faz parte dos requisitos de projeto.

4.2 PROJETO CONCEITUAL

Como outras fases do desenvolvimento, o projeto conceitual pode ser visto como um processo e, como tal, possui entradas e saídas. A entrada seria a lista de requisitos vinda do projeto informacional e a saída, segundo Carpes Jr (2014, p. 64), é um “conjunto de princípios de solução”. O objetivo desse processo é portanto a obtenção de soluções que sejam técnica e economicamente viáveis para que as especificações sejam cumpridas. Essas soluções devem ser obtidas utilizando técnicas adequadas, que potencializam a criatividade dos desenvolvedores.

As metodologias de projeto são casos particulares da metodologia para solução de problemas e compreendem algumas de suas características como, por exemplo, a semelhança na fase inicial e análise do problema. As metodologias de projeto podem ser relacionadas dentro de algumas escolas de projeto.

Conforme encontrado em Carpes Jr (2014), a escola semântica tem como aspecto principal a consideração de que todo produto possui uma função, realizada pela transformação das entradas (que podem ser energia, material e sinal) em saídas (que diferem da energia, do material e do sinal iniciais). Para facilitar o projeto de um produto, divide-se sua função em subfunções, que são decomposições do problema inicial, permitindo a implementação da solução em partes e de forma facilitada. As subfunções são então substituídas pelo fenômeno físico capaz de realizar a transformação das entradas nas saídas.

A utilização de metodologias de projeto características da escola semântica garante, prioritariamente, a funcionalidade do produto por meio do cumprimento da função principal, que justifica a existência dele. E sobre essa função principal, que

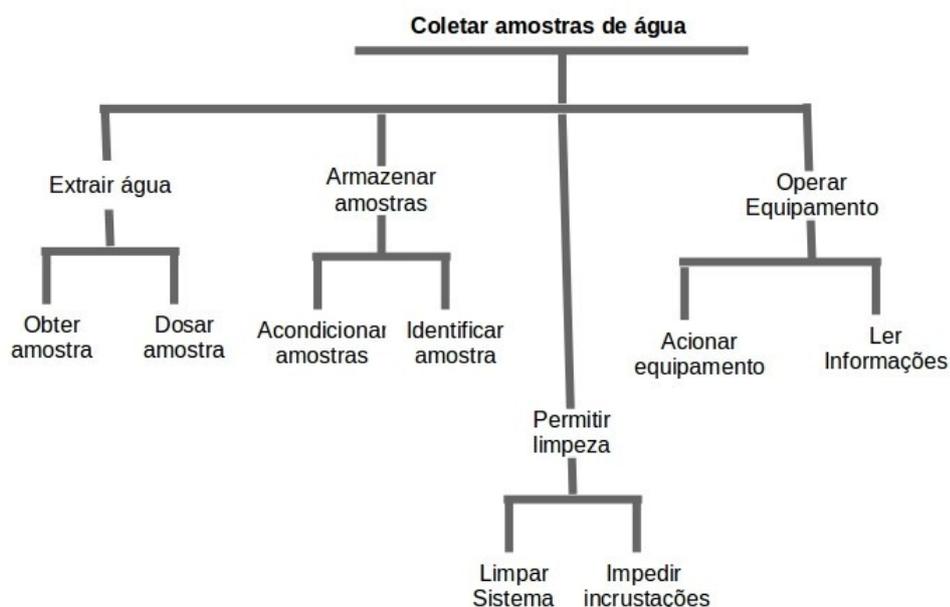
representa a missão ou tarefa a ser realizada pelo produto, são configuradas estas metodologias de projeto. (Carpes Jr , 2014, p . 29)

As metodologias de Pahl e Beitz (1996) são representativas da escola semântica devido à ênfase na execução da função global do projeto, embora também incorpore aspectos da escola sintática.

A escola sintática caracteriza-se pela descrição do projeto passo a passo, considerando o processo de projeto, ou seja, concentra-se nos procedimentos que devem ser executados pelo projetista durante o processo de projeto. Existe uma ênfase no cumprimento dos procedimentos, previamente estabelecidos, ao longo do processo de projeto. Outra característica da escola sintática é a proposição de diretrizes ou recomendações para o desenvolvimento de produtos.

Utilizou-se neste trabalho o método chamado de síntese de funções, sugerido por Pahl e Beitz (1996). O objetivo do método é deixar claras quais as funções básicas do produto, facilitando o trabalho do desenvolvedor na busca por componentes ou técnicas viáveis. A Figura 5 mostra o diagrama de síntese de funções desenvolvido.

FIGURA 5 - Síntese de funções.



Fonte: Elaboração própria.

A principal função do equipamento projetado foi definida como "Coletar amostras de água". Este objetivo, como todo objetivo principal, é complexo no sentido de ser necessário vários procedimentos e etapas para que seja realizado. Um nível hierárquico abaixo, encontram-se um conjunto de funções que se destinam a executar o objetivo principal, cada uma cumprindo uma parte do todo, de forma integrada. Por sua vez, estas funções podem ainda ser constituídas de outras etapas internas e portanto podem ser subdivididas em outros níveis hierárquicos até que se atinja o nível de funcionalidade mais básico possível. A estrutura funcional obtida originou, em seu nível mais básico, as seguintes funções:

- Obter amostras: refere-se à escolha do tipo de coletor que deve ser utilizado para a extração de água, levando em consideração aspectos como: custo, facilidade de integração ao restante do protótipo (forma de ligação, tamanho e peso, consumo de energia), preservação de amostras e problemas como possíveis incrustações e contaminação de amostras. Outro aspecto é a maneira como as amostras serão trazidas do sistema de coleta até o corpo do protótipo para armazenamento.

- Dosar amostra: A maneira como as amostras são dosadas pode levar a diversas escolhas tecnológicas. Considerou-se que a exatidão não é uma característica tão importante neste caso, devendo ser o baixo custo o principal alvo.

- Acondicionar amostra: A forma como as amostras são armazenadas deve levar em consideração aspectos como a praticidade de uso por parte do usuário, facilidade de aquisição de componentes para reposição durante troca de amostras e uso de materiais apropriados para acondicionamento. Além disso, o sistema deve permitir que as amostras sejam refrigeradas, aumentando seu tempo de armazenamento.

- Identificar amostra: Uma característica desejável do protótipo é a capacidade de identificação de amostras, que facilita a obtenção de resultados e informações mais precisas na fase de análise em laboratório.

- Limpar sistema: Seja qual for o sistema escolhido para extração e armazenamento das amostras, a manutenção e limpeza devem ser possibilitadas ao usuário da maneira mais fácil e eficiente possível, prevendo inclusive baixo custo energético.

- Impedir incrustações: Um problema previsível do uso do equipamento em regiões marítimas é a incrustação de seres vivos, como moluscos. O sistema de coleta deve implementar soluções que minimizem este problema.

- Acionar equipamento: Embora esta função não seja intrinsecamente ligada à coleta propriamente de água propriamente dita, no mundo atual é muito importante que qualquer equipamento destinado ao consumidor final possua uma interface com o usuário que seja prática de usar e permita acesso facilitado aos recursos do equipamento.

- Ler informações: Além de identificar as amostras, o sistema deve prover um arquivo com informações básicas de cada amostra coletada, dando maior subsídio aos usuários para validar os resultados da pesquisa.

Uma vez que todas as funções estejam bem definidas, torna-se mais fácil determinar o tipo de componentes, técnica que deve ser utilizada e levantamento de custos para a elaboração de qualquer projeto.

4.2.1 Obtenção de amostras

Algumas opções foram consideradas para operacionalizar a obtenção de amostras. O artigo de Whitman (1989) trata da construção de um amostrador para coleta de água intersticial (presente entre partículas do solo e sedimentos) em várias profundidades de sedimentos arenosos. Apesar de apresentar um objetivo bastante diferente, o protótipo propõe também baixo custo e fácil construção. O amostrador, em forma de tubo, realiza a sucção da água até um tubo de entrega, onde a amostra é acondicionada em uma pequena garrafa onde é coberta com óleo mineral para evitar a contaminação pelo ar atmosférico, já que o principal parâmetro analisado é o oxigênio dissolvido. A ideia de sucção de amostra poderia ser então adaptada para uso no protótipo.

Tendo em vista as vantagens e objetivos do equipamento, chegou-se à conclusão de que uma bomba de água seria a opção mais viável. A facilidade de controle e integração com o restante do equipamento foram características determinantes nesta escolha.

O segundo passo é o preenchimento de uma tabela com as opções para escolha da tecnologia ou tipo de equipamento mais vantajoso. A Tabela 4 ilustra as opções levantadas. São apresentados pontos de 0 (zero) a 10 (dez) dados de acordo com a percepção da equipe de desenvolvimento para tentar mensurar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia em relação às outras em vários aspectos, sendo a maior nota a mais vantajosa em determinada característica e a menor nota a menos vantajosa.

TABELA 4 - Tipos de bombas analisadas para coleta de amostras

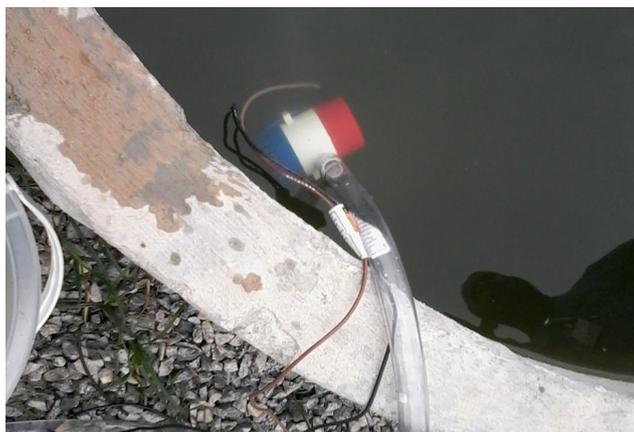
Características	Centrífuga	Tipo piscina	Peristáltica
Tamanho	10	7	6
Facilidade de integração	8	9	9
Custo	10	8	6
Possível dano à amostra	7	8	10
Potência de bombeamento	8	10	7
Total	43	42	38

Fonte: Elaboração própria.

A bomba centrífuga de 12 volts, comumente utilizada em porões de barcos para evitar acúmulo de água (inclusive marinha), apresentou vantagens consideráveis em tamanho e custo, além de ser mais facilmente integrada ao protótipo. Restava saber, porém, se ocorreriam danos às amostras biológicas. Para tanto, foi realizado um teste com microscópio para visualização do fitoplâncton antes e depois da passagem pela bomba.

A bomba utilizada pode ser vista na Figura 6. A capacidade nominal é de 1360l/h, de acordo com o fabricante, drenando uma corrente de 2,5 A. O equipamento foi submerso em tanque de água doce, feito em cimento, localizado em área externa. Água apresentava cor esverdeada, evidenciando grande quantidade de algas microscópicas.

FIGURA 6 - Bomba submersa no tanque de água.



Fonte: Elaboração própria.

A bomba foi totalmente submersa em água, com o corpo da mesma ficando a uma profundidade de aproximadamente 5 cm. Foi acoplada à bomba uma mangueira de 1 metro de comprimento, cuja saída foi colocada em um balde de coleta. Utilizou-se uma fonte de tensão ajustável, regulada em 12.1 volts, para ativação da bomba. Foi drenada uma corrente de aproximadamente 2.1 amperes. Foi retirada uma amostra em um frasco da água drenada de aproximadamente 250ml, e outra amostra de mesmo valor da água do tanque anterior ao processo de drenagem.

Após a coleta, as amostras foram analisadas em microscópio para verificação da integridade de organismos vivos. Foram feitos após isso registros fotográficos das imagens do microscópio, equipamento visto na Figura 7.

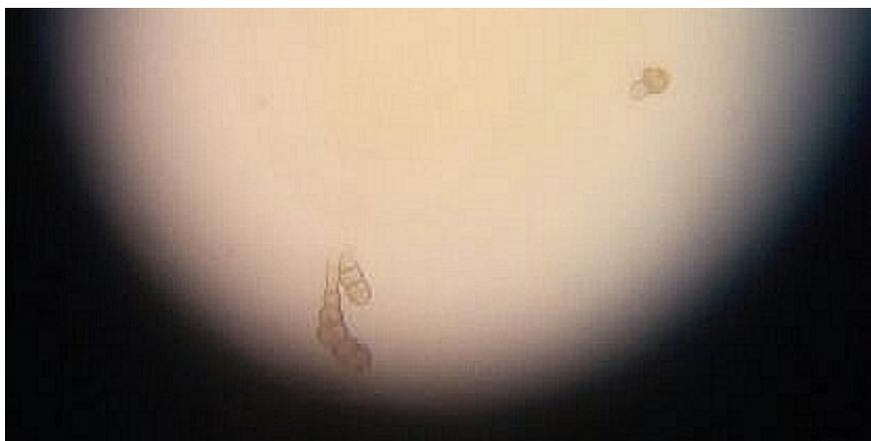
FIGURA 7 - Microscópio utilizado



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 8 mostra o registro da amostra antes da passagem pela bomba. Notam-se a presença de diversas células de microalgas.

FIGURA 8 - Amostra visualizada com aumento de 400 vezes



Fonte: Elaboração própria.

O mesmo processo de análise foi feito com as amostras retiradas da água após a passagem pela bomba. Observou-se a presença de algas cujas células aparentemente não foram danificadas. A Figura 9 mostra os microorganismos encontrados após a passagem da água pela bomba.

FIGURA 9 - Microorganismos vistos após passagem pela bomba



Fonte: Elaboração própria.

O sistema hidráulico utiliza encanamentos convencionais de PVC, por serem simples de usar e apresentarem baixo custo.

4.2.2 Acondicionamento de amostras

Várias técnicas e recipiente para envase das amostras podem ser utilizados. A Tabela 5 ilustra 2 opções levantadas para a função de acondicionamento de amostras, selecionadas dentre as possíveis, já levando em conta o baixo custo.

TABELA 5 - Opções para acondicionamento de amostras

Característica	Seringas	Tubos de ensaio
Facilidade de implementação	7	9
Materiais de confecção	5	10
Usabilidade	8	10
Custo	10	8
Total	30	37

Fonte: Elaboração própria.

Uma das maiores vantagens dos tubos semelhantes a tubos de ensaio utilizados em laboratórios de análises químicas é a possibilidade de utilização de diversos materiais, que os torna mais flexíveis quanto ao tipo de amostras nas quais podem ser utilizados. Realizou-se então a opção em favor deles, e idealizou-se um carrossel rotativo como forma de acondicioná-los. A Figura 10 ilustra a primeira concepção.

FIGURA 10 - Primeira concepção de carrossel testada



Fonte: Elaboração própria.

Definiu-se a construção do carrossel em material metálico e de forma removível, para facilitar a troca de amostras por parte do usuário.

A água deverá passar por canalização para chegar até o carrossel. Foi determinado o uso de tubos de PVC, por facilidade de manutenção, disponibilidade e custo.

A Adição de conservantes como Formol deverá ser feita manualmente antes da introdução dos tubos no carrossel.

4.2.3 Limpeza de sistema de coleta

A limpeza do sistema de coleta é importante para facilitar a manutenção do equipamento e evitar incrustações nas tubulações. A Tabela 6 ilustra algumas opções levantadas para a função de acondicionamento de amostras.

TABELA 6 - Opções para sistema de limpeza de coleta

Características	Lavagem reversa com água doce	Aquecimento periódico	Substâncias Tóxicas
Gasto energético	10	5	10
Facilidade de implementação	9	8	7
Risco de contaminação	10	8	7
Custo	9	8	8
Total	38	29	32

Fonte: Elaboração própria.

Escolheu-se a lavagem reversa com água pela facilidade de implementação, baixo custo e impacto ambiental, por não apresentar riscos de contaminação por substâncias tóxicas nem gastos excessivos de energia.

4.2.4 Acionar equipamento e ler informações

O acionamento do equipamento e a leitura dos dados do processo de amostra deve ser feito utilizando uma IHM.

Adotou-se o modelo de IHM desenvolvido em (SANTOS; CARPES JR, 2017) especificamente para este protótipo. No referido trabalho, utilizou-se as mesmas técnicas de desenvolvimento de produtos utilizadas neste protótipo, realizando-se os

projetos informacional e conceitual para escolha das tecnologias mais apropriadas em termos de custo, facilidade de uso, personalização e aquisição de conhecimento próprio.

4.2.5 Sistema de controle

Para facilitar e agilizar o desenvolvimento do projeto, optou-se pelo uso de uma placa de desenvolvimento microcontrolada. Foram levantadas duas opções: *Beaglebone Black*, da *Texas Instruments*, e *Arduíno*. A *Beaglebone Black C* foi escolhida por sua disponibilidade no departamento e por contar com maiores recursos e especificações. A Figura 11 mostra a placa utilizada.

FIGURA 11 - Beaglebone Black C



Fonte: Texas Instruments (2017)

4.3 PROJETO PRELIMINAR

O projeto preliminar, segundo Carpes Jr (2014, p. 69), deve buscar o “cumprimento das especificações, mantendo a ideia de desenvolver um produto simples e claro em sua essência”. Nesta etapa, deve-se utilizar os princípios de solução escolhidos para satisfazer as especificações do produto.

Para tanto, adotou-se uma configuração modular, dividindo-se a protótipo em módulos de controle eletrônico e mecânico. Este método facilita a montagem e os testes, agilizando o desenvolvimento. Também foi idealizado o diagrama de modos da IHM.

O funcionamento da máquina também foi previsto nesta etapa, levando em conta a integração dos recursos do protótipo.

4.3.1 Módulo de controle

Compõe-se de painel elétrico contendo a placa de desenvolvimento e placas adicionais para interfacear com o módulo mecânico. Detalhadamente, os constituintes do painel são:

- *Beaglebone Black C*: Trata-se de uma plataforma de desenvolvimento de baixo custo que utiliza um processador ARM Cortex A8 com 1 GHz de frequência e pode utilizar diversos sistemas operacionais. A placa foi disponibilizada com a distribuição Linux Debian em sua memória FLASH. Uma das vantagens da utilização do sistema Debian oferecido é trazer nativamente ferramentas para utilização da linguagem interpretada *Python*, na qual executou-se algoritmos para controle do motor de passo, bomba centrífuga e válvulas, além da geração de relatórios de amostras. A placa de desenvolvimento também traz recursos de acesso à rede, inclusive um servidor Apache, ao qual foi adicionado posteriormente um interpretador PHP. Foi possível então criar uma IHM para o protótipo de forma facilitada. A *Beaglebone Black C* pode ser observada na Figura 11.

- Placa de relés: utilizada para ativar as válvulas e a bomba centrífuga, controlando a alimentação da fonte a estas cargas. Os relés necessitam ser alimentados com 5V e 70mA para serem acionados, e são comandados pela placa de controle drenando poucos mA.

- Driver de motor de passo: permite à placa de controle acionar o motor de passo e assim movimentar o carrossel. Utilizou-se o driver TB6560, circuito integrado da Toshiba para cionamento de motores até 3,5 A.

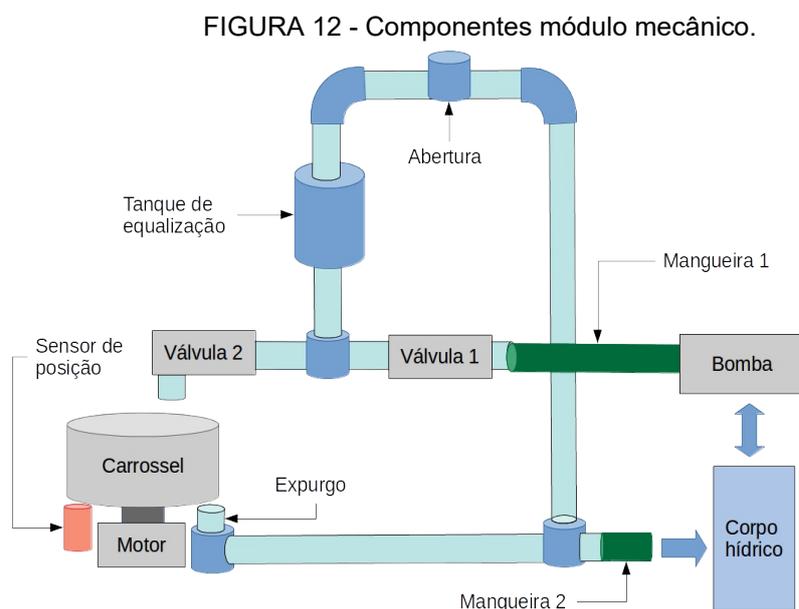
- Fonte de energia: Utilizada para alimentação de energia geral do protótipo. Escolheu-se uma fonte usada em computadores, modelo ATX, por ser facilmente encontrada no mercado, baixo custo e fácil integração ao projeto por possuir saídas com tensões de 12V e 5V, adequadas ao funcionamento de todos os componentes.

Estes componentes são responsáveis pelo controle de funcionamento do protótipo e ficam agrupados em um gabinete metálico, separado do módulo

mecânico. Ou seja, permanece protegido do contato com a água e também facilita a manutenção e os testes.

4.3.2 Módulo mecânico

Seguindo o conceito de dividir o projeto em módulos, definiu-se um módulo mecânico separado do módulo de controle (para isolar problemas causados pela presença de água e umidade), e ter um espaço mais adequado ao manuseio dos tubos de ensaio do sistema de coleta de amostras. Basicamente constitui-se de um outro gabinete metálico com tampa fixada por dobradiça onde encontram-se os elementos responsáveis pela coleta e acondicionamento das amostras. Estes elementos podem ser vistos na Figura 12 e são:

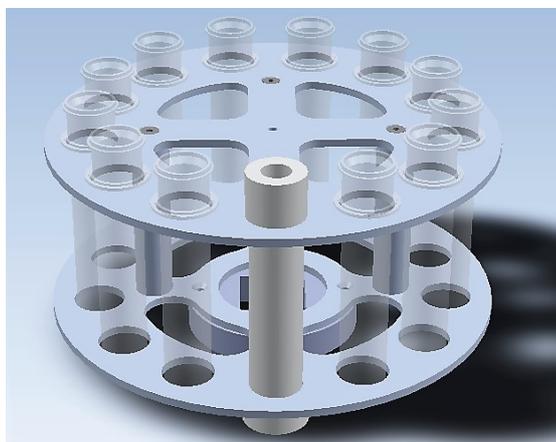


Fonte: Elaboração própria.

- **Carrossel:** Foi desenvolvido um modelo em software CAD, idealizado para comportar 12 tubos de ensaio cuja posição identifica a amostra, por ordem de aquisição. Nesta concepção, a vedação se dá por uma chapa removível de fica sobre os tubos e se apoia sobre eles, no lugar de utilizar batoques para vedação de cada tubo individualmente. O mecanismo possui acoplamento simples por encaixe em uma base fixa e pode ser facilmente removido pelo usuário, permitindo utilizar o

próprio carrossel para transportar todas as amostras de uma única vez e substituí-lo por outro para realizar outras amostras. O sistema pode ser visto na Figura 13.

FIGURA 13 - Projeto do carrossel em software CAD.



Fonte: Elaboração própria.

- **Motor de passo:** Escolheu-se um motor de passo pela simplicidade de controle do dispositivo, aliado ao baixo custo e facilidade de acionamento.

- **Sensor capacitivo:** Sensor do tipo industrial, fixo abaixo do carrossel para identificar um tubo plástico utilizado para determinar a posição de ponto zero do carrossel.

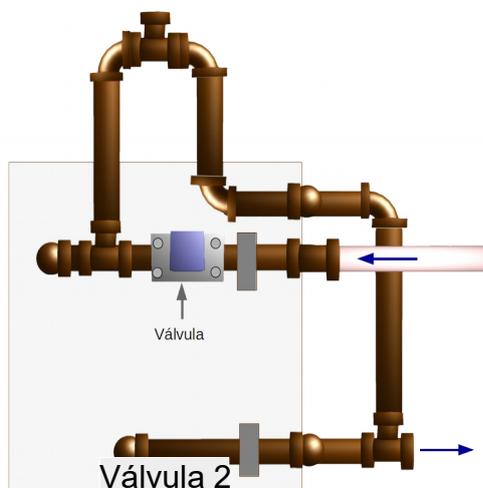
- **Encanamentos:** Para determinação do material a ser utilizado nos encanamentos, foi analisado o artigo de Bernhard, M. et. all (1974) descreve um amostrador para coleta de água marinha. Levanta o problema de contaminação de amostras durante a amostragem de água do mar, não permitindo uma representação fiel da biologia marinha. Foi feita uma análise para verificar a possível contaminação pelas superfícies do equipamento de coleta. Utilizou-se o material policloreto de polivinila (PVC) entre os componentes do amostrador. Verificou-se que contaminação de amostras causadas por contato com PVC é muito pequena (Bernhard, M et. all, 1974, p.341). Portanto o material, a princípio, foi aprovado para uso na construção do protótipo por não apresentar risco de contaminação (facilidade de adesão de bactérias). Idealizou-se portanto um sistema que utiliza canos de PVC, por seu baixo custo, facilidade de aquisição e resistência mecânica. Possui um cano para entrada que liga uma mangueira para transportar a água da bomba até o protótipo e à válvula que permite a entrada da amostra nos tubos de ensaio. Ligada

a este cano, tem-se um pequeno tanque de equalização, cuja função é reservar uma quantidade de água à amostra e estabilizar a pressão da água e eliminação de bolhas que possam se formar (fato melhor explicado nos estágios de funcionamento da aquisição de amostras). Foi introduzido também um encanamento de expurgo, colocado abaixo do carrossel com a função de coletar possíveis vazamento ocorrido durante o processo de aquisição evitando assim que ocorram vazamento dentro do módulo mecânico. A utilização de aberturas no encanamento, ou respiros, é importante para manter a pressão igual à pressão atmosférica do ambiente, evitar a formação de bolsas de ar e facilitar a limpeza. A aquisição de amostras deve ser feita em estágios, nos quais:

- **Estágio 1** – pode ser identificado na Figura 14. Abre-se a válvula 2 e mantém-se fechada a válvula 1 (que dá acesso aos tubos de armazenamento). A bomba centrífuga é ligada, impulsionando a água pelo encanamento superior, onde sobe pelo tubo de equalização, enchendo-o, até atingir sua ligação com o encanamento inferior de expurgo e retorna ao corpo hídrico. O objetivo desta etapa é abaixar temperaturas altas que possam ter sido introduzidas na água em sua passagem pela mangueira e tubulações, além de encher o retorno que será responsável pela dosagem.
- **Estágio 2** – Fecha-se a válvula 2 e desliga-se a bomba centrífuga. Com isso, o tanque de equalização permanece cheio de água. Como foi adicionada uma abertura no encanamento na parte superior, a pressão permanece estável e sem bolhas de ar. O objetivo desta etapa é permitir uma simplificação do processo de dosagem da amostra, utilizando temporização, já que o volume do tem que é estável e conhecido e a vazão se dá por gravidade, e não pela vazão da bomba que pode sofrer alterações por uma série de variáveis como distância até o corpo hídrico, altura de bombeamento e outros.
- **Estágio 3** – Abre-se válvula 1, permitindo que a água flua até o tubo de ensaio posicionado pelo carrossel. A válvula fica aberta por tempo determinado pelo módulo de controle.
- **Estágio 4** – Fecha-se a válvula 1 e abre-se a válvula 2, permitindo o esvaziamento do tubo de equalização.

- **Estágio 5** – Fecha-se a válvula 2, finalizando o processo de amostragem.

FIGURA 14 - Encanamento de entrada e saída de água



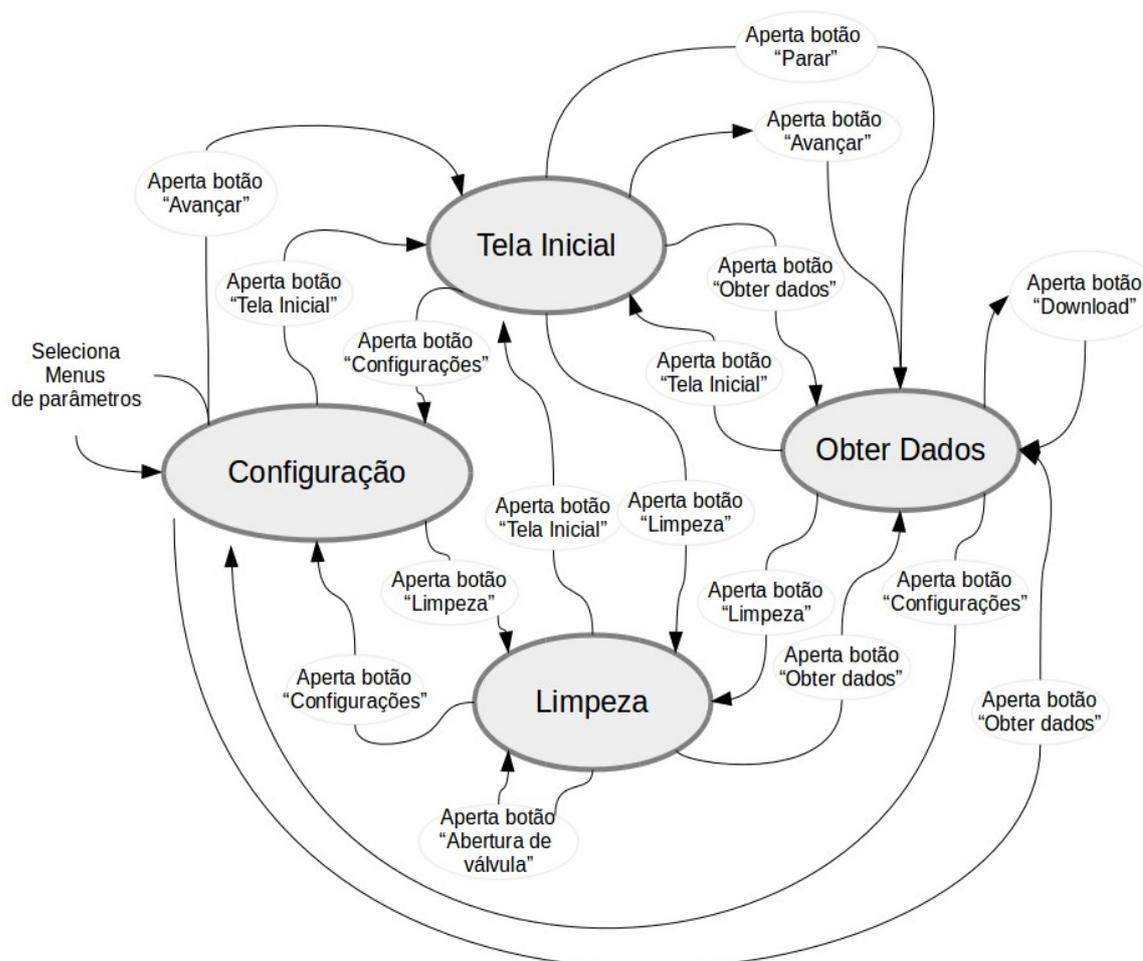
Fonte: Elaboração própria.

• **Recipiente para gelo:** Utilizado como solução de baixo custo para manter o resfriamento das amostras obtidas.

4.3.3 Diagrama de Modos da Interface Humano-Máquina

O diagrama de modos é uma ferramenta utilizada na elaboração de interfaces gráficas e funciona como uma indicação para o usuário de como funciona a navegação entre as telas da interface. Na prática, devem mostrar ao usuário como acessar as funções da máquina e obter informações. A Figura 15 traz o diagrama de modos desenvolvido.

FIGURA 15 - Diagrama de modos da Interface Humano-Máquina.



Fonte: SANTOS; CARPES JR (2017).

Através do diagrama, é possível perceber em qual tela da interface é possível acessar os menus com opções de amostragem, iniciar um processo de coleta de amostras ou mesmo realizar um processo de limpeza dos encanamentos do protótipo. É possível também verificar que a interface deve permitir acessar qualquer uma das telas principais a um toque do usuário, agilizando as ações necessárias.

4.3.4 Método para coleta de amostras

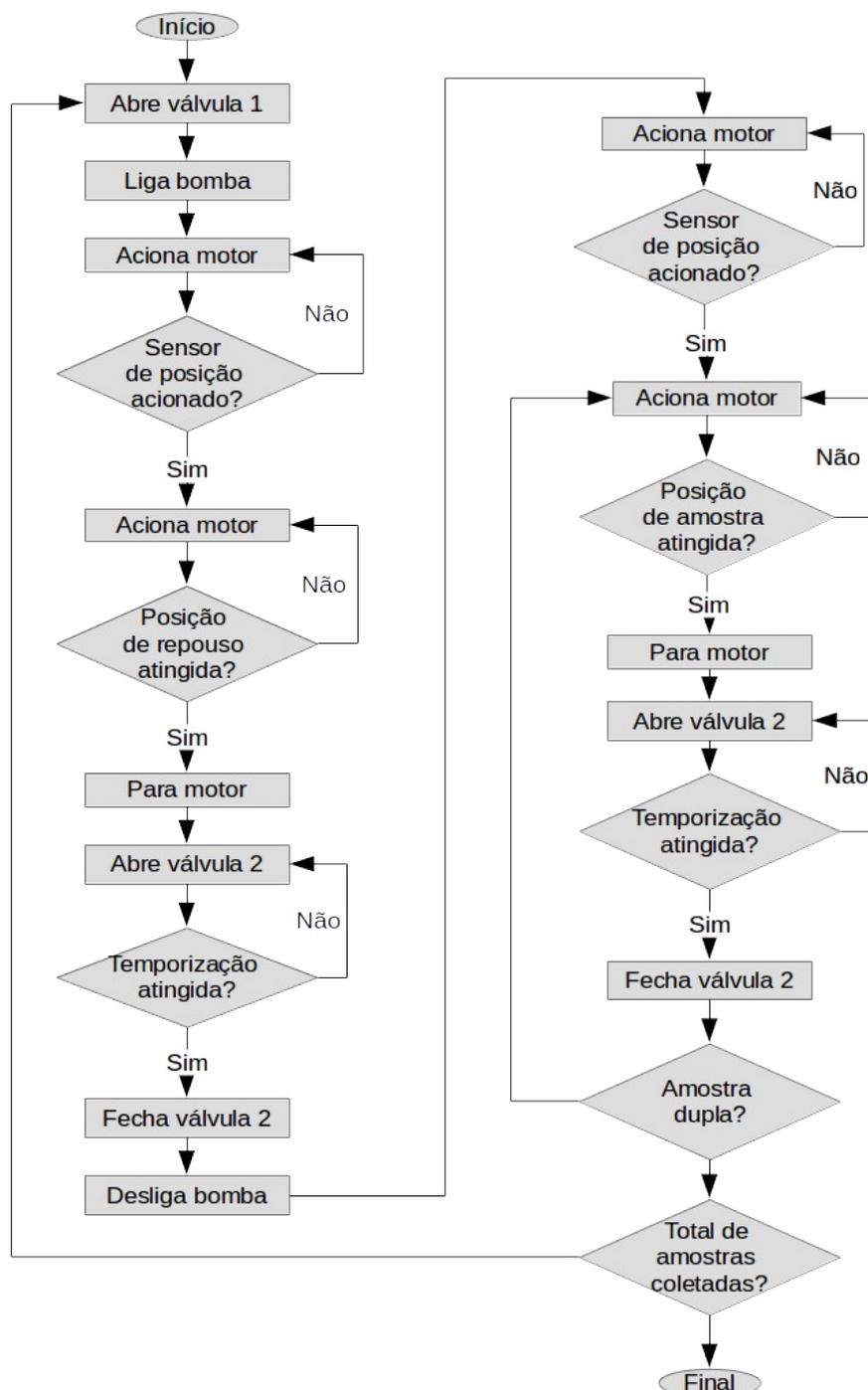
Projitou-se a capacidade de realizar amostras simples de 35 ml. Caso se queira uma quantidade maior de líquido (de 70 ml), é possível o enchimento de 2

tubos por amostra, o que limita a 6 o máximo de amostras. Basicamente, o algoritmo para realização de cada amostra deve seguir os seguintes passos:

1. Alimenta-se a válvula 1, que dá acesso ao tanque de equalização, abrindo-a;
2. Aciona-se a bomba centrífuga, para retirada da água do meio ambiente;
3. O motor de passo deve ser acionado para posicionar o carrossel até atingir um ponto de referência, detectado quando o sensor de capacitivo capta o elemento de referência do carrossel. A partir desse ponto calcula-se a posição de repouso, onde será feito o descarte de resíduos de água;
4. Abre-se a válvula 2 para proceder o descarte de água;
5. Após tempo determinado, fecha-se a válvula 2. Com isto, a água retornará através do tanque de equalização, enchendo-o.
6. Quando o tanque de equalização estiver cheio, fechar a válvula 1;
7. Desliga-se a bomba centrífuga;
8. A partir da posição de repouso, o carrossel continua a girar até atingir a posição correspondente ao número da amostra que será efetuada, de número 1 até 12, para enchimento do tubo de ensaio correto;
9. Abre-se a válvula de enchimento dos tubos de ensaio, contabilizando-se o tempo previsto para obtenção do volume da amostra;
10. Findo o tempo determinado, fecha-se a válvula 2;
11. Se a amostra for composta, gira-se o carrossel até posicioná-lo para a amostra seguinte e repete-se os passos 9 e 10;
12. Abre-se a válvula 1, para retorno da água acumulada;
13. Aciona-se o motor de passo até ponto de repouso, aguardando nova amostra;
14. Fecha-se a válvula 1.

A Figura 16 ilustra o funcionamento da máquina através de um fluxograma.

FIGURA 16 - Diagrama de funcionamento do protótipo.



Fonte: Elaboração própria.

O fluxograma é muito útil no desenvolvimento do software de controle do protótipo, ao especificar de forma mais clara o funcionamento do algoritmo necessário para realização de todo o processo de amostragem.

4.4 PROJETO DETALHADO

A última parte do projeto de qualquer produto, segundo a método seguido neste trabalho, é o projeto detalhado. Segundo Carpes Júnio (2014, p. 81), a “atividade principal no projeto detalhado são os desenhos de componentes, que permitirão sua produção”.

4.4.1 Especificações e medidas do módulo mecânico

Os componentes e peças do carrossel foram projetados em software CAD/CAM. Os desenhos e ilustrações das principais peças, bem como suas medidas em milímetros, podem ser vistas no Apêndice A. As tampas superior e inferior do tambor do carrossel possuem 3 mm de espessura, enquanto as chapas restantes possuem 2 mm. O alumínio foi o material escolhido para a confecção.

Os outros componentes do módulo mecânico são:

- **Motor de passo:** do tipo Nema 23, possui torque de 15 Kgfm.cm e resolução de 1.8° ou 200 passos. Foi conectado no modo bipolar-série, com corrente de: 2.1 A/ Fase. De acordo com o fabricante pode trabalhar em temperatura ambiente entre -10 a 50 °C. Para seu acionamento, é necessário um driver, conexão à fonte de alimentação e gerador de pulsos de controle (neste caso, a *Beaglebone Black*). O motor pode ser conectado em tensão entre 3 e 20 V, sendo que neste projeto utilizou-se tensão de 12 volts.

- **Válvulas tipo solenóides:** Foram especificadas duas válvulas solenóides de 12 V, bitola $\frac{3}{4}$ de polegada e normalmente fechadas.

- **Encanamento de PVC:** Bitola escolhida foi de $\frac{3}{4}$ de polegada, a mesma da saída de água da bomba centrífuga. Foram utilizados 5 joelhos, 3 curvas de 90°, 2 buchas de redução de 20 mm para 32 mm e uma luva (para confecção do tanque de equalização), 3 conexões em Te, 4 luvas com rosca para conexões das válvulas solenóides e aproximadamente 1,2 metro do cano e duas conexões para mangueiras externas.

- **Funil e suporte dobrável:** utilizados para conexão do encanamento com a entrada dos tubos de envase, sendo dobrável para permitir a retirada e recolocação dos 12 tubos e do próprio carrossel.

- **Bomba centrífuga:** com capacidade de bombeamento, segundo o fabricante, de 500 GPH, alimentação de 12 V/2,5 A. Possui uma saída para conexão em mangueira com bitola de 3/4 polegada.

4.5 ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO MÓDULO DE CONTROLE

Entre os principais elementos do módulo de controle, encontram-se:

- **Beaglebone Black C:** produzida pela empresa Adafruit, possui processador ARM AM3358BZCZ100 fabricado pela Texas Instruments de 1GHz e 512MB de memória RAM DDR3L de 606MHz. Possui entrada USB que pode ser utilizada para acesso via rede (IP sobre USB), Ethernet 10/100 Mbps/s e armazenamento interno via cartão MMC de 4 GB. O fabricante recomenda uma fonte de 5V e 2A para sua alimentação. Neste projeto, utilizou-se o sistema operacional Debian (pré-carregado de fábrica) para o controle da placa. A *Beaglebone Black C* possui 2 portas de I/O, P8 e P9, que são portas com 46 pinos cada para acesso facilitado aos terminais do processador. Cada pino digital de I/O possui 8 modos de seleção, inclusive propósito geral (GPIO), num total de 65 pinos. A biblioteca Adafruit_BBIO.GPIO permitiu utilizar recursos como os métodos "setup" (para configurar os pinos como saídas ou entradas) e "output" (seleciona se saída é em nível alto ou baixo). Da porta P8, utilizou-se os pinos 17 e 15 para controle do motor de passo (Step e Dir, respectivamente, ligados aos conectores correspondentes no *driver* do motor). Da porta P9, os pinos 41 e 27 foram selecionados respectivamente para acionamento da válvula de controle de fluxo de água e da bomba hidráulica, através de módulo de relés. O pino 30 da porta P9 foi utilizado indicar o estado do sensor capacitivo, atingindo nível lógico alto quando este está acionado. Cada pino da *Beaglebone Black C* pode fornecer até 4 mA, com alguns indo até 6 mA.

- **Módulos de relés:** trata-se de uma placa com dois relés que funcionam como dois canais diferentes, possuindo entradas de alimentação VCC (5 V) e GND e dois pinos de controle, um para cada canal. Nestes pinos conecta-se a Beaglebone, para

acionamento das válvulas e da bomba de água. O acionamento de cada relé ocorre quando o pino de controle correspondente ao canal é colocado em nível baixo. A corrente drenada da Beaglebone é muito baixa, devido ao acionamento ocorrer através de um transistor que funciona como driver do relé (cuja bobina necessita tipicamente de 71.4 mA com alimentação de 5V, segundo a folha de dados do componente SRD-05VDC-SL-C). A carga suportada é de até 10 A /30 VDC por relé.

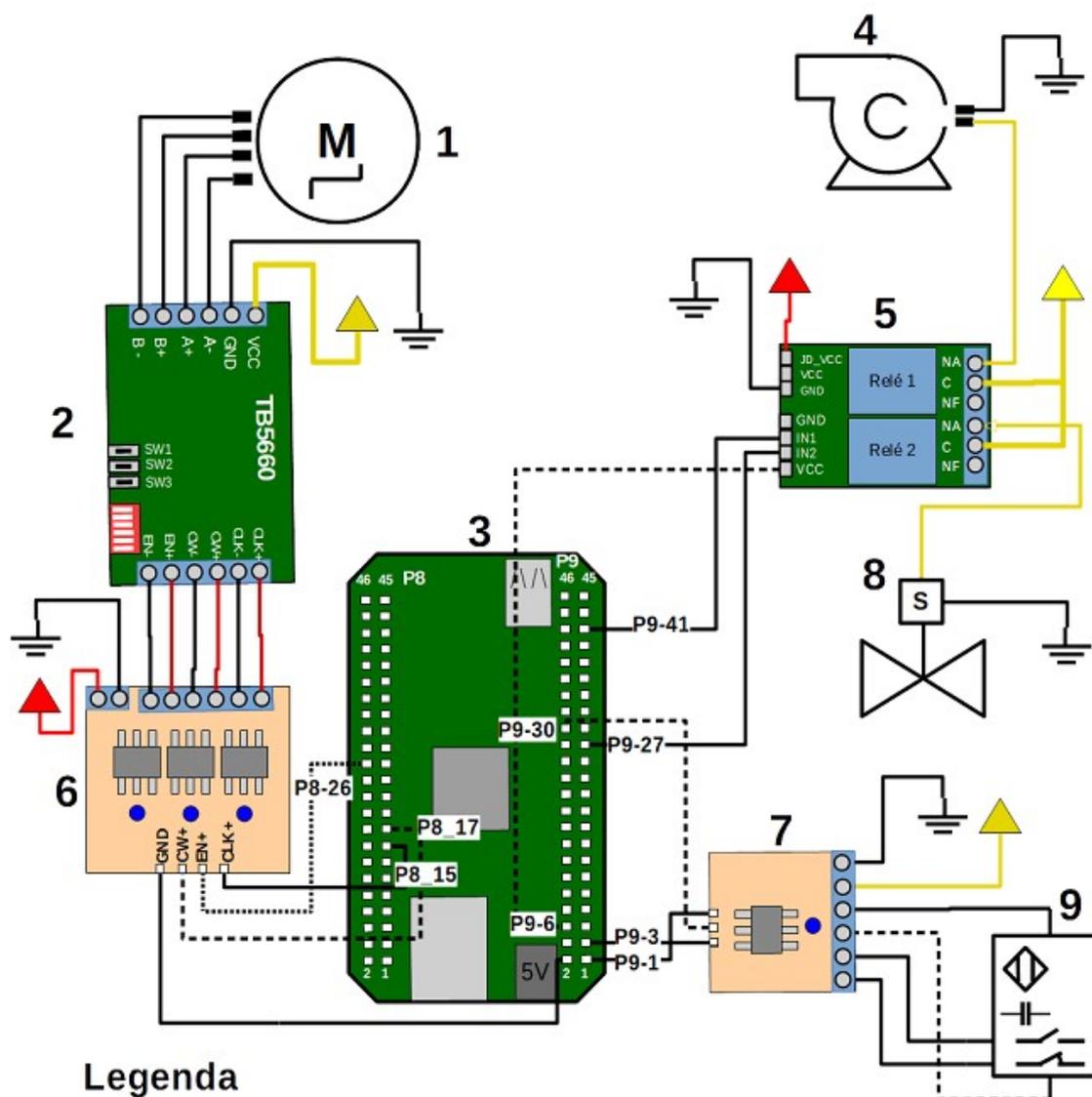
• **Driver de motor de passo:** utiliza o circuito integrado TB6560AHQ, da fabricante Toshiba. As entradas possuem o opto-acoplador 6N137A. A tensão de operação vai de 10 a 35 VDC, sendo recomendado 24 VDC e utilizada 12 VDC. Há proteções contra subtensão e sobrecorrente. A corrente de alimentação do motor foi regulada para 2 A, para economizar energia e principalmente diminuir o calor emanado pelo motor no módulo mecânico.

• **Fonte de alimentação:** Modelo utilizado normalmente em computadores pessoais. A tensão de entrada pode ser chaveada manualmente entre 115V e 230V. A capacidade de fornecimento de corrente por tensões, segundo o fabricante, é de: 12V: 20A; 5V: 34A; 3,3V: 28A. A potência nominal é de 350 W.

4.5.1 Ligações elétricas

Para uma melhor ilustração das ligações elétricas entre os componentes do protótipo, elaborou-se um diagrama com os componentes e placas utilizados e as ligações elétricas entres eles. Nos pinos de alimentação, as cores foram utilizadas para fazer uma indicação de tensões elétricas, sendo o amarelo representativo de 12 V, o vermelho 5 V e o preto é a referência. A ideia do diagrama é facilitar a visualização e a verificação das conexões, inclusive identificando pinagens da *Beaglebone*. O diagrama pode ser visto na Figura 17. Observa-se os seguintes componentes: 1) Motor de passo; 2) Driver do motor TB6460; 3) *Beaglebone Black* C; 4) Bomba centrífuga; 5) Placa de relés 2 canais; 6) Placa de interface entre driver de motor e *Beaglebone*; 7) Placa de interface entre sensor capacitivo e *Beaglebone*; 8) Válvula solenóide NF; 9) Sensor capacitivo NPN. O desenho dos elementos 4, 8 e 9 seguem a norma ANSI/ISA-5.1-2009, enquanto o elemento 1 segue a norma IEC60617.

FIGURA 17 - Ligações elétricas do Protótipo.



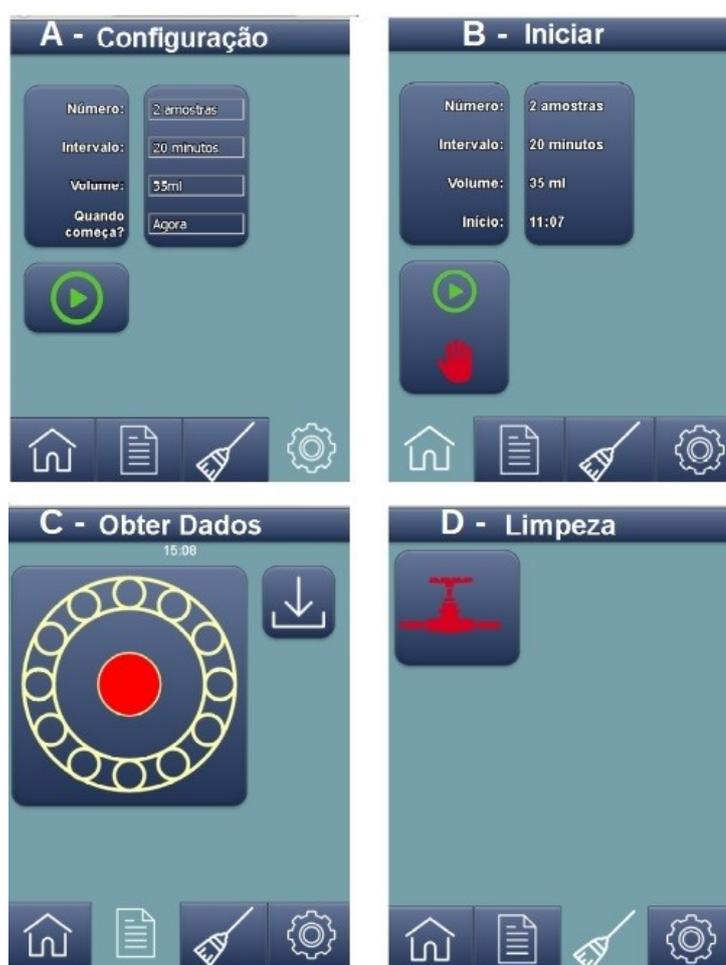
Fonte: elaboração própria.

4.5.2 Especificações da Interface com o usuário

A próxima etapa no desenvolvimento da Interface com o usuário é a especificação das telas e símbolos gráficos utilizados. Utilizou-se para este objetivo

a técnica de *storyboard*. Esta técnica foi adotada originalmente na indústria cinematográfica, mas posteriormente tornou-se uma ferramenta utilizada para ilustrar sequências de interação de usuários do sistema (Branham;Wahid;McCrickard, 2007). Elaborou-se um *storyboard* que permitiu ilustrar não apenas as telas em si mas também a visão que o usuário terá ao executar um procedimento. As 4 telas básicas podem ser vistas na Figura 18.

FIGURA 18 - Storyboard das telas utilizadas na interface gráfica.



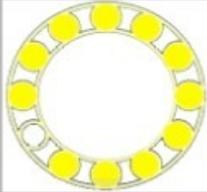
Fonte: adaptado de SANTOS; CARPES JR (2017).

Segundo (SANTOS; CARPES JR, 2017), a escolha de cores possui objetivos definidos e se baseia no conhecimento presumido do público-alvo do produto. O uso de azul como cor básica se baseia em sua associação com tecnologia e uso recorrente em redes sociais, por exemplo, o que traz relativa familiaridade ao usuário. Símbolos com cores verde e vermelho são naturalmente associados ao

início e término de processos ou ações, enquanto o amarelo destinou-se a assinalar pontos de interesse por sua extrema visibilidade em contraste com outras cores.

Escolheu-se ícones para melhorar a comunicação com os usuários, no lugar de indicações em texto. A Figura 19 mostra os ícones utilizados, que são arquivos de imagem (com extensão PNG) referenciados no código das páginas. Uma exceção é o ícone “Visualizar amostras”, construído pela IHM utilizando o recurso “Canvas” do HTML 5, e alterado via javascript. Cada círculo preenchido na cor amarela representa um tubo de ensaio cheio em tempo real.

FIGURA 19 - Ícones Utilizados na Interface

A_- Página Inicial	B_- Pg Obter Dados	C_- Página Limpeza	D_- Pg. Conf. processo
			
E_- Válvula aberta	F_- Válvula fechada	G_- Iniciar execução	H_- Parar execução
			
I_- Download Arquivo	J_- Coleta ativa	L_- Coleta parada	M_- Visualizar amostras
			

Fonte: Adaptado de SANTOS; CARPES JR (2017).

Para comunicação entre processos da IHM, utilizou-se arquivos de texto não criptografados que são salvos na própria Beaglebone, ou seja, no lado servidor. Esta escolha justifica-se pela facilidade de manipulação deste tipo de arquivo e por gravar os dados de forma a não deixá-los apenas na memória RAM da máquina. Os dados gravados nos arquivos são lidos toda vez que a tela responsável por amostrá-los é carregada, fazendo com o usuário tenha acesso a informações de forma mais confiável. Feito de outra forma, como através do método GET do HTML por

exemplo, poderia haver perda de informações em troca de páginas. Os arquivos idealizados foram:

- **Configuração:** Arquivo do tipo CSV que guarda os dados de configuração cadastrados pelo usuário na tela de configuração, onde é lido e escrito. O software de controle, escrito na linguagem Python, obtém as informações para o processo de amostragem deste arquivo. Denominado `Config_amos.csv`.

- **Estado do processo:** Contém informação sobre o estado atual do processo de amostragem, se está sendo executado ou parado. É gerado pelo algoritmo de controle e lido pela IHM na tela “Obter Dados”. Denominado `Estado_atual.txt`.

- **Controle de número de amostras:** Informa o número de amostras realizadas durante o processo de amostragem, sendo o máximo de 12, que corresponde ao número máximo de amostras comportadas pelo carrossel. É reiniciado em cada novo ciclo de amostragem. O algoritmo de controle soma 1 ao seu valor toda vez que uma nova amostra é realizada e seu valor é lido e representado graficamente na tela “Obter Dados”. Denominado `Amostras_realizadas.txt`.

- **Dados da amostra:** Contém os dados de cada amostra realizada, como seu número e horário de coleta. É escrito pelo algoritmo de controle e disponibilizado para download pela IHM. Denominado `Dados_amos.txt`.

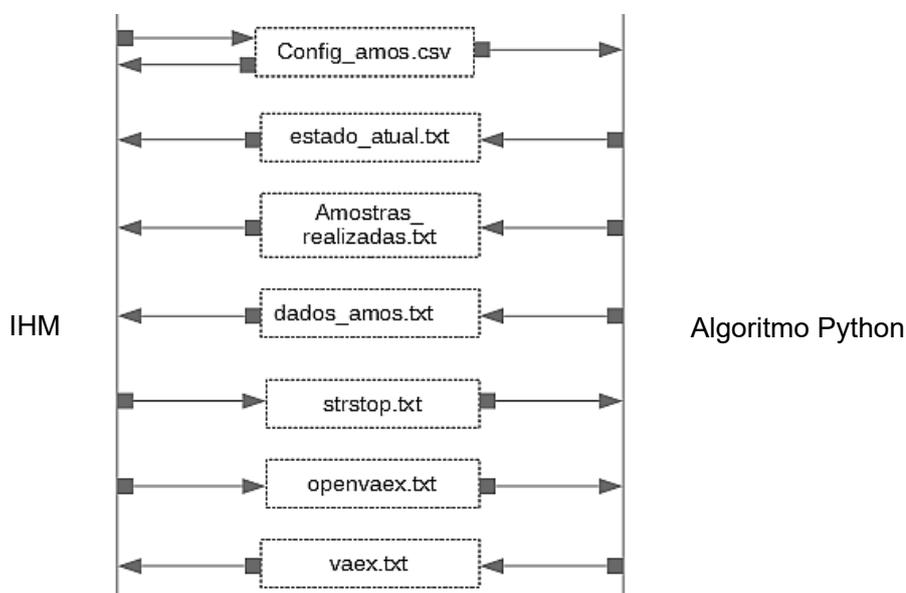
- **Início ou parada:** Escrito pela IHM ao um comando do usuário na Tela Inicial, define o estado desejado do processo de amostragem, se continua sendo executado ou deve parar. Denominado `Strstop.txt`.

- **Abrir válvula de limpeza:** Sinaliza um comando do usuário para limpeza da máquina, através da tela de Limpeza da IHM. Denominado `Openvaex.txt`.

- **Estado da válvula:** Escrito pelo algoritmo de controle e representado graficamente na IHM, sinaliza o estado da válvula externa que permite a limpeza da máquina. Valores possíveis são 1 ou 0 (representando aberta ou fechada). Denominado `Vaex.txt`.

Os arquivos de texto utilizados na comunicação entre processos, bem como suas relações de leitura e escrita podem ser vistos na Figura 20.

FIGURA 20 - Arquivos para comunicação entre IHM e algoritmo de controle



Fonte: Elaboração própria.

As especificações da interface foram de suma importância por serem a proposta de interação do usuário com o sistema. Ao mesmo tempo em que buscou-se simplicidade construtiva e leveza, foi necessário disponibilizar o máximo de recursos possível para tornar a utilização do protótipo mais produtiva.

4.5.3 Elaboração de *software* de controle

O algoritmo foi desenvolvido de acordo com o diagrama visto na Figura 16. Utilizou-se a linguagem Python, por sua facilidade de implementação e flexibilidade e recursos, além de ser nativa tanto no sistema Linux da placa de desenvolvimento quanto de sistemas utilizados nos computadores que foram utilizados para o desenvolvimento do software. Com isto, vários testes puderam ser executados com maior facilidade, permitindo o amadurecimento do projeto antes do embarque da solução.

Para o acesso e utilização dos arquivos referenciados na Figura 20, foi necessário adicionar permissões do sistema operacional Linux. Todos os arquivos e diretórios possuem extensões que determinam quem é o usuário dono do arquivo

(responsável por sua geração), o grupo de usuários ao qual esse arquivo pertence e outros grupos.

Onde foi dada permissão de acesso total para o dono do arquivo, grupo e todos os outros. Esse tipo de permissão não é segura para utilização em rede, sendo utilizada apenas nos testes de funcionamento do protótipo.

Como ilustração, a Figura 21 mostra uma parte do código desenvolvido, que se refere à temporização (tempo para início de processo e intervalo entre as amostras coletadas) do processo de coleta.

FIGURA 21 - Função de temporização de coletas em Python.

```
def temporizar (n,inter,iniciar):
    amostra = 0
    intervalo = iniciar

    sch = scheduler(timefunc=time, delayfunc=sleep)
    sch.enter(intervalo, 0, ciclo, ())
    while n-1 > 0:
        amostra = amostra + 1
        intervalo = intervalo + inter
        sch.enter(intervalo, 0, ciclo, ())
        n = n - 1
    sch.run()
```

Fonte: Elaboração própria.

5 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

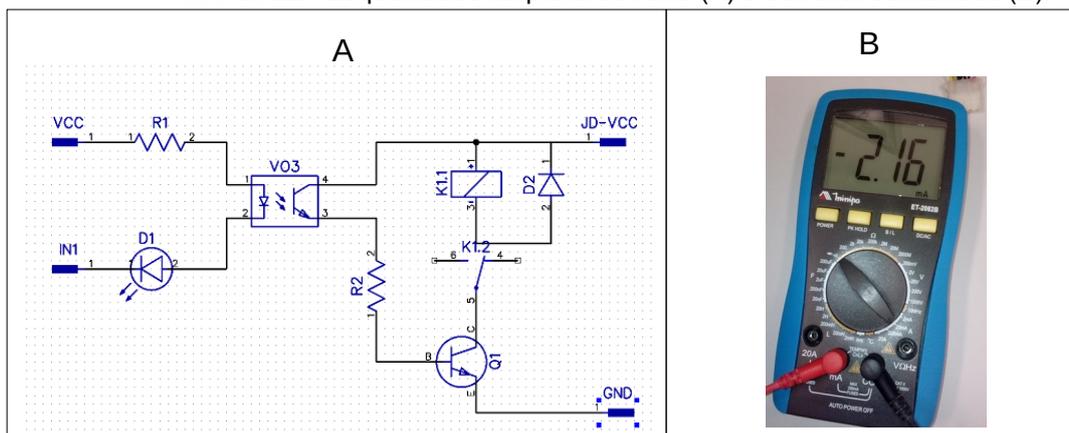
Com a última fase do projeto de produto concluída, o projeto detalhado, procedeu-se a montagem do protótipo de acordo com as especificações obtidas. A construção seguiu as 3 etapas: módulo de controle, módulo mecânico e embarque do algoritmo de controle e IHM.

5.1 CONSTRUÇÃO MÓDULO DE CONTROLE

Foram realizadas medições para verificação de consumo de corrente dos módulos a serem conectados na placa *Beaglebone*. Essa verificação é importante para evitar danos por sobrecorrente, pois os pinos da placa de controle podem fornecer ou absorver entre 4 a 6 mA.

Primeiramente, testou-se o módulo de relés de 2 canais. A corrente de acionamento da bobina de cada por relé em uma tensão de 5V é de 79 mA segundo o fabricante. Assim ligou-se o pino JD-VCC e o pino GND à fonte externa, para acionamento das bobinas, e o pino P9_6 da Beaglebone, de 5V, ao pino VCC, assim como as entradas de acionamento IN1 e IN2 foram conectadas aos pinos P9_41 e P9_27, respectivamente. As entradas são acionadas em nível lógico 0. Esta configuração foi testada com uma fonte separada antes de sua ligação à placa de controle e verificou-se uma corrente de aproximadamente -2,16 mA. A Figura 32 ilustra o circuito utilizado na placa de relés, de acordo com folha de dados, e também a medição de corrente durante o teste.

FIGURA 22 - Esquemático da placa de relés (A) e corrente consumida (B).



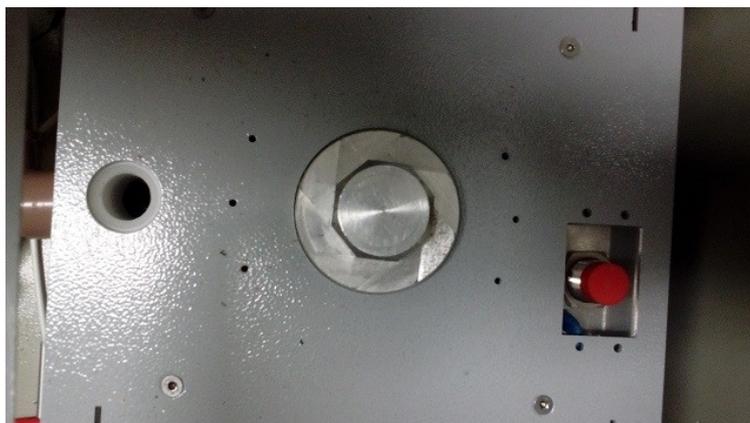
Fonte: Elaboração Própria.

Verificou-se que a tensão sobre a bomba centrífuga manteve-se em 12V, enquanto mediu-se uma corrente de 1,46 A com a bomba funcionando desconectada dos encanamentos da máquina. Considerou-se então que a princípio a fonte de alimentação suportará o acionamento da bomba.

O próximo passo realizado foi a medição da corrente de acionamento das válvulas solenóides, que atingiu o valor de 450 mA, ou seja, apresentou uma potência de 5,4 VA. As válvulas são do tipo normalmente fechado. Ao testar o fluxo de água, verificou-se que este é muito baixo, devido ao grande impedimento ao fluxo causado pela válvula externa. Por isso se fez necessário uma mudança no projeto. Retirou-se a válvula externa para criar vazão, permitindo passagem dos líquidos pela válvula interna e o enchimento dos tubos de ensaio.

Outro teste necessário foi o da placa de interface que conecta o sensor capacitivo (mostrado na Figura 23) à placa de controle. Essa interface foi necessária para proporcionar uma conexão segura entre a *Beaglebone* e o sensor, onde utilizou-se um optoacoplador 4N25 para isolar o circuito e limitar a corrente de acionamento.

FIGURA 23 - Sensor capacitivo.

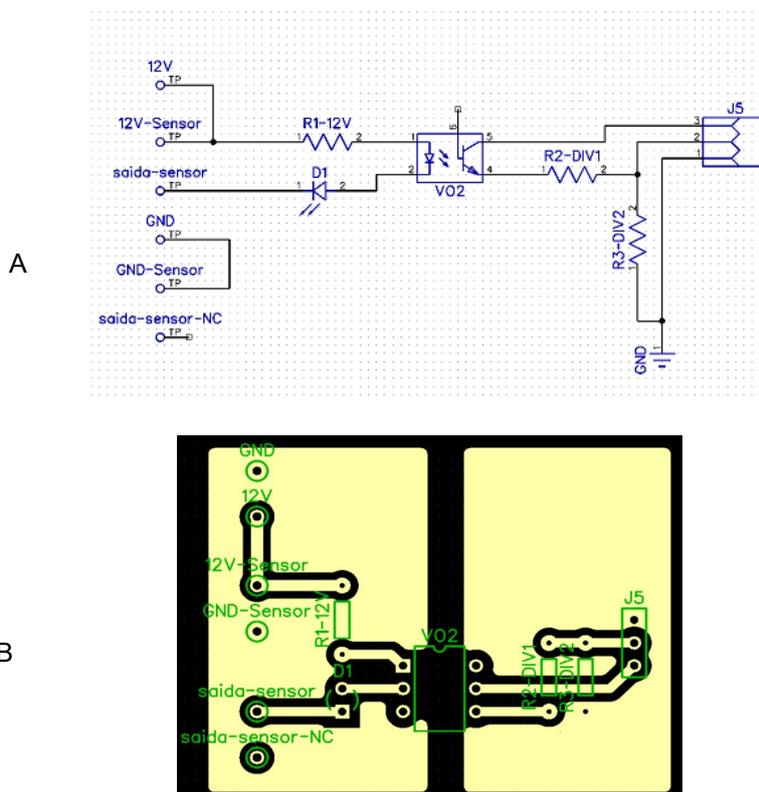


Fonte: Elaboração própria.

A placa possui entrada para 6 conexões: 12V e GND da fonte, 2 entradas de alimentação do sensor e as duas saídas do sensor. A placa conecta a fonte à alimentação do sensor, que possui 4 fios, com as cores marrom (ligação em 12V), azul (ligação em GND), branca (NF) e preta (NA). O sensor é NPN, conectando o fio preto ao GND quando acionado. Utilizou-se um resistor de 2,2 k Ω para conectar a

tensão de 12 V ao optocoplador e posteriormente um LED para ligação à saída do sensor, no fio de cor preta. Quando o sensor é ativado, o optocoplador aciona a tensão de saída para o pino 30 da porta P9, configurado como uma entrada GPIO (*General Purpose Input/Output* ou Entrada e saída de propósito geral) para leitura do sinal do sensor. O transistor de saída do optocoplador possui seu coletor conectado na tensão de 3.3 V fornecida pela Beaglebone, e seu emissor liga-se a um divisor de tensão resistivo, conectado ao pino de leitura do sinal. O divisor de tensão funciona como um resistor de pull-down quando o sensor está em repouso e protege o pino da Beaglebone de sobrecorrente em caso de uma alguma configuração errônea (configurar o pino como saída, por exemplo). Quando em acionamento, os valores de resistores foram calculados como 100 Ω e 1 k Ω (respectivamente R2-DIV1 e R3-DIV2 segundo a Figura 24) para proporcionar um valor aproximadamente 3V de tensão de saída no pino de leitura. A Figura 24 ilustra o esquemático (A) e layout do circuito desenvolvido (B). A corrente drenada na entrada da placa foi de 4,1 mA, fornecida pela fonte.

FIGURA 24 - Esquemático (A) e layout da placa de interface (B) do sensor capacitivo

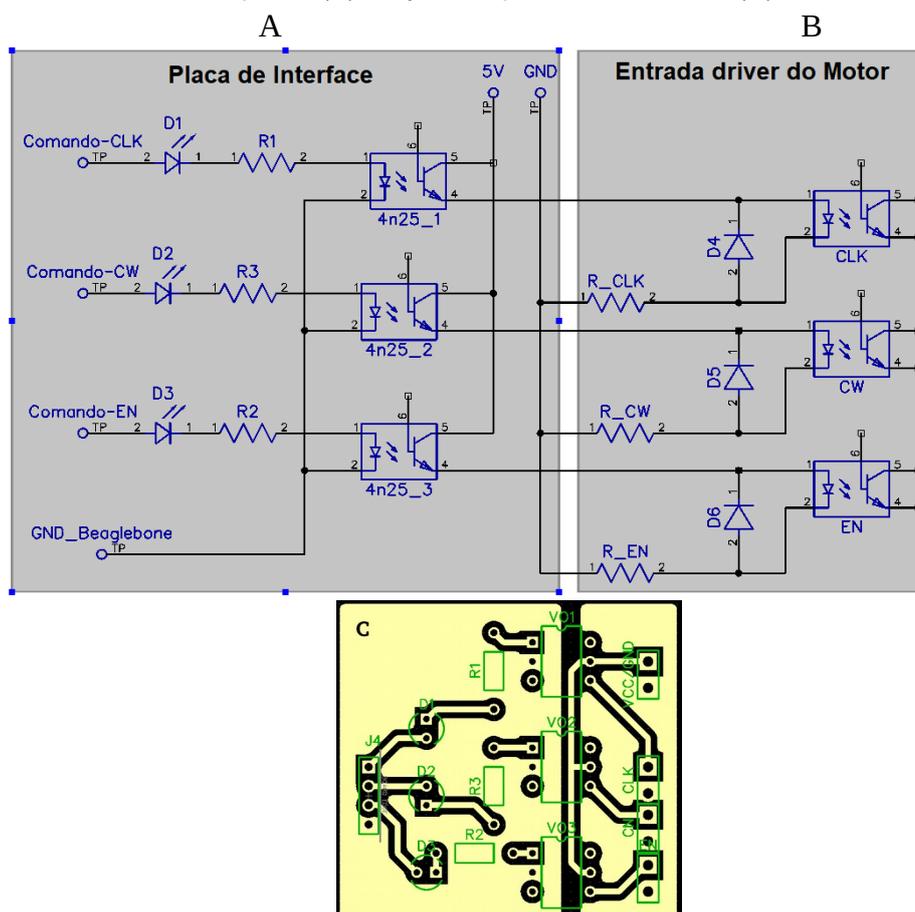


Fonte: Elaboração própria.

A última parte a ser testada foi o acionamento do driver TB6560 para verificação da corrente consumida. Conectou-se uma fonte de 5V no pino CLK+, e a referência GND da fonte no pino CLK-. Obteve-se o valor de 12,01 mA. Como o valor ultrapassou os limites aceitáveis de 4 mA, desenvolveu-se uma placa de interface para fazer a limitação da corrente.

A Figura 25 mostra o esquemático da placa de interface (A), a entrada da placa de driver do motor de passo (B) e o layout do circuito desenvolvido (C). Com base nas medições realizadas no circuito da placa de interface do sensor capacitivo (quedas de tensão no optoacoplador e no led de sinalização), espera-se uma corrente da placa de controle de 2 mA por pino ao utilizar-se o valor de 1 k Ω para os resistores R1, R2 e R3. Caso o led ou o optoacoplador entrem em curto, a corrente ainda se manteria dentro do limite de segurança para os pinos da *Beaglebone*.

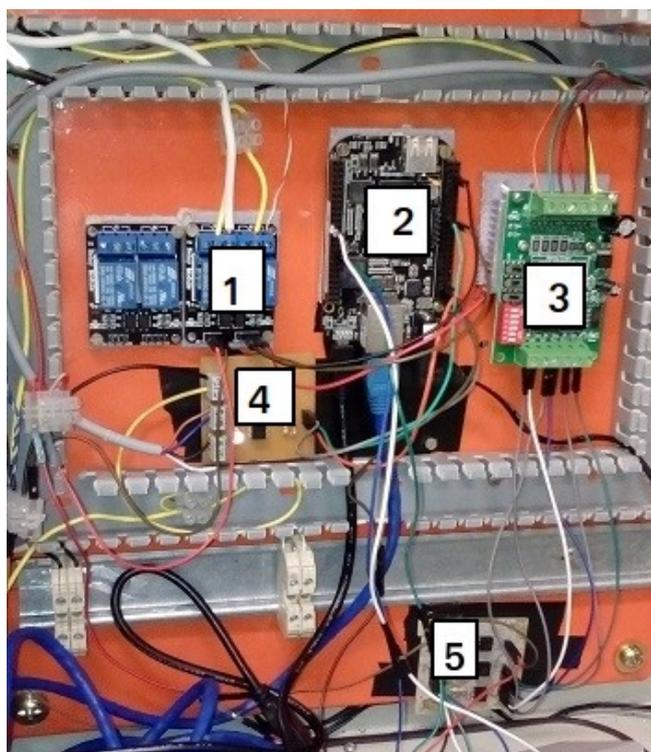
FIGURA 25 - Esquemático da placa de interface (A), esquemático entrada do *driver* do motor de passo (B) e layout da placa desenvolvida (C).



Fonte: Elaboração própria.

Uma vez que todos os testes foram realizados, utilizou-se um painel elétrico onde montou-se os circuitos de acordo com o projeto, realizando-se as ligações necessárias. A Figura 26 mostra o painel elétrico montado, onde observa-se: 1 - Módulo de relés de dois canais; 2 - *Beaglebone Black C*; 3 - *driver* de motor de passo TB6560; 4 - Placa de interface com o sensor; 5 - Placa de interface com TB6560. O painel recebe as ligações elétricas vindas da fonte de alimentação, que não aparece nesta imagem.

FIGURA 26 - Painel elétrico construído.



Fonte: Elaboração própria.

Foi adotado um código de cores para os fios utilizados para o fornecimento de energia aos componentes, facilitando os testes e manutenção do protótipo.

Na montagem do módulo de controle buscou-se facilidade de manutenção e testes, além de maior clareza para possível substituição de componentes.

Os métodos e procedimentos adotados visaram o atendimento a requisitos de projeto como a baixo custo e a utilização de componentes padronizados, facilitando a construção e a manutenção do protótipo.

5.2 CONSTRUÇÃO MÓDULO MECÂNICO

O módulo mecânico foi construído também seguindo os requisitos de baixo custo e utilizando componentes comerciais, isto é, sem a necessidade de fabricação específica, com exceção do carrossel. O sistema de encanamentos e válvulas seguiu o projeto, com algumas adaptações para ajustar a saída de água ao carrossel. A Figura 27 mostra o exterior do módulo mecânico montado.

FIGURA 27 - Protótipo montado.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 21 mostra o carrossel inteiramente construído, antes de sua instalação no interior do gabinete do módulo mecânico.

FIGURA 28 - Carrossel construído.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 29 mostra o sistema já construído, dando ênfase ao sistema coletor integrado ao carrossel.

FIGURA 29 - Sistema coletor montado.



Fonte: Elaboração própria.

O passo final foi o revestimento do módulo mecânico com uma manta isolante térmica. A manta é revestida de alumínio para refletir o calor externo e por ser adesiva é de fácil colocação. A Figura 30 mostra um pedaço da manta utilizada.

FIGURA 30 - Manta térmica utilizada.



Fonte: Elaboração própria.

Buscou-se no desenvolvimento do módulo mecânico o uso de soluções criativas e de baixo custo, que pudessem satisfazer os requisitos definidos nas especificações de projeto e também que pudessem ser replicadas em caso de fabricações de mais unidades do equipamento.

5.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE WEB DA IHM

Para o desenvolvimento das páginas WEB utilizadas para o controle do processo de amostragem, optou-se pelo uso da linguagem PHP integrada como um módulo do servidor Apache. A vantagem disso é a agilidade nos processos, já que o servidor adquire a capacidade de interpretar os *scripts* PHP sem ajuda de programas externos. No entanto, ocorre um aumento no uso dos recursos disponíveis ao servidor, como memória, já que o interpretador PHP está sempre presente, mesmo quando não é utilizado.

O PHP basicamente funciona do lado do servidor (neste caso, na placa de desenvolvimento) gerando a página em HTML que será carregada via web pelo cliente (dispositivo do usuário). Utilizou-se recursos da versão HTML 5, assim como o estilo visual foi elaborado utilizando-se a tecnologia CSS3. Para interação do usuário, como clique de botões e elementos visuais de amostragem de dados e processos, utilizou-se a linguagem Javascript (que é executado no lado do cliente).

Além dos arquivos de texto vistos na Figura 20, utilizou-se os seguintes arquivos na construção da IHM:

- arquivo de estilo usado por todas as páginas PHP (stylesheet.css).
- Implementa a página “Iniciar” (main.php).
- Implementa a página “Obter Dados” (visual_data.php).
- Implementa a página “Limpeza” (maintanance.php).
- Implementa a página “Configuração” (configure.php).
- ao ser acessado via botão de *download* as página “Obter Dados”, constrói o arquivo CSV com dados de amostragem para ser acessado pelo usuário (down.php).

Para o embarque do software da IHM na placa de desenvolvimento, utilizou-se a linha de comandos do Linux para acionar os métodos SSH e SCP para transferência dos arquivos desenvolvidos em um microcomputador para a placa Beaglebone, conectada via protocolo TCP sobre USB. A Tabela mostra os comandos utilizados para embarque da interface.

TABELA 7 - Comandos em Linux para embarque de arquivos da interface.

Ação desejada	Comando
Copiar todos os arquivos do diretório corrente para a <i>Beaglebone</i>	<code>scp * root@192.168.7.2:/var/www</code>
Estabelecer conexão e acessar remotamente os arquivos	<code>ssh 192.168.7.2 -l root/var/www</code>
inserir permissões de pasta para o servidor Apache possa escrever e ler os arquivos	<code>chmod -R 777 html</code>

Fonte: Elaboração própria.

Ficaram demonstrados nesta etapa a conveniência dos recursos de acesso remoto presentes nativamente no sistema operacional Linux, tanto na distribuição Ubuntu 14.04 do computador utilizado no desenvolvimento da IHM quanto na distribuição Debian da plataforma *Beaglebone Black C*. Mais uma vez foi possível focar no desenvolvimento da aplicação, sem a necessidade de instalar nenhum software adicional.

5.4 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE CONTROLE

O algoritmo de controle foi desenvolvido em 2 arquivos Python: um arquivo principal para agendamento de tarefas e verificação do estado da máquina e outro específico para realização do processo de amostra. Estes arquivos ficam armazenados na mesma pasta que a IHM e são acionados via IHM. No entanto, o algoritmo de controle em Python não pôde ser executado diretamente, por ser acionado pelo servidor Apache como usuário. Por questões de segurança, o Linux trata o servidor Apache como um usuário com acesso bastante limitado. Por isso utilizou-se a permissão especial SUID, que faz com que arquivos sejam executados com as permissões de seu dono e não com as do usuário que o executou. Como o dono do arquivo foi um usuário root, o servidor Apache possuiu os mesmos privilégios. O comando utilizado foi:

```
chmod u+s usr/bin/python
```

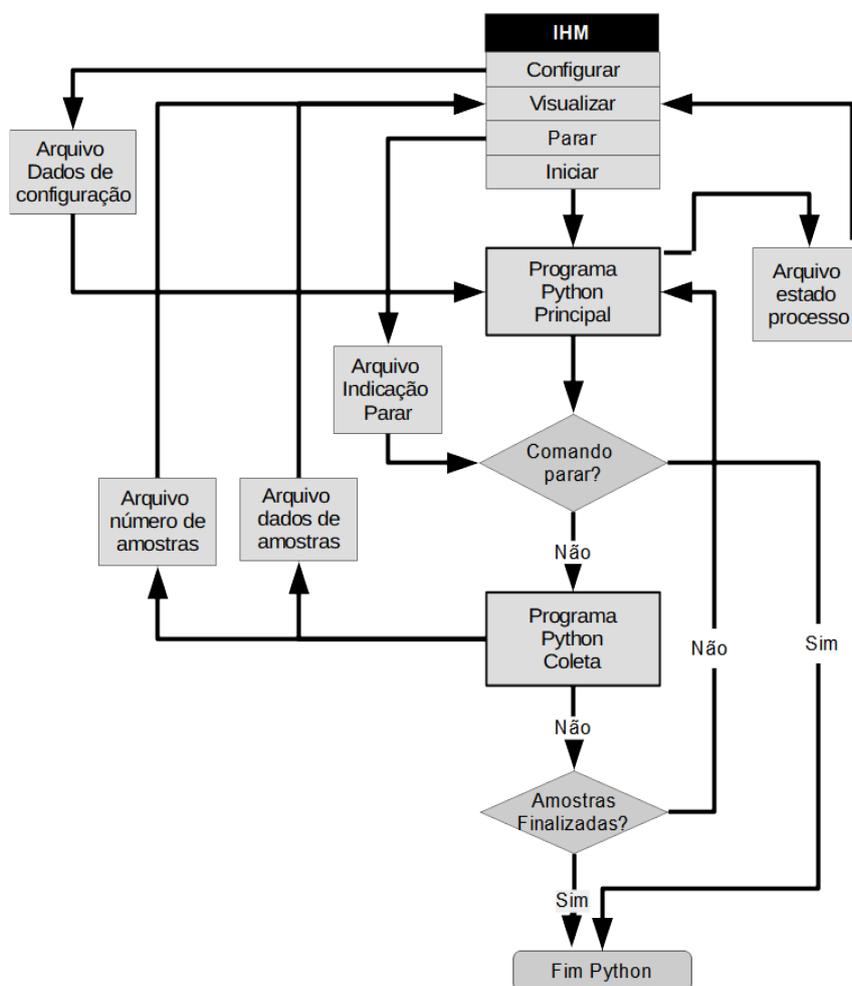
Em uma versão comercial do equipamento, é conveniente substituir esta solução por outra com maior segurança.

O Programa Python responsável pelo controle do processo de amostras, aqui denominado Principal, é executado através do botões de execução na IHM e finaliza sua execução quando acionado o botão de parada. Também pode ser acionado um botão para abertura de válvula, para limpeza do sistema por retrolavagem de água.

A Figura 31 ilustra a de execução dos algoritmos de coleta através de um fluxograma simplificado do processo. Uma vez executado o programa Python Principal, é feita a leitura do arquivo do arquivo "openvaex.txt". Se o valor for '0', significa que a IHM comandou um novo processo de amostragem e não uma abertura de válvula para limpeza. Então, é aberto para escrita o arquivo "estado_atual.txt" e gravado o valor "1", indicando que um processo de amostragem está ativo. Este arquivo é lido periodicamente pela IHM e seu estado informado ao usuário na tela de visualização "Obter dados". Também é limpo todo o conteúdo dos arquivos "amostras_realizadas.txt" e "dados_amos.txt", para apagar os valores de amostragens anteriores. Ocorre então a leitura de "config_amos.csv", que contém os dados de configuração escolhidos pelo usuário. Aciona-se então uma função de agendamento, com número e intervalo de eventos (onde cada evento é a realização

de uma amostra), para conforme configurado pelo usuário. Ao atingir-se o tempo programado para cada amostra, verifica-se se o arquivo “strstop.txt” é ‘1’. Se for, a IHM comandou a parada do processo de amostragem. Os arquivos “strstop.txt” e “estado_atual.txt” são escritos com valor ‘0’ e a execução de todo o programa para. Se for verificado que a parada não foi ordenada, é então executado o arquivo Python responsável pelo processo de amostragem em si, após a qual é feito o retorno ao controle do programa principal. Terminado o número de eventos programados, o arquivo “estado_atual.txt” é escrito com ‘0’ e a execução cessa. A Figura traz um fluxograma simplificado do funcionamento dos algoritmos de controle via comando IHM.

FIGURA 31 - Fluxograma simplificado do acionamento via IHM.



Fonte: Elaboração própria.

O arquivo Python responsável pelo processo de amostragem em si faz a leitura do arquivo "amostras_realizadas.txt" para definição da posição do próximo tubo de ensaio a ser enchido. O próximo passo é a rotação do carrossel até a detecção do ponto inicial pelo sensor de posição. A partir desse ponto, é feita a movimentação do carrossel até a posição do tubo correto. Por temporização, abre-se a válvula de enchimento do tubo de ensaio e seguida fecha-se a mesma. O carrossel é rotacionado até a posição inicial. Então, grava-se o arquivo "amostras_realizadas.txt" com o número da amostra realizada (de 1 a 12) e também abre-se para escrita o arquivo "dados_amos.txt", para gravação de informações da amostra como hora da coleta. Assim, termina-se o processo e o controle é devolvido ao programa principal.

6 RESULTADOS E TESTES

Identificou-se que a pressão hidráulica gerada pelo tanque de equalização não foi suficiente para a passagem de água através da válvula. O problema foi contornado retirando-se a válvula externa, com o controle de fluxo ocorrendo também por temporização, ao custo de uma menor precisão do sistema.

Considerando-se que a proposta é de baixo custo, é importante definir a precisão de movimentação do carrossel, já que trata-se de um sistema com controle em malha aberta por motor de passo. O teste de exatidão e precisão do posicionamento do carrossel foi realizado através de várias medições.

O raio do rotor do carrossel até o centro do furo onde se aloja o tubo de envase possui 9,5 cm. Portanto a circunferência é de 59,69 cm e a distância percorrida em cada passo é de 0,746 mm. Como o diâmetro máximo do tubo de envase é de 27,2 mm, o erro máximo então deve ser metade do diâmetro máximo, ou seja 13,6 mm.

6.1 MEDIÇÃO DE EXATIDÃO PARA POSICIONAMENTO DO CARROSSEL

Foram utilizados dois métodos distintos, e usar-se-ão os índices 1 e 2 nos resultados para identificá-los. O método 1 gira o carrossel até a detecção do sensor capacitivo, e então inverte o sentido de rotação de forma mais lenta até que o sensor pare de fazer a detecção. Com isso espera-se que o erro seja menor que a distância de 1 passo. O método 2 consiste em girar o carrossel até a detecção do tubo de referência e então acionar o motor um determinado número de vezes até posicionar o tubo de envase. A Tabela 8 traz as medições realizadas.

FIGURA 32 - Teste carrossel método 1 com deslocamento de 6,7 mm.



Fonte: Elaboração própria.

TABELA 8 - Medições de movimentação de carrossel.

Método 1		Método 2	
Medições	Resultado (mm)	Medições	Resultado (mm)
1	4,4	1	1,9
2	6,2	2	0,9
3	6,7	3	1,0
4	8,0	4	1,6
5	8,8	5	1,1
6	8,3	6	0,8
7	8,6	7	0,5
8	8,1	8	1,8
9	8,4	9	0,5
10	8,2	10	0,3
Média	7,6	Média	1

Fonte: Elaboração própria.

Observou-se resultados bastante diferente nos dois métodos, com o método 2 apresentado-se muito mais próximo do esperado. As medições 1 a 3 do método 1 desviaram-se consideravelmente, talvez por algum atrito ou outro problema mecânico.

6.1.1 Erro sistemático no posicionamento do carrossel

O Erro Sistemático corresponde ao valor médio do erro de medição. (Albertazzi, Armando 2008 p. 45). A correspondente sistemática do erro de medição tende a se manter constante se as condições em que as medições são feitas também forem mantidas as mesmas (Albertazzi, Armando 2008 p. 45). Por esta razão é passível de algum tipo de correção. Pode-se fazer uma estimativa do erro sistemático chamada de Tendência (Td), descrita como a diferença entre a média das medições e um valor tido como verdadeiro (no caso, a posição em 0 mm). Os valores obtidos foram:

$$Td1 = 7,6 - 0 = 7,6 \text{ mm}$$

$$Td2 = 1 - 0 = 1 \text{ mm}$$

6.1.2 Erro aleatório no posicionamento do carrossel

O erro aleatório é a parcela imprevisível do erro de medição, responsável pelas variações encontradas em medições repetidas um erro não previsível (Albertazzi, Armando 2008 p. 45). Denomina-se repetitividade a faixa de valores dentro do qual o erro aleatório de um sistema de medição é esperado (Albertazzi, Armando 2008 p. 50). Para calcular a repetitividade, é necessário conhecer a incerteza-padrão (u) e o número de amostras.

Denomina-se incerteza-padrão o valor do desvio-padrão do erro aleatório de medição. É comumente representada pela letra “ u ”. (Albertazzi, Armando 2008 p. 56). A incerteza padrão foi obtida pelas equações 1 e 2 (resultados com arredondamento):

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - 7,6)^2}{10 - 1}} = 1,4 \text{ mm} \quad (1)$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - 1)^2}{10 - 1}} = 0,6 \text{ mm} \quad (2)$$

A repetitividade do sistema é descrita como a incerteza padrão multiplicada por uma constante chamada t de *student*, que segundo o autor é uma espécie de “coeficiente de segurança” para compensar o uso de poucos dados em uma estimativa (Albertazzi, Armando 2008 p. 61). O coeficiente t de *student* é dado de acordo com o grau de liberdade da medição, que corresponde ao número de medições repetidas menos um. O coeficiente t de *student* para 10 amostras (ou 9 graus de liberdade) é de 2,320. Assim, pode-se determinar a estimativa de repetitividade (Re) com arredondamento de números no valor de:

$$Re_1 = 2,32 \cdot 1,4 = 3,2 \text{ mm}$$

$$Re_2 = 2,32 \cdot 0,6 = 1,4 \text{ mm}$$

6.1.3 Erro máximo no posicionamento do carrossel

O erro máximo é o erro com maior valor absoluto que pode ser cometido pelo sistema de medição nas condições em que foi avaliado. (Albertazzi, Armando 2008 p. 67). É um valor dado em módulo.

$$E_{\max} = T_d + R_e$$

$$E_{\max 1} = 7,6 + 3,2 = 10,8 \text{ mm}$$

$$E_{\max 2} = 1 + 1,3 = 2,3 \text{ mm}$$

A Tabela 9 resume os cálculos de erro. O método 2 foi claramente superior mas os dois ficaram dentro das especificações (menor que 13,6 mm).

TABELA 9 - Resultados de erros de posicionamento do carrossel.

Parâmetros	Método 1	Método 2
Td	7,6 mm	1 mm
u	1,4 mm	0,6 mm
v	9	9
t	2,32	2,32
Re	3,2 mm	1,4 mm
E _{max}	10,8 mm	2,3 mm

Fonte: Elaboração própria.

6.2 MEDIÇÃO DE EXATIDÃO NA OBTENÇÃO DO VOLUME DE AMOSTRAS

O volume de amostras é importante especialmente para a dosagem correta de fixadores como o formol. Utilizou-se uma balança com resolução de 4 casas decimais para determinação da capacidade de recipiente. Verificou-se que até o anel de encaixe do tubo, tido como capacidade máxima do recipiente, podem ser acondicionados aproximadamente 35 gramas de água, que correspondem a 35 ml. Em água marinha a massa terá variação, mas o volume permanecerá o mesmo. A Figura 33 mostra uma imagem da balança utilizada.

FIGURA 33 - Aferição da capacidade do recipiente



Fonte: Elaboração própria.

Mediu-se que a coluna de água no recipiente para total enchimento é de 108 mm. Essa medida foi utilizada como padrão para aferição de erro. A Figura 34 mostra as medidas realizadas.

FIGURA 34 - Medição de altura de enchimento do recipiente.



Fonte: Elaboração própria.

Para medir o método de captação de amostras, foram utilizadas duas alturas diferentes para o corpo de água em relação à máquina, sendo realizadas 10 amostras em cada altura. No primeiro teste, a base da máquina estava a 1,11 m em relação à superfície do corpo de água (no caso, um balde com a água para testes). No segundo teste a base da máquina estava a 1,03 m. Em ambos os testes a coluna de água sobre a bomba foi de 6 cm. A Figura 35 ilustra a altura do primeiro teste.

FIGURA 35 - Teste captação de água.



Fonte: Elaboração própria.

Os dados coletados podem ser vistos na Tabela 10.

TABELA 10 - Medições de volume de captação de amostras

Altura da máquina em 111 cm		Altura da máquina 103 cm	
Amostra	Col. Água recipiente (mm)	Amostra	Col. Água recipiente (mm)
1	107	1	123
2	103	2	118
3	106	3	127
4	100	4	119
5	107	5	114
6	105	6	122
7	109	7	116
8	102	8	122
9	104	9	121
10	106	10	127
Média	105	Média	121

Fonte: Elaboração própria.

Observou-se como esperado uma grande sensibilidade na coleta de volume de água quando se muda a altura relativa do corpo hídrico em relação à máquina no método de temporização da válvula para enchimento dos recipientes.

6.2.1 Erro sistemático no volume de aquisição de amostras

Os erros sistemáticos na aquisição no método de temporização adotado foram:

$$Td1 = 105 - 108 = -3 \text{ mm}$$

$$Td2 = 121 - 108 = 13 \text{ mm}$$

Observou-se que o volume de coleta é bastante sensível às variações de altura. Deve-se considerar que ocorre transbordamento se a água ultrapassar 122 mm de altura.

6.2.2 Erro aleatório no volume de aquisição de amostras

O erro aleatório visa demonstrar se o aumento de pressão decorrente de variação de altura altera a precisão na obtenção de amostras. As incertezas padrão foram calculadas pelas equações 3 e 4 (com arredondamento de números):

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - 105)^2}{10}} - 1 = 2,7 \text{ mm} \quad (3)$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (I_i - 121)^2}{10 - 1}} = 4,3 \text{ mm} \quad (4)$$

Estimativa de repetitividade portanto é (com arredondamento de números):

$$Re_1 = 2,32 \cdot 2,7 = 6,3 \text{ mm}$$

$$Re_2 = 2,32 \cdot 4,3 = 10 \text{ mm}$$

Percebe-se que as diferenças de pressão causam um aumento de imprecisão no sistema, mas que no caso da medida realizada ainda não é um parâmetro crítico.

6.2.3 Erro máximo no volume de aquisição de amostras

O erro máximo obtido nas amostragens foi de:

$$E_{max1} = 3 + 6,3 = 9,3 \text{ mm}$$

$$E_{max2} = 13 + 10 = 23 \text{ mm}$$

A Tabela 11 resume os cálculos de erro encontrados.

TABELA 11 - Resumo dos resultados de erros na coleta de amostras.

Parâmetros	Método 1	Método 2
Td	-3 mm	13 mm
u	2,7 mm	4,3 mm
v	9	9
t	2,32	2,32
Re	6,2 mm	10 mm
E _{max}	9,3 mm	23 mm

Fonte: Elaboração própria.

6.3 TEMPERATURA INTERNA

Baseando-se nas especificações desejadas, a refrigeração por convecção utilizando gelo para preservação de amostras foi uma abordagem utilizada no protótipo. A temperatura recomendada é próxima a 4° C. O acondicionamento de gelo utilizado pode ser visto na Figura 36.

FIGURA 36 - Acondicionamento de gelo no protótipo.



Fonte: Elaboração própria.

A sala onde o protótipo encontrava-se teve o ar-condicionado desligado para atingir uma temperatura mais natural para o teste. As medições começaram às 18:37 hs, sendo aferida a temperatura ambiente em 24,0° C. A cada dez minutos foram feitas mais medidas, conforme Tabela 12.

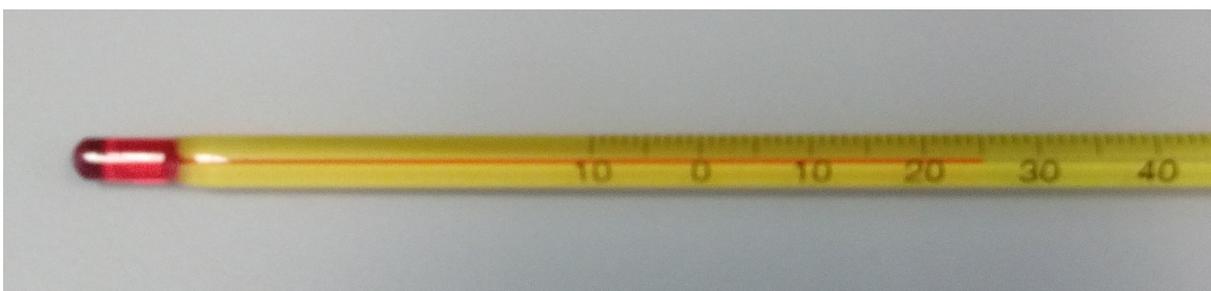
TABELA 12 - Medições de temperatura interna após colocação de gelo.

Horário da medição	Temperatura
18:47	24,0° C
18:57	23,9° C
19:07	23,3° C
19:17	22,9° C
19:27	22,2° C
19:37	22,0° C

Fonte: Elaboração própria.

Após estas medidas, colocou-se o termômetro mais próximo do gelo, na parte do carrossel sob o funil de coleta de amostras. Após um período de 10 minutos, a temperatura atingiu 21,0° C. O teste final foi a aferição de temperatura externa, após 5 minutos de repouso do termômetro, com a temperatura de 25 ° C. A Figura 37 mostra a temperatura final aferida.

FIGURA 37 - Medição temperatura ambiente após o teste.



Fonte: Elaboração própria.

Chegou-se a conclusão que o método utilizado é insuficiente para garantir a refrigeração necessária.

7 CONCLUSÃO

A proposta apresentada visa oferecer uma alternativa tecnológica de baixo custo que possa facilitar a coleta de amostras de água por pesquisadores, em relação a produtos mais caros disponíveis.

O método de desenvolvimento de produto de Pahl e Beitz (1996) adotado permitiu a obtenção das especificações, o levantamento das tecnologias disponíveis e o detalhamento dos componentes.

A montagem do protótipo seguiu o planejamento desde o projeto informacional até o projeto detalhado. Após isso iniciou-se os testes. Descobriu-se que o sistema proposto inicialmente para coleta de água precisou ser ajustado, devido à pressão insuficiente para passagem de água através da válvula interna. Retirou-se a válvula externa para eliminar esse problema, aumentando a pressão sobre a válvula interna ao custo de uma menor precisão do enchimento dos tubos de ensaio com amostras através da temporização. É altamente recomendado a colocação de um sensor para averiguação do volume de amostra, melhorando a exatidão do sistema independentemente da altura do corpo de água a ser amostrado.

A integração da IHM com as funções de controle do protótipo ocorreram de forma esperada, cumprindo a execução das funções da maneira planejada. Para a execução dos *scripts* em *Python*, foi necessário dar autorização de usuário *root* ao servidor Apache. Recomenda-se uma solução mais segura.

O método de carrossel para coleta de amostras mostrou-se eficiente, com precisão adequada e montagem simples, com poucas conexões mecânicas e portanto com baixa necessidade de manutenção, permitindo a sua retirada e substituição por outro carrossel pré-montado, agilizando o processo de troca.

Recomenda-se uma outra abordagem do sistema de refrigeração, necessária para atingir os patamares recomendados de temperatura. A utilização de melhor isolamento térmico também se faz necessária. O uso de fixadores como formol aplicados aos frascos antes da introdução na máquina é imprescindível.

Uma outra sugestão refere-se a uma mudança na localização do sensor capacitivo, colocando-se o mesmo lateralmente, resolvendo o problema de deposição de água no sensor. Novas válvulas que permitam a fluidez de água a

partir do tanque de equalização poderiam permitir o funcionamento do projeto como originalmente planejado, melhorando muito a exatidão e a previsão da coleta de água por temporização.

Sugere-se ainda a adoção de novos materiais para a substituir a caixa metálica do módulo mecânico, que fica muito susceptível à oxidação. Isso é necessário para acondicionar um equipamento como esse em campo, protegendo-o de intempéries e variações de temperaturas que podem afetar negativamente os componentes utilizados.

Destaca-se que o uso de HTML e PHP elimina a necessidade de ter um servidor WEB dedicado ao projeto, pois pode-se monitorar e configurar equipamento a qualquer lugar que tenha acesso à WEB sem a necessidade de instalação de nenhum programa adicional. Seria interessante e perfeitamente viável a adição de acesso via wireless, facilitando o acesso à IHM do protótipo.

O custo permanece como uma vantagem, mesmo não estando disponível uma estrutura industrial de produção. Pode-se observar na Tabela 13 uma estimativa dos preços dos principais componentes em dezembro de 2018.

TABELA 13 - Custos dos principais componentes do protótipo.

Equipamento	Preço (em R\$)
<i>BeagleBone Black</i> Rev.C	534,90
Fonte DC Chaveada 5V/2A	39,90
Módulo Relé 5V 2 Canais	12,90
Motor de Passo NEMA 23	149,90
Válvula Solenóide 12V 3/4"	43,50
Driver Motor de Passo - TB6560	50,25
Optoacoplador 4N25	1,89
Extensão articulada usada como suporte	50,00
Extensão para conexão à rede elétrica	25,00
Fonte ATX	70,00
Sensor capacitivo	200
Outros equipamentos	400
Total	1578,24

Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao equipamento ISCO Sampler 6712, observa-se um preço inferior, já que este apresenta um custo superior a \$1000 dólares (aproximadamente R\$ 3.792,51 em novembro de 2018),

Por fim, considerou-se que o conceito da máquina é factível e pode efetivamente ajudar na pesquisa ambiental ao automatizar o processo de amostragem, melhorando a qualidade de vida do pesquisador e aumentando a qualidade e repetibilidade das amostras, em qualquer condição climática.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri: Manole, 2008. 407p., il. Inclui bibliografia. ISBN 9788520421161.

BERNHARD et al. A Sampler for the Aseptic Collection of Water Samples in the Sea. **Marine Biology**, Fiascherino-La Spezia, Itália, nº 25, p.339-343, janeiro, 1974.

BRANHAM, Stacy M. WAHID, Shahtab. MCCRICKARD, D. Scott. **Channeling Creativity: Using Storyboards and Claims to Encourage Collaborative Design**. Workshop on tools in Support of Creative Collaboration, 2007, Washington DC.

CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª Edição. Florianópolis: Editora Bookman, 2014.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira; GOMES, Marcos Antonio Ferreira; SOUZA, Manoel Dornelas de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p. ISBN 85-85771-43-7

International Electrotechnical Commission. **IEC60617: Graphical Symbols for Diagrams**. Disponível em: <<https://www.iec.ch/>>. Acessador em: 29/12/2018.

ISCO SAMPLER 6712. Acessado em: <22 de novembro de 2018>. Disponível em: <<https://www.ebay.com/itm/ISCO-WASTE-WATER-SAMPLER-6712-NO-BOTTLES-INCLUDED-ISCO-6712-ISCO-WATER-SAMPLER/272977703673?hash=item3f8ebd32f9:g:dg4AAOSwTQtaLdSD:rk:5:pf:0>>

Ministério Público de Santa Catarina - Centro de Apoio Operacional do Meio Ambiente (CME). **Manual Técnico para coleta de amostras de água**. Coleção Suporte Técnico-Jurídico. Acessado em: 01 de novembro de 2017. Disponível em: <<https://www.mpsc.mp.br/cao-meio-ambiente/publicacoes-tecnicas>>.

MOLLOY, Derek. **Exploring BeagleBone: Tools and Techniques for Building with Embedded Linux®**. Indianapolis, Indiana, EUA: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2 ed. London: Springer Verlag, 1996.

PARRON, Lucília Maria; MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas; PEREIRA, Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem a análise físico-química de água**. Embarpa florestas, 2011. ISSN 1980-3958; 219.

PORTABLE SAMPLERS FOR WATER & WASTEWATER. Acessado em: <<http://www.rshydro.co.uk/water-quality-monitoring-equipment/water-quality-testing-equipment/wastewater-samplers/portable-water-sampler/>> Disponível em: <25 de novembro de 2018>.

SANTOS, C. F. G. dos. CARPES JR, Widomar P. Desenvolvimento de Interface Homem máquina para dispositivo de automação de coleta de amostras de água. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, ISSN 2177-2649. Volume 6, p. 21–33, 2017.

SOUZA, Luciano Soares de. SPINOLA, MAURO de Mesquita. **Requisitos de usabilidade em projetos de interface centrado no usuário de software de dispositivos móveis**. . In: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza.

TANENBAUM, Andrew S. WETHERALL, David. **Redes de computadores**. São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2011. Tradução Daniel Vieira ; revisão técnica Isafias Lima.

Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 pg.

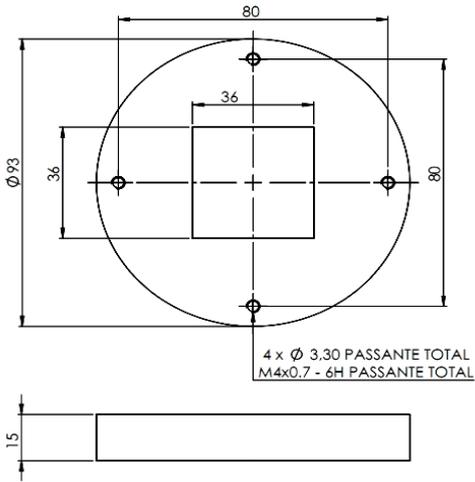
TELEDYNE ISCO, Inc. **6712 Portable Samplers. Installations e Operations Guide**. Revisão KK, 2016. Disponível em: <www.teledyneisco.com/en-us-Manuals>. Acessado em: 22 de Abril de 2017.

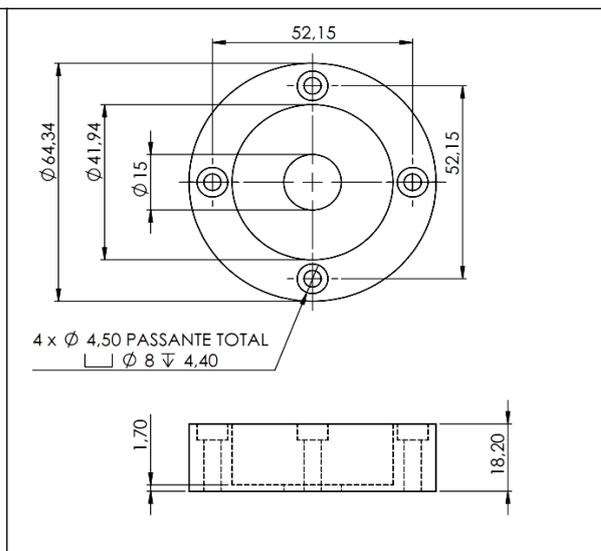
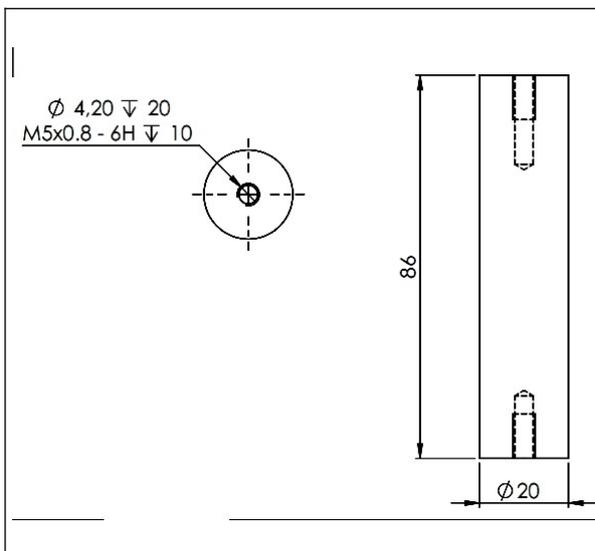
TEXAS INSTRUMENTS. **BeagleBone Black C**. Disponível em: <http://www.ti.com/tool/BEAGLEBK>.

The International Society of Automation (ISA). **ANSI/ISA-5.1:2009 - Instrumentation Symbols and Identification**. Disponível em: <<http://www.isa.org>.> Acessado em: 29/12/2018.

WHITMAN, Richard L. A new sampler for collection of interstitial water from sandy sediments. **Hydrobiologia**, nº 176/177, p.531-533, 1989.

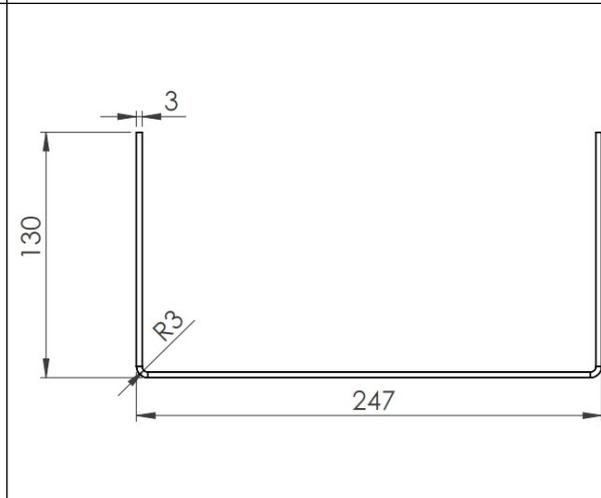
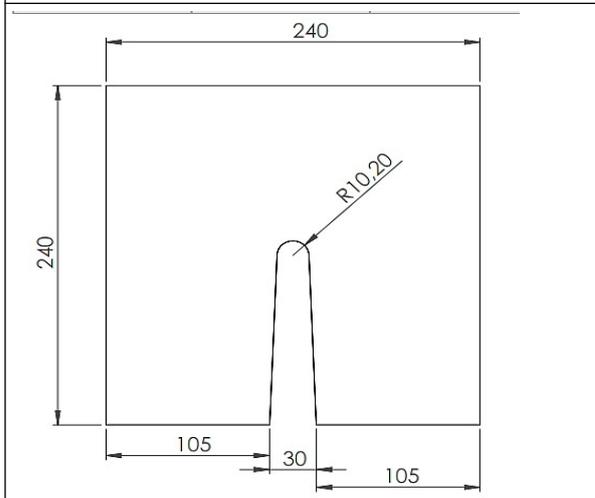
APÊNDICE A – Medidas dos componentes do Carrossel

Disco superior	Disco inferior
Encaixe com o motor de passo (fêmea)	Encaixe com o motor de passo (macho)
 <p>Technical drawing showing a circular component with the following dimensions and specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> Outer diameter: $\varnothing 93$ Inner diameter: 80 Distance from center to the top hole: 36 Distance from center to the bottom hole: 36 Distance from center to the left hole: 36 Distance from center to the right hole: 36 4 x $\varnothing 3.30$ PASSANTE TOTAL M4x0.7 - 6H PASSANTE TOTAL Dimension 15 is shown for a small rectangular feature on the left side. 	
Suporte do tambor	Encaixe do rolamento



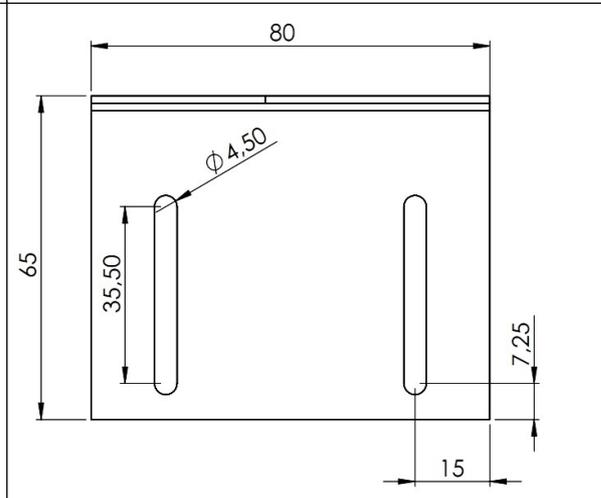
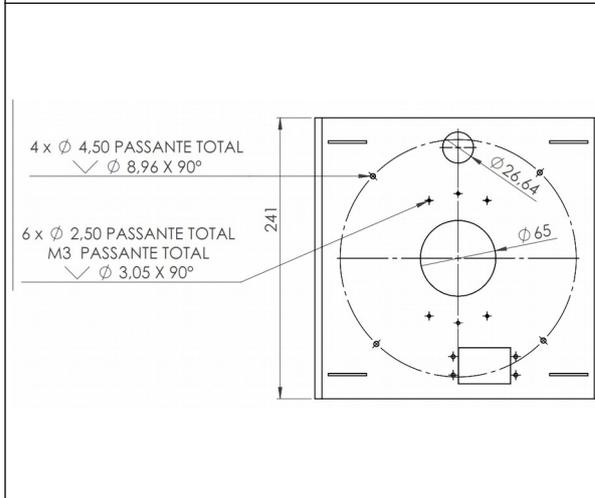
Tampa Carrossel (espessura 1,5 mm)

Caixa Carrossel (vista lateral)



Caixa Carrossel (vista superior)

Trava de tampa do carrossel



Caixa Carrossel (vista frontal)

Montagem completa

