

ESTUDO COMPARATIVO DE TUBULÃO COM BASE ALARGADA E SEM BASE ALARGADA

COMPARATIVE STUDY OF PIPE WITH WIDENED BASE AND WITHOUT WIDENED BASE

Alessio Nunes ¹, Laysa Mariane Fonseca Ramos ², Eduardo Martins Toledo ³, Lauriane Gomes Santin ⁴, Igor Cezar Silva Braga ⁵

¹ Graduação em Engenharia civil/FACEG – alessio_nunes@hotmail.com

² Graduação em Engenharia civil/FACEG – laysamarianef@outlook.com

³ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – eduardomtoledo@gmail.com

⁴ Professora do curso de Engenharia Civil/FACEG: lauriane.santin@docente.evangelicogoianesia.edu.br

⁵ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – igorcezar14@hotmail.com

Resumo: Fundação é a parte estrutural de uma edificação que é responsável por absorver e transmitir cargas para o solo subjacente. Para seu dimensionamento é essencial discernir o que vem a ser uma fundação do tipo rasa e do tipo profunda, quais são suas variações, o tipo de solo que comporta tal tipo de estrutura, qual o melhor método construtivo em cada ocasião, conhecer as normas vigentes e o caminho mais viável que garanta a vida útil da construção. Neste trabalho foi feita uma abordagem das fundações profundas, mais especificamente dos tubulões, sendo estes caracterizados por sua resistência de ponta e lateral, uma vez que sua base pode ser alargada e na sua fase final faz-se necessário a descida de operários para execução dessa ampliação ou até mesmo limpeza do fundo da escavação. Desenvolveu-se uma análise comparativa de uma fundação do tipo tubulão com base alargada com um tubulão sem a base alargada, analiticamente. Além disso, comparou-se os resultados obtidos de maneira analítica para um tubulão sem a base alargada, modelado numericamente por um *software* de engenharia. Em seu desenvolvimento foram realizadas pesquisas em referenciais bibliográficos, como maneira de conhecer melhor as exigências, parâmetros e métodos de dimensionamento. A partir de uma verificação de um laudo de sondagem, seguiu-se para definição de alguns parâmetros do solo e com os dados em mãos fez-se um dimensionamento geométrico e estrutural, analiticamente, para estabelecer as comparações desses cálculos com os resultados do método numérico. Paralelamente, o tubulão com base alargada suportou uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para que obtivesse uma análise equivalente. O tubulão sem base alargada resistiu apenas 6,5% do que o tubulão de base alargada, onde dentre as opções apresentadas, o tubulão de base alargada foi apontado como melhor solução por oferecer maior estabilidade e suportar maiores cargas, além de que conforme as verificações feitas e preceitos adotados em concordância com as normativas, todas as convenções foram atendidas.

Palavras-chave: fundação profunda; dimensionamento geométrico e estrutural; comparação analítica e numérica; estruturas.

Abstract: Foundation is the structural part of a building that's responsible for absorb and convey loads to the underlying soil. For your sizing, it's essential to discern what is a shallow and deep foundation, what are your variations, the type of soil that includes this type of structure, what's the best construction method in each occasion, to know the current rules and the most viable way to guarantee the useful life of the construction. In this work, an approach of the deep foundations was made, more specifically to the tubules, which are characterized by their edge resistance and also lateral, since your base can be widened and in final phase could be necessary to lower the workers for execution this expansion or even cleaning the bottom of the excavation. Developed a comparative analysis of a tubule type foundation with an enlarged base, with a tubulon without the enlarged base, analytically. In addition, it was compared the results obtained in an analytical way for a tubule without the extended base, numerically modeled by an engineering software. In this development, research was carried out on bibliographic references, as a way to better understand the requirements, parameters and design methods. To verification of a sounding report, it was followed to define some soil parameters and with the data in hand, a geometric and structural dimensioning was made, analytically, to establish the comparisons of these calculations with the results of the numerical method. At the same time, the flange with an extended base supported a load almost 15 times greater than the flange without flare, emphasizing that the same allowable tension value was used to obtain an equivalent analysis. The tubule without extended base resisted only 6.5% than the tubule with extended base, where among the options presented, the tubule with extended base was pointed out as the best solution for offering greater stability and supporting greater loads, besides that according to the checks made and precepts adopted in accordance with the norms, all conventions were attended.

Keywords: deep foundation; geometric and structural dimensioning; analytical and numerical comparison; structures.

INTRODUÇÃO

Em análise ao cenário social contemporâneo constata-se quão importante a engenharia tem sido no desenvolvimento da humanidade. Ao se tratar da área da construção civil, tem-se verdadeiras maravilhas espalhadas pelo mundo, tais como as Pirâmides do Egito, Muralha da China, Torre Eiffel e outras que são referência no trajeto da sobrevivência e evolução humana.

De acordo com [1], três partes fundamentais de um sistema estrutural de uma edificação, sendo essas a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, estando em

interação constante. A autora exemplifica como elementos da superestrutura, as vigas, pilares e lajes, na infraestrutura, os blocos, as estacas e as sapatas, e por último, os maciços de solos.

Ao iniciar da parte inferior, [2], ressaltam a importância dos solos no suporte e distribuição de cargas e tensões recebidas das edificações, podendo ainda serem utilizados como material na construção de barragens e aterros. Portanto, conforme [3], o próprio homem neolítico desde a execução das suas primeiras cabanas, já havia certo

conhecimento empírico acerca da estabilidade dos materiais da crosta terrestre.

Na sequência, evidenciando-se a parte estrutural, [4] definem fundação como a parte responsável por transmitir as cargas ao terreno subjacente. Desta maneira, faz-se imprescindível a presença de uma fundação dimensionada e executada de maneira correta, ressaltando-se ainda a relevância da evolução dos estudos da engenharia de fundações.

Neste trabalho, será feito uma abordagem das fundações profundas, mais especificamente, dos tubulões. Condizente com a [5], o tubulão é caracterizado por sua resistência de ponta e lateral, uma vez que sua base é alargada e na sua fase final faz-se necessária a descida de operários para execução dessa ampliação ou até mesmo limpeza do fundo da escavação.

Sendo assim, será apresentada uma análise comparativa através de um dimensionamento de fundação de um tubulão com base alargada e outro sem a base alargada, além de algumas ressalvas do projeto estudado.

Faz-se relevante o estudo dessa temática pois análogo à [6], para qualquer obra de engenharia, seu projeto de fundações implicará em gastos significativos e se não previstos de maneira criteriosa, tendo uma escolha assertiva de materiais e métodos construtivos, pode acarretar complicações e patologias, salvo até mesmo o colapso estrutural.

Ao analisar os diferentes perfis geotécnicos e os tipos de fundações comumente utilizadas, vê-se a importância do estudo e planejamento estrutural de uma edificação, pois a partir da escolha desses parâmetros pretende-se tracejar a vida útil da construção.

Ainda de acordo com [6], a relevância dos tubulões para regiões onde as camadas iniciais do solo são de baixa resistência e também para obras de grande porte. Portanto, levando em consideração a fundação deste trabalho, pode-se dizer que a mesma transmite consideráveis esforços em seu terreno.

Torna-se dever do engenheiro civil ter a capacidade de observar com olhar crítico a respeito das

decisões pelo caminho mais viável, seguro e rentável de uma obra, e se tratando dos tubulões, nas palavras de [7], atentar às normas e cumprimento dos processos da engenharia de segurança do trabalho, assumindo as responsabilidades e fazendo o possível para alinhar o conhecimento técnico e prático na execução.

Portanto, esse trabalho justifica-se pelo desenvolvimento de uma análise e dimensionamentos, comparando-se os resultados obtidos e cumprindo-se os objetivos estabelecidos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Escolha das fundações

Referente [5] define dois tipos de fundações, rasas e profundas. De acordo com a norma, as fundações rasas são aquelas em que a base está numa profundidade menor que o dobro do tamanho mínimo da fundação, sendo que as fundações profundas são caracterizadas pela transmissão de cargas através da base e laterais, com profundidade acima de 3 metros.

Fatores condicionantes

Para [1] existem três principais fatores influentes na interação da estrutura com o solo: sequência construtiva, rigidez e número de pavimentos da construção. No trabalho [8], explicam a relação dessas condições da seguinte maneira: quanto mais andares na estrutura, maior será a rigidez no sentido vertical (visto que esse coeficiente não acompanha linearmente a quantidade de pavimentos) levando ainda em consideração que as partes mais baixas sofrem maiores flexões.

Análise do solo

Antes de iniciar qualquer obra, o conhecimento da região e topografia local faz-se necessário. Por isso, [9] comentam acerca da resposta do solo à carga aplicada, sendo fundamental o conhecimento do terreno.

Ainda de acordo com [9], acrescentam ainda sobre a indispensabilidade da sondagem à percussão, pois a partir dos resultados do ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) conhece-se desde as camadas iniciais até as camadas

mais profundas da crosta terrestre e onde o lençol freático encontra-se.

No trabalho de [2], discorrem sobre ensaio SPT, sendo feito através deste o reconhecimento do tipo de solo e também o nível de água do terreno. Tendo em mãos a planta com os furos alocados faz-se a retirada das amostras a cada metro que é perfurado, sendo recomendado ainda, que o material coletado seja armazenado corretamente em caixas ou sacos plásticos, sem exposição ao sol ou à altas temperaturas.

É indispensável também estar alinhado com a [10], pois define-se algumas condições conforme o modelo estrutural:

- Uma sondagem a cada 200 m² de área projetada de um total de até 1200 m²;
- Uma sondagem a cada 400 m² de área projetada de um total de 1200 m² até 2400 m²;
- Acima da área de 2400 m², faz-se a quantidade de sondagens acordadas com a particularidade da construção.

Para demais ocasiões, a quantidade mínima de sondagens é de dois furos para até 200 m² e três furos para dimensões que vão de 200 até 400 m².

Tipos de edificações

É imprescindível fazer também uma análise histórica acerca dos diversos tipos de edificações, no que diz [11], tomando posse da bagagem de experiências e conhecimentos acumulados desde as construções pré-históricas até as mais contemporâneas.

Em [9], os autores relacionam o aumento populacional com o desenvolvimento dos centros urbanos, o que decorre no crescimento dos setores da engenharia civil, surgindo uma demanda por construções de grande porte, em maioria, e conseqüentemente, estruturas que devem suportar cargas elevadas.

Ainda nessa linha de raciocínio, retomando a fala de [6], o tipo de fundação do estudo em questão é recomendado para regiões onde as primeiras camadas do solo possuem baixa resistência e, sem dúvidas, para edificações mais encorpadas.

Fundações Profundas

Tipos de fundações profundas

Em revisão à [5], nessa classificação estão inseridas as estacas e os tubulões. A Norma define estacas como os elementos básicos que são executados sem trabalho manual, sendo feito apenas por equipamentos e ferramentas, podendo originar-se de materiais como argamassa, madeira, concreto, aço, dentre outros.

Pode-se dizer que a principal diferença entre as estacas e os tubulões é além do método construtivo, a capacidade dos tubulões de suportar maiores cargas. Ainda considerando as prescrições da normativa, têm-se que dependendo do tipo de tubulão empregado existe a diferença desse elemento ter uma base alargada, enquanto a estaca tem uma dimensão contínua ao longo de seu comprimento. Conforme mencionado anteriormente, as estacas também podem ser de outro material que não seja o concreto, o que pode elevar os custos quando comparado à execução do tubulão.

No trabalho de [9], os autores trazem o tubulão como um elemento onde o diâmetro do fuste é inferior ao diâmetro de sua base, além de que sua capacidade de carga se destaca pela maior resistência da base no contato direto com o solo, não esquecendo-se de sua resistência lateral.

Características e métodos construtivos do tubulão

O tubulão pode ou não ter uma base alargada, que nas palavras de [12], a escolha dependerá diretamente do tipo de solo onde a estrutura será assentada. As três principais operações consistem na escavação, colocação da armadura projetada e concretagem, sendo realizadas nessa sequência.

A autora explica ainda que na escavação faz-se utilização de trados, durante a perfuração do poço, pode ou não ser feito contenção lateral, e por fim, a concretagem através de lançamento do concreto ou bombeamento.

De acordo com [13], determina que o tubulão com base alargada é mais recomendado para fundações que se encontram próximas da divisa do terreno ou quando há risco de desabamento, visto que nas ocasiões em que a

edificação deve apenas equilibrar seu próprio peso pode-se utilizar o tubulão sem base alargada.

Tubulão

Tipos de tubulão

Existem duas classificações para o tubulão, podendo ser a céu aberto ou pneumático. O tubulão a céu aberto tem a necessidade da descida de operários em sua base, seja para realizar sua limpeza ou alargamento, como explicado por [14]. Essa etapa deve acontecer de maneira cautelosa, não oferecendo riscos para os trabalhadores, onde todo o canteiro de obras deve estar também em conformidade com a Norma Regulamentadora nº 18 [15], que diz respeito à segurança e saúde no trabalho e na indústria da construção. Segue abaixo, na Figura 1, um exemplo de tubulão a céu aberto:



Figura 1 - Tubulão a céu aberto [16]

Já o tubulão a ar comprimido era comumente utilizado onde não havia chances de esgotamento do lençol freático, ou em locais onde existiam riscos de desabamento conforme [9], exemplificado na Figura 2.

A Norma Regulamentadora nº 18 [15], teve uma alteração em seu item 18.7.2.23 que entrará em vigência a partir de 2021, onde não será mais permitido a execução dos tubulões a ar comprimido, devido os operadores ficarem diretamente expostos a pressão hiperbárica.

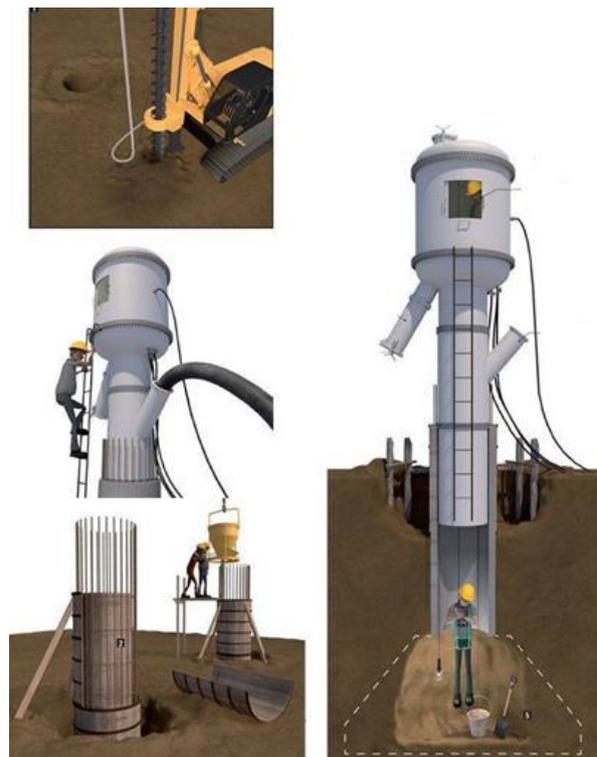


Figura 2 - Tubulão a ar comprimido [17]

Vantagens

Em [9], discorrem em seu trabalho sobre as principais vantagens da utilização do tubulão, seja a céu aberto ou a ar comprimido, como pode ser listado abaixo:

- Quando comparado, por exemplo, com as estacas, seu método construtivo é mais silencioso;
- Pode ser feito abaixo do nível da água;
- Cada pilar pode ter um fuste único;
- Se utilizadas as escavações mecânicas podem transpassar até mesmo matacões e pedras;
- Em relação ao maquinário necessário tem-se um custo baixo;
- Suas dimensões, como comprimento e diâmetro, podem ser otimizadas durante o procedimento de escavação.

Edificações brasileiras com utilização do tubulão

Com a intenção de exemplificar algumas edificações no Brasil onde a fundação utilizada foi o tubulão, segue na Figura 3 e Figura 4 alguns modelos.



Figura 3 - Viaduto da cidade de Criciúma-SC [4].



Figura 4 - Escavações no Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão) [18]

Dimensionamento

Neste trabalho será apresentado dois tipos de dimensionamento, geométrico e estrutural, ambos pautados nos parâmetros restritos à tubulões da [5], e demais bibliografias pertinentes.

Quanto à norma, é indicado que quando houver aplicação do método de valores admissíveis, o fator ponderador deve ser 1,4 para o cálculo da carga admissível. Para a determinação dessa grandeza é necessário ainda considerar alguns aspectos:

- Características geomecânicas do subsolo;
- Profundidade da ponta/base do tubulão;
- Dimensões e forma dos elementos de fundação;
- Posição do nível da água;
- Características ou peculiaridades da obra;
- Dentre outros.

No item 8.2.3.6.1 recomenda-se que no dimensionamento da base sua altura não ultrapasse 1,8 m, no caso de base alargada em formato de cone cilíndrico o rodapé deve ter no mínimo 20 cm e ângulo de inclinação maior ou igual a 60°, conforme Figura 5:

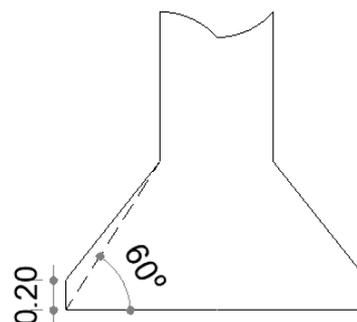


Figura 5 – Detalhes geométricos de um tubulão com base alargada.

Em relação à armadura, a [5] ressalta que a junção do fuste e base devem permitir a concretagem de toda estrutura sem interferir em nenhum dos processos construtivos.

MATERIAL E MÉTODOS

A princípio definiu-se o que vem a ser uma fundação profunda, pautado nas prerrogativas da [5], e na sequência buscou-se informações acerca do tubulão como, por exemplo, quais são suas variações, dimensões mínimas e máximas, tipos de edificações que fazem uso dessa estrutura, dentre outras características já apresentadas.

Fez-se imprescindível também ater-se às questões de análise de solo, o método construtivo empregado nesse elemento estrutural, as vantagens e os cuidados que devem existir ao optar por esse tipo de fundação.

A edificação consiste em um armazém de açúcar e maquinário de grande porte, onde nos arquivos observados têm-se sua paginação e detalhes de piso, locação das estacas, formas da fundação, detalhamento dos blocos e suas armações.

Para aplicação neste trabalho tem-se a tensão de 20 tf, que convertida equivale a aproximadamente 200 kN para uso no dimensionamento geométrico e estrutural.

Assim, calculou-se o índice de resistência à penetração ($N_{SPT-média}$) para então classificar o solo e obter seu peso específico encontrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do solo.

N_{SPT} (média)	Classificação do solo	Peso específico (kN/m^3)
4,25	Argila mole	15
33,1	Silte arenoso duro	21

Os parâmetros físicos do solo adotados são:

- coesão do solo de 331 kPa;
- e o ângulo de atrito que foi zero.

Assim, tem-se uma tensão de ruptura de 2662,26 kPa e conseqüentemente uma tensão admissível de 887 kPa. Calculou-se então a área do fuste para verificação do seu diâmetro, que foi de 0,70 m, e a área da base, 0,23 m².

Portanto, a fundação terá projeção circular e abaixo conforme a Figura 6, observa-se a configuração do tubulão dimensionado sem a base alargada:

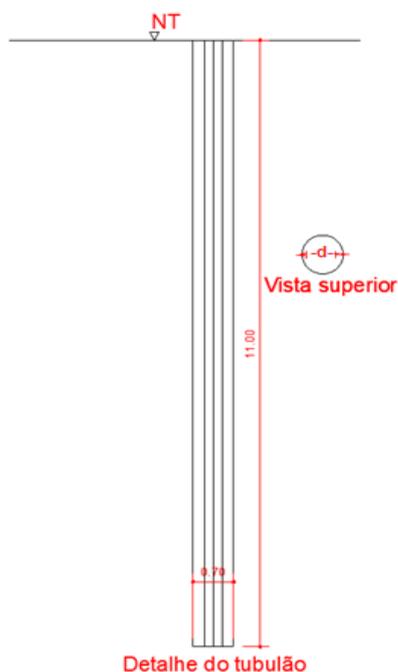


Figura 6 - Tubulão dimensionado sem base alargada.

Após alargar sua base, definiu-se um diâmetro de 2,10 m. A altura da base do tubulão foi de 1,25 m, com ângulo de inclinação de 60° para tubulões a céu aberto, conforme [5], sendo este o último passo dos cálculos geométricos. Conforme a Figura 7, vê-se a configuração do tubulão dimensionado com a base alargada.

Já no dimensionamento estrutural, iniciou-se com verificações de [3]. Obteve-se a pressão solicitante no solo de 0,74 MPa e momento fletor solicitante de 571 kN/m. No cálculo da armadura de flexão atingiu-se uma área de 125,6 cm² e 57,1 cm²/m de armadura distribuída. Por fim, fez-se verificação do espaçamento e especificação da armadura, descobrindo uma necessidade de 6 barras para esse dimensionamento.

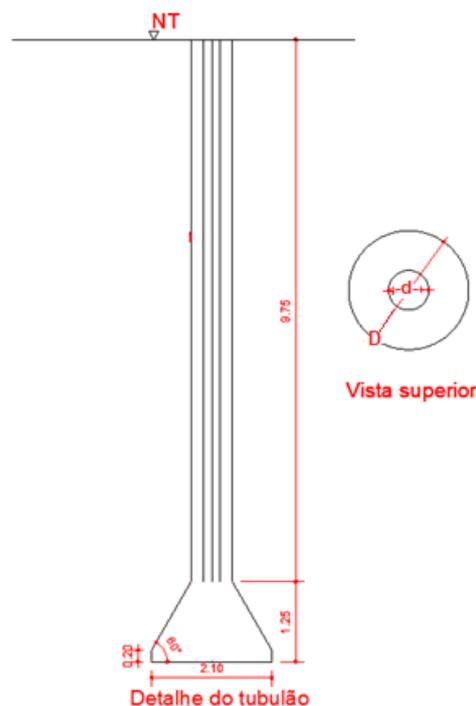


Figura 7- Tubulão dimensionado com base alargada.

Com o findar dessa etapa analítica, seguiu-se para o desenvolvimento da parte numérica, que consistiu na interpretação do projeto de fundações.

Os fatores comparados foram a carga suportada, o diâmetro do fuste e diâmetro da base, a armadura (quantidade de barras e especificações), referentes ao dimensionamento geométrico e estrutural paralelamente.

Os resultados obtidos foram segmentados em tabelas, para permitir a fácil compreensão e diferenciação das estruturas em questão, apresentando-se as porcentagens encontradas e comprovação do alcance dos objetivos estabelecidos no início do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Têm-se dois casos para exposição dos resultados, onde no Caso 1, foram comparados o tubulão sem base alargada com o tubulão de base alargada, analiticamente. No Caso 2, numericamente, foram comparados o tubulão sem base alargada dimensionado através do *software* com o tubulão de base alargada do Caso 1.

Ao iniciar pelo Caso 1, a partir dos parâmetros do solo, tensão admissível e tensão de ruptura, estabeleceu-

se a primeira comparação referente a carga suportada, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Caso 1: comparação da carga suportada.

Tipo	Carga suportada (kN)
Tubulão com base alargada	3072
Tubulão sem base alargada	200

A partir do dimensionamento da área da base, fez-se uma comparação referente ao diâmetro do fuste e diâmetro da base, onde o diâmetro da base do tubulão sem base alargada é 67 % menor do que o tubulão de base alargada, apresentado na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Caso 1: comparação do diâmetro.

Tipo	Diâmetro do fuste (cm)	Diâmetro da base (cm)
Tubulão com base alargada	70	210
Tubulão sem base alargada	70	70

Para armadura mínima exigida, através do dimensionamento estrutural com verificação da altura útil, pressão solicitante do solo, momento fletor e especificação da armadura fez-se o comparativo mostrado na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Caso 1: comparação da armadura.

Tipo	Quantidade de barras	Ø (mm)
Tubulão com base alargada	8	25
Tubulão sem base alargada	5	10

Para melhor entendimento, na Figura 8 está representado a configuração do tubulão sem base alargada. Já no Caso 2, quando feita a comparação referente a carga suportada, obteve-se os seguintes dados que estão na Tabela 4.

Quanto ao diâmetro do fuste e diâmetro da base, o diâmetro da base do tubulão sem base alargada é 86 % menor do que o tubulão de base alargada, onde encontrou-se as seguintes dimensões da Tabela 5.

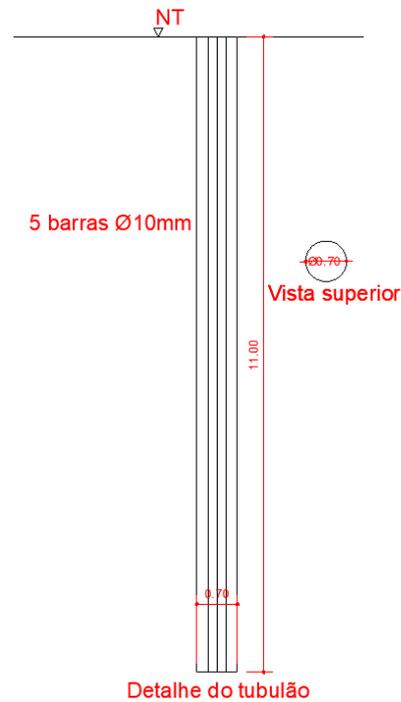


Figura 8 - Configuração do tubulão sem base alargada.

Tabela 4- Caso 2: comparação da carga suportada.

Tipo	Carga suportada (kN)
Tubulão com base alargada	3072
Tubulão sem base alargada	200

Tabela 5 – Caso 2: comparação do diâmetro.

Tipo	Diâmetro do fuste (cm)	Diâmetro da base (cm)
Tubulão com base alargada	70	210
Tubulão sem base alargada	30	30

Sobre espaçamento, armadura de flexão e armadura distribuída para o Caso 2 fez-se o comparativo mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Caso 2: comparação da armadura.

Tipo	Quantidade de barras	Ø (mm)
Tubulão com base alargada	8	25
Tubulão sem base alargada	5	12,5
Tubulão sem base alargada	1	6,3

Para visualizar a configuração do tubulão com base alargada ver a Figura 9.

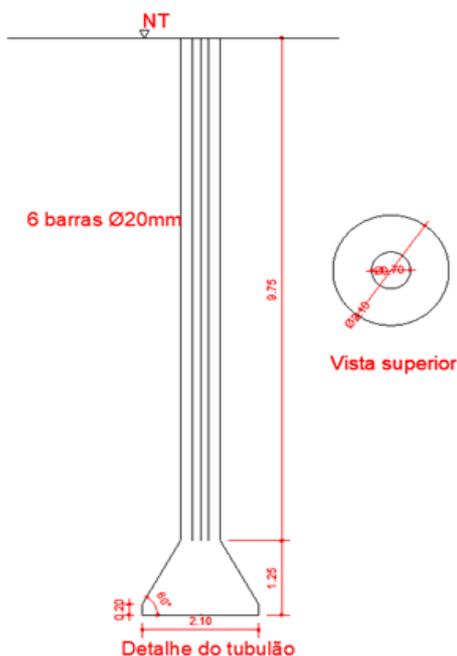


Figura 9 – Configuração do tubulão com base alargada.

Contudo, como o principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma análise comparativa de uma fundação do tipo tubulão com base alargada com um tubulão sem a base alargada, de maneira analítica e numérica, e pontuar ainda as principais diferenças encontradas, fez-se a seguinte relação mostrada na Equação 1:

$$A_{base} = \frac{P}{\sigma_{adm}}$$

$$\frac{\pi \cdot 2,10^2}{4} = \frac{P}{887 \cdot 10^3} \quad (1)$$

$$P = 3072 \text{ kN}$$

Onde:

- A_{base} = Área da base (m²);
- P = Carga atuante (kN);
- σ_{adm} = Tensão admissível (kPa).

De maneira simplificada, foi obtido como resultado final o que mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Porcentagem de carga suportada.

Tipo	% de carga suportada (kN)
Tubulão com base alargada	Aproximadamente 1500 % a mais de resistência
Tubulão sem base alargada	Resiste 6,5 % da carga suportada da base alargada

Dessa forma, infere-se que o tubulão com base alargada suporta uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para ambas as situações para tornar-se possível a comparação.

CONCLUSÃO

Toda fundamentação teórica apresentada no decorrer do trabalho teve intenção de trazer aos leitores conhecimento acerca das fundações, em especial das fundações profundas, enaltecendo a importância do dimensionamento correto na garantia de uma estrutura com o mínimo de patologias possíveis.

Buscou-se entender a princípio a conceituação e tipos de fundações, os fatores condicionantes à escolha do tipo de fundação, algumas características e métodos construtivos do tubulão e suas classificações, vantagens e o dimensionamento para comparação.

Os objetivos estabelecidos foram atingidos, sendo mostrado através dos cálculos os resultados obtidos, destacando-se a aplicabilidade desse tema e também uma alternativa para edificações que se situarão em regiões onde as primeiras camadas do solo possuem baixa resistência.

No estudo em questão, paralelamente, o tubulão com base alargada suporta uma carga quase 15 vezes maior que o tubulão sem alargamento, ressaltando-se que foi utilizado o mesmo valor de tensão admissível para que obtivesse uma análise equivalente.

No Caso 1, inicialmente, para o dimensionamento de um tubulão sem base alargada com diâmetro aceitável foi necessário adotar esse valor para o mínimo exigido pela [5]. Com essa estrutura calculada fez-se a modificação para base alargada, chegando a um diâmetro 3 vezes maior que o inicial.

Com o aumento dessa área, conseqüentemente, elevou-se a necessidade de uma armadura mais resistente, aumentando-se a quantidade de barras e o diâmetro das mesmas. Além disso, a tensão suportada também foi maximizada, devido a estrutura conseguir absorver maiores cargas.

Para o Caso 2, por já existir uma estrutura projetada por um *software* de engenharia fez-se uma análise de seus dados com o tubulão de base alargada encontrado no caso apresentado anteriormente. O tubulão sem base alargada resistiu apenas 6,5% do que o tubulão de base alargada.

Assim, dentre as opções apresentadas, o tubulão de base alargada foi apontado como melhor solução por oferecer maior estabilidade e suportar maiores cargas, além de que conforme as verificações feitas e preceitos adotados em concordância com as normativas, todas as convenções foram atendidas.

Contudo, as fundações são indispensáveis na construção civil, visto que garantem segurança e estabilidade total de toda a estrutura e quando dimensionadas de forma correta permitem a elaboração de projetos mais ousados, sendo imprescindível ainda o acompanhamento de sua execução.

Ainda há certa carência de estudos mais aprofundados e elaborados nessa temática, acredita-se que por falta de profissionais na área. Portanto, para os trabalhos futuros recomenda-se:

- Fazer a própria amostragem do solo e os ensaios competentes, para melhor acompanhamento dos dados;
- Encontrar a tensão admissível através de um método diferente de Terzaghi (1943);
- Verificar se não há necessidade de contenção lateral na estrutura;
- Conseguir encontrar um tubulão sem base alargada que supere um tubulão com base alargada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MOTA, M. M. C. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo.** 2009. 222 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- 2 SOUZA, L. H. F., GARCIA, L. P. Redimensionamento de fundação profunda após

análise da carga admissível obtida em ensaio de carregamento dinâmico (PDA). **Revista de Engenharia e Tecnologia.** v.6 n° 2, p. 2-3, 2014.

- 3 HACHICH, W. et al. **Fundações Teoria e Prática.** 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2016. 760 p.
- 4 PEREIRA, G. B., SANTOS, A. A. D. **Dimensionamento de fundações tipo tubulão a ar comprimido-** Estudo de caso. 2013. 22 p. Artigo (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma-SC, 2013.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, p. 9. 2019.
- 6 CUNHA, L. D. N. **Análise comparativa de fundação tipo sapata e tubulão em um mesmo perfil geotécnico na cidade de Teresina.** In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. O futuro sustentável do Brasil passa por Minas. 2., 2016, Belo Horizonte – MG. Belo Horizonte: ABMS, 2016. p. 2-6.
- 7 SANTOS, M. A. C., **Fundações por tubulão a ar comprimido: um estudo sobre o trabalho executado.** Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, Goiânia, 2019.
- 8 SAVARIS, G.; HALLAK, P. H.; MAIA, P. C. A. Influence of Foundation Settlements in Load Redistribution on Columns in a Monitoring Construction- Case Study. **IBRACON. Structures and Material Journal**, v. 3, n.3 p. 346-356, 2010.
- 9 OLIVEIRA, C. A., AMARO, M. R. G. **Dimensionamento de tubulão a ar comprimido.** 2016. 37 p. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade do Vale do

- Paraíba, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, São José dos Campos, 2016.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, p. 1. 1983.
- 11 SILVA, A. V. P., GONÇALVES, B. H. S. **Análise semiempírica e computacional de fundações**. 2018. 126 p. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.
- 12 TROJAHN, A. O. **Análise e dimensionamento de tubulões em concreto armado**. 2017. 67 p. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2017
- 13 MARINHO, F. **Fundações profundas: tubulões**, v. 1, n. 1, jun. 2020. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/fundacoes-profundas-tubuloes/>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- 14 CUNHA, L. D. N. **Análise comparativa de fundação tipo sapata e tubulão em um mesmo perfil geotécnico na cidade de Teresina**. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. O futuro sustentável do Brasil passa por Minas. 2., 2016, Belo Horizonte – MG. Belo Horizonte: ABMS, 2016. p. 2-6.
- 15 MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18**: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília, p. 2020.
- 16 AVILA, M. A. **Tubulão a céu aberto- O que é? Como é feito?** TC- Total Construção, 2020. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/>. Acesso: 15 de outubro de 2020.
- 17 PEREIRA, C. **Tubulão a ar comprimido**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ar-comprimido/>. Acesso: 15 de outubro de 2020.
- 18 COUTINHO, S. **Tubulões começam a ser escavados no Mineirão**. Dom Total, 2011. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/306527/2011/03/tubulaes-comeam-a-ser-escavados-no-mineirao/>. Acesso: 04 de outubro de 2020.