

**UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - ESCOLA POLITECNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA**

**TANQUE PARA OTIMIZACAO DE ESPACO FISICO PARA
TREINAMENTOS AQUATICOS – “AQUAFIT”**

Guilherme da Costa Simas

**São Paulo
2005**

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - ESCOLA POLITECNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA

**TANQUE PARA OTIMIZACAO DE ESPACO FISICO PARA
TREINAMENTOS AQUATICOS – “AQUAFIT”**

**Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título em Engenharia**

Guilherme da Costa Simas

Orientador: Antônio Luis de Campos Mariani

Área de Concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2005

TE05
Sí4gt

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011811

FICHA CATALOGRÁFICA

Simas, Guilherme da Costa

Tanque para otimização de espaço físico para treinamentos aquáticos "AQUAFIT" / G. da C. Simas. -- São Paulo, 2005.

73 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Tanque de provas (Otimização) 2.Treinamento esportivo
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O trabalho de Formatura em questão analisou aspectos de criação de um novo produto para o mercado de esportes em academias de ginástica. Trata-se de um tanque de natação no qual o nadador nada contracorrente gerada por uma bomba acoplada no mesmo. Tal aplicação apresenta uma grande otimização de espaço físico nas instalações de academias de grandes centros urbanos, aumentando em 220% a relação aluno por m² nas dependências físicas do conjunto aquático da mesma. Tal produto apresenta ainda vantagens significativas aos usuários que, além de não precisar virar de um lado pro outro como acontece em piscinas convencionais, poderá ainda acompanhar sua velocidade, a distância percorrida e tempo. Aspectos com relação à viabilidade construtiva foram analisados, dentre eles o conforto acústico do usuário, que fora simulado em um modelo. Conclui-se tratar de um produto com um grande potencial de mercado.

ABSTRACT

The following graduation project analyzed some aspects of a creation of a new product for the indoor sports market. It is a small swimming pool where the swimmer would swim against a flow generated by a pump. This system represents a considerable space optimization inside Gym buildings, increasing in 220% the ratio of users per squared meter in the swim area. This product has also considerable advantages for the user himself. The swimmer won't have to turn back and forth to swim long distances like it normally happens in a normal swimming pool. He will also be able to control the speed, the time, and to know how far he has swum. Some aspects regarding the constructional viability were also analyzed, among them the user's acoustic comfort, that was simulated in a model. It can be concluded that the product presents a great market potential.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DA LITERATURA	3
4. VIABILIDADE DO PROJETO	5
4.1. Identificação das Necessidades	5
4.2. Mercado e Públco alvo	5
4.3. Descrição do Equipamento	6
4.3.1. Proposta Inicial	11
4.4. Viabilidade Econômica do Produto	13
4.4.1. Otimização de espaço e Custo – Benefício	13
4.4.2. Viabilidade Construtiva	15
4.4.2.1. Resistência Estrutural do Tanque	15
4.4.2.2. Determinação da Vazão	16
4.4.2.3. Seleção da bomba	21
4.4.2.4. Limpeza do Tanque	27
4.4.2.4.1. Instalação do sistema de limpeza no produto.	29
4.4.2.5. Sistema de Controle de Vazão	34
4.4.2.6. Conforto do Usuário	35
4.4.2.6.1. Conforto Acústico e vibratório	36
4.4.2.6.2. Qualidade da água	38
4.4.2.6.3. Entretenimento	39
4.4.3. Aceitação Mercadológica	39
5. ESTUDO DE MODELO	41
5.1. Objetivos a serem alcançados	41
5.2. Aspectos Financeiros	41
5.2.1. Captação de recursos financeiros	42
5.2.2. Custos	42

5.3. Construção de um modelo fisico	43
5.3.1. Determinação da escala	43
5.3.2. Descrição do aparato experimental	44
5.3.3. Medições	52
5.3.4. Apresentação dos Cálculos e Resultados	58
5.3.5. Conclusões dos ensaios do modelo fisico	66
6. EQUIPAMENTOS SIMILARES	67
7. CONCLUSÕES	74
LISTA DE REFERÊNCIAS	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.4.2.3.1 Cálculos de perda de carga do sistema	22
Tabela 4.4.2.4.1 Tempo máximo de recirculação	30
Tabela 4.4.2.4.2 Características técnicas do filtro de areia escolhido	31
Tabela 4.4.2.4.3 Dimensões físicas de um filtro de cartucho de 5,6 m ³ /h..	32
Tabela 5.3.4.1 Apresentação dos dados coletados em algumas freqüências sem tratamento numérico.....	59
Tabela 5.3.4.2 Apresentação dos dados coletados em algumas freqüências com tratamento numérico.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.3.1: vista em perspectiva do produto	7
Figura 4.3.2: Outra vista em perspectiva do produto	8
Figura 4.3.3: Vista em perspectiva do retificador de escoamento isolado.	9
Figura 4.3.4: Outra vista em perspectiva do retificador de escoamento isolado	9
Figura 4.3.5: Esquema de aberturas na parede do produto	10
Figura 4.3.6: Esquema de divisão de vazão	11
Figura 4.3.7: Esquema do retificador de escoamento em estudo	11
Figura 4.3.1.1: Dimensões físicas aproximadas do produto	12
Figura 4.4.1.1: Esquema da instalação de uma piscina de 20x10m com 6 raias em uma academia típica de São Paulo	13
Figura 4.4.1.2: Esquema da instalação de 26 tanques em uma área de 22,5x12,8m com 6 fileiras de tanques	14
Figura 4.4.2.2.1: Esquema para cálculo da vazão necessária	18
Figura 4.4.2.2.2: Esquema para cálculo da área da seção transversal por onde o fluido escoa no modelo de primeira aproximação	19
Figura 4.4.2.3.1: Visualização dos trechos de perda de carga	22
Figura 4.4.2.3.2: Áreas de aplicação da família de bombas Megabloc da KSB	25
Figura 4.4.2.3.3: Curvas da família de bombas Megabloc 100-160 da KSB	26
Figura 4.4.2.5.1: modelo de um possível <i>design</i> para o painel de controle de vazão	34
Figura 4.4.2.6.1.1: Esquema de instalação de uma luva nos dutos para amenizar a vibração	37
Figura 4.4.2.6.1.2: Esquema do caiço de borracha para redução de vibração nas instalações do “Badu Jet”.....	38
Figura 5.3.2.1: Visão geral do aparato experimental fora de operação.....	44
Figura 5.3.2.2: Ciclo em regime permanente	46
Figura 5.3.2.3: Dados técnicos fornecidos pelo fabricante	47

Figura 5.3.2.4: Vista interna da bomba radial utilizada	48
Figura 5.3.2.5: Esquema das linhas de sucção e de pressão da bomba utilizada..	49
.....	
Figura 5.3.2.6: esquema da tubulação em detalhe	50
Figura 5.3.2.7: Vista dos quatro jatos de água ainda emersos, antes de entrarem em operação	51
Figura 5.3.2.8.: Dimensões do reservatório em teste	52
Figura 5.3.3.1: Esquema de instalação dos microfones para medição de acústica...	53
.....	
Figura 5.3.3.2: Pontos de fixação dos acelerômetros	54
Figura 5.3.3.3 – Gravador Sony utilizado para gravar dados	55
Figura 5.3.3.4: Microfones utilizados	56
Figura 5.3.3.5: Foto do calibrador de microfones utilizado	57
Figura 5.3.3.6: Calibrador de anemômetros utilizado	58
Figura 5.3.4.1: Dados referente ao Microfone 1 em 3 posições diferentes em função da freqüência	60
Figura 5.3.4.2: Dados referente ao Microfone 1 em 3 posições diferentes em função da freqüência	61
Figura 5.3.4.3: Curva do circuito de compensação A pela freqüência	62
Figura 5.3.4.4: Valores corrigidos pelo Circuito de Compensação A	63
Figura 5.3.4.5: Níveis de ruído médio em algumas atividades	64
Figura 5.3.4.6 : valores medidos com os acelerômetros com fatores de calibração inclusos	65
Figura 5.3.4.7: valores medidos com os acelerômetros com circuito de compensação A incluso	65
Figura 6.1: Foto do manual de instruções do aparelho Badu Jet	68
Figura 6.2: Imagem de uma instalação de um equipamento para se nadar contra corrente	69
Figura 6.3: Foto da instalação do motor e da bomba	70
Figura 6.4: Foto da instalação das tubulações	71
Figura 6.5: Foto do suporte do motor	72
Figura 6.6: Foto da instalação elétrica	73

1. INTRODUÇÃO

O expressivo crescimento das grandes cidades no mundo tornou importante o aproveitamento otimizado de tudo o que é fornecido pela natureza, desde recursos naturais até o espaço físico.

Esta busca pelo aproveitamento otimizado de espaço pode ser notada expressivamente com o crescimento visível do número de edifícios e a redução do espaço médio dos apartamentos.

Esta redução de espaço a ser ocupado por um ser humano também pode ser percebida no ramo das atividades físicas, no qual este Projeto de Formatura se insere. Há algum tempo atrás as pessoas faziam “cooper” e andavam de bicicleta ao ar livre, nadavam em rios e lagos. Nesta época havia muito espaço para prática destas atividades. No entanto, as restrições de espaço chegaram neste segmento e com elas também as alternativas para superá-las. Começou-se, então, querer colocar estas pessoas acostumadas com atividades “out-doors” em espaços fechados realizando estas atividades físicas em aparelhos adaptados.

Numa primeira visão, tais alternativas pareceram insanidades e despertaram um senso comum de que aquilo nunca daria certo. Imaginem colocar uma pessoa pedalando numa bicicleta que não sai do lugar? Ou então propor a uma pessoa que ficasse correndo sobre um cinturão que se move e forçasse-a a ficar entre barras para se apoiar quando se desequilibrasse? Ou ainda propor a uma pessoa que fique nadando num tanque de 20 m de comprimento? Ela não ficaria tonta tendo que virar pro outro lado toda vez?

Porem, hoje as pessoas se acostumaram a “fazer” bicicleta estática, correr em esteiras e nadar em piscinas de academias de ginástica. Este projeto apresenta um novo passo dentro deste novo mercado.

2. OBJETIVOS

A proposta deste Projeto de Formatura é o desenvolvimento de uma “esteira” aquática. Parecida com a esteira convencional de corrida, o nadador nadaria contra corrente. Esta corrente seria proporcionada por uma bomba hidráulica acoplada em seu tanque individual. Cada tanque terá uma bomba separada, como cada esteira de corrida tem um motor por esteira.

Este projeto visa o aumento da taxa de aluno/m² e consequentemente \$/m² no conjunto aquático de uma academia. Considerando a atividade de natação, a relação se torna baixa pela impossibilidade de se colocar mais alunos por raia nadando. No máximo há espaço para dois por raia, deixando o usuário insatisfeito por ter que prestar a atenção quando os dois se cruzam. Caso queira-se colocar três por raia, estes terão que nadar fazendo um tipo de circuito e terão que ter uma velocidade muito próxima para que os mesmos não passem por desconfortos maiores.

Este projeto de Trabalho de Formatura, denominado provisoriamente “AquaFit”, terá a abordagem do desenvolvimento de um produto, contando com análises técnico-econômicas, tanto do aspecto construtivo como o de aceitação no mercado, visando a inserção do produto no mercado brasileiro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA

Neste estudo foram utilizadas informações de fontes formais e informais. Dentre as fontes formais destacam-se duas. A primeira são livros técnicos de Mecânica dos Fluidos [1]. Deste foram extraídas informações referentes ao Diagrama de Moody – Rouse, para estudo do escoamento presente no produto proposto. A identificação se o escoamento seria turbulento ou laminar, através deste diagrama, está sendo de fundamental importância para discussão sobre a montagem do modelo deste produto em escala reduzida de 1:5.

Outra fonte de pesquisa foi a publicação “Projeto de Piscinas”. Embora tenha sido encontrada durante pesquisa na internet, podendo ser tratada como fonte informal, trata-se de uma publicação datada de Outubro de 1999 em sua terceira edição. Informações sobre o autor não constam. No decorrer do texto, o autor dimensiona uma piscina hipotética utilizando produtos da empresa Jacuzzi (www.jacuzzi.com.br), podendo se tratar de uma publicação da própria empresa, alem do fato desta publicação se encontrar hospedada no site da empresa Jacuzzi.

No texto o autor descreve o procedimento para dimensionar corretamente uma piscina convencional. Várias informações deste texto foram utilizadas para elaboração de estudos e dimensionamentos de equipamentos requeridos no produto em desenvolvimento.

Fontes informais também foram largamente pesquisadas. Dentre elas podem-se destacar pesquisas na internet por preços, por informações gerais sobre produtos para piscinas e por produtos que possuem algumas características similares ao produto em desenvolvimento.

Informações sobre como executar os diferentes tipos de aspiração foram obtidas do site www.mizunami.com.br/filtro.html. Informações sobre produtos químicos a serem utilizados em piscinas foram obtidas diretamente do site <http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>.

Outras fontes informais de extrema importância para o desenvolvimento deste produto foram conversas com vários professores de diversas áreas. A começar, as primeiras ideias sobre o desenvolvimento deste produto foram discutidas com professor orientador deste projeto (Prof. Dr. Antônio Mariani – Departamento de

Engenharia Mecânica da Escola Politécnica - USP) para analisar, mesmo que qualitativamente a exeqüibilidade do projeto. Na Alemanha, na Universidade de Darmstadt (Technische Universität Darmstadt), obtive informações vitais ao projeto com relação ao conforto acústico. Conversas com o professor da disciplina Acústica I e II da TU – Darmstadt, Doktor Rainer Storm foram proveitosas para obter dicas de como reduzir o ruído neste projeto e assim aumentar o conforto do usuário do produto.

Outro professor da TU – Darmstadt, agora da área de hidráulica, Doktor Gerhard Ludwig, propôs a possibilidade de uma simulação numérica para determinar o comportamento do escoamento no projeto.

O Doktor Lothar Kurtze também contribuiu significativamente em fornecer informações e sugestões. Ele possui em sua residência uma máquina que gera um escoamento contínuo em sua piscina particular. Embora não se trate do mesmo produto, havia informações importantes que pude obter com ele, principalmente por ele utilizar este aparelho e identificar pontos positivos e negativos do gerador de fluxo.

4. VIABILIDADE DO PROJETO

Como todo produto, o AquaFit será desenvolvido para atender a necessidades identificadas no mercado. Estas estão detalhadas a seguir.

4.1 Identificação das Necessidades

Basicamente, o AquaFit chegaria ao mercado para suprir 3 necessidades:

- *Elevar a razão aluno/m² em complexos aquáticos de academias de grandes centros urbanos:* resultaria em aumento do numero de clientes da academia sem haver a necessidade de aumento do espaço físico da mesma.
- *Proporcionar ao atleta o acompanhamento instantâneo de seu desempenho:* assim como a esteira de corrida, este novo produto informara ao usuário dados sobre seu desempenho, como: tempo de treino, velocidade instantânea, velocidade media e distancia percorrida.
- *Proporcionar a academia de ginástica um diferencial no treinamento de atletas:* este novo equipamento daria um “status” bem interessante à academia do ponto de vista de inovação e modernidade, o que resultaria num aumento de demanda, aumentando a receita do proprietário sem ocorrer o aumento do preço da mensalidade paga pelos usuários.

4.2. Mercado e público alvo

O AquaFit é destinado ao mercado de academias de ginástica que apresentam limitações de espaço físico. Estabelecimentos com estas características são mais comuns em grandes centros urbanos, onde o preço dos terrenos é muito alto. Além disto, pode existir o fato dos vizinhos não quererem vender os imóveis ao redor numa possível tentativa de ampliação da academia, obrigando o proprietário a achar meios de otimizar o espaço interno disponível.

O produto possui restrições quanto às características do usuário:

- Analogamente às esteiras de corrida, o Aquafit não deverá ser utilizado por crianças.
- A primeira utilização do equipamento deverá ser acompanhada por um instrutor da academia (professor de educação física / “personal trainer”) para a familiarização do usuário com a interface do equipamento. Este procedimento é realizado com freqüência em esteiras de corrida.
- Deve-se ressaltar a necessidade dos usuários que possuírem cabelos longos de prendê-los antes da utilização do equipamento. Assim evita-se que os mesmos sejam sugados pelos bocais num eventual mau uso do mesmo.
- Não há ressalvas maiores em relação à utilização deste equipamento por pessoas idosas, a não ser relativa à parte médica.

Este equipamento também poderá ser utilizado por qualquer tipo de reabilitação motora que exija o esforço do usuário contra uma corrente de água. O uso para portadores de deficiências locomotoras é recomendável sob supervisão de um instrutor / responsável médico.

4.3. Descrição do Equipamento

O tanque proposto comportaria somente 1 pessoa. A seguir estão apresentados os primeiros esboços de design do produto (Figura 4.3.1 e 4.3.2). É interessante ressaltar que mudanças estruturais foram realizadas ao longo de um estudo mais profundo e detalhado. Porém tais desenhos são úteis para uma primeira visão da forma do produto.

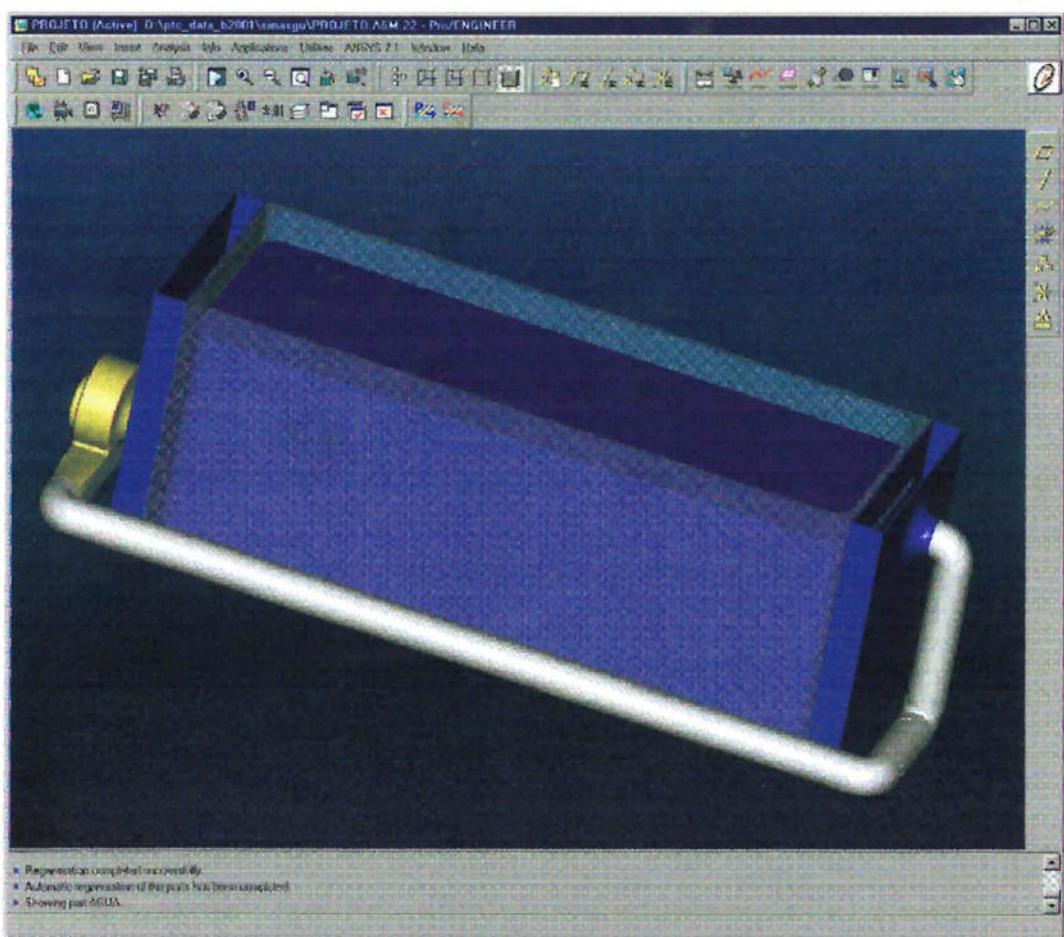


Figura 4.3.1: vista em perspectiva do produto.

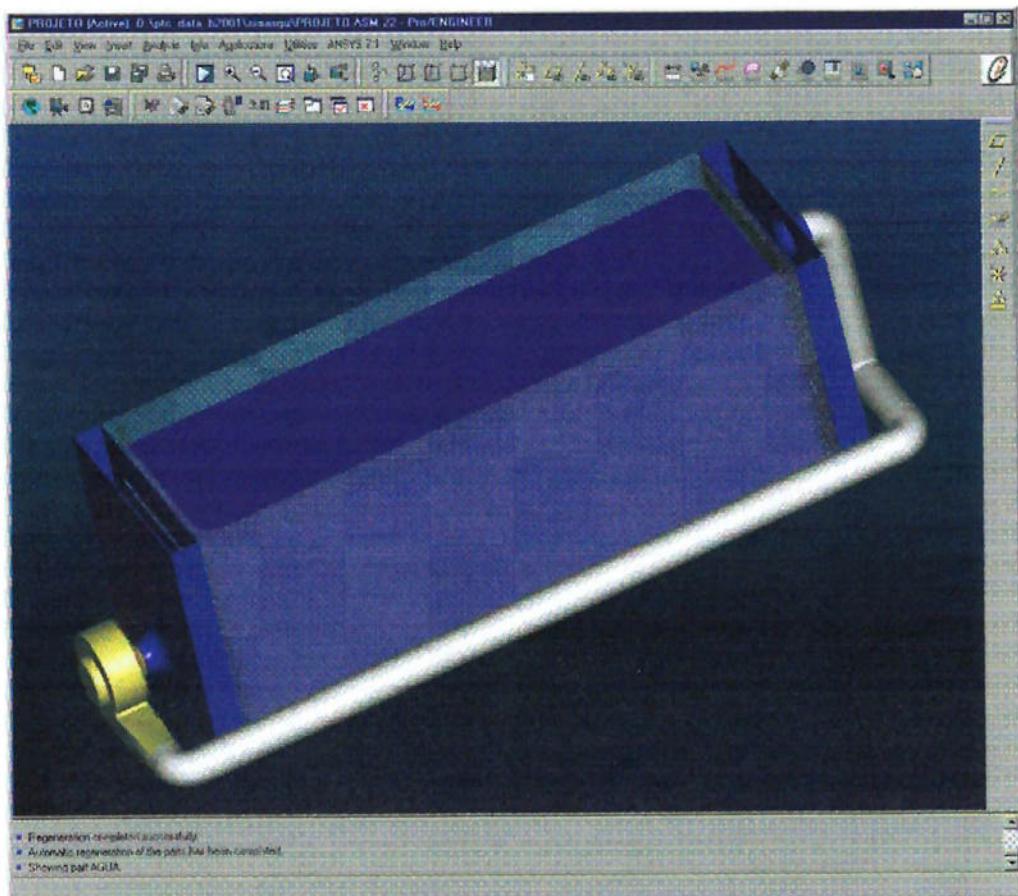


Figura 4.3.2: Outra vista em perspectiva do produto.

Na figura 4.3.1 e 4.3.2 podemos ver a bomba radial (em amarelo) acoplada a uma tubulação. Esta tubulação interliga dois retificadores de escoamento, um em cada extremidade do tanque. Estes retificadores teriam a função de “equalizar” os jatos d’água que adentram o tanque. Vistas de um retificador isolado estão apresentadas nas figuras 4.3.3 e 4.3.4.

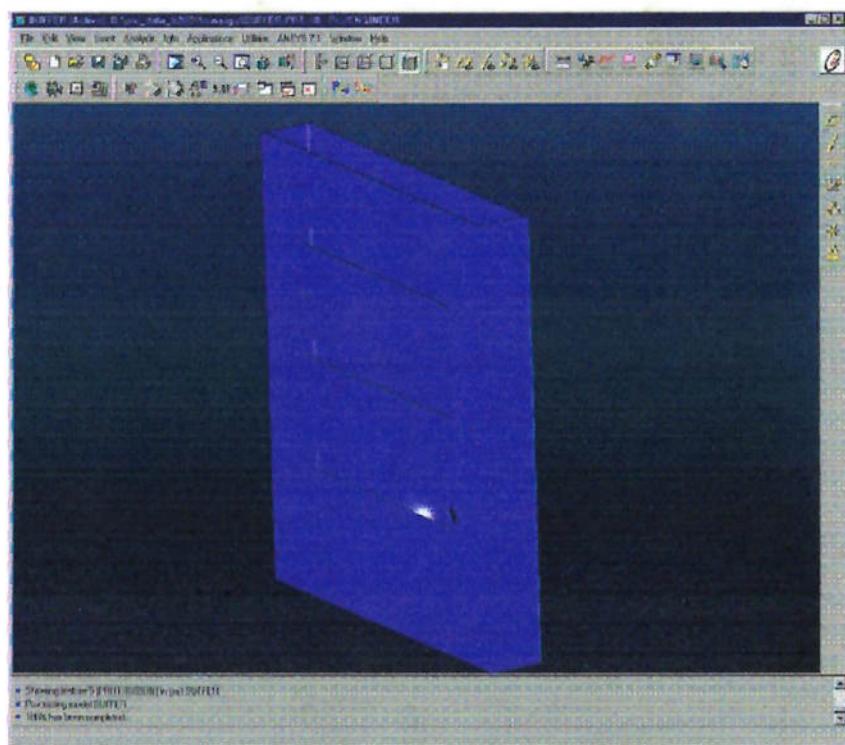


Figura 4.3.3: Vista em perspectiva do retificador de escoamento isolado.

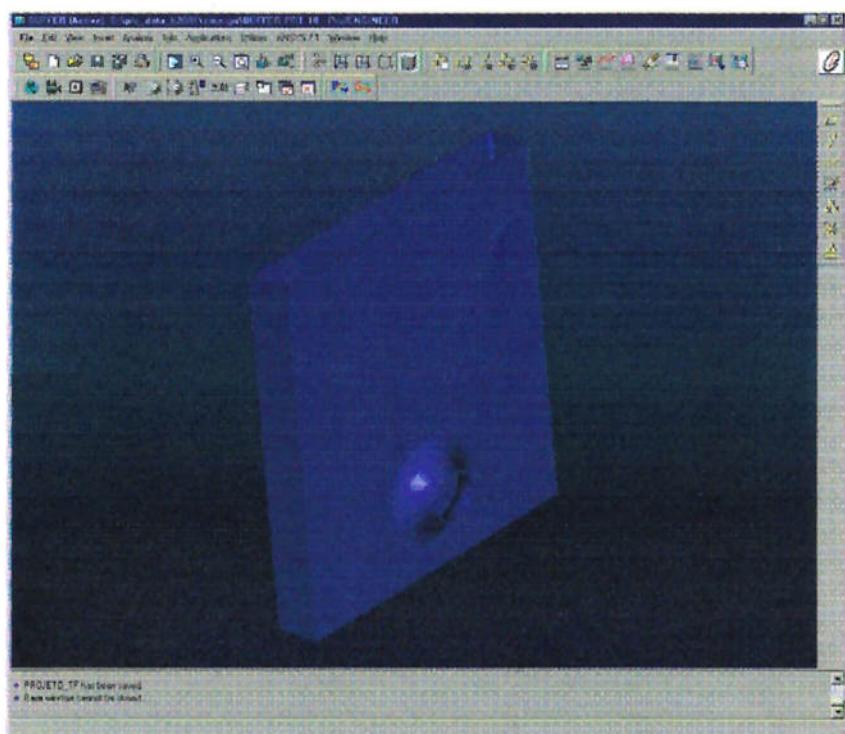


Figura 4.3.4: Outra vista em perspectiva do retificador de escoamento isolado.

Analisando a estrutura do retificador de escoamento podemos perceber que os rasgos se encontram mais próximos à superfície do que do fundo do tanque. Esta alternativa seria interessante para otimizar a correnteza das camadas superiores de água. As camadas próximas ao fundo não necessitam ter a mesma velocidade. Seria um desperdício de energia tentar move-las na mesma velocidade que as superiores.

Após algumas análises chegou-se a decisão de eliminar a então proposta dos retificadores de escoamento e fazer aberturas igualmente espaçadas. Estas aberturas também seguem a mesma idéia de se localizarem próximo à superfície para otimizar a movimentação da camadas superiores de água. Essas aberturas podem ser vistas na figura 4.3.5.

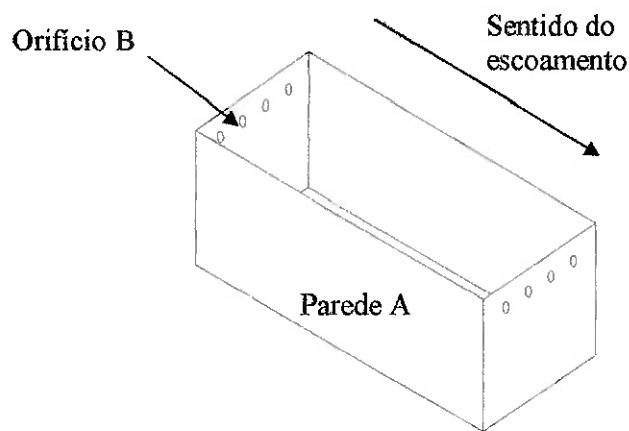


Figura 4.3.5: Esquema de aberturas na parede do produto.

A água seria conduzida da bomba aos orifícios de alta pressão por intermédio de uma mangueira de material polimérico (ou um tubo flexível) acoplada a estes por meio de conectores. Depois esta vazão seria dividida em partes iguais duas vezes para que seja possível obter quatro jatos de água de igual vazão. Tal esquema pode ser visto na figura 4.3.6. logo abaixo.

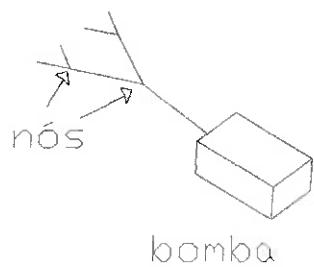


Figura 4.3.6: esquema de divisão de vazão.

Estuda-se a possibilidade de se fazer uma caixa retificadora de escoamento. Os fatores de perda de carga serão analisados futuramente para verificar a eficácia em tal aplicação. Um esquema deste retificador pode ser visto na figura 4.3.7 abaixo:

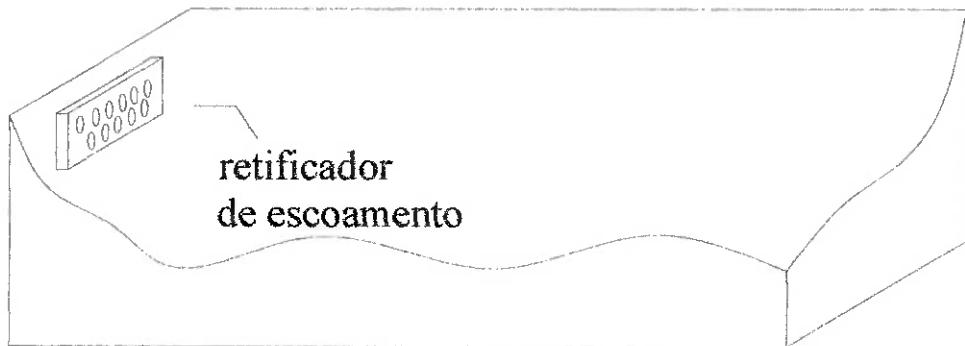


Figura 4.3.7: Esquema do retificador de escoamento em estudo.

4.3.1 Proposta Inicial

O AquaFit possui dimensões próximas das mostradas na figura 4.3.1.1 logo abaixo.

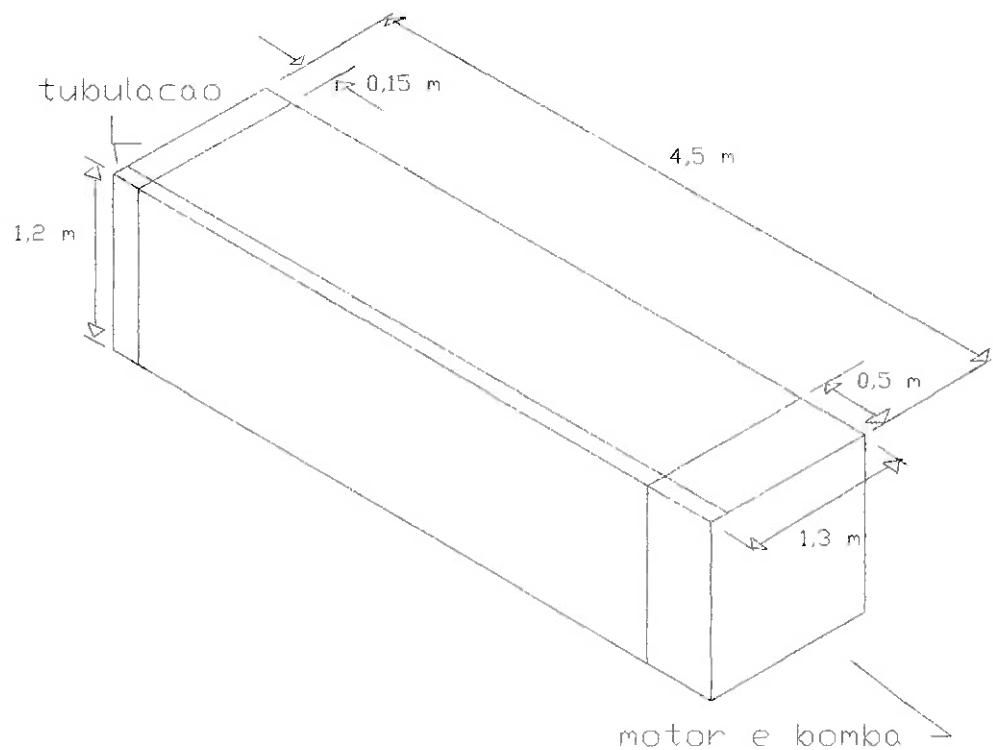


Figura 4.3.1.1: Dimensões físicas aproximadas do produto.

As medidas deste equipamento acima mostradas foram dimensionadas com folgas consideráveis a partir das dimensões corporais de uma pessoa com 1,90 m de altura com seus braços estendidos. É importante ressaltar que tais folgas foram deixadas visando a adequação deste equipamento para pessoas com altura de até 2,00 m.

Considerações sobre viabilidade construtiva e sistemas de controle serão apresentadas dentro da seção de viabilidade econômica do produto, mais precisamente, na parte sobre a viabilidade construtiva do equipamento (Seção 4.4.2).

4.4. Viabilidade econômica do Produto

Nesta seção serão levados em consideração vários aspectos sobre a viabilidade econômica do produto a ser desenvolvido. Esta análise será dividida em: análise de otimização de espaço e custo - benefício, viabilidade construtiva, aceitação mercadológica e estratégias de marketing.

4.4.1. Otimização de Espaço e Custo - Benefício

A grande maioria das academias da cidade de São Paulo, principais clientes, apresenta piscinas não muito grandes, por volta de 6 a 8 raias com aproximadamente 20m de comprimento. As dimensões variam, principalmente de acordo com a localização geográfica do estabelecimento. Para uma primeira abordagem consideremos as dimensões mostradas na figura 4.4.1.1.

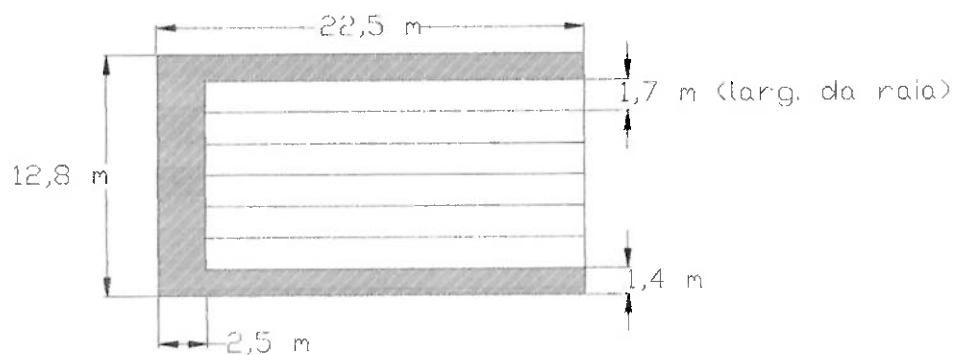


Figura 4.4.1.1: Esquema da instalação de uma piscina de 20x10m com 6 raias em uma academia típica de São Paulo.

A relação aluno/m² nesta configuração seria de 12 alunos por 288 m² (22,5m x 12,8 m) no valor de 0,0417 alunos /m².

Com a implantação deste novo produto pode-se chegar a uma nova taxa de ocupação do espaço físico em questão. Fazendo esta mesma relação e seguindo o lay-out de distribuição apresentado abaixo (figura 4.4.1.2) no mesmo espaço físico da academia em questão teríamos a relação de 26 alunos em 288 m², no valor de 0,0903 alunos/m².

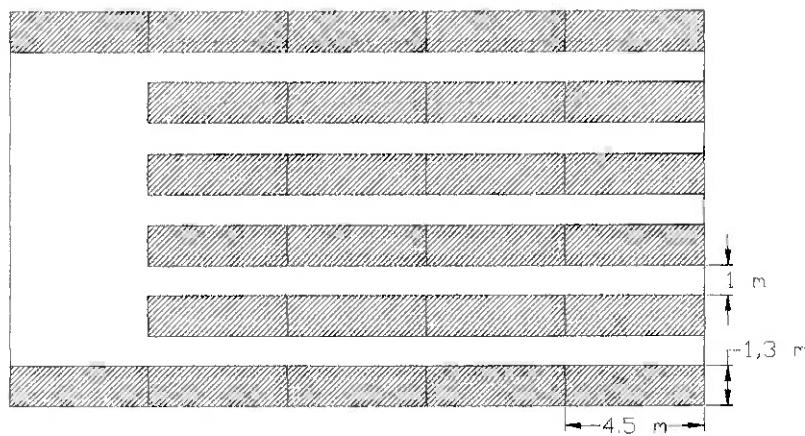


Figura 4.4.1.2: Esquema da instalação de 26 tanques em uma área de 22,5x12,8m com 6 fileiras de tanques.

Comparando com a situação com a piscina, temos um incremento de aproximadamente 220% na relação alunos/m², sem considerarmos mudanças de demanda da academia. Análises sobre o impacto na demanda com a implantação deste sistema serão apresentadas na seção “Aceitação Mercadológica” (Seção 4.4.3).

4.4.2. Viabilidade Construtiva

Como qualquer produto, este também apresenta alguns pontos que devem ser analisados mais precisamente quanto ao aspecto construtivo. Nesta seção serão discutidos os principais fatores que poderão encarecer ou comprometer a construção do produto estudado.

4.4.2.1. Resistência Estrutural do Tanque

O tanque proposto possui aproximadamente 5700 L de água na parte em que o nadador treinará. A pressão que a água fará nas paredes do reservatório não será tão grande a ponto de impedir ou dificultar a construção deste tanque. A pressão estática que a água imporá às paredes do tanque pode ser obtida a partir da equação 4.4.2.1.1 logo abaixo.

$$P_{est} = \rho \cdot g \cdot h \quad (4.4.2.1.1)$$

Onde:

P_{est} é a pressão estática exercida nas paredes do tanque;

ρ é a densidade da água – 1000 kg/m³;

g é a aceleração da gravidade – 10 m/s²;

h é a profundidade do tanque – 1,2 m;

A região crítica do tanque se encontra justamente nas “emendas” entre as paredes do tanque e o solo do mesmo. Nesta região, onde a profundidade é de 1,2m encontramos uma pressão estática relativa de 1,2 .10⁴ MPa.

Também poderíamos considerar a influência da pressão dinâmica na estrutura do tanque. Considerando um valor de vazão estimado na seção O que se pode concluir de antemão é que a influência desta pressão dinâmica não será grande o suficiente para requisitar aumento de reforços estruturais e consequentemente aumento do preço para construção do mesmo.

Existem algumas alternativas de materiais para a construção do tanque. São eles:

- *Tanque de vidro*: parecido com um aquário, teria suas justas vedadas com colas de silicone, parecidas com a solução encontrada para aquários.
- *Tanque de cimento e azulejos*: configuração tipo piscina. Pode haver outros inconvenientes como custo, estética e impossibilidade de locomoção do tanque.
- *Tanque de fibra de vidro*: parecido com as piscinas pré-moldadas.

A princípio as três soluções são possíveis. No caso de piscinas pré-moldadas, pode-se negociar com fabricantes a possibilidade de construção de um modelo com tais dimensões.

A decisão sobre qual material será ser utilizado caberá ao cliente, visto que ambos os três são possíveis de serem utilizados, diferenciando-se pelo preço. Porém análise referentes a disponibilidade física para montagem / transporte do modelo requisitado deverá ser efetuada.

4.4.2.2. Determinação da Vazão

Esta seção trata-se de um dos pontos vitais do projeto. Através da determinação do valor da vazão e das características físicas da instalação, pode-se dimensionar a bomba e o motor para esta aplicação.

A seguir estão descritos os métodos viáveis para determinação da vazão. O dimensionamento da bomba é tratado logo em seguida.

Métodos:

Para se fazer esta aproximação do valor necessário da vazão para esta aplicação há algumas possibilidades. Algumas estão descritas a seguir:

- *Determinação empírica*: é a maneira mais primitiva, muitas vezes utilizada em projetos de engenharia. Porém exige a construção de um protótipo (escala 1:1), o que pode consumir grandes quantias de tempo e dinheiro.
- *Determinação teórica*: através de aproximações de valores de velocidade em certos trechos do equipamento, conhecidas suas dimensões, este método apresenta uma ferramenta adequada para primeiras aproximações. O ideal é, após este passo, construir um protótipo para analisar a validade das considerações teóricas previamente realizadas.
- *Simulação computacional*: através de um software de simulação de sistemas hidrodinâmicos pode-se calcular a força de arrasto que um corpo com uma dada geometria sofre. Porém tais dados nem sempre são confiáveis, alem de se exigir muito tempo para elaboração de um modelo deste tipo.
- *Pesquisa por produtos similares*: produtos similares podem trazer boas informações para o desenvolvido de um determinado produto. No caso deste, foi encontrado um produto denominado “Badu Jet” do fabricante de mesmo nome. Trata-se de um gerador de fluxo contínuo (correnteza) que pode ser instalado em piscinas residenciais, para que o usuário possa nadar contra corrente. Maiores informações estão presentes na seção 6 (Equipamentos similares).

Aplicação do Método Escolhido:

Dentre as alternativas citadas, foi selecionada a determinação semi-empírica.

No método escolhido um primeira premissa supõe que a vazão pode ser obtida considerando-se um volume de água que se desloca na mesma velocidade do nadador. Será utilizada uma análise euleriana do movimento.

Portanto, a dificuldade maior está na determinação da seção pela qual será bombeada uma determinada quantidade de água suposta à mesma velocidade média que o nadador nada. Um esquema desta análise está apresentado abaixo na figura 4.4.2.2.1.

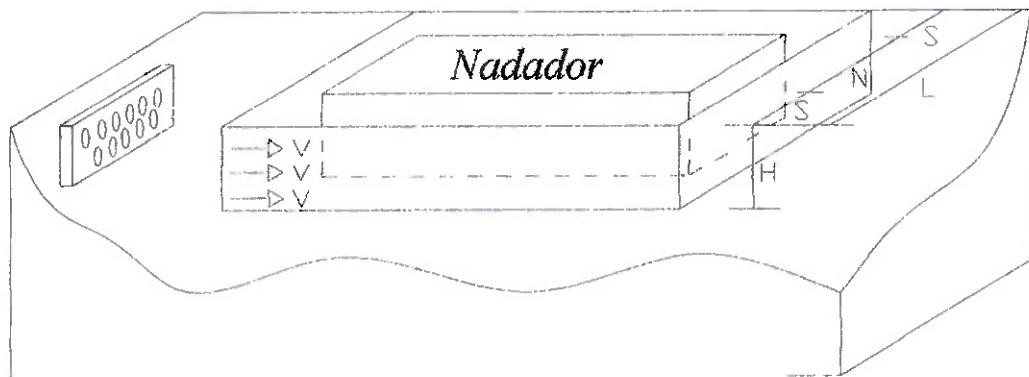


Figura 4.4.2.2.1: Esquema para cálculo da vazão necessária.

Modelagem em primeira aproximação:

a1) Estimativa de velocidade:

Para que esta estimativa seja próxima da realidade, tomar-se-á como base de comparação a estimativa normalmente feita para esteiras de corrida.

Um valor máximo de velocidade de corrida que se pode obter seria o recorde mundial dos 100m rasos. Hoje, o detentor deste recorde¹ é o jamaicano Asafa Powell, que aos 22 anos, marcou 9s77 no dia 14 de junho de 2005. Neste caso, a velocidade média do atleta foi de 10,24 m/s, equivalente a 36,85 km/h.

Normalmente, o que se encontra nas academias de ginástica são esteiras que não passam de 16 km/h. Portanto a velocidade máxima das esteiras é de 43,4% da velocidade do recorde mundial.

¹ <http://www.estadao.com.br/esportes/outros/noticias/2005/jun/14/139.htm>

Para dimensionar a velocidade máxima do AquaFit devemos tomar o recorde mundial² dos 50 m nada livre em piscina curta de 25 m pertencente ao francês Frederick Bousquet (21s10 – 2,37 m/s), em 25 de março de 2004 em Long Island nos Estados Unidos, e multiplicar por 0,434. Portanto o valor da máxima velocidade que o equipamento deverá fornecer é de 1,03 m/s, aproximado para 1,0 m/s.

b1) Cálculo da Área:

Nesta aproximação, a área da seção transversal pela qual o fluido deverá passar está apresentada na figura 4.4.2.2.2 abaixo.

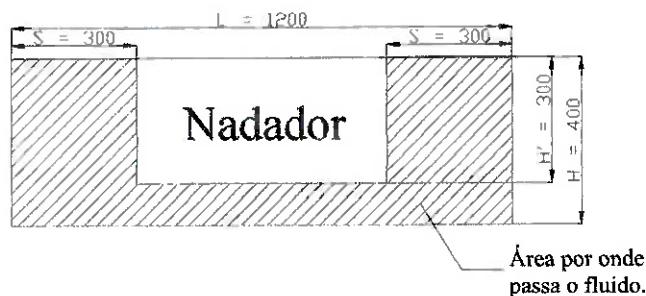


Figura 4.4.2.2.2: Esquema para cálculo da área da seção transversal por onde o fluido escoa no modelo de primeira aproximação.

Neste caso, o valor da área é dado pela equação 4.4.2.2.1 abaixo:

$$A = [2x(300x400)] + (100x600) = 0,3m^2 \quad (4.4.2.2.1)$$

c1) Vazão

Utilizando os valores previamente calculados, chegamos a uma vazão expressa pela equação 4.4.2.2.2:

$$Q = \frac{A}{V} = \frac{0,3m^2}{1,0m/s} = 0,3m^3/s = 1080m^3/h \quad (4.4.2.2.2)$$

² <http://www.swim.com.br>

Modelagem em segunda aproximação:

Algumas análises devem ser feitas com relação ao perfil de velocidades do fluido ao redor do nadador.

a2) Estimativa de velocidade:

Considerando-se o escoamento na região da camada limite próxima ao corpo do nadador modelado como camada limite turbulenta utilizou-se a equação proposta pela junção dos modelos de Blasius e Von Karman conforme 4.4.2.2.4..

$$\delta = 0,38 \cdot x \left(\frac{\nu}{U_{\infty} \cdot x} \right)^{1/5} \quad (4.4.2.2.4)$$

Onde:

δ - espessura da camada limite [m];

U_{∞} – velocidade do fluido ao longe [m/s];

ν - viscosidade cinemática da água [m^2/s];

x – comprimento [m];

Adotando para a velocidade ao longe do fluido o valor de 1m/s, conforme calculado acima, a equação 4.4.2.2.4 apresenta o valor da espessura da camada limite no caso do escoamento turbulento ao redor do corpo do nadador.

Considerando o comprimento de 1,90m, a viscosidade cinemática da água sendo $1e-6 m^2/s$ e a velocidade do fluido de 1 m/s, obtém-se a uma espessura de 0,040m. Isto indica que a 40 mm de distância do corpo do atleta a água já se encontra a uma velocidade de 1 m/s.

b2) Cálculo da Área:

Como a camada limite se desenvolve até 40 mm de distância do corpo do atleta, nesta aproximação, propõe-se que a velocidade da água decaia linearmente de 1 a 0

(zero) m/s num espaço de 70 mm de distância da superfície do corpo do nadador. Assim pode-se determinar um valor corrigido para a área:

$$A_{corrigida} = [2x(0,070x0,300)] + (0,070x0,600) = 0,084m^2 \quad (4.4.2.2.5)$$

c2) Vazão:

Para cálculo da vazão devemos tomar o valor da área corrigida e também a velocidade média na seção considerada. Com a suposição de que a velocidade decaia linearmente, obtém-se o valor de 0,5 m/s como velocidade média da seção. Assim, a equação 4.4.2.2.6 apresenta o resultado para a vazão.

$$Q = VA = 0,084m^2 \cdot 0,5m/s = 0,42m^3/s \approx 150m^3/h \quad (4.4.2.2.6)$$

4.4.2.3. Seleção da Bomba

Para que a bomba seja selecionada corretamente, há a necessidade de se conhecer a vazão, calculada na seção anterior, e a correspondente altura manométrica, que definem o ponto de funcionamento.

Perda de carga do sistema:

As perdas de carga se dividem em localizadas e distribuídas. Através da figura 4.4.2.3.1 abaixo, podemos visualizar a divisão dos trechos calculados.

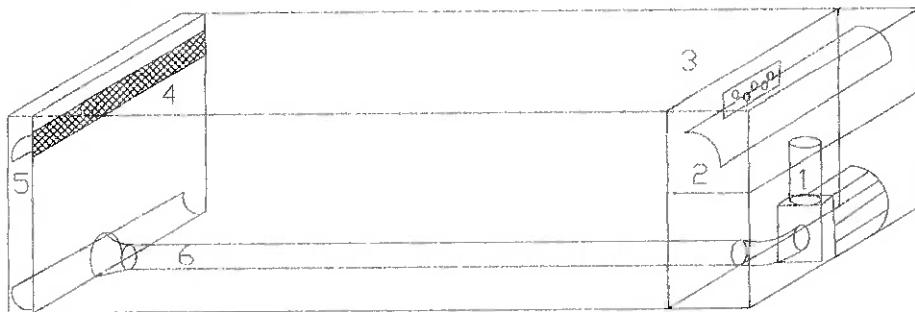


Figura 4.4.2.3.1: Visualização dos trechos de perda de carga.

Para o cálculo das perdas do sistema considerou-se a vazão obtida anteriormente. A seguir está apresentada uma tabela (4.4.2.3.1) com os valores de perda de carga correspondentes a cada trecho estudado. As equações referentes aos cálculos, assim como as hipóteses utilizadas para os cálculos das perdas de carga singulares estão apresentados após a tabela.

Trecho	a (m)	b (m)	Diam (m)	S (m ²)	Pm (m)	Dh (m)
1	0,00	0,00	0,10	0,008	-	0,100
2	0,50	1,30	0,00	0,650	3,600	0,722
3	0,40	0,15	0,00	0,060	1,100	0,218
4	0,15	1,20	0,00	0,180	2,700	0,267
5	0,15	1,20	0,00	0,180	2,700	0,267
6	0,00	0,00	0,10	0,008	-	0,100

Trecho	Q (m ³ /h)	m ponto (kg/s)	G (kg/s m ²)	Pd (Pa)	Nre	f
1	150	42	5305	14072	663146	0,02201
2	150	42	64	2	57870	0,02121
3	150	42	694	241	189394	0,01978
4	150	42	231	27	77160	0,02144
5	150	42	231	27	77160	0,02144
6	150	42	5305	14072	663146	0,02201

Trecho	V m/s	L (m)	Delta P Distr.	Cs (-)	Delta P Singular (Pa)	Delta P Total (trecho) (Pa)
1	5,305	0,10	310	0,9	12243	12553
2	0,064	0,60	0	0,3	1	1
3	0,694	0,00	0	41,0	9886	9886
4	0,231	0,00	0	1,0	28	28
5	0,231	1,20	3	0,5	14	17
6	5,305	4,42	13689	0,03	422	14112

Delta P (Total) (Pa)	36595
Delta P (Total) (mca)	3,660

Tabela 4.4.2.3.1: Cálculos de perda de carga do sistema.

Na tabela:

“a” e “b”: representam as dimensões das paredes de dutos retangulares;

S: representa a área da seção transversal;

$$P_m: \text{perímetro molhado} - P_m = 2(a+b) \quad (4.4.2.3.1)$$

$$D_h: \text{Diâmetro Hidráulico} - \text{se duto retangular: } D_h = \frac{2(a.b)}{(a+b)} \quad (4.4.3.2.2)$$

$$- \text{se duto cilíndrico: } D_h = D \quad (4.4.3.2.3)$$

Q: Vazão estipulada;

$$\text{“mponto”: vazão mássica: } \dot{m} = \frac{Q}{\rho} \quad (4.4.3.2.4)$$

onde: ρ é a densidade da água;

$$G: \text{velocidade em massa: } G = \frac{\dot{m}}{S} \quad (4.4.3.2.5)$$

$$P_d: \text{Pressão dinâmica: } P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 = \frac{G^2}{2\rho} \quad (4.4.3.2.6)$$

Onde V é a velocidade média do fluido;

$$NRe - \text{número de Reynolds: } NRe = \frac{G \cdot D_h}{\rho \cdot V} \quad (4.4.3.2.7)$$

$$f: \text{fator de atrito: } f = 0.1 \left[\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{NRe} \right]^{0.25} \quad (4.4.3.2.8)$$

onde: ε é a rugosidade relativa do duto;

L: comprimento da tubulação;

$$\Delta P_{distr}: \text{Perda de carga distribuída: } \Delta P_{distr} = \frac{f \cdot L}{D_h} \cdot P_d \quad (4.4.3.2.9)$$

$$\Delta P_{singular}: \text{Perda de carga localizada: } \Delta P_{singular} = C_s \cdot P_d \quad (4.4.3.2.10)$$

onde C_s é o coeficiente de perda de carga singular;

$$\Delta P_{\text{tot. trecho}} = \Delta P_{\text{distr}} + \Delta P_{\text{sing}} \quad (4.4.3.2.11)$$

$$\Delta P_{\text{Total}} = \Sigma \Delta P_{\text{trecho}} \quad (4.4.3.2.12)$$

Para estimar os valores dos coeficientes de perda de carga singulares foram utilizadas tabelas da SMACNA [3] e da Carrier [4]:

- Trecho 1: Transição de seções [3] - Tab. 14-11A);
- Trecho 2: Mudança de direção do escoamento com veios [3] (Tab. 14-10H);
- Trecho 3: Saída abrupta com placa perfurada [3] (Tab. 14-16 J e Tab. 14-17B);
- Trecho 4: Duto sucção em parede com rede [3] (Tab. 14-15^a e Tab. 14-17A);
- Trecho 5: Duas mudanças direção do escoamento com veios [3] (Tab. 14-10H);
- Trecho 6: Entrada do duto “boca-de-sino” [3] (Tab. 14-15C) e comprimento efetivo do cotovelo somado no comprimento do duto 6 [4] (Tab. 11);

Seleção da Bomba:

Portanto precisa-se de uma bomba que opere com uma vazão de 150 m³/h a uma pressão de aproximadamente 3,66 m.c.a..

A rotação específica pode ser calculada pela equação 4.4.3.2.13 abaixo:

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \quad (4.4.3.2.13)$$

Onde:

n_q : rotação específica;

n: rotação (1750 rpm);

Q: vazão (0,042 m³/s);

H: carga do sistema (3,66 m.c.a.);

O valor obtido para a rotação específica resultou em 135. Utilizando-se um variador de freqüência que pode reduzir a rotação para valores ao redor de 800 rpm, obtém-se rotações específicas da ordem de 60. Para esta finalidade, verificou-se que as bombas radiais são as mais indicadas, embora as mesmas possuam rotação específica que varia de 10 a 40.

Do fabricante KSB temos a linha Megabloc como a mais indicada. A curva das bombas da família de bombas Megabloc está apresentada abaixo na figura 4.4.2.3.2..

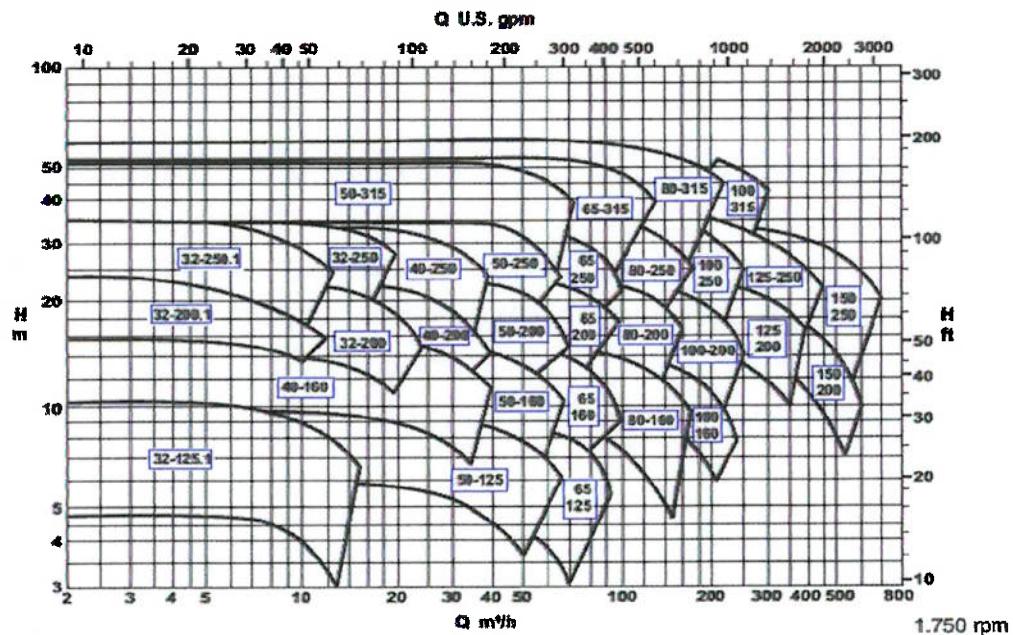


Figura 4.4.2.3.2: Áreas de aplicação da família de bombas Megabloc da KSB.

As bombas da família 80-160 e 100-160 são as mais indicadas para a aplicação. Depois de uma breve análise selecionou-se a bomba 178/154 da família 100-160 operando a 1750 rpm. As curvas estão apresentadas a seguir:

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGACHEM	Tametro Size Tamanho	100-160
Oficina nº Workshop No. Oficina - n°	Item nº Item - No. Item - n°	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidade Nominal	1750 rpm

Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica

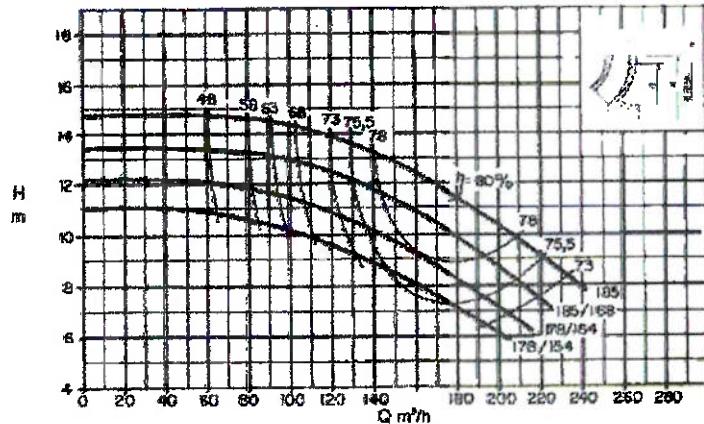


Figura 4.4.2.3.3: Curvas da família de bombas Megabloc 100-160 da KSB.

Nota-se que, para algumas condições de operação, a bomba não opera na região de máximo rendimento, especialmente quando sua rotação não coincide com sua rotação nominal.

Potência da Bomba:

A Potência da bomba é calculada através da equação 4.4.3.2.14 a seguir:

$$P = \frac{\gamma Q H}{750} \quad (4.4.3.2.14)$$

Onde:

P – Potência [cV];

γ - Peso específico da água [N/m³]

Q – vazão volumétrica [m³/s];

H – altura manométrica [m.c.a.];

A Potência da bomba a ser utilizada é de 2,03 cV.

4.4.2.4. Limpeza do tanque

É natural imaginar que este tanque terá que passar por limpezas, assim como uma piscina é periodicamente limpa. A seguir serão descritos os dois tipos de tratamento, químico ou físico. A seguir será descrito como estes procedimentos seriam realizados neste produto.

Tratamento físico:

O tratamento físico³ de uma piscina corresponde ao tratamento no qual acessórios são utilizados, tais como filtração, aspiração, escovação.

- *Filtração:*

Neste processo a água é retirada da piscina e enviada para o filtro. Este efetuará a manutenção da qualidade da água, no que diz respeito à remoção de elementos sólidos em suspensão na água.

A maioria dos filtros é cilíndrica e possui em seu interior um meio filtrante, que normalmente é areia de granulometria controlada. Também há vários outros tipos de meios filtrantes tais como quartzo, diatômica, cartuchos, etc.

Em instalações de piscinas convencionais há a necessidade de se utilizar um pré-filtro. Neste equipamento, sujeiras de maiores dimensões são detidas, tais como folhas, pequenos organismos, etc, antes de adentrarem a bomba.

A filtração poderá ser realizada simultaneamente com a operação. Somente será inconveniente quando se confirmar uma perda de carga excessiva no sistema (caso de filtro muito sujo). Nesta situação deverá ser realizado somente fora de operação até que medidas sejam tomadas (limpeza do filtro).

- *Aspiração:*

³ Fonte: <http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>

Para efetuar a aspiração há duas possibilidades: “aspirar drenando” e “aspirar filtrando”. A primeira somente é utilizada quando há sujeira grossa na piscina, provavelmente inutilizada por um grande período. Nesta opção toda a água sugada com sujeira é disposta direto no esgoto. A opção “aspirar filtrando” é utilizada quando se faz uma aspiração de manutenção ou quando a sujeira da piscina não for demasiada. Nesta opção a água sugada passa pelo filtro e retorna à piscina.

Operação obviamente realizada fora de operação.

- *Escovação:*

Este procedimento é necessário quando há crostas de sujeiras grossas aderidas ao fundo da piscina. O que se faz nesta situação é escovar a área onde a sujeira está e esperar decantar para posterior aspiração. Operação também realizada fora de operação.

Tratamento Químico:

Em instalações convencionais de piscinas necessita-se tratar a água quimicamente para que a mesma apresente adequados níveis de odor, viscosidade, transparência e de propagação de microorganismos. Os diferentes tipos de tratamentos químicos de uma piscina convencional⁴ estão descritos a seguir.

- *Cloração:*

A ação do cloro na água tem a função de eliminar toda a forma de contaminação como bactérias, fungos e outros microorganismos causadores de diversas doenças. Também tem função de impedir a proliferação de algas que comprometeriam o aspecto visual da água.

Numa instalação convencional de piscina o nível de cloração conveniente deve se situar entre 1,0 e 3,0 ppm.

No mercado podem-se encontrar facilmente pastilhas de ácido tricloroisocianúrico que devem ser aplicadas a noite, pois a luz solar decompõe o cloro, que pode perder seu efeito. Deve-se também atentar para os níveis de pH para

⁴ Fonte: <http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>.

que a cloração tenha efeito maximizado. Mais detalhes sobre pH são descritos a diante.

- *Clarificantes:*

Estes produtos aumentam a transparência da água por agruparem pequenas partículas de sujeira. Estas são retiradas por filtragem ou aspiração. O sulfato de alumínio é um dos clarificantes, também chamados de floculantes, mais utilizados no mercado. Este produto também causa impacto no valor do pH, como descrito logo a seguir.

- *Controle do pH:*

O índice pH indica a alcalinidade ou acidez de uma solução aquosa. Soluções com pH menor que 7 são consideradas ácidas, maiores que 7, alcalinas e iguais a 7, neutras.

Os níveis adequados de pH de uma piscina se situam entre 7,2 e 7,6, ou seja, levemente alcalino. Nestes níveis a ação dos desinfetantes, como o cloro, é maximizada e estes níveis de pH não causam irritações de pele e nem de mucosas nos usuários. Para acertar o nível de pH podem-se usar redutores ou elevadores de pH. Um exemplo de redutor é a barrilha leve e um exemplo de elevador é o sulfato de alumínio.

O nível de pH entre 7,2 e 7,6 deverá ser mantido no tanque para uma otimização da cloração e para a manutenção da saúde da pele e mucosas dos usuários.

4.4.2.4.1 Instalação do sistema de limpeza no produto:

É importante lembrar que o produto possui dimensões reduzidas, quando se compara com uma piscina convencional. Os equipamentos convencionais de piscinas estariam super dimensionados se fossem utilizados diretamente neste tanque.

Portanto, a possibilidade de utilização de equipamentos de limpeza para banheiras de hidromassagem e “ofurôs” podem se concretizar em uma boa escolha.

Abaixo estão descritos os equipamentos a serem utilizados no tanque, bem como um esboço de um esquema de instalação da bomba, filtro e motor.

Tratamento físico do tanque:

- *Filtro:*

Para o correto dimensionamento do filtro utilizou-se do método descrito na publicação “Projeto de Piscinas”⁵. Para tal necessitou-se calcular o Volume do tanque e o tempo máximo de circulação para se calcular a vazão requerida pelo filtro.

Este tempo máximo de circulação é estabelecido em função da “velocidade” de contaminação da água do tanque, ou seja, quanto maior for a taxa de introdução de impurezas no tanque maior deverá ser a taxa de filtração. Na tabela 4.4.2.4.1, logo abaixo, estão apresentados valores de tempo máximo de circulação sugeridos pela bibliografia consultada.

Tempo Máximo de Recirculação (Horas)		
Profundidade do tanque	Classe de Piscinas	
	Públicas, Coletivas, de Hospedaria e Res. Coletivas	Residências e Privativas
⁶ Profundidade Max. até 0,6m	2 Horas	6 Horas
⁷ Profundidade min. inferior a 0,6m e Prof. max. superior a 0,6m	4 Horas	6 Horas
⁸ Profundidade min. entre 0,6m e 1,80 m	6 Horas	8 Horas
⁹ Profundidade min. superior a 1,80 m	8 Horas	12 Horas

Tabela 4.4.2.4.1: Tempo máximo de recirculação.

⁵ Endereço eletrônico da publicação: www.jacuzzi.com.br/manuais/projetopiscinas.pdf.

⁶ Nenhum ponto do tanque tem profundidade maior que 0,6m.

⁷ A parte mais rasa do tanque tem menos de 0,6m e sua parte mais profunda supera 0,6m.

⁸ A parte mais rasa da piscina tem profundidade entre 0,6 e 1,80m.

⁹ Todos os pontos do tanque tem profundidade maior que 1,80m.

No caso do produto em estudo, a principal forma de contaminação da água será através do suor expelido pelo atleta. A taxa de introdução de impurezas no tanque será pequena. Levando-se em consideração estas hipóteses, estima-se que o tempo máximo de recirculação deverá ficar, com uma considerável margem de segurança, por volta de 4 horas.

Através da equação 4.4.2.4.1 representada logo abaixo, pode-se calcular a vazão requerida através do filtro.

$$\text{vazão requerida} = \frac{\text{Volume do tanque}}{\text{Tempo máximo de Recirculação}} \quad (4.4.2.4.1)$$

O volume do tanque é de 5,76 m³ (4,0 m x 1,2 m x 1,2 m). Assim, chega-se a uma vazão requerida de filtragem de 1,44 m³/h.

De posse do valor da vazão requerida para o filtro, deve-se então escolher um filtro que apresente vazão possível acima da mesma.

Os filtros mais comuns para piscina são os de areia. O menor modelo de filtro de areia do fabricante Millenium¹⁰ apresenta suas características técnicas descritas na tabela 4.4.2.4.2 abaixo.

Tabela de Rendimentos dos Filtros								
Modelo de Filtro	Potência da Bomba CV	Área de Filtragem m ²	Vazão m ³ /h	Tempo de Recirculação (hs)				
				2	4	6	8	12
FM 25	1/4 cv	0,060	2,346	5	9	14	19	28

Tabela 4.4.2.4.2: Características técnicas do filtro de areia escolhido.

As dimensões deste filtro devem ser levadas em consideração, pois o projeto apresenta-se bem compacto. Este filtro é cilíndrico, possuindo um diâmetro de 325 mm e uma altura de 597 mm. O preço de um filtro de características similares está

¹⁰ <http://www.millenium.ind.br/>

em trono de R\$ 700,00 com bomba de 1/4 cv inclusa (<http://www.virtuastore.com.br> – “link piscina e lazer” – TUPAM).

As dimensões deste filtro são elevadas para a aplicação. Outra alternativa é a utilização de filtros de cartucho. Do mesmo tipo de filtros para água potável, existem versões para piscinas, porém são recomendados somente para baixos volumes de água, que é o caso. Na mesma loja, TUPAM, referenciada logo acima, há filtros de cartucho para vazão de 5 m³/h com bomba de 1/3 cv por R\$ 780,00.

As dimensões deste filtro não estão disponíveis em catálogo eletrônico, porém através do site da Hayward Filters¹¹ foram obtidas as dimensões de um filtro de 5,6 m³/h (25GPM) apresentadas na tabela 4.4.2.4.3 logo abaixo:

Micro Star-Clear™ Cartridge Filters				
Número do Modelo	Área efetiva de Filtragem	Diâm. da Canalização	Largura Altura	Peso
C225	25 ft.2 (0,09m ²)	1 1/2" FIP	7 1/4" (185 mm) 17 7/8" (455 mm)	7 lbs. (3,2 Kg)
Cartridge filters for in-line piping, including spas, hot tubs and above-ground pools				

Tabela 4.4.2.4.3: Dimensões físicas de um filtro de cartucho de 5,6 m³/h.

Vê-se de pronto, tanto pelo preço quanto pela dimensão, que o filtro de cartucho é o mais indicado para esta aplicação.

IMPORTANTE:

É interessante ressaltar que a bomba do filtro não deverá ser comprada, pois utilizaremos a própria bomba que fornece a correnteza para efetuar a filtragem. Através de uma válvula de 3 vias pode-se desviar a água que sai da bomba para o filtro ao invés de retornar para a piscina, quando se desejar realizar a filtração fora de operação.

- *Pré - Filtro:*

Como produto em questão permanecerá em ambiente fechado, a necessidade de instalação de tal equipamento pode ser desconsiderada.

¹¹ <http://www.haywardnet.com/products/filters/cartridge.cfm>

- *Aspiração:*

O sistema de aspiração para limpeza do tanque é de simples montagem. Utilizando a mesma bomba que produz a corrente no tanque, pode-se adaptar uma tubulação para realizar tal aspiração. Na linha de sucção seria instalada a tubulação do aspirador através de uma válvula simples de 3 vias. A água então sugada passaria pela bomba (observe que não há pré-filtro, como dito acima) e seria direcionada para o filtro, que seria instalado também com uma válvula de 3 vias. Do filtro a água seguiria de volta ao tanque.

Um cuidado especial deve ser tomado para que o aspirador tenha dimensões adequadas ao tamanho do tanque para uma melhor qualidade de limpeza na aspiração.

Tratamento Químico no tanque:

O tratamento da água deste tanque deverá seguir procedimentos similares ao tratamento de uma piscina convencional. As informações aqui expostas foram coletadas na internet no site da empresa Piscina e Sossego¹².

- *Cloração:*

Na aplicação para este tanque deve-se tentar manter o nível de cloração na barreira superior, ou seja, próximo de 3,0 ppm, devido ao baixo volume de água e à alta taxa de utilização do tanque. Assim, a possível proliferação de bactérias, fungos e microorganismos proveniente do suor expelido pelo nadador pode ser controlada com maior eficácia.

- *Clarificantes:*

Os clarificantes devem ser utilizados no tanque quando se identificar visualmente que a água apresenta níveis de transparência inadequados.

- *pH:*

¹² Fonte: <http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>

No caso do produto, o pH também deverá se situar entre a faixa de 7,2 e 7,6 para que o efeito da cloração seja maximizado. A manutenção do índice de pH em tais níveis, como dito anteriormente, são essenciais para otimização da cloração e da manutenção da saúde da pele e mucosas do nadador.

4.4.2.5. Sistema de Controle de Vazão

A regulagem da velocidade do nadador (consequentemente, da vazão) será feita por um painel localizado dentro ou fora da água, dependendo do pedido do cliente. Um *design* de painel, em escala 1:1, está apresentado a seguir na figura 4.4.2.5.1:

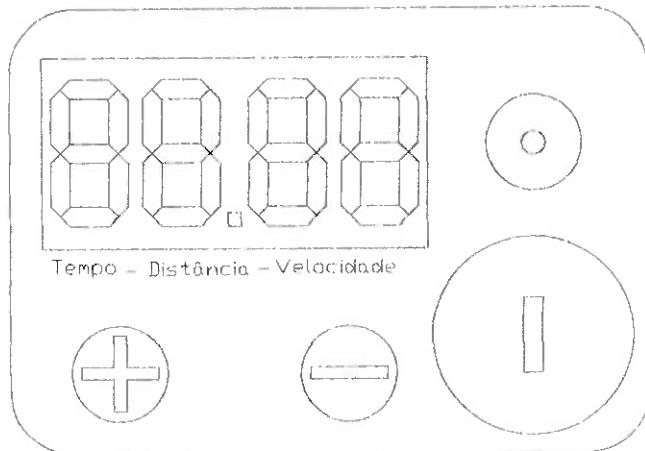


Figura 4.4.2.5.1: modelo de um possível *design* para o painel de controle de vazão.

Existem 2 alternativas interessantes para realizar o controle do equipamento utilizando os sinais elétricos provenientes do painel acima:

- *Válvula solenóide*: os impulsos elétricos seriam enviados para uma válvula do tipo solenóide que tem a função de aumentar /diminuir a perda de carga localizada do sistema. Assim há o aumento / diminuição da pressão de operação e consequentemente abaixamento / aumento do volume de água

bombeado resultando finalmente numa redução / aumento de velocidade.
Alternativa mais simples.

- *Inversor de freqüência:* este equipamento gera uma variação no valor da freqüência da rede elétrica, influenciando diretamente o valor da rotação do motor elétrico (vide equação 4.4.2.5.1 abaixo) que causa uma variação do valor da vazão.

$$n = \frac{60f}{p} \quad (4.4.2.5.1)$$

Onde:

n - rotação do motor (rpm);

f - freqüência da rede elétrica (Hz) – no Brasil é de 60 Hz.

p - número do par de pólos do motor elétrico.

Assim, variando-se “f” chega-se a uma gama de rotações possíveis de operação. Alternativa mais adequada, uma vez que estes equipamentos (inversores de freqüência) têm ficado cada vez mais baratos no mercado.

IMPORTANTE:

O simples fato de alteração da rotação do motor elétrico ou a instalação de uma válvula de controle movem o ponto de operação do sistema, alterando a posição do ponto de máximo rendimento.

4.4.2.6. Conforto do Usuário

Para que o produto tenha uma boa aceitação será necessário que o usuário se sinta bem ao utilizá-lo. Existem alguns fatores essenciais para que seu treinamento seja realizado sem desconfortos. Estes são:

4.4.2.6.1 Conforto acústico e vibratório.

O conforto acústico deste equipamento torna-se um dos pontos críticos para assegurar o sucesso do produto no mercado. Sabe-se que o som se propaga com maior intensidade na água. Portanto se faz extremamente necessário que ruídos oriundos de vibrações da bomba não sejam transferidos ao tanque. Para evitar tal fato deverá ser utilizado um bom sistema de atenuação de vibrações e também, se necessário, artifícios para anulá-la. Algumas destas soluções foram pesquisadas durante o 1º semestre de 2005 na Universidade de Darmstadt (TU Darmstadt).

A seguir estão descritas algumas alternativas para amenizar os efeitos da vibração no tanque.

- *Luvas de material polimérico nos dutos:* pode-se notar que o grande causador de ruído no equipamento será a bomba. Faz-se necessário, então, o não acoplamento direto dos dutos da bomba à estrutura do tanque. A inserção de uma luva de material elástico seria extremamente interessante para se amenizar a vibração. Um exemplo desta luva pode ser visto na foto a seguir (figura 4.4.2.6.1.1), retirada da instalação de um produto de mesmo princípio do AquaFit, denominado “Badu Jet”. Maiores descrições deste produto estão apresentadas no capítulo 6 – Equipamentos Similares.

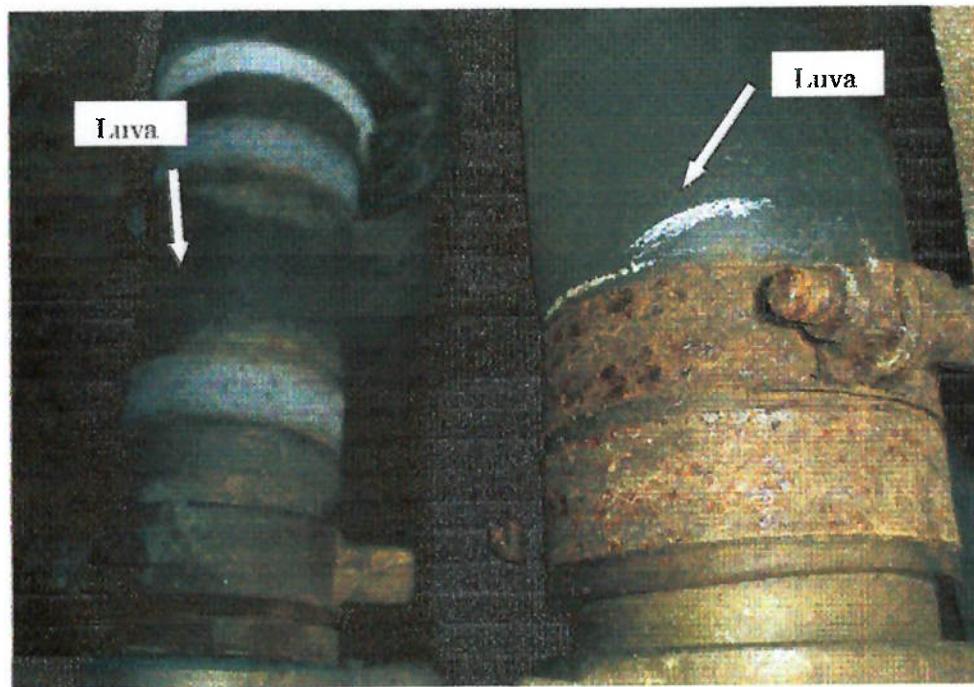


Figura 4.4.2.6.1.1: Esquema de instalação de uma luva nos dutos para amenizar a vibração.

- *Calços de borracha na base do tanque e do motor:* devem ser instalados calços de borracha (ou uma manta de borracha) entre o fundo do tanque e o solo para reduzir a vibração proveniente do motor e transmitida pelo solo. Também se deve colocar um calço de borracha entre o motor e o chão. Abaixo se encontra, na figura 4.4.2.6.1.2, o calço de borracha colocado na instalação do “Badu Jet”.



Figura 4.4.2.6.1.2: Esquema do calço de borracha para redução de vibração nas instalações do “Badu Jet”.

- *Instalação de revestimento esponjoso nas paredes do compartimento do motor e nos dutos:* material esponjoso próprio para isolamento acústico nas paredes do compartimento do motor. Esta medida deve reduzir consideravelmente o ruído produzido pelo motor. Nos dutos, seria um revestimento interno que também faria efeito na redução de ruído. É viável citar que ocorreria um aumento na perda de carga do sistema, caso tal alternativa de revestimento interno nos dutos fosse utilizada. Tal aumento deverá ser contabilizado para escolha dos equipamentos (bomba e motor) adequados.

Estudos sobre conforto acústico foram realizados no modelo 5:1 construído para estes testes. A apresentação do modelo, a descrição de suas características e os resultados dos testes de acústica no modelo estão apresentados no capítulo 5 deste projeto.

4.4.2.5.2. Qualidade da água

Deve-se ter em mente que as características da água do tanque que são percebidas pelo usuário deverão permanecer em níveis aceitáveis pelo mesmo. Tais características são, por exemplo: temperatura, odor, aspecto visual. Os procedimentos para controle da qualidade da água foram descritos na seção 4.4.2.4. (Limpeza do tanque).

4.4.2.5.3. Entretenimento

Durante a prática de seu treinamento, por o atleta não se mover, em relação ao solo, deverão ser tomadas medidas para a manutenção da “ocupação mental” do usuário.

Tais medidas são simples de serem tomadas. Tomando como exemplo as esteiras de corrida, a utilização de espelhos é uma alternativa bem interessante e barata. O nadador poderá ver seu próprio corpo quando nada e eventualmente até monitorar a geometria dos movimentos que faz.

A instalação de monitores de televisão no fundo do tanque é uma alternativa já bem menos interessante. O movimento que o nadador faz com a cabeça o impede de assistir à TV continuamente, além do processo de instalação da mesma ter um relativo alto nível de complexidade. A alternativa é viável somente quando requisitada pelo cliente.

4.4.3. Aceitação Mercadológica

Com a implantação deste novo sistema é natural que algumas pessoas não gostem do produto num primeiro momento. Assim podemos prever que alguns alunos começarão a procurar outras academias por ainda estarem acostumados em nadar em piscinas.

Porém também podemos prever que, com alguns “truques estéticos” (tratados a seguir) e de propaganda, outras pessoas procurarão a academia para conhecer e “testar” o novo produto. É sempre interessante lembrar as vantagens que o produto

traz aos usuários, assim como medição de deslocamento, tempo e velocidade instantânea.

Este produto tem todas as possibilidades de seguir a mesma trajetória de sucesso de aceitação que ocorreu com a esteira de corrida e bicicletas ergométricas.

Portanto teríamos, obviamente, 3 opções para a demanda: aumentar, diminuir ou permanecer. Se a demanda permanecer a mesma, teríamos um aumento aproximadamente 220% no lucro bruto do proprietário, como citado anteriormente na análise feita na seção 4.4.1..

Design:

Estes “truques estéticos”, anteriormente citados, seriam equivalentes àqueles que os usuários de esteiras apresentam como “vantagens de se correr na esteira”.

- *Espelhos no fundo dos tanques:* Assim o nadador poderia ver seu próprio corpo ao nadar.
- *Tanques de vidro com iluminações “modernas”:* dariam à impressão que o nadador está num aquário tornando o tanque mais atrativo visualmente.

Propaganda:

Na estratégia de vendas e propaganda do produto deverão ser inclusas as vantagens de ser ter o desempenho do treinamento monitorado instantaneamente. Assim como a esteira de corrida, este novo produto informaria ao usuário dados básicos sobre seu desempenho, como: tempo de treino, velocidade instantânea, velocidade media e distância percorrida.

Estas opções de monitoramento de treino são fatores que contribuem muito para o usuário se acostumar a utilizar o aparelho. Há pessoas hoje que preferem correr em esteiras a correr ao ar livre porque na esteira ela pode saber o quanto correu, o que ao ar livre nem sempre é fácil ou prático.

5. ESTUDO DE MODELO

No mês de julho de 2005 foi construído um modelo do sistema em estudo na Universidade de Darmstadt. Discussão sobre objetivos, escala, custos e meios de captação de recursos financeiros são tratados nas seções seguintes.

5.1. Objetivos a serem alcançados

Existem principalmente quatro objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento de modelos físico. Estes são:

- *Análise da estrutura do escoamento:* Com a montagem deste modelo poderá se ver como o escoamento se comporta neste sistema. Assim poder-se-á se identificar os principais pontos de formação de vórtices para se tentar otimizar o desenvolvimento do produto final.
- *Medições do conforto acústico do usuário:* apesar de a grande maioria do ruído ser proveniente do conjunto bomba / motor, a medição de conforto acústico resultante da pulsação do volume de água injetado no tanque poderá ser de grande valia. Através de microfone envolvido em um balão de ar poderá se captar o ruído presente na água. Os dados poderão fornecer indicações de quão necessário seria intervenções para redução deste tipo de ruído.
- *Identificação de problemas de montagem e/ou operação:* a construção do modelo físico seria interessante também do aspecto de montagem. Problemas de montagem poderão ser identificados e corrigidos, além de poderem ser evitados na construção do produto.

5.2 Aspectos Financeiros

Para a construção deste modelo devem-se explicitar os custos e as formas de captação de recursos financeiros para a construção do mesmo. Estes tópicos são tratados a seguir.

5.2.1 Captação de recursos financeiros

A primeira alternativa de obtenção de recursos financeiros através de uma empresa de planos de saúde, com a qual tenho contato, não foi bem sucedida. O principal motivo do insucesso foi o fato de haver uma relação de parentesco com o diretor financeiro da instituição.

Diante de tal situação, a atenção foi voltada à obtenção de apoio financeiro na própria Universidade de Darmstadt. Após longo período de conversas com o professor Rainer Storm, foi liberada uma bolsa equivalente a uma bolsa de iniciação científica no Brasil. Esta bolsa tem valor de 162,50 € por mês, a serem pagas no final de cada mês, com duração prevista de 2 meses, junho e julho.

A permissão de utilização dos laboratórios e oficinas também foi conseguida, juntamente com as chaves de acesso a tais localidades.

Todos os gastos provenientes com aquisições de material para a construção do modelo deverão ser arcados com a quantia recebida pela bolsa.

5.2.2 Custos

A construção deste modelo se trata de uma versão simplificada do projeto, porém suficientes para o atingimento dos objetivos propostos. É interessante se destacar que não houve controle de vazão, a não ser por uma válvula manual. Maiores detalhes construtivos poderão ser vistos adiante na seção 5.3.2.

O modelo construído é um aquário acoplado a uma bomba de chafariz de jardim com uma vazão adequada para o experimento. A vazão será regulada manualmente por uma válvula simples. Os valores aproximados do modelo em construção estão apresentados abaixo:

- Aquário: comprado com uma parede lateral (a do comprimento) quebrada, pôde ser comprado por 5,00 €. A parede danificada é justamente a que não seria utilizada;
- Bomba: por volta de 30,00 €;
- Gastos com equipamentos de usinagem: nulo. Os equipamentos da Universidade serão utilizados.
- Tubulação e válvula: por volta de 30,00 €;
- Materiais extras (elementos de fixação, conexões, cola de silicone): 30,00 €;
- Materiais para medições: nulo. Serão utilizados equipamentos do laboratório de acústica da própria Universidade de Darmstadt. Para filmagem do perfil de escoamento será utilizada filmadora própria.

Total: Aproximadamente 95,00 € .

5.3. Construção de um modelo físico

A construção do modelo deste produto está sendo feita da maneira mais simples possível. Para tal considerou-se a idéia de se utilizar um aquário de médio porte para a construção do mesmo.

5.3.1. Determinação de escala

Para que esta construção seja possível, há duas escalas interessantes: 1:8 com um aquário de 500 mm x 150 mm x 150 mm ou a escala de 1:5 com 800 mm x 240 mm x 240 mm. O aquário para a construção de um modelo 1:8 é encontrado com facilidade no mercado. Porém a escala 1:8 poderá ser pequena demais.

Existe outra possibilidade de escala, a de 1:5. O problema é a disponibilidade das dimensões são requisitadas no mercado. A saída mais adequada seria a construção deste modelo utilizando um aquário de 600 mm x 300 mm x 300 mm. A altura da água dependerá de quanta água colocaremos no aquário. Neste caso, deve-se

preenche-lo até a altura de 240 mm. Para a largura de 240 mm, a saída mais simples é a construção de uma outra parede que se apoiará nas outras existentes. Por fim a dimensão de comprimento deveria ser de 800 mm e o aquário possui somente 600 mm. Esta diferença de 200 mm foi discutida com o professor de acústica da Universidade de Darmstadt na Alemanha, Doktor Rainer Storm. Para as medições de conforto acústico no modelo acredita-se que esta diferença de 200 mm no comprimento não compromete a confiabilidade dos dados no modelo.

5.3.2. Descrição do aparato experimental:

a) Vista geral da instalação:

Uma vista geral do aparato experimento pode ser obtida através da foto 5.3.2.1 logo abaixo.

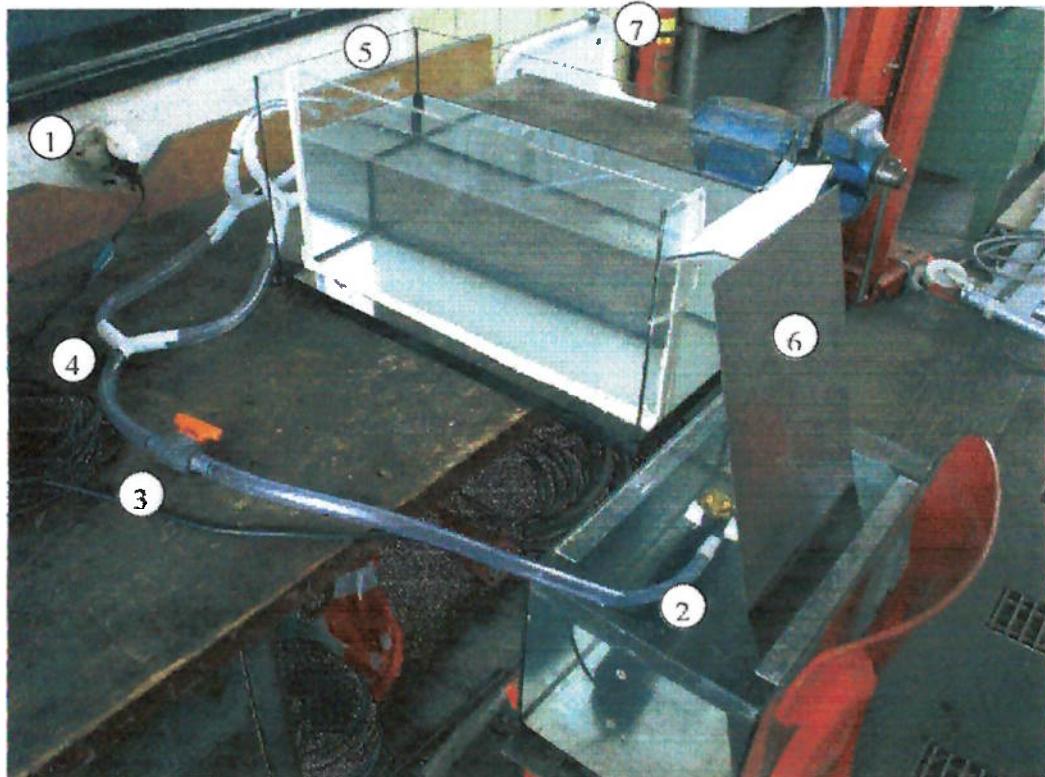


Figura 5.3.2.1: Visão geral do aparato experimental fora de operação.

- ① - Alimentação elétrica: 50 Hz 240 V;
- ② - Bomba (maiores detalhes a seguir);
- ③ - Válvula tipo esfera (material: plástico);
- ④ - Conexões "tipo y" (entrada e saídas igualmente separadas em 120°);
- ⑤ - 4 tubulações de 8 mm de diâmetro;
- ⑥ - Placa de aço delgada;
- ⑦ - Torneira

O funcionamento do modelo se dá da seguinte maneira: a água succionada do reservatório inferior (2) é levada pela tubulação e passa pela válvula tipo esfera (3). Em seguida ela é dividida em 2 através de uma conexão tipo "y" (4). Cada tubulação que sai desta conexão tem sua vazão novamente dividida pela metade através de mais dois conectores "y". Assim temos no final 4 tubulações de igual vazão (5). A água que sai destas quatro tubulações adentra o reservatório em teste.

Após alguns segundos estes dutos começam a se submergir até que ficam totalmente submersos. O nível do reservatório superior sobe até que o nível chega à abertura localizada no lado oposto (6), aproximadamente 2 cm acima do centro das tubulações. Neste ponto utiliza-se uma placa delgada de aço. Esta tem a função simples de reduzir o ruído causado pela água quando a mesma retorna ao reservatório inferior. Esta preocupação de redução de ruído se deve ao fato dos microfones utilizados na medição acústica do modelo serem influenciados por este ruído. E assim se completa o ciclo.

O ciclo operando em regime permanente pode ser visto na foto 5.3.2.2. seguinte.

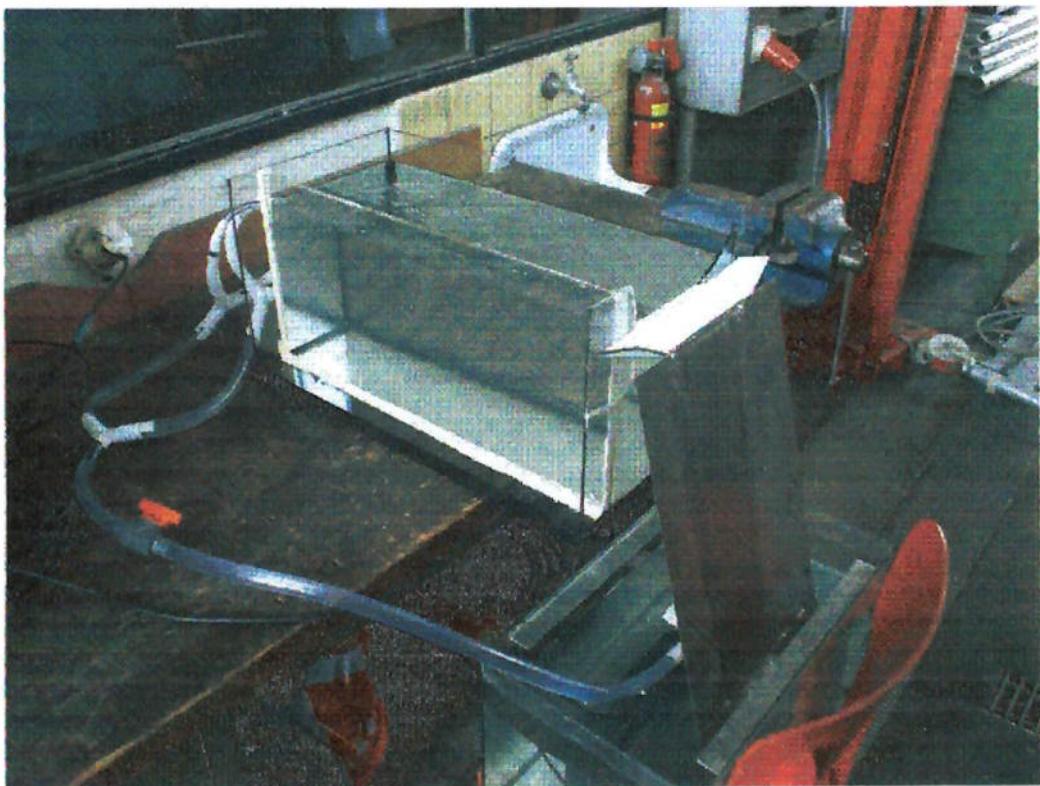


Figura 5.3.2.2: Ciclo em regime permanente.

O desnível entre o reservatório inferior e o superior é de 460 mm.

b) A bomba:

Os dados técnicos da bomba utilizada na operação do modelo são informados abaixo da figura 5.3.2.3, a seguir:



Figura 5.3.2.3: Dados técnicos fornecidos pelo fabricante.

Dados técnicos da bomba:

- Fabricante: Waterwerks
- Modelo: WWP 3000
- Voltagem: 220 – 240 V
- Freqüência: 50 Hz
- Potência: 54 W
- Rotação: 3000 rpm, nas condições de operação descritas acima.
- Vazão máxima: 2600 L/h
- H max: 2,8 m
- Máxima Temperatura de funcionamento: 35°C

A bomba utilizada é do radial com 6 pás. Uma vista da parte interna da bomba pode ser analisada na figura 5.3.2.4. logo abaixo:

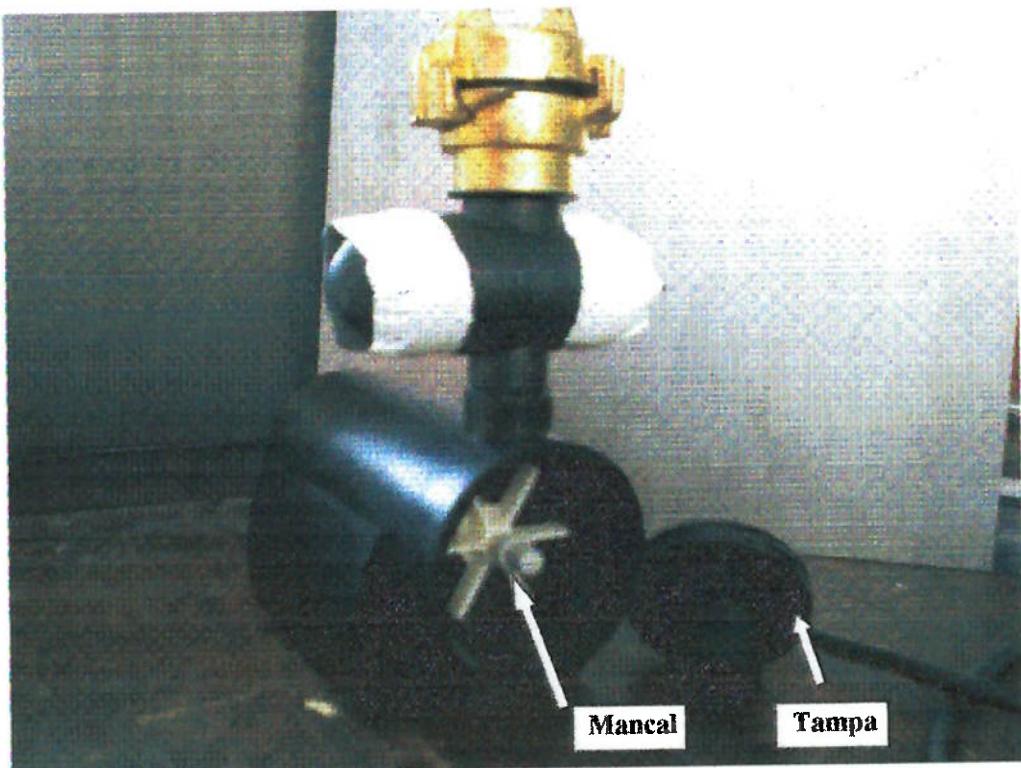


Figura 5.3.2.4: Vista interna da bomba radial utilizada.

Na figura 5.3.2.5. a seguir pode-se ver que na saída de pressão da bomba encontra-se um conector de uma entrada e duas saídas. Uma delas foi bloqueada. A outra saída foi utilizada para o acoplamento da tubulação que conduz água ao reservatório em teste. Para assegurar a impermeabilidade de duas válvulas que comandam o direcionamento da água nas duas saídas do conector, foi usado fita adesiva e um bloqueador de escoamento metálico, com selo de borracha.

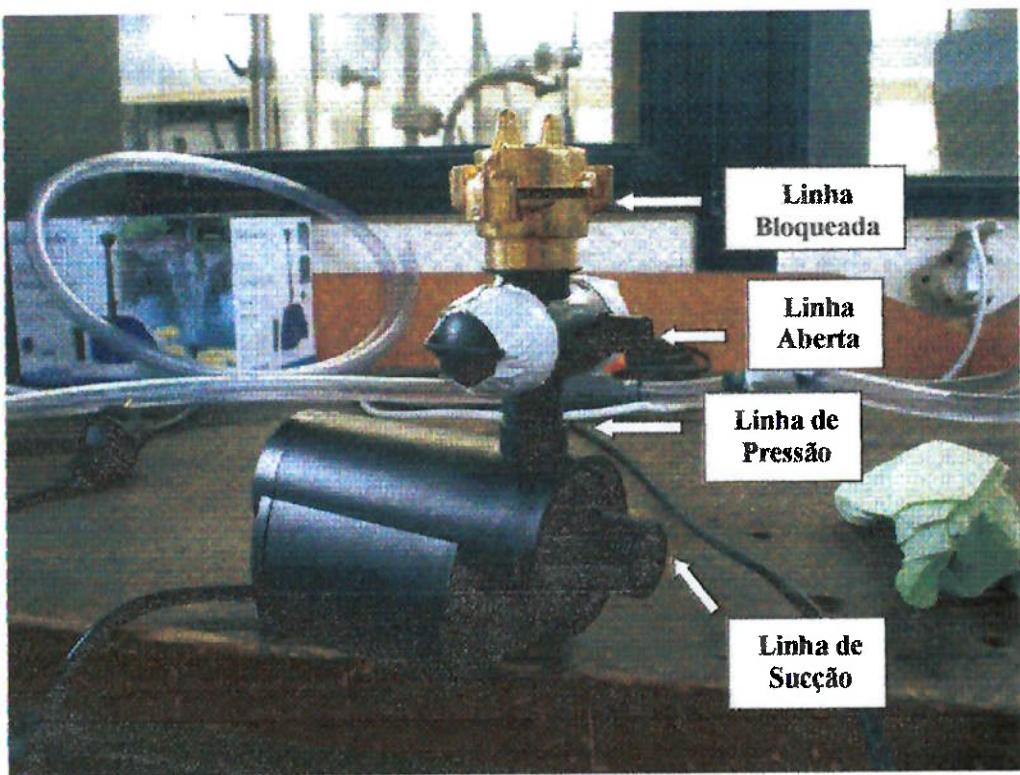


Figura 5.3.2.5: Esquema das linhas de sucção e de pressão da bomba utilizada.

c) *Tubulações:*

A tubulação utilizada é de PVC. Foram utilizados 4 diâmetros diferentes de tubos: 16, 12, 10 e 8 mm. O esquema de conexão dos mesmos pode ser analisado na figura 5.3.2.6. abaixo:

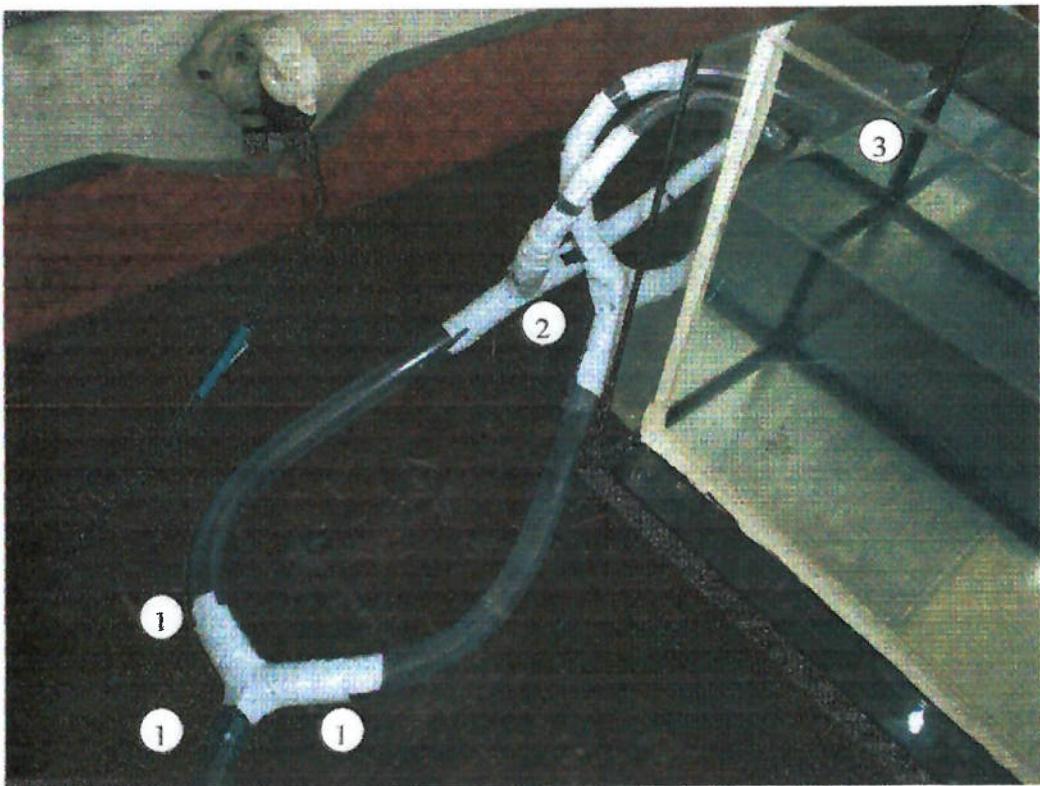


Figura 5.3.2.6: esquema da tubulação em detalhe.

① - Tubulação de 16 mm de diâmetro.

② - Tubulações de 16 mm são acopladas a de 12 mm. Esta, está acoplada a uma de 10 mm, que finalmente foi acoplada a uma de 8 mm. O processo de impermeabilização foi feito com fita isolante branca, tipo “Silver Tape”.

③ - As tubulações de 8 mm podem ser vistas em detalhe na próxima figura 5.3.2.7.

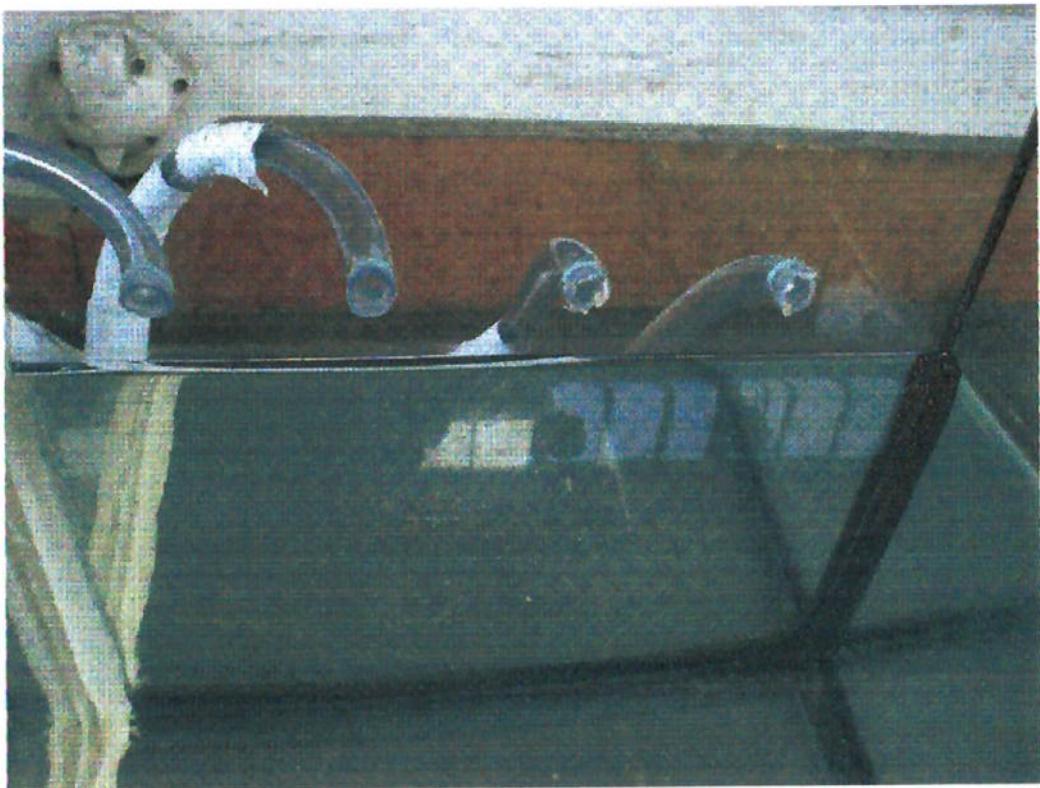


Figura 5.3.2.7: Vista dos quatro jatos de água ainda emersos, antes de entrarem em operação.

A acoplagem ao vidro e a respectiva impermeabilização foram feitas por simples pressão, já que os furos na parede de vidro do reservatório são cônicos, possuindo o diâmetro maior na parte externa do reservatório.

d) Reservatório:

Como pode ser visto em destaque na figura 5.3.2.8 abaixo, o tanque em teste tem 600 mm de comprimento, 240 mm de largura e 240 mm de altura (até a linha de água.)

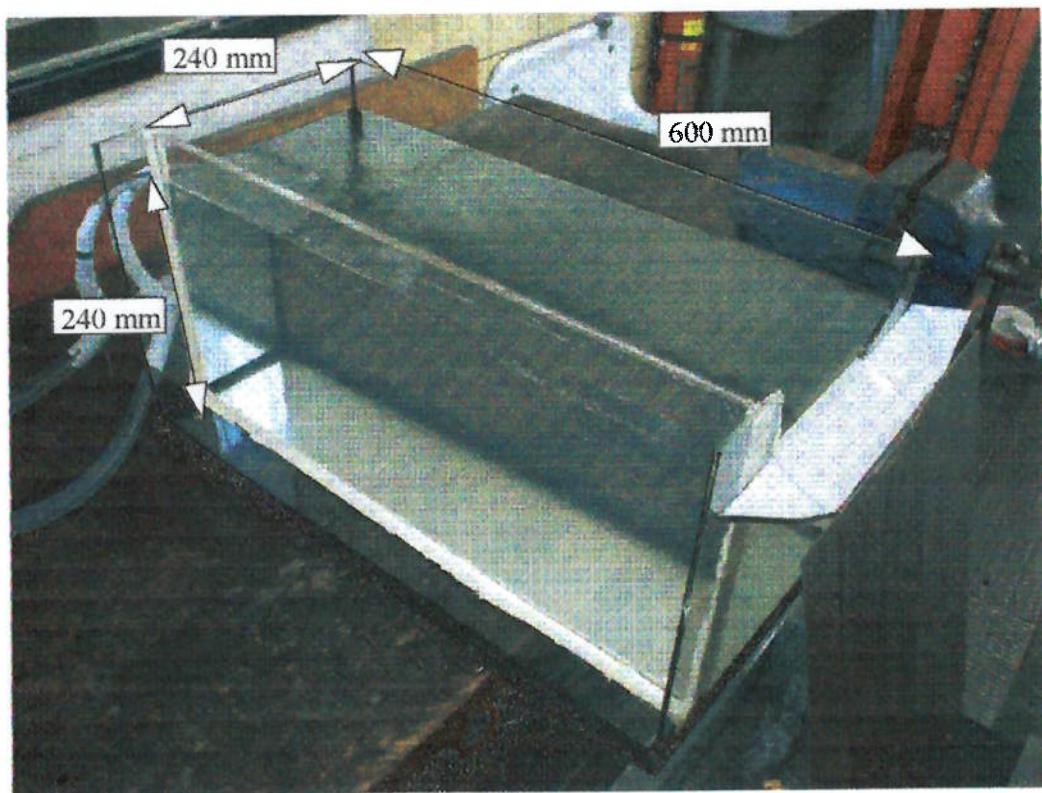


Figura 5.3.2.8.: Dimensões do reservatório em teste.

Considerações sobre as dimensões do modelo construído foram discutidas na seção 5.3.1.

5.3.3 Medições:

As medições de acústica no modelo foram feitas em duas etapas: medições com dois microfones imersos na água em três posições diferentes, medições de vibração da bomba com sensor radial e depois axial.

- *Medições com microfones:*

Posicionaram-se os dois microfones na posição vertical, com ajuda de um suporte, com suas extremidades imersas na água. A foto desta instalação (5.3.3.1) pode ser vista a seguir.



Figura 5.3.3.1: Esquema de instalação dos microfones para medição de acústica.

Os microfones utilizados não são à prova de água. Portanto foram utilizados preservativos para a completa impermeabilização dos microfones.

Foram realizadas medições em 3 pontos diferentes: a 130 mm , a 300 mm e a 500 mm da extremidade onde os jatos estão instalados.

- *Medições com acelerômetros:*

Foram instalados dois pontos de medição de vibração na carcaça da bomba. Estes pontos podem ser vistos em detalhe na figura 5.3.3.2 a seguir:

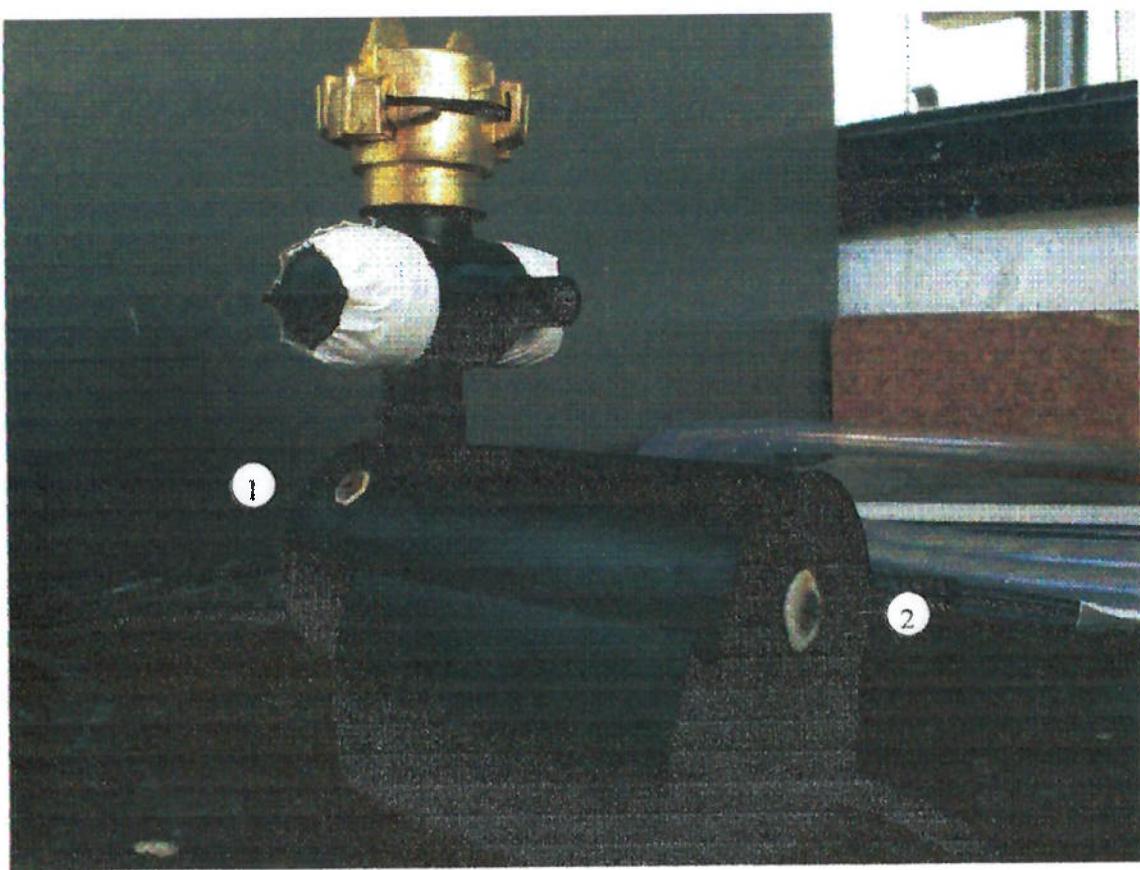


Figura 5.3.3.2: Pontos de fixação dos acelerômetros.

As medições feitas no ponto 1 são referentes ao acelerômetro colocado na carcaça da bomba. As medições feitas no ponto 2 são as referentes ao acelerômetro colocado axialmente ao eixo do motor. Os dados referentes a estas medições, assim como os dados referentes às medições obtidas com os microfones, serão apresentados na próxima seção (5.3.4).

Os dados referentes as medições foram gravados em uma fita magnética para dados. O gravador pode ser visto na figura 5.3.3.3 abaixo:



Figura 5.3.3.3 – Gravador Sony utilizado para gravar dados.

O gravador utilizado foi o Sony Digital Recorder – 8 Channels - ICP – Integrated Current Power Interface, modelo: PC208ax

Os microfones estão na entrada 1 e 3, enquanto que o acelerômetro está na entrada 5. Como só havia um acelerômetro em perfeito estado disponível, as medições com o mesmo tiveram que ser feitas em etapas diferentes.

Os microfones podem ser vistos em detalhe na figura 5.3.3.4 abaixo.

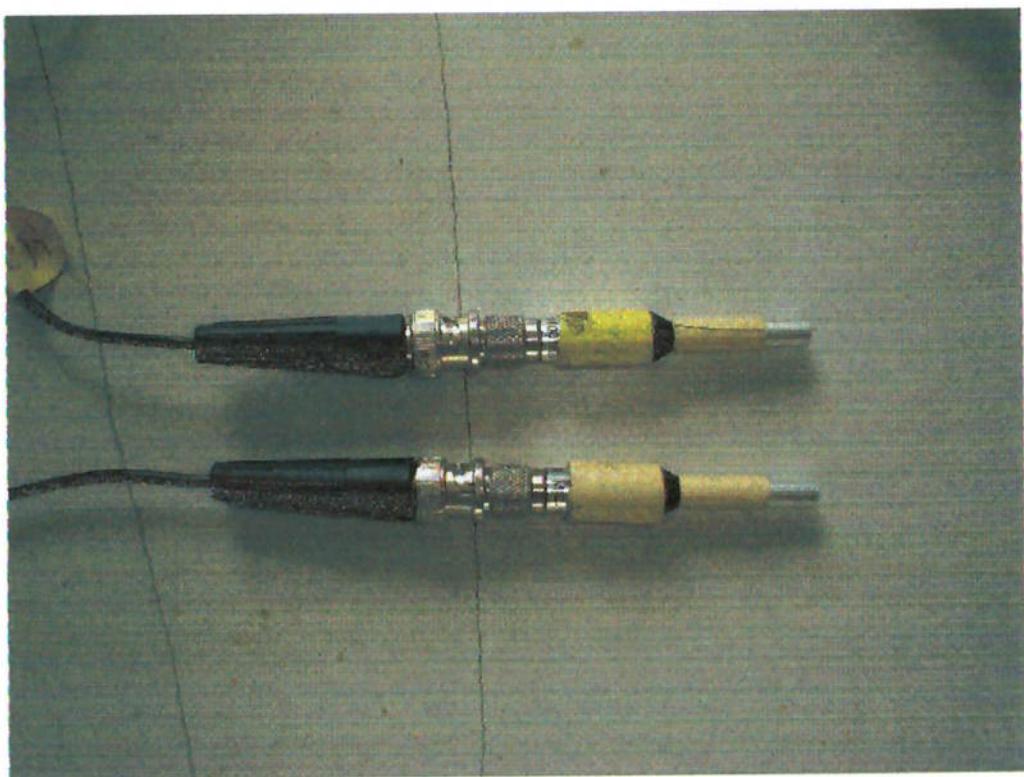


Figura 5.3.3.4: Microfones utilizados.

Os microfones usados foram os ICP Microfones – TFS, Type MIC 102.

Os microfones tiveram que ser calibrados. Para isto, abaixo na figura 5.3.3.5, pode-se ver o calibrador utilizado.

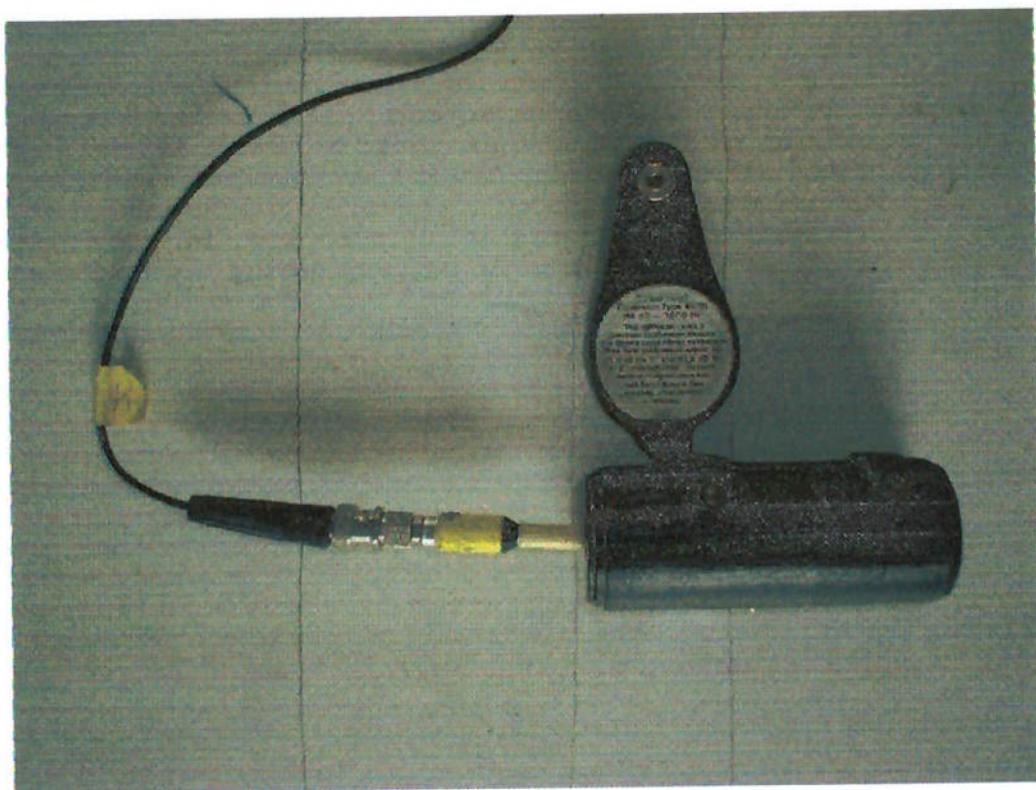


Figura 5.3.3.5: Foto do calibrador de microfones utilizado.

Este calibrador funciona a bateria e emite um sinal de 94 dB. Ele é do fabricante Brüel & Kjaer, Type 4230.

O acelerômetro do fabricante Brüel & Kjaer, modelo ICP Accelerometer, type 4393 também foi calibrado através do equipamento visto abaixo na figura 5.3.3.6.



Figura 5.3.3.6: Calibrador de anemômetros utilizado.

O calibrador é do fabricante Brüel & Kjaer, Type 4291 - Accelerometer Calibrator.

Após a gravação dos dados, os mesmos foram repassados da fita magnética para um computador. Para tal, conectou-se, via porta USB, uma placa de som externa, pois o computador não possuía entrada de som (“line in”). Esta placa externa é do fabricante Creative, modelo USB Sound Box – Type Extigy.

Para tratamento dos dados utilizou-se um programa chamado “Spectral Lab”.

5.3.4. Apresentação dos cálculos e resultados.

❖ Acústica

Os dados referentes ao conforto acústico obtidos foram passados para uma planilha. Na tabela 5.3.4.1 abaixo podem ser encontrados valores médios (de duas

medidas) obtidos em algumas freqüências sem nenhum tratamento (sem correções de calibração e sem circuito de compensação A).

Freqüência (Hz)	Posição 130 (dB)		Posição 300 (dB)		Posição 500 (dB)	
	Micr. 1	Micr. 2	Micr. 1	Micr. 2	Micr. 1	Micr. 2
20	-72,6	-76,9	-68,5	-68,1	-73,0	-70,8
100	-65,6	-59,1	-62,5	-56,7	-66,0	-72,2
500	-92,5	-103,7	-94,2	-99,0	-96,8	-115,7
1.000	-91,9	-115,1	-93,2	-113,3	-99,8	-123,3
5.000	-135,6	-136,9	-137,5	-137,2	-137,6	-136,2
10.000	-136,5	-135,1	-137,3	-136,5	-136,5	-138,0

Tabela 5.3.4.1: Apresentação dos dados coletados em algumas freqüências sem tratamento numérico.

Nota-se que os dados apresentados possuem valores negativos. Isto se deve ao fato do tratamento numérico (com o valor de calibração) ainda não ter sido efetuado.

→ *Tratamento dos dados:*

- *Calibração:*

Na calibração dos microfones, ambos foram estimulados a 94 dB em 1000 Hz. A leitura dos dados indicou no microfone 1 o valor de -58,6 e no 2, o valor de -58,8. Portanto a todos os valores lidos no microfone 1 dever-se-á somar (94 dB - (-58,6)), ou seja 152,6. E no microfone 2, o valor será de 152,8.

Além desta correção dever-se-á atentar para a intensidade utilizada durante as medições. Na calibração foi usada intensidade de 5,0 V. Existiram casos em que a intensidade teve que ser diminuída para 2,0 V. Para se corrigir este fator, deve-se somar ao valor lido ao seguinte valor $20 \log\left(\frac{V_u}{V_c}\right)$, sendo V_u a voltagem utilizada e V_c a voltagem de calibração (5,0V).

A seguir encontra-se a mesma tabela apresentada acima, porém corrigida.

Frequência (Hz)	Posição 130 (dB)		Posição 300 (dB)		Posição 500 (dB)	
	Micr. 1	Micr. 2	Micr. 1	Micr. 2	Micr. 1	Micr. 2
20	80,0	76,0	84,2	84,7	79,7	82,0
100	83,9	90,7	87,1	93,2	83,7	77,8
500	60,1	49,1	58,5	52,9	55,9	37,1
1.000	60,7	37,7	59,5	39,5	52,8	29,5
5.000	17,1	15,9	15,1	15,6	15,1	16,6
10.000	16,1	17,7	15,4	16,3	16,2	14,8

Tabela 5.3.4.2: Apresentação dos dados coletados em algumas freqüências com tratamento numérico.

Os dados tratados apresentados acima podem ser representados de forma gráfica, como pode ser visto na figura 5.3.4.1 abaixo. Nesta, os dados referentes ao microfone 1, nas posições 130, 300 e 500, estão plotados.

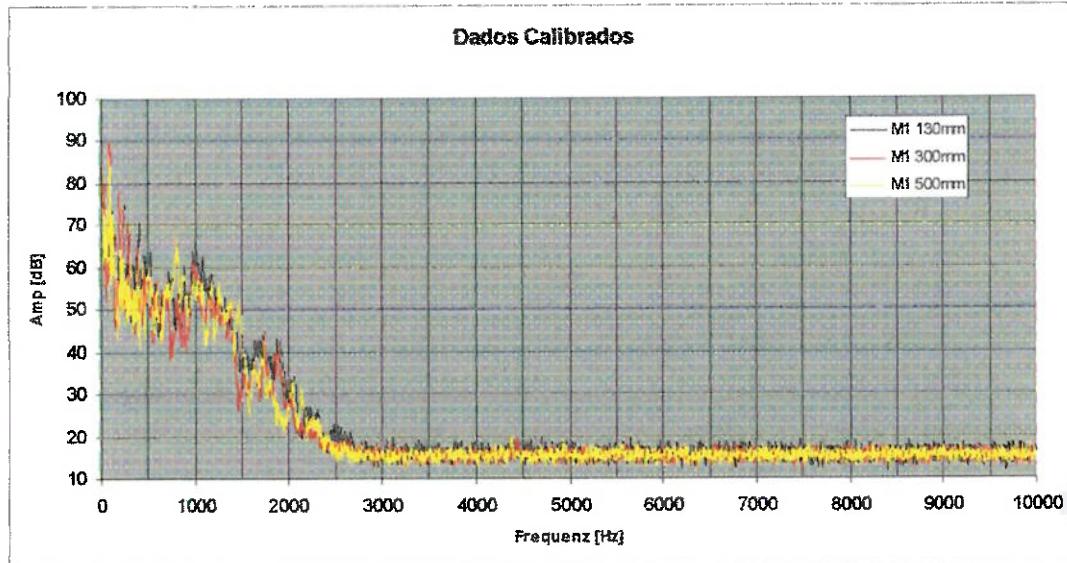


Figura 5.3.4.1: Dados referente ao Microfone 1 em 3 posições diferentes em função da freqüência.

Pode-se observar que os valores das três medições se acomodam entre 15 e 20 dB a partir de 3000 Hz. Por este mesmo motivo os dados foram coletados somente até 10.000 Hz e não até 20.000 Hz, que seria a maior freqüência que o ouvido humano escuta. Portanto para uma melhor visualização dos dados, a figura 5.4.3.2 abaixo apresenta os mesmos dados até 3000 Hz.

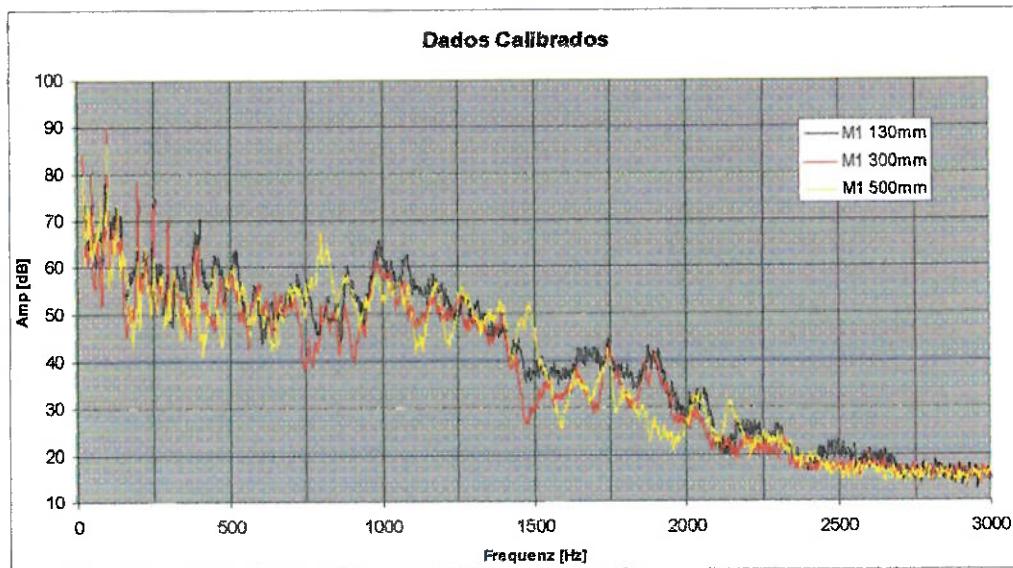


Figura 5.3.4.2: Dados referente ao Microfone 1 em 3 posições diferentes em função da freqüência.

É interessante ressaltar que os valores obtidos com os microfones 1 e 2 diferem muito pouco entre si. Portanto os valores a serem representados serão somente os referentes às medidas realizadas com o microfone 1.

- Circuito de Compensação A:

O ouvido humano possui um tipo de filtro que altera o valor da intensidade sonora de acordo com a freqüência. Este filtro é chamado circuito de compensação A. Portanto os humanos escutam sons de mesma intensidade medida por microfones em intensidades diferentes, dependendo de cada freqüência.

Na figura 5.3.4.3. abaixo, encontra-se uma curva de compensação A. A cada valor de freqüência possui um valor que deverá ser somado ao valor da intensidade

do som medida. Por exemplo, a 400 Hz deve-se somar -5 dB ao valor medido pelo microfone. A 1000 Hz o valor a ser somado é de 0 dB.

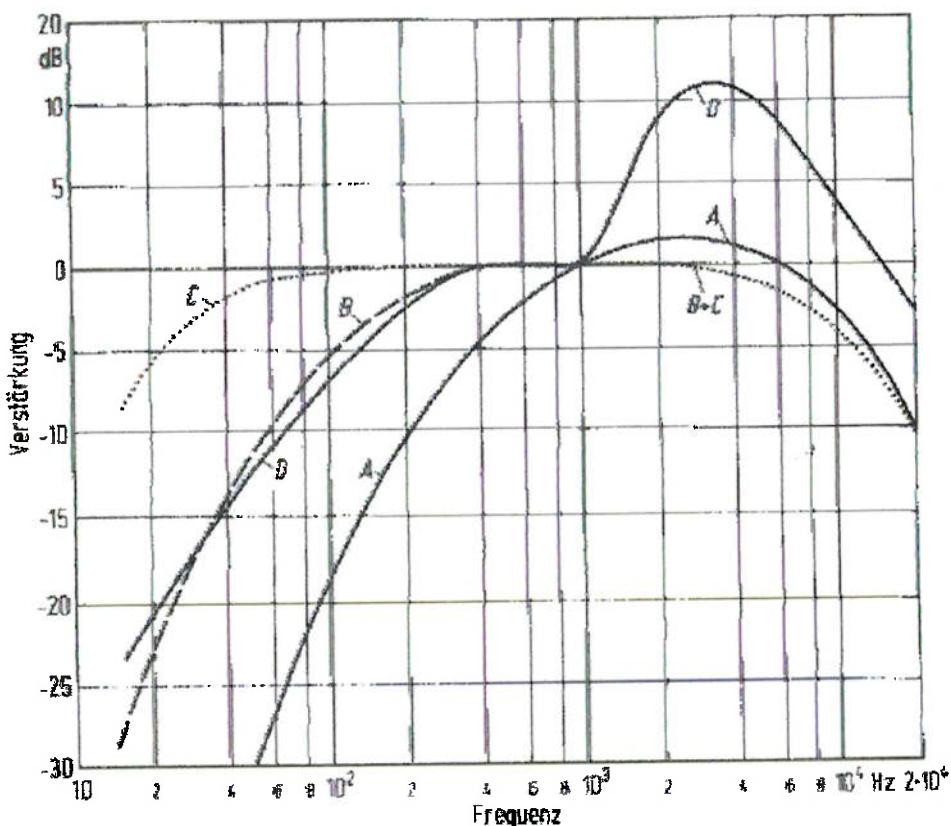


Figura 5.3.4.3: Curva do circuito de compensação A pela freqüência.

Encontra-se também uma fórmula para expressar esta curva, representada logo abaixo na Eq. 5.3.4.1 :

$$\Delta_A(f) \approx [11,15 \cdot (\lg(f))^2 - 75,2 \cdot \lg(f) + 125,25] \text{dB} \quad (5.3.4.1)$$

Esta equação foi usada para “corrigir” os dados captados pelo microfone previamente corrigidos pelo valor de calibragem. O gráfico com os valores pode ser visto abaixo na figura 5.3.4.4..

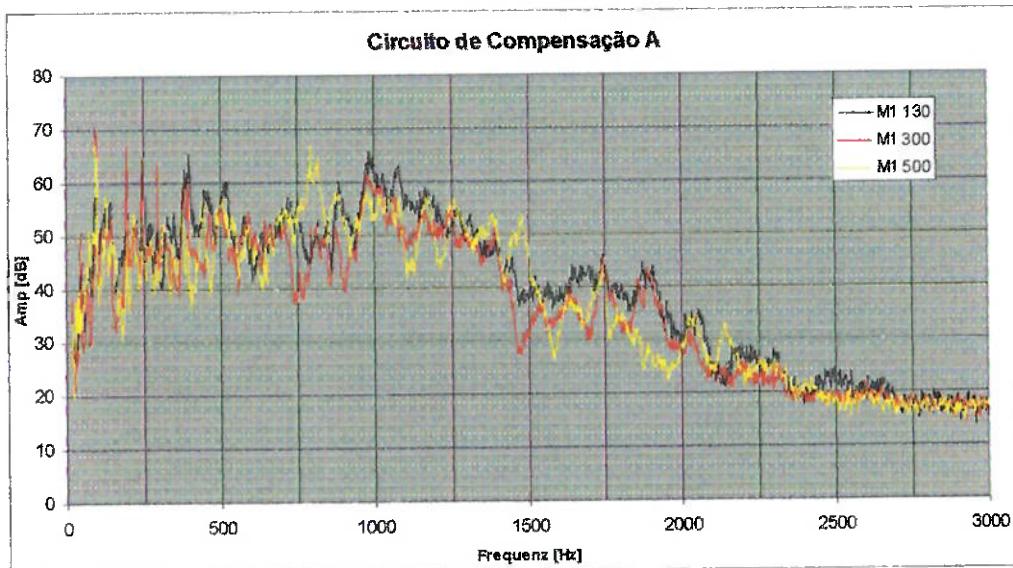


Figura 5.3.4.4: Valores corrigidos pelo Círcuito de Compensação A.

→ *Faixa de conforto:*

Todos os ambientes em que nós nos acostumamos a viver possuem um determinado nível de ruído. Portanto a próxima figura, 5.3.4.5 abaixo, os níveis de ruído presentes em ambientes comuns ao nosso dia-a-dia.

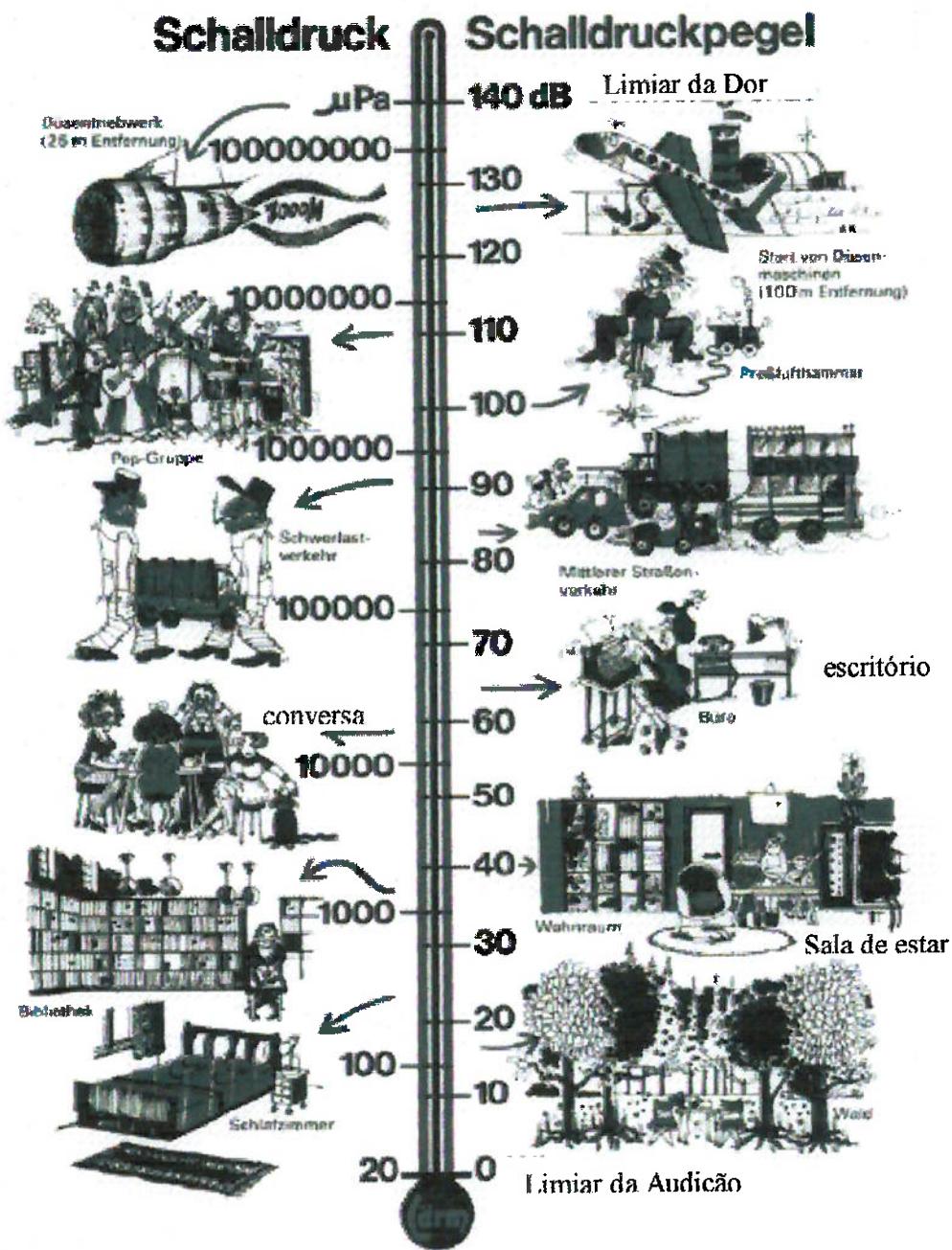


Figura 5.3.4.5: níveis de ruído médio em algumas atividades.

❖ Vibrações

Os dados referentes ao estudo de vibração da bomba também foram passados para uma planilha. Os acelerômetros também passaram por um procedimento de calibração, similar o ocorrido com os microfones. Abaixo, na figura 5.3.4.6 está

representado um gráfico com os valores medidos com os acelerômetros já com os fatores de calibração inclusos. Na figura 5.3.4.7 estão apresentados os valores com o circuito de compensação A incluso.

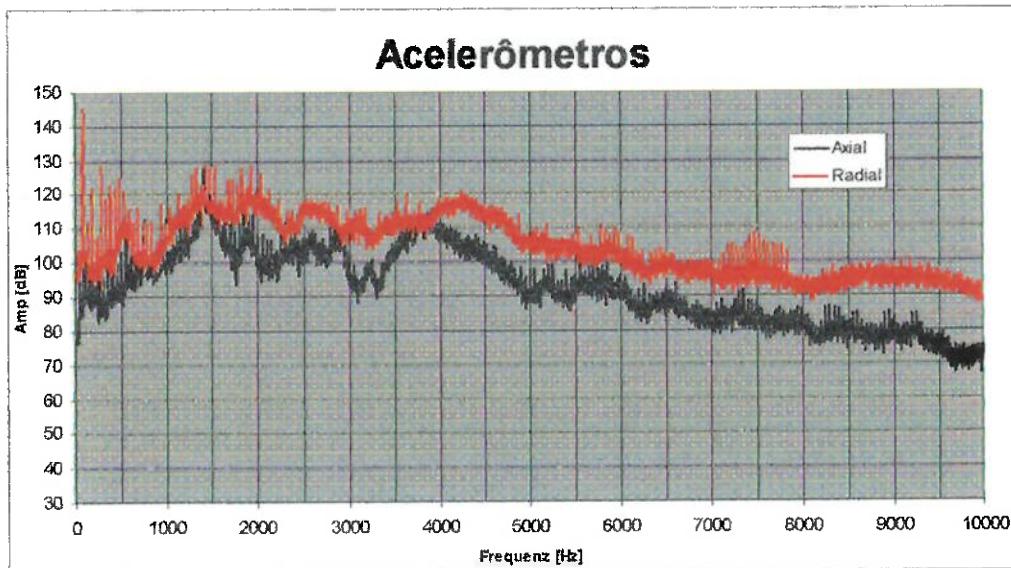


Figura 5.3.4.6 : valores medidos com os acelerômetros com fatores de calibração inclusos.

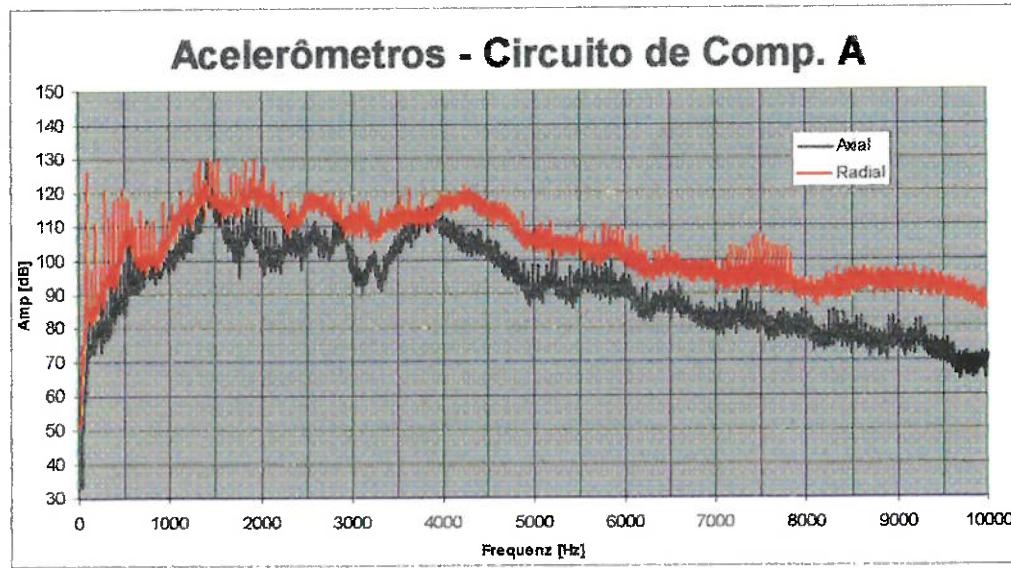


Figura 5.3.4.7: valores medidos com os acelerômetros com circuito de compensação A incluso.

5.3.5. Conclusões dos ensaios do modelo físico

Os valores médios obtidos com os acelerômetros situam-se próximos a 100 dB e 85 dB para as posições radial e axial respectivamente. A diferença nos valores se deve à posição. Embora os valores se apresentem altos os mesmos sofrerão uma diminuição até chegar à zona em que o nadador se encontra. Os valores de ruído na zona em que o nadador se encontra foram obtidos através dos microfones.

Pode-se ver na figura 5.3.4.4, dados obtidos através dos microfones com circuito de compensação A, que os valores obtidos com o modelo até 1500 Hz ficam, em média, em torno de 50 dB, o que representa um nível extremamente aceitável de ruído num equipamento para fins esportivos.

Os ensaios foram realizados em um modelo reduzido. Tal fato poderá exigir a adoção de coeficientes para corrigir efeitos de escala quando analisados em um protótipo.

O que podemos constatar é que os ruídos no modelo ficaram em valores aceitáveis. Também a expertise ganha durante o trabalho com o modelo serviu para que possam ser solucionados problemas relativos à acústica no modelo real com maior conhecimento e eficácia, sendo que os métodos de amenização de ruídos descritos na seção 4.4.2.5.1 são válidos para qualquer tipo de instalação.

6. Equipamentos similares

Também foi realizada uma pesquisa sobre produtos similares ao que está sendo desenvolvido. Foi encontrado um produto bem interessante chamado “Badu Jet”. Trata-se de um gerador de correnteza. A seguir, na figura 6.1, segue uma foto do manual de instruções. Nesta figura da para se ter uma idéia do aspecto visual do produto.



Figura 6.1: foto do manual de instruções do aparelho Badu Jet.

Um professor da Universidade de Darmstadt, Lothar Kurtze, possui em sua residência um equipamento deste. Uma visita à sua casa foi efetuada. A seguir seguem algumas fotos de tal instalação.

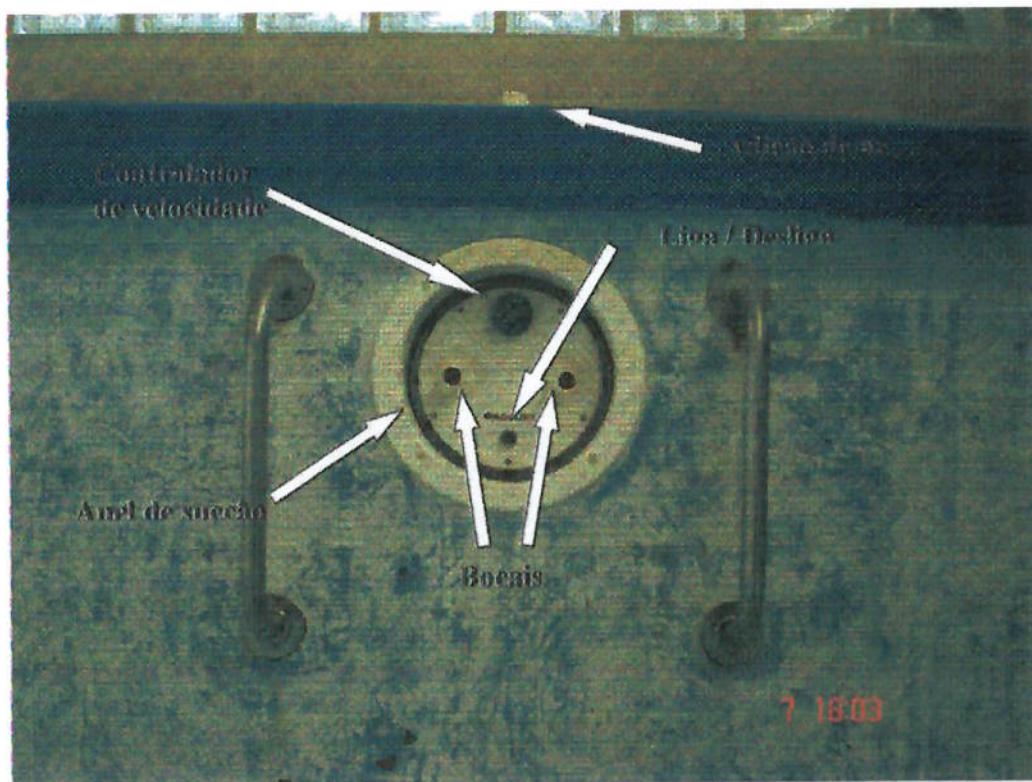


Figura 6.2: Imagem de uma instalação de um equipamento para se nadar contra corrente.

Na foto 6.2 pode ser vista um registro redondo preto acima dos dois bocais por onde o jato de água sai. Neste registro controla-se a velocidade do jato. Abaixo do escrito “Badu Jet” encontra-se um botão para ligar ou desligar o aparelho. Acima da instalação, fora da piscina, ao centro, encontra-se um registro branco. Através deste, pode-se misturar ar à corrente. O retorno da água na linha de sucção da bomba se dá através do anel ao redor do painel.

A seguir, nas figuras 6.3 pode-se observar a instalação do motor e da bomba.

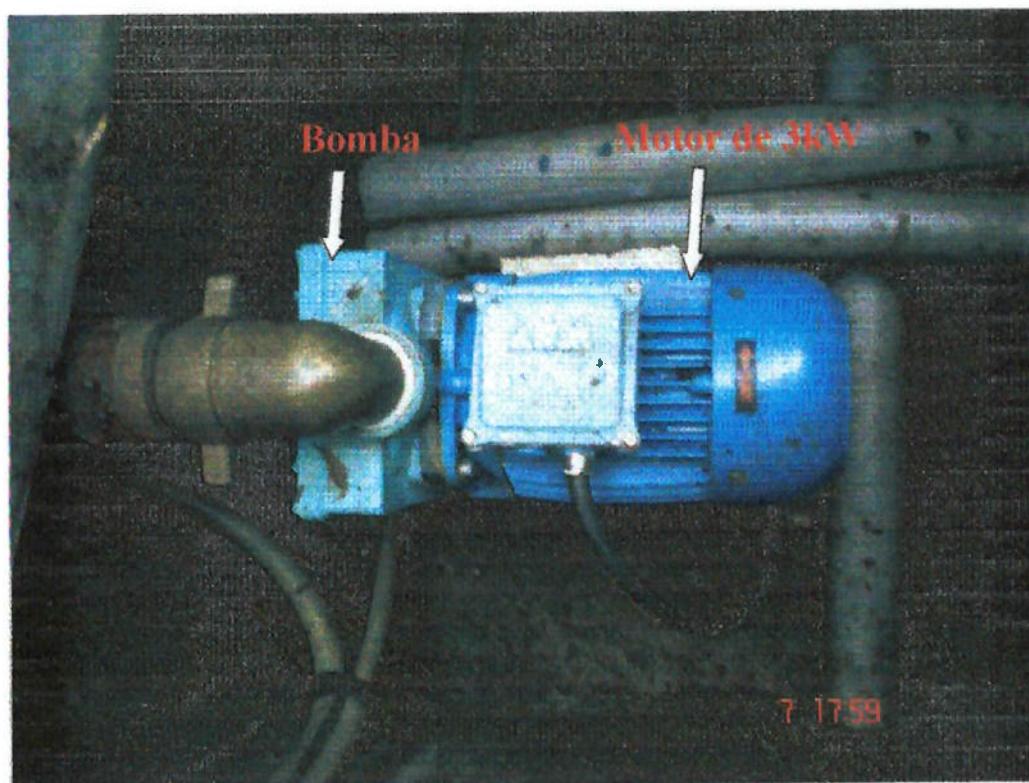


Figura 6.3: foto da instalação do motor e da bomba.

O Motor possui 3 kW (aproximadamente 4 cV). Na foto acima pode-se notar o acoplamento da bomba no motor.

Na figura seguinte, 6.4, pode-se ter uma boa vista da preocupação para evitar ruído, como descrito anteriormente na seção 4.4.2.6.1 – Conforto Acústico e vibratório.



Figura 6.4: foto da instalação das tubulações.

Na foto acima, pode-se ver a implantação de um trecho de canalização de um material que parece um plástico. Tal propósito é justamente para evitar a conexão rígida entre o motor e a instalação, amenizando assim problemas com vibrações e ruídos.

Na mesma linha de preocupação de isolamento acústico segue a próxima foto, figura 6.5. Nela, pode ser visto o suporte do motor. O material é parecido com um bloco de cimento revestido com uma camada grossa (1 ou 2 cm) material esponjoso.



Figura 6.5: foto do suporte do motor.

Quanto à instalação elétrica, pode ser visto na figura 6.6 uma foto das instalações elétricas. Mais algumas informações técnicas podem ser encontradas no manual no anexo 1.



Figura 6.6: Foto da instalação elétrica.

A utilização de dados deste produto é extremamente interessante para o melhor desenvolvimento do produto em estudo. Informações técnicas mais profundas sobre o “Badu Jet” já foram requisitadas. Deve-se considerar, porém, que existe a real probabilidade de tais informações não serem enviadas por motivos de preservação dos dados técnicos do produto pelo fabricante.

7. CONCLUSÕES

Foi apresentado um estudo para o desenvolvimento de um novo produto. Este produto, numa primeira análise, apresentou-se interessante e viável, revelando uma possibilidade de se aumentar em 220 % a razão aluno/m² no complexo aquático de academias de ginástica de grandes centros urbanos.

Apresentou-se uma proposta inicial com a caracterização espacial e funcional do produto em desenvolvimento. A partir desta concepção do "AquaFit" foi realizada a análise estrutural básica, seleção de materiais, definição do comportamento do escoamento no entorno do nadador a partir de um modelo semi-empírico. Em seguida foram determinados valores para a vazão de água e para as perdas de carga inerentes ao sistema concebido, resultando nas condições que selecionaram a bomba radial. O controle, que é acionado pelo nadador, será feito através de um inversor estático de freqüência atuando no motor elétrico que aciona a bomba.

Para o estudo de desenvolvimento deste produto foram considerados vários fatores. Pesquisou-se o melhor procedimento para realização da manutenção (limpeza, conservação da qualidade da água) além de uma busca por possíveis peças que comporiam o produto, como filtro, por exemplo.

Realizou-se a construção de um modelo para estudos de escoamento e também de parâmetros acústicos. Esta investigação teve como objetivo atender requisitos mínimos de conforto acústico do usuário. Foram obtidos recursos financeiros e materiais para realizar a construção, operação e medições no modelo. Os dados resultantes dos testes foram registrados, tratados e analisados, sendo considerados satisfatórios com relação ao conforto humano.

Também pode-se mencionar a busca por produtos que pudessem colaborar no desenvolvimento deste, como o "Badu Jet". Estas informações colhidas colaboraram para confirmar a trajetória escolhida para o desenvolvimento do produto.

LISTA DE REFERÊNCIAS

- [1]- “Fundamentos da Mecânica dos Fluidos”. Yong, Donald F.; Okiishi, Theodore H.; Munson, Bruce R. São Paulo, 2005.
- [2]- “Sistemas de tratamento de ar” – Raul Bolliger Junior e Antonio Luís de Campos Mariani. São Paulo, 2002.
- [3]- “HVAC Systems Duct Design” – SMACNA – Sheet Metal and Air Conditioning Contractors’ National Association. Chantilly, USA, 1990.
- [4]- Manual Carrier.

4.4.2.2. Recorde mundial dos 100 m rasos:

<http://www.estadao.com.br/esportes/outros/noticias/2005/jun/14/139.htm>

4.4.2.2. Recorde dos 50 m nado livre em piscina curta (25 m):

www.swim.com.br

4.4.2.3. Dimensionamento da Bomba:

<http://www.ksb.com.br/>

4.4.2.4. Tratamento físico:

<http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>

4.4.2.4. Tratamento Químico da água:

<http://www.piscinaesossego.com.br/html/dicas.html>.

4.4.2.4. Instalação do sistema de limpeza no produto:

www.jacuzzi.com.br/manuais/projetopiscinas.pdf