

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

EDER HERMES BICHARRA

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. M 622.185
Cutter B.583e
Ano/Ed. 2010

ESTUDO DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM GERADOR DE VAPOR

**Varginha
2010**

EDER HERMES BICHARRA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM GERADOR DE VAPOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Msc. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2010**

EDER HERMES BICHARRA

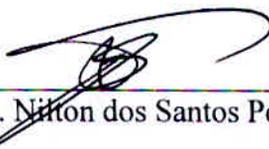
ESTUDO DA VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM GERADOR DE VAPOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 02/12/2010



Profº. Msc. Luiz Carlos Vieira Guedes



Profº. Msc. Nilton dos Santos Portugal



Profº. Esp. Márcio de Santana

OBS.:

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, a minha noiva e a minha madrinha pela compreensão e incentivo, que muito contribuíram para sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido sabedoria para a execução deste trabalho. Agradeço ao professor Luiz Carlos Vieira Guedes pela orientação, aos professores que se empenharam ao máximo na transmissão de todo o conhecimento para a minha formação. Agradeço aos amigos de trabalho, pelas ideias oferecidas e finalmente aos colegas de turma pelo apoio durante a construção deste trabalho.

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve. A vida é muita para ser insignificante.”

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho trata-se de um estudo da viabilidade de instalação de um gerador de vapor referente ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), para o curso de engenharia mecânica do UNIS-MG, onde apresenta um breve histórico do gerador de vapor, do que se trata um gerador de vapor e seus principais componentes, o funcionamento do gerador de vapor e os tipos de gerador de vapor, foram levantados dados referentes a dois modelos, sendo um o gerador de vapor flamotubular com fornalha interna, e o outro modelo um gerador de vapor flamotubular com fornalha externa, os dados coletados contribuíram para uma análise de instalação destes geradores, observando as características de cada um dos modelos estudados. Tais dados foram adquiridos na cidade de Varginha - MG, em uma empresa no qual é fabricante dos produtos estudados, os resultados obtidos são inesperados a partir da ideia principal.

Palavras-chave: Estudo da Viabilidade de Instalação. Gerador de Vapor

ABSTRACT

This work comes from a study of the feasibility of installing a steam generator concerning the Work of Course Completion (TCC) for the course in mechanical engineering from the UNIS-MG, where he presents a brief history of the steam generator, what it is a steam generator and its main components, the operation of the steam generator and steam generator types were collected data from two models, one for steam generator flamotubular with internal furnace, and a different model flamotubular steam generator furnace with external data collected contributed to an analysis of the installation of these generators, noting the characteristics of each of the models studied. These data were acquired in the city of Varginha - MG, in which a company is the manufacturer of the products studied, the results are unexpected from the main idea.

Keywords: Feasibility Study for Installation. Steam Generator

LISTAS DE FIGURAS E FOTOS

Figura 01: Máquina a Vapor de Heron de Alexandria	14
Figura 02: Máquina a Vapor de Thomas Newcomem.....	15
Figura 03: Máquina a Vapor de James Watt	16
Figura 04: Principais Componentes de um Gerador de Vapor Complexo	20
Figura 05: Funcionamento de um Gerador de Vapor Complexo	21
Figura 06: Funcionamento de um Gerador de Vapor Compacto.....	22
Figura 07: Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Interna.....	25
Figura 08: Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Externa.....	27
Figura 09: Esquemas Construtivos de Geradores de Vapor Aquotubulares	28
Figura 10: Gerador de Vapor Aquotubular.....	29
Foto 11: Foto da Frente do Gerador de Vapor Modelo A	36
Foto 12: Foto Panorâmica do Gerador de Vapor Modelo A	37
Foto 13: Foto Geral do Gerador de Vapor Modelo B	38
Foto 14: Gerador de Vapor Modelo B.....	38
Figura 15: Matriz Energética no Brasil.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Mapa Comparativo Entre os Tipos de Geradores de Vapor	30
Tabela 02 – Tabela dos Valores dos Equipamentos que Compõe o Modelo A	34
Tabela 03 – Tabela dos Valores dos Equipamentos que Compõe o Modelo B.....	35
Tabela 04 – Tabela de Equipamentos Elétricos Modelo A	40
Tabela 05 – Tabela de Equipamentos Elétricos Modelo B	40
Tabela 06 – Dados Referentes ao Consumo de Combustível do Modelo A	42
Tabela 07 – Dados Referentes ao Consumo de Combustível do Modelo B.....	43
Tabela 08 – Tabela da Diferença Entre Valores em Reais do Modelo A e Modelo B.....	44
Tabela 09 – Tabela Comparativa de Dimensões Entre os Modelos de Geradores de Vapor ...	45
Tabela 10 – Tabela Comparativa de Consumo de Energia Elétrica.....	46
Tabela 11 – Tabela de Tarifas de Consumo de Energia Elétrica.....	47
Tabela 12 – Tabela Comparativa de Valor Mensal de Gastos com Energia Elétrica.....	47
Tabela 13 – Tabela Comparativa de Consumo de Combustível	48
Tabela 14 – Tabela de Preços do Gás Natural na Indústria.....	49
Tabela 15 – Tabela de Preços do Cavaco de Madeira no Brasil	50
Tabela 16 – Tabela Comparativa de Valor Mensal de Gastos com Combustível	51
Tabela 17 – Tabela de Valores Finais	51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Histórico do Gerador de Vapor.....	14
2.2 Definição de Gerador de Vapor	16
2.2.1 Transferência de Calor.....	17
2.2.1.1 Transferência de Calor por Radiação	17
2.2.1.2 Transferência de Calor por Convecção	17
2.2.1.3 Transferência de Calor por Condução	18
2.3 O Gerador de Vapor.....	18
2.3.1 Componentes que Constituem um Gerador de Vapor.....	18
2.3.1.1 Cinzeiro	18
2.3.1.2 Fornalha.....	18
2.3.1.3 Câmara de Combustão.....	19
2.3.1.4 Canais de Gases ou Passes dos gases	19
2.3.1.5 Chaminé.....	19
2.3.1.6 Economizador.....	19
2.3.1.7 Aquecedor de Ar.....	20
2.3.2 Funcionamento	20
2.3.2.1 Fluxo de Gases	20
2.3.2.2 Fluxo de Água	21
2.3.2.3 Formação de Vapor	21
2.3.3 Dados Característicos e de Performance	22
2.4 Classificação de um Gerador de Vapor.....	23
2.4.1 Gerador de Vapor Flamotubular.....	24
2.4.1.1 Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Interna	24
2.4.1.2 Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Externa	26
2.4.2 Gerador de Vapor Aquotubular	28
2.4.3 Mapa Comparativo Entre os Tipos de Geradores de Vapor.....	30
2.5 Aplicação de um Gerador de Vapor	30
2.6 Seleção do Gerador de Vapor.....	31
2.7 Viabilidade de Instalação.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32

3.1 Identificações dos Produtos Estudados	32
3.1.1 Modelo A.....	32
3.1.2 Modelo B	33
3.2 Indicadores para Análise dos Produtos Estudados	34
3.2.1 Custo do Produto	34
3.2.1.1 Custo do Produto para Gerador de Vapor - Modelo A.....	34
3.2.1.2 Custo do Produto para Gerador de Vapor - Modelo B.....	34
3.2.2 Dimensões	35
3.2.2.1 Dimensões do Gerador de Vapor - Modelo A.....	36
3.2.2.2 Dimensões do Gerador de Vapor - Modelo B.....	37
3.2.3 Consumo de Energia Elétrica	39
3.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Gerador de Vapor - Modelo A.....	40
3.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Gerador de Vapor - Modelo B.....	40
3.2.4 Consumo de Combustível.....	41
3.2.4.1 Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo A	42
3.2.4.2 Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo B	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Custo do Produto Final.....	44
4.2 Dimensões dos Geradores de Vapor	45
4.3 Custos para Consumo de Energia Elétrica	46
4.4 Custos para Consumo de Combustível.....	48
4.4.1 Custos para Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo A	48
4.4.2 Custos para Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo B	50
4.4.3 Comparativo Entre Gastos com Combustível Entre os Geradores de Vapor	51
4.5 Resultado Final.....	51
CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

Este trabalho se trata de um estudo da viabilidade de instalação de um gerador de vapor, serão abordados tópicos referentes à história deste equipamento, definição, a utilização do gerador, principais componentes, funcionamento, os tipos de gerador e suas definições, também serão levantados dados entre dois modelos diferentes de gerador, estes dados serão utilizados para análise da viabilidade, considerando para ambos os modelos a mesma capacidade de geração de vapor, a mesma pressão de trabalho admissível (PMTA), também para a análise serão considerados os seguintes indicadores: custo do produto final; dimensões do equipamento e qual espaço físico este será locado; consumo de energia elétrica e consumo de combustível.

Para uma empresa fazer novos investimentos ou a construção de uma nova unidade, onde há a necessidade da instalação de uma unidade geradora de vapor. Faz-se necessário conhecer o produto o qual está adquirindo. A importância do trabalho é mostrar dados referentes a duas opções de gerador de vapor e também mostrar resultados para melhor ajudar a decisão de escolha entre as opções.

A elaboração deste trabalho aprimorou as ideias do autor mediante aos produtos estudados, pois teve a oportunidade de pesquisar e conhecer fatores que muito influenciam no projeto dos produtos.

Os produtos estudados no decorrer do trabalho são geradores de vapor, também conhecido como caldeiras. Os dados necessários para pesquisa foram levantados para melhor confrontar os indicadores utilizados para a escolha entre as opções de gerador de vapor.

Os dados e referentes ao produto foram coletados em uma empresa denominada "X" situada na cidade de Varginha MG.

Baseado nos dados levantados, respeitando os indicadores necessários para a análise, obteve-se resultados inesperados com relação aos produtos estudados. Pois alguns fatores são levados em consideração para não acarretar na escolha do produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a estruturação deste estudo. Neste sentido, ele está dividido em sete seções. A primeira seção relaciona o ordenamento do capítulo, encadeando os assuntos selecionados de acordo com o eixo que rege a pesquisa.

2.1 Histórico do Gerador de Vapor

A utilização do vapor é um dos meios mais comuns para a transferência de energia. Seu uso é antigo e o primeiro indício da utilização do vapor se dá por volta do primeiro século da era cristã, onde um estudioso chamado Heron de Alexandria, construiu uma espécie de turbina a vapor, chamada eolípila.

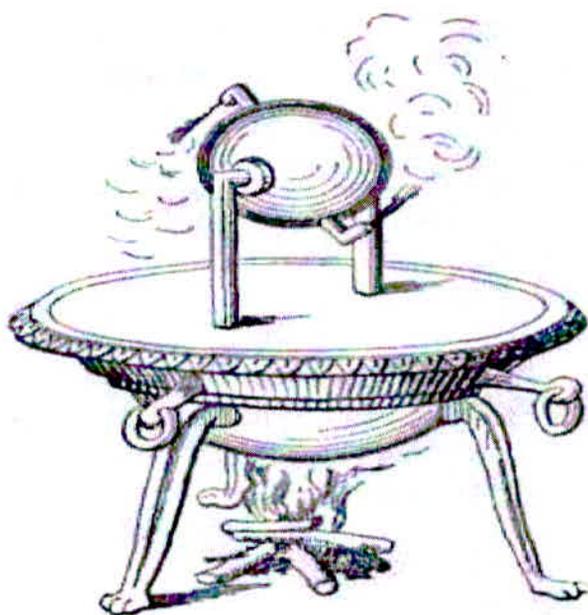


Figura 01: Máquina a Vapor de Heron de Alexandria
Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

Seu projeto era composto por uma esfera de metal e dois bicos, colocados em posições opostas. O funcionamento consiste no aquecimento da água colocada no interior da esfera que produzia o vapor, que por sua vez se expandia, escapando pelos bicos, fazendo a esfera girar, mas nenhum trabalho útil era produzido por esse movimento. Portanto, não havia nenhuma utilidade prática para esse projeto.

Muitos séculos mais tarde, a máquina a vapor foi a primeira maneira eficiente de produzir energia independentemente da força muscular do homem, do animal e da força do vento e das águas correntes. Sua invenção e uso foi uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial.

Foi somente no século XVII, que o físico francês Denis Papin usou esse princípio para bombear água. O equipamento bastante rudimentar que ele inventou, era composto de um pistão dentro de um cilindro que ficava sobre uma fonte de calor e no qual se colocava uma pequena quantidade de água.

O primeiro gerador de vapor utilizado para fins industriais foi projetado por volta de 1698 por Thomas Savery e aperfeiçoada em 1712 por Thomas Newcomen e John Calley. Foi o primeiro equipamento dotado de manômetro de pressão, visor de nível, válvula de segurança e boca de visita.

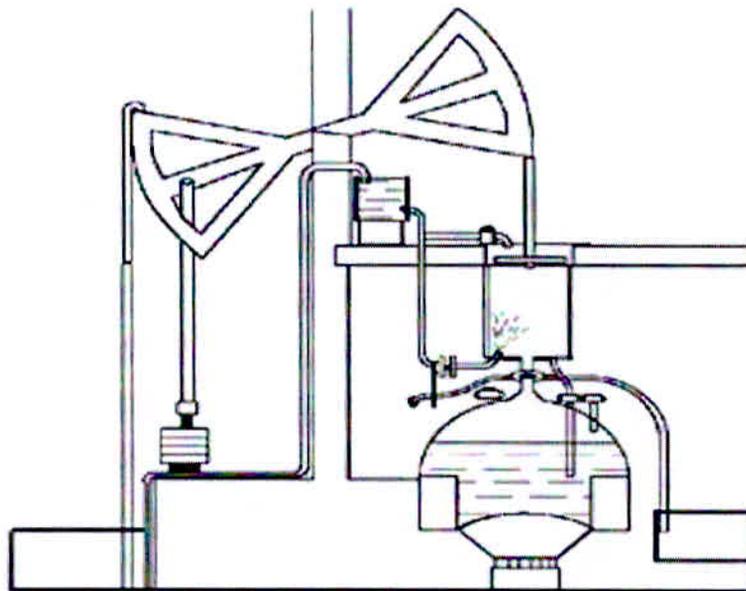


Figura 02: Máquina a Vapor de Thomas Newcomem
Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

Nessa máquina, o vapor gerado por um gerador era utilizado para a movimentação da haste ligado a um balancim que levanta um êmbolo, criando vácuo que retirava água de poços de minas inundados.

Em 1782, um construtor de instrumentos escocês chamado James Watt projetou e patenteou a máquina rotativa de ação dupla, prendendo o êmbolo do pistão a uma manivela ou um conjunto de engrenagens para produzir movimento rotativo e permitiu que essa máquina pudesse ser usada para impulsionar mecanismos, girar rodas de carroças ou pás para movimentar navios.

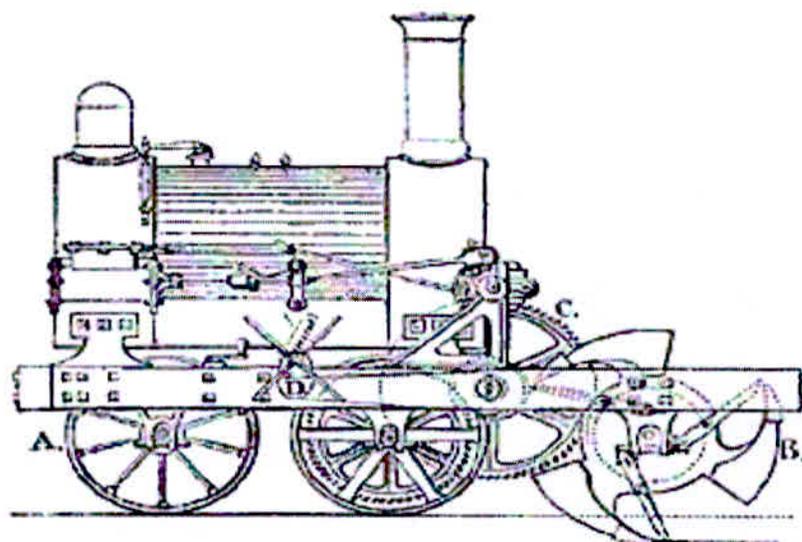


Figura 03: Máquina a Vapor de James Watt
 Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

No fim do século XVIII, as máquinas a vapor produzidas por Watt forneciam energia para fábricas, moinhos e bombas na Europa e na América.

No início do século XIX o aparecimento das caldeiras, que podiam operar com altas pressões e que foram desenvolvidas por Richard Trevithick na Inglaterra e por Oliver Evans nos Estados Unidos, tornou se a base para a revolução dos transportes uma vez que elas podiam ser usadas para movimentar locomotivas, barcos fluviais e, depois, navios.

2.2 Definição de Gerador de Vapor

Gerador de vapor é um equipamento que tem como finalidade a geração de vapor por transferência de calor, entre o combustível e a água, a uma determinada pressão e temperatura.

Segundo PERAGALLO (1995, p.147) “Gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor de água sob pressões superiores a atmosférica a partir da energia térmica de um combustível e de um elemento comburente, ar, estando constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.”

“[...] Esta definição abrange todos os tipos de geradores de vapor, sejam os que vaporizam água, mercúrio, vapor de óxido de difenil – vapor de água ou fluidos de altas temperaturas, bem como as unidades mais simples de geração de vapor, comumente denominadas caldeiras de vapor.”

Alguns ramos da engenharia como transferência de calor, estão presentes em praticamente 100% da teoria sobre geradores de vapor.

2.2.1 Transferência de Calor

A transferência de calor entre corpos ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre eles.

Segundo PERA (1990, p.6-2) “[...] No caso específico de que trata este trabalho participam do processo dois fluidos, o portador de calor denominado gases de combustão e o receptor de calor que pode ser água, fluido térmico ou ar.”

“[...] A transferência de calor se verifica pelos três modos reconhecidos pela física: **radiação, convecção e condução.**”

2.2.1.1 Transferência de Calor por Radiação

Segundo PERA (1990, p.6-2) “[...] A radiação é um processo de transferência pelo qual o calor flui de um corpo de alta temperatura para outro de mais baixa, mesmo quando, entre os mesmos haja um espaço ocupado por gases ou simplesmente vácuo. O corpo de alta temperatura converte uma pequena parte da sua energia interna em ondas eletromagnéticas que emigram para o espaço. Quando encontram outro corpo de temperatura mais baixa cedem e incorporam esta energia. Todos os corpos emitem radiações continuamente dentro dos mais diversos comprimentos de ondas. [...]”

Nos geradores de vapor a troca de calor por radiação geralmente está presente na chama, proveniente da queima do combustível.

2.2.1.2 Transferência de Calor por Convecção

Segundo PERA (1990, p.6-25) “[...] A transmissão convectiva é, sobretudo dependente das leis que governam o escoamento dos fluidos. De fato o mecanismo é explicado pela combinação da condução e do transporte de massa, importando o conhecimento do tipo de escoamento, de laminar ou turbulento.

Além disso, o movimento do fluido pode ser assegurado pela diferença de densidades por efeito de variações na sua temperatura ou provocado pelo impulso de uma máquina, na primeira condição correspondendo a convecção natural e na segunda à convecção forçada.”

“[...] Nos geradores de vapor se apresentam todos esses mecanismos. No lado do fluido gasoso dificilmente se observa o escoamento laminar. Provoca-se o escoamento turbulento para melhorar o fluxo térmico. No lado água comparecem à convecção natural e a forçada cujos processos criaram tipos distintos de caldeiras conhecidas ou como caldeiras de circulação natural ou de circulação forçada.”

2.2.1.3 Transferência de Calor por Condução

Segundo PERA (1990, p.6-38) “[...] Quando dois corpos de diferentes temperaturas são colocados em contato, constata-se um fluxo de calor da fonte mais quente em direção à fonte mais fria.

A condução, entretanto, analisa o processo de transferência de calor que se verifica no interior de um próprio corpo, seja ele sólido, líquido ou gasoso, muito embora predomine como mecanismo distinto, principalmente nos corpos sólidos.

No que se refere à matéria em estudo, a condução interessa para analisar os efeitos de fluxo de calor escoado através das paredes metálicas dos tambores e tubos de caldeira. O aço aplicado na construção destes equipamentos é um bom condutor de calor.”

2.3 O Gerador de Vapor

“Essencialmente uma caldeira de vapor é constituída de um vaso fechado a pressão, com tubos, no qual se introduz água, que pela aplicação externa de calor se transforma continuamente em vapor.” (PERA, 1990 p. 1-1)

2.3.1 Componentes que Constituem um Gerador de Vapor

Para qualquer que seja o tipo de gerador de vapor, se é um gerador de grande, médio ou pequeno porte, sempre estará composto pelos seguintes componentes.

Alguns componentes citados abaixo, como o economizador e aquecedor de ar, são mais utilizados para um sistema de geração de vapor mais complexo.

2.3.1.1 Cinzeiro

Utilizado geralmente em geradores de vapor, onde se queima combustível sólido.

“Lugar onde se depositam as cinzas e ou eventualmente restos de combustível que atravessam o suporte de queima sem completarem sua combustão.” (PERA, 1990 p. 1-4)

2.3.1.2 Fornalha

“Local onde se instala o início do processo de queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.” (PERA, 1990 p. 1-4)

Se forem empregados combustíveis sólidos, a fornalha compõe-se de grelhas sobre as quais este é queimado, e tem como finalidade facilitar a entrada de ar para efetuar a queima do combustível.

Para queima de combustíveis líquidos, gasosos ou produtos pulverizados não são necessário a utilização de grelhas e cinzeiros. Neste caso são utilizados combustores ou queimadores, cuja finalidade destes é injetar a mistura ar/combustível no interior da fornalha.

2.3.1.3 Câmara de Combustão

“Volume onde se deve extinguir toda a matéria combustível antes dos produtos da combustão atingirem e penetrarem no feixe de absorção do calor por convecção.” (PERA, 1990 p. 1-4)

“Esta câmara por vezes se confunde com a própria fornalha dela fazendo parte, outras vezes separa-se completamente.” (PERA, 1990 p. 1-4)

2.3.1.4 Canais de Gases ou Passes dos gases

“São trechos intermediários ou finais de circulação dos gases de combustão, até a chaminé. Estes canais podem ser de alvenaria ou de chapas de aço conforme a temperatura dos gases que nele circulam.” (PERA, 1990 p. 1-4)

Para caldeira compactas, tubos são utilizados para tal função.

2.3.1.5 Chaminé

“É a parte que garante a circulação dos gases quentes da combustão através do todo o sistema pelo chamado efeito de tiragem. [...]” (PERA, 1990 p. 1-5)

2.3.1.6 Economizador

“Onde a temperatura da água de alimentação sofre elevação, aproveitando o calor sensível residual dos gases da combustão, antes de serem eliminados pela chaminé.” (PERA 1990, p.1-5)

Este aquecimento da água é de grande aproveitamento para a geração de vapor, pois com a água no interior da caldeira com temperatura elevada, a economia de combustível e fato, pois é gasto menos energia para aquecer a água, por essa razão se dá o nome de economizador.

2.3.1.7 Aquecedor de Ar

“Também designado Pré-aquecedor de Ar, cuja função é aquecer o ar de combustão, para introduzi-lo na fornalha, graças ao aproveitamento do calor sensível dos gases da combustão, [...]” (PERA, 1990 p. 1-5)

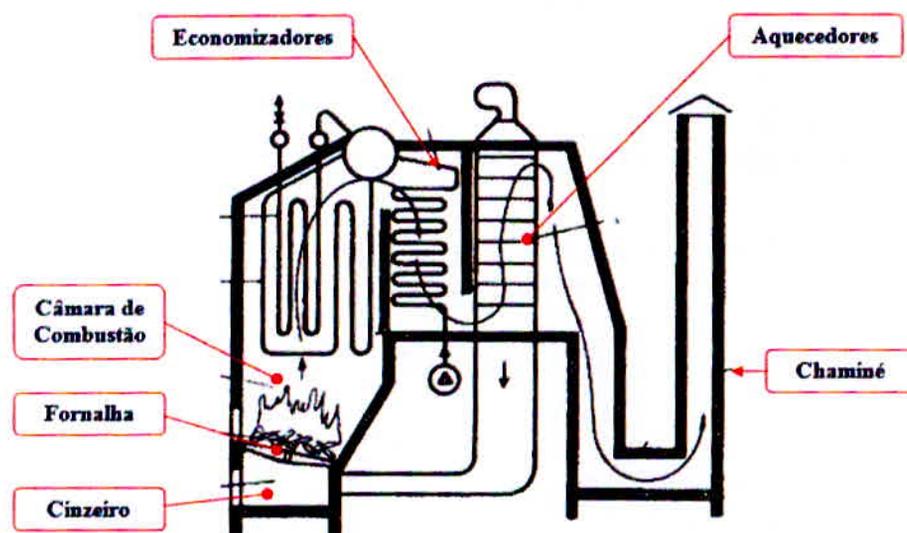


Figura 04: Principais Componentes de um Gerador de Vapor Complexo
Fonte: Livro – Geradores de Vapor

2.3.2 Funcionamento

Este capítulo aborda de forma simples o princípio de funcionamento de um gerador de vapor, no fluxo de gases; fluxo da água; formação do vapor.

2.3.2.1 Fluxo de Gases

O ar frio é injetado no interior da fornalha com o auxílio de um ventilador, onde reage com o combustível, garantindo a sua queima contínua.

“[...] Os gases da combustão resultante desta queima, com elevada temperatura, por efeito da tiragem do sistema circulam através de todas as partes da caldeira, tornando contato com todas as superfícies de absorção de calor, até atingirem a chaminé e serem eliminados para a atmosfera. [...]” (PERA, 1990 p. 1-5)

2.3.2.2 Fluxo de Água

“A água é mantida em nível constante no interior da caldeira graças a sua introdução controlada mediante o trabalho de uma bomba de alimentação de água seja por controle manual ou automático, introduzindo-se no gerador o peso da água equivalente ao peso de vapor extraído.” (PERA, 1990 p. 1-6)

2.3.2.3 Formação de Vapor

Segundo PERA (1990, p.1-6) “A água contida no interior da caldeira, mantida no nível de operação visível num indicador de nível, graças ao suprimento do calor gerado pela queima do combustível na fornalha, aumenta sua entalpia até atingir a ebulição com formação do vapor. [...]”

“[...] Tendo a caldeira atingindo internamente a pressão de trabalho, o vapor, deve ser extraído pela tomada superior existente para tal fim. A medida que se extrai o vapor, deve-se repor quantidade equivalente de água. A água pode ser alimentada à temperatura ambiente ou preaquecida seja pelo retorno do condensado ou preaquecimento em economizadores ou desaeradores.”

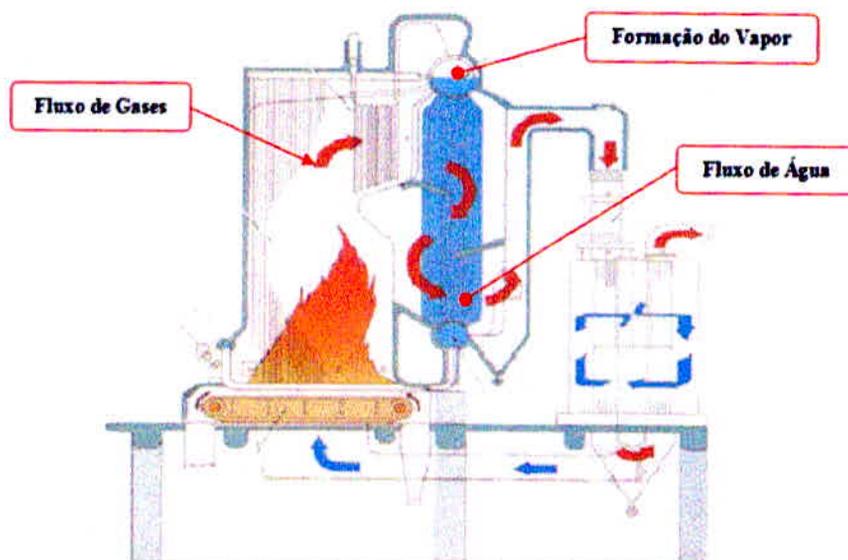


Figura 05: Funcionamento de um Gerador de Vapor Complexo
Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

A figura acima mostra de maneira simples e básica o princípio de funcionamento descritos anteriormente, para os geradores de vapor mais complexos.

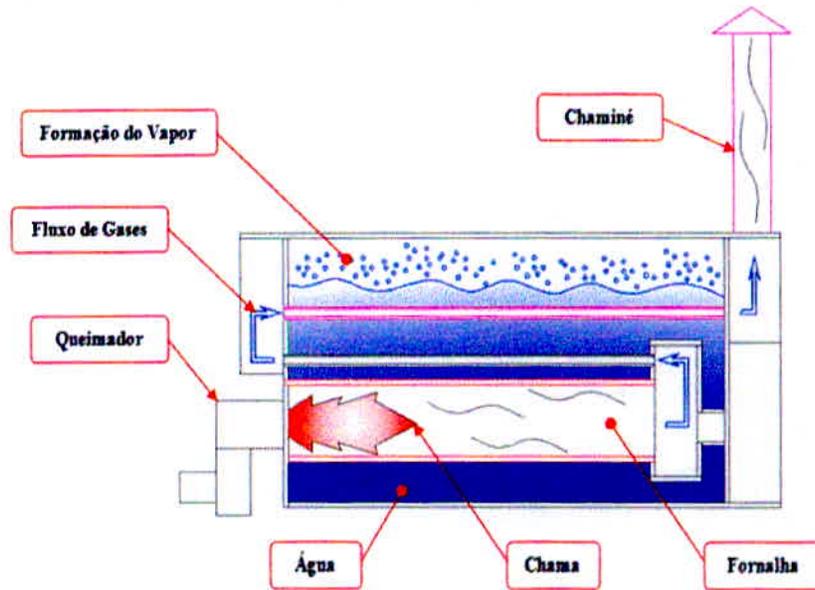


Figura 06: Funcionamento de um Gerador de Vapor Compacto
Fonte: O Autor

A figura acima mostra de maneira simples e básica o princípio de funcionamento descritos anteriormente, para os geradores de vapor compacto.

2.3.3 Dados Característicos e de Performance

Dentre estes dados os mais importantes são:

- ✓ **Superfície de aquecimento:** “Define-se como superfície de aquecimento, a área de tubulação ou de placa metálica, que de um lado mantém contato com a água, ou mistura água-vapor e, de outro, com os gases quentes e energia calorífica radiante. A superfície é dada em m².” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Produção normal de vapor:** “Indica a quantidade de vapor que descarrega da válvula principal de saída de vapor da caldeira em condições de regime normal de pressão e temperatura definidas pelo projeto.” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Qualidade do vapor:** “Estabelece se o vapor produzido será saturado seco ou superaquecido.” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Pressão de trabalho:** “É a pressão de vapor com a qual deve operar a caldeira.” (PERA, 1990 p. 1-7)

- ✓ **Pressão de construção ou de projeto:** “É a pressão para qual foi dimensionada e construída. É de boa norma, estabelecer a pressão de construção igual à pressão máxima de trabalho dos acessórios que serão aplicados na caldeira.” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Pressão de prova:** “É a pressão de teste hidráulico a que é submetida à caldeira após a construção e mesmo durante os testes de inspeções anuais obrigatórios [...]” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Eficiência térmica:** “Define-se como sendo a fração de energia térmica liberada pelo combustível ao queimar na fornalha que foi absorvida pela água. [...]” (PERA, 1990 p. 1-7)
- ✓ **Capacidade do gerador:** É a capacidade do gerador de produzir o peso do vapor em uma hora. No Brasil, utiliza-se como unidade de medida o quilograma.

2.4 Classificação de um Gerador de Vapor

Os geradores de vapor podem ser classificados de acordo com:

- ✓ A classe de pressão;

[...] “as caldeiras são classificadas em 3 categorias, conforme segue:

- a) caldeiras da categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5.99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 (cem) litros;
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.” [...] (NR-13..., 2003, p. 117)

- ✓ A posição dos gases quentes provenientes da combustão e da água que é utilizada para a geração do vapor.

Uma classificação mais precisa, apresenta muita dificuldade por existirem vários tipos fundamentais. Dividimos os geradores de uma forma geral em:

- ✓ Gerador de vapor Flamotubular;
- ✓ Gerador de vapor Aquotubular;

2.4.1 Gerador de Vapor Flamotubular

Os geradores de vapor flamotubulares se caracterizam pela circulação dos gases de combustão pelo interior dos tubos do feixe tubular até a saída pela chaminé.

Existem vários tipos de geradores flamotubulares, porém será abordado neste trabalho somente geradores de vapor compactos com fornalhas cilíndricas internas e geradores com ante-fornalha, ou seja, fornalha externa que será abordada mais adiante.

2.4.1.1 Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Interna

Segundo PERAGALLO (1995, p.147) “Os geradores desse tipo carregam uma grande quantidade de água no interior de um invólucro ou casco, dentro do qual se encontram também as fornalhas, câmara de combustão e os tubos estão submersos na água contida no interior do casco.”

Esses geradores são construídos para operar com pressões limitadas, pois as partes internas submetidas à pressão são relativamente grandes, inviabilizando o emprego de chapas de maiores espessuras, podendo ser fabricadas com fornalhas lisas ou corrugadas, com 1, 2, 3 e até 4 passes de gases.

A saída da fornalha é chamada câmara de reversão, podendo ser seca ou molhada. Em geradores de vapor flamotubulares que operam com combustíveis líquidos ou gasosos, utilizam um equipamento denominado queimador, que tem como finalidade injetar a mistura ar/combustível no interior da fornalha, e é instalado na parte frontal da fornalha.

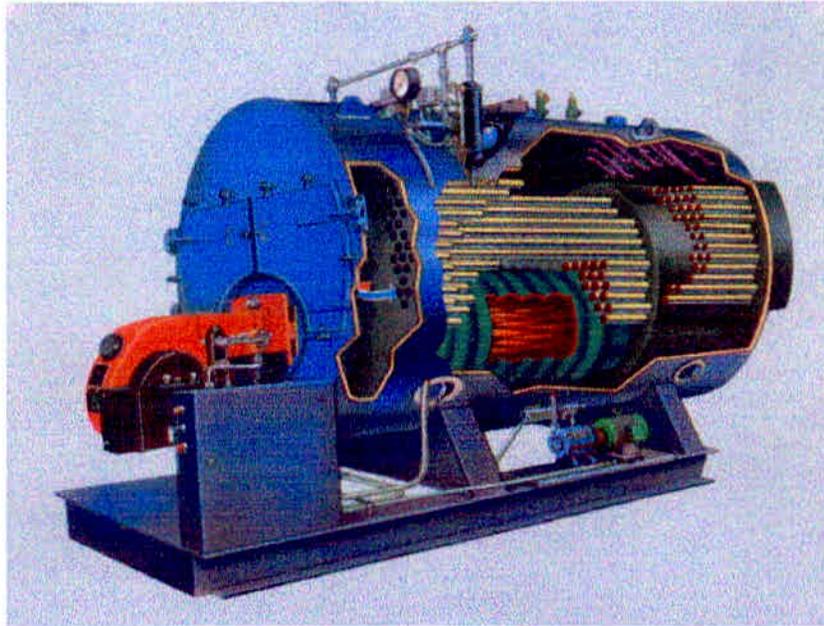


Figura 07: Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Interna
Fonte: Peragallo – Fluidos Térmicos

São limitados em produção de vapor e pressão, atualmente podendo atingir valores próximos a 30.000 kg/h de produção de vapor e 18 kgf/cm² de pressão.

Onde: kg = quilograma

h = hora

kgf/cm² = quilograma força por centímetro quadrado

Estes geradores têm como principais vantagens:

- ✓ Construção simples e pouca alvenaria;
- ✓ Possibilidade de fácil substituição dos tubos,
- ✓ Menores exigências para tratamento da água de alimentação;
- ✓ Limpeza fácil de fuligem no interior dos tubos;
- ✓ Tempo para montagem e o “start” do equipamento mais rápido.

Como desvantagens apresentam:

- ✓ Destinam-se a pressões não muito elevadas, devido a razões de segurança para o vaso de pressão;
- ✓ Custo do combustível alto para queima de combustíveis líquidos ou gasosos;

2.4.1.2 Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Externa

A necessidade de utilização de combustíveis sólidos para geradores de vapor de pequena capacidade fez surgir uma solução que são os geradores com fornalha externa, também conhecida como caldeiras mistas. Basicamente são geradores de vapor compostos por um corpo flamotubular com uma antefornalha com paredes revestidas de tubos de água, Na antefornalha se dá a combustão de sólidos através de grelhas de diversos tipos possibilitando assim o espaço necessário para os maiores volumes das câmaras de combustão, necessários a combustão de sólidos, principalmente em grandes tamanhos, tais como lenha em toras, cavacos, etc., além da possibilidade de retirada de cinzas por baixo das grelhas (o cinzeiro).

Os geradores de vapor com fornalha externa é uma solução prática e eficiente quando se tem disponibilidade de combustível sólido a baixo custo. Há ainda a possibilidade de queimar combustível líquido ou gasoso, com a instalação de queimadores apropriados.

Dependendo do combustível sólido (os mais diversos tipos de biomassa), que são diferentes em sua composição química, granulometria, umidade, cinzas etc. O projeto da antecâmara de combustão também chamada de fornalha e grelha pode variar apropriando-se para um ou mais combustíveis.

Atualmente as caldeiras mistas trabalham com três passes de gases, podendo gerar valores próximos a 30.000 kg/h de produção de vapor e 24 kgf/cm² de pressão.

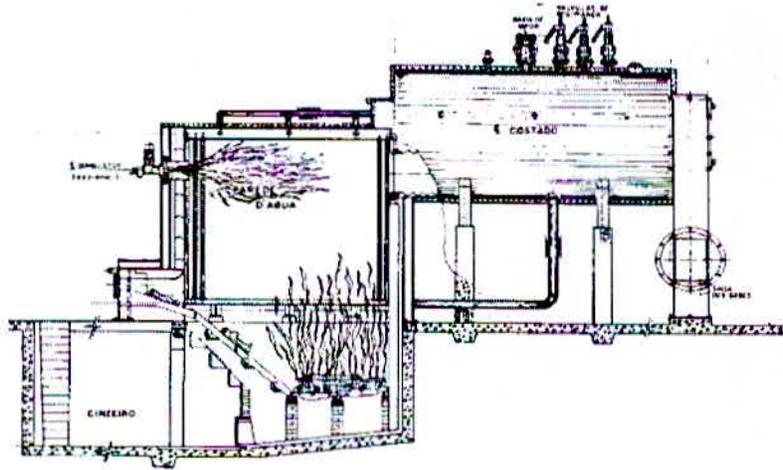


Figura 08: Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Externa
 Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNICAMP

Onde: kg = quilograma

h = hora

kgf/cm² = quilograma força por centímetro quadrado

Para estes geradores de vapor, suas principais vantagens são:

- ✓ Possibilidades de queima de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos;
- ✓ Operar com produção e pressão de vapor elevadas;
- ✓ Permite instalação de superaquecedores.

Como desvantagens apresentam:

- ✓ Requer maior espaço físico (casa de caldeira) para sua instalação;
- ✓ Maiores exigência para tratamento da água de alimentação, pois sua fornalha são tubos de água;
- ✓ Tempo de montagem e o “start” do equipamento mais longo.
- ✓ Manutenção complicada.

2.4.2 Gerador de Vapor Aquotubular

Ao contrário dos geradores de vapor flamotubulares, onde os gases provenientes da combustão passam no interior dos tubos, os geradores de vapor aquotubulares caracterizam-se pela circulação externa dos gases de combustão nos tubos, que no seu interior são conduzidos a massa de água e vapor.

Para PERAGALLO (1995, p.147) “O emprego deste tipo de gerador resulta inevitável quando necessária a obtenção de grandes capacidades e elevadas pressões de vapor.”

Uma característica importante desse tipo de gerador de vapor é a possibilidade de adaptação de vários acessórios, como o superaquecedor, que permite a geração de vapor superaquecido, necessário para o funcionamento de turbinas.

Dada à maior complexidade construtiva em relação aos geradores de vapor flamotubulares, os geradores aquotubulares são preferidos somente para maiores capacidades de produção de vapor e pressão.

O volume de água é distribuído por um grande número de tubos, submetidos exteriormente, ao contato dos gases de combustão. Esses tubos estão dispostos de forma a garantir uma eficiente circulação da água em ebulição e estão interligados a dois ou mais reservatórios cilíndrico horizontais, chamados de tubulão superior e tubulão inferior.

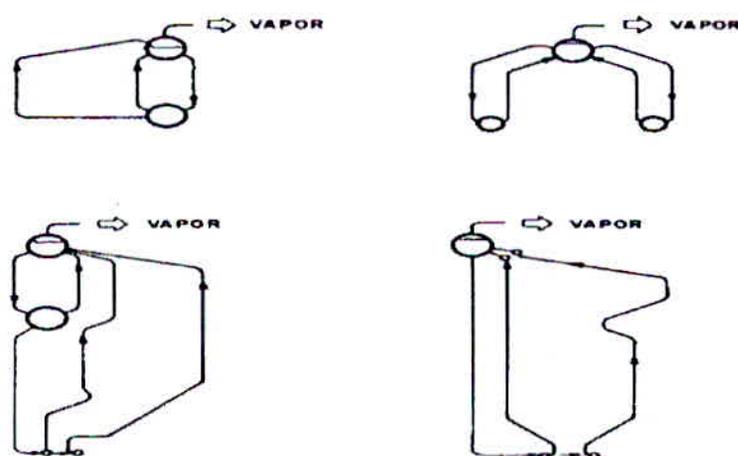


Figura 09: Esquemas Construtivos de Geradores de Vapor Aquotubulares
Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor - UNICAMP

Os combustíveis para esse tipo de gerador podem ser combustíveis sólidos como biomassa (cavaco de madeira, bagaço de cana, entre outras), combustíveis líquidos (óleo diesel, óleo BPF) e combustíveis gasosos (gás natural).

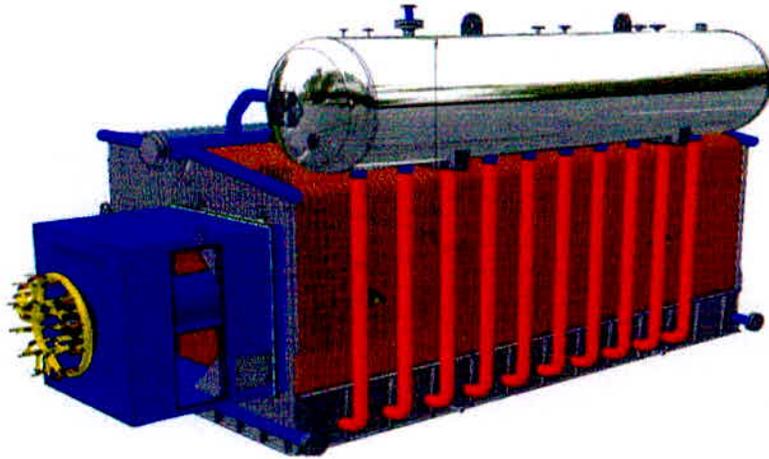


Figura 10: Gerador de Vapor Aquotubular
 Fonte: A Empresa Pesquisada

Os geradores de vapor aquotubulares são basicamente utilizados em indústrias e onde suas capacidades variam da ordem de 10.000 a 400.000 kg/h de produção de vapor, com pressão de trabalho até 100 kgf/cm².

Onde: kg = quilograma

h = hora

kgf/cm² = quilograma força por centímetro quadrado

Esses geradores de vapor têm como principais vantagens:

- ✓ Possibilidades de queima de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos;
- ✓ Operar com produção e pressão de vapor elevadas;
- ✓ Permite instalação de superaquecedores.

Como desvantagens apresentam:

- ✓ Requer maior espaço físico (casa de caldeira) para sua instalação;
- ✓ Maiores exigência para tratamento da água de alimentação;
- ✓ Tempo de montagem e o “start” do equipamento mais longo.
- ✓ Manutenção complicada.

2.4.3 Mapa Comparativo Entre os Tipos de Geradores de Vapor

Este mapa é um comparativo entre os tipos de geradores de vapores, para melhor visualização do leitor. Os geradores de vapor serão identificados conforme:

- ✓ Modelo A = Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Interna;
- ✓ Modelo B = Gerador de Vapor Flamotubular com Fornalha Externa;
- ✓ Modelo C = Gerador de Vapor Aquotubular.

Tabela 01 – Mapa Comparativo Entre os Tipos de Geradores de Vapor

Crítérios	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Fabricação	Simples	Complexa	Complexa
Manutenção	Simples	Complicada	Complicada
Tratamento de Água	Não Muito Exigente	Muito Exigente	Muito Exigente
Tempo para Montagem	Reduzido	Longo	Longo
Pressões de Operação	Baixas Pressões	Altas Pressões	Altas Pressões

Fonte: O autor

2.5 Aplicação de um Gerador de Vapor

O gerador de vapor é aplicado em vários setores industriais e o vapor gerado pelo equipamento, é aplicado nas mais diversas formas, tais como:

- ✓ **Indústria de bebidas:** nas lavadoras de garrafas, tanques de xarope, pasteurizadoras.
- ✓ **Indústrias madeireiras:** no cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.
- ✓ **Indústria de papel e celulose:** no cozimento de madeira nos digestores, na secagem com cilindros rotativos, na secagem de cola, na fabricação de papelão corrugado.
- ✓ **Indústrias de laticínios:** na pasteurização, na esterilização de recipientes, no aquecimento de tanques de água.
- ✓ **Frigoríficos:** nas estufas para cozimento, nos digestores, nas prensas para extração de óleo.
- ✓ **Indústria de petróleo e seus derivados:** nos trocadores de calor, nas torres de fracionamento e destilação, nos fornos, nos vasos de pressão, nos reatores e turbinas.

Outras aplicações são atribuídas para o gerador de vapor, que não serão citados neste trabalho.

2.6 Seleção do Gerador de Vapor

Neste capítulo serão levantados alguns indicadores, importantes para seleção de um gerador de vapor, que serão utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Segundo PERA (1990, p.1-6) “Selecionar um gerador de vapor é estabelecer qual o equipamento mais indicado para satisfazer a uma determinada instalação industrial. A seleção toma em consideração vários fatores:

- ✓ Disponibilidade energética;
- ✓ Características da energia;
- ✓ Pressão e temperatura do vapor;
- ✓ Variação da demanda do vapor;
- ✓ Custo de instalação, operação e manutenção;
- ✓ Espaço disponível;
- ✓ Amortização do investimento”

Alguns destes fatores citados acima e outros serão explicados para melhor entendimento.

- ✓ **Característica da energia:** “Não deverão os geradores apresentar tendências de produzir arrastes de água com o vapor [...]” (PERAGALLO, 1995 p.137)
- ✓ **Espaço disponível:** “Este fator deve combinar em forma tal que os geradores possam adaptar-se ao espaço destinado a sua instalação. [...]” (PERAGALLO, 1995 p.137)
- ✓ **Segurança:** “Para cumprir este requisito os geradores e todos seus acessórios deverão ser projetados para obter o mais elevado fator de segurança para que dentro do previsível estejam isentos de falhas comuns. [...]” (PERAGALLO, 1995 p.138)

2.7 Viabilidade de Instalação

“Ao instalar uma nova fábrica, comprar novos equipamentos ou simplesmente alugar uma máquina, isto é, ao fazer um novo investimento, uma empresa deve fazer uma análise de viabilidade do mesmo. [...]” (CASAROTTO, 2000 p.104)

“Para se efetuar uma análise econômica de um investimento, é necessário um perfeito levantamento dos custos e das receitas adicionais, decorrentes deste investimento. [...]” (CASAROTTO, 2000 p.108)

“Quer o investimento seja uma expansão da empresa, ou uma nova fábrica, uma nova linha de produção ou simplesmente um novo equipamento, devem ser analisados os efeitos adicionais, medidos em termos de custos e receitas. [...]” (CASAROTTO, 2000 p.108)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se deu numa empresa denominada “X”, do ramo de metalurgia, situada na cidade de Varginha – MG, considerando a mesma empresa sendo fabricante dos produtos estudados.

A pesquisa trata-se de um estudo da viabilidade para instalação de um gerador de vapor, de modelos diferentes considerando as mesmas condições como:

- ✓ Capacidade de geração de vapor;
- ✓ Pressão máxima de trabalho admissível.

Os indicadores levantados para ambos os modelos, para o estudo são:

- ✓ Custo do produto;
- ✓ Dimensões (espaço físico para instalação do equipamento);
- ✓ Consumo de energia elétrica;
- ✓ Consumo de combustível.

3.1 Identificações dos Produtos Estudados

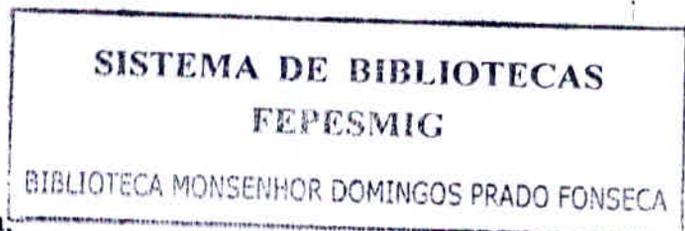
3.1.1 Modelo A

No presente estudo identificaremos como Modelo A, o gerador de vapor flamotubular com fornalha interna e com as seguintes características:

- ✓ Capacidade de geração de vapor: 20.000 kg/h;
- ✓ Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA): 12 kgf/cm²;
- ✓ Número de passagem de gases: 4 (quatro) passes;
- ✓ Combustível predominante para queima: Gás natural.

Além do gerador de vapor este modelo é composto de vários equipamentos que são necessários para um bom funcionamento. O gerador está composto dos seguintes equipamentos:

- ✓ Queimador;
- ✓ Ventilador insuflador de ar;
- ✓ Rampa de gás;
- ✓ Bombas de alimentação de água;
- ✓ Economizador;
- ✓ Chaminé;



- ✓ Dutos de condução dos gases;
- ✓ Programador (PLC).

3.1.2 Modelo B

Será identificado como Modelo B, o gerador de vapor flamotubular com fornalha externa, e com as seguintes características:

- ✓ Capacidade de geração de vapor: 20.000 kg/h;
- ✓ Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA): 12 kgf/cm²;
- ✓ Número de passagem de gases: 3 (três) passes;
- ✓ Combustível predominante para queima: Cavaco de madeira (Biomassa).

Assim como o modelo A, este gerador de vapor é composto de vários equipamentos necessários para um bom funcionamento. O gerador está composto dos seguintes equipamentos:

- ✓ Silo alimentador;
- ✓ Ventilador insuflador de ar;
- ✓ Ventilador exaustor de gases;
- ✓ Filtro Multiciclone;
- ✓ Bombas de alimentação de água;
- ✓ Chaminé;
- ✓ Dutos de condução dos gases;
- ✓ Extrator de cinzas;
- ✓ Gelha;
- ✓ Pré-aquecedor de ar;
- ✓ Programador (PLC).

3.2 Indicadores para Análise dos Produtos Estudados

3.2.1 Custo do Produto

Será abordado o custo do produto para o Modelo A e para o Modelo B, considerando todos os equipamentos necessários para o bom funcionamento do gerador de vapor no qual é submetido, para os respectivos modelos.

Os valores apresentados a seguir foram fornecidos pela empresa “X”, porém sendo considerados valores próximos e serão expressos em R\$ (reais) para melhor visualização da análise.

3.2.1.1 Custo do Produto para Gerador de Vapor - Modelo A

Para o Modelo A, os valores dos equipamentos como: Queimador; Ventilador insuflador de ar; Rampa de gás; Bombas de alimentação de água; Chaminé e Dutos de condução dos gases; estarão inclusos juntamente com o valor do gerador de vapor, conforme Tabela 02.

Tabela 02 – Tabela dos Valores dos Equipamentos que Compõe o Modelo A

Equipamento	Valor (R\$)
Gerador de Vapor	1.100.000,00
Economizador	83.000,00
Programador PLC	55.000,00
Montagem	250.000,00
Total	1.488.000,00

Fonte: O autor

3.2.1.2 Custo do Produto para Gerador de Vapor - Modelo B

Para o Modelo B, os valores dos equipamentos como: Ventilador insuflador de ar; Ventilador exaustor de gases; Bombas de alimentação de água; Chaminé e Dutos de condução dos gases; estarão inclusos juntamente com o valor do gerador de vapor, conforme Tabela 03.

Tabela 03 – Tabela dos Valores dos Equipamentos que Compõe o Modelo B

Equipamento	Valor (R\$)
Gerador de Vapor	1.500.000,00
Silo Alimentador	210.000,00
Filtro Multiciclone	120.000,00
Grelha	460.000,00
Extrator de Cinzas	130.000,00
Pré-aquecedor de ar	390.000,00
Programador PLC	55.000,00
Montagem	450.000,00
Total	3.315.000,00

Fonte: O autor

3.2.2 Dimensões

Como visto antes, para seleção de um gerador de vapor são considerados muitos fatores, entre eles, o espaço físico para locação do gerador e seus equipamentos. Este espaço é conhecido como casa de caldeira.

[...] “Quando a caldeira for instalada em ambiente aberto, a “Área de Caldeiras” deve satisfazer aos seguintes requisitos:

a) estar afastada de, no mínimo, 3,00m (três metros) de:

- outras instalações do estabelecimento;
- de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2000 (dois mil) litros de capacidade;
- do limite de propriedade de terceiros;
- do limite com as vias públicas;

b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;

c) dispor de acesso fácil e seguro, necessário à operação e à manutenção da caldeira, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;

d) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes;

e) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes;

f) ter sistema de iluminação de emergência caso operar à noite.”[...] (NR-13..., 2003, p. 117-118)

As dimensões dos equipamentos que compõem uma unidade geradora de vapor são de grande importância para poder definir a casa de caldeira.

Com bases nessas informações será considerada a casa de caldeira como elemento de comparação entre os modelos.

3.2.2.1 Dimensões do Gerador de Vapor - Modelo A

Para o Modelo A, a casa de caldeira é menor, pois não é composto de muitos equipamentos para seu funcionamento. Como este modelo tem como combustível predominante o **gás natural**, não é necessário um local para armazenagem do combustível, reduzindo o espaço físico para locação.

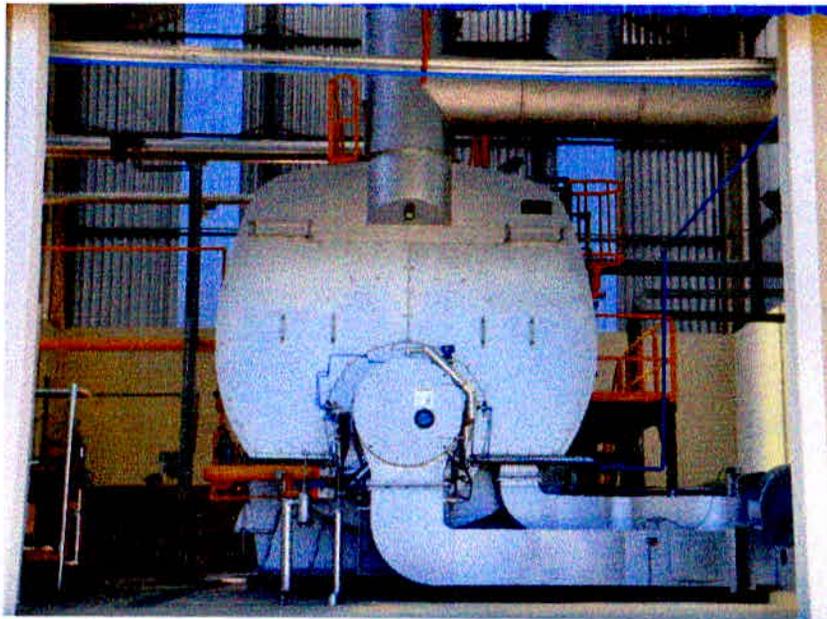


Foto 11: Foto da Frente do Gerador de Vapor Modelo A
Fonte: A Empresa Pesquisada

A Foto 11 tem como objetivo mostrar um gerador de vapor do Modelo para que se tenha uma ideia de dimensional do equipamento.



Foto 12: Foto Panorâmica do Gerador de Vapor Modelo A
Fonte: A Empresa Pesquisada

Assim como a Foto 11, a Foto 12 enfatiza a ideia de dimensão do gerador de vapor Modelo A, e também mostra alguns equipamentos que compõe o gerador de vapor para seu funcionamento, como o ventilador insuflador de ar.

3.2.2.2 Dimensões do Gerador de Vapor - Modelo B

Para o Modelo B, a casa de caldeira é maior, pois os equipamentos necessários para seu funcionamento são maiores e de maior quantidade. Como este modelo tem como combustível predominante o **cavaco de madeira**, faz-se necessário um espaço físico à parte para armazenagem e um dispositivo para transporte deste combustível até o silo alimentador. Levando em conta essas considerações o espaço físico para locação da unidade será maior.



Foto 13: Foto Geral do Gerador de Vapor Modelo B
Fonte: A Empresa Pesquisada

A Foto 13 tem como objetivo mostrar a unidade geradora de vapor Modelo B, montada com todos os equipamentos para seu funcionamento, além de enfatizar a dimensão do local onde se situa a mesma.



Foto 14: Gerador de Vapor Modelo B
Fonte: A Empresa Pesquisada

A Foto 14 mostra claramente a dimensão da casa de caldeira para locação do gerador de vapor Modelo B, pois se tem uma noção, comparando o operador ao lado da casa de caldeira.

3.2.3 Consumo de Energia Elétrica

Para a análise do consumo de energia elétrica, entre os modelos A e B, fez-se necessário um levantamento dos equipamentos de cada modelo, que utilizam energia elétrica para seu funcionamento.

Segundo MAMEDE (2010, p 552, 553) [...] “Antes de desenvolver quaisquer ações de eficiência energética que impliquem custos, deve-se inicialmente realizar um levantamento dos aparelhos elétricos instalados nos diferentes segmentos da indústria, conforme anteriormente indicado. Após obtidos esses resultados, é necessário realizar medições de parâmetros elétricos, tais como energia, demanda ativa e reativa, corrente, tensão e fator de potência”.[...] “No caso de motores com potência acima de 5 cv mas que operam de forma contínua e com carga uniforme, basta obter uma leitura instantânea ou de pequena duração em torno de quatro horas.”

Após o levantamento de equipamentos, foi verificada a potência elétrica de cada equipamento em cavalo-vapor (cv).

Para efeito de cálculo de consumo de energia elétrica e melhor visualização posterior, há necessidade de transformar para quilowatts (kW).

Para a transformação será considerado: $1 \text{ cv} = 0.736 \text{ kW}$.

Para a análise de consumo de energia elétrica e efeito de cálculos, a potência utilizada será a consumida, ou seja, é aquela que realmente está sendo utilizada durante o funcionamento do gerador de vapor.

Os dois modelos de gerador de vapor fornecidos pela empresa “X” e que são objetos dos estudos deste trabalho são compostos por duas **Bombas de Alimentação d'Água**, tanto para o Modelo A, quanto para o Modelo B. Porém em seu funcionamento é utilizado apenas uma das bombas, sendo que a outra é reserva. Portanto o consumo de energia elétrica para tais modelos será conforme parágrafo anterior.

3.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Gerador de Vapor - Modelo A

Os equipamentos levantados no qual consomem energia elétrica para o gerador de vapor Modelo A, estão indicados na Tabela 04.

Tabela 04 – Tabela de Equipamentos Elétricos Modelo A

Qtde	Equipamento	Potência Consumida (cv)	Potência Consumida (kW)
1	Ventilador Insuflador de Ar	125	92
1	Bomba de Alimentação d'Água	30	22.08
	Total	155	114.08

Fonte: O autor

3.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Gerador de Vapor - Modelo B

Para o gerador de vapor Modelo B, os equipamentos levantados que consomem energia elétrica são maior quantidade, devido às dimensões da unidade. Os equipamentos estão indicados na Tabela 05.

Tabela 05 – Tabela de Equipamentos Elétricos Modelo B

Qtde	Equipamento	Potência Consumida (cv)	Potência Consumida (kW)
1	Ventilador Exaustor de Gases	175	128.8
1	Ventilador Insuflador de Ar	75	55.2
1	Bomba de Alimentação d'Água	25	18.4
1	*Silo Alimentador	31.5	23.184
1	Grelha (Unidade Hidráulica)	10	7.36
1	Extrator de Cinzas	3	2.208
	Total	319.5	235.152

Fonte: O autor

Uma observação importante: o Silo Alimentador que faz parte do gerador de vapor Modelo B é composto de vários motores elétricos e de potências variadas, onde estes trabalham simultaneamente para o funcionamento do Silo. Portanto a representação na tabela anterior se fez para melhor visualização do leitor.

3.2.4 Consumo de Combustível

Neste capítulo será abordado o consumo de combustível referente aos dois modelos de gerador de vapor, levando em consideração fatores que contribuem para tal consumo.

Os fatores para o cálculo do consumo são os seguintes:

- ✓ **Produção de Vapor:** capacidade do gerador de vapor gerar uma massa de vapor em uma hora
- ✓ **Diferença de entalpia:** conforme a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) do gerador de vapor verifica-se na tabela de vapor a entalpia do vapor, e conforme a temperatura da água de alimentação do gerador de vapor obtém-se a entalpia da água. Faz-se então a diferença entre a entalpia do vapor e a entalpia da água.
- ✓ **PCI do combustível:** poder calorífico inferior, expresso em quilocaloria por quilograma (kcal/kg). “[...] É o calor liberado pela combustão da unidade de massa do combustível, na pressão constante de 1 atm, permanecendo a água formada na combustão no estado gasoso (vapor) [...]” (PERAGALLO, 1995 p.363)
- ✓ **Rendimento do gerador de vapor:** Este sendo variado de acordo com cada fabricante, considerando vários fatores de fabricação do equipamento.

Os cálculos de consumo de combustível utilizados pela empresa “X”, se dá através da equação (1).

$$B = \frac{D \times (h_v - h_a)}{PCI \times \eta} \quad (1)$$

Onde: B = Consumo de Combustível (kg/h)

D = Produção de Vapor (kg/h)

h_v = Entalpia do Vapor (kcal/kg)

h_a = Entalpia da Água (kcal/kg)

PCI = Poder Calorífico Inferior do Combustível (kcal/kg)

η = Rendimento do Gerador de Vapor (%)

Para a análise seguinte, foram considerados os fatores mais críticos dos respectivos modelos de geradores de vapor.

3.2.4.1 Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo A

Para analisar o consumo de combustível do gerador de vapor Modelo A, se fez necessário a criação da Tabela 06 para melhor visualização dos resultados. Os dados da referida tabela, de fornecimento da empresa “X”, são necessários para a aplicação da equação (1).

Tabela 06 – Dados Referentes ao Consumo de Combustível do Modelo A

Variáveis	Valor
Produção de Vapor	20000 kg/h
Entalpia do Vapor	664.7 kcal/kg
Entalpia da Água	20 kcal/kg
PCI	8600 kcal/Nm ³
Rendimento do Gerador	93.3 %
Consumo de Combustível	1607 Nm ³ /h

Fonte: O autor

Nestes dados estão sendo considerados alguns fatores importantes, como:

- ✓ Temperatura da água de alimentação do gerador de vapor: 20 °C;
- ✓ Qualidade do vapor: Saturado.

A unidade de medida do consumo de combustível está em Nm³/h (normal metro cúbico por hora), que seria o gás corrigido a mesma temperatura e pressão, pois essa unidade é utilizada somente para gases, tanto para queima, quanto para gases resultantes da combustão.

Obs.: Na prática a empresa estudada utiliza como valor da entalpia da água igual à temperatura da água de alimentação, pois de acordo com tabelas esse valores são muitos próximos, porém são limitadas até 100 °C.

3.2.4.2 Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo B

O método utilizado para analisar o consumo de combustível do gerador de vapor Modelo B, é o mesmo utilizado no modelo anterior, com alguns critérios correspondentes a este modelo.

A Tabela 07 é para melhor visualização dos resultados, os dados da referida tabela são de fornecimento da empresa “X” e são necessários para a aplicação da equação (1).

Tabela 07 – Dados Referentes ao Consumo de Combustível do Modelo B

Variáveis	Valor
Produção de Vapor	20000 kg/h
Entalpia do Vapor	664.7 kcal/kg
Entalpia da Água	20 kcal/kg
PCI	1750 kcal/kg
Rendimento do Gerador	84 %
Consumo de Combustível	8771 kg/h

Fonte: O autor

Os fatores importantes para o cálculo de consumo de combustível deste modelo de gerador de vapor são os seguintes:

- ✓ Temperatura da água de alimentação do gerador de vapor: 20 °C;
- ✓ Qualidade do vapor: Saturado;
- ✓ Umidade do combustível: 55%

Obs.: Este gerador de vapor utiliza como combustível cavaco de madeira, considerada uma biomassa, e toda biomassa contém umidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será abordada a análise dos indicadores levantados no desenvolvimento do trabalho, para alguns indicadores, como Custo do produto final; Consumo de energia elétrica e Consumo de combustível, serão convertidos em valor monetário, para que se tenha uma melhor visualização, das diferenças entre os dois modelos de geradores de vapor.

4.1 Custo do Produto Final

Com base nos dados informados na Tabela 02 e Tabela 03, fez surgir a Tabela 08 que informa a diferença dos valores em reais para aquisição dos geradores juntamente com os equipamentos necessário para o funcionamento, tanto para o Modelo, quanto para o Modelo B.

Tabela 08 – Tabela da Diferença Entre Valores em Reais do Modelo A e Modelo B

Modelo A	Modelo B	Diferença
R\$ 1.488.000,00	R\$ 3.315.000,00	R\$ 1.827.000,00

Fonte: O autor

Baseado nas informações contidas na Tabela 08 observa-se que a diferença entre os dois modelos de gerador de vapor, tem um valor de UM MILHÃO E OITOCENTOS E VINTE E SETE MIL REAIS.

Obs.: Nota-se que com a diferença de valores entre os dois modelos de geradores de vapor, é possível adquirir um gerador do Modelo A.

Porém, não é somente este indicador que se leva em consideração para aquisição do produto. O trabalho irá abordar outros indicadores considerados importantes para tal aquisição.

4.2 Dimensões dos Geradores de Vapor

Analisando os desenhos de implantação do gerador de vapor Modelo A e seus componentes, verificou-se que este modelo necessita de uma área de aproximadamente 200 m². Uma elevação máxima da unidade geradora de vapor, excluindo a chaminé de aproximadamente 8 m e para a construção da cobertura para abrigar a unidade, o pé direito é de 10m.

O mesmo se fez com os desenhos de implantação do gerador de vapor do Modelo B e seus componentes. Para este modelo verificou-se a necessidade de uma área de aproximadamente 450 m². Uma elevação máxima da unidade geradora de vapor, excluindo a chaminé de aproximadamente 13 m e para a construção da cobertura para abrigar a unidade, o pé direito é de 15m.

Obs.: Pé direito é uma expressão muito utilizada na área civil, indica altura do piso acabado até o teto.

A Tabela 09 mostra de forma mais clara os dados citados anteriormente.

Tabela 09 – Tabela Comparativa de Dimensões Entre os Modelos de Geradores de Vapor

Crítérios	Modelo A	Modelo B
Área Útil	200 m ²	450 m ²
Elevação Máxima	8 m	13 m
Pé Direito	10 m	15 m

Fonte: O autor

4.3 Custos para Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica é o resultado do produto da potência em quilowatt pelo tempo que o equipamento está em funcionamento dados em horas, conforme equação (2).

$$C = P \times t \quad (2)$$

Onde: C = Consumo de Energia Elétrica (kWh)

P = Potência (kW)

t = Tempo (horas)

A Tabela 10 indica o consumo de energia elétrica dos dois modelos de gerador de vapor, considerando que ambos estejam em pleno funcionamento durante uma hora.

Tabela 10 – Tabela Comparativa de Consumo de Energia Elétrica

Gerador de Vapor	Consumo de Energia Elétrica (kWh)
Modelo A	114.08
Modelo B	235.152

Fonte: O autor

Com os dados da tabela anterior é possível uma estimativa de gastos mensais com energia elétrica dos dois modelos de gerador de vapor, considerando dados da ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica.

Nos dados da tabela estão sendo considerado um valor médio nacional nos últimos meses do ano de 2010.

Como os geradores de vapor estudados são utilizados em indústrias, as tarifas consideradas estão em destaque na tabela e será utilizado o valor no Brasil e não nas regiões.

Na Tabela 11 observa-se que o valor da tarifa está em reais por megawatt hora (R\$/MWh), para efeito de análise, este valor será considerado em reais por quilowatt hora (R\$/kWh). Portanto o valor da tarifa será de aproximadamente de R\$ 0.24 kWh.

Tabela 11 – Tabela de Tarifas de Consumo de Energia Elétrica



Tarifas Médias por Classe de Consumo / Região (R\$/MWh)

Período: 2010

Nome Cubo	Data da Última Atualização
Fornecimento de Energia Elétrica	17/11/2010 22:03:26

Classe de Consumo/Região	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	292,00	286,97	291,84	307,01	288,96	296,53
Industrial	222,38	219,88	239,60	245,82	224,37	234,28
Comercial, Serviços e Outras	276,45	302,45	307,09	286,09	264,65	285,02
Rural	206,76	217,03	215,07	203,41	173,09	194,37
Poder Público	285,37	330,12	333,84	304,92	289,65	309,35
Iluminação Pública	157,98	177,44	169,14	166,79	149,58	165,34
Serviço Público	179,58	201,46	213,27	214,25	194,69	205,63
Consumo Próprio	306,96	322,12	316,27	295,47	335,30	306,26
Rural Aquicultor	239,08	188,81	200,52	200,00	79,47	179,74
Rural Irrigante	127,50	148,00	180,35	192,76	142,39	158,58
Totais por Região	254,01	262,43	276,31	275,46	244,01	265,19

Fonte: ANEEL.

Considera-se que os geradores e seus equipamentos estejam em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia.

Tabela 12 – Tabela Comparativa de Valor Mensal de Gastos com Energia Elétrica

Gerador de Vapor	Valor Mensal (R\$)
Modelo A	19.730,00
Modelo B	40.634,00
Diferença	20.904,00

Fonte: O autor

Baseado nos dados levantados, a Tabela 12 mostra os gastos com energia elétrica, que os dois modelos de gerador de vapor estão submetidos para o funcionamento.

4.4 Custos para Consumo de Combustível

Analisando a tabela 06 e tabela 07, criou-se a Tabela 13 que compara o consumo de combustível entre os modelos de geradores de vapor.

Tabela 13 – Tabela Comparativa de Consumo de Combustível

Gerador de Vapor	Consumo de Combustível
Modelo A	1607 Nm ³ /h
Modelo B	8771 kg/h

Fonte: O autor

O método utilizado para o levantamento de gastos com combustível é basicamente o mesmo utilizado para o de energia elétrica. Os dados informados na tabela anterior indicam o consumo de combustível dos dois modelos de gerador de vapor.

4.4.1 Custos para Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo A

Para o gerador de vapor Modelo A, utiliza como combustível o gás natural, conforme visto anteriormente. Os gastos com combustível serão considerados dados da Tabela 13, juntamente com a Tabela 14.

O preço utilizado do gás natural foi consultado com um cliente no qual utiliza um gerador de vapor Modelo A.

O fornecedor de gás natural, que será utilizado como referência para seguir com o desenvolvimento da análise será a COMGÁS, Companhia de Gás de São Paulo.

Considerando que o gerador esteja em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia, e com essas condições o consumo de combustível é de **1.157.040 Nm³/mês**.

Os valores utilizados para análise estão em destaque na tabela seguinte, considerando as características de consumo de combustível do gerador de vapor Modelo A.

Para cálculo do valor do consumo de combustível, a companhia fornecedora de gás natural, utiliza a seguinte equação (3)

$$I = F + (CM \times V) \quad (3)$$

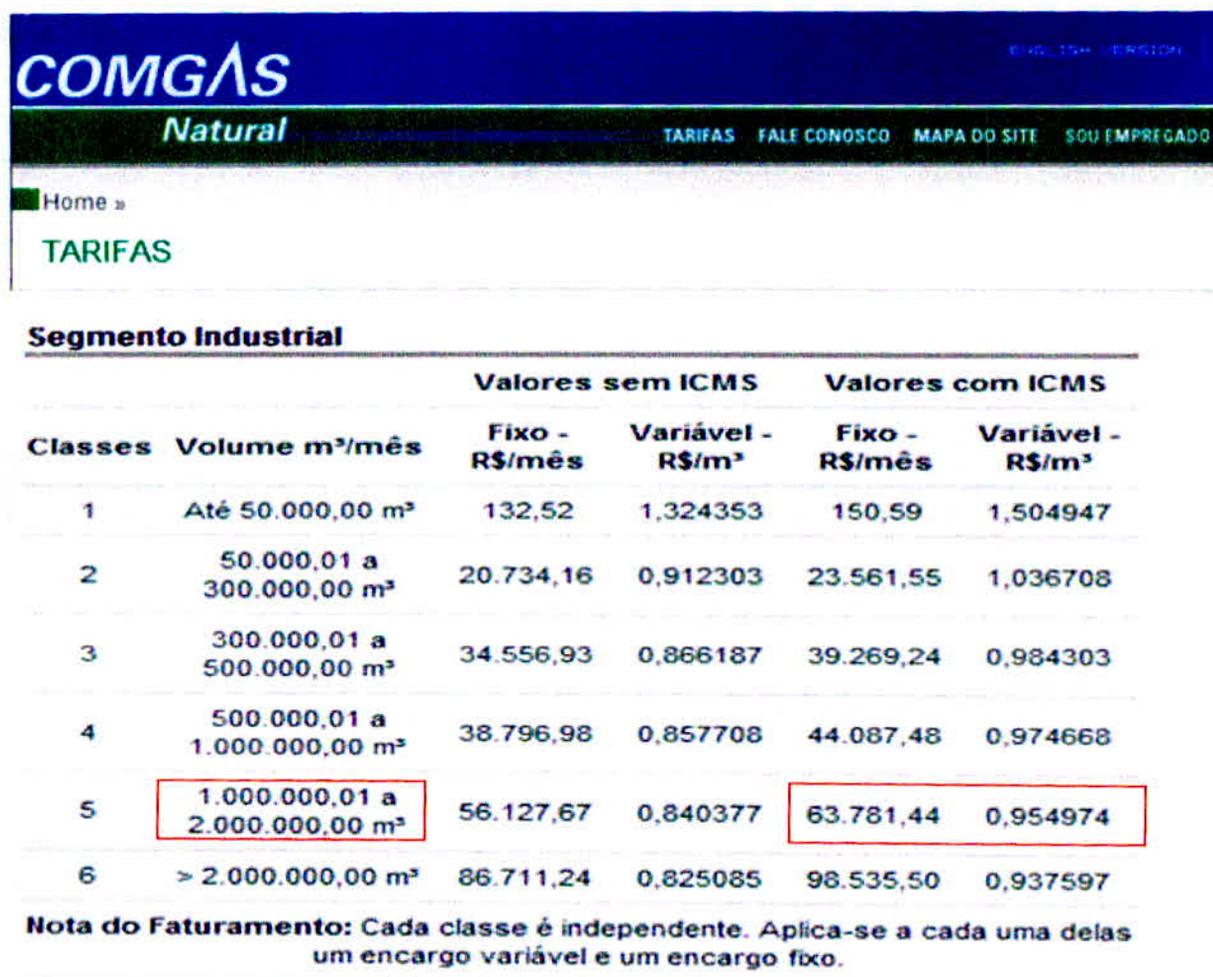
Onde: I = Valor do Consumo de Gás Natural (R\$/mês)

F = Valor do Encargo Fixo (R\$/mês)

CM = Consumo Mensal de Gás Natural (m³)

V = Valor do Encargo Variável (R\$/mês)

Tabela 14 – Tabela de Preços do Gás Natural na Indústria



COMGÁS Natural

TARIFAS FALE CONOSCO MAPA DO SITE SOU EMPREGADO

Home »

TARIFAS

Segmento Industrial

Classes	Volume m ³ /mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³
1	Até 50.000,00 m ³	132,52	1,324353	150,59	1,504947
2	50.000,01 a 300.000,00 m ³	20.734,16	0,912303	23.561,55	1,036708
3	300.000,01 a 500.000,00 m ³	34.556,93	0,866187	39.269,24	0,984303
4	500.000,01 a 1.000.000,00 m ³	38.796,98	0,857708	44.087,48	0,974668
5	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m ³	56.127,67	0,840377	63.781,44	0,954974
6	> 2.000.000,00 m ³	86.711,24	0,825085	98.535,50	0,937597

Nota do Faturamento: Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo.

Fonte: COMGÁS

Com os dados levantados e a aplicação na equação (3), obtém o resultado do gasto com gás natural, que o gerador de vapor está submetido para o funcionamento, que é de aproximadamente de **1.174.540,00 R\$/mês**.

4.4.2 Custos para Consumo de Combustível do Gerador de Vapor - Modelo B

Para a geração de vapor no Modelo B, utiliza como combustível cavaco de madeira, que é uma característica do modelo em questão. Através da Tabela 13 que informa o consumo de combustível do gerador de vapor, juntamente com a Tabela 15, pode ser levantado o gasto mensal com combustível.

A análise para este modelo de gerador será considerada a mesma para o gerador de vapor Modelo A.

Considerando que o gerador esteja em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia, e com essas condições o consumo de combustível é de **6.315.120 kg/mês**.

Tabela 15 – Tabela de Preços do Cavaco de Madeira no Brasil

INDICADORES

Preços de Madeira - Brasil

Preço Médio Exportações Brasileiras - Outubro/2009	US\$FOB/ton
44.01 - Cavaco / Serragem / Resíduos	81,3
44.02 - Carvão Vegetal	385,01
44.03 - Madeira em Bruto	394,31

Fonte: REMADE

Na Tabela 15 observa-se que o preço está em dólares por tonelada (US\$FOB/ton), considerando o valor para exportação. Para efeito de análise o valor convertido será de reais por quilograma, considerando o valor de US\$ 1,00 comercial, igual a R\$ 1,75. Logo o preço convertido que está em destaque na tabela será de aproximadamente R\$ 0,14/kg.

Com os dados levantados, pode-se estimar o gasto mensal de combustível para o gerador de vapor em questão, este sendo necessário para o funcionamento, onde o valor do gasto mensal com combustível é de aproximadamente **884.120,00 R\$/mês**.

4.4.3 Comparativo Entre Gastos com Combustível Entre os Geradores de Vapor

Tabela 16 – Tabela Comparativa de Valor Mensal de Gastos com Combustível

Gerador de Vapor	Valor Mensal (R\$)
Modelo A	1.174.540,00
Modelo B	884.120,00
Diferença	290.420,00

Fonte: O autor

Através dos dados levantados, a Tabela 16 mostra de forma clara os gastos com combustível, para que os dois modelos de gerador de vapor atendam suas características de funcionamento.

4.5 Resultado Final

A partir dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho, foram observados vários indicadores que irão influenciar na escolha dos modelos dos produtos estudados.

Para tais indicadores a Tabela 17 informa o resultado final para comparação entre os dois modelos de gerador de vapor estudados.

Tabela 17 – Tabela de Valores Finais

	Modelo A	Modelo B
Aquisição do Produto	R\$ 1.488.000,00	R\$ 3.315.000,00
Mão de obra	R\$ 1.200,00	R\$ 1.900,00
Consumo de Energia Elétrica	R\$ 19.730,00	R\$ 40.634,00
Consumo de Combustível	R\$ 1.174.540,00	R\$ 884.120,00
Gastos Mensais	R\$ 1.195.470,00	R\$ 926.654,00

Fonte: O autor

Para mão de obra está sendo considerado que o Modelo A, necessita a contratação de somente um operador, já o Modelo B além do operador há a necessidade da contratação de um ajudante.

Os resultados obtidos deixam claro que o gasto mensal com o Modelo A é mais alto que o gasto com o Modelo B, onde se percebe que o maior agravante nos resultados é o gasto com consumo de combustível.

Conforme Figura 15 pode ter uma ideia porque o combustível (gás natural) utilizado no Modelo A, tem o valor mais alto que o combustível (cavaco de madeira) utilizado no Modelo B.

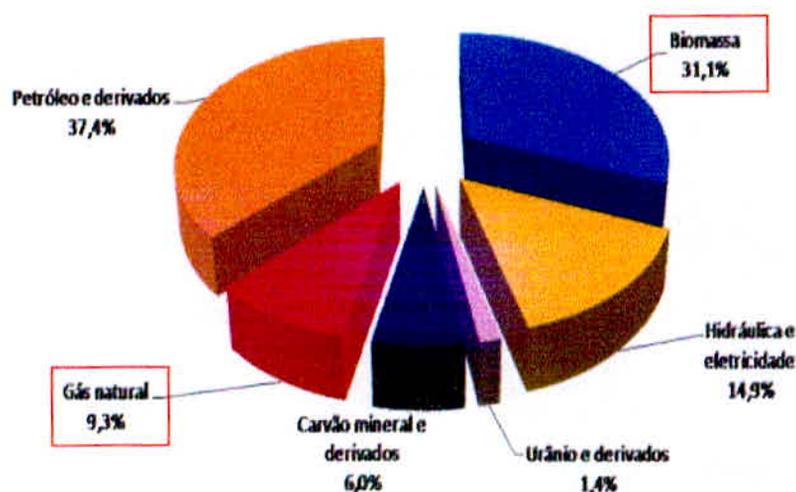


Figura 15: Matriz Energética no Brasil.
Fonte: Ministério de Minas e Energia/BIGMA Consultoria

Observa-se que a disponibilidade de gás natural no Brasil é inferior ao de cavaco de madeira ou biomassa.

Considerando os resultados obtidos se observou que a diferença de gastos mensais entre os modelos estudados, é de **R\$ 268.816,00**.

Esta diferença pagaria o investimento do Modelo B em aproximadamente 12 meses.

O gerador de vapor Modelo A é um equipamento com valor menor, mais seguro, com dimensões menores, consome menos energia elétrica, pois não necessita de muitos equipamentos elétricos e tem como características ser um equipamento todo automatizado.

Já o gerador de vapor Modelo B tem um valor de aquisição mais alto, necessita de um local maior para instalação do equipamento, devido suas dimensões, consome mais energia elétrica pela quantidade de equipamentos elétricos. Há a possibilidade de queima de combustíveis gasosos e líquidos, pois possibilita a instalação do queimador.

CONCLUSÃO

Ao término do trabalho pode-se dizer que os resultados foram inesperados, pois a princípio apresentava uma ideia de que o gerador de vapor com fornalha interna seria a opção mais viável financeiramente, por apresentar características plausíveis como: dimensões, custo do produto, manutenção mais simples, consumo de energia elétrica e consumo de combustível baixo, já o gerador com fornalha externa apresenta características opostas.

Após os dados levantados com gastos mensais observou-se o contrário das expectativas, pois o valor financeiro que o gerador de vapor com fornalha interna gasta mensalmente é superior ao o gerador de vapor com fornalha externa.

Porém muitos aspectos são levados em consideração, por exemplo:

- ✓ Se o produto escolhido atende as necessidades;
- ✓ Se a região onde a unidade está locada possui combustível necessário para suprir o funcionamento do equipamento.

Para uma melhor análise de investimento seria necessário um conhecimento a fundo de economia de investimento, pois vários métodos poderão auxiliar na aquisição do produto, ou em uma melhoria na unidade, esses métodos poderiam ser:

- ✓ Método da Taxa Interna de Retorno;
- ✓ Método do Valor Presente Líquido;
- ✓ Método do Prazo de Retorno;
- ✓ Método do Índice de Lucratividade.

Os dados levantados neste trabalho são técnicos e com alguns econômicos, com base nesses pode-se ter uma melhor pesquisa de viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

BIZZO, Prof. Waldir A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. 2003 (Apostila de curso da faculdade de engenharia mecânica, UNICAMP).

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 9. ed. São Paulo. Atlas, 2000.

GUEDES, Luis Carlos Vieira. **Geração e distribuição de vapor**. 2010 (Apostila de curso da faculdade de engenharia mecânica, UNIS-MG).

HISTÓRIA e aplicação do vapor. Disponível em:

<http://www.geracaovapor.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=29>. Acesso em: 19 de junho 2010.

INFORMAÇÕES dos Produtos. Disponível em: <<http://www.steammaster.com.br>>. Acesso em: 19 de junho de 2010.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2010.

MATRIZ energética do Brasil. Disponível em:

<<http://www.bigma.com.br/artigos.asp?id=29>>. Acesso em: 19 de novembro de 2010.

NR-13-Caldeiras e vasos de pressão. In: **SEGURANÇA e medicina do trabalho**. 53. ed. São Paulo: Atlas, 2003. p. 116-131.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor: um compêndio sobre a conversão da energia com vistas à preservação ecológica**. 2. ed. São Paulo: Fama, 1990.

PERAGALLO TORREIRA, Raul. **Geradores de vapor**. São Paulo. Libris, 1995.

PERAGALLO TORREIRA, Raul. **Fluidos Térmicos**. Curitiba. Hemus, 2002.

PREÇO do cavaco de madeira. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/indicadores.php?num=13&pais=Brasil&title=Preços de Madeira>. Acesso em: 10 de novembro 2010.

SOUZA, Gleicione Aparecida Dias Bagne. **Manual de normalização:** Trabalhos acadêmicos. 5. ed. Varginha. UNIS, 2010.

TARIFA do gás natural. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/tarifas.asp>>. Acesso em: 09 de novembro 2010.