

FUNDAÇÃO E ESTRUTURA DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS: Normas e dimensionamento

Elias Corrêa Barbosa^{1*}

Geisla Aparecida Maia Gomes Gaspar

RESUMO

Este trabalho descreve um estudo técnico de dimensionamento de fundação e estrutura para máquinas industriais, levando em consideração vibrações e técnicas construtivas. Esse dimensionamento se faz necessário devido à grande evolução das indústrias, cada vez mais são solicitados profissionais que cultuam métodos mais assertivos, enxutos e seguros em seus projetos. Levando em consideração esses méritos este artigo busca instruir padrões para o dimensionamento de fundação dessas máquinas, utilizando métodos que garantam uma confiabilidade na sua capacidade de suportar a carga requerida e ao mesmo tempo garantir uma redução de custo em sua execução. Este propósito será conseguido mediante estudo de NBR, e normas da PETROBRAS. O estudo esclareceu que a fundação estudada conseguirá atender a solicitações de cargas do equipamento em análise.

Palavras-chave: Estruturas. Fundação. Máquinas industriais.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um estudo técnico de dimensionamento de fundações para máquinas industriais, levando em consideração vibrações e técnicas construtivas.

Tal abordagem se faz necessária devido à grande evolução das indústrias, cada vez mais é solicitado profissionais que cultuam uma didática mais assertiva, enxuta e segura em seus projetos.

^{1*} Graduado em Engenharia Mecânica, graduando em Engenharia Civil e Pós Graduado em Gestão Estratégica de Projetos com Base no PMI pelo Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS.
elias.correa.barbosa@hotmail.com.

O objetivo deste estudo é uma verificação técnica no dimensionamento de uma estrutura de máquinas industriais utilizando as normas vigentes da NBR e Petrobras e através de um software de estrutura de concreto armado realizar os cálculos. Será proposto o dimensionamento de uma estrutura de caldeira utilizando normas que garantam uma confiabilidade na estrutura de suportar a carga requerida e ao mesmo tempo garantir uma redução de custo em sua execução.

Este propósito foi conquistado mediante consulta a pesquisas literárias sobre dimensionamento de fundações, estruturas e vibrações, foram consultadas normas brasileiras e internacionais buscando informações e parâmetro que podemos utilizar para o dimensionamento de uma fundação.

2 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAR UMA ESTRUTURA CONFORME N-1848A

Uma estrutura deve ser dimensionada de acordo com as normas vigentes no país. Para a estrutura de máquinas industriais, uma norma que pode ser seguida é a norma N-1848A / DEZ - 85 da PETROBRAS que aborda o tema PROJETO DE FUNDAÇÕES DE MÁQUINAS e fixa os procedimentos mínimos a serem considerados no projeto de fundações de máquinas estacionárias. Esta norma se aplica para projeto de fundações de máquinas rotativas e alternativas, sujeitas à cargas vibratórias. Também poderá ser seguido a norma N-1959A / AGO - 97 que aborda o tema APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO que fixa as condições exigíveis para a apresentação de projetos de estruturas em concreto armado, esta norma não se aplica a projetos de estruturas no mar (“off shore”).

Através destes procedimentos e demais normas que são indicadas pela PETROBRAS, será possível o dimensionamento da estrutura utilizando métodos que levem em consideração as cargas derivadas de vibrações, calor, impactos e peso próprio, garantindo uma estrutura livre de problemas como rompimento, fadiga, flambagem e demais problemas decorrentes de um mal dimensionamento.

2.1. Influência térmica no concreto

Os efeitos da temperatura no concreto pode ter sua origem tanto interna quanto externa a estrutura. Do ponto de vista interno, o calor proveniente da hidratação dos aglomerados quando o concreto se encontra no estado fresco é uma das fontes que causam variações volumétricas na estrutura desde o seu estágio inicial de cura até a idade mais avançada quando ocorre o equilíbrio térmico com o ambiente. Para os efeitos externos, as condições climáticas como frio e calor junto com a umidade do ar e ação do vento são os fatores que geram ou potencializam as patologias nas primeiras idades do concreto (BOTASSI, 2019).

Esses fatores térmicos são portanto causadores de manifestações patológicas de grandes estruturas de concreto como pilares e vigas , mas com a quantidade de aglomerante suficiente para gerar calor ao ponto de causar retração térmica associada ao processo de retração hidráulica e autógena (BOTASSI, 2019)

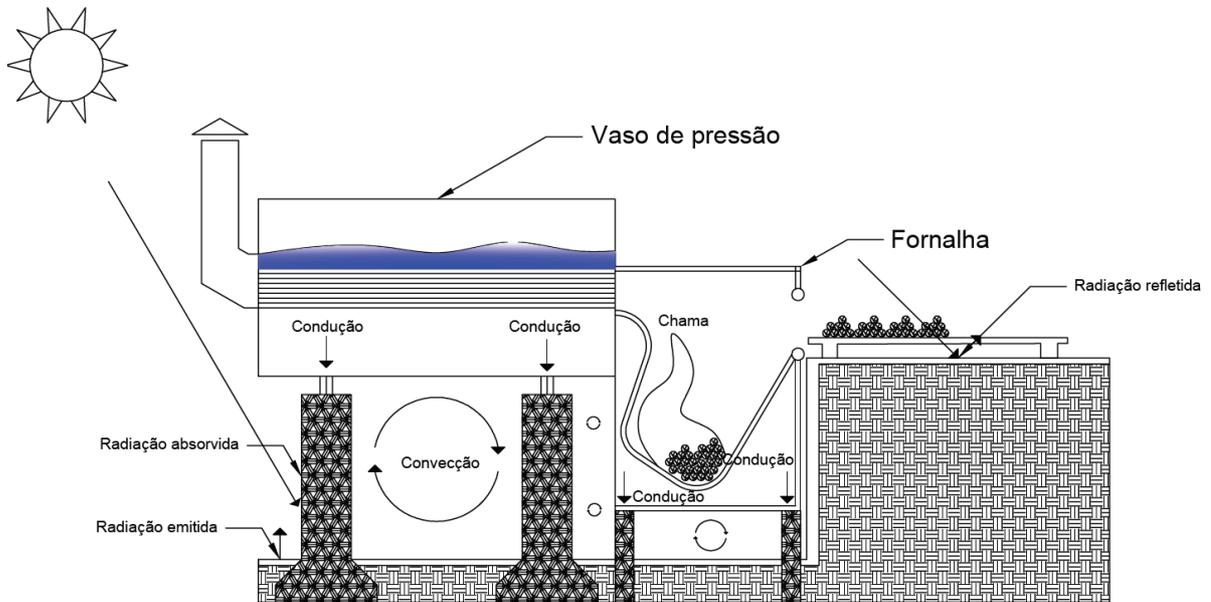
O estudo do risco de fissuração das estruturas de concreto armado é fundamental para garantir um desempenho adequado desde as primeiras idades até ao final da vida útil da construção. Contudo são complexos e bastante diversos os fenômenos que ocorrem ou são produzidos no concreto nessas idades (BOTASSI, 2019).

2.2 Princípios físicos do fenômeno térmico

Para resolução do problema térmico em uma estrutura de concreto deve haver transferência ou fluxo térmico, deve existir uma diferença de temperatura entre dois meios no mesmo corpo, criando um gradiente de temperatura (energia) que com o passar do tempo tende a equilibrar-se atingindo o equilíbrio térmico (BOTASSI, 2019).

O sistema está submetido a todo intercâmbio energético com o entorno que circunda e há uma interação de energia calorífica através das superfícies externas do sistema ou corpo ao seu entorno (Figura 01).

Figura 01 - Principais mecanismos de calor em uma estrutura



Fonte: O autor, 2020.

2.3 Transmissão de calor por convecção

Chama-se convecção o processo de transmissão de energia calorífica por intermédio de um fluido. Os movimentos que fazem referência geralmente designados correntes dos fluidos (BOTASSI, 2019).

Se o fluido tem um movimento devido, unicamente, às diferenças de suas densidades, geradas pela diferença de temperatura, a convecção diz ser natural. Quando o fluido se movimentar devido a causas exteriores, independente do fenômeno térmico a convecção se diz forçada. A convecção forçada ocorre sempre quando correntes de ar vindas de ventos ou máquinas atuam sobre a superfície (BOTASSI, 2019).

Esses fatores variam de formas aleatórias, dependendo de onde a estrutura está localizada evidenciando a complexidade de se avaliar analiticamente esse mecanismo de transmissão de calor. Newton avaliou este tipo de propagação de calor pela unidade de tempo Q criando a equação 1.1, baseada na fórmula de Fourier, a qual é conhecida como a *Lei de Resfriamento de Newton*.

Equação 1.1

$$Q = hc.A.(T_s - T_f)$$

hc : Condutância térmica convectiva térmica unitária, ou coeficiente de transmissão de calor por convecção na interface do fluido-sólido;

A : Área superficial de contato com o fluido;

T_s : Temperatura de superfície;

T_f : Temperatura do fluido perturbado distante da superfície A ;

Quando se divide o Q_c por A é possível obter o fluxo de calor transferido por convecção q_c . Geralmente se recorre a relações simplificadas de caráter empírico (tabela 2) para determinar o coeficiente de convecção, dependendo da velocidade do vento. Através da (tabela 1) possível encontrar o coeficiente de transmissão superficial para os casos mais comuns (PAULON, 1987).

Tabela 1 Coeficiente de transmissão superficial de acordo com a interação

Tipos de interação	Coeficiente de transmissão superficial (Kcal/m ² .h.°C)
Concreto-ar	11,6
Concreto-água de cura	300
Concreto-madeira-ar	2,6
Concreto-metal-ar	11,6
Concreto-isolante-ar	2

Fonte: (PAULON, 1987)

Tabela 2 Fórmulas empíricas para calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção (ar-superfície)

Autores	Coeficiente de convecção		
	ZICHNER (1982)	$hc=3,95.V_v+5,58$	
CEB(1985)	$hc=4,0.V_v+5,60$	para $V_v \leq 5$	W/m ² .°C
	$hc=7,15.V_v^{0,78}$	para $V_v > 5$	W/m ² .°C
KEHLBECK	$hc=3,83.V_v+4,67$	1	W/m ² .°C

(1975)	$hc=3,83.Vv+3,67$	2	W/m ² .°C
	$hc=3,83.Vv+2,17$	3	W/m ² .°C
	$hc=3,50$	4	W/m ² .°C
KORNFELD (1936)	$hc=3,6.Vv+5,3$	para $Vv \leq 5$	(Kcal/m ² .h.°C)
	$hc=6,47.Vv^{0,78}$	para $Vv > 5$	(Kcal/m ² .h.°C)

Fonte: (CALMON, 1995)

2.4 Transmissão de Calor por Radiação

É chamado de radiação térmica o processo de emissão por um corpo de energia radiante, cuja qualidade e quantidade dependem da temperatura do corpo.

Em análise, o concreto, assim como outras estruturas expostas ao ambiente durante horas diurnas, recebe um ganho de energia calorífica. Tal fenômeno é uma resultante da radiação solar incidente sobre as superfícies absorvendo parte desta energia.

A transmissão de calor por radiação não depende do meio material para propagar, a radiação fornecida pelo um corpo pelo resultado de sua temperatura se avalia pela aplicação da lei de radiação de Stefan-Boltzmann (Equação 1.2) a partir da qual conseguimos obter a quantidade de energia radiante por uma unidade de área a temperatura absoluta T_{abs} .

Equação 1.2

$$Em = Ff.e.C_{abs}.T_{abs}^4$$

C_{abs} - Constante de Stefan-Boltzmann

Ff - Fator de forma

e - Emissividade

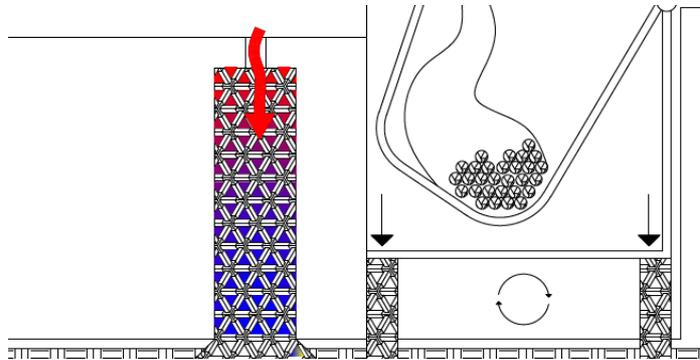
T - Temperatura da emissividade

2.5 Transmissão de calor por condução

O processo de transmissão de calor através de um meio, sem movimento interno de massa e sem intervenção da radiação chama-se condução de calor. É o processo de transmissão de calor característico dos corpos sólidos.

Entretanto, segundo o autor Calmon (1995), o calor transferido unicamente por condução é muito pequeno e difícil de quantificar em superfícies em contato com fluidos como ar e água, desse modo é bastante usual admitir que a transferência de calor por convecção ou condução seja analisada conjuntamente, assumindo um único coeficiente de transferência de calor (Figura 02).

Figura 02 - Condução térmica



Fonte: O autor, 2020.

2.6 Análise dinâmica

As décadas passadas foram marcadas com o desenvolvimento de diversas tecnologias em diversos ramos da engenharia. Os conhecimentos fundamentais para análise e dimensionamento de fundações de máquinas também evoluíram e procedimentos técnicos passaram a ocupar o lugar dos métodos empíricos que abrange principalmente os conceitos mecânica dos solos, dinâmica e parâmetros de solos. O dimensionamento adequado da fundação afeta diretamente o bom funcionamento de uma máquina segundo os critérios estabelecidos para garantir o bom funcionamento do equipamento. (BATHIA - 2008).

Para entender o comportamento dinâmico das fundações de máquinas, é necessário o conhecimento da teoria de vibrações.

2.7 Critérios para dimensionamento de fundação

De acordo com a norma N-1848A / Dez - 85 da PETROBRAS, existem critérios a serem seguidos para dimensionar uma fundação para máquinas, esta fixa os procedimentos mínimos a serem observados no projeto de fundações de máquinas estacionárias. Esta Norma se aplica para projeto de fundações de máquinas rotativas e alternativas, sujeitas à cargas vibratórias.

Para o desenvolvimento do projeto, a norma N-1848A nos direciona para demais normas, no qual cita normas que são usuais em estruturas convencionais como NBR-6122 que aborda o tema Projeto e Execução de Fundações.

Através da norma de fundações da PETROBRAS, é possível obter diretrizes de dados básicos para a elaboração de um projeto conforme itens abaixo:

- Parâmetros do solo
 - (a) posição e natureza das camadas;
 - (b) cota máxima do nível d'água;
 - (c) resistência à penetração, definida pelo ensaio SPT;
 - (d) peso específico (d)
 - (e) módulo de elasticidade transversal (G);
 - (f) coeficiente de Poisson (g)

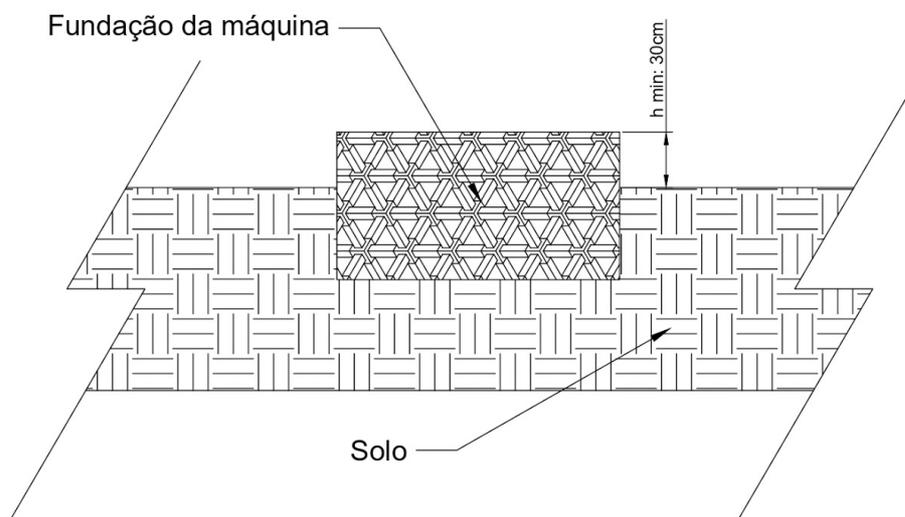
- Parâmetros do Equipamento - O desenho de fabricação do equipamento deve conter as seguintes informações:
 - (a) desenho dimensional do equipamento contendo:
 - 1 - dimensões do chassi;
 - 2 - dimensões principais do equipamento;
 - 3 - posição do centro de gravidade do conjunto ou das partes componentes;
 - (b) peso do conjunto ou dos elementos componentes do conjunto;
 - (c) frequências operacionais dos elementos componentes do conjunto;
 - (d) cargas dinâmicas (forças centrífugas, forças de inércia das massas recíprocas e momentos);
 - (e) frequências críticas de operação da máquina (f_c);
 - (f) amplitudes máximas permissíveis de vibração;
 - (g) momento de curto-circuito (para motores elétricos ou geradores).

A norma também aborda as condições gerais do projeto onde se deve atender às condições estabelecidas nas normas N-1784 e NBR-6122.

As fundações das máquinas devem ser desvinculadas das estruturas e fundações vizinhas. Caso não seja possível, cuidados especiais devem ser tomados para evitar

transmissão de vibrações a essas estruturas. Para fundações vizinhas de mesma característica a cota de assentamento da fundação vibrante deve estar afastada e abaixo da não vibrante obedecendo, no mínimo, a relação de 1:3 (vertical/horizontal) e o topo do bloco da fundação deve ficar, no mínimo, 30 centímetros acima da cota do piso acabado (Figura 03).

Figura 03 - Altura mínima da face do bloco e o piso



Fonte: O autor, 2020.

A análise de vibrações deve ser feita, considerando o solo como corpo elástico com as características de módulo de elasticidade transversal (G), coeficiente de Poisson (ν) e o peso específico do solo (d). A massa de solo que participa da vibração deve ser desprezada na determinação da frequência natural (f_n) do sistema solo-fundação.

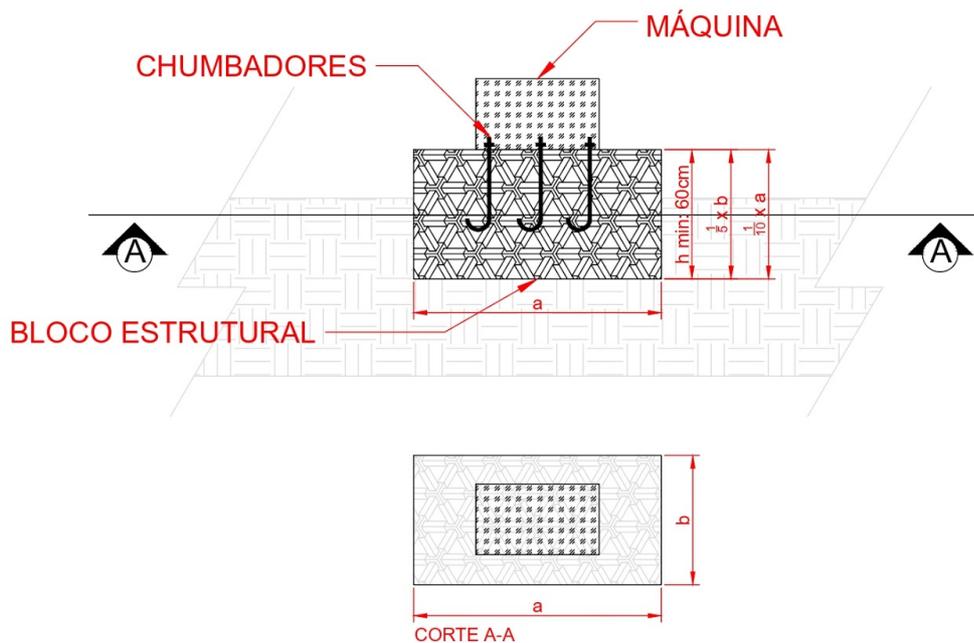
No caso de fundação do tipo direta, a cota de assentamento da mesma deve estar situada, no mínimo, a $1/4$ do valor da largura da fundação acima do nível d'água máximo.

Para estimativa preliminar das dimensões da base os centros de gravidade da máquina e do bloco da fundação não devem estar defasados de mais de 5% (cinco por cento) das dimensões da base para cada direção.

Para fundações diretas de máquinas rotativas, o peso da fundação deve ser maior ou igual a três vezes o peso da máquina, para máquinas alternativas o peso da fundação deve ser maior ou igual a cinco vezes o peso da máquina. A altura do bloco da fundação não deve ser menor que 60 centímetros ou aquela definida pelo comprimento do chumbador ou altura do bloco da fundação não deve ser menor que $1/5$ da menor dimensão ou $1/10$ da maior dimensão do bloco (Figura 04). Também para o dimensionamento correto da área do bloco em

contado com o solo a pressão máxima exercida sobre o terreno pelo carregamento estático não deve ultrapassar a metade da tensão admissível do solo à compressão.

Figura 04 - Altura mínima do bloco segundo a norma N-1848A



Fonte: O autor, 2020.

Para fundações profundas o peso do bloco de coroamento deve ser maior ou igual a 2,5 vezes o peso da máquina rotativa ou 4 vezes o peso da máquina alternativa, as dimensões do bloco devem atender ao critérios citados anteriormente.

Para realizar a análise dinâmica devem ser calculadas as frequências naturais (f_n) do conjunto máquina/fundação nos diversos modos de vibração atuantes. A frequência natural (f_n) do conjunto deve ser comparada com as frequências de operação (f_o), obedecendo às seguintes relações:

- $f_n \leq 0,7 f_o$
- $f_n \geq 1,3 f_o$

As amplitudes máximas, calculadas na frequência de operação, não devem ultrapassar os limites do fabricante e devem atender ao critério estabelecido abaixo:

- Máquinas Rotativas - Devem ser obedecidas as condições estabelecidas na ISO 2372.
- Máquinas Alternativas - A velocidade máxima de vibração deve ser de 3,5mm/s-RMS (Root Mean Square) para máquinas com frequência de operação acima de 600 R.P.M. Para máquinas com frequência de operação abaixo de 600 RPM o deslocamento

máximo permitido deve ser de 150 *m*m de dupla amplitude (pico a pico) ou 75 *m*m de amplitude simples.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar essa pesquisa foi utilizado diversas fontes como livros, periódicos, revistas especializadas, artigos acadêmicos e monografias. Na pesquisa de documentos foram utilizados normas como NBR, PETROBRAS, DIN, E ISO.

O artigo consiste em uma revisão bibliográfica da literatura de análise de normas existentes no Brasil aplicando-as em um projeto de fundação para Caldeiras industriais. Também realizou-se um estudo das literaturas sobre dimensionamento de fundações e vibrações, onde foram consultadas as normas buscando informações e parâmetro que podemos utilizar para o dimensionamento de uma fundação e estrutura, por fim fizemos um projeto estrutural de uma caldeira.

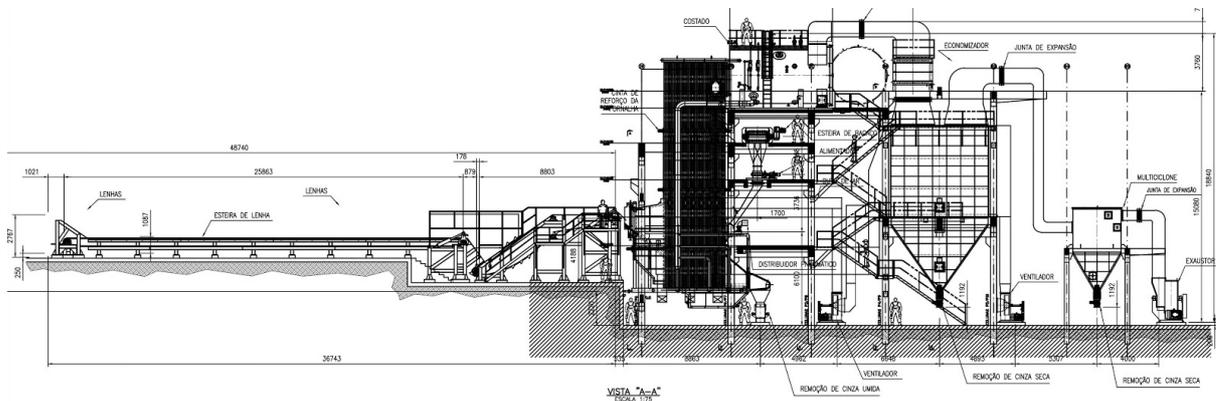
Para realizar essa pesquisa foi utilizado diversas fontes como livros, periódicos, revistas especializadas, artigos acadêmicos e monografias. Na pesquisa de documentos foram utilizados normas como NBR, PETROBRAS, DIN, E ISO. Com essas informações em mãos foi possível fazer uma análise mais criteriosa definindo assim os cuidados a ser tomados no dimensionamento da estrutura.

3.1 Dimensionamento da estrutura e fundação

Para o dimensionamento da estrutura, foram utilizados Softwares específicos para cálculo de concreto armado e desenho. Para os cálculos e questão será utilizado o CypeCad e para a elaboração dos desenhos será utilizado o Autocad.

O projeto da estrutura e fundação será feito para um caldeira Steammaster modelo VMFI 30000 Kg/h conforme figura 05 abaixo:

Figura 05 - Caldeira VMFI 30000 Montada



Fonte: Steammaster, 2020.

Os dados fornecidos pela empresa Steammaster foram as dimensões que são 75 metros de comprimento, 10,5 metros de largura e altura de 20 metros, plano de carga tem uma totalidade de 300 000 Kg distribuído em vários apoios, temperaturas internas de 1100°C na fornalha e 280°C no costado, as temperaturas externas tem em média 50°C e planta de localização do conjunto onde foi possível verificar a localização da caldeira na planta da empresa de instalação da caldeira.

Com esses dados em mãos foi possível fazer uma análise mais criteriosa definindo assim os cuidados a ser tomados no dimensionamento da estrutura.

Figura 06 - Planta de localização da caldeira VMFI 30000.



Fonte: Steammaster, 2020.

Após análise destas informações, foi possível verificar os cuidados a serem tomados no cálculo estrutural. Foi possível verificar no desenho de conjunto da máquina que o corpo da caldeira não sofre com vibrações excessivas e impactos, uma vez que todos os seus exaustores e insufladores são separados da caldeira, com isso a vibração gerada por esses motores não irão interferir diretamente na estrutura e fundação do corpo da caldeira.

Analisando a parte térmica da estrutura, pudemos observar que não irá ter alta incidência de calor nas superfícies do concreto, pois a caldeira conta com um isolamento duplo de alta eficiência.

Com todas essas informações foi possível dar início ao projeto no qual foi considerado uma estrutura de concreto armado utilizando como parâmetro a NBR 6118, NBR-6122 e demais normas convencionais para cálculo de estruturas de concreto armado. Para o cálculo das fundações das máquinas rotativas, foi utilizado as normas da PETROBRAS como: N-0143B, N-1848A e N-1959A.

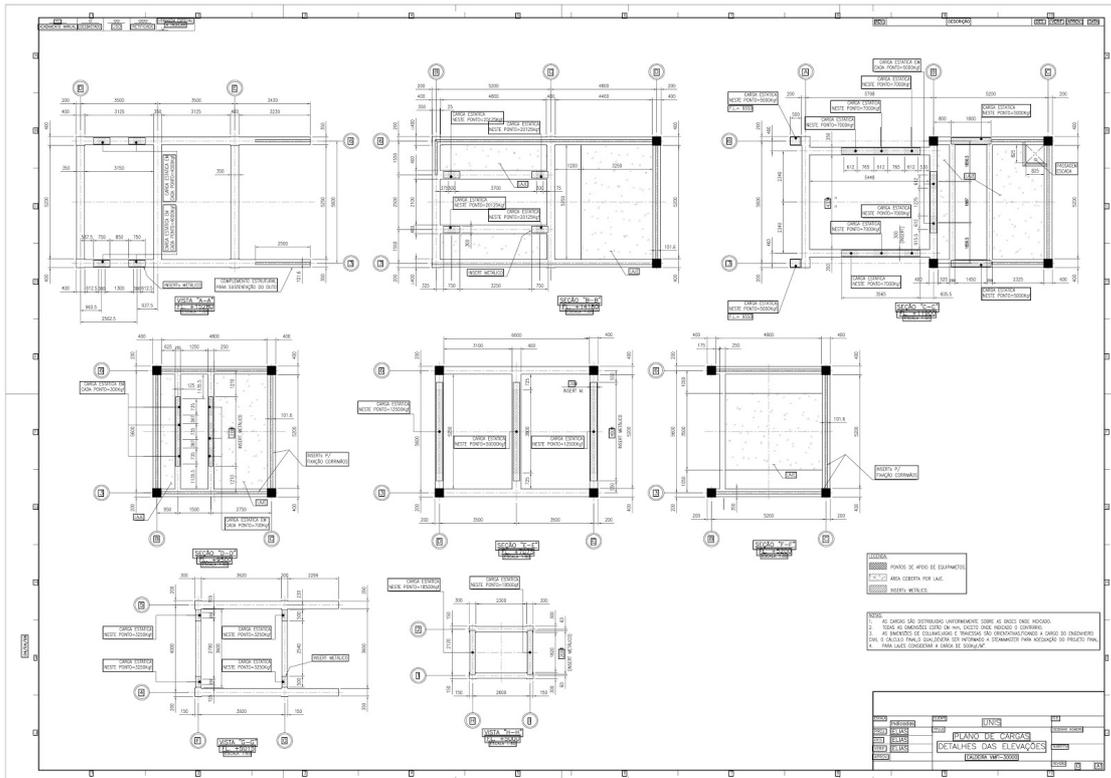
4 RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos através das pesquisas realizadas e do projeto da estrutura da caldeira foi considerado satisfatório.

A revisão das normas da Petrobras foi bem esclarecedoras, com uma metodologia direta e eficaz, com isso foi possível obter resultados surpreendentes com bastante detalhes na estrutura e fundação.

Após estar com as diretrizes da NBR e PETROBRAS, partimos para a análise de carga que a caldeira exerce sobre a estrutura. Este plano de carga foi bem detalhado e tivemos o auxílio da empresa fabricante do equipamento (STEAMMASTER), em contato com os engenheiros desenvolvedores da caldeira, foi passado o peso de todas as partes da máquina bem como também a temperatura de trabalho e frequência de trabalho dos motores (Figura 07).

Figura 07 - Planta de plano de carga da caldeira VMFI 30000.

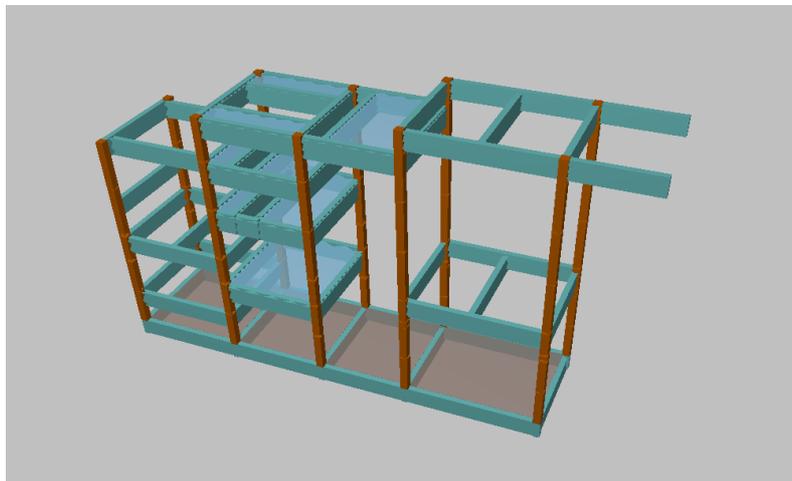


Fonte: O Autor, 2020.

Com o plano de carga finalizado, foi feito com o auxílio do AutoCAD um projeto da planta baixa da caldeira e transferido para o Software CypeCAD, onde foram feitas as configurações de níveis e norma para seguir no dimensionamento das estruturas e fundações.

Após as configurações iniciais dos parâmetros do software, foi importado o arquivo .dwg gerado pelo AutoCAD que criou as diretrizes dimensionais para dar início na introdução dos pilares e vigas (Figura 07).

Figura 07 - Estrutura 3D da caldeira VMFI 30000.



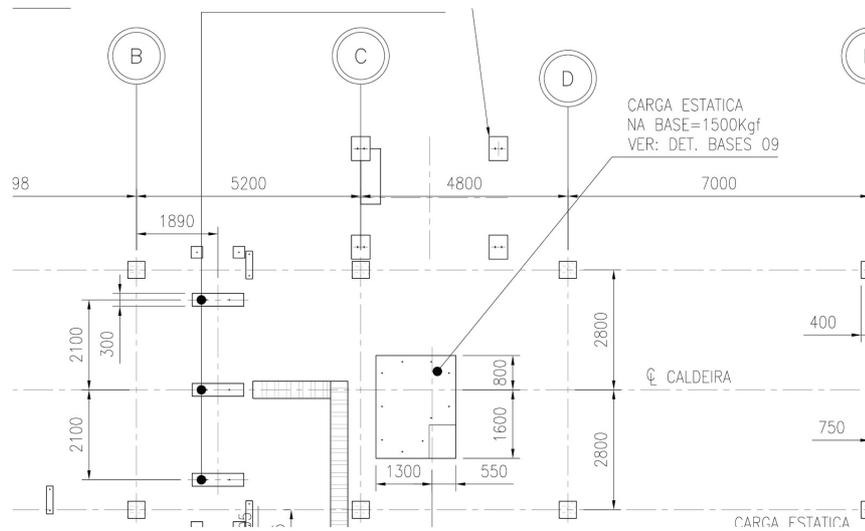
Fonte: O Autor, 2020.

Com a introdução dos pilares e vigas, foi possível verificar através da visualização 3D a estrutura como um todo. Foi verificado se as vigas e pilares estavam posicionadas de acordo com as orientações do fabricante e só após esta análise foi possível colocar as cargas pontuais e distribuídas que a caldeira exerce sobre a estrutura.

Após inclusão das cargas partimos para o cálculo estrutural. Para este projeto foi calculada toda a estrutura da fornalha, costado, economizador da caldeira. Também foram dimensionadas as sapatas que através de consultas a norma da petrobras obtivemos a informação que poderia ser feito o dimensionamento utilizado a NBR 6122:2019, pois a caldeira em si não produz vibração suficiente para comprometer as sapatas(os projetos estão no anexo I).

Já na fundação dos ventiladores e bombas d'água, foi seguida a norma da petrobras, uma vez que esses equipamentos produzem vibrações que podem comprometer o bloco estrutural que sustenta o mesmo (Figura 08).

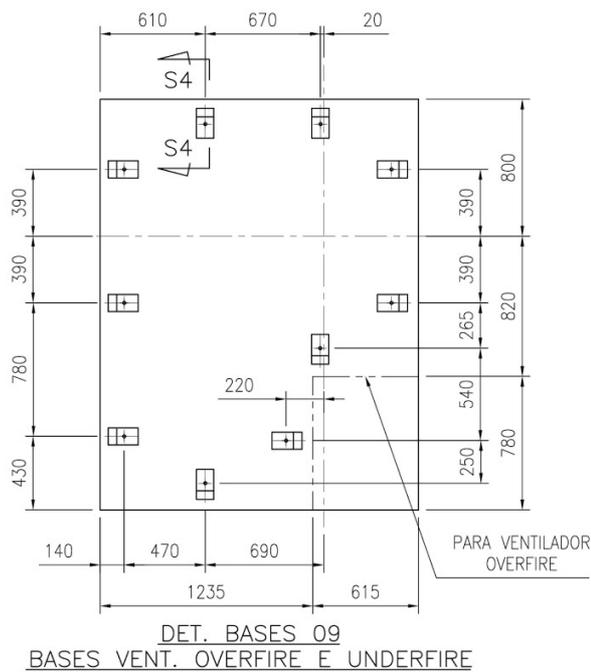
Figura 08 - Localização da sapata dos exaustores.



Fonte: O Autor, 2020.

Com a localização da sapata, tipo da máquina e o seu peso, foi possível realizar o dimensionamento do seu bloco estrutural de acordo com a norma N-1848A, onde foram dadas as diretrizes de altura do bloco, área de contato com o solo e peso mínimo do bloco para a máquina analisada (Figura 09).

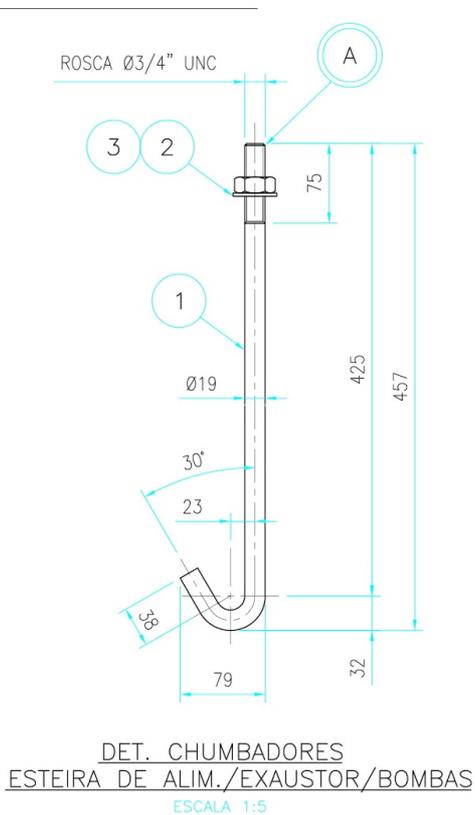
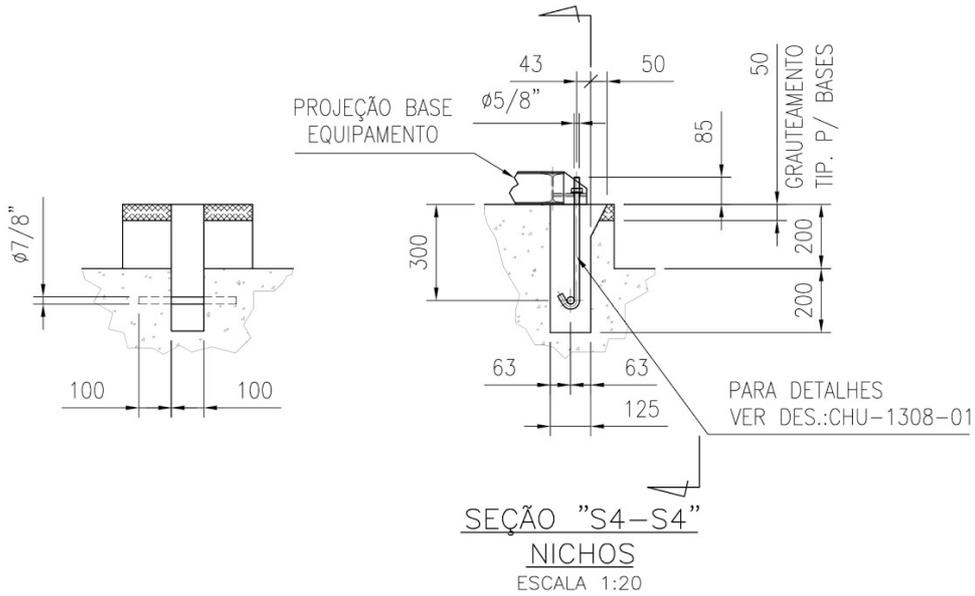
Figura 09 - Detalhe dimensional do bloco .



Fonte: O Autor, 2020.

Para fixação dos ventiladores, foi utilizada a norma N-0143B que normatiza os chumbadores para concreto. Os chumbadores foram dimensionados para suportar as vibrações e cargas atuantes sobre o bloco (Figura 10).

Figura 10 - Detalhe dimensional dos chumbadores .



Fonte: O Autor, 2020.

5 CONCLUSÃO

Pelo apresentado entende-se que os objetivos do trabalho foram atingidos, foi observado que o projeto atendeu as necessidades de sustentação do equipamento, uma vez que todo cálculo do concreto armado passou nas solicitações.

O estudo de normas que estabelecem padrões é essencial para que possamos ter diretrizes cada vez mais assertivas em tarefas como a apresentada. Um equipamento de extremo valor que pode em sua maioria das vezes no Brasil atingir patamares de valores entre R\$ 12 000 000,00 a R\$ 70 000 000,00 deve ser manuseado com a maior cautela possível, desde o desenvolvimento do projeto da estrutura até a sua execução em campo.

A estrutura de concreto armado apresentou mais vantagens em relação às estruturas de concreto protendido e estrutura metálica, pois na região onde a caldeira será instalada por se tratar de uma área rural, a mão de obra qualificada e meios de transportes dificulta as outras modalidades. Por outro lado caso não tivéssemos estes dois fatores com as outras estruturas iríamos obter um controle maior em relação a fissuração do concreto no caso do concreto protendido e mais agilidade na opção com estrutura metálica.

Devido à complexidade e fragilidade de um equipamento deste porte, se faz necessário cada dia mais que os profissionais habilitados para exercer a função de projetista de estruturas busque se atualizar de normas e tecnologias que aprimorem a sua qualidade em realizar projetos complexos e minuciosos.

FOUNDATION AND STRUCTURE OF INDUSTRIAL MACHINES: Boilers

ABSTRACT

This work describes a technical study of the design of the foundation and structure for industrial machines, taking into account vibrations and construction techniques. This dimensioning is necessary due to the great evolution of the industries, more and more professionals are asked to worship a more assertive, lean and safe didactics in their projects, taking into account these merits this article seeks to exemplify a method of dimensioning the foundation of these machines. The purpose of this study is the technical verification in the

dimensioning of the foundation of machines, using methods that guarantee a reliability in its capacity to support the required load and at the same time guarantee a cost reduction in its execution. This purpose will be achieved through the study of NBR, and PETROBRAS rules. The study clarified that the studied foundation will be able to meet boiler load requests.

Keywords: Structures. Foundation. Industrial machines.

REFERÊNCIAS

BATHIA, K. G. Foundation for Industrial Machines, In: Handbook for Practising Engineers. New Delhi, India, 2008.

BOTASSI, S. S. Uma contribuição ao estudo do comportamento termomecânico de estruturas maciças de concreto. Modelagem viscoelástica linear e aplicações. Dissertação de Mestrado. Vitória: UFES, 2004.

PETROBRAS – PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – N-1848 – REV. C – Projeto de Fundações de Máquinas. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

CALMON, J. L. Estudios térmico y rensional en estructuras masivas de hormigón. Aplicación a las presas durante la etapa de construcción. 1995. 711p. Tesis (Doctoral) - UPC. Barcelona.

FENÔMENO térmico do concreto: Fundamentos e Aplicação Praticas. 1. ed. atual. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2019. 139 p. v. 1. ISBN 9788571934191.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 1940 –1 – Mechanical Vibration – Balance Quality Requirements for Rotors in a Constant (Rigid) State – Part 1: Specification and Verification of Balance Tolerances. USA, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10816 –1 – Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Nonrotating Parts – part 1: General guidelines, Genève, Switzerland, 1995.

MACHADO, F. G. Estudo do Comportamento de Fundações Submetidas a Vibrações de Máquinas. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

MILET, R. R. Análise Comparativa de Métodos de Cálculo para Fundações de Máquinas. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, 2006.

NBR 6123 – Forças Devido ao Vento em Edificações, Rio de Janeiro, Brasil, 1988.

NBR 6484 – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

NBR 10082 – Vibração Mecânica de Máquinas com Velocidade de Operação de (600 a 12000) rpm – Bases para Especificação e Padrões de Avaliação. Rio de Janeiro, Brasil, 1987.

NBR 13208 – Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

NBR 15421 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

N-1848A - Projeto de fundações de máquinas - Procedimentos. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

N-1959A - Apresentação de projetos de estruturas em Concreto armado - Procedimentos. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

NETO, E. S. A. Introdução à Análise Dinâmica de Fundações de Máquinas. Dissertação de M. Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 1989.

PAULON, V. A. O fenômeno térmico do concreto. Estudo Técnico. n. 85, p.1-42, 1987.

Anexo I

