

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA PATRÍCIA DE MORAES RODRIGUES

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES
PROFUNDAS DE SILO METÁLICO DE FUNDO PLANO: ESTUDO DE
CASO**

PATO BRANCO

2023

ANA PATRÍCIA DE MORAES RODRIGUES

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES
PROFUNDAS DE SILO METÁLICO DE FUNDO PLANO: ESTUDO DE
CASO**

**SIZING AND COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP FOUNDATIONS OF FLAT BOTTOM METAL
SILO: CASE STUDY**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me Tobias Jun Shimosaka

**PATO BRANCO
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANA PATRÍCIA DE MORAES RODRIGUES

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE FUNDAÇÕES
PROFUNDAS DE SILO METÁLICO DE FUNDO PLANO: ESTUDO DE
CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito parcial para a conclusão
do curso de Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato
Branco, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação: 31/março /2023

TOBIAS JUN SHIMOSAKA
Mestrado em Materiais e Componentes da Construção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

HELOIZA APARECIDA PIASSA BENETTI
Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VOLMIR SABBI
Doutorado em Educação
Universidade Estadual de Maringá

PATO BRANCO
2023

Dedico este trabalho à minha mãe, por todo apoio, suporte e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Com muito esforço e dedicação percorri um longo caminho, de muitas dificuldades, inseguranças, alegrias e tristezas, mas tendo a certeza de que não caminhava sozinha em busca do meu aprimoramento profissional. Agradeço a todos que de uma forma ou de outra fizeram parte dessa etapa da minha vida.

Primeiramente agradeço a Deus, pelas vezes que pensei que não conseguiria e ele guiava meus passos.

Ao meu orientador Prof. Tobias Jun Shimosaka, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas e amigos, vocês foram essenciais.

A Prof^a Elizangela Marcelo Siliprandi, por toda ajuda, suporte e conselhos.

Por último, mas não menos importante, aos professores Heloiza Aparecida Piassa Benetti e Volmir Sabbi, por aceitarem participar da banca e contribuir com este trabalho.

Todas as vitórias ocultam uma abdicação.

(SIMONE DE BEAUVOIR, 1958)

RESUMO

O presente estudo está ligado a área da engenharia de fundações, e tem o objetivo de comparar modelos de fundações profundas para a base de um silo metálico de fundo plano, localizado na região de Chopinzinho – PR. Para realização dos cálculos foram utilizados os métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Aoki e Velloso (1975), optando sempre pelo mais conservador. Ao final foram comparados tecnicamente e economicamente os tipos de fundações, concluindo qual é o método mais adequado para o empreendimento escolhido. Após o dimensionamento da fundação pelos três métodos executivos, a estaca do tipo escavada mecanizada não seria a mais indicada e tecnicamente viável pela presença de água, o que dificultaria sua plena execução. Os outros dois métodos, estaca hélice contínua e estaca pré-moldada cravada, são métodos considerados tecnicamente viáveis. O comparativo de preços entre a Tabela SINAPI (2022) e os preços pesquisados em empresas da região ficou com uma diferença dentro do esperado para as estacas escavadas e para as estacas hélice contínua, sendo que o único que apresentou divergências foram as estacas pré-moldadas, que continha particularidades na Tabela SINAPI (2022), resultando em um valor muito abaixo do praticado no mercado. Conclui-se que o projeto de estaqueamento analisado, já com os carregamentos majorados e devidamente considerados, foi corretamente dimensionado e que a escolha por estacas do tipo hélice contínua é viável tecnicamente e economicamente.

Palavras-chave: Fundações profundas. Silo metálico. Tabela SINAPI.

ABSTRACT

The present study is linked to the area of foundation engineering, and has the objective of comparing models of deep foundations for the base of a metallic silo with flat bottom, located in the region of Chopinzinho - PR. For the calculations the methods of Décourt and Quaresma (1978) and Aoki and Velloso (1975) were used, always opting for the most conservative. At the end the types of foundations were compared technically and economically, concluding which is the most suitable method for the chosen enterprise. After the dimensioning of the foundation by the three executive methods, the mechanized excavated pile would not be the most indicated and technically feasible due to the presence of water, which would make its full execution difficult. The other two methods, continuous flight auger and precast piles, are considered technically feasible. The price comparison between the SINAPI Table (2022) and the prices researched in companies in the region showed a difference within the expected for the bored piles and continuous flight auger piles. The only difference was for the precast piles, which had particularities in the SINAPI Table (2022), resulting in a value well below the market value. It can be concluded that the analyzed pile design, with the loads increased and properly considered, was correctly dimensioned and that the choice for continuous flight auger piles is technically and economically feasible.

Keywords: Deep foundations. Metallic silo. SINAPI table.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Silo elevado	17
Figura 2: Silo de base plana	17
Figura 3: Silo semi-subterrâneo.....	18
Figura 4: Superestrutura de silos metálicos.....	20
Figura 5: Infraestrutura de silo metálico	20
Figura 6: Esquema de sondagem SPT manual.....	23
Figura 7: Máquina de sondagem mecanizada	23
Figura 8: Amostrador padrão com solo coletado.....	24
Figura 9: Perfuratriz para estacas escavadas.....	28
Figura 10: Estacas hélice contínua.....	29
Figura 11: Bate estacas para cravação de estacas pré-moldadas.....	30
Figura 12: Fluxograma.....	39
Figura 13: Obra de armazenagem da Mercosilos	41
Figura 14: Detalhe da viga anel.....	42
Figura 15: Perfil de sondagem SP01	44
Figura 16: Perfil de sondagem SP02	45
Figura 17: Gráfico das estacas pré-moldadas	52
Figura 18: Gráfico de valores dos três tipos de estacas retirados da Tabela SINAPI (2022).....	64
Figura 19: Gráfico de valores dos três tipos de estacas com base em valores de mercado	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos silos quanto à esbeltez	19
Tabela 2: Quantidade de furos em função da área.....	21
Tabela 3: Estado de compacidade e resistência	25
Tabela 4: Tipos de fundação por método de execução	27
Tabela 5: Coeficiente característico do solo C	33
Tabela 6: Valor de α em função do tipo de estaca e tipo de solo	33
Tabela 7: Valores de β em função do tipo de estaca e do tipo de solo	33
Tabela 8: Fatores de correção F1 e F2	35
Tabela 9: Coeficiente K em razão do atrito (α)	36
Tabela 10: Capacidade de carga para silo modelo 1818.....	42
Tabela 11: Adaptado de boletins de sondagem (Figura 15 e 16)	46
Tabela 12: Dimensionamento da estaca pré-moldada de seção 30 x 30 pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios	47
Tabela 13: Dimensionamento da estaca pré-moldada de seção 30 x 30 pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios.....	48
Tabela 14: Dimensionamento da estaca escavada de 60 cm de diâmetro pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios	49
Tabela 15: Dimensionamento da estaca escavada de 60 cm de diâmetro pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios.....	49
Tabela 16: Dimensionamento da estaca escavada de 50 cm de diâmetro pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios	50
Tabela 17: Dimensionamento da estaca escavada de 50 cm de diâmetro pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios.....	50
Tabela 18: Comparativo de resultados das estacas pré-moldadas	51
Tabela 19: Consumo de concreto por estaca e total para estacas pré-moldadas cravadas.....	52
Tabela 20: Comparativo de resultados das estacas escavadas	53
Tabela 21: Consumo de concreto por estaca e total para estacas escavadas ..	53
Tabela 22: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas hélice contínua D30 cm e D50 cm.....	56
Tabela 23: Descrição da composição do custo da hélice contínua D30 cm	57

Tabela 24: Descrição da composição do custo da hélice contínua D50 cm	58
Tabela 25: Valores das estacas hélice contínua D30 e D50.....	58
Tabela 26: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D30 e D50 praticados no mercado	59
Tabela 27: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas escavadas mecanicamente	59
Tabela 28: Descrição da composição do custo da estaca escavada D40 cm....	60
Tabela 29: Descrição da composição do custo da estaca escavada D60 cm....	60
Tabela 30: Valores das estacas escavadas mecanizada D50 e D60	61
Tabela 31: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D50 e D60 praticados no mercado	61
Tabela 32: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas pré-moldadas cravadas	61
Tabela 33: Descrição da composição do custo da estaca pré-moldada até 50 toneladas.....	62
Tabela 34: Valores das estacas escavadas pré-moldadas com capacidade de carga até 50 toneladas.....	62
Tabela 35: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D50 e D60 praticados no mercado	63
Tabela 36: Valores das estacas conforme valores retirados da tabela SINAPI (2022).....	63
Tabela 37: Valores médios das estacas realizados no mercado	64

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Justificativa	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Silos de armazenamento	16
2.1.1	Tipos de silos	16
2.1.2	Elementos constituintes em silos metálicos de fundo plano	19
2.1.3	Fundação de um silo metálico de fundo plano	19
2.2	Investigações geológicas e geotécnicas	21
2.2.1	Ensaio SPT – <i>standart penetretion test</i>	22
2.3	Fundações	25
2.3.1	Definição	25
2.3.2	Fundações superficiais ou diretas	25
2.3.3	Fundações profundas	26
2.4	Métodos de cálculo da capacidade de carga de fundação profunda	30
2.4.1	Métodos semiempíricos	32
2.4.2	Carga admissível	36
2.4.3	Carga de catálogo	37
3.	METODOLOGIA	38
3.1	Delineamento da pesquisa	38
3.2	Estudo de caso	38
3.3	Etapas da pesquisa	39
4.	ESTUDO DE CASO	41
4.1	Descrição do silo e dados estruturais	41
4.2	Análise do perfil geotécnico	43
4.3	Cálculo da capacidade de carga das estacas	46
4.4	Dimensionamento estaca de concreto pré-fabricado	47
4.5	Dimensionamento de estaca escavada	48

4.6	Análise dos resultados das estacas pré-moldadas.....	51
4.7	Análise dos resultados das estacas escavadas	53
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1	Comparativo técnico	55
5.2	Comparativo econômico.....	56
5.2.1	Estacas hélice contínua.....	56
5.2.2	Estacas escavadas mecanicamente	59
5.2.3	Estacas pré-moldadas cravada	61
5.2.4	Comparativo econômico entre as estacas.....	63
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	APÊNDICE A – PLANTA DE LOCAÇÃO E DETALHAMENTO DAS ESTACAS PRÉ-MOLDADAS	71
	APÊNDICE B – PLANTA DE LOCAÇÃO E DETALHAMENTO DAS ESTACAS ESCAVADAS	
	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
	ANEXO A- PROJETO ARQUITETÔNICO MERCOSILOS	
	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
	ANEXO B- PROJETO DETALHAMENTO DAS ESTACAS PROJETO ORIGINAL	
	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	

1. INTRODUÇÃO

A engenharia de fundações é um dos ramos da engenharia que está constantemente em evolução, tanto devido ao uso de novas tecnologias, equipamentos melhores e com alta produtividade e também melhorias em seu processo, tudo isso atrelado a um maior controle da sua execução, visando melhores custos e maior qualidade.

Segundo Fank et al. (2009) a produção de grãos tem alcançado ano após ano novos recordes nas safras. Para que essa evolução continue é de grande importância que os sistemas de armazenagem atendam essa demanda cada dia mais e que sejam eficazes. No caso dos silos armazenadores, pode-se destacar os altos índices de recalques nas bases, colocando em destaque a importância das cargas atuantes sobre as estacas de fundação e o dimensionamento adequado das mesmas.

Para Santos (2017) os silos metálicos de fundo plano, cilíndricos de chapas corrugadas e cobertura cônica, são comumente os mais utilizados em todo o Brasil. Os motivos são vários, dentre eles o baixo custo por tonelada armazenada, a facilidade para serem montados e a eficiência na armazenagem. Tornando-se assim a melhor opção de armazenagem para longos períodos.

Weber (2001) complementa dizendo que além do baixo custo e eficiência, esses silos apresentam boa durabilidade, qualidade na conservação dos grãos, simplicidade de uso, facilidade de aeração, possibilidade de tratamento através do expurgo, rapidez de instalação e não necessitam de muito espaço.

Hezel (2007) destaca que toda a unidade de silo está solicitada a diversos tipos de ações: permanentes (peso próprio, cobertura); variáveis (pressão dos produtos, vento, recalques); excepcionais (explosões e impactos). As principais ações a serem consideradas são as provenientes dos produtos armazenados, responsáveis pelas pressões nas paredes verticais e no fundo do silo. Essas ações serão transmitidas a base, que deve garantir que o desempenho da sua função para o qual foi projetado seja atendido, aliando economia, durabilidade e segurança estrutural.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo entre diferentes tipos de fundações profundas utilizadas em silos metálicos de fundo plano, em um estudo de caso específico, analisando a viabilidade técnica e de custos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica para verificar se os sistemas de fundações existentes no mercado e que são adequados para serem utilizados em silos de fundo plano;
- Identificar as ações atuantes em um silo;
- Avaliar as informações do solo necessárias para a execução de um projeto de fundações através do relatório de sondagens;
- Identificar os fatores que influenciam na escolha do tipo de fundação;
- Revisar os métodos de cálculo para as fundações e calcular pelos métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Aoki e Velloso (1975) para realizar o comparativo;
- Desenvolver os projetos e analisar o comportamento estrutural;
- Elaborar os custos de cada uma das fundações;
- Verificar a viabilidade entre a situação proposta pelo trabalho e a desenvolvida em obra e qual das fundações oferece o melhor custo benefício.

1.2 Justificativa

O agronegócio é um dos setores que impulsiona a economia brasileira e que ano após ano atinge safras recordes. A produção de grãos é o grande destaque nesse cenário, já que vem melhorando seu desempenho de forma significativa, devido ao uso de tecnologias, tanto em máquinas e estudos de viabilidade, quanto na genética dos produtos. Em contrapartida a estrutura de armazenamento não acompanha essas evoluções e compromete esses avanços (SÉRVULO, 2012).

Segundo Souza (2018), devido a esse alto crescimento da produção de grãos no país, faz-se necessário a preocupação com a conservação do produto, sendo

necessário para a estocagem a construção de silos graneleiros. No entanto, destaca a preocupação com a construção desses silos, pois a maioria das patologias apresentadas nessas obras estão nas fundações, ocasionando recalques excessivos, trincas em vigas do anel e tuneis de descarga e infiltrações, podendo ainda impactar no funcionamento dos mecanismos de descarga e aeração.

Para a construção e implantação de silos, não existe uma norma brasileira designada para regulamentar o projeto e a construção das estruturas de fundação dos silos. De acordo com Calil e Cheung (2007), o número de trabalhos destinados a abordar a estrutura de fundações dos silos é reduzido e escasso. É importante compreender as fundações de qualquer estrutura, objetivando otimizar técnicas, racionalizar a construção, aumentar performance e desempenho e, conseqüentemente, reduzir prazos e custos.

Devido a esse *déficit* de armazéns no país e à demanda cada vez maior de espaços para armazenagem da produção de grãos, se faz necessário a conservação das estruturas já existentes, como também a construção de novos estabelecimentos.

Diante de situações de implantação cada vez mais complexas e nos mais diversos tipos de terreno, a engenharia de fundações passou a necessitar de tratamento cada vez mais técnico e preciso, apresentando soluções que muitas vezes definem a sua viabilidade. Contudo, em nosso país, a engenharia de fundações não recebe o tratamento científico adequado, baseando-se em correlações estabelecidas para determinadas regiões e suas particularidades, sendo extrapoladas para outras condições, em alguns casos, de maneira negligente (VELOSO; LOPES, 2004).

Sendo assim, pretende-se aplicar as referidas correlações e métodos para dimensionar e comparar fundações para o silo em estudo, localizado no município de Chopinzinho-PR, servindo este projeto como um comparativo para profissionais da área. Ao final, apresentando a solução mais viável para o caso, o que pode ser entendido como a originalidade deste trabalho, uma vez que para um mesmo projeto serão sugeridas soluções diferentes de fundações, atendendo a NBR 6122 Projeto e execução de fundações (ABNT, 2019).

A viabilidade deste trabalho é assegurada, uma vez que para o desenvolvimento do mesmo serão necessários os projetos específicos para o estudo de caso, bem como a norma regulamentadora existente, que foram disponibilizados para o pesquisador, possibilitando que o estudo seja realizado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Silos de armazenamento

A definição da palavra silo tem origem grega “sirus”, que significa lugar escuro, similar a uma caverna. Atualmente, silos são apresentados como grandes depósitos para armazenar cereais, forragens, etc. Assim, neste trabalho, define-se silo como construção destinada a armazenar e conservar qualquer produto industrial ou agrícola. Segundo Calil Jr e Cheung (2007), o termo unidade ou conjunto de armazenagem engloba tanto o silo propriamente dito, como a máquina de transporte, conservação, beneficiamento e de mistura.

Silos são fundamentais para o armazenamento de produtos agrícolas e industriais e ainda não existe uma norma brasileira para regulamentar o projeto e a construção dessas estruturas. São escassos os trabalhos nacionais que tratam o assunto do ponto de vista estrutural, abordando principalmente as ações induzidas pelos produtos (CALIL JR; CHEUNG, 2007).

2.1.1 Tipos de silos

Para Calil e Cheung (2007), as principais classificações dos silos podem ser feitas de acordo com o material estrutural aplicado, quanto a construção em relação ao solo e, também pela geometria do silo.

São construídos com os mais diversos tipos de materiais, como concreto armado, concreto protendido, chapas metálicas (lisas, corrugadas e trapezoidais), madeira, alvenaria, argamassa armada, fibras, plásticos e outros. O autor complementa que quanto à construção em relação ao solo, pode-se dividir em 4 grupos:

- Silos elevados ou aéreos: são caracterizados por serem construídos acima do nível do solo conforme Figura 1:

Figura 1: Silo elevado



Fonte: Kepler Weber, 2022

- Silos planos: são caracterizados por sua base ser construída no nível do solo, conforme Figura 2.

Figura 2: Silo de base plana



Fonte: Kepler Weber, 2022

- Silos subterrâneos: são aqueles em que os compartimentos para a estocagem se localizam abaixo do nível do solo. São construções mais

simples que os silos elevados, porém são mais suscetíveis à infiltração de água e têm um esvaziamento mais difícil.

- Silos semi-subterrâneos: silos intermediários entre os silos elevados e silos subterrâneos, conforme Figura 3.

Figura 3: Silo semi-subterrâneo



Fonte: Cheung, 2007

Segundo Calil Jr e Cheung (2007), a geometria é outro fator de classificação dos silos, podendo ser divididos em:

- Silos esbeltos, são aqueles que possuem uma relação entre a altura (H) e o diâmetro (D) maior ou igual a 1,5.
- Silos baixos, são os que possuem uma relação entre a altura (H) e o diâmetro (D) menor que 1,5.
- Silos horizontais: são aqueles cuja dimensão longitudinal é predominante sobre as outras dimensões.

As normativas quanto á classificação do silo pela sua geometria variam de acordo com a localidade que ele se encontra. A Tabela 1 apresenta uma classificação de normas internacionais quanto a esbeltez do silo.

Tabela 1: Classificação dos silos quanto à esbeltez

NORMA	BAIXOS	CLASSIFICAÇÃO MEDIANAMENTE ESBELTOS	ESBELTOS
Australiana AS3774:1996	$H/D < 1,0$	$1,0 \leq H/D \leq 3,0$	$H/D > 3,0$
Europeias PrEN 1991-4:2003 (Draft) DIN 1055-03:2005	$0,4 \leq H/D \leq 1,0$	$1,0 \leq H/D \leq 2,0$	$H/D > 2,0$
Americanas ACI-313:1991 ANSI/ASAE EPA33:2001	$H/D < 2,0$	-	$H/D > 2,0$
Canadense CFBC:1983	$H/D \leq 1$ ou $H/D < \tan^2(\phi_e/2 + \pi/4)$	-	$H/D > 1$ ou $H/D \geq \tan^2(\phi_e/2 + \pi/4)$

Fonte: Calil Jr e Cheung, 2007

Calil Jr e Cheung (2007) explica que, quanto à entrada de ar, os silos são classificados em:

- Herméticos: silos que possuem um impedimento entre a troca de ar do interior da célula com o exterior.
- Não - herméticos: silos que permitem a troca de ar com o exterior.

2.1.2 Elementos constituintes em silos metálicos de fundo plano

Segundo Sérvulo (20132), silos de fundo plano tem como sua principal característica baixo custo por tonelada armazenada, sendo a opção preferível para armazenagem para longos períodos. Além dos projetos dos silos geralmente possibilitarem ampliações verticais, otimizando a sua utilização.

De acordo com Lubeck et al. (2015), Silos Metálicos de fundo plano são estruturas relativamente esguias, pois possuem uma área de diâmetro pequena em comparação com a sua altura. Com isso, grandes esforços axiais são produzidos na base da estrutura, devido ao peso do material a granel e ao da própria estrutura.

2.1.3 Fundação de um silo metálico de fundo plano

Segundo Velloso e Lopes (2012), para o desenvolvimento de um projeto de fundação satisfatório, são necessárias algumas informações, tais como: a topografia da área, dados sobre taludes, encostas e a geomorfologia do local. Além da investigação do subsolo, mapas e fotos aéreas.

Sobre a obra a construir, são necessárias informações sobre a ocupação, sistema estrutural, sistema construtivo que será utilizado e as cargas que resultarão em esforços nas fundações (VELLOSO; LOPES,2012).

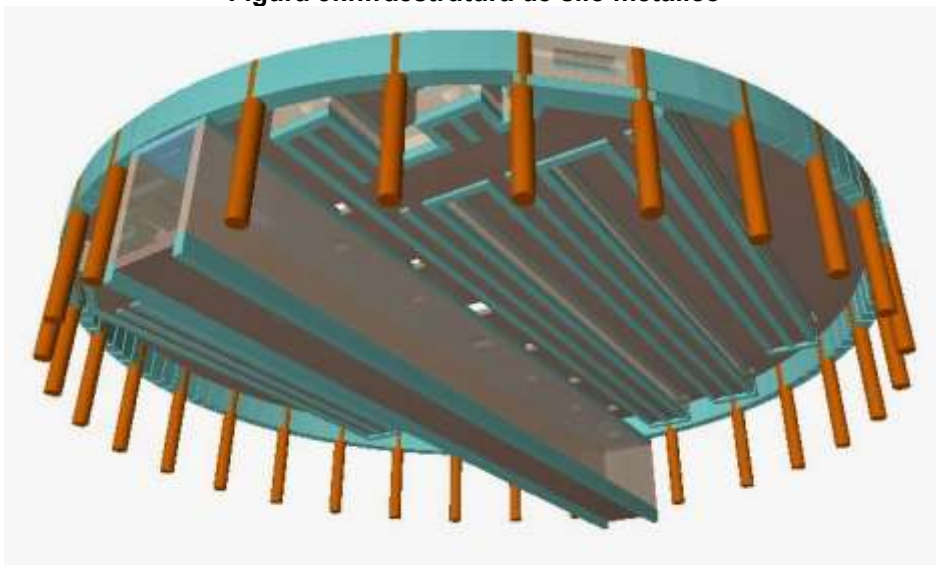
Segundo Fortes Filho (1985), o projeto de silos é dividido entre superestrutura, que abrange a parte metálica, que é o do corpo do silo e telhado, conforme Figura 4, e da infraestrutura que é constituído da base e fundação, conforme Figura 5, sendo esta definida de acordo com o tipo de solo, mas comumente utiliza-se estacas, viga anel, canaletas de aeração e laje.

Figura 4:Superestrutura de silos metálicos



Fonte: Kepler Weber, 2022

Figura 5:Infraestrutura de silo metálico



Fonte: Marquez, 2014

2.2 Investigações geológicas e geotécnicas

Segundo Tavares (2014), a investigação geotécnica é vital para todos os projetos de fundações, para a determinação dos métodos de cálculo, dos coeficientes de segurança, das cargas de ruptura e admissíveis, além de influenciar diretamente na qualidade das fundações e identificar parâmetros e análises futuras.

O reconhecimento do solo pode ser feito por ensaios *in situ*, amplamente utilizado, ou por análises de amostras de solo em laboratório.

Segundo Veloso (2010) os principais meios de investigação do solo são:

- a) poços e trincheiras;
- b) sondagens a trado;
- c) sondagem a percussão com SPT;
- d) sondagens rotativas;
- e) sondagens mistas;
- f) ensaio de cone (CPT);

A NBR 8036 - Programa de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações (ABNT, 1983), fixa as condições exigidas na programação de sondagens de simples reconhecimento do solo, descreve sobre o número de sondagens e sua localização em planta a depender do tipo da estrutura, de suas características e das condições geotécnicas.

Em resumo, a normativa NBR 8036 (ABNT, 1983) estabelece os seguintes critérios para o número de furos de sondagens em função da área de projeção da edificação, conforme Tabela 2

Tabela 2: Quantidade de furos em função da área

Área (m ²)	Furos (m)
Menor que 200	2
200 a 400	3
400 a 600	3
600 a 800	4
800 a 1000	5
1000 a 1200	6
1200 a 1600	7
1600 a 2000	8
2000 a 2400	9
Maior que 2400	"Plano particular da construção"

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 8036 (1983)

Atualmente a sondagem SPT é a mais utilizada em obras no Brasil, por ter um baixo custo de execução, equipamentos de fácil manuseio e transporte, e por fornecer dados suficientemente satisfatórios para a elaboração e execução de um projeto de fundações (SENA, 2016)

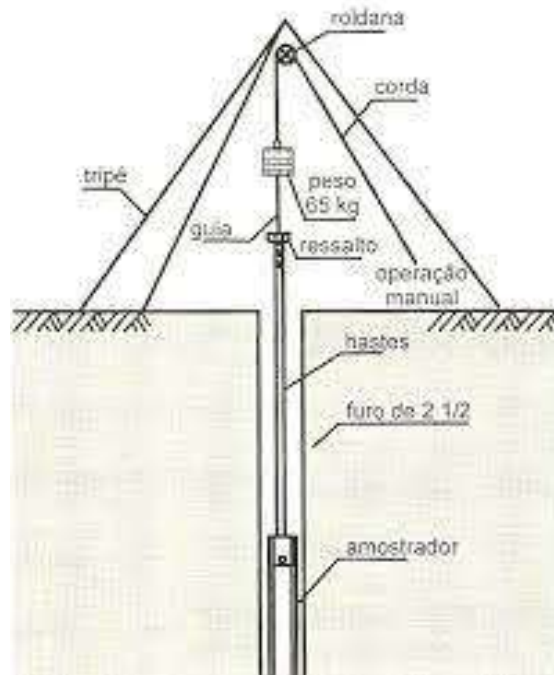
2.2.1 Ensaio SPT – *standart penetretion test*

Segundo a NBR 6484 - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio - (ABNT, 2020) ao realizar uma sondagem objetiva-se conhecer:

- o tipo de solo atravessado com a retirada de uma amostra deformada a cada metro perfurado;
- a resistência (N) oferecida pelo solo à cravação do amostrador-padrão a cada metro perfurado;
- A posição do nível d'água.

O processo descrito pela NBR 6484 (ABNT, 2020) inicia-se com a perfuração a trado do solo a uma profundidade de 1 metro. Após isso, posiciona-se o amostrador padrão e a cabeça de bater que recebe o impacto do martelo que, um peso de 65kg é solto a uma altura de 75cm. Anota-se os números de golpes necessários para cravar em 45 cm iniciais do metro, parcelados de 15 em 15 cm. Em seguida retira-se as amostras de solo deformáveis, e com o trado é escavado os 55 cm restantes para se completar o metro. Este processo é repetido em cada camada de um metro de solo até não haver mais perfurações do solo com a sonda. O Índice de Resistência à Penetração do Solo – NSPT, é o somatório dos golpes referente à cravação do amostrador nos 30 cm finais de cada metro. A Figura 6 demonstra o esquema de uma sondagem a percussão SPT (*Standard Penetretion Test*) manual, e a Figura 7 uma máquina de sondagem mecanizada.

Figura 6: Esquema de sondagem SPT manual



Fonte: Schnaid, 2000

Figura 7: Máquina de sondagem mecanizada



Fonte: Autoria própria, 2022

Após a finalização da cravação dos 45 centímetros é retirado o amostrador padrão e feito a coleta do material solo, posteriormente feita a análise-tátil visual. A Figura 8 mostra o solo após a retirada da sonda, com o material aguardando para ser coletado.

Figura 8: Amostrador padrão com solo coletado



Fonte: Autoria própria, 2022

A cravação prossegue até os limites especificados pela NBR 6484 (ABNT, 2020), conforme critérios abaixo:

- a) quando qualquer das três parcelas de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
- b) não for observado o avanço do amostrador padrão na aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo;
- c) quando durante a cravação, 50 golpes terem sido aplicados.

Sendo considerado assim, como impenetrável à percussão.

A Tabela 3 da NBR 6484 (ABNT, 2020) destaca os estados de compacidade e consistência de acordo com o índice de resistência e penetração.

Tabela 3: Estado de compactidade e resistência

Solo	Índice de resistência à penetração <i>N</i>	Designação ^a
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	Dura(o)

^a As expressões empregadas para a designação da compactidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.

Fonte: ABNT NBR 6484 (ABNT, 2020)

2.3 Fundações

2.3.1 Definição

O termo fundação é utilizado para designar a parte de uma estrutura que transmite ao terreno seu próprio peso, o peso da superestrutura e qualquer outra força que atue sobre ela. A fundação é o elemento de ligação entre a superestrutura e o solo, o qual deve suportar as cargas atuantes, e distribuí-las sobre a superfície na qual se apoia. Esta distribuição não deve gerar tensões que possam provocar ruptura na massa do solo subjacente, bem como inclinações e recalques significativos ao conjunto estrutural (ANDRADE, 2003).

De acordo com a NBR 6122, as fundações são divididas em duas categorias: as fundações diretas ou superficiais e as fundações profundas (ABNT, 2019).

2.3.2 Fundações superficiais ou diretas

Conforme Azeredo (1977) fundações diretas são aquelas que transmitem diretamente para o solo as cargas provenientes da estrutura, sendo uma solução de menor custo.

São exemplos das fundações diretas, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019):

- sapata: elemento de concreto armado, calculado para que as tensões de tração sejam resistidas com o emprego de armaduras;
- bloco: elemento de concreto não armado, calculado para que as tensões sejam absorvidas pelo próprio concreto;
- radier: elemento de fundação que reúne todos os pilares em único elemento estrutural.

2.3.3 Fundações profundas

Segundo a 6122 (ABNT, 2019), fundações profundas são caracterizadas pela transmissão de cargas da edificação por meio da base (resistência de ponta), pela lateral (resistência de fuste), ou pela combinação das duas. Sendo que a base deve estar localizada em profundidades maiores que o dobro da sua menor dimensão em planta e com no mínimo 3,0 metros.

A NBR 6122 (ABNT, 2019) destaca que estacas são elementos de fundações executadas inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que haja a descida de operário.

Hoje existe no mercado uma grande variabilidade de estacas disponíveis como elemento de fundação, onde suas diferenças são classificadas principalmente pelo método executivo e pelo material constituinte (PORTO, 2015).

Velloso e Lopes (2011) apresentam na Tabela 4 cada tipo de estaca classificando-a pelo método de execução:

Tabela 4: Tipos de fundação por método de execução

Tipo de execução	Estacas
De deslocamento	Grande (i) Madeira, (ii) pré-moldadas de concreto, (iii) tubos de aço de ponta fechada, (iv) tipo Franki, (v) microestacas injetadas
	Pequeno (i) Perfis de aço, (ii) tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação), (iii) estacas hélice especiais (“estacas hélice de deslocamento”)
Sem deslocamento	(i) Escavadas com revestimento metálico perdido que avança à frente da escavação, (ii) estacas raiz
De substituição	(i) Escavadas sem revestimento ou com uso de lama, (ii) tipo Strauss, (iii) estacas hélice contínua em geral

Fonte: Velloso e Lopes, 2011

Conforme apresenta Marangon (2009) algumas informações sobre os métodos das estacas são importantes para a tomada de decisão em um projeto de fundação. A seguir será apresentado definições, vantagens e desvantagens de alguns tipos de estacas.

2.3.3.1 Estacas Escavadas

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal, são um tipo de estaca executada a partir de uma escavação prévia feita no terreno com um trado helicoidal mecânico, onde é feita a concretagem *in loco* posteriormente. Pelas características do processo executivo pode-se observar que este tipo de estaca está no grupo de estacas que não provocam descolamento do solo durante a sua execução.

A vantagem desta técnica consiste na grande mobilidade, versatilidade e produtividade, além do fato de não produzir qualquer tipo de vibração no terreno, e permitir a amostragem do solo escavado. Entretanto, a sua utilização restringe-se a execução de fundações em profundidades acima do nível d'água, e em solos coesivos (MARANGON, 2009).

As perfuratrizes para estacas escavadas são geralmente montadas em caminhões ou sobre esteiras, conforme Figura 9, equipamentos que aumentam significativamente a produtividade.

Figura 9:Perfuratriz para estacas escavadas



Fonte: Aatoria própria, 2022

2.3.3.2 Estacas hélice contínua

Tipo de fundação profunda constituída por concreto moldado *in loco*, executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto, sob pressão controlada, através da haste central do trado simultaneamente a sua retirada do terreno.

Dentre as principais vantagens deste tipo de estaca destacam-se a elevada produtividade, promovida pela versatilidade de equipamento, que por sua vez leva à economia devido à redução dos cronogramas de obra. Pode ser executada na maioria dos solos, exceto quando ocorrem matações e rochas. Não produz distúrbios e vibrações típicos dos equipamentos a percussão e tem um controle de qualidade dos serviços executados, além de não causar a descompressão do terreno durante a sua execução. Como desvantagens estão o porte do equipamento, que necessita de áreas planas e de fácil movimentação. Devido à sua produtividade exige uma central de

concreto disponível no canteiro de obras, e pelo seu elevado custo é necessário um número mínimo de estacas a se executar, que compense o custo com a mobilização do equipamento (MARANGON, 2009).

A Figura 10 abaixo, exemplifica a grandiosidade da perfuratriz que é utilizada para a realização da estaca hélice contínua.

Figura 10: Estacas hélice contínua



Fonte: Fungeo, 2022

2.3.3.3 Estacas pré-moldadas

As estacas pré-moldadas caracterizam-se por serem cravadas no terreno por percussão, prensagem ou vibração, podendo ser constituídas por um único elemento estrutural ou pela associação de dois desses materiais, quando será então denominada de estaca mista. Pela natureza do processo executivo este tipo de estacas é considerado de grande deslocamento. As estacas pré-moldadas são ainda subdivididas, conforme o material empregado na sua execução, em estacas de concreto, estacas de madeira, e estacas de aço. Uma das principais desvantagens do método das estacas pré-moldadas são as perturbações produzidas no solo durante o processo de cravação (MARANGON, 2009).

A cravação deve ser ajustada com todos os elementos que a constituem, para evitar qualquer dano às estacas durante a cravação. O bate-estaca se movimenta sobre rolos, pranchas ou esteiras, sendo composto por um chassi reforçado e torre rígida, conforme Figura 11, e sua altura deve ser compatível com as maiores estacas a serem cravadas (AZEVEDO; ARCELLO, 2014)

Figura 11: Bate estacas para cravação de estacas pré-moldadas



Fonte: Autoria própria, 2022

Segundo NBR-6122 (ABNT, 2019), o espaçamento mínimo entre estacas pode ser definido por 2,5 vezes o diâmetro para estacas pré-moldadas e 3,0 vezes o diâmetro para estacas moldadas *in loco*. Em ambos os casos, esse valor não pode ser inferior a 60 cm.

2.4 Métodos de cálculo da capacidade de carga de fundação profunda

Para conceituação da capacidade de carga, é importante a definição de conceitos de acordo com a normativa vigente, sendo:

- Carga admissível de uma estaca ou tubulão: máxima carga que, aplicada sobre a estaca ou sobre o tubulão isolados, atende, com fatores de segurança predeterminados, aos estados limites últimos

(ruptura) e de serviço (recalques, vibrações, etc). Nota: esta grandeza é utilizada no projeto quando se trabalha com valores característicos das ações (ABNT NBR 6122:2019);

- Carga de ruptura de uma fundação: carga que, se aplicada à fundação, provoca perda do equilíbrio estático ou deslocamento que comprometem sua segurança ou desempenho; corresponde à força resistente última (geotécnica) da fundação (ABNT NBR 6122:2019);
- Carga de trabalho das estacas: carga efetivamente atuante na estaca, em valores característicos; a tensão de trabalho da estaca corresponde à carga de trabalho dividida pela área da seção transversal (ABNT NBR 6122:2019)

Segundo Cintra e Aoki (2010), capacidade de carga (R) se trata do maior valor de resistência que o sistema solo estaca pode oferecer, podendo também ser chamado de condição de ruptura do sistema em termos geotécnicos. Para o entendimento físico da capacidade de carga, considera-se que o sistema exerce resistência em duas partes, a resistência por atrito lateral (R_L) e a resistência de ponta (R_p). Portanto, a equação da capacidade de carga se dá pela equação 1:

$$R = R_L + R_p \quad \text{Equação 1}$$

A parcela de carga que é resistida pela ponta (R_p) pode ser obtida pela multiplicação da resistência da ponta, em tensão (r_p), pela área da ponta do elemento (A_p), equação 2:

$$R_p = r_p * A_p \quad \text{Equação 2}$$

A parcela de carga resistida pelo atrito lateral (R_L) pode ser obtido pelo somatório das forças resistentes em cada segmento da estaca (equação 3):

$$R_L = U \sum r_L * \Delta_L \quad \text{Equação 3}$$

Onde, U é o perímetro da estaca

Logo, o equacionamento da capacidade de carga com adição das duas equações se dá pela equação 4:

$$R = U \sum (r_L * \Delta_L) + r_p * A_p \quad \text{Equação 4}$$

2.4.1 Métodos semiempíricos

Os métodos semiempíricos são correlações consideradas para cálculo da carga admissível a partir de resultados de ensaios *in situ*, em que, no Brasil, predominam os métodos relacionados ao ensaio SPT.

2.4.1.1 Método Décourt e Quaresma

O método de Décourt e Quaresma (1978) sugere obter os valores de tensão de adesão ou atrito lateral (r_L) e resistência da ponta (r_p), que irão compor as parcelas de resistência (R_L e R_p) da capacidade de carga (R) de uma estaca de fundação, expressas pelas equações 05 e 06, respectivamente.

Para estimar o valor do atrito lateral, utiliza-se o valor médio do índice de resistência à penetração por percussão do ensaio de SPT ao longo do fuste (N_L), sem fazer distinção dos tipos de solo, sendo que N_L deve apresentar valor entre 3 e 15, e para estacas de deslocamentos e estacas escavadas com bentonita o limite superior é de $N_L=50$, exceto para estacas Strauss e tubulões a céu aberto. A representação para equação de atrito lateral é dada pela equação 5:

$$r_L = 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad \text{Equação 5}$$

Para calcular o valor de resistência de ponta, (r_p) é estimado pela equação 6, sendo que neste caso não há limite para o valor à resistência a penetração com SPT (N_p).

$$r_p = C * N_p$$

Equação 6

Onde que:

N_p é o valor médio da penetração na ponta da estaca, obtido a partir de três valores, que são o correspondente ao nível da ponta ou base, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior.

C é o coeficiente característico do solo, obtido na tabela 05.

Tabela 5: Coeficiente característico do solo C

Tipo de solo	C (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: Adaptado, CINTRA 2010.

Para a capacidade de carga sugerida por Décourt e Quaresma introduz os fatores α e β (Tabela 06 e 07) para as parcelas de resistência de ponta e lateral, respectivamente. Os valores de α e β são iguais a 1 para as estacas pré-moldadas, metálicas e do tipo Franki.

Tabela 6: Valor de α em função do tipo de estaca e tipo de solo

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argila	0,85	0,85	0,3	0,85	1,0
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1,0
Areias	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0

Fonte: Adaptado, Décourt, 1996.

Tabela 7: Valores de β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (betonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argila	0,8	0,9	1,0	1,5	3,0
Solos intermediários	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0
Areias	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0

Fonte: Adaptado, Décourt, 1996.

Com isso, realizando-se as substituições das equações (5) e (6) na equação (4), tem-se a equação 7 para o método de Décourt-Quaresma.

$$R = \alpha * C * N_p * A_p + \beta 10 \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) U L \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

C = Coeficiente característico do solo;

N_p = Média do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, composto por três valores (nível da ponta ou base, nível anterior e nível superior);

α = Valor em função do tipo de estaca e solo;

β = Valor em função do tipo de estaca e solo;

A_p = Área da ponta da estaca;

N_L = Valor médio do índice de resistência a penetração do SPT ao longo do fuste;

U = Perímetro da estaca;

L = Comprimento da estaca.

Para Décourt e Quaresma (1978), a resistência admissível (equação 8) deve ter seu valor dividido por um fator de segurança igual a 4 para a resistência de ponta e de 1,3 para a resistência lateral.

$$R_{adm} = \frac{R_p}{F.S.p} + \frac{R_L}{F.S.L} = \frac{R_p}{4} + \frac{R_L}{1,3} \quad \text{Equação 8}$$

2.4.1.2 Método Aoki e Velloso

Para a capacidade de carga das estacas, por meio do ensaio SPT, tem-se como a soma advinda da resistência de ponta e resistência lateral, a partir das seguintes equações 9 e 10:

$$R = r_p * A_p + U * \sum (r_L * \Delta_L) \quad \text{Equação 9}$$

$$r_p = \frac{K * N_{SPT}}{F_1} \quad \text{Equação 10}$$

$$r_L = \frac{\alpha * K * N_L}{F_2} \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

K = Coeficiente de correlação (Tabela 9);

N_{SPT} = Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca;

A_p = Área da ponta da estaca;

F_1 e F_2 = Fatores de correção que levam em conta o efeito escala (Tabela 8);

α = Razão de atrito com a camada (Tabela 9);

N_L = Índice de resistência à penetração médio na camada de solo da espessura Δ_L ;

Δ_L = Comprimento da estaca;

U = Perímetro da estaca.

Para a consulta dos valores de N_{SPT} e N_L , tem-se a necessidade dos resultados de sondagens de simples reconhecimento feita em campo. E, para os fatores F_1 , F_2 , K e α tem-se as Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Fatores de correção F1 e F2

Tipo de estaca	F_1	F_2
Pré-moldada	1,75	3,5
Escavada	3	6
Hélice contínua	2	4

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki, 2010.

Tabela 9: Coeficiente K em razão do atrito (α)

Tipo de solo	K (kgf/cm ²)	α (%)
Areia	10,00	1,40
Areia siltosa	8,00	2,00
Areia silto-argilosa	7,00	2,40
Areia argilosa	6,00	2,80
Areia argilo-siltosa	5,00	3,00
Silte	4,00	3,00
Silte arenoso	5,50	2,20
Silte areno-argiloso	4,50	2,80
Silte argiloso	2,30	3,40
Silte argilo-arenoso	2,50	3,00
Argila	2,00	6,00
Argila arenosa	3,50	2,40
Argila areno-siltosa	3,00	2,80
Argila siltosa	2,20	4,00
Argila silto-arenosa	3,30	3,00

1,0 MPa = 10 kgf/cm²

Fonte: Aoki e Velloso, 1975

Para atender a segurança, para o método de Aoki-Velloso, recomenda-se o cálculo da carga admissível (equação 12) dividindo por um fator de segurança (F.S) igual a 2.

$$R_{adm} = \frac{R}{F.S} = \frac{R_L + R_P}{2} \quad \text{Equação 12}$$

2.4.2 Carga admissível

Carga admissível (P_a) (equação 13) é a razão entre a capacidade carga das estacas (R) e o fator de segurança global (F_s).

$$P_a = \frac{R}{F_s} \quad \text{Equação 13}$$

A NBR 6122 (ABNT, 2014) estabelece que o fator de segurança F_s para determinação da carga admissível deve ser igual a 2. A norma ainda recomenda que, para estacas escavadas, no máximo 20% da carga admissível seja suportada pela ponta da estaca, e no mínimo 80% para a resistência lateral (equação 14).

$$R_L \geq 0,8 P_a \therefore P_a \leq 1,25 R_L \quad \text{Equação 14}$$

Aoki e Velloso (1975) adotam o mesmo valor normatizado de 2. Décourt e Quaresma (1978) adota valores diferentes para ponta e atrito (equação 15).

$$P_a = \frac{R_p}{4} + \frac{R_l}{1,3} \quad \text{Equação 15}$$

Teixeira (1996) adota como fator de segurança o 2, exceto para estacas escavadas a céu aberto, pra qual adota a equação 16.

$$P_a = \frac{R_p}{4} + \frac{R_l}{1,5} \quad \text{Equação 16}$$

2.4.3 Carga de catálogo

Carga de catálogo (P_e) é a carga suportada pelo elemento estrutural, estaca, sem levar em consideração o aspecto geotécnico. Esse valor de carga leva em consideração a tensão admissível do material (σ_e) e área transversal do fuste. Conhecendo os dois valores P_a e P_e , devemos adotar o menor deles para garantir segurança ao elemento mais fraco, seja o elemento geotécnico ou elemento estrutural estaca. Usualmente, na prática de projetos, a carga de catálogo é definida primeiro, e ela passa a representar o limite superior para a carga admissível da fundação (equação 17).

$$P_a \leq P_e \quad \text{Equação 17}$$

3. METODOLOGIA

Nessa seção são descritos os procedimentos metodológicos utilizados e a classificação da pesquisa para o desenvolvimento e elaboração desse trabalho. O estudo proposto visa realizar uma análise comparativa de estacas em fundações profundas utilizadas em silos, a fim de verificar a viabilidade técnica e de custos.

Sendo assim, o estudo de caso será sobre um silo de estrutura metálica com base plana. Os carregamentos atuantes na base e fundação foram os especificados pela empresa fabricante do silo metálico.

Através do ensaio SPT estudar o tipo de solo onde o silo foi estabelecido e assim realizar o dimensionamento da fundação.

3.1 Delineamento da pesquisa

A classificação dessa pesquisa quanto aos objetivos propostos se caracteriza como exploratória, pois envolve pesquisa bibliográfica e estudo de caso, a qual segundo Gil (2002), tem como principal objetivo tornar o problema mais explícito, assim como o aprimoramento de ideias e a construção de hipóteses. Além disso, como o trabalho realiza o comparativo entre dois diferentes tipos de estacas para um mesmo projeto, também pode ser caracterizado como uma pesquisa descritiva, pois faz a descrição de características e estabelece relações entre variáveis.

Com relação aos procedimentos técnicos adotados, determinou-se para este trabalho a utilização da pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso, sendo desenvolvido com base em materiais já elaborados, como estudos acadêmicos, livros e normas, e conta também com laudos de sondagens e um projeto original como base. Quanto a abordagem, Fachin (2001) descreve pode ser classificada quanto a categoria em qualitativa e quantitativa, como serão realizadas análises e quantificação de dados, além da correlação deles com problemas encontrados, pode-se caracterizá-la como uma pesquisa quantitativa-qualitativa.

3.2 Estudo de caso

O estudo de caso, segundo Gil (2002), consiste no estudo de um elemento, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. O mesmo foi dividido

basicamente em três etapas, sendo elas, a avaliação das condições do projeto executado, seguida da identificação das necessidades de readequação, e pôr fim a análise e comparação com o projeto executado.

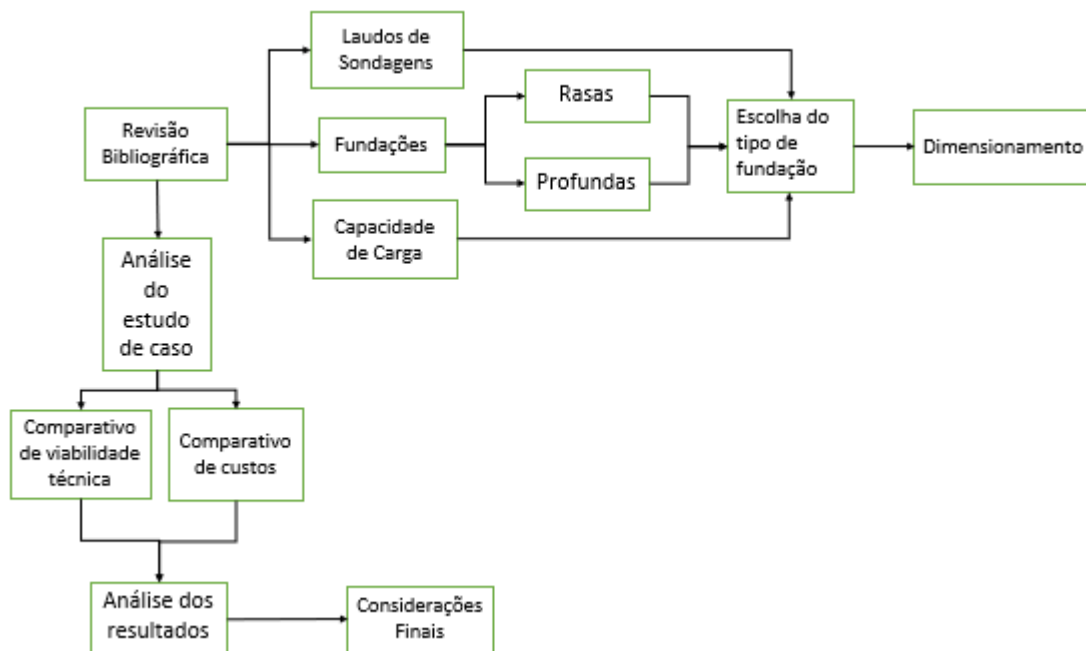
O objeto de estudo é localizado no município de Chopinzinho, região sudoeste do Estado do Paraná.

3.3 Etapas da pesquisa

A partir da análise dos dados obtidos do projeto em estudo, juntamente com o material bibliográfico levantado, será possível comparar o que foi executado, e o que preconiza as normas e as bibliografias.

Para melhor organização e uma maior exemplificação das etapas realizadas nesse trabalho, foi elaborado um fluxograma, que demonstra o caminho percorrido para a obtenção dos objetivos propostos e estão representadas através da Figura 12.

Figura 12: Fluxograma



Fonte: Aatoria Própria, 2021

Primeiramente, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca dos objetivos da pesquisa, como fundações, tipos de fundações, métodos de dimensionamento e tomada de decisão para a escolha da fundação. Posteriormente, a análise das forças solicitantes na base do silo e na viga anel, e a elaboração do projeto. Sendo

dimensionados dois tipos de estacas: Estaca escavada e estaca pré-moldada cravada e a análise comparativa com o executado em estaca hélice contínua.

Para realização dos cálculos foram utilizados os métodos de Décourt e Quaresma (1978) e Aoki e Velloso (1975), optando sempre pelo mais conservador. E, ao final, foram comparados tecnicamente e economicamente os tipos de fundações, concluindo qual é o método mais adequado para o empreendimento escolhido.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição do silo e dados estruturais

O presente estudo de caso conta com um sistema de silo de armazenagem que foi construído na cidade de Chopinzinho - PR. O projeto da estrutura metálica foi fornecido pela empresa Mercosilos. A empresa atua há 22 anos no segmento agroindustrial, desenvolvendo soluções completas de movimentação e armazenagem de grãos. Seu portfólio de produtos é composto por silos metálicos, conforme ilustra Figura 13, transportadores de grãos, secadores, máquinas de limpeza, estruturas metálicas, entre outros produtos, também desenvolve o projeto executivo das unidades (MERCOSILOS, 2022).

Figura 13:Obra de armazenagem da Mercosilos



Fonte: Mercosilos, 2022.

O modelo do silo plano da Mercosilos é o SA 1818, possuindo 18 anéis, com um diâmetro central de 18,33 metros e altura total de 26,46 metros. Sua capacidade de armazenagem é de 76.175 sacas (para peso específico de 750kg/m^3) - é considerada uma compactação de 5% para este volume, conforme especificado na Tabela 10.

Tabela 10: Capacidade de carga para silo modelo 1818

Tabela de cargas			
MODELO	Nº DE ANÉIS	CAPACIDADE (TON)	CAPACIDADE (SACAS)
1808	8	2.140	37.448
1809	9	2.361	41.321
1810	10	2.582	45.193
1811	11	2.804	49.066
1812	12	3.025	52.939
1813	13	3.246	56.812
1814	14	3.468	60.684
1815	15	3.689	64.557
1816	16	3.910	68.430
1817	17	4.132	72.303
1818	18	4.353	76.175

Fonte: Mercosilos, 2022

O projeto cedido gentilmente pela empresa Mercosilos (Anexo A), além de apresentar as dimensões necessárias para a base do silo também exemplificam a quantidade de montantes e a carga por montante, que são responsáveis por transmitir as cargas para a viga anel, conforme Figura 14. E também trazem notas pertinentes sobre a execução do silo.

Figura 14: Detalhe da viga anel

Fonte: Mercosilos, 2022

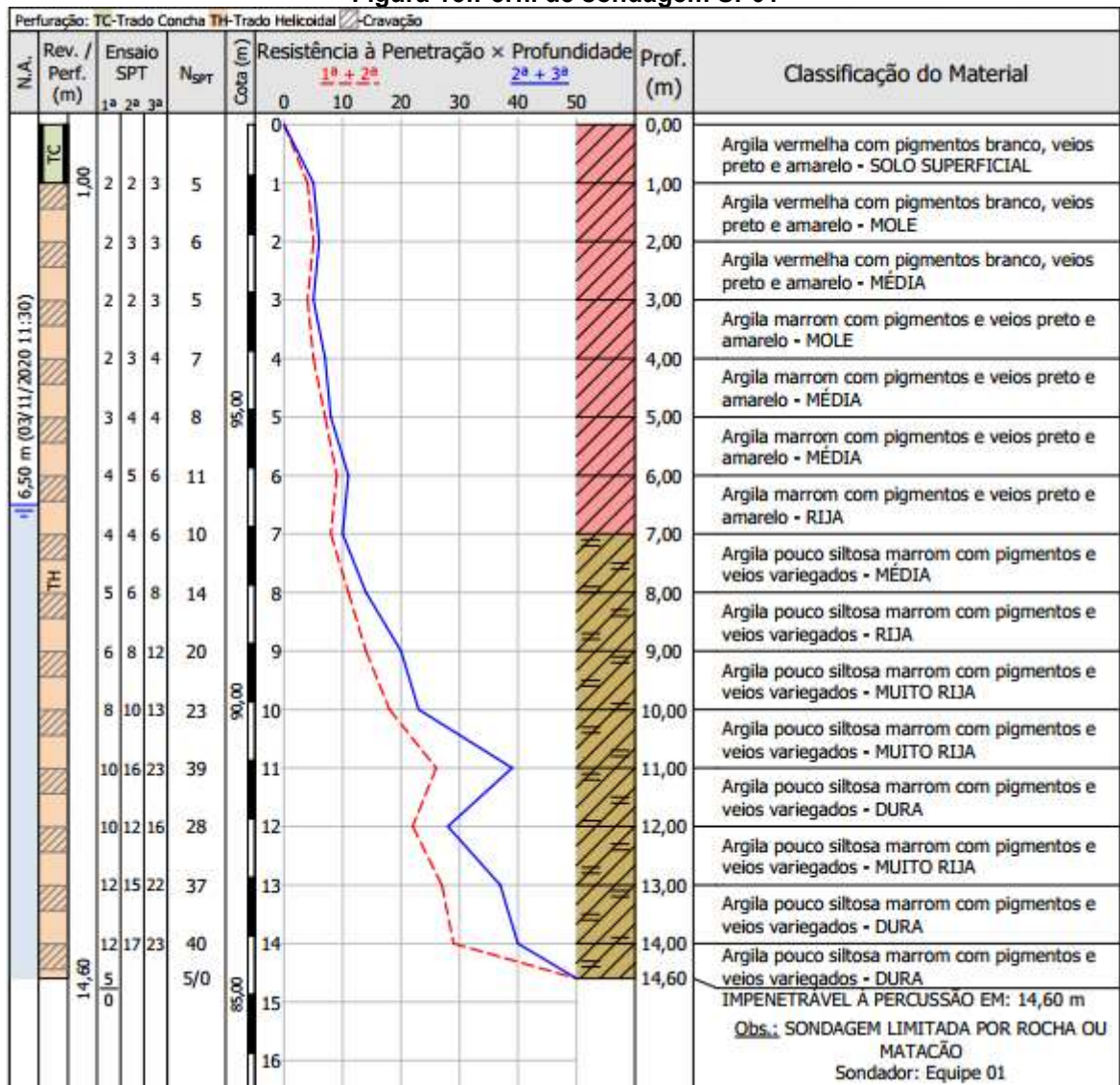
Assim objetiva-se dimensionar as estacas da viga do anel, sendo considerada uma estaca por montante, somando-se a carga dos montantes e o peso próprio da viga do anel. Além de dimensionar as estacas da base do silo.

4.2 Análise do perfil geotécnico

O terreno onde foi implantado o silo está localizado no município de Chopinzinho - PR. Foi realizada sondagem a percussão do tipo SPT, antes do início da obra, conforme a norma NBR 6484 (ABNT, 2020), realizando-se dois furos de sondagem para a área a ser construída, de aproximadamente 260 m², definido pelo engenheiro responsável.

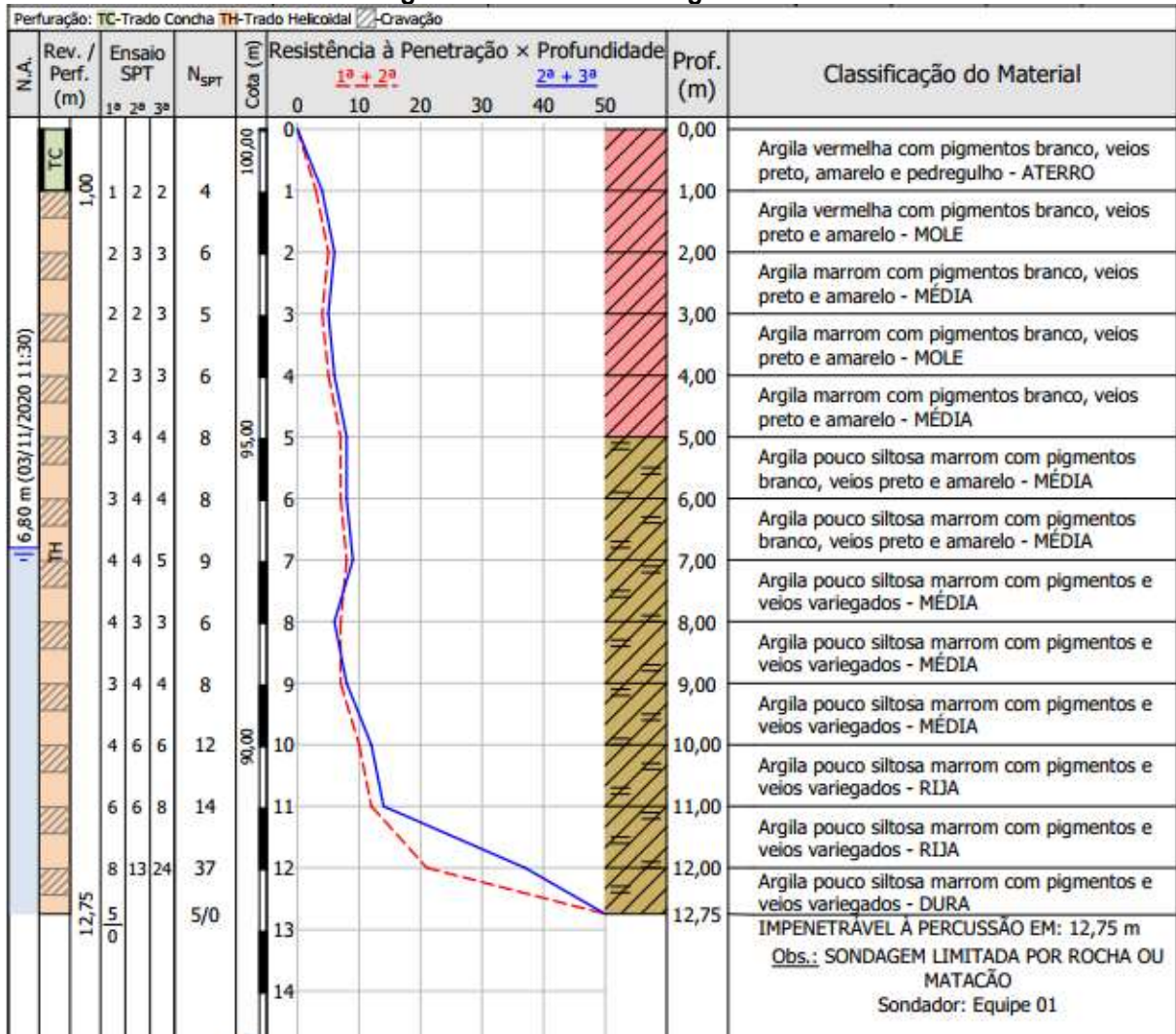
Os perfis de sondagem são apresentados nas Figura 15 e Figura 16. O solo apresenta um aumento gradativo de resistência a partir da cota de 9 metros, o material é classificado pela análise tátil-visual como uma argila pouco siltosa com pigmentos e veios variegados. A consistência do material varia de muito rija a dura nas maiores profundidades. A partir da profundidade de 14 metros na primeira sondagem e 12 metros na segunda sondagem, o solo apresenta elevada resistência, ocorrendo a paralisação da sondagem e declarando o impenetrável à percussão.

Figura 15: Perfil de sondagem SP01



Fonte: Ventana Fundações, 2020

Figura 16: Perfil de sondagem SP02



Fonte: Ventana Fundações, 2020

O laudo de sondagem também apresentou solo com nível d’água a uma profundidade de 6,50 metros na primeira sondagem e 6,80 metros na segunda sondagem, o que inviabiliza os métodos de fundações onde a presença de água no solo é prejudicial, como por exemplo o método de estacas Strauss e estaca Franki. O relatório não identificou a presença de matações e pedregulhos no solo, dispensando assim a utilização de equipamento de detonação, facilitando o uso do método de fundações profunda.

O terreno está localizado em uma área aberta, plana e de fácil acesso de equipamentos de grande porte.

A empresa Ventana Fundações, com sede na cidade de Pato Branco – PR, realizou dois furos de sondagem SPT. Para análise dos resultados, foram expressos na Tabela 11, dos ensaios de sondagem, destacando os valores de NSPT’s médio e NSPT’s mínimos.

Tabela 11: Adaptado de boletins de sondagem (Figura 15 e 16)

RELATÓRIO DE SONDAAGEM				
Prof.	SP01	SP02	NSPT MEDIO	NSPT MIN
1	5	4	4,5	4,0
2	6	6	6,0	6,0
3	5	5	5,0	5,0
4	7	6	6,5	6,0
5	8	8	8,0	8,0
6	11	8	9,5	8,0
7	10	9	9,5	9,0
8	14	6	10,0	6,0
9	20	8	14,0	8,0
10	23	12	17,5	12,0
11	39	14	26,5	14,0
12	28	37	32,5	28,0
13	37		37,0	37,0
14	40		40,0	40,0

Fonte: Aatoria Própria, 2022

Os NSPT's médios e mínimos foram limitados na menor profundidade que apontava o impenetrável.

Apesar da grande variabilidade de métodos de fundações existentes, após a análise do relatório de sondagem observa-se que alguns métodos são inviáveis, seja pela presença de lençol freático, tipo do solo ou por serem ineficientes neste determinado tipo de solo e empreendimento.

O presente estudo de caso analisado fez o uso de fundação de hélice contínua, sendo assim, será adotado para o dimensionamento e comparativo à estaca escavada por trado helicoidal mecanizada e estaca pré-fabricada cravada, as quais atendem todos os pré-requisitos mínimos para o projeto de fundação, e são comumente utilizadas para obras de silo.

4.3 Cálculo da capacidade de carga das estacas

A capacidade de carga das estacas do silo foi estimada pelos métodos semiempíricos de Décourt e Quaresma (1978) e de Aoki e Velloso (1975), adotando sempre o mais conservador, visando a segurança. Devido à falta de parâmetros adequados, os métodos foram aplicados para as estacas do anel, túnel e canais de aeração de maneira distinta, já que as estacas estão em cotas de assentamento diferentes.

No projeto analisado no presente estudo de caso, o projetista optou por considerar cargas homogêneas para a viga anel, de 46 toneladas em cada um dos 40 montantes que descarregam em cada estaca na viga anel; para a base do silo carga

de 30 toneladas para cada uma das 22 estacas do túnel, e para os canais de aeração carga de 16 toneladas para cada uma das 54 estacas, conforme projeto de locação em Anexo B.

Para realizar os cálculos da capacidade de carga das estacas foram utilizadas planilhas eletrônicas, desenvolvidas e gentilmente cedida pelo Engenheiro Civil Carlos Eduardo Narloch (2022).

4.4 Dimensionamento estaca de concreto pré-fabricado

Para os cálculos do dimensionamento da capacidade de carga das estacas pré-moldadas, foram utilizados o método de Aoki e Velloso, os valores de NSPT's médios e estaca pré-moldada quadrada de seção 30 x 30 cm, para as três diferentes cargas solicitadas pelo projeto, conforme Tabela 12:

Tabela 12: Dimensionamento da estaca pré-moldada de seção 30 x 30 pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotécnica em estacas			Tipo de estaca		Área(cm ²) Perímetro(cm)		
			Pré-moldada	Diametro(cm)			
			F1	1,38			
			F2	2,75			
			Aoki e Velloso				
Profundidade	NSPT	Solo	K	α	Rl(tf)	Rp(tf)	Radm(tf)
1,45	4,5	Argila	0,002	6,00%	0,0	5,9	2,9
2,45	6	Argila	0,002	6,00%	3,1	7,9	5,5
3,45	5	Argila	0,002	6,00%	5,8	6,5	6,2
4,45	6,5	Argila	0,002	6,00%	9,2	8,5	8,8
5,45	8	Argila	0,002	6,00%	13,4	10,5	11,9
6,45	9,5	Argila	0,002	6,00%	18,3	12,4	15,4
7,45	9,8	Argila siltosa	0,0022	4,00%	22,1	14,1	18,1
8,45	10	Argila siltosa	0,0022	4,00%	25,9	14,4	20,2
9,45	14	Argila siltosa	0,0022	4,00%	31,3	20,2	25,7
10,45	17,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	38,0	25,2	31,6
11,45	26,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	48,2	38,2	43,2
12,45	32,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	60,7	46,8	53,7

Fonte: Narloch, 2022

Para os cálculos de capacidade de carga das estacas da Tabela 13 foi utilizado o método de Décourt e Quaresma, os valores de NSPT's médios e estaca pré-moldada quadrada de seção 30 x 30 cm, para as três diferentes cargas solicitadas pelo projeto.

Tabela 13: Dimensionamento da estaca pré-moldada de seção 30 x 30 pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotécnica em estacas		900 120		<i>Decourt e Quaresma</i>					
Profundidade	NSPT	Solo							
			α	β	Rl	C(tf/cm2)	Rp(tf)	Radm(tf)	
1,45	4,5	Argila	1	1	0	0,0012	4,9	2,4	
2,45	6	Argila	1	1	3,6	0,0012	5,6	4,6	
3,45	5	Argila	1	1	6,8	0,0012	6,3	6,6	
4,45	6,5	Argila	1	1	10,6	0,0012	7,0	8,8	
5,45	8	Argila	1	1	15,0	0,0012	8,6	11,8	
6,45	9,5	Argila	1	1	20,0	0,0012	9,8	14,9	
7,45	9,8	Argila siltosa	1	1	25,1	0,0012	10,5	17,8	
8,45	10	Argila siltosa	1	1	30,3	0,0012	12,2	21,2	
9,45	14	Argila siltosa	1	1	37,1	0,0012	14,9	26,0	
10,45	17,5	Argila siltosa	1	1	45,3	0,0012	20,9	33,1	
11,45	26,5	Argila siltosa	1	1	57,1	0,0012	27,5	42,3	
12,45	32,5	Argila siltosa	1	1	71,3	0,0012	21,2	46,3	

Fonte: Narloch, 2022

Para os cálculos de capacidade de carga apresentados nas Tabelas 12 e 13, utilizando a capacidade de carga do método mais conservador, a profundidade da estaca pré-moldada de seção 30x30 que atende as solicitações da viga anel é na cota de 13 metros, para as estacas do túnel 11 metros, e para as estacas dos canais de aeração 8 metros.

4.5 Dimensionamento de estaca escavada

Para os cálculos do dimensionamento da capacidade de carga das estacas escavadas, apresentados na Tabela 14, foi utilizado o método de Aoki e Velloso, os valores de NSPT's médios e estaca escavada de 60 cm de diâmetro, para as três diferentes cargas solicitadas pelo projeto.

Tabela 14: Dimensionamento da estaca escavada de 60 cm de diâmetro pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotecnica em estacas		Tipo de estaca Escavada				Área(cm ²) Perímetro(cm)		
		Diametro(cm)						
		F1	3,00					
		F2	6,00					
<i>Aoki e Velloso</i>								
Profundidade	NSPT	Solo	K	α	Rl(tf)	Rp(tf)	Radm(tf)	
1,45	4,5	Argila	0,002	6,00%	0,0	8,5	4,2	
2,45	6	Argila	0,002	6,00%	2,3	11,3	6,8	
3,45	5	Argila	0,002	6,00%	4,1	9,4	6,8	
4,45	6,5	Argila	0,002	6,00%	6,6	12,2	9,4	
5,45	8	Argila	0,002	6,00%	9,6	15,1	12,3	
6,45	9,5	Argila	0,002	6,00%	13,2	17,9	15,5	
7,45	9,8	Argila siltosa	0,0022	4,00%	15,9	20,3	18,1	
8,45	10	Argila siltosa	0,0022	4,00%	18,7	20,7	19,7	
9,45	14	Argila siltosa	0,0022	4,00%	22,5	29,0	25,8	
10,45	17,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	27,4	36,3	31,8	
11,45	26,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	34,7	54,9	44,8	
12,45	32,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	43,7	67,4	55,5	

Fonte: Narloch, 2022

Para os cálculos de capacidade de carga das estacas, Tabela 15, foi utilizado o método de Décourt e Quaresma, os valores de NSPT's médios e estaca escavada de 60 cm de diâmetro, para as três diferentes cargas solicitadas pelo projeto.

Tabela 15: Dimensionamento da estaca escavada de 60 cm de diâmetro pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotecnica em estacas		2826 188,4		@carlosnarloch				
<i>Decourt e Quaresma</i>								
Profundidade	NSPT	Solo	α	β	Rl	C(tf/cm ²)	Rp(tf)	Radm(tf)
1,45	4,5	Argila	0,9	0,8	0	0,0012	13,0	6,5
2,45	6	Argila	0,9	0,8	4,5	0,0012	14,9	9,7
3,45	5	Argila	0,9	0,8	8,5	0,0012	16,8	12,7
4,45	6,5	Argila	0,9	0,8	13,3	0,0012	18,7	16,0
5,45	8	Argila	0,9	0,8	18,8	0,0012	23,1	21,0
6,45	9,5	Argila	0,9	0,8	25,1	0,0012	26,2	25,7
7,45	9,8	Argila siltosa	0,6	0,65	30,3	0,0012	19,9	25,1
8,45	10	Argila siltosa	0,6	0,65	35,7	0,0012	22,9	29,3
9,45	14	Argila siltosa	0,6	0,65	42,6	0,0012	28,1	35,4
10,45	17,5	Argila siltosa	0,6	0,65	51,0	0,0012	39,3	45,1
11,45	26,5	Argila siltosa	0,6	0,65	63,0	0,0012	51,9	57,4
12,45	32,5	Argila siltosa	0,6	0,65	77,5	0,0012	40,0	58,8

Fonte: Narloch, 2022

Para base de comparação e otimização do projeto foi realizado também os cálculos do dimensionamento da capacidade de carga das estacas escavadas, apresentados na Tabela 16, utilizando o método de Aoki e Velloso, e na Tabela 17 pelo método de Décourt e Quaresma, os valores de NSPT's médios e estaca escavada de 50 cm de diâmetro, para duas das cargas solicitadas pelo projeto.

Tabela 16: Dimensionamento da estaca escavada de 50 cm de diâmetro pelo método de Aoki e Velloso e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotécnica em estacas			Tipo de estaca Escavada		Área(cm ²) Perímetro(cm)		
			Diametro(cm) 50				
			F1 3,00				
			F2 6,00				
			Aoki e Velloso				
Profundidade	NSPT	Solo	K	α	Rl(tf)	Rp(tf)	Radm(tf)
1,45	4,5	Argila	0,002	6,00%	0,0	5,9	2,9
2,45	6	Argila	0,002	6,00%	1,9	7,9	4,9
3,45	5	Argila	0,002	6,00%	3,5	6,5	5,0
4,45	6,5	Argila	0,002	6,00%	5,5	8,5	7,0
5,45	8	Argila	0,002	6,00%	8,0	10,5	9,2
6,45	9,5	Argila	0,002	6,00%	11,0	12,4	11,7
7,45	9,8	Argila siltosa	0,0022	4,00%	13,2	14,1	13,7
8,45	10	Argila siltosa	0,0022	4,00%	15,5	14,4	15,0
9,45	14	Argila siltosa	0,0022	4,00%	18,8	20,1	19,5
10,45	17,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	22,8	25,2	24,0
11,45	26,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	28,9	38,1	33,5
12,45	32,5	Argila siltosa	0,0022	4,00%	36,4	46,8	41,6

Fonte: Narloch, 2022

Tabela 17: Dimensionamento da estaca escavada de 50 cm de diâmetro pelo método de Décourt e Quaresma e valores de NSPT's médios

Cálculo de capacidade de carga geotécnica em estacas			1962,5 157		@carlosnarloch			
			Decourt e Quaresma					
Profundidade	NSPT	Solo	α	β	Rl	C(tf/cm ²)	Rp(tf)	Radm(tf)
1,45	4,5	Argila	0,9	0,8	0	0,0012	9,0	4,5
2,45	6	Argila	0,9	0,8	3,8	0,0012	10,3	7,1
3,45	5	Argila	0,9	0,8	7,1	0,0012	11,7	9,4
4,45	6,5	Argila	0,9	0,8	11,1	0,0012	13,0	12,1
5,45	8	Argila	0,9	0,8	15,7	0,0012	16,0	15,9
6,45	9,5	Argila	0,9	0,8	20,9	0,0012	18,2	19,6
7,45	9,8	Argila siltosa	0,6	0,65	25,3	0,0012	13,8	19,5
8,45	10	Argila siltosa	0,6	0,65	29,7	0,0012	15,9	22,8
9,45	14	Argila siltosa	0,6	0,65	35,5	0,0012	19,5	27,5
10,45	17,5	Argila siltosa	0,6	0,65	42,5	0,0012	27,3	34,9
11,45	26,5	Argila siltosa	0,6	0,65	52,5	0,0012	36,0	44,3
12,45	32,5	Argila siltosa	0,6	0,65	64,6	0,0012	27,8	46,2

Fonte: Narloch, 2022

Para os cálculos de capacidade de carga apresentados nas Tabelas 14, 15, 16 e 17, utilizando a capacidade de carga do método mais conservador, a profundidade da estaca escavada que atende as solicitações da viga anel é a estaca de diâmetro de 60, assentada na cota de 13 metros. Para as estacas do túnel, após análise das cargas e visando otimizar o projeto, optou-se pela utilização da estaca de 50 cm de diâmetro e cota de assentamento da estaca em 12 metros. Por sua vez,

para as estacas dos canais de aeração, também se optou pela utilização de estacas de 50 cm de diâmetro, porém com cota de assentamento da estaca em 10 metros.

4.6 Análise dos resultados das estacas pré-moldadas

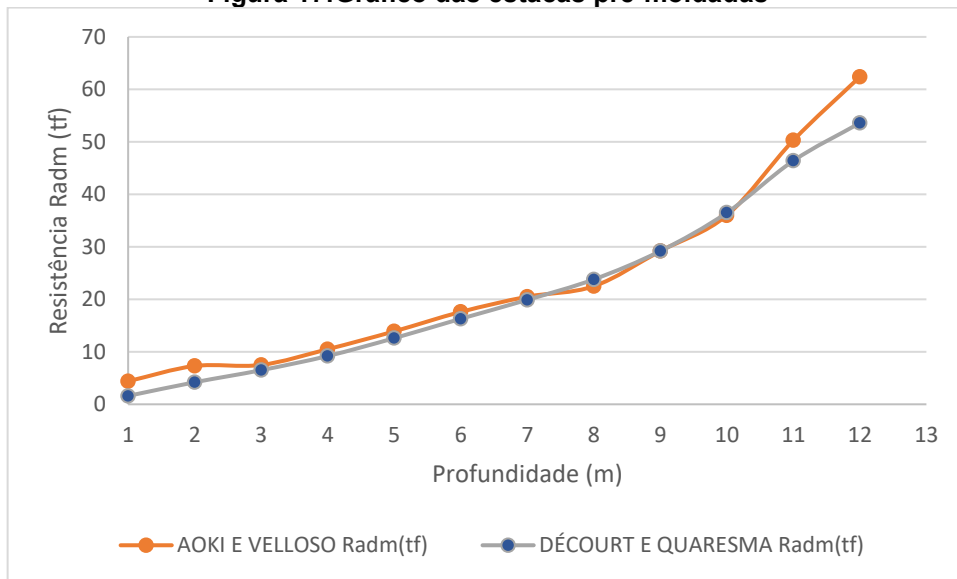
Para melhor análise e comparação de cada método utilizado no cálculo das estacas pré-moldadas, foi desenvolvido uma tabela e gráfico com o resultado obtido para as estacas.

A Tabela 18 e a Figura 17 apresentam os resultados obtidos pelos dois métodos utilizados para o dimensionamento das estacas pré-moldadas quadradas de seção 30x30.

Tabela 18: Comparativo de resultados das estacas pré-moldadas

COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA EM CADA MÉTODO			
TIPO DE ESTACA: PRÉ-MOLDADA			
LADO (cm): 30			
MÉTODOS		AOKI E VELOSO	DÉCOURT E QUARESMA
PROFUNDIDADE (m)	NSPT MÉDIO	Radm (tf)	Radm (tf)
1	4,5	4,4	1,6
2	6	7,3	4,2
3	5	7,5	6,5
4	6,5	10,5	9,2
5	8	13,9	12,6
6	9,5	17,6	16,3
7	9,8	20,5	19,9
8	10	22,5	23,8
9	14	29,2	29,2
10	17,5	36	36,5
11	26,5	50,3	46,4
12	32,5	62,4	53,6

Fonte: Autoria Própria, 2022

Figura 17: Gráfico das estacas pré-moldadas

Fonte: Autoria própria, 2022

As estacas pré-moldadas foram dimensionadas com uma seção de 30 x 30, para atender as cargas solicitadas pelo silo analisado, a profundidade necessária para as estacas da viga anel é de 13 metros, com consumo de concreto das 40 estacas de 46,80 m³ de concreto, para as estacas do túnel a profundidade necessária é de 11 metros, com consumo de concreto das 22 estacas de 21,78 m³ de concreto e por fim para as estacas dos canais de aeração é necessário estacas de 8 metros de comprimento, as 54 estacas terão um consumo de 38,88 m³ de concreto, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Consumo de concreto por estaca e total para estacas pré-moldadas cravadas

SEÇÃO	QUANT	COMPRIMENTO (M)	COMPRIMENTO TOTAL (M)	VOLUME DE CONCRETO (M3)
30X30 13 M	40	13,00	520,00	46,80
30X30 11 M	22	11,00	242,00	21,78
30x30 8 M	54	8,00	432,00	38,88
TOTAL				107,46

Fonte: Autoria própria, 2022

Para melhor visualização foi desenvolvido o projeto com a planta de locação do estaqueamento e o detalhamento das estacas, Apêndice A

4.7 Análise dos resultados das estacas escavadas

A Tabela 20 e 21 apresenta os resultados obtidos pelos dois métodos utilizados para o dimensionamento das estacas escavadas de 60 cm diâmetro e de 50 cm de diâmetro.

Tabela 20: Comparativo de resultados das estacas escavadas

COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA EM CADA MÉTODO					
TIPO DE ESTACA: ESCAVADA					
MÉTODOS		AOKI E VEL. (D50)	DÉCOURT E QUAR. (D50)	AOKI E VEL. (D60)	DÉCOURT E QUAR. (D60)
PROF. (m)	NSPT MÉDIO	Radm (tf)	Radm (tf)	Radm (tf)	Radm (tf)
1	4,5	2,9	4,5	4,2	4,2
2	6	4,9	7,1	6,8	9,7
3	5	5	9,4	6,8	12,7
4	6,5	7	12,1	9,4	16
5	8	9,2	15,9	12,3	21
6	9,5	11,7	19,6	15,5	25,7
7	9,8	13,7	19,5	18,1	25,1
8	10	15	22,8	19,7	29,3
9	14	19,5	27,5	25,8	35,4
10	17,5	24	34,9	31,8	45,1
11	26,5	33,5	44,3	44,8	57,4
12	32,5	41,6	46,2	55,5	58,8

Fonte: Autoria própria, 2022

As estacas escavadas foram dimensionadas com dois diâmetros, de 60 cm para a viga anel e 50 cm para o túnel e canais de aeração, para atender as cargas solicitadas pelo silo analisado, a profundidade necessária para viga anel é de 13 metros, com consumo de concreto das 40 estacas de 147,02 m³ de concreto, para as estacas do túnel a profundidade necessária é de 12 metros, com consumo de concreto das 22 estacas de 51,83 m³ de concreto e por fim para as estacas dos canais de aeração é necessário estacas de 10 metros de comprimento, as 54 estacas terão um consumo de 106,03 m³ de concreto, conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21: Consumo de concreto por estaca e total para estacas escavadas

SEÇÃO	QUANT	COMPRIMENTO (M)	COMPRIMENTO TOTAL (M)	VOLUME DE CONCRETO (M3)
D60 13 M	40	13,00	520,00	147,02
D50 12 M	22	12,00	264,00	51,83
D50 10 M	54	10,00	540,00	106,03
TOTAL				304,88

Fonte: Autoria própria, 2022

Para melhor visualização foi desenvolvido o projeto com a planta de locação do estaqueamento e o detalhamento das estacas, Apêndice B.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comparativo técnico

Após dimensionadas as estacas e escolhido o método para cada uma, objetiva-se fazer um comparativo entre as estacas executadas no estudo de caso e as dimensionadas no devido trabalho, verificando qual tem melhor desempenho tecnicamente para o empreendimento e região estudada.

O projeto disponibilizado para o estudo de caso fez o uso de estacas do tipo hélice contínua monitorada, na execução da obra. Analisando as bibliografias pesquisadas, as estacas hélice contínua contam a seu favor a agilidade na conclusão do estaqueamento, alta capacidade de carga e monitoramento eletrônico. Como principal desvantagem, as estacas hélices se destacam pelo seu alto valor comparado a outros métodos de execução, e também pelo custo de mobilização, já que não há empresas que realizam esse tipo de serviço na região sudoeste do Paraná.

Um dos métodos dimensionados para efeito comparativo foi estaca do tipo escavada mecanizada, que tem como principal destaque favorável a facilidade na execução em solos coesivos, alta produção e preço acessível em comparação aos outros métodos executivos.

Como desvantagens as estacas escavadas tem a suscetibilidade de estrangulamento da seção em caso de solos compressíveis e a sua execução deve ser realizada acima do nível do lençol freático, no presente estudo seria preciso o uso do bombeamento da água do lençol para execução desse tipo de estaca.

As estacas pré-moldadas destacam-se como um produto com um maior controle de qualidade na sua execução, sua produção se dá por processos industrializados e podem ser executadas em solos com presença de água sem gerar quaisquer perdas de qualidade. Além de que, no momento da cravação o seu concreto já está curado, sem a possibilidade de agentes nocivos atrapalharem o seu processo e com a resistência calculada já alcançada.

Tem destaque como desvantagem a dificuldade de ultrapassarem camadas muito resistentes do solo e por causarem vibrações durante o processo executivo.

O presente estudo deste silo trata de fundações para a região de Chopinzinho, sudoeste do Paraná, em uma região sem a presença de construções vizinhas, com

espaço amplo para movimentação de máquinas de grande porte, o relatório de sondagem apresenta um solo com crescente resistência e que aponta a presença do nível do lençol freático em 6 metros e impenetrável em aproximadamente 13 metros.

Após o dimensionamento da fundação pelos três métodos executivos, a estaca do tipo escavada mecanizada não seria o mais indicado e tecnicamente viável pela presença de água, o que dificultaria sua plena execução. Os outros dois métodos, estaca hélice contínua e estaca pré-moldada cravada, são métodos considerados tecnicamente viáveis.

5.2 Comparativo econômico

Usando como base a tabela SINAPI (2022) e pesquisas com empresas especializadas, objetiva-se calcular o custo de cada estaca, para melhor comparação de viabilidade.

5.2.1 Estacas hélice contínua

A tabela SINAPI (2022) (Tabela 22) apresenta os valores para estacas hélice contínua de 30 cm de diâmetro e 50 cm de diâmetro, considerando o uso de armadura mínima e concreto incluso.

Tabela 22: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas hélice contínua D30 cm e D50 cm

ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019	128,34
ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 50 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019	226,16

Fonte: Adaptado de Sinapi, 2022

As Tabelas 23 e 24 especificam todos os insumos inclusos na composição do cálculo do custo das estacas hélice contínua.

Tabela 23: Descrição da composição do custo da hélice contínua D30 cm

ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 220 +/- 30 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015
PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015
ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
MONTAGEM DE ARMADURA DE ESTACAS, DIÂMETRO = 16,0 MM. AF_09/2021_PS
MONTAGEM DE ARMADURA TRANSVERSAL DE ESTACAS DE SEÇÃO CIRCULAR, DIÂMETRO = 6,30 MM. AF_09/2021_PS
TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020
CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³ - CARGA COM PÁ CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020

Fonte: Catálogo de Referências Sinapi, 2022

Tabela 24: Descrição da composição do custo da hélice contínua D50 cm

ESTACA HÉLICE CONTÍNUA , DIÂMETRO DE 50 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 220 +/- 30 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)
SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015
PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015
ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
MONTAGEM DE ARMADURA DE ESTACAS, DIÂMETRO = 16,0 MM. AF_09/2021_PS
MONTAGEM DE ARMADURA TRANSVERSAL DE ESTACAS DE SEÇÃO CIRCULAR, DIÂMETRO = 6,30 MM. AF_09/2021_PS
TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020
CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³ - CARGA COM PÁ CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020

Fonte: Catálogo de Referências Sinapi, 2022

A Tabela 25 apresenta os valores individuais por estaca e o valor total para a execução, com base nos dados fornecidos pela SINAPI (2022), para estacas hélice contínua utilizando 30 cm de diâmetro e 50 cm de diâmetro.

Tabela 25: Valores das estacas hélice contínua D30 e D50

Valores das estacas hélice contínua com D30 cm e D50 cm			
Descrição	Prof. (m)	Preço por metro (SINAPI)	Valor total da estaca
Estaca HC D30	14,00	R\$ 128,34	R\$ 1.796,76
Estaca HC D50	14,00	R\$ 226,16	R\$ 3.166,24
Valor total das estacas hélice contínua			R\$ 263.203,36

Fonte: Autoria própria, 2022.

A título de comparação com os valores apresentados pela tabela SINAPI (2022), foi solicitado orçamentos para empresas que executam esse tipo de serviço, execução de estacas hélice contínua, exemplificado na Tabela 26.

Tabela 26: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D30 e D50 praticados no mercado

Valores das estacas hélice contínua com D30 cm e D50 cm			
Descrição	Prof. (m)	Preço por metro para executar	Valor total da estaca
Estaca HC D30	14,00	R\$ 33,00	R\$ 35.112,00
Estaca HC D50	14,00	R\$ 55,00	R\$ 30.800,00
Mobilização do maquinário			R\$ 20.000,00
Consumo de concreto			R\$ 159.588,00
Valor total das estacas hélice contínua			R\$ 245.500,00

Fonte: Aatoria própria, 2022.

5.2.2 Estacas escavadas mecanicamente

Na tabela SINAPI (2022) (Tabela 27) não foi encontrado os valores para estacas de 50 cm de diâmetro, através da interpolação entre os valores para as estacas de 40 cm de diâmetro e estacas de 60 cm de diâmetro foi encontrado o valor para as estacas de 50 cm de diâmetro.

Tabela 27: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas escavadas mecanicamente

ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE, SEM FLUIDO ESTABILIZANTE, COM 40CM DE DIÂMETRO, CONCRETO LAÇADO POR CAMINHÃO BETONEIRA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_01/2020	107,23
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE, SEM FLUIDO ESTABILIZANTE, COM 60CM DE DIÂMETRO, CONCRETO LAÇADO POR CAMINHÃO BETONEIRA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_01/2020	201,27

Fonte: Adaptado de Sinapi, 2022

As Tabelas 28 e 29 especificam todos os insumos inclusos na composição do cálculo do custo das estacas escavadas mecanicamente, para 40 cm de diâmetro e 60 cm de diâmetro.

Tabela 28: Descrição da composição do custo da estaca escavada D40 cm

ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE, SEM FLUIDO ESTABILIZANTE, COM 40CM DE DIÂMETRO, CONCRETO LANÇADO POR CAMINHÃO BETONEIRA (EXCLUSIVELY MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_01/2020
CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 130 +/- 20 MM, EXCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)
SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015
PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015
ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
MONTAGEM DE ARMADURA DE ESTACAS, DIÂMETRO = 16,0 MM. AF_09/2021_PS
TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020
CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³ - CARGA COM PÁ CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020

Fonte: Catálogo de Referências Sinapi, 2022

Tabela 29: Descrição da composição do custo da estaca escavada D60 cm

ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE, SEM FLUIDO ESTABILIZANTE, COM 60CM DE DIÂMETRO, CONCRETO LANÇADO POR CAMINHÃO BETONEIRA (EXCLUSIVELY MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_01/2020
CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 130 +/- 20 MM, EXCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)
SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015
PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015
ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
MONTAGEM DE ARMADURA DE ESTACAS, DIÂMETRO = 20,0 MM. AF_09/2021_PS
TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020
CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³ - CARGA COM PÁ CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020

Fonte: Catálogo de Referências Sinapi, 2022

Interpolando os valores acima de R\$ 107,23/m para estacas escavadas de 40 cm de diâmetro e R\$ 201,27/m para estacas escavadas de 60 cm de diâmetro, encontrou-se o valor de R\$ 154,30/m para estacas escavadas de 50 cm de diâmetro.

A Tabela 30 apresenta os valores individuais por estaca e o valor total para a execução, com base nos dados fornecidos pela SINAPI (2022), para estacas escavadas mecanizadas, utilizando 50 cm de diâmetro e 60 cm de diâmetro.

Tabela 30: Valores das estacas escavadas mecanizada D50 e D60

Valores das estacas escavada com D50 cm e D60 cm			
Descrição	Prof. (m)	Preço por metro (SINAPI)	Valor total da estaca
Estaca Escavada D50	10,00	R\$ 154,30	R\$ 1.543,00
Estaca Escavada D50	12,00	R\$ 154,30	R\$ 1.851,60
Estaca Escavada D60	13,00	R\$ 201,27	R\$ 2.616,51
Valor total das estacas escavadas mecanizadas			R\$ 228.717,60

Fonte: Autoria própria, 2022

A título de comparação com os valores apresentados pela tabela SINAPI (2022), foi solicitado orçamentos para empresas que executam esse tipo de serviço na região Sudoeste do Paraná, exemplificado na Tabela 31.

Tabela 31: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D50 e D60 praticados no mercado

Valores das estacas escavada com D50 cm e D60 cm				
Descrição	Quantidade de estacas	Prof. (m)	Preço por metro	Valor total da estaca
Estaca Escavada D50	54	10,00	R\$ 25,00	R\$ 13.500,00
Estaca Escavada D50	22	12,00	R\$ 25,00	R\$ 6.600,00
Estaca Escavada D60	40	13,00	R\$ 30,00	R\$ 15.600,00
Mobilização do maquinário				R\$ 2.500,00
Consumo do concreto x (valor do m ³ do concreto)				R\$ 176.830,40
Valor total das estacas escavadas mecanizadas				R\$ 215.030,40

Fonte: Autoria própria, 2022

5.2.3 Estacas pré-moldadas cravada

Para as estacas pré-moldadas a tabela SINAPI (2022) (Tabela 32) apresenta os valores para estacas até 50 toneladas, estaca maciça de concreto vibrado, porém não exemplifica a profundidade das estacas, fator que influencia diretamente no seu valor.

Tabela 32: Preços da tabela SINAPI (2022) para estacas pré-moldadas cravadas

ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO SEÇÃO QUADRADA, CAPACIDADE DE 50 TONELADAS, INCLUSO EMENDA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_12/20	145,06
---	--------

Fonte: Adaptado de Sinapi, 2022

A Tabela 33 especifica todos os insumos inclusos na composição do cálculo do custo das estacas pré-moldadas cravadas, para até 50 toneladas.

Tabela 33: Descrição da composição do custo da estaca pré-moldada até 50 toneladas

ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO SEÇÃO QUADRADA, CAPACIDADE DE 50 TONELADAS, INCLUSO EMENDA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO). AF_12/2019
ELETRODO REVESTIDO AWS - E7018, DIAMETRO IGUAL A 4,00 MM
ESTACA PRÉ-MOLDADA MACIÇA DE CONCRETO VIBRADO ARMADO, PARA CARGA DE 50 T, SEÇÃO QUADRADA, COM ANEL METALICO INCORPORADO A PEÇA (SOMENTE FORNECIMENTO)
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
SOLDADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
BATE-ESTACAS POR GRAVIDADE, POTÊNCIA DE 160 HP, PESO DO MARTELO ATÉ 3 TONELADAS - CHI DIURNO. AF_11/2014
BATE-ESTACAS POR GRAVIDADE, POTÊNCIA DE 160 HP, PESO DO MARTELO ATÉ 3 TONELADAS - CHP DIURNO. AF_11/2014
ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES
ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA, PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES

Fonte: Catálogo de Referências Sinapi, 2022

A Tabela 34 apresenta os valores individuais por estaca e o valor total para a execução, com base nos dados fornecidos pela SINAPI (2022) para estacas pré-moldadas de concreto maciço, com capacidade de carga até 50 toneladas.

Tabela 34: Valores das estacas escavadas pré-moldadas com capacidade de carga até 50 toneladas.

Valores das estacas pré-moldadas			
Descrição	Prof. (m)	Preço por metro (SINAPI)	Valor total da estaca
Estaca pré moldada 30x30	13,00	R\$ 145,06	R\$ 1.885,78
Estaca pré moldada 30x30	11,00	R\$ 145,06	R\$ 1.595,66
Estaca pré moldada 30x30	8,00	R\$ 145,06	R\$ 1.160,48
Valor total das estacas pré-moldadas			R\$ 173.201,64

Fonte: Autoria própria, 2022

A título de comparação com os valores apresentados pela tabela SINAPI (2022), foi solicitado orçamentos para empresas que executam esse tipo de serviço, cravação e fornecimento de estacas pré-moldadas, exemplificado na Tabela 35.

Tabela 35: Valores médios de estacas escavadas mecanizadas D50 e D60 praticados no mercado

Valores das estacas pré-moldadas			
Descrição	Prof. (m)	Preço por metro	Valor total da estaca
Estaca pré moldada 30x30	13,00	R\$ 199,00	R\$ 103.480,00
Estaca pré moldada 30x30	11,00	R\$ 199,00	R\$ 48.158,00
Estaca pré moldada 30x30	8,00	R\$ 199,00	R\$ 85.968,00
Mobilização do maquinário			R\$ 2.500,00
Coxins			R\$ 1.392,00
Cravação das estacas			R\$ 35.820,00
Valor total das estacas pré-moldadas			R\$ 277.318,00

Fonte: Autoria própria, 2022

5.2.4 Comparativo econômico entre as estacas

Com os valores das estacas hélice contínua, escavadas e pré-moldadas, tanto pela tabela SINAPI (2022), quanto pelos preços médios praticados na região, objetiva-se a comparação entre elas, para determinação da opção mais viável economicamente para a região estudada.

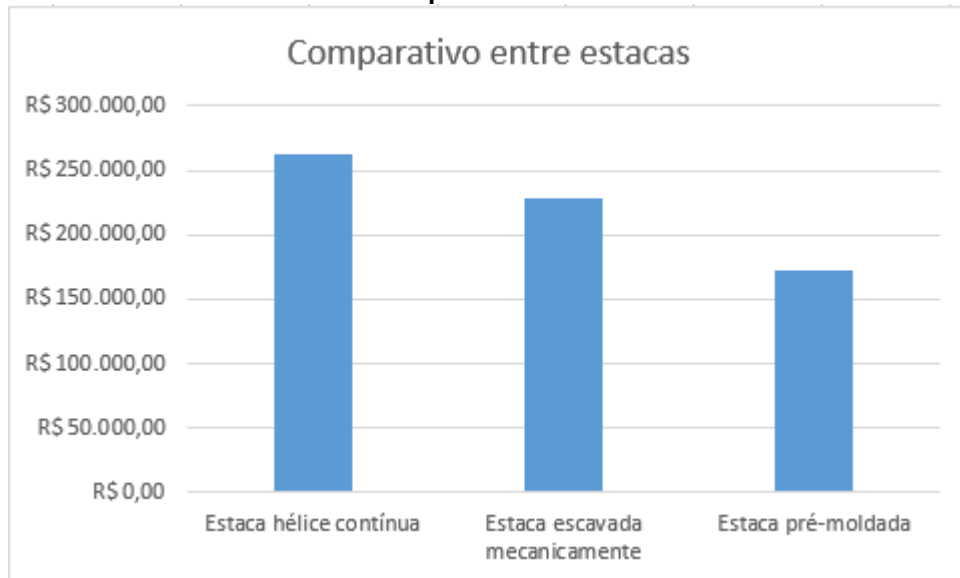
A Tabela 36 e a Figura 18 destacam os valores dos três tipos de estaca para o modelo de silo estudado, com valores retirados da tabela SINAPI (2022).

Tabela 36: Valores das estacas conforme valores retirados da tabela SINAPI (2022)

Descrição	Valor total da estaca
Estaca hélice contínua	R\$ 263.203,36
Estaca escavada mecanicamente	R\$ 228.717,60
Estaca pré-moldada	R\$ 173.201,64

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 18: Gráfico de valores dos três tipos de estacas retirados da Tabela SINAPI (2022)



Fonte: Autoria própria, 2022

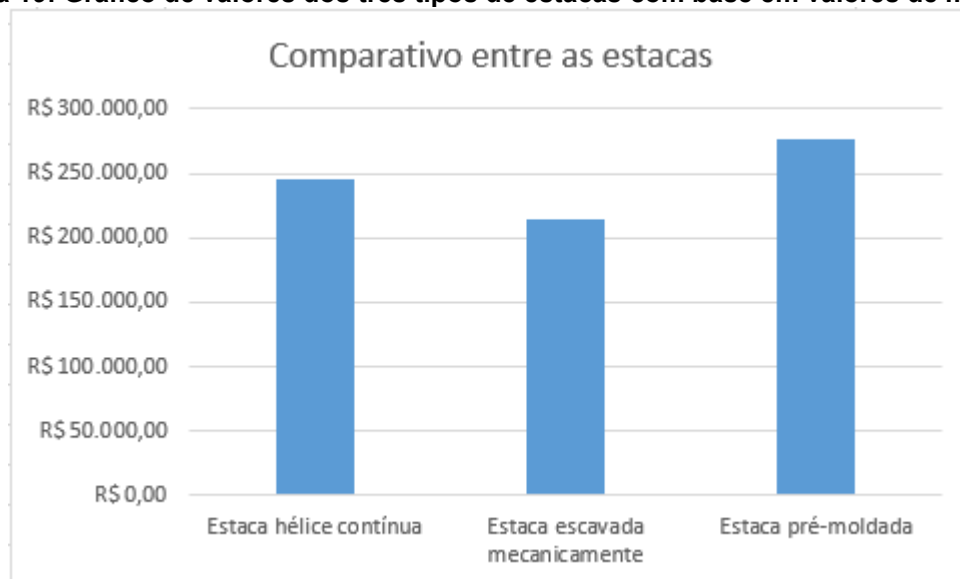
A Tabela 37 e a Figura 19 destacam os valores dos três tipos de estaca para o modelo de silo estudado, com valores advindos de pesquisa de mercado realizada.

Tabela 37: Valores médios das estacas realizados no mercado

Descrição	Valor total da estaca
Estaca hélice contínua	R\$ 245.500,00
Estaca escavada mecanicamente	R\$ 215.030,40
Estaca pré-moldada	R\$ 277.318,00

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 19: Gráfico de valores dos três tipos de estacas com base em valores de mercado



Fonte: Autoria própria, 2022

Para o silo estudado as estacas escavadas apresentaram uma vantagem em relação as estacas pré-moldadas e estacas escavadas, levando em consideração apenas o comparativo de preços.

O comparativo de preços entre a Tabela SINAPI (2022) e os preços pesquisados em empresas da região ficou com uma diferença dentro do esperado para as estacas escavadas e para as estacas hélice contínua, o único que foi drasticamente diferente foram as estacas pré-moldadas, que apresentava particularidades na Tabela SINAPI (2022), resultando em um valor muito abaixo do praticado no mercado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar e comparar diferentes tipos de estacas para um determinado modelo de silo, os assuntos abordados têm grande importância para a área de aplicação, visto que além dos resultados encontrados, ainda destaca o roteiro necessário para um bom dimensionamento, análise e comparação de estacas para fundações.

No presente estudo de caso foram analisadas as estacas de concreto pré-moldado e estacas escavadas, e para o dimensionamento foram utilizados os métodos semiempíricos de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), a fim de verificar, quantidade, capacidade de carga e comprimentos necessários. E ao final, comparar com o projeto executado em estacas hélice contínua.

Verificou-se que ao fazer o dimensionamento das estacas escavadas seria necessário o aumento da seção para suportar as cargas da viga anel, diminuindo assim a distância mínima entre elas. E que devido a presença do nível elevado do lençol freático, seria necessário o bombeamento da água para uma boa execução desse tipo de estaca, levando-o a ser tecnicamente menos viável em comparação as outras. Na comparação de custos, é a estaca mais atrativa economicamente, por demandar maquinário e equipamentos de fácil acesso na região de estudo.

As estacas pré-moldadas seriam uma boa opção tecnicamente, por suportarem grandes cargas e pela execução ocorrer sem grandes entraves. A sondagem do solo não indicou presença de matacões e a presença de água não é um impeditivo para sua execução. Porém, devido ao seu elevado custo para fabricação e cravação, dificulta a preferência por ela.

As estacas hélice contínua se destacam por contarem com alta produtividade e por suportar elevadas cargas, sendo um fator decisivo na hora da definição do tipo de estacas a serem executadas. Em contrapartida, seus custos são elevados, principalmente por não existirem empresas que executem este tipo de estaca na região, o que gera um grande custo de mobilização dos equipamentos.

Conclui-se que o projeto de estaqueamento analisado, já com os carregamentos majorados e devidamente considerados, foi corretamente dimensionado e que a escolha por estacas do tipo hélice contínua é viável tecnicamente e economicamente.

Como limitações deste estudo destaca-se a falta de normas regulamentadoras nacionais, específicas para este tipo de construção.

Por fim, conclui-se que esse estudo é de grande importância para a vida acadêmica e profissional, já que permite aprofundar os conhecimentos em fundações, e também comparar resultados práticos, tanto na parte técnica, quanto econômica. Espera-se que esta pesquisa seja utilizada por profissionais de engenharia civil, como uma forma de contribuição para a área.

Considerando que nenhum conhecimento é finito, para trabalhos futuros, recomenda-se um maior aprofundamento sobre bulbos de tensões advindos de estaqueamento em silos metálicos de fundo plano.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:** Programação de sondagens de simples reconhecimento de solos para fundações de edifícios - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484:** Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ANDRADE, Alysson Rodrigo. **Caracterização dos elementos de fundações aplicáveis em edificações na região de Florianópolis.** Florianópolis. 2003. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84644>>. Acesso em: 25out.2022

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura:** Prática da construção civil. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher,1977.

AZEVEDO, Kátia Silva; ARCELLO, Cleber Conrado. **Estudo da variabilidade da rigidez em estaqueamento misto.** Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://tcconline.utp.br/media/tcc/2017/06/ESTUDO-DA-VARIABILIDADE-DA-RIGIDEZ-EM-ESTAQUEAMENTO-MISTO-1.pdf>> Acesso em: 25nov2022.

CALIL JR., C.; CHEUNG, A. B. **Silos:** pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: EESC; USP, 2007.

CHEUNG, Andrés Batista. **Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos.** São Carlos: EESC; USP, 2007.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas:** projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DÉCORT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de Carga de estacas a Partir de Valores de SPT. **6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações.** Rio de Janeiro, anais, v. 1, pp 45-53, 1978.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia.** 3º ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

FANK, Marivone Z. et al. **Coefficiente de transferência de carga nas fundações de silos verticais cilíndricos.** Palotina. 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=4&script=sci_arttext&pid=S141543662015000900887&lng=en&tlng=en> Acesso em: 10ago.2022.

FORTES FILHO, Jorge. **Uma Introdução ao Estudo dos Silos**. 1985. 472p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1985.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HEZEL, Claudia R. **Avaliação das pressões em silos verticais conforme diferentes normas internacionais**. Cascavel. 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp038187.pdf>>. Acesso em: 08nov.2021.

KEPLER & WEBER. **Silos Planos**. Disponível em: <<https://www.kepler.com.br/produtos/silos-1/silos-planos>> Acesso em 22ago.2021.

MARANGON, M. **Previsão do Comportamento de Fundações: Geotecnia de Fundações**. Universidade Federal de Juíz de Fora, UFJF. 2009.

NARLOCH, Carlos Eduardo. **Planilha eletrônica para dimensionamento de fundações profundas**. Joinville. 2022.

SANTOS, Gustavo C. **Estudo das patologias na base de concreto de silos metálicos de fundo plano causadas por falhas no processo de impermeabilização e manutenção**. Campo Mourão. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8326/1/patologiasbaseconcretosilos.pdf>>. Acesso em: 15jul.2021.

SENA, Leonardo. **Estudo de caso sobre projeto de fundações por sapatas e por estacas**. Florianópolis. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174031/TCC%20-%20Leonardo%20Sena.pdf?sequence=1>:.<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174031/TCC%20-%20Leonardo%20Sena.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02maio2022.

SÉRVULO, Ana C. O. **Dimensionamento da fundação de um silo vertical metálico de fundo plano para armazenamento de milho a granel**. Anápolis. 2012. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/1009842-Universidade-estadual-de-goias-unidade-de-cienciasexatas-e-tecnologicas-engenharia-agricola.html>> Acesso em: 20jul.2021.

SINAPI. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil: 11/2022**. Paraná, 2022. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660>. Acesso em: 20nov.2022.

SOUZA, Humberto Laranjeira de. **Estudo da técnica de sistemas em radier estaqueado para fundações de silos graneleiros do Centro-oeste**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/34449/1/2018_HumbertoLaranjeiradeSouzaFilho.pdf>. Acesso em: 25nov.2022.

TAVARES, Lucas Silveira Nienkotter. **Reforço estrutural de fundações e sua importância para a reabilitação e conservação do patrimônio histórico**. 2014. TCC – Universidade Federal de Santa Catarina

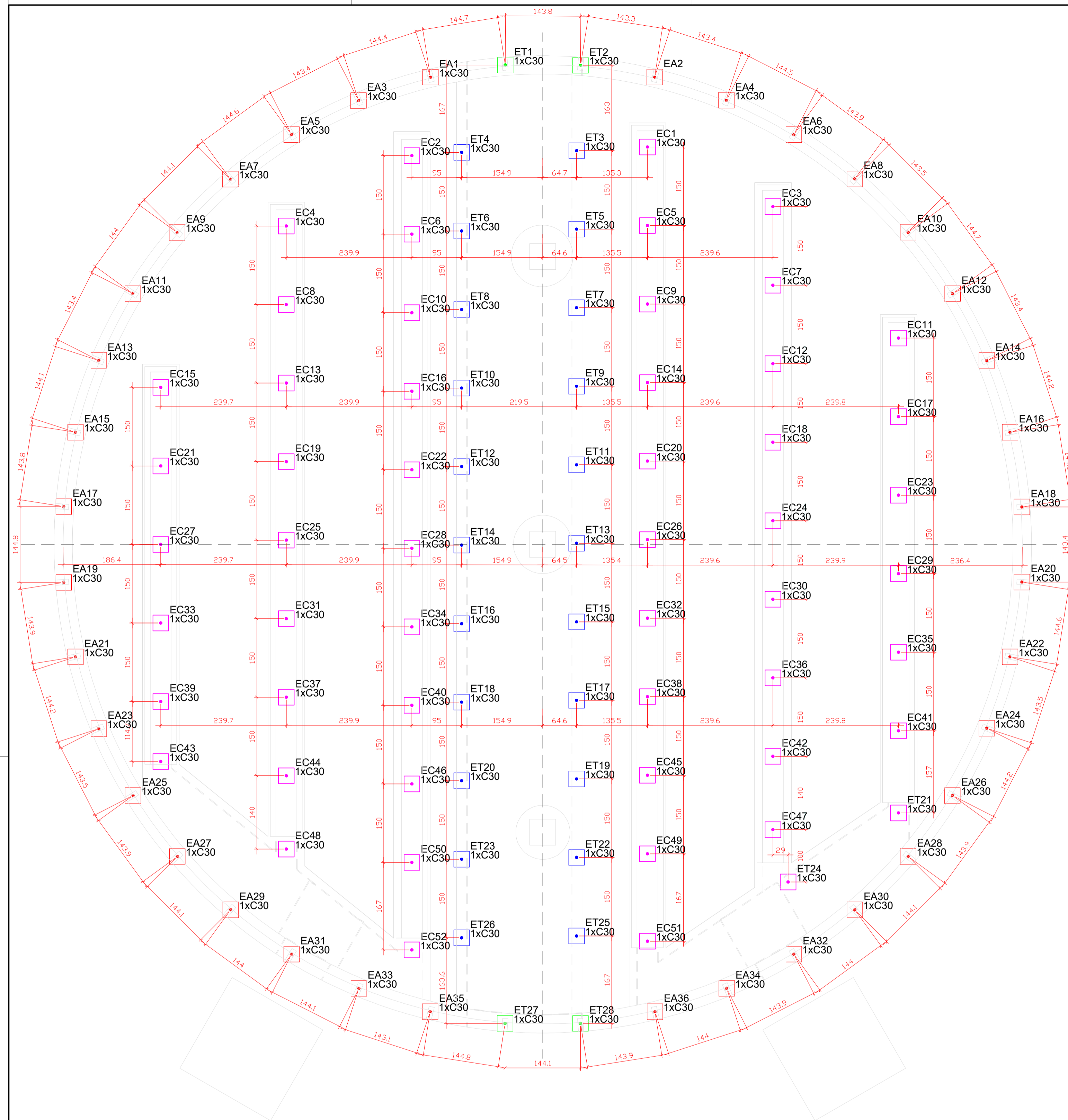
TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. In: **Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, v. 1, p. 33-50, 1996.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. 3 ed. São Paulo (SP): Oficina de Textos, 2016

VELLOSO, Dirceu de Alencar e LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: Critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

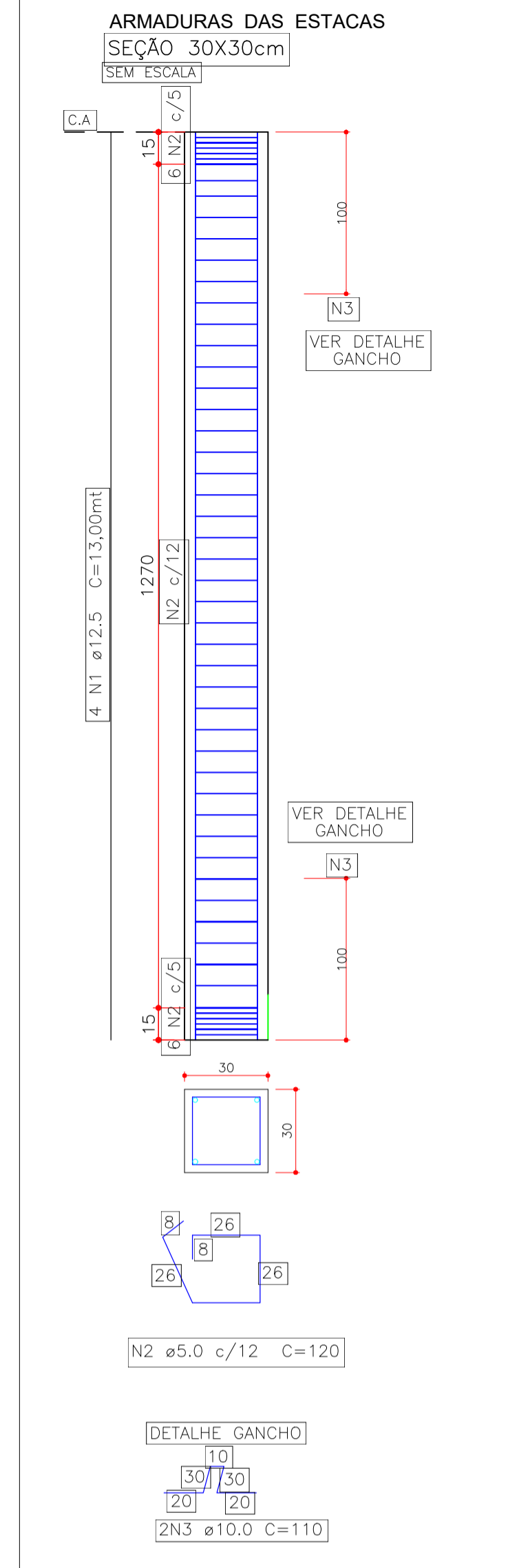
WEBER, Érico A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. 2ed. Guaíba: Agropecuária, 2001.

APÊNDICE A – Planta de locação e detalhamento das estacas pré-moldadas

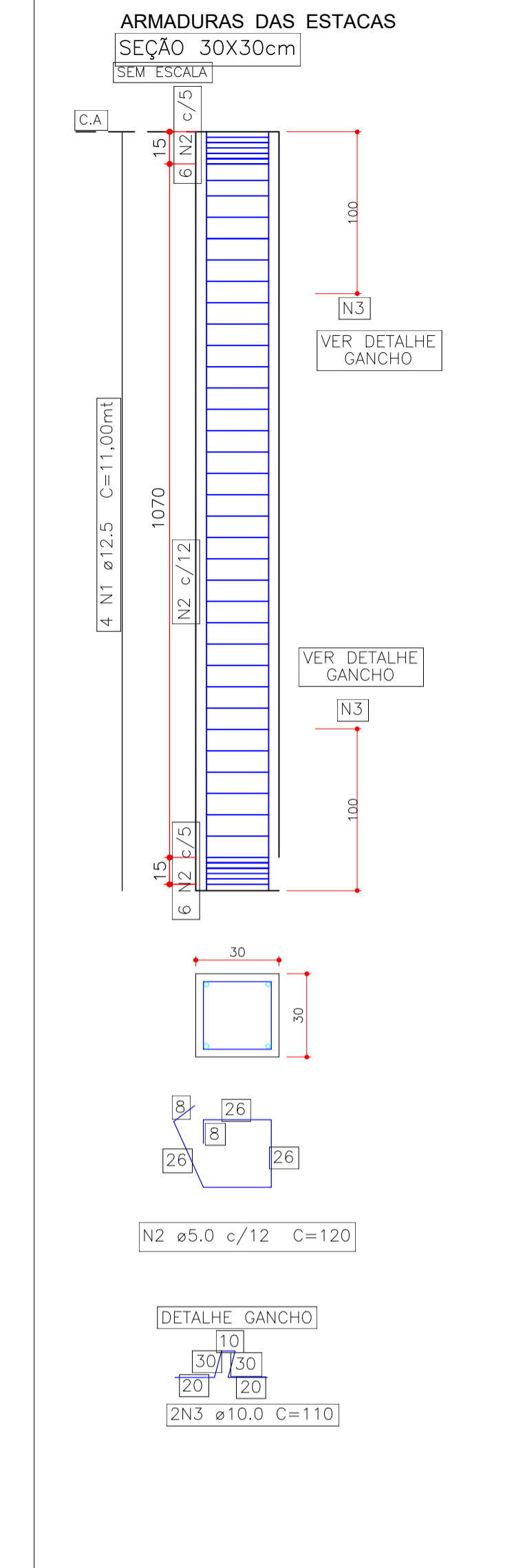


PLANTA DE LOCAÇÃO
Escala 1:50

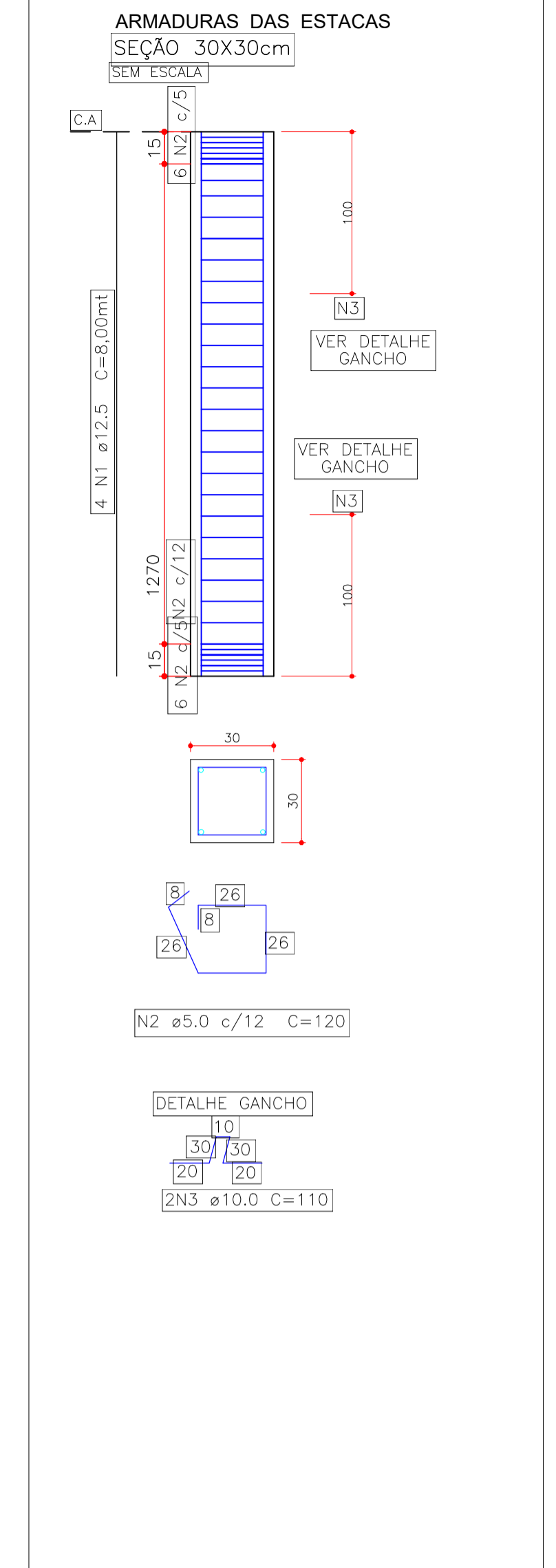
DETALHES DAS ESTACAS



DETALHES DAS ESTACAS



DETALHES DAS ESTACAS

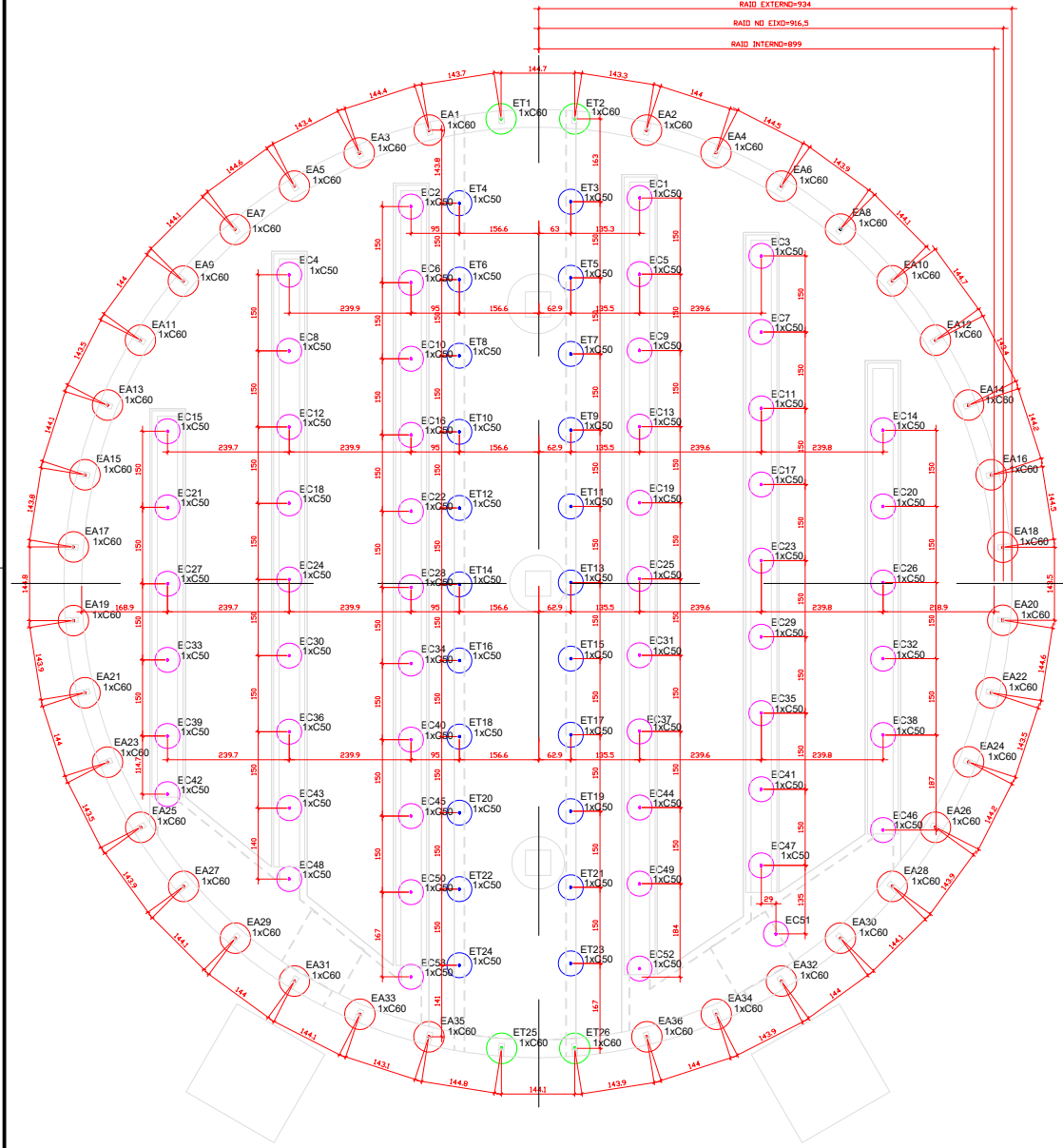


LEGENDA DO ESTAQUEAMENTO

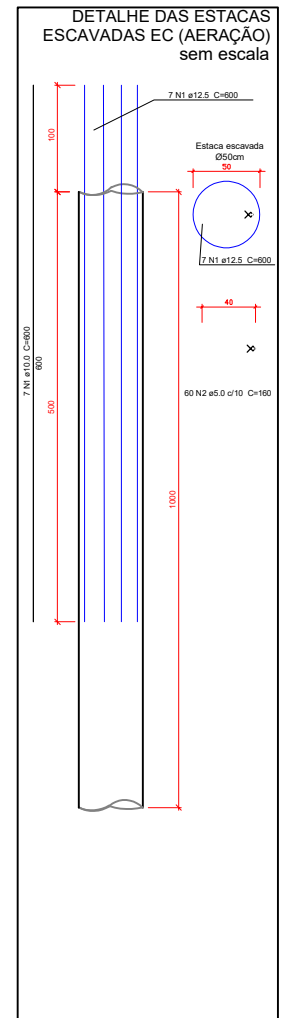
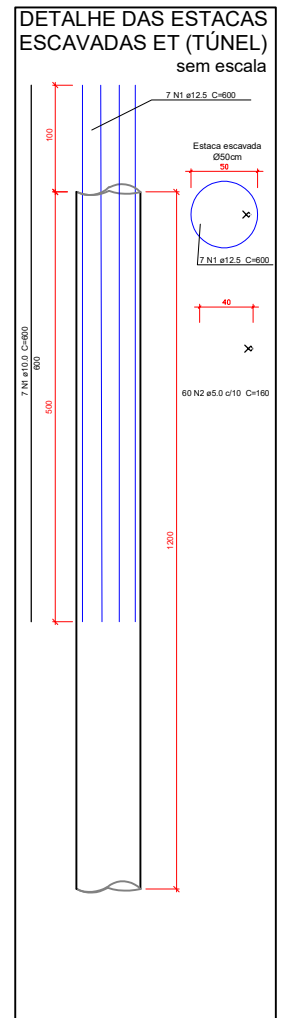
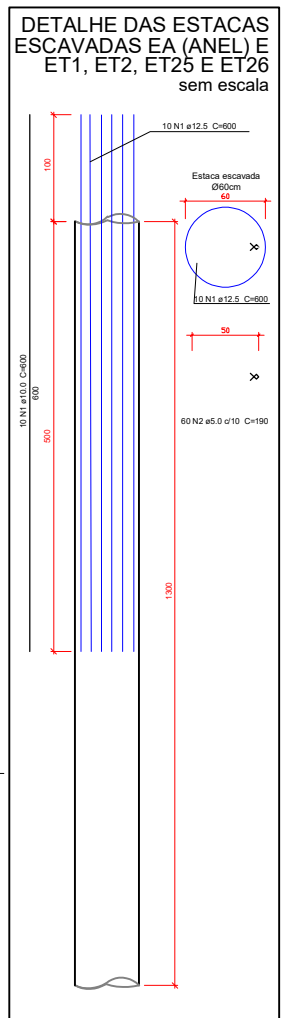
SÍMBOLOS	DIÂMETRO Ø (cm)	QUANTIDADE (un)	ESCOVAÇÃO TOTAL (m)	COTA DE ARRASAMENTO (cm)	TIPO DE ESTACA
•	30	4	13,00	-130	PRÉ-MOLDADA
◻	30	36	13,00	+5	PRÉ-MOLDADA
◻	30	53	11,00	+5	PRÉ-MOLDADA
◻	30	22	8,00	-130	PRÉ-MOLDADA

Acadêmica	Ana Patricia de Moraes	PROJETO ESTRUTURAL
End.		Data 11/11/2022
Obra	Fundação de Silo em estaca pré-moldada	Escala Indicada
Referência	PLANTA DE LOCAÇÃO E DETALHES DAS ESTACAS	

APÊNDICE B – Planta de locação e detalhamento das estacas escavadas



PLANTA DE LOCAÇÃO
Escala 1:50



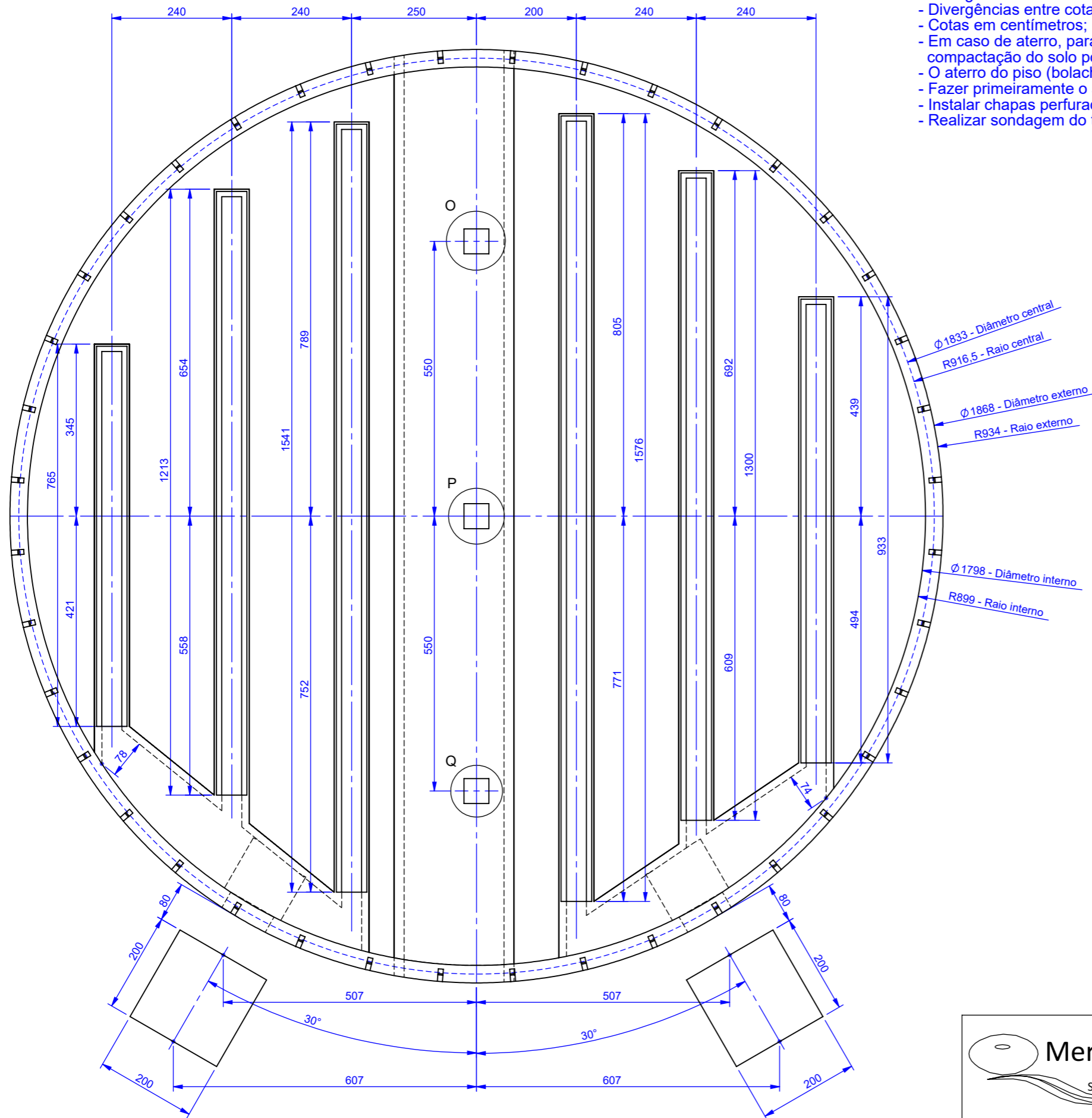
LEGENDA DO ESTAQUEAMENTO					
SÍMBOLOS	DIÂMETRO Ø (cm)	QUANTIDADE	ESCAVAÇÃO TOTAL (m)	TIPO DE ESTACA	
●	60	4	13,00	-130	ESCAVADA
●	60	36	13,00	+5	ESCAVADA
●	50	53	12,00	+5	ESCAVADA
●	50	22	10,00	-130	ESCAVADA

Assinatura	Ana Patricia de Moraes		PROJETO ESTRUTURAL
	Escalão	11/11/2022	
Outra	Fundação de Sítio em estaca escavada		Indicada
	PLANTA DE LOCAÇÃO E DETALHES DAS ESTACAS		

1
1

ANEXO A- PROJETO ARQUITETÔNICO MERCOSILOS

VISTA SUPERIOR



NOTAS:

- O projetista não se responsabiliza por problemas que venham a ocorrer devido a erros na execução da base;
- A superfície do anel deve ser perfeitamente nivelada e apresentar bom acabamento superficial;
- O anel da base deve ser executado perfeitamente circular e concêntrico;
- Após a montagem do silo é de responsabilidade da empresa executora da construção civil executar as vedações no anel e nas canaletas de aeração;
- A carga do anel é transmitida por 40 montantes;
- Divergências entre cotas e escalas, prevalecem as cotas;
- Cotas em centímetros;
- Em caso de aterro, para obter o nivelamento do terreno, considera-se indispensável a compactação do solo por camadas;
- O aterro do piso (bolacha) deve ser obrigatoriamente compactado por camadas;
- Fazer primeiramente o aterro do piso (bolacha) para depois cortar e escavar os canais de aeração e do túnel;
- Instalar chapas perfuradas acima das canaletas de aeração;
- Realizar sondagem do terreno a fim de dimensionamento e cálculos de fundação.

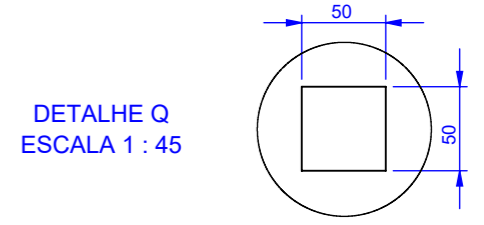
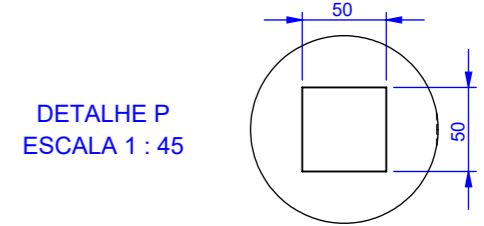
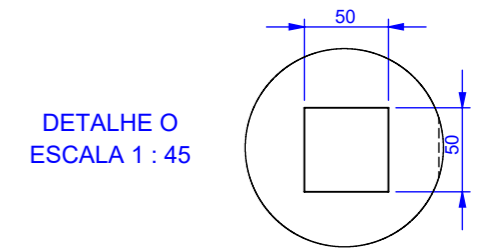


TABELA DE CARGAS

MODELO	Nº DE ANÉIS	CAPACIDADE (TON)	CAPACIDADE (SACAS)
1808	8	2.140	37.448
1809	9	2.361	41.321
1810	10	2.582	45.193
1811	11	2.804	49.066
1812	12	3.025	52.939
1813	13	3.246	56.812
1814	14	3.468	60.684
1815	15	3.689	64.557
1816	16	3.910	68.430
1817	17	4.132	72.303
1818	18	4.353	76.175



Mercosilos
Silos & Secadores

Mercosilos Indústria e Comércio de Máquinas LTDA
BR 158 km 373 Nº 3870 CEP 85504-670
Parque das Indústrias - Pato Branco / PR
www.mercosilos.com.br
E-mail: mercosilos@mercosilos.com.br

Obra/ equipamento: BASE SILO Ø18,33 METROS, TIPO CANAL - 02 VENTILADORES

Cliente:

Material: CONCRETO ARMADO

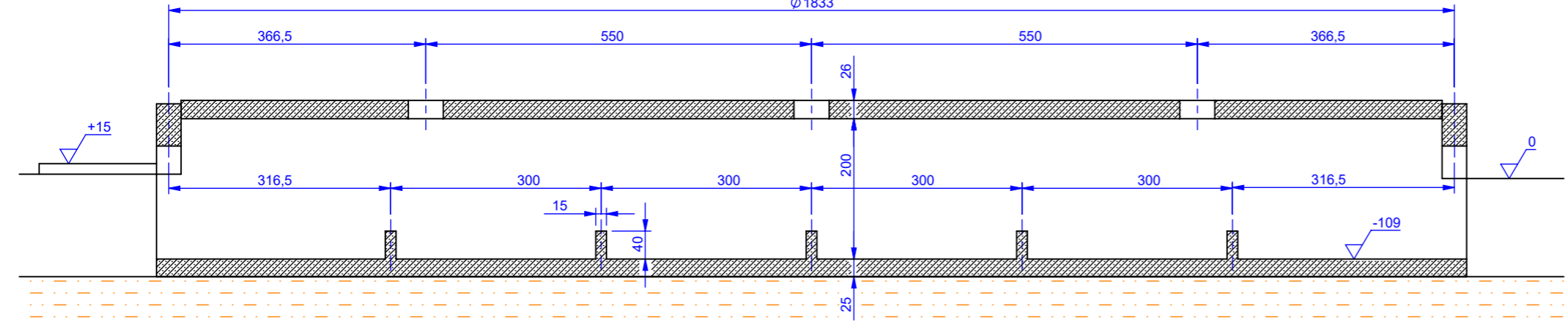
Eng.º responsável: **Evandro Zanatta** Projetista: **Evandro Zanatta** Peso (g):

Data de Criação: 20/10/2014 Data de Impressão: 06/07/2022 Escala: 1:90 Unidade: cm Folha: A3 Quantidade: 1

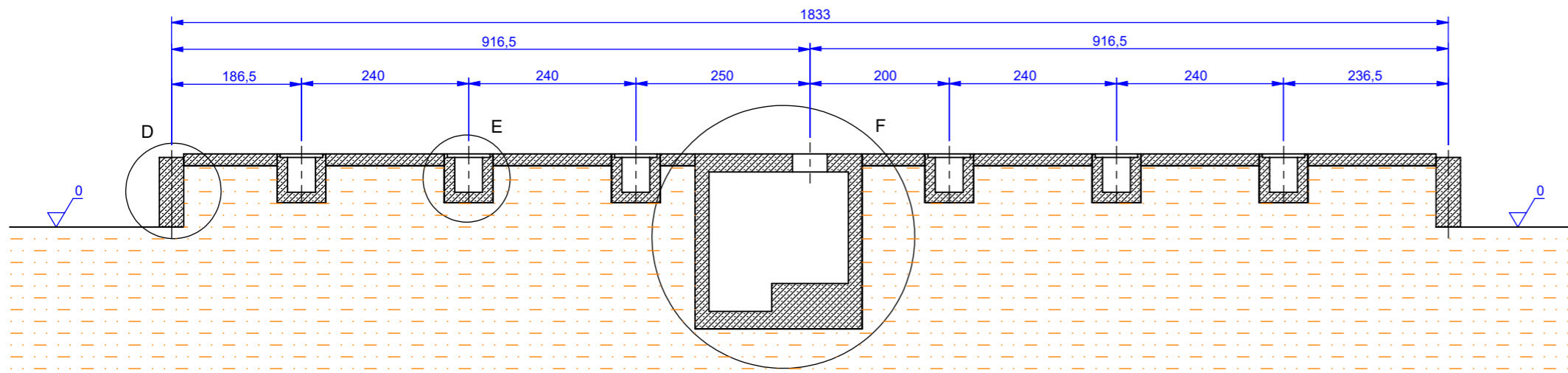
Computador: Projeto12 Volume cm3: Código: CS1-18332001

MODELO	Nº DE ANÉIS	CAPACIDADE (TON)	CAPACIDADE (SACAS)
1808	8	2.140	37.448
1809	9	2.361	41.321
1810	10	2.582	45.193
1811	11	2.804	49.066
1812	12	3.025	52.939
1813	13	3.246	56.812
1814	14	3.468	60.684
1815	15	3.689	64.557
1816	16	3.910	68.430
1817	17	4.132	72.303
1818	18	4.353	76.175

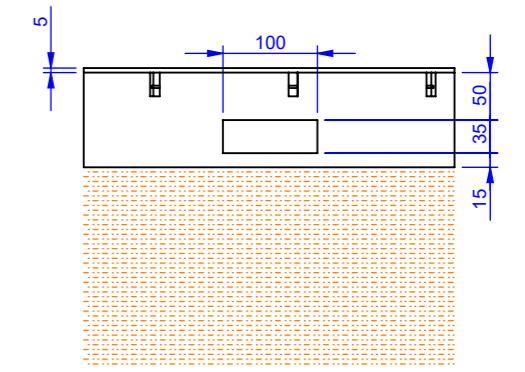
SEÇÃO T-T
ESCALA 1 : 80
Ø 1833



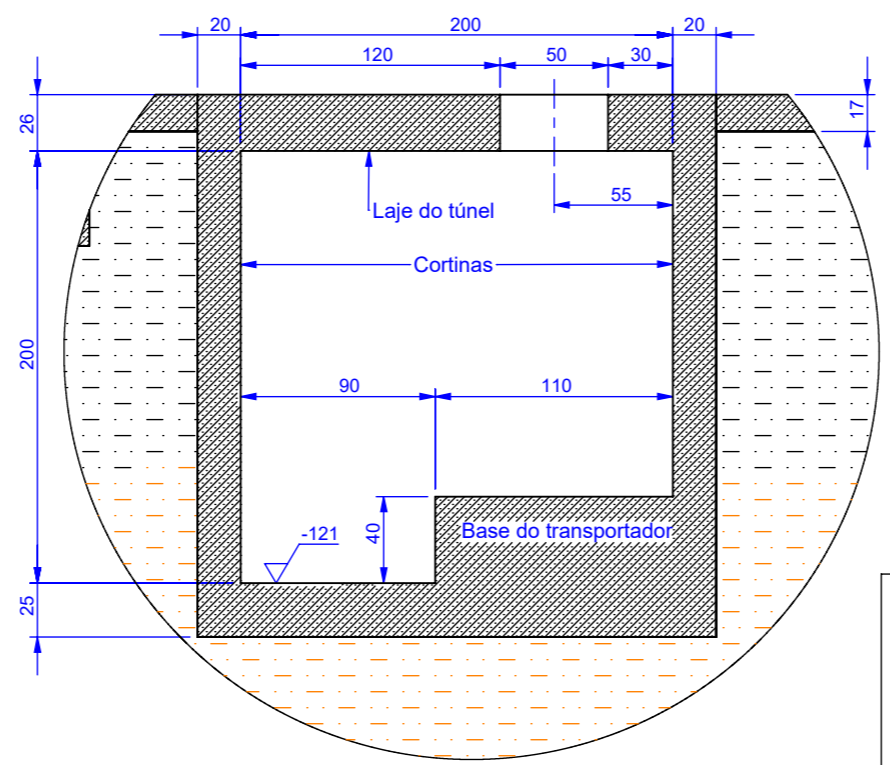
SEÇÃO C-C
ESCALA 1 : 80



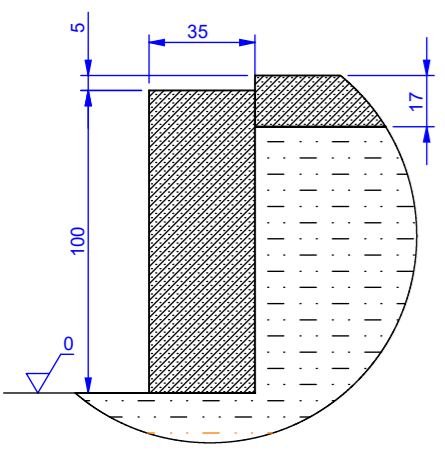
Entrada de ar
SEÇÃO U-U
ESCALA 1 : 80



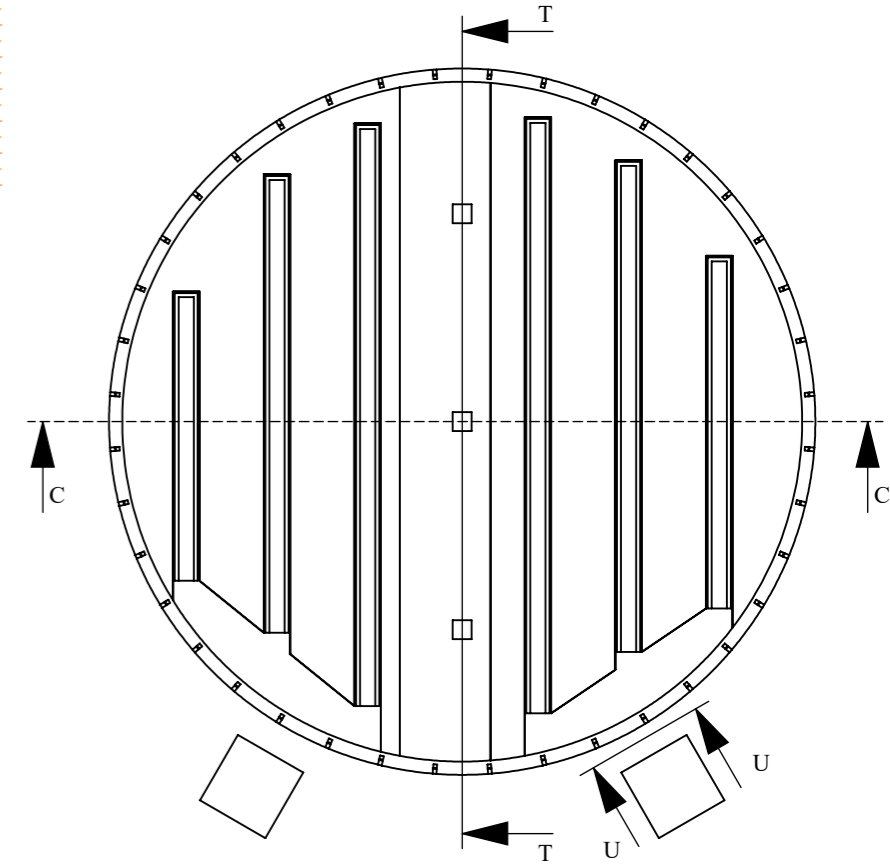
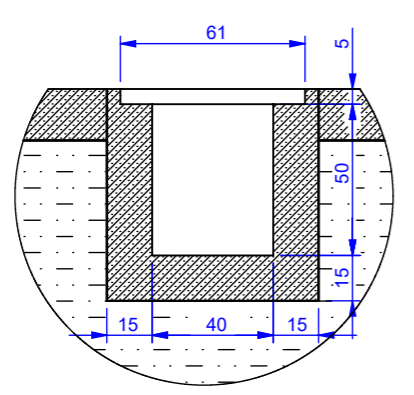
DETALHE F
ESCALA 1 : 35
Túnel




DETALHE D
ESCALA 1 : 25
Anel



DETALHE E
ESCALA 1 : 25
Canaleta de aeração



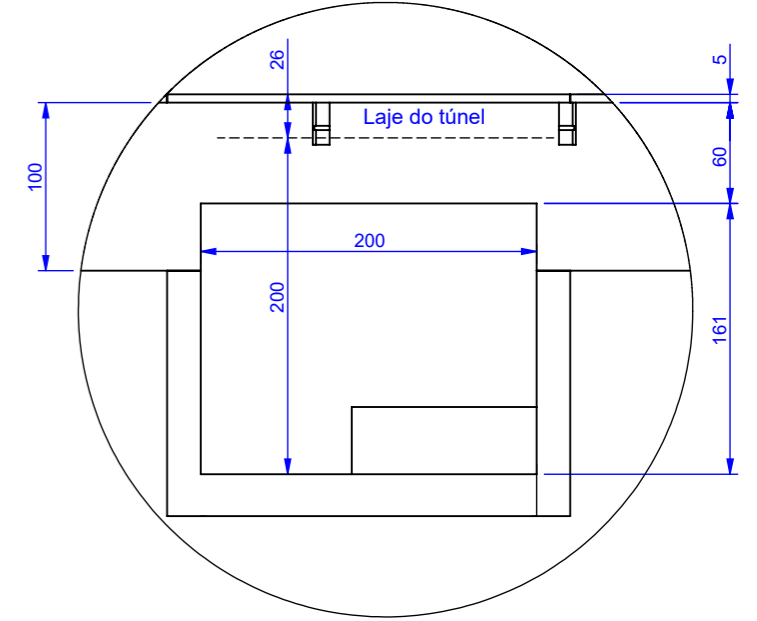


Mercosilos
Silos & Secadores

Mercosilos Indústria e Comércio de Máquinas LTDA
BR 158 km 373 Nº 3870 CEP 85504-670
Parque das Indústrias - Pato Branco / PR
www.mercosilos.com.br
E-mail: mercosilos@mercosilos.com.br

Obra/ equipamento: BASE SILO Ø18,33 METROS, TIPO CANAL - 02 VENTILADORES			
Cliente:			
Material: CONCRETO ARMADO			
Eng.º responsável:	Projetista: Evandro Zanatta	Peso (g):	
Data de Criação: 20/10/2014	Data de Impressão: 06/07/2022	Escala: 1:90	Unidade: cm
Computador: Projeto12	Volume cm3:	Folha: A3	Quantidade: 1
		Código: CS1-18332001	

DETALHE G
 ESCALA 1 : 45
 Vista externa do túnel
 Detalhe da abertura do anel



DETALHE H
 ESCALA 1 : 30
 Entrada de ar

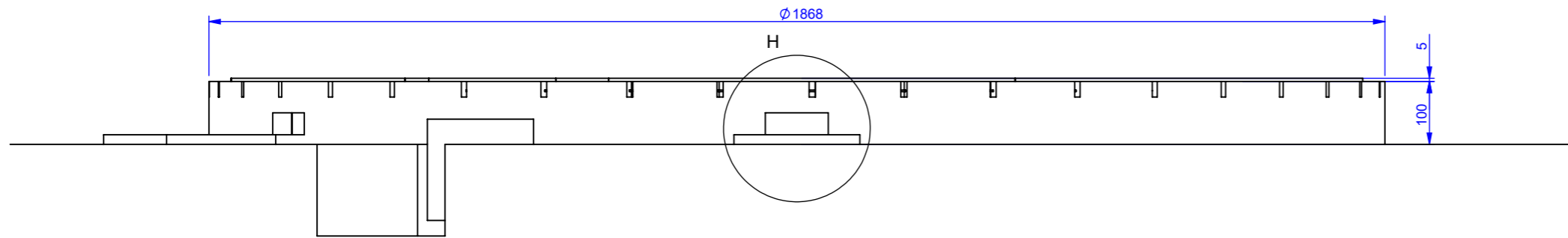
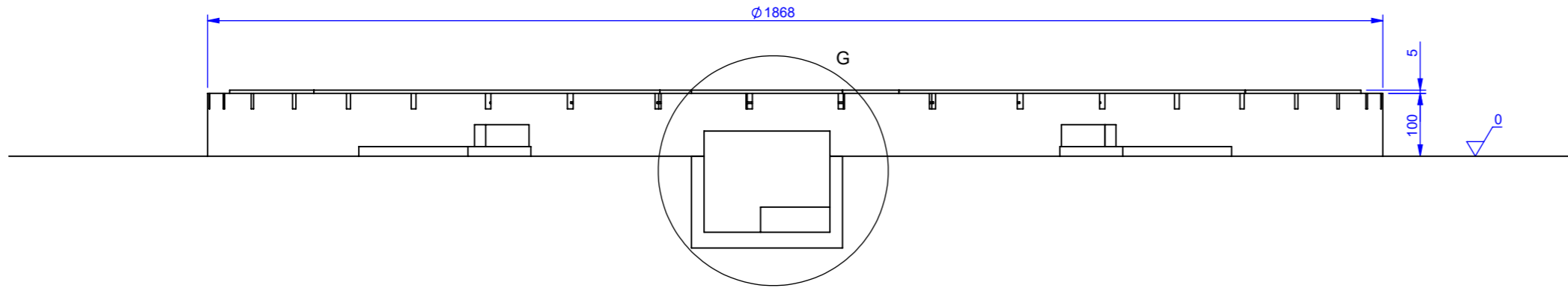
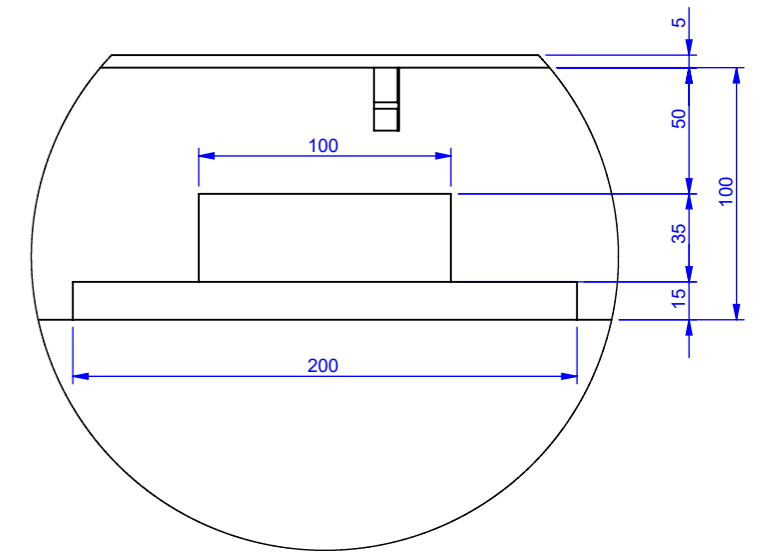


Tabela de cargas

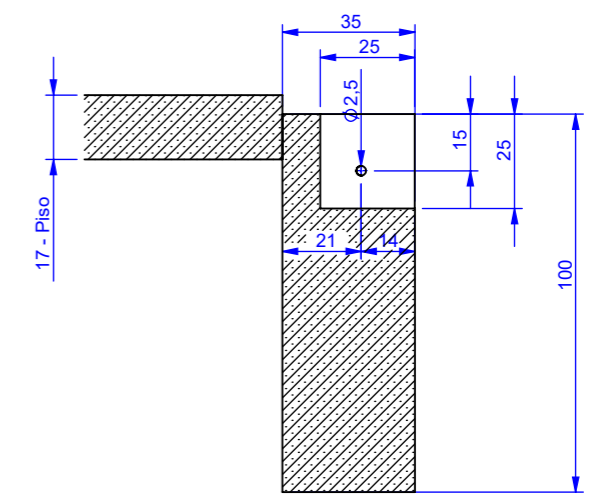
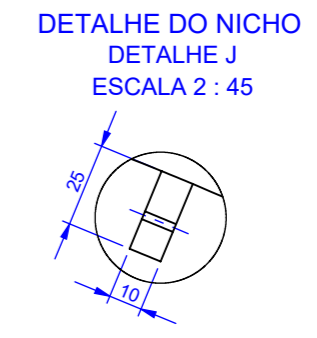
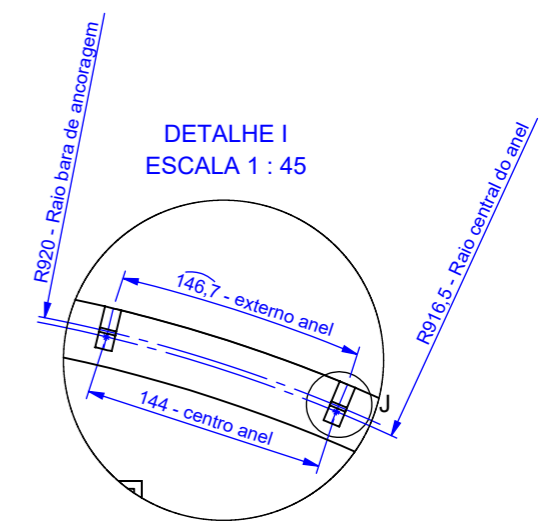
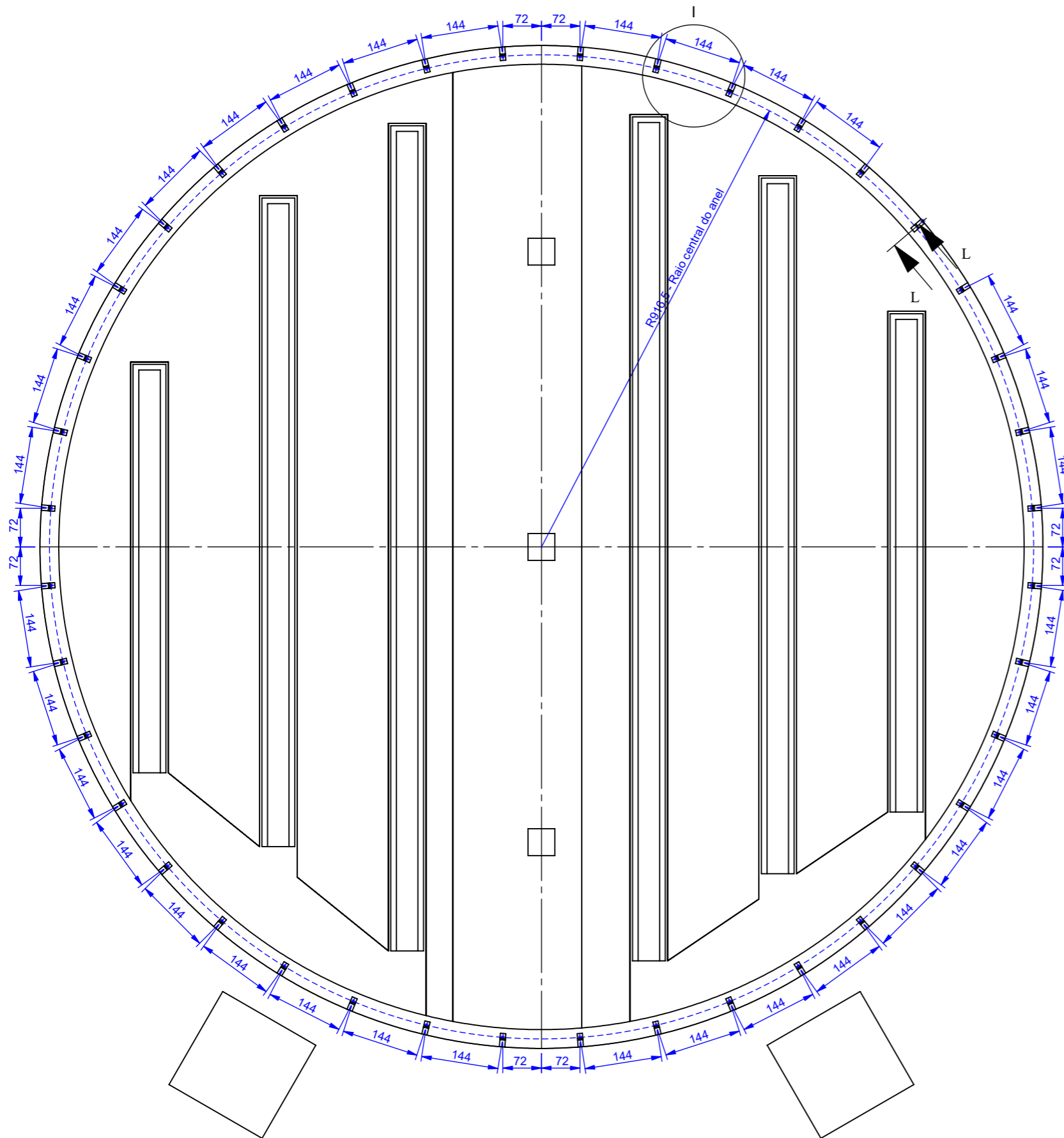
MODELO	Nº DE ANÉIS	CAPACIDADE (TON)	CAPACIDADE (SACAS)
1808	8	2.140	37.448
1809	9	2.361	41.321
1810	10	2.582	45.193
1811	11	2.804	49.066
1812	12	3.025	52.939
1813	13	3.246	56.812
1814	14	3.468	60.684
1815	15	3.689	64.557
1816	16	3.910	68.430
1817	17	4.132	72.303
1818	18	4.353	76.175


MercoSilos
 Silos & Secadores

MercoSilos Indústria e Comércio de Máquinas LTDA
 BR 158 km 373 Nº 3870 CEP 85504-670
 Parque das Indústrias - Pato Branco / PR
 www.mercosilos.com.br
 E-mail: mercosilos@mercosilos.com.br

Obra/ equipamento: BASE SILO Ø18,33 METROS, TIPO CANAL - 02 VENTILADORES					
Cliente:					
Material: CONCRETO ARMADO					
Eng.º responsável:			Projetista: Evandro Zanatta		Peso (g):
Data de Criação: 20/10/2014	Data de Impressão: 06/07/2022	Escala: 1:90	Unidade: cm	Folha: A3	Quantidade: 1
Computador: Projeto12		Volume cm3:		Codigo: CS1-18332001	

DETALHE DE LOCALIZAÇÃO DOS NICHOS
40 NICHOS ESPAÇADOS IGUALMENTE CONFORME DIMENSÕES ABAIXO
OS NICHOS DEVEM SER POSICIONADOS SOBRE CADA ESTACA DO ANEL
MEDIDAS OBTIDAS A PARTIR DO RAIOS CENTRAL DO ANEL



 <p>Mercosilos Silos & Secadores</p> <p><small>Mercosilos Indústria e Comércio de Máquinas LTDA BR 158 km 373 Nº 3870 CEP 85504-670 Parque das Indústrias - Pato Branco / PR www.mercosilos.com.br E-mail: mercosilos@mercosilos.com.br</small></p>	Obra/ equipamento: BASE SILO Ø18,33 METROS, TIPO CANAL - 02 VENTILADORES		Cliente:	
	Material: CONCRETO ARMADO		Eng.º responsável: Evandro Zanatta	
Data de Criação: 20/10/2014	Data de Impressão: 06/07/2022	Escala: 1:90	Unidade: cm	Folha: A3
Computador: Projeto12	Volume cm3:	Codigo: CS1-18332001	Peso (g): Quantidade: 1	

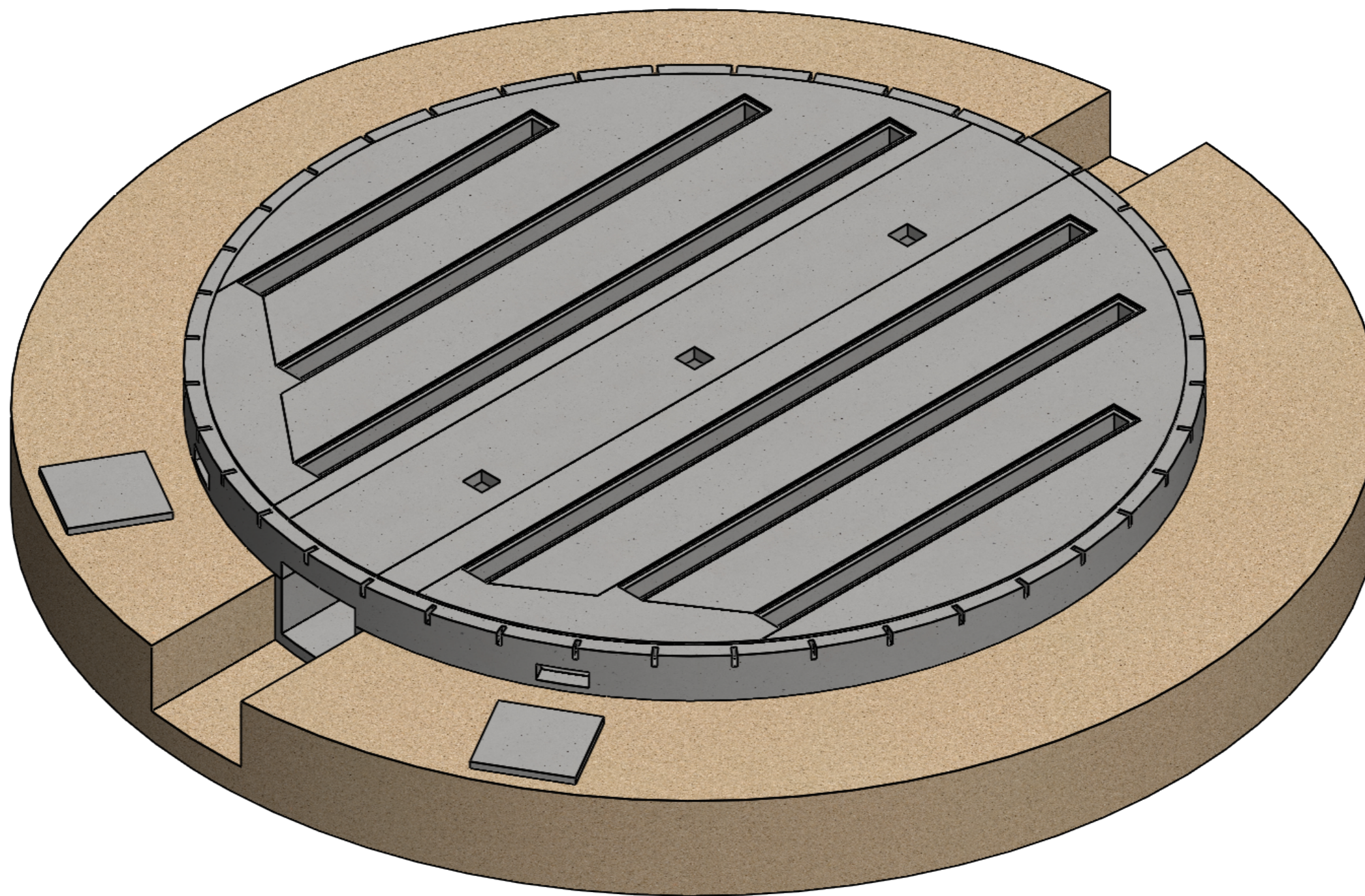


TABELA DE CARGAS

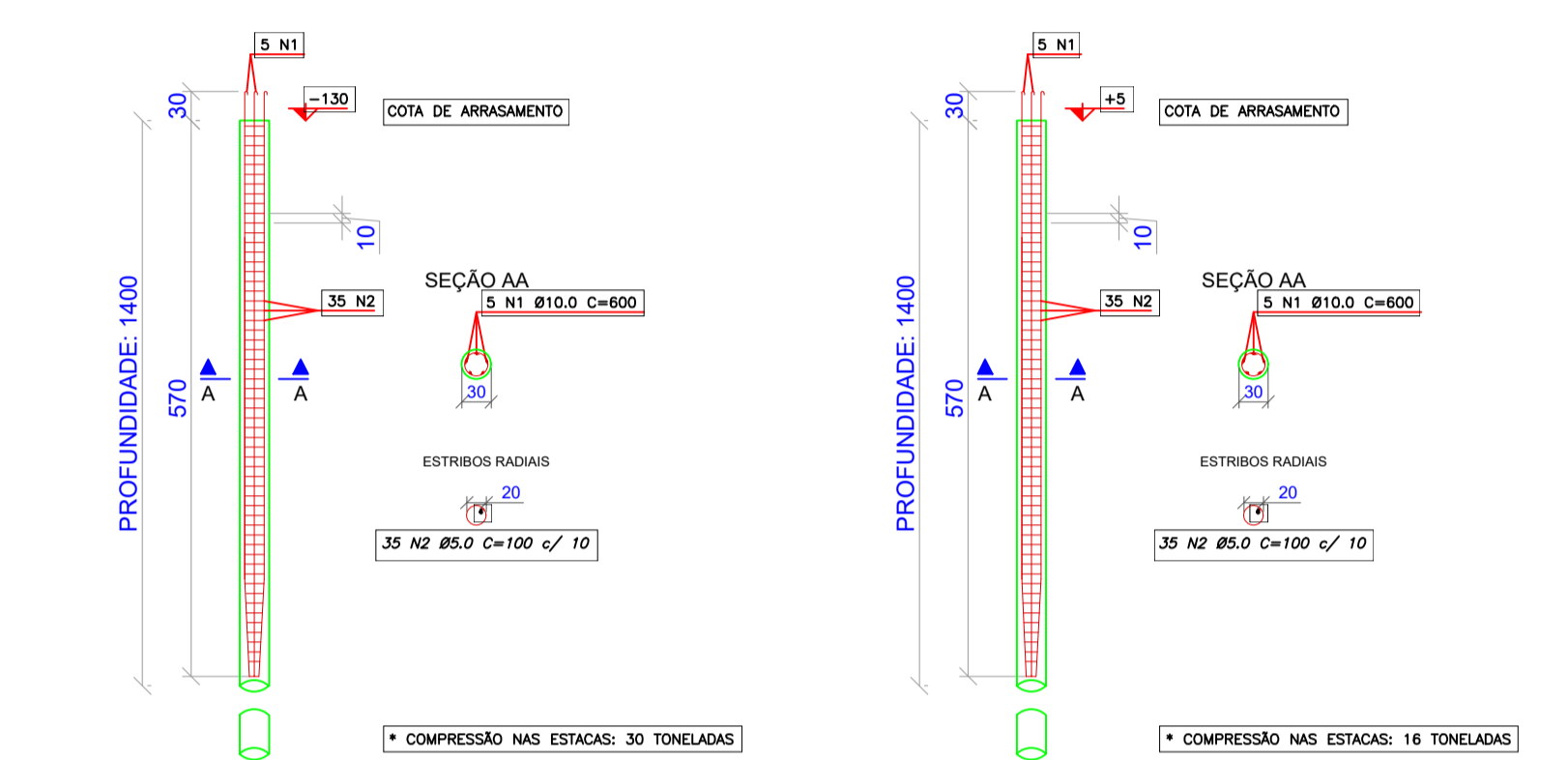
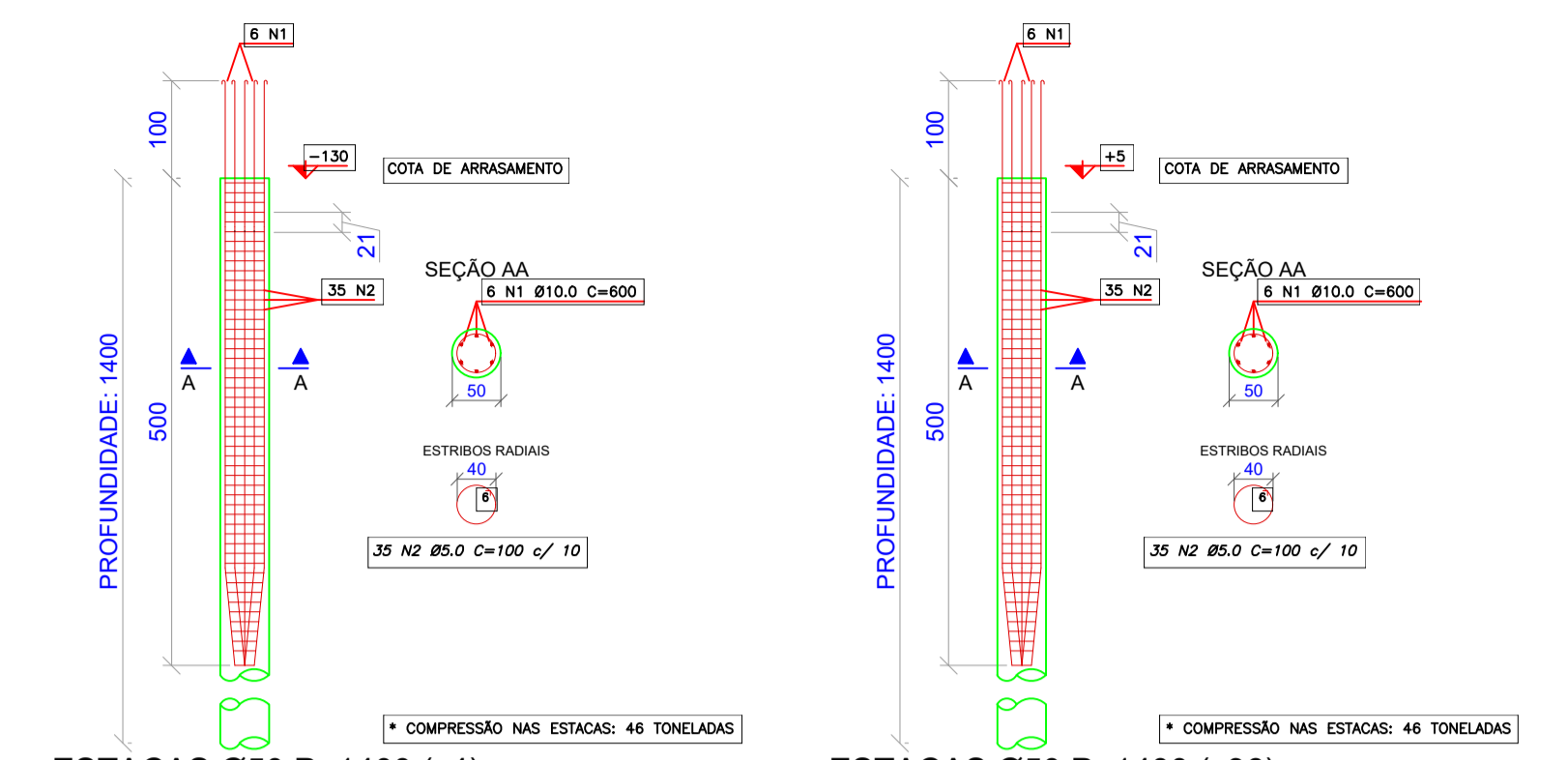
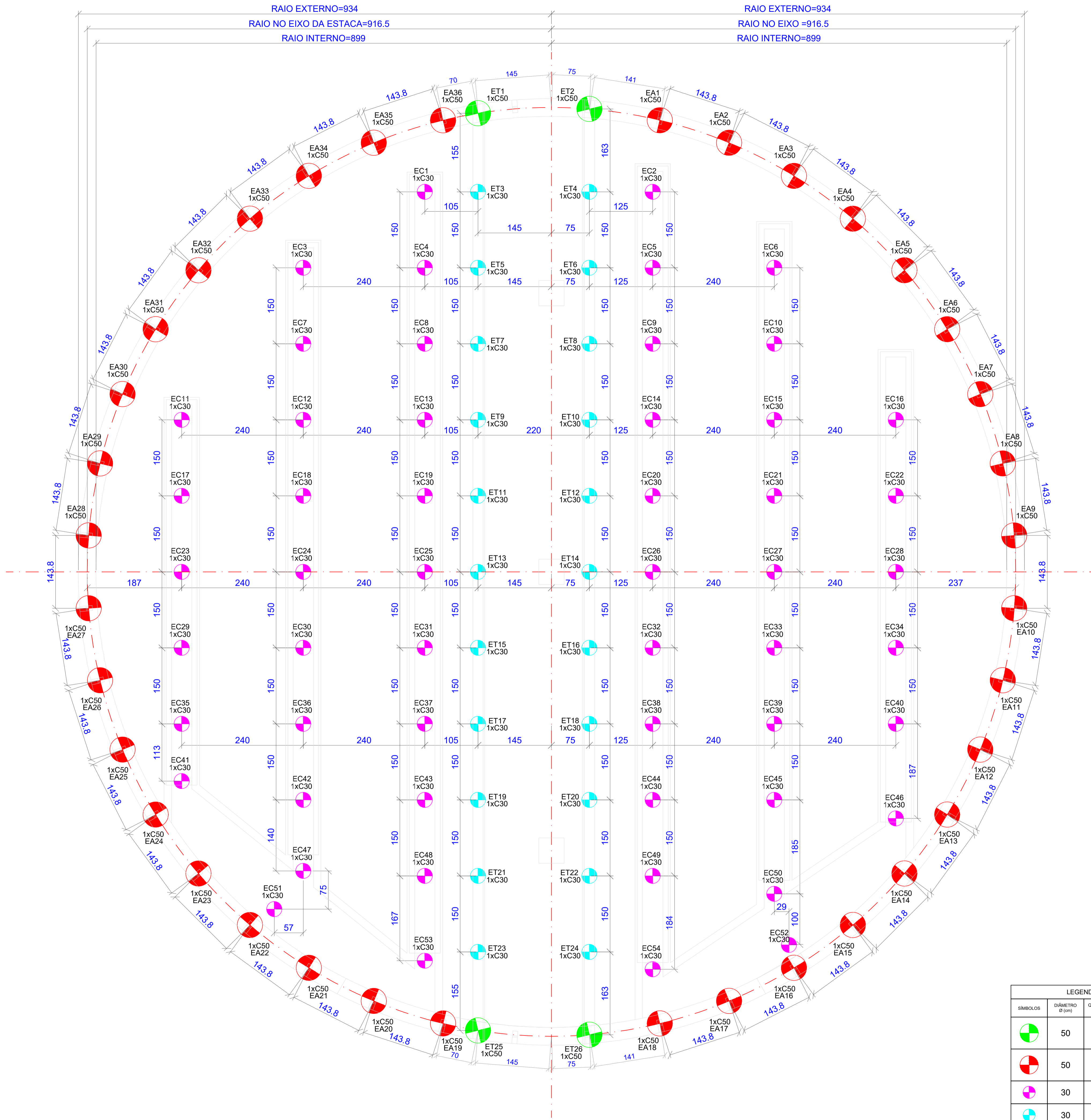
MODELO	Nº DE ANÉIS	CAPACIDADE (TON)	CAPACIDADE (SACAS)
1808	8	2.140	37.448
1809	9	2.361	41.321
1810	10	2.582	45.193
1811	11	2.804	49.066
1812	12	3.025	52.939
1813	13	3.246	56.812
1814	14	3.468	60.684
1815	15	3.689	64.557
1816	16	3.910	68.430
1817	17	4.132	72.303
1818	18	4.353	76.175


Mercosilos
 Silos & Secadores

Mercosilos Indústria e Comércio de Máquinas LTDA
 BR 158 km 373 Nº 3870 CEP 85504-670
 Parque das Indústrias - Pato Branco / PR
 www.mercosilos.com.br
 E-mail: mercosilos@mercosilos.com.br

Obra/ equipamento:					
BASE SILO Ø18,33 METROS, TIPO CANAL - 02 VENTILADORES					
Cliente:					
Material:					
CONCRETO ARMADO					
Eng.º responsável:			Projetista:		Peso (g):
			Evandro Zanatta		
Data de Criação:	Data de Impressão:	Escala:	Unidade:	Folha:	Quantidade:
20/10/2014	06/07/2022	1:90	cm	A3	1
Computador:	Volume cm3:	Codigo:			
Projeto12		CS1-18332001			

ANEXO B- PROJETO DETALHAMENTO DAS ESTACAS PROJETO ORIGINAL



LEGENDA DO ESTAQUEAMENTO

SÍMBOLOS	DIÂMETRO Ø (cm)	QUANTIDADE (un)	ESCAVAÇÃO TOTAL (m)	COTA DE ARRASAMENTO (cm)	TIPO DE ESTACA
	50	4	14,00	-130	HÉLICE CONTÍNUA
	50	36	14,00	+5	HÉLICE CONTÍNUA
	30	54	14,00	+5	HÉLICE CONTÍNUA
	30	22	14,00	-130	HÉLICE CONTÍNUA

CS-18332001 - MODELO MERCOSILOS

LOCAL: CHOPINZINHO - PR

ENG. RESP.: [Redacted]

PLANTA DE LOCAÇÃO 01

A: 274,05 m² ESC: 1:40 DATA: 13/03/2021