

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LUCAS BIAGI ALMEIDA

**DIMENSIONAMENTO DE MOTO BOMBA MOVIDA A UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA
PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

LUCAS BIAGI ALMEIDA

**DIMENSIONAMENTO DE MOTO BOMBA MOVIDA A UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso dois, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dimensionamento de Moto Bomba Movid a um Motor de Combustão Interna para Alimentação de Caldeira

Lucas Biagi Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 21/11/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
(UTFPR – DAMEC)

Prof. Me. Luís Antônio Brum do Nascimento
(UTFPR – DAMEC)

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior
(UTFPR – DAMEC)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

* A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Nivaldo Evangelista de Almeida e Lilian da Cristina Silveira Biagi Almeida, que me deram todo o suporte para concluir a faculdade e aos meus amigos que fizeram parte dos melhores momentos que vivenciei durante este período universitário.

AGRADECIMENTOS

Nesse momento especial, devo agradecer a Deus por ter me dado esta oportunidade incrível de me formar em uma universidade espetacular em um curso que eu gosto.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR por me dar os recursos necessários para aprender bem o conceito de engenharia mecânica e me preparar para me virar com os desafios que aparecerem.

A h7 – Engenharia Mecânica por me dar a oportunidade de atuar como engenheiro mecânico na prática, me passando ensinamentos de liderança, organização, empreendedorismo e técnicos que eu não aprenderia em nenhum outro lugar.

Agradeço aos acadêmicos João Pedro Parzianello Martinelli e ao acadêmico Gabriel Augusto Zanolla pelo auxílio na formulação de frases do TCC.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior por ter aceito me orientar nesse trabalho final de conclusão de curso, seu conhecimento será fundamental para a finalização com qualidade dessa atividade.

EPÍGRAFE

It is said that life is for those who know how to live, but no one is born ready. Life is for those who are brave enough to take risks and humble enough to learn. (LISPECTOR, Clarice, 1960)

Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arriscar e humilde o bastante para aprender. - Clarice Lispector. (LISPECTOR, Clarice, 1960)

RESUMO

Biagi, Lucas. Dimensionamento de Moto Bomba Movida a um Motor de Combustão Interna para Alimentação de Caldeira 2019.77 f. – Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Neste trabalho apresenta-se um estudo realizado com o objetivo fazer um projeto de dimensionamento de bomba para fazer o reabastecimento de uma caldeira que funcione sem a necessidade de energia elétrica, com a finalidade de promover uma saída emergencial para uma situação extrema, evitando a parada eminente do sistema de produção de uma empresa de laticínios situada no Sudoeste do Paraná. Apresenta conceitos teóricos de caldeiras a vapor, motores a combustão interna e bombas d'água, assim como, todos os cálculos teóricos necessários para encontrar dados essenciais para o dimensionamento dos equipamentos. Ao final, apresenta-se como resultado, bombas e motores encontrados em catálogos de fornecedores assim como uma planta 2D da casa da caldeira onde estão presentes o sistema de bombeamento, identificando que as dimensões da bomba e do motor são adequados para a instalação no local sem a necessidade de reformas estruturais.

Palavras-chave: Moto Bomba. Combustão interna. Alimentação de Caldeira.

ABSTRACT

Biagi, Lucas. Dimensioning of Motorcycle Pump Powered by an Internal Combustion Engine for Boiler Feeding 2019.77 f - Completion of course work - Mechanical Engineering Course, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2019.

This paper presents a study carried out with the objective of making a pump sizing project to replenish a boiler that works without the need for electricity, with the purpose of promoting an emergency exit to a narrow situation, avoiding downtime of the production system of a dairy company located in southwestern Paraná. It presents theoretical concepts of steam boilers, internal combustion engines and water pumps, as well as all the theoretical calculations necessary to find essential data for equipment sizing. In the end, we present as a result pumps and motors found in supplier catalogs as well as a 2D boiler house layout where the pumping system is present, identifying that the pump and motor dimensions are suitable for on-site installation without the need for structural reforms

Keywords: Moto Pump. Internal combustion. Boiler feed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Caldeira Aquatubular	20
Figura 2. Caldeira Flamotubular.....	20
Figura 3. Caldeira Mista	21
Figura 4. Campo de atuação das bombas	24
Figura 5. Bomba Centrífuga, rotor aberto	25
Figura 6. Bomba centrífuga de fluxo misto. Rotor fechado.....	26
Figura 7. Bomba axial ou propulsora	26
Figura 8. Os Quatro tempos do motor alternativo.....	28
Figura 9. Motor a 2T de ignição por faísca.....	28
Figura 10. Disposição dos cilindros.....	30
Figura 11. Rotor de bomba centrífuga, notando-se o efeito da “cavitação”	34
Figura 12. Relação entre rendimento e altura de uma bomba.....	36
Figura 13. Gráfico de uma bomba hidráulica.....	38
Figura 14. Altura de projeto prevista	39
Figura 15. Gráficos que identificam o tipo de bombas desejadas	40
Figura 16. Representação gráfica da altura manométrica pela vazão na bombas em série.....	41
Figura 17. Ponto de operação da bomba	43
Figura 18. Sistema que representa a equação geral da energia	44
Figura 19. Esquema de bombeamento a ser estudado.....	45
Figura 20. Esquema de bomba afogada.....	49
Figura 21. Esquema de bomba afogada e pressurizada	49
Figura 22. Componentes de um sistema de bombeamento	50
Figura 23. Representação da Rugosidade	52
Figura 24. Diagrama de Moody	53
Figura 25. Comprimento Equivalente	55
Figura 26. Localização das bombas da caldeira de estudo 1.....	56
Figura 27: Localização das bombas da caldeira de estudo 2.....	56
Figura 28. Placa de identificação da caldeira	59
Figura 29 – Motor Branco	64
Figura 30 – Motor utilizado na empresa atualmente.	66
Figura 31. Planta: casa de caldeira sem a moto-bomba a combustão interna. .	68

Figura 32. Planta: casa de caldeira com a moto-bomba a combustão interna A	
.....	68
Figura 33. Planta: casa de caldeira com a moto-bomba a combustão interna A	
.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de combustível e suas características para caldeira geradora de vapor	22
Tabela 2 – Motores 2T e 4T.....	29
Tabela 3 - Dados Iniciais.....	57
Tabela 4 - Perda de Carga.....	57
Tabela 5 - Potência de Acionamento	58
Tabela 6 - Curva Característica do Sistema	58
Tabela 7 - Componentes do sistema de bombeamento.....	58
Tabela 8 - Dados Iniciais (Preenchidos).....	60
Tabela 9 - Componentes do sistema de bombeamento (Preenchido).....	61
Tabela 10 – Perda de Carga (Preenchido).....	62
Tabela 11 – Potência de Acionamento (Preenchido)	62
Tabela 12 – Curva Característica do Sistema (Preenchido)	63
Tabela 13 – Motor Branco Dimensionado	65
Tabela 14 – Dimensões do motor atual	66
Tabela 15 – Bomba d’água Dimensionada.....	67
Tabela 16 – Bomba d’água Encontrada nos Catálogos.....	67
Tabela 17 – Motor Encontrado nos Catálogos.....	67

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

H_a	Altura total de aspiração	m
H_b	Altura representativas da pressão atmosférica local	m
p_0	Pressão na entrada da bomba	$kgf.m^{-2}$
γ	O peso específico do líquido	$kgf.m^{-3}$
h_a	Altura do líquido no reservatório	m
v_0	Velocidade inicial	$m.s^{-1}$
g	Aceleração da gravidade	$m.s^{-2}$
J_a	Perda de carga no encanamento de aspiração	-
p_3	Pressão de saída da bomba	$kgf.m^{-2}$
i	Número de estágios da bomba	-
$NPSH$	Altura Positiva Líquida de Sucção	m
h_l	Energia dissipada pelo sistema devido ao atrito no interior da turbo máquina.	mca
n	Rotação da bomba	rpm
Q	Descarga	$m^3.s^{-1}$
K_{pfl}	Fator de correção	
H_{man}	Altura manométrica	m
H_m	Altura motriz	m
$H_{t\#}$	Altura de elevação teórica	m
z	Número de pás	-
ψ	Fator de correção de Pfleiderer	-
n_q	Rotação específica	rpm
φ	Fator que depende da rotação específica	-
h	Cota do centro de gravidade G do elemento, cotada a partir de um plano tomado como referência	m
n	Rotação da bomba	RPM
k	Coeficiente de redução da seção de entrada do rotor	-
d_{m1}	Diâmetro de entrada, correspondente ao filete médio	m
d_e	Diâmetro da boca de entrada da bomba	m
K	Coeficiente adimensional	-
T	Temperatura	K
h_v	Pressão de vapor de água	$kgf.m^{-2}$
h_e	Altura estática de elevação	m

H_r	Energia removida do fluido por turbinas	m
$(z_2 - z_1)$	Altura entre centros do instrumento	m
v_1	Velocidade na tubulação de aspiração	m/s
v_2	Velocidade na tubulação de recalque	m/s
L	Comprimento de canalização retilínea	m
f	Fator de atrito da tubulação função da rugosidade e número de Reynolds	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Principal	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 CALDEIRA	19
2.2 BOMBA D'ÁGUA	23
2.3 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA	27
2.3.1 Rotação do motor	30
3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)	31
3.1 PARÂMETROS DE PROJETO	31
3.1.1 Altura Manométrica	31
3.1.1.1 Altura Estática	31
3.1.1.2 Alturas Dinâmicas	32
3.1.2 Cavitação	33
3.1.2.1 NPSH	34
3.1.3 Potencia e Energia Específica	35
3.1.4 Curvas Características (Bombas Em Série e em Paralelo)	36
3.1.4.1 Rendimento Mecânico, Volumétrico e Total	37
3.1.4.2 Curvas das Bombas Centrífugas	38
3.1.4.3 Bombas em Série e em Paralelo	40
3.1.5 Curva Característica do sistema	41
3.1.5.2 Controle do Desempenho de Bombas	42
3.1.6 Sistema de Bombeamento	43

3.1.6.1 Equação da Energia	43
3.1.6.2 Definição de Alturas Estáticas	45
3.1.6.3 Altura Manométrica	47
3.1.6.4 Altura Manométrica com tanque de recalque pressurizado.....	49
3.1.6.4 Altura Útil de Elevação	50
3.1.7 Sistema de bombeamento, principais componentes:	50
3.1.8 Rugosidade absoluta.....	51
3.1.9 Número de Reynolds.....	52
3.1.10 Fator de atrito	52
3.1.11 Velocidade do fluido	54
3.1.12 Perda de Carga por Acessórios	54
4 APLICAÇÃO	56
4.1 VARIÁVEIS E CONSTANTES DO PROJETO	57
4.1.1 Dados Iniciais	59
4.1.3 Perda de Carga	61
4.1.4 Potência de Acionamento.....	62
4.1.5 Curva Característica do Sistema	63
4.1.6 Busca em Catálogos da Bomba Ideal	63
4.2 MOTOR IDEAL PARA ACIONAMENTO DA BOMBA	64
4.3. REUTILIZAÇÃO DA BOMBA JÁ UTILIZADA NA EMPRESA.....	65
4.4 RESULTADOS	67
5 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS.....	71
ANEXO A – TABELAS UTILIZADAS	73

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho foi desenvolvido com a finalidade de fazer um dimensionamento de uma moto bomba a combustão para o reabastecimento de água em uma caldeira, caso ocorra queda no fornecimento de energia da fábrica.

Uma caldeira em operação fica muito dependente da energia elétrica para funcionar adequadamente caso seu reabastecimento seja feito exclusivamente por bombas elétricas. Quando essas bombas estão impossibilitadas de atuar, a caldeira deve iniciar imediatamente seu procedimento de parada, a fim de evitar o risco eminente de explosão da caldeira por falta de água.

Um dos motivos de a bomba da caldeira não ligar, é pelo fato de essas bombas serem elétrica e dependerem de um constante fornecimento de energia para seu funcionamento, se um dia a bomba não tiver esse fornecimento, ela não vai mandar água para dentro da caldeira e o operador vai ter que iniciar os procedimentos de parada. E por conta disso está sendo estudado o dimensionamento de uma bomba que funciona a combustão para reabastecer a água da caldeira, essa bomba vai ser projetada com o intuito de substituir as bombas elétricas quando o fornecimento de energia da mesma for cortada por algum motivo, isso evitará a parada emergencial da caldeira, resolverá o risco de explosão por falta de água e impedirá que a empresa tenha um prejuízo monetário por ser dependente do vapor gerado da caldeira na hora de fazer a operação.

Para a análise e validação dos cálculos utilizou-se o livro de dimensionamento de bomba (MACINTRYRE, 2014), o livro para análise dos motores (BRUNETTI, 2012) e (BRUNETTI, 2014), as apostilas de máquinas térmicas para a análise das caldeiras (MARTINELLI, 2013) e a apostila para análise e dimensionamento de bomba (VILLAR, 2010). O estudo será aplicado em uma empresa que atua no sudoeste do Paraná.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Dimensionar uma moto bomba movida por um motor a combustão interna específica para a caldeira de uma empresa do sudoeste do paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo do projeto, estudou-se os itens:

- Definir a pressão de atuação da caldeira;
- Verificar a vazão proporcionada pelas bombas elétricas;
- Calcular a perda de carga nas tubulações antes de entrar na caldeira;
- Achar a Altura manométrica a ser superada pela bomba;
- Definir o NPSH do sistema;
- Definir a vazão da bomba a combustão interna;
- Definir a temperatura máxima com que a água pode passar pela bomba sem que ocorra cavitação;
- Verificar se a composição da água não irá reagir com as pás da bomba;
- Identificar se uma bomba de múltiplo estágio é o ideal para o trabalho;
- Apresentar a bomba ideal para cumprir a função desejada;
- Definir o motor a combustão ideal para o serviço;
- Elaborar uma planilha do Excel para dimensionamento e escolha de moto bomba
- Orientar o posicionamento da moto bomba a combustão no ambiente da caldeira;

1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho em questão foi desenvolvido para suprir inicialmente a necessidade de uma empresa da região sudoeste do Paraná e após colher-se os resultados positivos será disponibilizado a planilha de dimensionamento para facilitar que esse serviço seja realizado em qualquer caldeira de vapor no Brasil, com exceção das nucleares, pelo motivo de trabalharem com um sistema muito mais complexo do que as outras.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os estudos que foram realizados, estão estruturados em cinco capítulos essenciais para a conclusão do projeto, sendo eles introdução, parâmetros do projeto, aplicação, análise de custos e conclusão.

Capítulo 1 - Em introdução, detalha-se um pouco sobre o que será o projeto, como foi abordado e quais os pontos necessários que serão apresentados a fim entregar um projeto final claro e eficiente.

Capítulo 2 e 3 - Em parâmetros do projeto foi definido os equipamentos que serão estudados no projeto e quais as características dos motores e bombas que interessam na hora de fazer a escolha certa. Também foi estudado alguns pontos importantíssimo, como temperatura da água de alimentação e altura manométrica a ser superada e em seguida foi listado todas as equações e teorias necessárias para que o projeto seja realizado com sucesso em qualquer caldeira geradora de vapor.

Capítulo 4 - Em aplicação, foi executado o dimensionamento da moto bomba, utilizando os parâmetros estudados nesse trabalho, para uma empresa de laticínio situada no sudoeste do Paraná. Ao finalizar os cálculos da aplicação, foi feito uma pesquisa de mercado buscando motores e bombas compatíveis com os calculados.

Capítulo 5 - Em conclusão foi feito uma análise se o dimensionamento da bomba foi concluído com sucesso e se ele é viável ou não.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

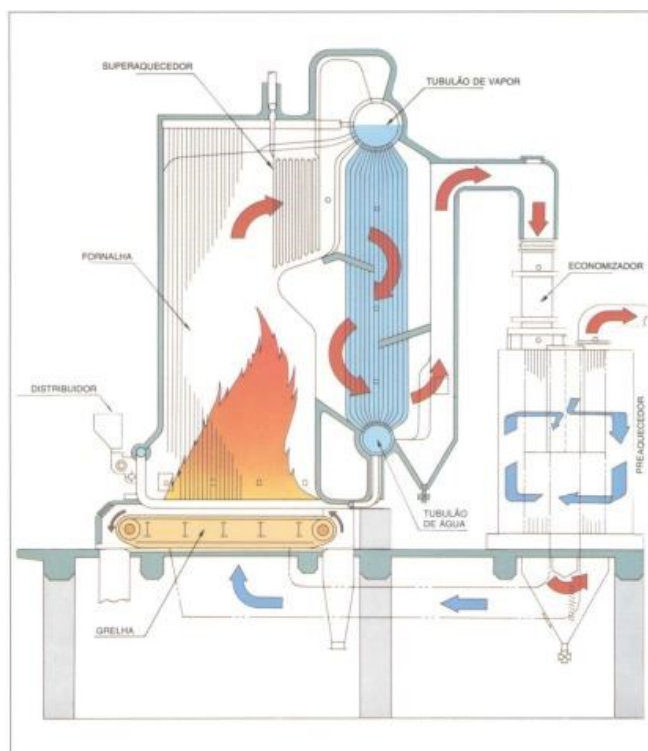
2.1 CALDEIRA

A fim de abordar as definições de caldeira que foi usada nesse trabalho, no capítulo 2.1, seguiu-se Martinelli, 2013.

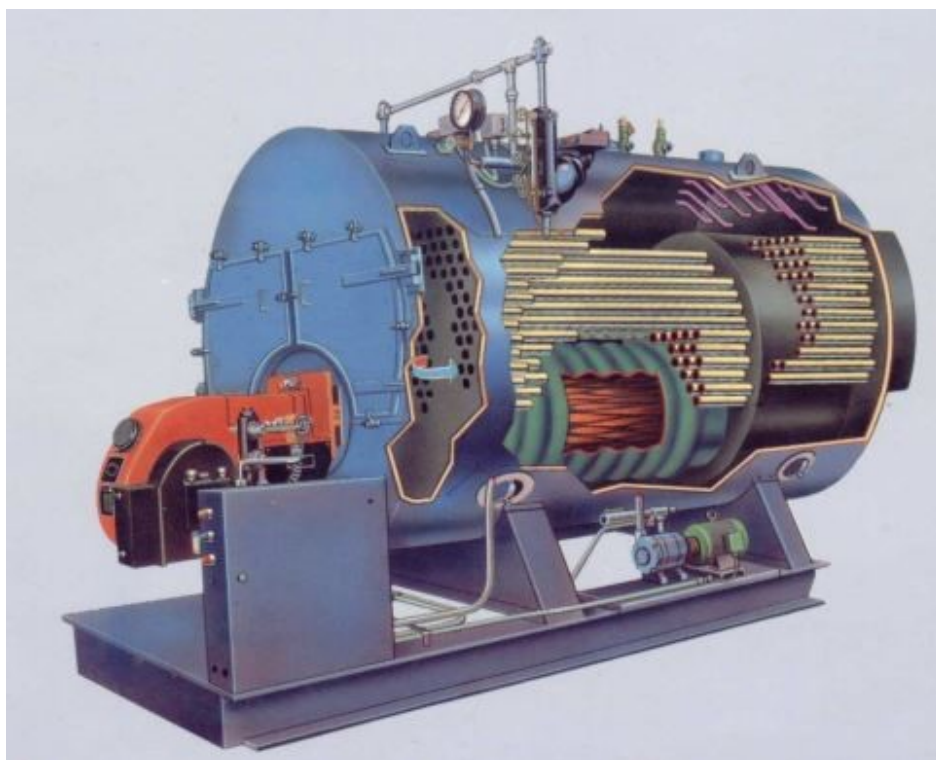
De acordo com a NR-13(2014), caldeiras, também conhecidas como geradores de vapor, são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica. Elas podem utilizar diferentes tipos de combustível para conseguir a energia necessária para o sistema gerar o vapor pretendido pelo engenheiro.

Segundo o item 13.1.9 da NR-13(2014) Dentre os tipos de caldeiras, podem-se classifica-las em categorias “A, B e C” cada uma dessas categorias representa a capacidade que a caldeira tem para armazenar pressão manométrica, variando abaixo de 5,8 kgf/cm² nas categorias C e acima de 19,6 kgf/cm² nas categorias A.

Quanto à posição dos gases quentes e da água consegue-se classifica-las em aquatubulares (figura 1), onde a água a ser aquecida passa por dentro de tubos que se localizam ao redor da câmara principal de queima do combustível, nessa região são fornecidas para o líquido tanto energia por condução, quanto energia por radiação. Em flamotubulares (figura 2), onde os gases da combustão passam por dentro de tubos ao longo do reservatório de água a ser aquecido, esses gases podem passar pelos tubos em vários passes de acordo com sua necessidade e a eficiência desejada. Em mistas (figura 3) onde se tem uma combinação entre as caldeiras aquatubulares e flamotubulares para aumentar a eficiência da caldeira.

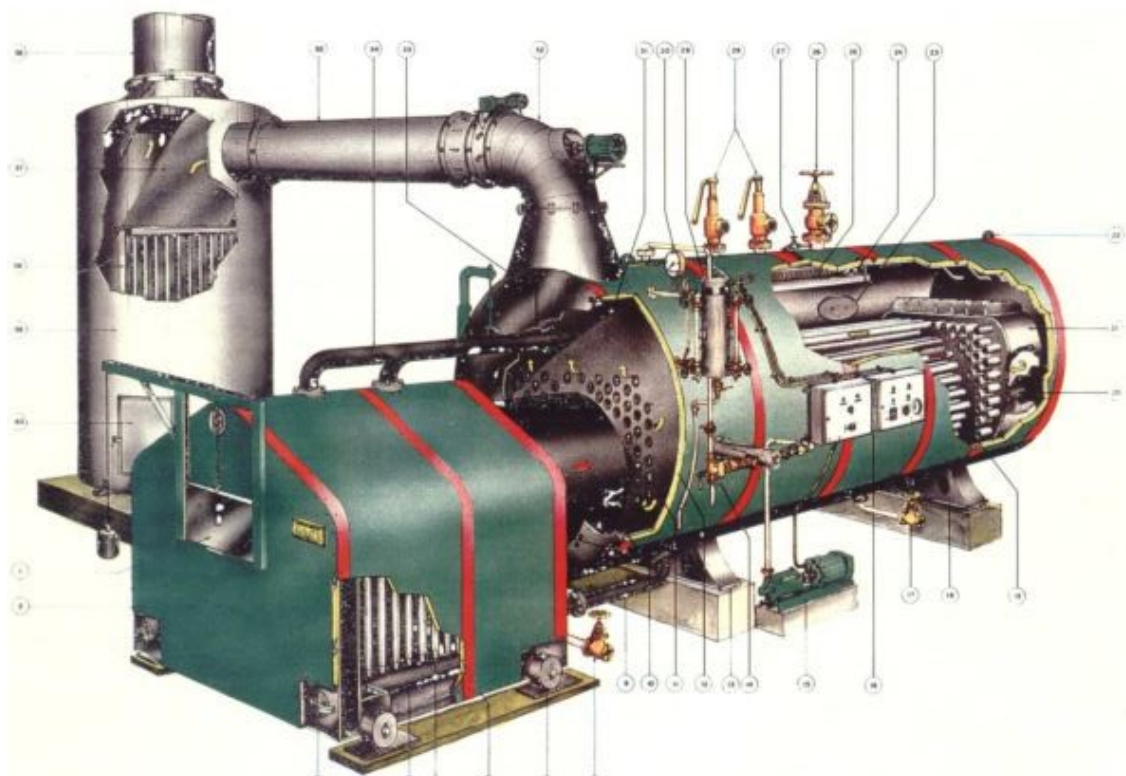
Figura 1. Caldeira Aquatubular

Fonte: Martinelli, (2013)

Figura 2. Caldeira Flamotubular

Fonte: Martinelli, (2013)

Figura 3. Caldeira Mista



Fonte: Martinelli, (2013)

O combustível fornecido para cada caldeira pode variar, de acordo com as necessidades de cada empresa, podendo ser eles: Sólidos como lenha, bagaço de cana e carvão; Líquidos como Álcool e óleo; Gasosos com qualquer gás que possa ser queimado e essa queima forneça energia para o líquido armazenado. Para os diferentes tipos de combustíveis, o engenheiro responsável pela caldeira deve fazer o cálculo para descobrir o quanto dele será necessário para fornecer a energia esperada para a água atingir a pressão desejada no fim do ciclo, na tabela 1, pode ser analisado alguns tipos de combustíveis e suas características de queima.

Tabela 1 - Tipo de combustível e suas características para caldeira geradora de vapor

Comb.	Óleo a (BPF) (a)	Óleo C (OC-4) (a)	Óleo D (BTE) (a)	Óleo E (a)	Óleo Diesel (b)	Querosene (b)	Carvão Min. (c)	Carvão Min. (c)	Lenha Seca (d)
C (%)	84,8	85,4	87,4	85,6	86,0	85,6	41,5	52,3	50,2
O H (%)	11,1	12,3	11,8	10,4	13,1	14,3	3,1	3,7	6,3
M P O (%)	---	---	---	---	---	---	8,4	9,6	43,1
O N S (%)	4,0	2,3	0,7	4,0	0,9	0,1	1,2	0,5	---
E N N (%)	---	---	---	---	---	---	0,8	0,9	0,06
T E H ₂ O (%)	traços	traços	traços	---	---	---	base seca	base seca	base seca
S Cinzas (%)	traços	---	traços	---	---	---	45,0	32,5	0,38
PCS (kJ/kg)	41,940	44,330	43,870	42,070	45,460	46,510	16,700	21,120	15,910
(kcal/kg)	(10,020)	(10,590)	(10,480)	(10,050)	(10,860)	(11,110)	(3,990)	(5,045)	(3,800)
PCI (kJ/kg)	39,470	41,610	41,270	39,770	42,570	43,370	16,020	20,300	14,530
(kcal/kg)	(9,430)	(9,940)	(9,860)	(9,500)	(10,170)	(10,360)	(3,827)	(4,850)	(3,470)

(a) Valores fornecidos pela Shell Brasil S.A. (Petróleo), obtidos dos certificados de qualidade da refinaria "Relan". Anos de 1977. (b) Teores de carbono e hidrogênio, bem como os poderes caloríficos, estimados a partir dos teores de enxofre e densidade médios, obtidos junto a Shell Brasil S.A. (Petróleo), para óleos provenientes da refinaria "Relan". (c) Fonte: (2). (d) Fonte: (3)

Fonte: Martinelli, (2013)

No Brasil, de acordo com a NR-13(2014), a norma adotada para a regulamentação das caldeiras é a ASME – seção I (American Society of Mechanical Engineers), nela encontra-se todos os pré-requisitos para que a caldeira possa operar com segurança.

Uma caldeira possui riscos diversificados que podem acabar causando um acidente no ambiente de trabalho, entre eles pode-se citar uma expansão violenta causada pela liberação instantânea de energia do líquido armazenado que pode acabar detonando o local de operação do equipamento. Essa explosão pode acontecer por conta de erro humano na operação, manutenção incorreta da caldeira, materiais danificados (com corrosões ou trincas), procedimentos incorretos ou processos incorretos.

Os riscos na operação podem ser originados pela diminuição da resistência do material onde se tem um superaquecimento e a estrutura interna do material muda, fragilizando a peça, esse tipo de falha pode ocorrer quando o material é inadequado para a função, foi mal projetado, não suporta a temperatura planejada, veio com defeito de fabricação ou outras possíveis situações que devem ser analisadas com mais calma pelo engenheiro responsável caso venha a acontecer. Diminuição da espessura dos tubos e das chapas que compõem a caldeira também gera um cuidado especial no equipamento, esse tipo de defeito pode ser causado por corrosões ou

erosão nos diâmetros nominais do tubo por conta reações químicas ou desgastes nos tubos. O aumento da pressão por conta de uma falha na válvula de segurança é perigoso e pode ser causado pelo fato de ter algum pressostato bloqueado, alguma válvula de segurança que não abre ou um instrumento de indicação descalibrado como o manômetro.

Um risco na operação muito perigoso também é quando tem uma falha operacional e o controle de nível não funciona ou a bomba não liga, se isso ocorrer, o operador deve iniciar o procedimento de parada da caldeira imediatamente e a empresa pode acabar tendo um prejuízo considerável por conta dessa parada. Quando há pouca água na caldeira e a energia que está sendo fornecida continua a mesma, essa água vai absorver a energia muito mais rápido e com isso vai sofrer uma expansão muito maior e mais rápida do que se a caldeira estivesse com o volume ideal de operação, isso pode causar uma explosão violenta na caldeira colocando em risco a segurança de todos os trabalhadores do local.

2.2 BOMBA D'ÁGUA

Para abordar o assunto do capítulo 2.2 foi utilizado o livro de dimensionamento de bomba (MACINTYRE, 2014) como referência.

Bomba d'água são máquinas cuja principal finalidade é transferir energia para o sistema através do rotor que gira empurrando o fluido em uma certa direção fornecendo assim energia para que ele possa vencer distâncias e alturas desejadas em um projeto. Ela também pode ser conhecida como máquinas geratrizes cuja a finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento.

Dentre os tipos de bombas d'água podem ser citadas as bombas rotativas de um rotor ou de rotores múltiplos, as bombas rotativas de pistão ou diafragma, as centrífugas e helicoidais e as axiais.

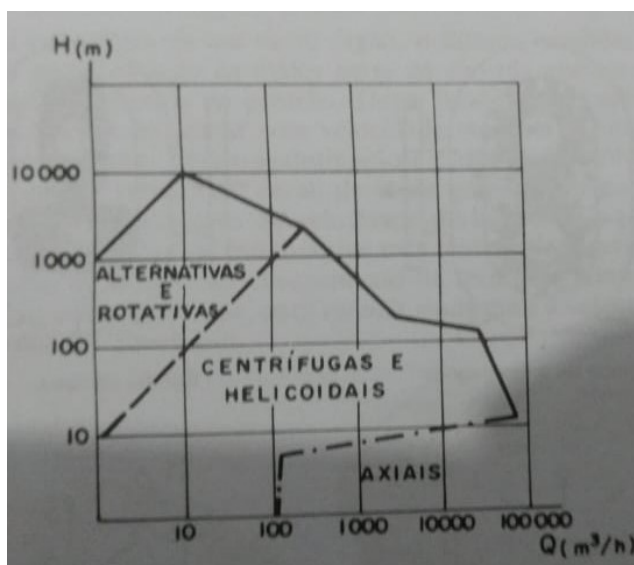
As bombas alternativas se caracterizam pelo fato do líquido do sistema receber a ação das forças diretamente de um pistão ou embolo, ou até mesmo de uma membrana flexível podendo ser acionadas por meio de motores elétricos ou por motores de combustão interna.

Nas bombas rotativas, o líquido do sistema recebe energia potencial através de rotores em movimento. As bombas rotativas podem conter um rotor, que deverá ser dimensionado para transferir toda a energia de uma vez só em apenas

uma passagem para o líquido, ou em múltiplos rotores, que vai transferindo energia gradativamente a cada passada do fluido pelo rotor até que se atinja o valor projetado. Em situações em que a energia a ser transferida seja muito grande, bombas de múltiplos rotores são recomendadas, para evitar danos a eles e não sobrecarregar seu funcionamento.

A figura 4, citada abaixo, mostra que bombas alternativas e rotativas são recomendados para alta pressão e baixa vazão volumétrica, as centrífugas e helicoidais são intermediárias, recomendadas para pressões mais amenas e vazão de fluido variado, já as bombas axiais trabalham com pressão baixíssimas e vazões elevadas.

Figura 4. Campo de atuação das bombas



FONTE: MACINTYRE, (2014)

Dentro das bombas rotativas, foi citado as turbobombas, que possuem rotores dotados de pás que são responsáveis por fornecer a aceleração desejada ao fluido. Pode-se encontrar rotores de dois tipos, os fechados e os abertos, sendo que a principal diferença de execução entre eles é que os fechados são utilizados para líquidos sem substâncias em suspensão e os abertos são utilizados para fluidos mais viscosos como pastas e lamas.

As turbobombas podem ser classificadas segundo a sua trajetória do líquido no rotor:

- a) Bomba centrífuga pura ou radial (figura 5)

b) Bomba de fluxo misto ou bomba diagonal (figura 6)

c) Bomba axial ou propulsora (figura 7)

A bomba “a” (figura 5), se caracteriza pela penetração do líquido pelo rotor, paralelamente ao eixo. Suas pás são feitas na forma cilíndrica para evitar turbulências e melhor atender as transições das trajetórias das partículas líquidas, por esse motivo, elas são recomendadas para o bombeamento de água limpa, água do mar, condensados, óleos, lixívia que serão enviados a grandes alturas e em pequenas vazões.

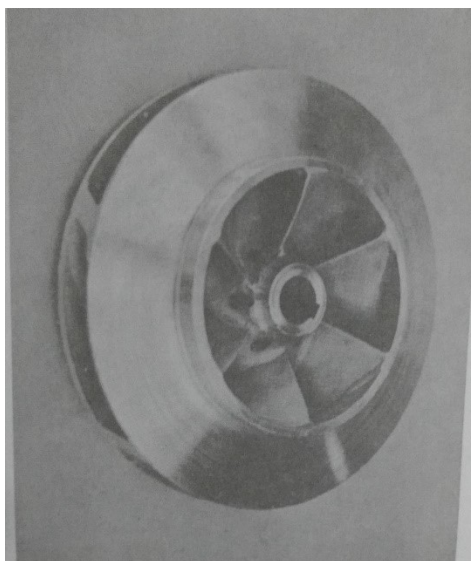
Figura 5. Bomba Centrífuga, rotor aberto



Fonte: MACINTYRE, (2014)

A bomba “b” (Figura 6), o líquido penetra no motor axialmente; atinge as pás cujo bordo de entrada é curvo e inclinado em relação ao eixo isso proporciona uma alta pressão que dependerá da força centrífuga adotada e pela ação de sustentação ou propulsão das pás.

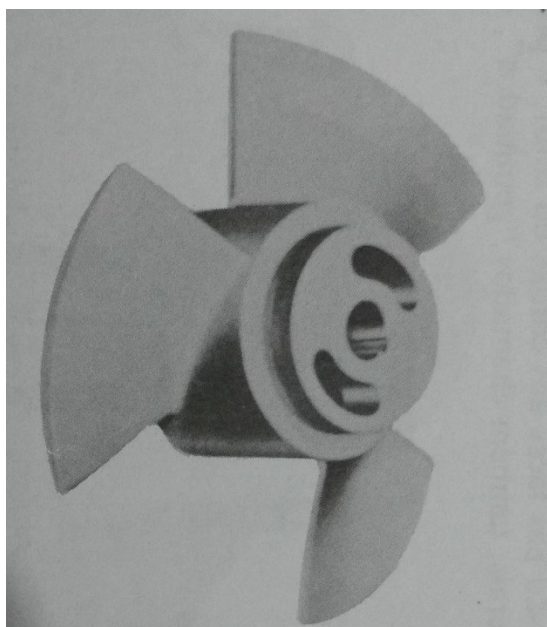
Figura 6. Bomba centrífuga de fluxo misto. Rotor fechado.



Fonte: MACINTYRE, (2014)

A bomba “c” (Figura 7), são empregadas para grandes descargas e alturas de elevações de até 40 metros.

Figura 7. Bomba axial ou propulsora



Fonte: MACINTYRE, (2014)

Também é possível classificar as turbobombas quanto ao número de rotores empregados:

- a) Estágio simples
- b) Múltiplos estágios

Uma bomba de estágio simples se caracteriza pela existência de um só rotor em seu interior. Esse tipo de bomba não é recomendada para elevadas alturas pois o preço de fabricação ficaria muito alto, por isso a solução encontrada para driblar essa situação, é construir uma bomba de múltiplos estágios, fazendo o líquido passar sucessivamente por vários rotores fixados no mesmo eixo, ganhando assim energia pouco a pouco até superar a altura necessária.

Deve-se sempre levar em consideração uma análise da necessidade da bomba para o local de instalação desejado, para que na hora do projeto, o engenheiro consiga definir a bomba mais adequada para fornecer o serviço.

As bombas especificadas acima devem ser conectadas à um motor que forneça trabalho com o intuito de transferir energia para o fluido. Os Dois tipos de motores que realizam esse trabalho é o motor elétrico que precisa de eletricidade para funcionar sendo de atuação muito boa para a caldeira, pois ele pode sofrer comandos de ligar e desligar em períodos de tempos curtos sem oferecer danos ao equipamento, mas por outro lado o motor elétrico acaba ficando dependente do fornecimento de energia elétrica. Já o motor a combustão interna, o segundo tipo, não é recomendável dar esse comando de ligar e desligar em curtos períodos, isso pode acabar danificando o equipamento, só que, controlado esse desafio, o problema de inserção de água na caldeira quando houver a queda de energia elétrica é resolvido.

2.3 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

O capítulo 2.3 foi desenvolvido tomando como referência o livro de motores a combustão interna (BRUNETTI, 2012) e (BRUNETTI, 2014).

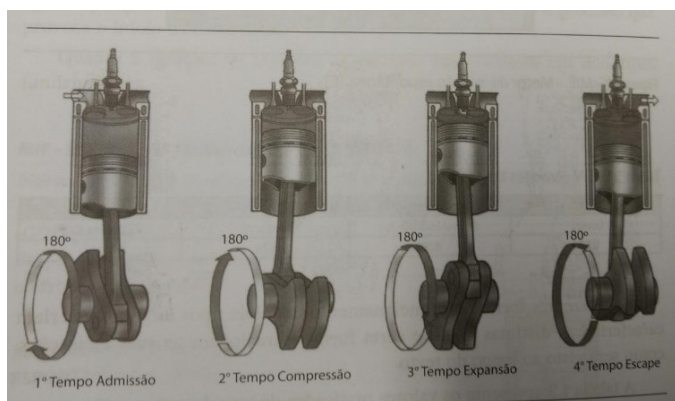
O motor a combustão interna é uma máquina que converte energia térmica por meio da queima de um combustível líquido em trabalho mecânico para um sistema através do movimento de expansão e compressão dos pistões. No nosso caso de estudo, o motor vai transferir essa energia mecânica para o rotor de uma bomba que em seguida, transferirá essa energia para o líquido em forma de energia potencial e posteriormente se transforma em energia cinética.

Motores a combustão interna podem ser classificados quanto ao número de ciclo da operação, podendo eles serem de dois tempos ou quatro tempos. Ciclo de

operação, é a sequência de processos sofridos pelo fluido combustível, processo esse que se repete periodicamente para a obtenção de trabalho útil.

Pode-se ver na Figura 8 um motor de quatro tempos completando seu ciclo, nesse caso o pistão percorre quatro cursos correspondente a duas voltas da manivela.

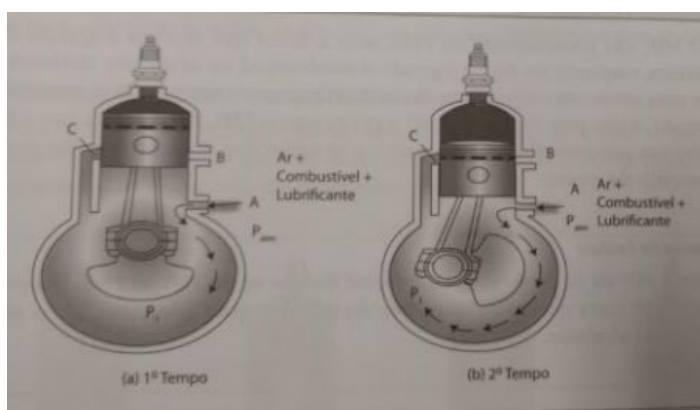
Figura 8. Os Quatro tempos do motor alternativo.



Fonte: BRUNETTI, (2012)

Na figura 9, encontra-se um motor com dois tempos de ignição por faísca. Nesse motor o ciclo se completa com apenas dois cursos do pistão, correspondendo a uma única volta do eixo do motor. O processo indicados no motor de quatro tempos são aqui realizados da mesma maneira, entretanto, alguns deles se sobrepõem em um mesmo curso.

Figura 9. Motor a 2T de ignição por faísca.



Fonte: BRUNETTI, (2012)

Pode-se citar as principais diferenças entre os motores de dois tempos e quatro tempos segundo a tabela a seguir:

Tabela 2 – Motores 2T e 4T

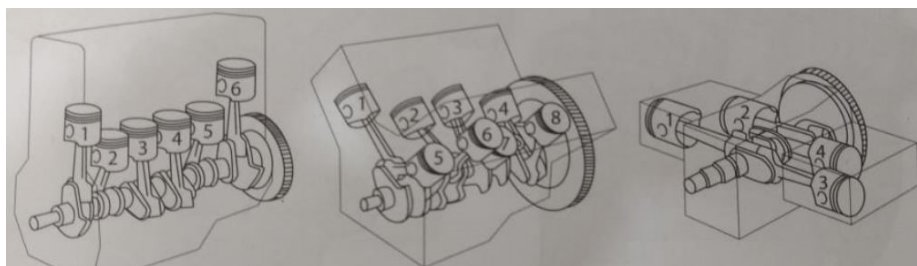
Diferenças	4T	2T
Tempos x Ciclo útil	2 voltas manivela	1 volta manivela
Fator de tempos	$x = 2$	$x = 1$
Sistema mecânico	Mais complexo	Mais simples; Ausência de: Válvulas e Eixo comando
Alimentação	Boa	Ruim Perda de mistura no escape Presença de lubrificante
Lubrificação	Boa	Ruim Presença de combustível

Fonte: BRUNETTI, (2012)

Com relação ao tipo de combustível usado no motor, pode-se citar os motores ciclo Otto e Diesel. Nos motores Otto a mistura é inserida já homogeneizada e dosada. A exceção se faz para os motores de ignição por centelha de injeção direta de combustível, nos quais somente ar é admitido e a injeção de combustível é realizada diretamente no interior do cilindro. Nos motores ciclo Diesel admite-se apenas ar, e o combustível é injetado finamente pulverizado ao final do curso de compressão, pelo qual, em pouquíssimo tempo, deverá se espalhar e encontrar o oxigênio do ar. Esse fato faz, com que nos sistemas de motores a diesel seja necessário um sistema de injeção de alta pressão. Por outro lado, torna-se difícil obter rotações elevadas nesses motores, pois, ao aumentar o ritmo do pistão, torna-se improvável a combustão completa do combustível, introduzido na última hora.

Os motores são organizados de três maneiras diferentes de disposição dos órgãos internos, a figura 11 os mostra esquematicamente, sendo o primeiro deles um motor de cilindro em linha, o segundo um motor em V e o terceiro o motor boxer.

Figura 10. Disposição dos cilindros.



Fonte: BRUNETTI, (2012)

2.3.1 Rotação do motor

Motores podem ser identificados pelo seu modelo e comparados por sua frequência de rotação e sua potência, por esse motivo é importante saber que existem alguns tipos de conversões que podem ser uteis na hora de procurar motores desejados nos catálogos, sendo elas:

- Conversões de potência;

A potência de um motor pode ser identificada em quilowatts-hora(KW), em horse power (HP) ou em cavalos (CV). A partir da tabela de conversão abaixo identifica-se as equivalentes das 3 potências:

KW	HP	CV
1	1,341	1,359

- Conversões de rotação;

As rotações podem ser definidas pelos fabricantes identificando o rpm que os motores atuam a uma certa potência, ou ainda, a quantidade de polos e a frequência que o motor possui. A partir dessas informações é possível convertê-las para facilitar as pesquisas em catálogos, onde:

$$n = \frac{f * 60}{p} \quad (1)$$

3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

3.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Nesse capítulo realizou-se um estudo teórico do dimensionamento da uma moto-bomba para qualquer caldeira geradora de vapor do Brasil, elaborando todas as equações e normas a serem seguidas para a conclusão do estudo.

Para o projeto do dimensionamento da bomba desse capítulo, segue metodologia proposta pelo livro de dimensionamento de bomba (MACINTYRE, 2014) e pela apostila (VILLAR, 2010).

3.1.1 Altura Manométrica

A altura manométrica é representada pela energia necessária que um líquido precisa para chegar de um ponto “a” até um ponto “b” considerando todas as suas alturas estáticas, dinâmicas e perdas.

3.1.1.1 Altura Estática

As alturas estáticas de elevação podem ser divididas em três categorias, a altura estática de aspiração, representada por h_a , que expressa uma diferença de altura entre o nível do centro da bomba e a região de captação do fluido no reservatório. A altura estática de recalque, representada por h_r , que expressa uma diferença de altura entre o nível de onde o fluido é abandonado na saída do tubo de recalque e o nível de centro da bomba. E a Altura estática de elevação, representada por h_e (equação 1), ela expressa a altura necessária para o líquido ser transferido do reservatório de sucção até a saída do tubo.

$$h_e = h_a - h_r \quad (2)$$

3.1.1.2 Alturas Dinâmicas

As alturas dinâmicas podem ser divididas em três categorias, sendo elas: “Altura total de aspiração, Altura total de recalque e Altura manométrica” (VILLAR, 2010).

A altura de aspiração pode ser dita como a diferença entre alturas, que representa a pressão atmosférica e a pressão reinante na entrada da bomba, podendo ser representada pela equação 3,

$$H_a = H_b - \frac{p_0}{\gamma} \quad (3)$$

Para dar continuidade a dedução, aplica-se a equação da conservação de energia entre a superfície livre no reservatório inferior e a seção de entrada da bomba, obtendo a equação 4,

$$0 + H_b + 0 = h_a + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + J_a \quad (4)$$

Substituindo 3.2 em 3.3,

$$H_a = h_a + \frac{v_0^2}{2g} + J_a \quad (5)$$

A altura de recalque pode ser considerado a diferença entre as alturas que são consideradas como pressão de saída da bomba e pressão atmosférica, podendo ser representada por,

$$H_r = \left(\frac{p_3}{\gamma} + i \right) - H_b \quad (6)$$

3.1.2 Cavitação

Quando se tem deslocamento de superfícies constituídas por pás, como acontece nas hélices de propulsão, rarefações no líquido acabam acontecendo, ou seja, as pressões são diminuídas devido à própria natureza do escoamento ou ao movimento impresso pelas peças que estão em movimento junto ao líquido.

Pode-se dizer que se a pressão absoluta baixar até atingir a pressão de vapor do líquido na temperatura em que este se encontra, inicia-se um processo de vaporização do mesmo, onde se formam pequenas bolsas, bolhas ou cavidades nas regiões mais rarefeitas que são chamadas de cavitação, sendo dentro dessas cavidades que o líquido se vaporiza e logo após são carregados pela corrente líquida provocada pelo movimento do órgão propulsor e com grande velocidade, atingindo regiões de elevada pressão, onde é processado seu colapso, com condensação do vapor e o retorno ao estado líquido.

Quando a pressão atuante no líquido se torna maior do que a pressão interna da bolha com vapor, as dimensões da mesma se reduzem violentamente, ocorrendo seu colapso e acarretando um deslocamento do líquido circundante para seu interior, que gera assim uma pressão de inércia considerável. As partículas que são geradas pela condensação se chocam entre si e com a superfície que se contraponha ao seu deslocamento em um curto espaço de tempo.

Pode-se dizer que os efeitos da cavitação são notados facilmente na bomba por meios estimáveis, visíveis e audíveis. O som da cavitação pode ser ouvido “parecendo o crepitar de lenha seca ao fogo ou um martelamento com frequência elevada.” (MACINTYRE, 2014).

Além de provocar corrosão, desgastando, removendo partículas e arrancando partes dos rotores e dos tubos da bomba, a cavitação produz algumas características curiosas que devem ser apontadas:

- Ela causa uma queda de rendimento perceptivo por medições no equipamento;
- Causa o desbalanceamento da máquina, proporcionando vibrações indesejadas ao equipamento;
- Causa ruídos e barulhos quando ocorre a implosão do líquido, podendo se notar sonoramente quando o equipamento está cavitando.

Figura 11. Rotor de bomba centrífuga, notando-se o efeito da “cavitação”



Fonte: MACINTYRE, (2014)

3.1.2.1 NPSH

Para uma boa “aspiração” do líquido pela bomba, encontra-se o NPSH – Net Positive Suction Head traduzido para APLS – “Altura Positiva Líquida de Sucção”. Esta grandeza representa “a disponibilidade de energia com que o líquido penetra na boca de entrada da bomba e que a ele permitirá atingir o bordo da pá do rotor” (MACINTYRE, 2014).

Estudando-se as energias presentes em uma instalação de bombeamento, pode-se dizer que a equação da energia aplicada no meio da superfície livre do líquido na captação se dá a seguir:

Considerando a equação 1 e 2 onde a Equação de conservação da energia (suposta na altura do centro da bomba - velocidade do líquido e a seção de entrada da bomba são nulas) são dadas e isolando o termo da pressão estática absoluta à entrada da bomba encontrado de acordo com a figura 13, assim,

$$\frac{p_0}{\gamma} = H_b - h_a - J_a - \frac{v_0^2}{2g} \quad (7)$$

Substituindo a equação 2 em 3,

$$H_a = H_b - \frac{p_0}{\gamma} = h_a + J_a + \frac{v_0^2}{2g} \quad (8)$$

A energia total absoluta $(\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g})$, é dada por,

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = H_b - h_a - J_a \quad (9)$$

Para que as contas saiam como previsto, é importante saber a pressão de vapor do líquido h_v na temperatura em que ele está sendo bombeado.

O NPSH é chamado de disponível nesse caso, em que o conceito se refere à disponibilidade de energia do líquido ao entrar na bomba, na qual depende da maneira como é projetada a instalação. E se dá por,

$$NPSH_{disp} = \left(\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} \right) - h_v \quad (10)$$

Ou, considerando a equação (5),

$$NPSH_{disp} = H_b - (h_a + J_a + h_v) \quad (11)$$

3.1.3 Potencia e Energia Especifica

A equação da potência e energia específica é dada por:

$$\dot{W} = \omega T_{eixo} = \omega(r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m} \quad (12)$$

E,

$$U = \omega r \text{ ou } U = \frac{Dn}{60} \quad (13)$$

Sendo:

- U Velocidade periférica ou tangencial do rotor. (m/s)
- ω Velocidade angular do rotor (rad/s)
- D, R Diâmetro e raio do impelidor respectivamente (m)
- n Rotação do rotor (rpm)

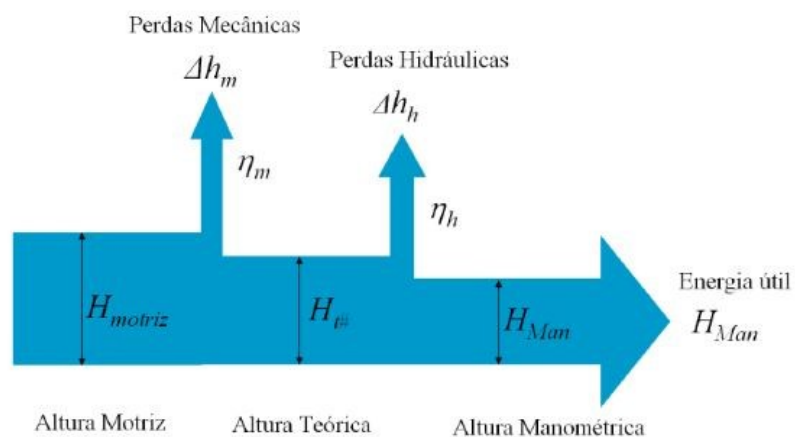
Segundo Euler, é possível considerar que a potência de uma turbo máquina pode ser definida como:

$$W = \rho g Q H_{man} \quad (14)$$

3.1.4 Curvas Características (Bombas Em Série e em Paralelo)

Para fazer a análise dos gráficos, deve-se saber quem nem toda energia mecânica do motor vai para o rotor e nem toda a energia cinética do rotor vai para o líquido.

Figura 12. Relação entre rendimento e altura de uma bomba



Fonte: VILLAR, (2010)

3.1.4.1 Rendimento Mecânico, Volumétrico e Total

O rendimento mecânico é dado por,

$$n_m = \frac{H_{t\#}}{H_m} \quad (15)$$

E o rendimento hidráulico,

$$n_h = \frac{H_{man}}{H_{t\#}} \quad (16)$$

O rendimento total pode ser encontrado de acordo com a fórmula

$$n_G = \frac{H_{man}}{H_m} \quad (17)$$

Substituindo e simplificando as 3 fórmulas, encontra-se que,

$$n_G = n_m n_h \quad (18)$$

Sabendo do rendimento, pode-se encontrar a potência de acionamento através da fórmula,

$$W_{ac} = \frac{\rho g H_{man} Q}{n_G} \quad (19)$$

Essa é a potência que precisa se encontrar na hora de dimensionar uma bomba centrífuga.

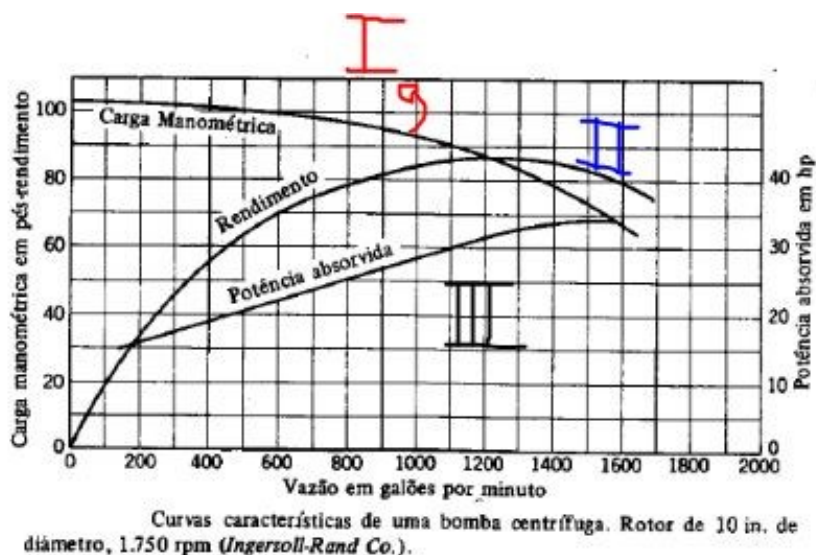
Considerando uma margem de segurança para a escolha do motor, segundo (VILLAR, 2010), pode ser utilizado a tabela 9, readequando assim o valor calculado.

3.1.4.2 Curvas das Bombas Centrífugas.

Observando a figura 13, tem-se 4 curvas principais que precisa ser analisada na hora de comprar uma bomba do fornecedor, sendo elas:

- Curva 1 – Variação da altura manométrica em função da vazão
- Curva 2 – Variação do rendimento global em função da vazão
- Curva 3 – Relação entre a potência requerida no acionamento e a vazão
- Curva 4 – Variação da altura líquida positiva de sucção e a vazão (como nossa bomba é afogada, a altura líquida de sucção não é importante, por esse motivo essa curva não será analisada.)

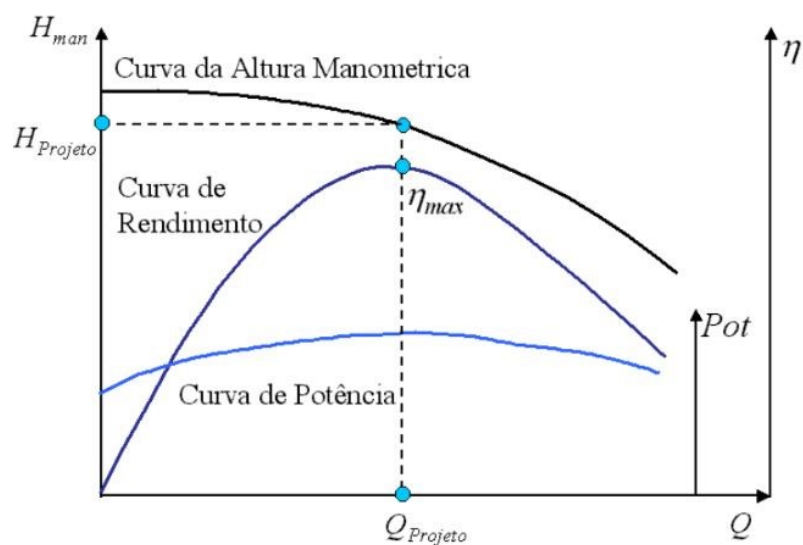
Figura 13. Gráfico de uma bomba hidráulica



Fonte: ADAPTADO DE VILLAR, (2010)

Levando em consideração a figura 21, pode-se identificar que a altura de projeto procurada está localizada onde o rendimento é máximo, ou seja, quando a curva de potência começa a cair junto com a curva de altura manométrica. A figura 21 demonstra um exemplo dessa análise.

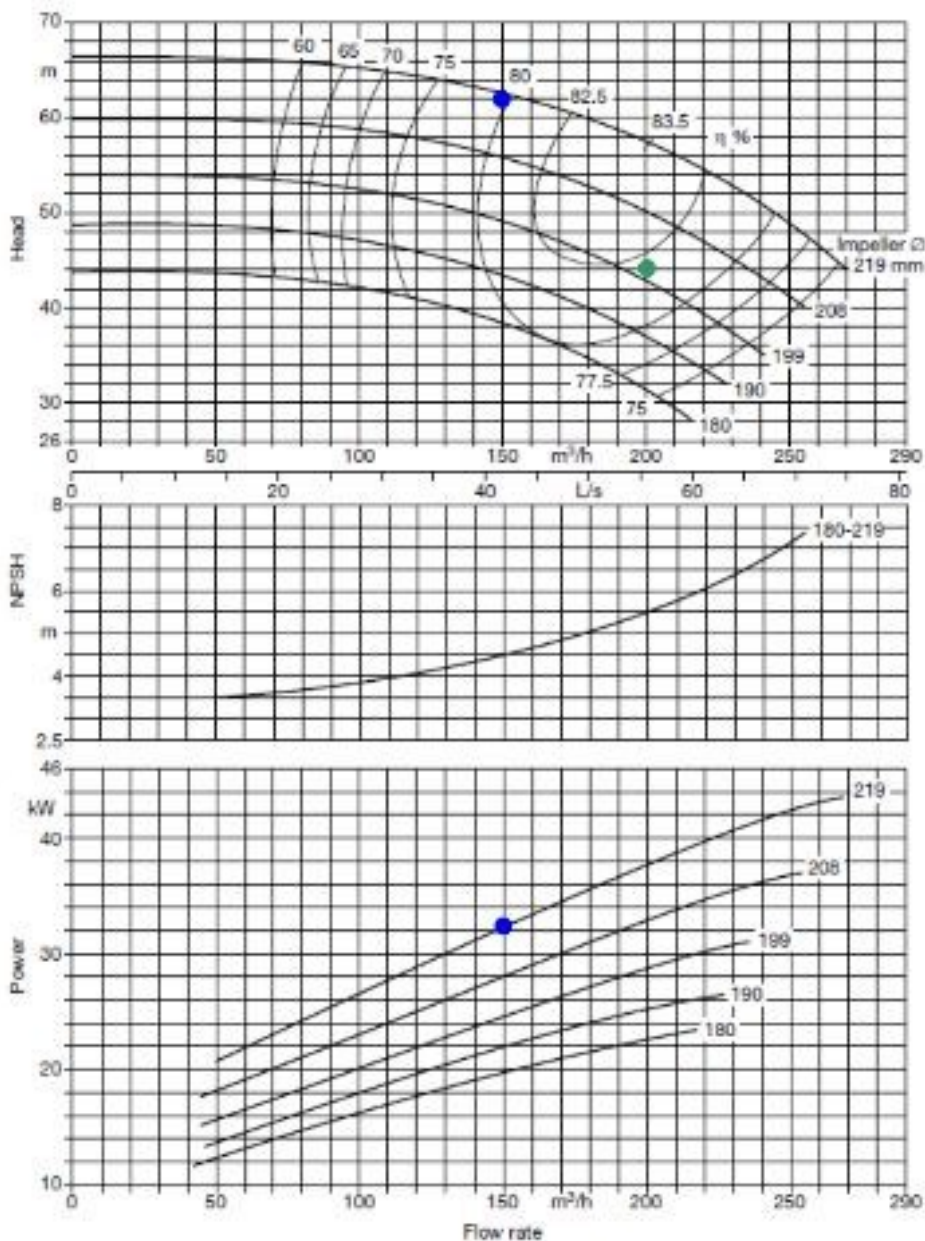
Figura 14. Altura de projeto prevista



Fonte: VILLAR, (2010)

No mercado de compra e vendas de bombas, encontra-se os gráficos fornecidos pelos fabricantes para identificar a bomba vendida por eles. Esses gráficos são semelhantes ao apresentado na figura 22, onde se tem o gráfico I de altura manométrica por vazão, rendimento e diâmetro do impelidor. O gráfico II de NPSH por vazão (não vai ser utilizado esse) e o gráfico III de potência por vazão e diâmetro do impelidor.

Figura 15. Gráficos que identificam o tipo de bombas desejadas



Fonte: VILLAR, (2010)

3.1.4.3 Bombas em Série e em Paralelo

Escolhe-se as bombas em série quando se tem alturas muito elevadas e você não consegue supera-las com bombas comuns de mercado. Ao ser empregadas bombas em série ao sistema, o fluido permanece tendo a mesma vazão, mas sua energia de pressão são somadas de acordo com os dois rotores. Segundo VILLAR,

bombas em estágio são consideradas bombas em série e utilizadas quando a altura manométrica é maior que 50m.

Já as bombas em paralelo são escolhidas com a finalidade de aumentar a vazão do fluido, elas são recomendadas para percorrer grandes distâncias, mas com pequenas diferenças de altura, por esse motivo, foi estudado essas bombas associadas em série em nosso projeto, que requer uma altura manométrica absurdamente alta, da ordem de 10 bar.

Vazão de bombas em série, equação 20. (Mesma vazão em todos os rotores):

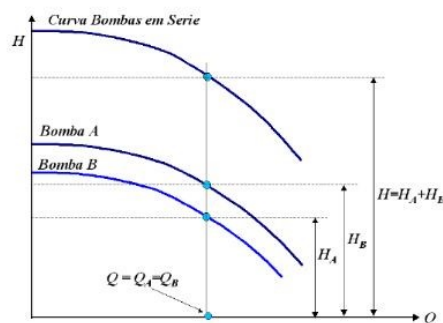
$$Q_{Si} = Q_{Ai} = Q_{Bi} \quad (20)$$

Alturas manométricas de bombas em série, equação 21 (Somados de acordo com a altura fornecida de cada rotor)

$$H_{Si} = H_{Ai} + H_{Bi} \quad (21)$$

A figura 23 mostra essa característica das bombas em série representadas graficamente.

Figura 16. Representação gráfica da altura manométrica pela vazão na bombas em série



Fonte: VILLAR, (2010)

3.1.5 Curva Característica do sistema

A curva característica do sistema pode ser dada pela equação:

$$H_{man} = h_e + kQ^2 \quad (22)$$

A partir da altura manométrica ideal, conseguimos encontrar o ponto de operação da bomba (figura 17), analisando a curva da bomba e a curva do sistema, com isso podemos encontrar o ponto onde a bomba vai funcionar com maior eficiência.

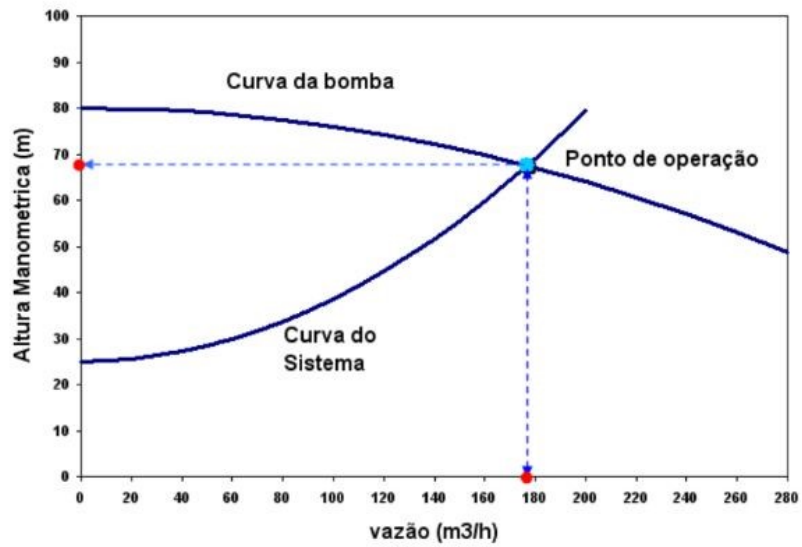
Dessa maneira, diversos tipos diferentes de possíveis sistemas de bombeamento entre eles:

- Sistema convencional – O reservatório de aspiração está localizado em uma região de menor elevação que a bomba e o tanque de recalque está localizado em uma região de maior elevação que a bomba.
- Sistema de bomba afogada – O reservatório de aspiração e o tanque de recalque está localizado em uma elevação acima do centro da bomba de aspiração.
- Sistema de bomba gravidade – O reservatório de aspiração está localizado em uma elevação acima da bomba de aspiração e o tanque de recalque está localizado em um elevação abaixo da bomba.
- Sistema Com altura estática nula – O reservatório de aspiração, o tanque de recalque e a bomba estão localizados em uma mesma elevação.

3.1.5.2 Controle do Desempenho de Bombas

Conforme mostra a figura 24, o ponto de operação da bomba é dado pela intersecção das duas curvas. A curva da bomba, que representa a elevação na qual a bomba consegue superar com uma certa quantidade de vazão. E a curva do sistema, que representa a perda de carga do sistema considerando a vazão e a altura manométrica que o líquido vai ser enviado.

Figura 17. Ponto de operação da bomba



Fonte: VILLAR, (2010)

3.1.6 Sistema de Bombeamento

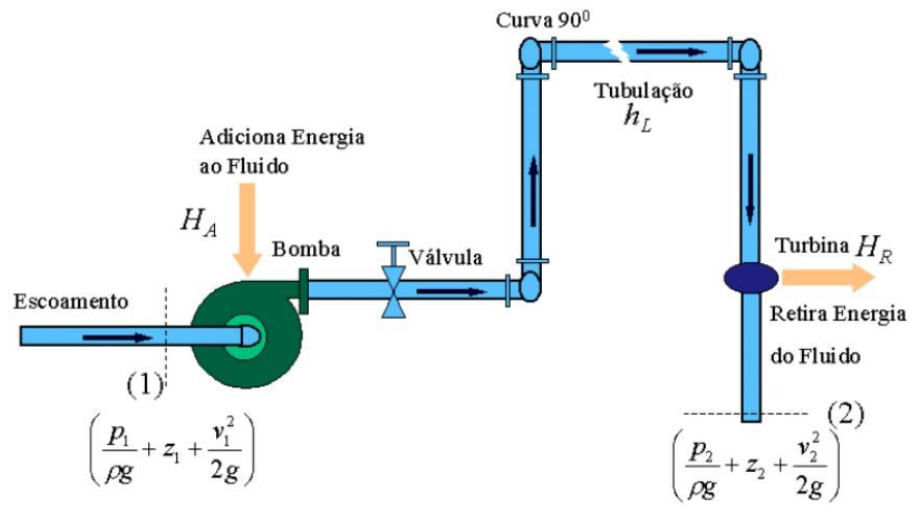
3.1.6.1 Equação da Energia

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_A - H_R - h_L = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (23)$$

Onde,

h_L Perdas de energia pelo sistema devido ao atrito nas tubulações, ou perdas de cargas localizadas devido à presença de válvulas e conectores e outros acessórios inseridos na rede.

Figura 18. Sistema que representa a equação geral da energia



Fonte: VILLAR, (2010)

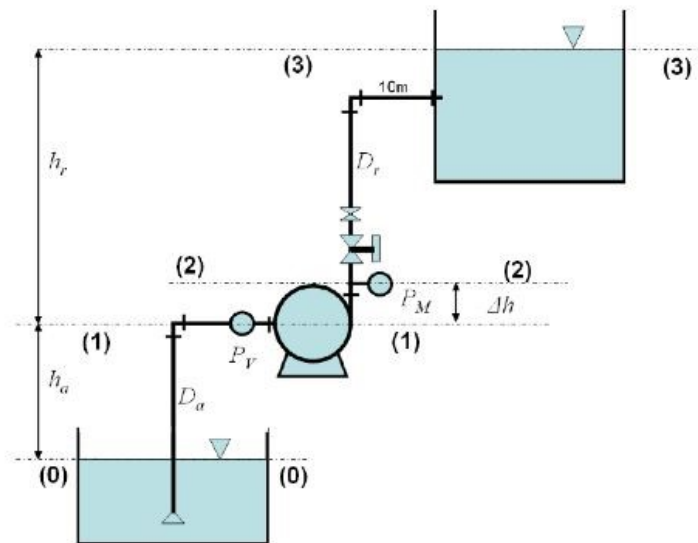
A figura 25 mostra um sistema completo de ganho/perda de energia por equipamentos e perdas e energia por tubulações e válvulas, em alguns sistemas como esse, desconsidera-se alguns desses pontos, por exemplo as vezes o sistema só tem bombas, e outras só tem turbina, ou ainda a tubulação é tão pequena comparado as alturas dos tanques de aspiração e recalque que pode-se desconsiderá-las.

Como dito anteriormente, A potência teórica adicionada por uma bomba ao fluido se dá pela equação 14:

Equacionamento dos Sistemas de bombeamento:

Para determinar a altura manométrica do sistema, precisa-se mapear todos os equipamentos de bombeamento, todas as válvulas, comprimento e curvas da tubulação, válvulas de bloqueio, fluxo, altura do tanque de recalque e de tanque de aspiração, pressão no interior do tanque de recalque (caso o tanque de recalque seja uma caldeira). Para fins de cálculo, também é necessário saber a pressão de entrada na bomba, a pressão de saída da bomba e a pressão total solicitada na bomba.

Figura 19. Esquema de bombeamento a ser estudado



Fonte: VILLAR, (2010)

A figura 26 mostra um exemplo de sistema de bombeamento, onde:

[0]: Ponto da superfície livre no reservatório de aspiração.

[1]: Ponto da seção de entrada da bomba

[2]: Ponto de seção de saída da bomba

[3]: Ponto na superfície livre do reservatório de recalque ou maior altura da saída do fluido no recalque.

[a]: Elementos no sistema de aspiração do fluido

[r]: Elementos do sistema de recalque do fluido

3.1.6.2 Definição de Alturas Estáticas

Segundo VILLAR,2010, para determinar as principais variáveis num sistema de bombeamento, levando como base a figura 26, seguindo assim a seguinte metodologia:

“Aplicando a Eq. De energia entre o plano (0-0) e (1-1) se obtém uma expressão da pressão relativa na entrada da bomba”

“Aplicando a Eq. De Energia entre o plano (2-2) e (3-3) obtemos uma expressão da pressão relativa na saída da bomba.

“Aplicando a Eq. de Energia no plano (1-1) e (2-2) se obtém uma expressão da variação de pressão entre estes pontos.”

“Relacionado as equações anteriormente deduzidas se obtém uma expressão que representa a altura manométrica do sistema.”

Assim, no plano (0-0)

$$[p_0 = p_{atm}] \quad [v_0 \cong 0] \quad [z_0 \cong 0] \quad [h_{L(0-1)} = h_{La}]$$

No plano (1-1)

$$[p_1 = p_{abs1}] \quad [v_1 = v_a] \quad [z_1 = h_a]$$

Substituindo na Eq. (3.34)

$$\left(\frac{p_{atm} - p_{abs1}}{\rho g} \right) = h_a + \frac{v_a^2}{2g} + h_{La} \quad (24)$$

A expressão que está em parênteses representa a Pressão relativa na entrada da bomba, sendo assim:

$$H_a = \left(\frac{p_{atm} - p_{abs1}}{\rho g} \right) \quad (25)$$

Observações: Na fase de projeto, H_a pode ser encontrada pela equação da potência (20), determinando a altura estática de aspiração e a perda de carga na tubulação de aspiração.

No plano (2-2):

$$[p_2 = p_{abs2}] \quad [v_2 = v_r] \quad [z_2 = 0] \quad [h_{L(2-3)} = h_{Lr}]$$

No plano (3-3)

$$[p_3 = p_{abs3} = p_{atm}] \quad \left[\frac{v_3^2}{2g} \cong 0 \right] \quad [z_3 = h_3 - \phi h]$$

Juntando na equação da energia, é obtido:

$$\left(\frac{p_{abs2} - p_{atm}}{\rho g}\right) = h_r - \phi h - \frac{v_r^2}{2g} + h_{lr} \quad (26)$$

Onde, a altura manométrica de recalque é determinada por:

$$H_r = \left(\frac{p_{abs2} - p_{atm}}{\rho g}\right) \quad (27)$$

Observação: Na fase de projeto de um sistema de bombeamento, H_r pode ser obtida pela equação de potência (20), determinando-se a altura estática de aspiração e a perda de carga na tubulação de recalque.

3.1.6.3 Altura Manométrica

Representa a quantidade de energia específica que a bomba transfere ao fluido de trabalho.

Na análise dos planos (1-1) e (2-2) é possível retirar a altura manométrica da bomba estudada, jogando na fórmula de conservação de energia:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_{man} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (28)$$

$$H_{man} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) \quad (29)$$

Portanto:

No plano (1-1)

$$[p_1 = p_{1abs}] \quad [v_1 = v_a] \quad [z_1 = 0]$$

No plano (2-2)

$$[p_2 = p_{2abs}] \quad [v_2 = v_r] \quad [z_2 = \phi h]$$

Assim,

$$H_{man} = \frac{p_{2abs} - p_{1abs}}{\rho g} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g} + \phi h \quad (30)$$

Pelas equações anteriores tem-se que,

$$H_{man} = H_a + H_r + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g} + \phi h \quad (31)$$

Onde,

$$H_r = h_r - \phi h - \frac{v_r^2}{2g} + h_{Lv} \quad (32)$$

$$H_a = h_a + \frac{v_a^2}{2g} + h_{La} \quad (33)$$

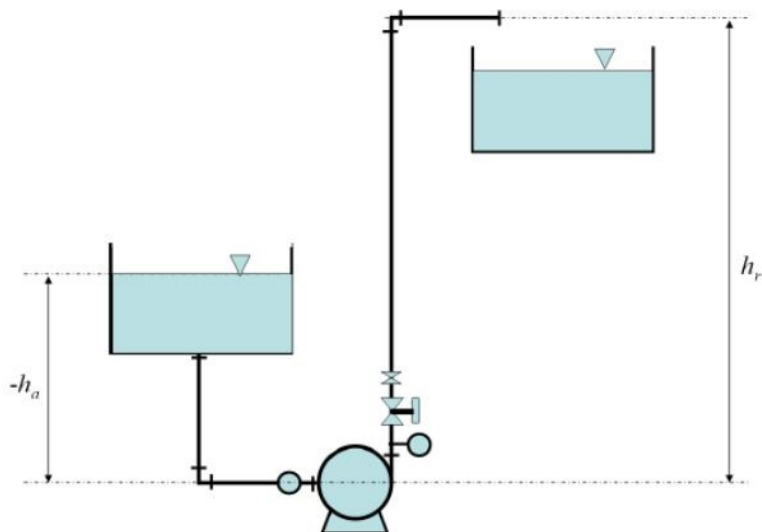
Substituindo na equação principal:

$$H_{man} = h_a + h_r + h_{La} + h_{Lv} \quad (34)$$

As equações deduzidas acima são validade apenas para bombas que estão instaladas acima do nível do tanque de aspiração, conforme mostra a figura 26.

Para uma bomba localizada abaixo do nível do Reservatório de Aspiração – Afogada, a altura manométrica semelhante mas muda o sinal da altura de aspiração já que agora, essa altura ajuda o no trabalho da bomba e sua equação pode ser representada por: (desconsiderando a velocidade de saída da vazão inicialmente)

Figura 20. Esquema de bomba afogada



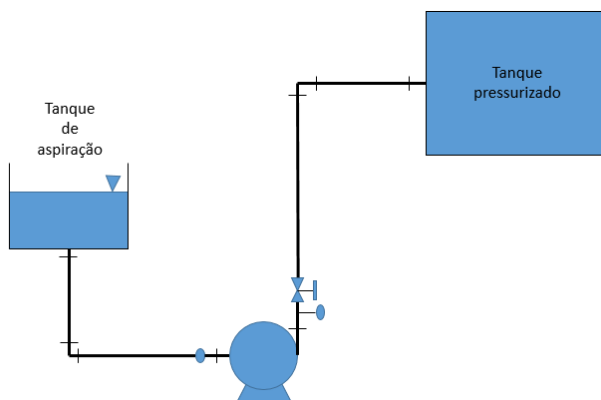
Fonte: VILLAR, (2010)

$$H_{man} = -h_a + h_r + h_{La} + h_{Lr} \quad (35)$$

3.1.6.4 Altura Manométrica com tanque de recalque pressurizado.

Como o sistemas de bombas a ser estudado nesse trabalho, tem como tanque de recalque uma caldeira, deve-se considerar que o tanque de recalque está pressurizado, figura 21.

Figura 21. Esquema de bomba afogada e pressurizada



Fonte: Adaptado de VILLAR, (2010)

A partir da equação 35, deve-se considerar também a pressão da caldeira a ser superada pela bomba, obtendo assim:

$$H_{man} = -h_a + h_r + h_{La} + h_{Lr} + h_p \quad (36)$$

Onde:

h_p é a pressão a ser superada do tanque de recalque

3.1.6.4 Altura Útil de Elevação

Por definição:

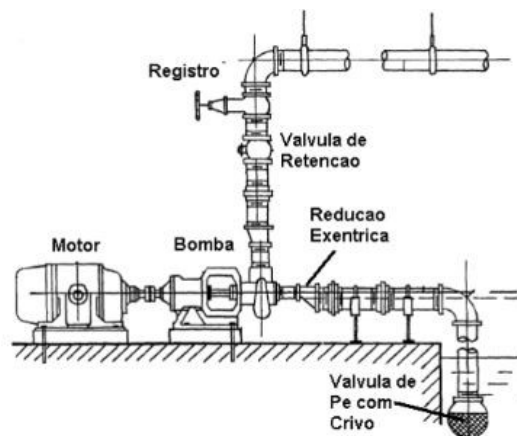
$$H_u = H_{man} + \frac{V_a^2 - v_r^2}{2g} \quad (37)$$

Essa altura é considerada quando os diâmetros de entrada e de saída da bomba forem diferentes, caso eles forem iguais, a altura útil de elevação fica sendo igual a altura manométrica de elevação.

3.1.7 Sistema de bombeamento, principais componentes:

Sempre que uma bomba vai ser dimensionada, é preciso levar em consideração alguns componentes presentes no projeto para fazer o cálculo de perda de carga do sistema.

Figura 22. Componentes de um sistema de bombeamento



Fonte: VILLAR, (2010)

Sistema de bombeamento, a figura 23 mostra seus principais componentes que são definidos por (autor):

Válvula de pé com crivo: “Tem como finalidade a passagem unidirecional do fluido no sentido ascendente. Quando ocorre desligamento do motor esta válvula permite que o corpo da bomba e a tubulação de aspiração permaneçam cheia de líquido impedindo seu retorno ao reservatório de aspiração. A válvula mantém assim a bomba escorvada. O crivo é o elemento que impede a aspiração de partículas sólidas depositadas no reservatório de aspiração.”

Redução Excêntrica: “Utilizada com a finalidade de evitar a formação de bolsas de ar na entrada o que dificultaria o funcionamento normal da bomba.”

Válvula de Retenção: “Válvula unidirecional instalada na saída da bomba e antes do registro de recalque. Impede que o peso da coluna de recalque seja sustentado pelo corpo da bomba o que pode ocasionar vazamentos. Impede que por algum defeito da válvula de pé exista refluxo trabalhando o rotor da bomba como uma turbina, podendo provocar danos a bomba.”

Registro de Recalque: “Permite controlar a vazão através do fechamento e abertura do registro.”

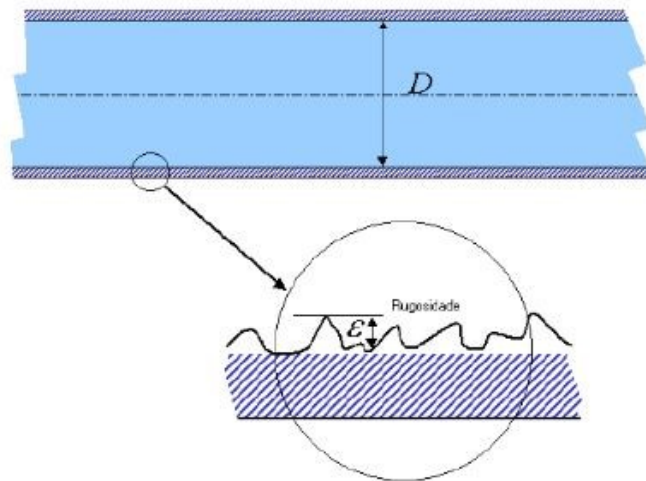
Tubulação de aspiração: “Recomenda-se que a tubulação de aspiração seja o mais curto possível e vedada contra entrada de ar. No caso de linhas longas deve ser previsto uma declividade contínua da entrada da bomba para o reservatório eliminando a formação de pontos com bolsões de ar. Para uniformizar o fluido na entrada da bomba recomenda-se quando possível, prever um trecho com comprimento mínimo de 10 diâmetros da boca de aspiração da bomba.”

Perda de carga nos acessórios

$$h_{LD} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (38)$$

3.1.8 Rugosidade absoluta

A rugosidade absoluta depende do material, podendo ser representada pela figura 24 abaixo e os valores encontrados no anexo 1:

Figura 23. Representação da Rugosidade

Fonte: VILLAR, (2010)

3.1.9 Número de Reynolds

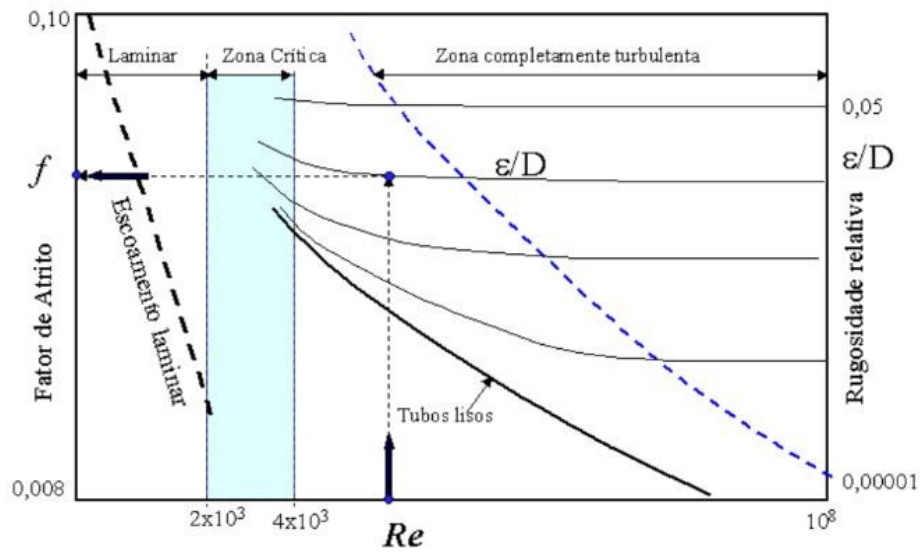
O número de Reynolds determina o comportamento do fluido dentro das tubulação, sendo ele representado da seguinte maneira:

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (39)$$

3.1.10 Fator de atrito

O fator de atrito varia de acordo com o número de Reynolds, o diâmetro e a rugosidade da tubulação, essa variação pode ser analisada pelo diagrama de Moody.

Figura 24. Diagrama de Moody



Fonte: VILLAR, (2010)

O diagrama separa o escoamento do fluido em 4 categorias diferentes, sendo elas:

1. Escoamento Laminar – Onde $Re < 2300$, nesse caso utiliza-se

$$f = \frac{64}{Re} \quad (40)$$

2. Escoamento com Tubos Hidraulicamente Lisos – onde para $4000 < Re < 10^5$, utiliza-se, segundo Blasius:

$$f = \frac{0,316}{(Re)^{1/4}} \quad (41)$$

Ou $10^5 < Re < 3 \times 10^6$, nesse caso usa-se segundo Drew Koo e McAdams:

$$f = 0,0056 + 0,5Re^{-0,32} \quad (42)$$

3. Escoamento Turbulento com Tubos Hidraulicamente Semi-Rugosos – Onde $5,0 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^8$

$$f = 0,25 \left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad (43)$$

4. Escoamento turbulento com Tubos Hidraulicamente Rogosos – Aqui o fator de atrito não depende da velocidade do fluido:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} \right) \quad (44)$$

3.1.11 Velocidade do fluido

Consegue-se achar a velocidade do fluido no interior da tubulação utilizando a fórmula do fluxo:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$\dot{Q} = V * A$$

$$V = \frac{\dot{Q}}{\pi D^2} \quad (45)$$

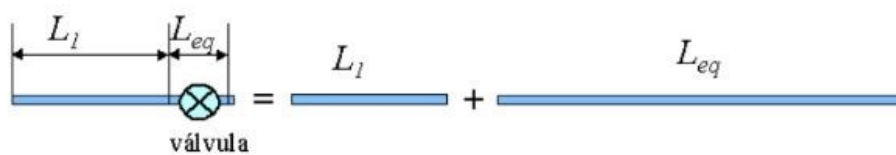
3.1.12 Perda de Carga por Acessórios

Acessórios são elementos que existem na tubulação que o fluido passa, do seu destino inicial até seu destino final, a altura perdida em cada acessório pode ser calculada da seguinte maneira, L_{eq}/D pode ser encontrado no anexo 4, resultando na equação 38, representado novamente em seguida:

$$h_{lk} = f \frac{L_{eq} V^2}{D 2g}$$

Observando a figura 26, é possível entender melhor como atua cada acessório no comprimento adicionado ao sistema:

Figura 25. Comprimento Equivalente



Fonte: VILLAR, (2010)

Uma outra forma de encontrar a perda de carga dos acessórios é pela fórmula 3.57, onde o coeficiente k pode ser encontrado no anexo 3:

$$h_{lk} = k \frac{V^2}{2g} \quad (46)$$

4 APLICAÇÃO

Nesse item foi feito uma aplicação de dimensionamento de bomba para uma caldeira de uma empresa localizada no sudoeste do Paraná. Para fazer esse dimensionamento, foi utilizado as informações exemplificadas nos itens anteriores da apostila (VILLAR, 2010) e os dados retirados de medições feitas na empresa. A figura 27 e 28, representa o ambiente da caldeira a ser estudado nesse projeto.

Figura 26. Localização das bombas da caldeira de estudo 1



Fonte: Autoria Própria

Figura 27: Localização das bombas da caldeira de estudo 2



Fonte: Autoria Própria

4.1 VARIÁVEIS E CONSTANTES DO PROJETO

A fim de deixar o trabalho mais fácil e ágil, foi elaborado uma tabela dinâmica no Excel com os valores iniciais que precisão ser obtidos para o dimensionamento da bomba.

A primeira tabela é feita para recolher os dados iniciais do projeto:

Tabela 3 - Dados Iniciais

Tabela 1: Dados Iniciais	Símbolo	Valores
Vazão	Q (m ³ /s)	
Altura estática de aspiração	h_a (m)	
Altura estática de recalque	h_r (m)	
Comprimento da tubulação de aspiração	L_a (m)	
Comprimento da tubulação de recalque	L_r (m)	
Material da tubulação	----	----
Rugosidade	ε (mm)	
Fluido	----	----
Temperatura	T (°C)	
Massa específica	ρ (kg/m ³)	
viscosidade cinemática	ν (m ² /s)	

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

Na segunda tabela, é analisado as perdas de carga do sistema:

Tabela 4 - Perda de Carga

Tabela 2: Perda de Carga	Aspiração		Recalque	
Diâmetro da tubulação - Eq. Bresse (calculada e comercial)	D_a (mm)		D_r (mm)	
Velocidade da tubulação	V_a (m/s)		V_r (m/s)	
Nº de Reynolds da tubulação	R_a (-)		R_r (-)	
Rugosidade relativa	ε/D_a (-)		ε/D_a (-)	
Fator de atrito - Eq. Explicita	f_a (-)		f_r (-)	
Perda de carga da tubulação	h_{LDa} (m)		h_{LDr} (m)	
Perda de carga dos acessórios	h_{Lka} (m)		h_{Lkr} (m)	
Perda de carga (Tubulação+Acessórios)	h_{La} (m)		h_{Lr} (m)	
Perda de carga total (Aspiração + Recalque)	$h_L = 0$		mca	

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

Na terceira tabela, é calculado a potência de acionamento do bomba.

Ainda na altura estática de recalque, adicionou-se o valor que o fluido vai ter que superar de pressão da caldeira para atingir seu destino final, essa pressão é fornecida pelo fabricante da caldeira e conhecida como pressão máxima de atuação da caldeira, sendo ela de 16 KGF/cm² na caldeira estudada, convertendo para metros de coluna de água (m.c.a), é obtido 160 m.c.a, assim, a nova altura de recalque:

Altura estática de recalque: 163 metros

Com isso a tabela de dados iniciais foi preenchida, obtendo:

Tabela 8 - Dados Iniciais (Preenchidos)

Tabela 1: Dados Iniciais	Símbolo	Valores
Vazão	Q (m ³ /s)	3,30E-03
Altura estática de aspiração	h_a (m)	8
Altura estática de recalque	h_r (m)	163
Comprimento da tubulação de aspiração	L_a (m)	7
Comprimento da tubulação de recalque	L_r (m)	10
Material da tubulação	----	----
Rugosidade	ε (mm)	4,00E-02
Fluido	----	----
Temperatura	T (°C)	40
Massa específica	ρ (kg/m ³)	990
viscosidade cinemática	ν (m ² /s)	6,00E-07

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

4.1.2 Perda de Carga nos Componentes do Sistema de Bombeamento

Ao fazer a visita a empresa e um mapeamento da tubulação de aspiração e recalque da água da caldeira, encontrou-se dois tipos de acessórios diferentes, sendo eles especificados na tabela abaixo.

Através do anexo 3, foi encontrado os coeficientes k, que irão determinar a perda de carga total por parte dos acessórios, na tabela 10.

O coeficiente de perda de carga em acessórios encontrado para Válvula globo foi de 10 e para cotovelo 90°, foi de 0,9.

Tabela 10 – Perda de Carga (Preenchido)

Tabela 2: Perda de Carga	Aspiração		Recalque	
Diâmetro da tubulação - Eq. Bresse (calculada e comercial)	D_a (mm)	95	D_r (mm)	60
Velocidade da tubulação	V_a (m/s)	3,00E-01	V_r (m/s)	8,00E-01
Nº de Reynolds da tubulação	R_a (-)	4,75E+04	R_r (-)	8,00E+04
Rugosidade relativa	ε/D_a (-)	4,21E-04	ε/D_a (-)	6,67E-04
Fator de atrito - Eq. Explicita	f_a (-)	2,14E-02	f_r (-)	1,88E-02
Perda de carga da tubulação	h_{LDa} (m)	1,04E-01	h_{LDr} (m)	2,06E-01
Perda de carga dos acessórios	h_{Lka} (m)	7,23E-03	h_{Lkr} (m)	1,02E-01
Perda de carga (Tubulação+Acessórios)	h_{La} (m)	1,11E-01	h_{Lr} (m)	3,08E-01
Perda de carga total (Aspiração + Recalque)	$h_r = 0,419019308$			mca

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

4.1.4 Potência de Acionamento

Nessa etapa do dimensionamento tem-se que calcular a altura manométrica do sistema de bombeamento e a vazão máxima que a bomba vai fornecer ao sistema. A altura manométrica pode ser calculada através da equação 46 e a vazão é a mesma encontrada na tabela 10.

Para dar continuidade nos cálculos deve ser estimado um valor do rendimento global para estimar a bomba ideal para o sistema, ao final do dimensionamento deve substituir esse rendimento, pelo identificado pelo fabricante da bomba escolhida, verificando assim se o objetivo será alcançado do mesmo jeito.

A potência de acionamento é encontrado pela equação 19 e pelo anexo 2, foi adicionado um coeficiente de segurança de 15%. Assim, o valor mínimo encontrado para a potência de acionamento do motor, está representado na tabela 11.

Tabela 11 – Potência de Acionamento (Preenchido)

Tabela 3: Potência de acionamento	Símbolos	Valores
Altura total de elevação	h_e (mca)	155
Altura manométrica	H_{man} (mca)	155,42
Vazão	Q (m ³ /s)	3,30E-03
Rendimento global estimado	n_g (%)	75
Potência de acionamento	W (kW)	6,64
Potência de acionamento com 15% de segurança	W (kW)	7,64
	W (HP)	10,23

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

4.1.5 Curva Característica do Sistema

Para obter a curva característica do sistema, a fim de fazer comparações com fornecedores de bombas e ter uma análise mais clara do que foi calculado, a tabela 12 expressa a equação que representa a altura manométrica da bomba em função de sua vazão.

Tabela 12 – Curva Característica do Sistema (Preenchido)

Tabela 4: Curva Característica do Sistema	Símbolos	Valores
Altura total de elevação	h_e (mca)	155
Altura manométrica	H_{man} (mca)	155,42
Vazão	Q (m ³ /s)	0,0033
Vazão	Q (m ³ /h)	11,88
Constante $k_1 = h_e$	k_1 (mca)	155
Constante $k_2 = (H_{man} - k_1)/Q^2$	k_2 (s/m ²)	38477,44
Equação da Altura Manométrica (mca)	$H_{man} = k_1 + k_2 Q^2 = 155,42$	

Fonte: ADAPITADO DE VILLAR, (2010)

4.1.6 Busca em Catálogos da Bomba Ideal

Após realizar os cálculos e dimensionar a bomba, foi encontrado uma altura manométrica a ser superada de 155,4 mca, uma vazão de 12 m³/h a ser atingida, para que a bomba não fique direto em funcionamento e uma potência mínima de atuação de 12 HP que a bomba precisa ter.

Em busca desses pré-requisitos não foi possível encontrar nenhuma moto bomba já com o motor a combustão interna acoplado que suprisse nossas necessidades, a moto bomba mais próxima de nossos cálculos encontrada foi de 120 mca com vazão de 10,5 m³/s (anexo 6), por esse motivo, será comprado a bomba e o motor separadamente e será sugerido um acoplamento dos equipamentos posteriormente.

Buscando as bombas que suprissem nossa necessidade, uma bomba da marca Schneider e modelo (ME-AL/BR 26150) com as especificações apresentadas no anexo 7 foi encontrada, onde tem altura manométrica máxima de 160 mca, vazão máxima de 12,9 m³/h, potência de atuação de 14,8 hp, essa bomba é composta de 5 estágios para diminuir o diâmetro de cada rotor, facilitando assim a instalação da bomba utilizando pouco espaço.

O fabricante também nos fornece a informação do motor que gira a bomba, é do tipo WEG, IP-55, 2 Pólos, 60Hz, pela equação 1:

$$n = \frac{f * 60}{p}$$
$$n = \frac{60 * 60}{1}$$
$$n = 3600 \text{ rpm}$$

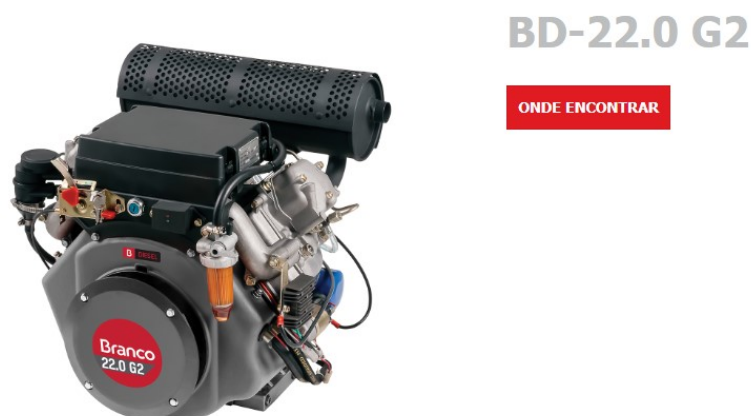
Com isso, foi possível determinar que o motor elétrico utilizado para o funcionamento da bomba, atua com 3600 rpm e será necessário encontrar um motor a combustão interna com rotação similar.

4.2 MOTOR IDEAL PARA ACIONAMENTO DA BOMBA

Com a bomba encontrada de acordo com nossas especificações, é possível procurar no catálogo, o motor sugerido de forma a suprir a potência e a rotação necessária que a bomba precisa para funcionar. O motor selecionado é do modelo DB-22.0 G2 como mostrado na figura 30 e suas especificações técnicas estão listadas na tabela 13.

O motor em questão foi escolhido pelo fato de ter a mesma rotação de funcionamento que o motor elétrico inicial da bomba escolhida e ter a potência acima da potência de funcionamento da bomba.

Figura 29 – Motor Branco



Fonte: Branco, (2019)

Tabela 13 – Motor Branco Dimensionado

Especificação Técnica	
Motor	Horizontal, dois cilindros em “V”
Tipo de Combustível	Diesel
Diâmetro x Curso	88 x 72
Taxa de Compressão	20:1
Potência contínua	18.0 CV a 3600 rpm
Lubrificação	Forçada por bomba de óleo
Dimensões do produto (CxLxA) (mm)	500 X 580 X 500
Peso (PM/PE)	60
Sistema de combustão	Injeção direta
Cilindrada	870
Potência máxima	22,0 CV a 3600 rpm
Nível de ruído (7m)	86

Fonte: Branco, (2019)

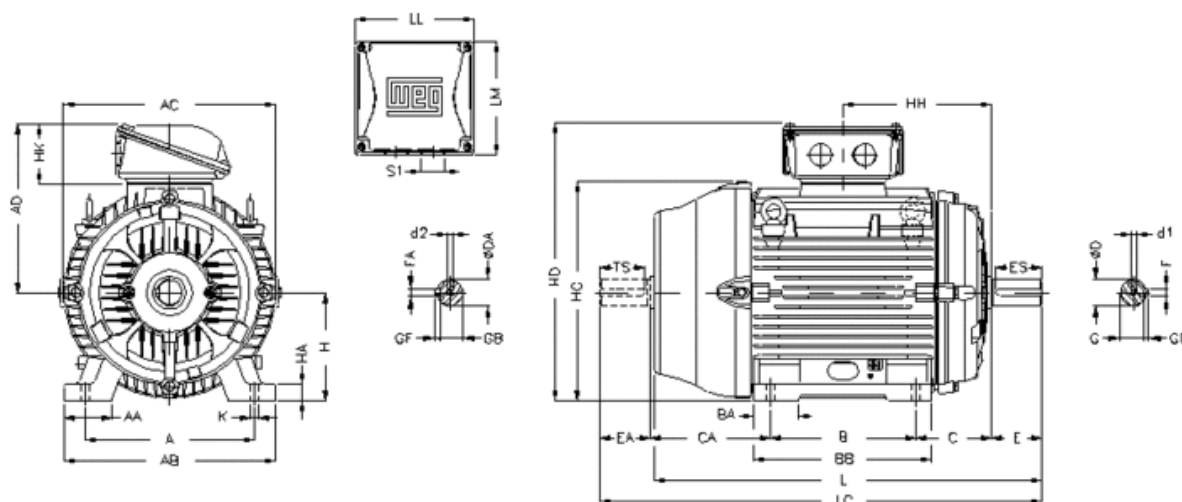
4.3. REUTILIZAÇÃO DA BOMBA JÁ UTILIZADA NA EMPRESA

Para facilitar a instalação da moto bomba a combustão interna, pode-se reutilizar os cálculos já feitos para o dimensionamento das duas bombas elétricas já instaladas para o fornecimento de água na caldeira da empresa, assim como as informações do motor elétrico que promove o funcionamento delas.

Atualmente a empresa contém uma bomba da marca Schneider mas não foi possível identificar o modelo que é utilizado por conta das placas de identificação estarem muito desgastadas, mas se for pego uma bomba de mesmo modelo que a já dimensionada pela empresa, podemos definir o motor a combustão interna comparando com o motor elétrico que foi instalado para fazer a bomba funcionar.

O motor utilizado na bomba, figura 31, é da marca WEG, modelo TAG 000417, com rotação de 3600 rpm, tensão de 380/660 V, potência de 20 CV e dimensões especificadas na tabela 14.

Figura 30 – Motor utilizado na empresa atualmente.



Fonte: WEG (2008-2019)

Tabela 14 – Dimensões do motor atual

A	AA	AB	AC	AD	B	BA	BB	C	CA	D
254	44	292	329	266	210	63	254	108	174	42k6
E	ES	F	G	GD	DA	EA	TS	FA	GB	GF
110	80	12	37	8	42k6	110	80	12	37	8
H	HA	HB	HC	HD	HF	HH	HK	K	L	LC
160	17	79	331	426	168	213	101	14.5	598	712
LL	LM	S1					d1	d2		
198.5	190	RWG(Rp) 1 1/2"					A 4	A 4		

Fonte: WEG (2008-2019)

Com os dados do motor atual, podemos substituí-lo por uma motor da marca branco do modelo BB-22.0 G2, o mesmo da figura 30, encontrado no catálogo da Branco.

A bomba foi dimensionada em três etapas, na primeira fez-se o dimensionamento da bomba através de cálculos e dados medidos no ambiente da caldeira, encontrando a bomba da tabela 14, a segunda etapa foi encontrado através de catálogos de fornecedores, uma bomba que suprisse as necessidades encontradas no dimensionamento, a bomba selecionada se encontra na tabela 15, a terceira etapa, definiu-se um motor a combustão interna que fosse compatível e semelhante ao

motor elétrico que estava acoplado inicialmente na bomba encontrada no item 2, esse motor deve ter a mesma rotação e potência superior ao elétrico, para conseguir suprir as necessidades de funcionamento da bomba com a mesma eficiência, os dados do motor encontrado no catálogo estão apresentados na tabela 16.

Tabela 15 – Bomba d'água Dimensionada

Bomba d'água Dimensionada		
Vazão	Q (m ³ /h)	8
Potência de acionamento	W (CV)	9
Altura manométrica	H_{man} (mca)	155,41

Fonte: Autoria própria, (2019)

Tabela 16 – Bomba d'água Encontrada nos Catálogos

Bomba Encontrada nos Catálogos		
Vazão	Q (m ³ /h)	12
Potência de acionamento	W (CV)	15
Altura manométrica	H_{man} (mca)	160
Rotação do motor	η (rpm)	3600
Estágios	i	5
Dimensões da bomba	CxLxA(mm)	850x340x260

Fonte: Schneider, (2019)

Tabela 17 – Motor Encontrado nos Catálogos

Motor Encontrado nos Catálogos			
Potência de trabalho	W (CV)	18	CV
Rotação do motor	η (rpm)	3600	rpm
Dimensões do motor	CxLxA(mm)	500x580x500	mm

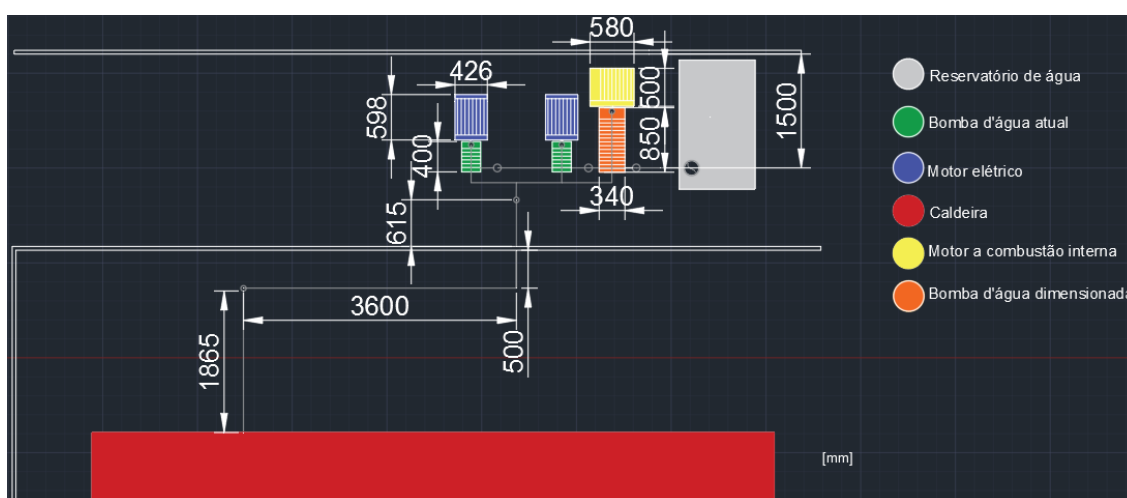
Fonte: Branco, (2019)

4.4 RESULTADOS

Com as dimensões da bomba e do rotor encontrada, foi realizado o projeto da casa de caldeira em um software 2D, identificando o local onde será instalado a moto bomba a combustão e comprovando que sua instalação pode ser feita com sucesso no espaço já disponível da empresa, dispensando qualquer tipo de modificação estrutural. A figura 32, representa a situação atual das bombas na empresa.

A bomba dimensionado de acordo com os dados coletados, tem dimensões Comprimento x Largura x Altura (mm) igual a 850x340x260 e o motor a combustão interna tem Comprimento x Largura x Altura (mm) igual a 500x580x500. Através disso, conseguimos fazer a planta da casa de caldeira com essas novas modificações, figura 34, a fim de confirmar o espaço a ser tomado pela moto bomba a combustão interna dimensionada nesse trabalho.

Figura 33. Planta: casa de caldeira com a moto-bomba a combustão interna A



Fonte: Autoria própria

A partir disso, os responsáveis da empresa já têm em mãos os dados necessários para fazer a instalação de uma moto bomba a combustão para fazer o reabastecimento de água da caldeira e evitar perdas consideráveis caso ocorra queda de energia, tendo ainda duas opções de escolha de moto bomba para fazer a instalação, sendo elas:

Opção 1:

Bomba da marca Schneider e modelo ME-AL/BR 25150.

Motor da marca Branco e modelo BD-22.0 G2.

Opção 2:

Bomba da marca Schneider e modelo idêntico ao instalado atualmente.

Motor da marca Branco e modelo BD-22.0 G2.

5 CONCLUSÃO

A proposta colocada para esse trabalho foi de dimensionar uma moto bomba, movida a um motor de combustão interna para o reabastecimento de água em uma caldeira específica de uma empresa de laticínios do Sudoeste do Paraná, para caso ocorra queda no fornecimento de energia elétrica da fábrica, eles não precisem parar sua produção e assim não tenham prejuízos consideráveis, esse objetivo foi atingido, recomendando-se ainda dois tipos diferentes de moto-bomba movido a combustão interna para que a empresa fizesse a compra.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 13: CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÃO. PUBLICAÇÃO: Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. ATUALIZADA: Portaria MTb n.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018

BRANCO - MOTORES, Catálogo de Produtos, 2019. Disponível em < <https://www.branco.com.br/>>. Acessado em novembro/2019

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. Volume 1/Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012.

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. Volume 2 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012 2012

EBARA CORPORATION - THEBE, Catálogo de Produtos, 2018. Disponível em <file:///C:/Users/Gabriel/Downloads/6585_1426598301%20(1).pdf>. Acessado em novembro/2019

MACINTYRE, A.J. Bombas e instalações de bombeamento/Archibald Joseph Macintyre: Coordenador editorial Julio Niskier – 2.ed. rev. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC. 2014.

MARTINELLI Jr., L.C. MÁQUINAS TÉRMICAS II – GV 01 Geradores de Vapor, 2001

MARTINELLI Jr., L.C. MÁQUINAS TÉRMICAS II – GV 02 Dispositivos de Proteção Captação de Condensado e Acessórios, 2002

MARTINELLI Jr., L.C. MÁQUINAS TÉRMICAS II – GV 03 Tratamento da Água Combustão, 2003

MARTINELLI Jr., L.C. MÁQUINAS TÉRMICAS II – GV 07a Prevenção contra Explosões e outros Riscos da Operação de Caldeiras e Sistemas de Vapor, 2007

MARTINELLI Jr., L.C. MÁQUINAS TÉRMICAS II – GV 07b Prevenção contra explosões e outros riscos, 2007

Prof.Jorge A. Villar Alé. Sistemas Fluidomecânicos, Sistema de Bombeamento. Volume 1 – Porto Alegre, março 2010

SCHNEIDER, Catálogo de Seleção de Bombas e Moto Bombas, 2019. Disponível em <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/264019/schneider_tabela_selecao_01-2019_rev08.pdf>. Acessado em novembro/2019

The American Society of Mechanical Engineers, Boiler & Pressure Vessel Code, 2007.

WEG, Catálogo de seleção de motores, 2008-2019. Disponível em <http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_desenho_web.asp>. Acessado em novembro/2019

ANEXO A – TABELAS UTILIZADAS

Anexo 1 – Rugosidade absoluta

Material	Rugosidade absoluta $\varepsilon(\text{mm})$
Aço, revestimento asfalto quente.	0,3 a 0,9
Aço, revestimento esmalte centrifugado.	0,011 a 0,06
Aço enferrujado ligeiramente	0,15 a 0,3
Aço enferrujado	0,4 a 0,6
Aço muito enferrujado	0,9 a 2,4
Ferro galvanizado novo, com costura.	0,15 a 0,2
Ferro galvanizado novo, sem costura.	0,06 a 0,15
Ferro fundido revestido com asfalto	0,12 a 0,20
Ferro fundido com crostas	1,5 a 3,0
PVC e Cobre	0,015
Cimento-amianto novo	0,05 a 0,10

Fonte: VILLAR, (2010)

Anexo 2 - Margem de segurança adicionado em cima da potência de acionamento da bomba

Potência (kW)	Potência (kW)	Margem de segurança
Até 2	Até 1,5	50%
de 2 a 5	de 1,5 a 3,7	30%
de 5 a 10	de 3,7 a 7,4	20%
de 10 a 20	de 7,4 a 15	15%
Acima de 20	Acima de 15	10%

Fonte: VILLAR, (2010)

Anexo 3 – Constante k de perda de carga dos acessórios

Tipo de Acessório	k	Tipo de Acessório	k
Ampliação Gradual	0,20*	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor venturi	2,5
Comporta aberta	1,00	Redução gradual	0,15
Controlador de vazão	2,50	Registro de ângulo aberto	5,0
Cotovelo 90°	0,9	Registro de gaveta aberto	0,20
Cotovelo 45°	0,4	Registro de globo aberto	10,0
Crivo	0,75	Saída de canalização	1,00
Curva 90	0,4	Tê passagem direta	0,6
Curva 45	0,20	Tê saída de lado	1,30
Curva 22,5	0,10	Tê saída bilateral	1,80
Entrada normal em canalização	0,50	Válvula de pé	1,75
Entrada de borda	1,0	Válvula de retenção	2,50
Existência de pequena derivação	0,03	Velocidade	1,0

* com base na velocidade maior (seção menor) ** Relativa à velocidade de canalização

Fonte: VILLAR, (2010)

Anexo 4 – Perda de carga localizada dos acessórios

Tipo de Acessório	Comprimento Equivalente (L_{eq}/D)
Válvula de globo aberta	340
Válvula de gaveta aberta	8
3/4 aberta	35
1/2 aberta	160
1/4 aberta	900
Válvula tipo borboleta aberta	45
Válvula de esfera aberta	3
Válvula de retenção tipo globo	600
Válvula de retenção tipo em ângulo	55
Válvula de pé com crivo: de disco móvel	75
Cotovelo padronizado 90°	30
Cotovelo padronizado 45°	16
Te padronizada fluxo direto	20
Te padronizada fluxo ramal	60

Fonte: VILLAR, (2010)

Anexo 5 – Propriedade da água

Temperatura	Massa Específica	Peso Específico	Viscosidade Dinâmica	Viscosidade Cinemática
(°C)	ρ (kg/m ³)	γ (kN/m ³)	α (Pa.s) ou (N.s/m ²)	ν (m ² /s)
0	1000	9.81	1.75 x10 ⁻³	1.75 x10 ⁻⁶
5	1000	9.81	1.52 x10 ⁻³	1.52 x10 ⁻⁶
10	1000	9.81	1.30 x10 ⁻³	1.30 x10 ⁻⁶
15	1000	9.81	1.15 x10 ⁻³	1.15 x10 ⁻⁶
20	998	9.79	1.02 x10 ⁻³	1.02 x10 ⁻⁶
25	997	9.78	8.91 x10 ⁻⁴	8.94 x10 ⁻⁷
30	996	9.77	8.00 x10 ⁻⁴	8.03 x10 ⁻⁷
35	994	9.75	7.18 x10 ⁻⁴	7.22 x10 ⁻⁷
40	992	9.73	6.51 x10 ⁻⁴	6.56 x10 ⁻⁷
45	990	9.71	5.94 x10 ⁻⁴	6.00 x10 ⁻⁷
50	988	9.69	5.41 x10 ⁻⁴	5.48 x10 ⁻⁷
55	986	9.67	4.98 x10 ⁻⁴	5.05 x10 ⁻⁷
60	984	9.65	4.60 x10 ⁻⁴	4.67 x10 ⁻⁷
65	981	9.62	4.31 x10 ⁻⁴	4.39 x10 ⁻⁷
70	978	9.59	4.02 x10 ⁻⁴	4.11 x10 ⁻⁷
75	975	9.56	3.73 x10 ⁻⁴	3.83 x10 ⁻⁷
80	971	9.53	3.50 x10 ⁻⁴	3.60 x10 ⁻⁷
85	968	9.50	3.30 x10 ⁻⁴	3.41 x10 ⁻⁷
90	965	9.47	3.11 x10 ⁻⁴	3.22 x10 ⁻⁷
95	962	9.44	2.92 x10 ⁻⁴	3.04 x10 ⁻⁷
100	958	9.40	2.82 x10 ⁻⁴	2.94 x10 ⁻⁷

Fonte: VILLAR, (2010)

Anexo 6 - Moto Bomba M.C.I.

MODELO / MODELO	Potência (cv)	Estágios / Stages	Rotor (mm)		Flange / Brida		ALTURA MANOMÉTRICA / HEAD / ALTURA DE BOMBEO (mc.á.)															ALTURA MÁXIMA SHUT-OFF										
			Impulsor / Impulsor	Diâmetro	Sução / Suction	Rosca / Thread	8	10	12	14	15	17	19	20	25	30	35	40	45	50	55		60	65	70	75	80	85	90	95	100	110
Motor Engine (HONDA)	RL-18/3	3	132	8	3"	3"	37,0	36,5	36,0	35,8	35,5	35,2	35,0	34,0	33,1	32,0	31,0	30,0	28,7	27,5	26,6	25,5	24,2	23,9	21,6	20,4	18,8	17,0	15,3	10,5	0	116,0
	RL-20	20,0	166	8	3"	2 1/2"					66,2	66,0	63,0	66,0	63,0	66,5	55,2	51,0	44,0	33,1	0											56,3
	THL-18	1	160	14	4"	3"					133,0	131,7	131,0	121,0	109,6	91,1	13,0															40,0
AE-3 (*)			173	25	3"	3"	73,8	73,6	73,4	73,1	73,0	72,8	72,2	72,0	70,0	66,8	66,2	50,1	36,0	15,5	0											53,6

Fonte: Thebe, (2018)

