

Rodrigues, J. V. D. <sup>1</sup>; Neto, J. D. A. <sup>2</sup>

*Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

Pacheco, R. T. <sup>3</sup>

*Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil*

[joaovictordrodrigues1997@gmail.com](mailto:joaovictordrodrigues1997@gmail.com); [jose.daneto98@gmail.com](mailto:jose.daneto98@gmail.com); [ricardoecivil@hotmail.com](mailto:ricardoecivil@hotmail.com)

**RESUMO:** O presente trabalho teve como principal objetivo analisar um relatório de monitoramento de recalque de uma edificação, constituída por uma fundação do tipo tubulão e comparar com os valores calculados pelo método de Poulos e Davis. Para se determinar o recalque do elemento de fundação foi calculado o módulo de elasticidade do solo (Es) a partir do relatório de ensaio SPT, sugerido em literatura de três vezes a média do NSPT, mas foi observado que o intervalo entre dois a cinco vezes é bastante interessante para o estudo. A partir do relatório de monitoramento fornecido, foram analisados os três pilares que apresentaram maiores recalques na edificação, sendo eles P2, PB2 E PB3, realizando as medições de recalques absolutos, diferenciais e distorção angular comparado com a tabela de Bjerrum. Também foram analisadas as velocidades de recalque, calculadas para todos os pilares e comparadas com as medições fornecidas. As velocidades encontradas nos pilares não apresentaram nenhuma anomalia ou comportamento irregular através das medições, já que todos seguiram um comportamento de estabilização, como o esperado.

*Palavras-chaves: Monitoramento de recalque; Velocidade de recalque; Poulos & Davis; Distorção Angular.*

**Área de Concentração:** 03 – Geotecnia.

## 1 INTRODUÇÃO

As construções verticais requerem estruturas mais robustas que permitam a distribuição dos carregamentos. Com o acréscimo de tensões da estrutura ao solo é esperada uma movimentação caracterizada como recalque, prevista em projeto.

Recalque pode ser definido como deslocamento vertical descendente absoluto ou relativo do solo (ABNT NBR 6122:2019). O recalque de fundações em edificações é de grande importância, seu monitoramento contínuo só foi estabelecido como critério obrigatório a partir da ABNT NBR 6122:2010. Com o monitoramento contínuo da estrutura pode-se evitar problemas a estrutura como por exemplo, trincas e rachaduras em elementos estruturais e de vedação, desaprumo da edificação, locação de tubulações hidráulica e elétricas, dentre outros.

Como parte do monitoramento da estrutura, deve-se analisar os quesitos de recalques absolutos e diferenciais, distorções angulares e velocidades de

recalque, ao qual pode-se obter resultados mais expressivos em relação ao comportamento da estrutura.

O estudo de caso tem como base o relatório de monitoramento de recalque de um edifício executado por uma construtora na cidade de Anápolis-GO que tem como objetivo principal determinar o comparativo dos recalques estimados em projeto com os coletados em obra.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Fundações

Fundação pode ser definida como conjunto de elementos estruturais intermediários que em contato com o solo tem por finalidade a dissipação de cargas da estrutura da edificação. Segundo Alonso (1991) toda e qualquer fundação, tanto seu projeto quanto sua execução, devem garantir condições mínimas para atender a segurança, funcionalidade e durabilidade da edificação.

Segundo a ABNT NBR 6122:2019 existem dois tipos de métodos construtivos para fundações, sendo eles de

forma diretas (rasas) ou indiretas (profundas). Fundações diretas são elementos estruturais que possuem profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, ao qual distribue as cargas por pressão na base. Já as fundações indiretas possuem sua profundidade maior que oito vezes seu menor diâmetro em planta ou no mínimo três metros e as forças ditribuidas por resistência de ponta (na base) ou por resistência de fuste (superfície lateral).

## 2.2 Recalque de fundações

A partir do carregamento da estrutura é esperado uma movimentação da fundação junto ao solo, definida como recalque, “Deslocamento vertical descendente absoluto ou relativo do solo” (ABNT NBR 6122:2019, p.6). Recalque pode ser dividido em três tipos, sendo eles absoluto, diferencial e diferencial específico (distorção angular).

### 2.2.1 Recalque absoluto

Conhecido também como recalque total ( $\rho$ ), tem por definição segundo a ABNT NBR 6122:2019 como deslocamento vertical descendente absoluto, ocorre em um elemento isolado da fundação, onde sua análise não leva em conta o restante do conjunto de fundações, apenas o elemento específico.

O recalque absoluto pode ser estimado tanto para fundações diretas quanto para indiretas. A estimativa de recalque em estacas pode ser expressa pela teoria de Poulos e Davis, utilizada também no caso de tubulões alterando diâmetros e propriedades do material.

A teoria de Poulos e Davis consiste em cálculos de recalques para estacas, mas que pode ser ajustada para tubulões, considerando uma estaca com base alargada. Levando em conta que os elementos de fundação são do tipo tubulão, determina-se o recalque absoluto pela equação (1), considerando o modelo de estaca com base alargada, o fator de influência para uma estaca de ponta (trabalha pela resistência na base), demonstrada na equação (2) que será utilizado nos anexos C e D, e a rigidez relativa do material da estaca (K), demonstrada pela equação (3), cujo ábacos estão presentes nos anexos E e F para seus respectivos valores.

$$\rho_s = \frac{P \cdot I}{E_s \cdot D} \quad (1)$$

onde:

$\rho_z$  = recalque no topo da estaca;

P = carga aplicada na estaca;

D = diâmetro da estaca;

I = fator de influência;

$E_s$  = módulo de elasticidade do solo.

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v \quad (2)$$

$I_o$  = fator de influência para uma estaca (Anexo C);  
 $R_k$  = correção pela compressibilidade real (Anexo D);  
 $R_h$  = correção em uma camada finita de solo (Anexo E);  
 $R_v$  = correção devido ao “ $\nu$ ” real (coeficiente de Poisson) (Anexo F).

$$K = \frac{E_{con}}{E_s} \quad (3)$$

K = Rigidez relativa do material da estaca;  
 $E_{con}$  = Módulo de elasticidade do concreto;  
 $E_s$  = Módulo de elasticidade do solo.

Vale resaltar que, caso um pilar estiver apoiado em mais de um tubulão, um grupo de tubulões, foi considerado um tubulão equivalente.

Como a norma NBR 6122:2019 não possui um critério bem definido de separação entre estacas de ponta e de atrito, no presente estudo foi adotado o método de estaca de ponta para cálculos de diâmetro equivalente, como demonstrado na equação (4). Vale salientar também que, fazendo a variação entre o método de estacas de ponta e de atrito, não houve grande diferença entre os recalques, logo optou-se pelo método de ponta

Nesta situação é importante conhecer as dimensões do elemento de ligação do grupo de tubulões, chamado também de bloco de ligação, determinada pelo Anexo B.

$$Deq = 1,13 \cdot \sqrt{Ag} \quad (4)$$

$Ag$  = Área plana do bloco de fundação

O módulo de elasticidade do solo é associado ao próprio nível de deformabilidade, definindo-se também por tensão/deformação específica.

O mesmo pode ser determinado pelo ensaio de compressão triaxial, realizado em laboratório com o solo em um molde de corpo cilíndrico. O módulo de elasticidade é definido a partir da relação tensão x deformação, expressa pela equação (5).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade ou módulo de Young (Pascal);

$\delta$  = Tensão aplicada (Pascal);

$\varepsilon$  = Deformação elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional).

O módulo de deformação do solo pode ser chamado de módulo de deformabilidade, pelo fato de que o solo não é elástico.

Para se determinar o módulo de elasticidade a partir do ensaio SPT, a literatura sugere a variação de duas a três vezes o valor do NSPT, como dito por Décourt et al (1989). Diante os cálculos a serem realizados pela teoria de Poulos e Davis, Poulos (2001) sugere o módulo de elasticidade do solo três vezes o NSPT, mas será verificado todo o intervalo(entre dois a cinco) para encontrar o melhor valor em questão.

### 2.2.2 Recalque diferencial

O recalque diferencial é a análise do recalque entre dois elementos da fundação, levando em conta seus recalques absolutos, ou seja, e a diferença do recalque total entre dois pontos distintos. Pode-se destacar que o recalque diferencial levar em consideração a distorção angular.

### 2.2.3 Distorção angular

Recalque diferencial específico ou distorção angular é definida pela ABNT NBR 6122:2019, como análise da relação entre o recalque diferencial e a distâncias entre seus elementos. O mesmo ocorre como se de fato toda a estrutura estivesse girando como um único elemento, com o valor da distorção e constante. Considerado como item de grande importância no monitoramento, dependendo da amplitude pode comprometer tubulações hidráulicas, prumo de paredes, fossos de elevadores.

### 2.3 Monitoramento de recalque

A partir dos avanços da arquitetura no meio construtivo, atualmente é possível perceber um padrão de construções mais altas e esbeltas no mercado, considerando assim de suma importância o monitoramento dessas estruturas junto ao solo, como critério de prevenção a possíveis problemas patológicos a edificação. Com o monitoramento de recalque pode ser inibido o aparecimento de trincas da estrutura/alvenaria, desaprumo da edificação, locação de tubulações hidráulicas, dentre outras.

O monitoramento de recalque de uma edificação é o acompanhamento do desempenho do solo e da fundação, permitindo assim uma análise da interação do conjunto solo-estrutura. Avaliando a evolução dos valores de recalque ao longo do tempo, pode-se antecipar os possíveis recalques diferenciais que no futuro possam vir a comprometer o desempenho da estrutura.

Um programa de monitoramento assertivo pode também evitar possíveis tragédias futuras, pois é

verificado o recalque com a evolução de carga, uma vez muito discrepante do previsto paraliza-se a obra para verificar possíveis causas e soluções.

Esse monitoramento também pode ser realizado a fim de checar algumas situações de vizinhança, como em descompressão para escavação do terreno vizinho, sobreposição de tensões, obras de infra-estrutura, etc.

O monitoramento de recalque é exigido como critério obrigatório a partir da ABNT NBR 6122,2010, ao qual estabelece quesitos mínimos para sua realização, descrito a seguir:

- Quando a carga variável e significativa em relação a total (Silos, reservatórios);
- Estruturas com altura superior á 55 metros de altura;
- Relação altura/largura maior que quatro;
- Fundações ou estruturas nãoo convencionais.

Segundo Gusmão (2006), o custo do monitoramento em uma obra é muito baixo se comparado ao custo total da obra, e até mesmo se comparado com custos de outros ensaios e controles.

A partir da ABNT NBR 6122:2019 são utilizados aparelhos topográficos para medir os recalques, destacando-se assim os níveis óticos de precisão e nível eletrônico Figura 1.

**Figura 1 – Nível óptico (esquerda) e Nível Eletrônico (direita)**



**Fonte: Google Imagens**

### 2.4 Velocidade de recalque

A velocidade de recalque é outro parâmetro indispensável para o estudo do comportamento do deslocamento.

Segundo Alonso (1991), nos casos definidos como "normais", têm-se como controle de velocidade o seguinte critério:

- Prédios em construção e apoiados em fundação rasa podem ser considerados normais quando apresentam velocidade até  $200\mu$ /dia.
- Se forem apoiadas em fundações profundas, essa velocidade deverá ser reduzida para  $100\mu$ /dia.

Porém estes valores poderão ser maiores, temporariamente, devido a fatores externos à obra, como por exemplo rebaixamento de lençol d'água, escavações de valas profundas próximas à obra, ação de "atrito negativo" em estacas, entre outros.

Como dito por Alonso (1991), em prédios construídos com mais de 5 anos e considerados estabilizados é comum se registrarem velocidades dos recalques inferiores a  $20 \mu / \text{dia}$ . Nestes mesmos prédios, velocidades entre  $20 \mu / \text{dia}$  e  $40 \mu / \text{dia}$  são consideradas de moderadas a altas e acima de  $40 \mu / \text{dia}$  são consideradas muito altas, e portanto, preocupantes.

### 2.5 Previsão de recalque

A previsão de recalque é uma estimativa realizada a partir dos dados fornecidos em projeto e coletados *in loco*, não garantindo a total certeza do deslocamento vertical do solo.

Para estimar um recalque de fundação, existem diversos métodos e pode-se citar dois métodos mais utilizados para cálculo de recalque em estacas: Poulos e Davis (1980) e Randolph e Wroth (1978).

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Descrição do empreendimento

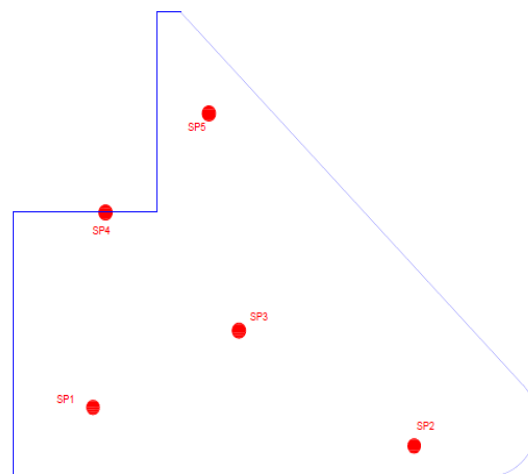
O trabalho em questão é um estudo de caso de uma obra executada na cidade de Anápolis – GO, sendo o empreendimento constituído por vinte e seis pavimentos, todos voltados para o meio corporativos e salas comerciais.

A partir de estudos realizados pelo projetista de fundações, foi definido a execução de tubulões, pouco usado nos dias atuais pelo mercado da construção civil.

### 3.2 Coleta de dados

Inicialmente foi disponibilizado um relatório de sondagem realizado o ensaio SPT (Sondagem à percussão simples) em cinco pontos diferentes no terreno com extensão de  $2.993,27 \text{ m}^2$  vide Figura 2. A fundação é constituída de 105 tubulões, com diâmetro da base e do fuste variados.

Figura 2 – Croqui demonstrativo do ensaio SPT

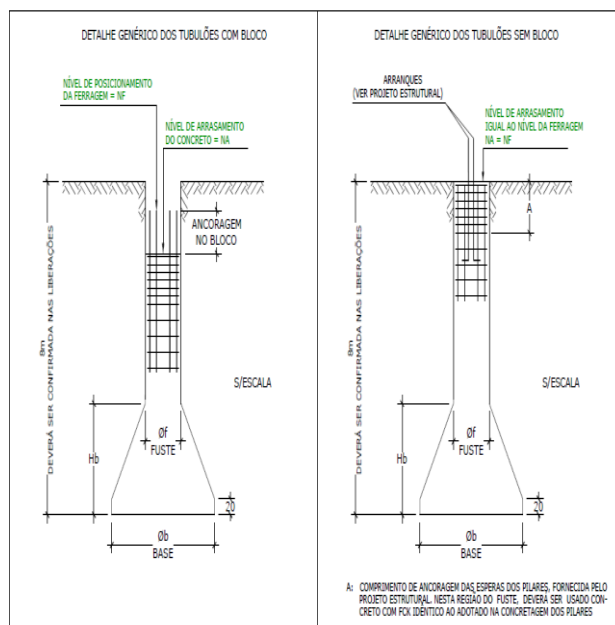


Fonte: Solo Base Engenharia (2015)

Diante projeto foram definidos que todos os tubulões possuem oito metros de profundidade, divididos em dois tipos, os que possuem blocos de ligação nos pilares e os que não possuem blocos Figura 3.

Os pilares definidos em estudo estão localizados em duas regiões de SPT (SP3 e SP5 Anexo G e H respectivamente). É importante ressaltar que no caso de tubulões, e considerado no ensaio SPT até três metros abaixo da base para definir o Nspt do solo.

Figura 3 –Tubulão com bloco e sem bloco



Fonte: Solo Base Engenharia (2015)

Os três pilares em estudo foram denominados como P2, PB2 e PB3 e suas respectivas cargas definidas na Tabela 1 (Anexo B). Os mesmos foram escolhidos por serem os mais críticos (que apresentam maior deformação) segundo o relatório de monitoramento de recalque analisado.

**Tabela 1 – Cargas definitivas**

PILARES	CARGAS (kN)
P2	5507,6
PB2	2940,0
PB3	3528,0

Fonte: Próprio autor (2020)

Após a coleta de dados dos projetos da edificação, foram definidos os tópicos a serem calculados para as fundações dos pilares (P2, PB2 e PB3) em análise:

- **Módulo elasticidade:** Inicialmente será definido o módulo de elasticidade do solo a partir dos dados coletados pelo ensaio SPT, multiplicando de 2 a 5 vezes a média do NSPT, da 1<sup>o</sup> camada até 11<sup>o</sup> camada (Considerando 3 camadas abaixo da base do tubulão). O valor encontrado foi comparado com o utilizado em projeto, verificando assim o que mais se aproxima.
- **Recalque absoluto:** Neste trabalho será desenvolvido cálculos de estimativa de recalque absoluto pelo método de Poulos e Davis Equação (1), para fundações tipo tubulão, o qual será comparado com o real do próprio monitoramento. Um quesito importante da equação de Poulos e Davis é o fator de influência expressa pela Equação (2). O fator de influência é encontrado a partir de ábacos, determinantes do fator de influência da estaca, correção de compressibilidade, correção da camada finita do solo e coeficiente de Poisson real. Para os pilares PB2 e PB3 serão utilizados os diâmetros da base alargada do tubulão, já no pilar P2 foi utilizado o diâmetro equivalente ( $D_{eq}$ ), devido sua fundação ser um grupo de tubulões. Neste caso o cálculo do  $D_{eq}$  foi considerado como uma estaca de ponta Equação 4.
- **Recalque diferencial e específico:** foi calculado o recalque diferencial e a distorção angular entre os três pilares escolhidos, em seguida a distorção angular será comparada com a sugerida em literatura, Tabela de Bjerrum (Anexo A), como parâmetro de estudo, expressa pela equação (5):

$$\gamma = \frac{\text{Recalque diferencial}}{\text{Distância}} = \frac{\delta}{L} \quad (5)$$

A distância entre os pilares foi definido no Anexo B, sendo de 9 metros entre P2 e PB3, 9,4 metros entre P2 e PB2 e 4,2 metros entre PB2 e PB3.

- Para a distorção angular não existe um limite em norma estabelecida para controle, mas alguns autores propuseram tabelas que estipulam limites e os principais danos a estrutura. A tabela utilizada foi a de Bjerrum, como referencial teórico Anexo A.
- Os relatórios de monitoramento de recalque e de projeto de fundação não contemplam as cargas intermediárias, da mesma forma que não informam os recalques intermediários esperados. Os valores de recalque intermediários foram apenas os reais obtidos in loco. A forma encontrada para esse acompanhamento, foi através de parâmetros de velocidades de recalque, obtidos entre medições (Anexo I).
- No caso do acompanhamento das velocidades de recalque, utiliza-se os parâmetros estabelecidos por Alonso (1991). Neste quesito será calculado as velocidades em relação as oito primeiras medições, em um intervalo de 203 dias, devido não ter sido fornecido as cargas intermediárias para a constatação da segurança quanto a amplitude dos recalques. Será realizado os cálculos de velocidade para todos os pilares (menos o P12 por impossibilitar sua medição) para apresentar mais dados comparativos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante a metodologia aplicada no estudo, pôde-se obter um vasto campo que visa diretamente a comparação dos resultados reais com os calculados. A partir dos relatórios disponibilizados foram obtidos os seguintes resultados:

### 4.1 Módulo de elasticidade

A partir dos relatórios SPT, foi estimado os módulos de elasticidade do solo para cada tubulão, levando em consideração o intervalo de dois a cinco vezes o NSPT, descrita na Tabela 2.

**Tabela 2 – Módulos de elasticidade do solo (Es) em MPa**

NSPT	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
SP05	22,7	28,4	34,1	39,8	45,5	51,1	56,6
SP03	14,4	18,0	21,5	25,1	28,7	32,3	35,9

Fonte: Próprio autor (2020)

Os pilares PB2 e PB3 estão localizados na região do SPT 05, ao qual o resultado do ensaio é descrito no Anexo H, considerando assim ambos com mesmo Es. Contudo, o pilar P2 está na região do SPT 03, demonstrado no relatório de ensaio no Anexo G. Vale destacar que o solo no pilar P2 apresentou um Es menor

que os demais pilares, com uma resistência que pode levar a uma maior deformação.

#### 4.2 Recalque absoluto

A partir do modelo de Poulos e Davis, foram calculados os recalques absolutos dos três pilares escolhidos, sendo eles os mais críticos. A partir do módulo de elasticidade, foi levado em consideração os diâmetros do fuste fornecidos em projeto, pois no caso dos tubulões o diâmetro da base é diferente do diâmetro do fuste.

Os pilares PB2 e PB3 estão sobre um tubulão de oito metros de profundidade com diâmetro da base igual a 2,60 metros. Já o pilar P2 está apoiado em dois tubulões de oito metros de profundidade, levando em consideração o cálculo do diâmetro equivalente a seguir:

$$D_{eq} = 2,9982 \text{ metros.}$$

Com os diâmetros definidos, foram encontradas as variáveis para se chegar ao fator de influência Equação 2. O fator de influência depende diretamente do diâmetro do tubulão, influência da estaca (Anexo C) e os fatores de correção respectivamente nos Anexos D, E e F. Os resultados dos cálculos estão expressos na Tabela 3 e 4.

Devido a variação do módulo de deformação ( $E_s$ ), como visto na Tabela 2, os ábacos que tinham influência da Rigidez relativa do material da estaca ( $K$ ) presente na equação 3, (Anexo C e E) variaram ao longo do intervalo de dois a cinco vezes o  $N_{spt}$ , como observado nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 – Fatores de influência P2**

Nspt	$I_o$	$R_k$	$R_h$	$R_v$	I
2,0*Nspt	0,19	1,13	0,84	0,93	0,1677
2,5*Nspt	0,19	1,14	0,84	0,93	0,1692
3,0*Nspt	0,19	1,16	0,84	0,94	0,1740
3,5*Nspt	0,19	1,17	0,84	0,94	0,1755
4,0*Nspt	0,19	1,19	0,84	0,94	0,1785
4,5*Nspt	0,19	1,19	0,84	0,94	0,1785
5,0*Nspt	0,19	1,19	0,84	0,94	0,1785

Fonte: Proprio autor (2020)

**Tabela 4 – Fatores de influência PB2 e PB3**

Nspt	$I_o$	$R_k$	$R_h$	$R_v$	I
2,0*Nspt	0,15	1,02	0,8	0,93	0,1138
2,5*Nspt	0,15	1,04	0,8	0,93	0,1160
3,0*Nspt	0,15	1,08	0,8	0,93	0,1205
3,5*Nspt	0,15	1,09	0,8	0,93	0,1216
4,0*Nspt	0,15	1,10	0,8	0,93	0,1227
4,5*Nspt	0,15	1,11	0,8	0,94	0,1252
5,0*Nspt	0,15	1,12	0,8	0,94	0,1263

Fonte: Proprio autor (2020)

Em análise das Tabela 3 e 4, pode-se afirmar que o pilar P2 possui um fator de influência maior que os pilares PB2 e PB3, devido o diâmetro da base da fundação desse pilar ser maior que os demais. Vale resaltar que os pilares PB2 e PB3 foram considerados os diâmetros com a base alargada, já o pilar P2 foi considerado o diâmetro equivalente por se tratar de um pilar estar apoiado em dois tubulões (tubulão equivalente).

Em seguida foi estimado o recalque absoluto dos pilares definidos, os resultados demonstrados na Tabela 5 a partir dos cálculos feitos pela equação 1. Já a Tabela 6 demonstra os recalque calculados pelo projetista.

**Tabela 5 – Recalque Absoluto Estimado**

NSPT	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\rho$ P2mm	21,5	17,3	14,8	12,8	11,4	10,1	9,10
$\rho$ PB2mm	13,4	10,9	9,45	8,20	7,20	6,50	5,90
$\rho$ PB3mm	16,1	13,1	11,4	9,80	8,70	7,85	7,13

Fonte: próprio autor (2020)

A tabela 5 demonstra os resultados obtidos dos recalques absolutos, variando o módulo de elasticidade ( $E_s$ ) entre 2 a 5 vezes o  $N_{spt}$ .

**Tabela 6 – Recalque Absoluto do Projetista**

PILARES	$\rho$ mm
P2	22,9
PB2	11,6
PB3	12,7

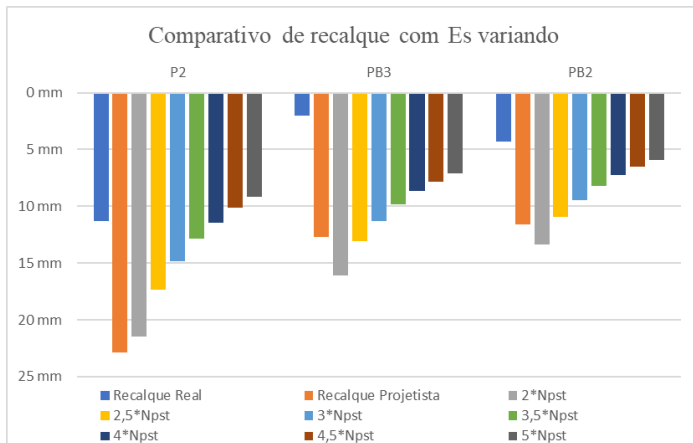
Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Pode-se perceber na Figura 4 que o projetista utiliza o valor de  $E_s$  próximo a duas vezes o  $N_{spt}$  para o grupo de tubulões do pilar P2, o qual tem o maior carregamento, cerca de 87% e 56% quando comparado com as fundações dos pilares PB2 e PB3 respectivamente. Já os tubulões dos pilares PB2 e PB3, percebe-se que o valor utilizado pelo projetista se aproxima de 2,5 vezes o  $N_{spt}$ .

Os recalques medidos em obra no relatório analisado foram definidos como, P2 = 11,3 mm, PB2 = 4,3 mm e PB3 = 2 mm. Pode-se comparar na Figura 4, o recalque medido em *in loco versus* o recalque feito com  $E_s$  variando.



**Figura 4 – Comparativo de recalques com Es variando**



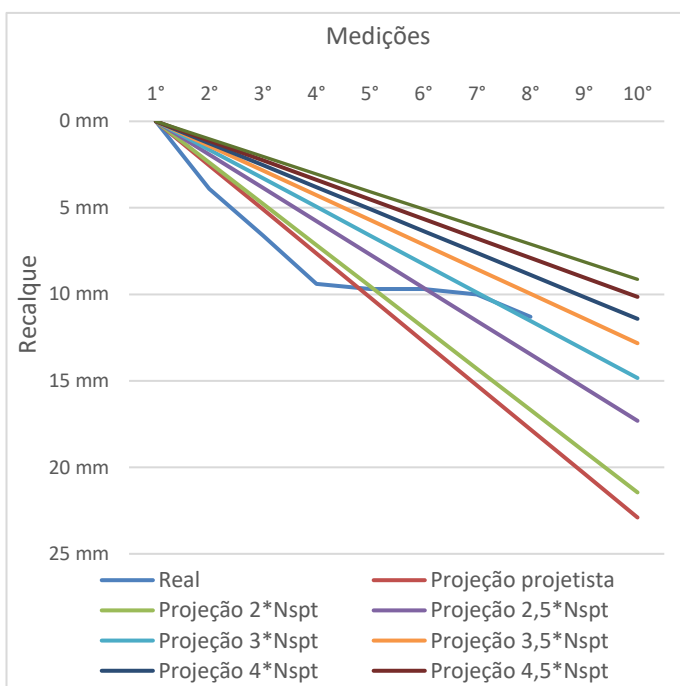
Fonte: próprio autor (2020)

É importantes resaltar que a Figura 4 mostra o comparativo dos recalques previstos com os reais, utilizando as cargas finais do empreendimento, pois não foi fornecido as cargas intermediárias.

O método de Poulos e Davis, considera a deformação do solo linear, mas sabe-se que o solo não é homogêneo e tem variações, tendo assim um comportamento elástico.

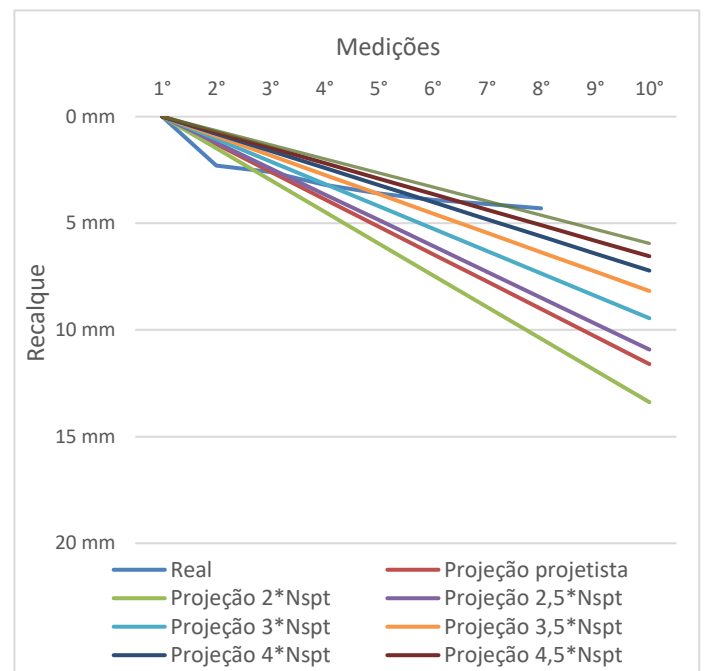
Nas figuras 5, 6 e 7, demonstrando o comportamento linear da previsão *versus* deformação não linear, sendo a escala horizontal nomeada com o número das medições.

**Figura 5– Método Poulos & Davis Versus Recalque Real (Pilar P2)**



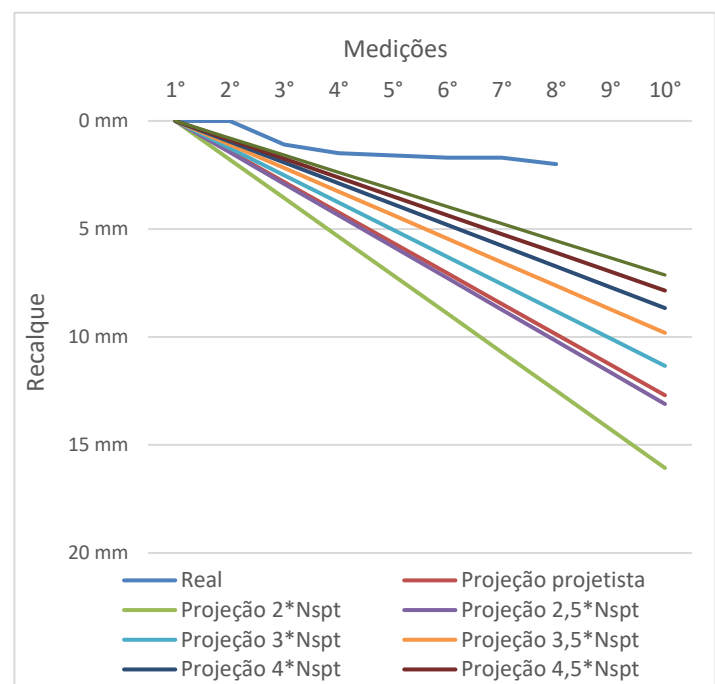
Fonte: próprio autor (2020)

**Figura 6– Método Poulos & Davis Versus Recalque Real (Pilar PB2)**



Fonte: próprio autor (2020)

**Figura 7 – Método Poulos & Davis Versus Recalque Real (Pilar PB3)**



Fonte: próprio autor (2020)

Ao analisar as Figuras 6 e 7, percebe-se que o valor real de recalque tende a permanecer próximo ou abaixo da reta de estimativa com Es de 5\*Nspt. Enquanto na Figura 5, observa-se uma proximidade com o Es de 3\*Nspt.

Percebe-se ao analisar a Figura 5 que, no pilar P2, durante a 5° e 6° medição não houve acréscimo do

recalque, possivelmente houve um erro com os dados da medição que não foi percebido ou comentado no Relatório de medição.

Outro aspecto que pode-se observar é o fato de que nas Figuras 5 e 6, inicialmente, o recalque real está levemente fora da previsão, mas que rapidamente volta para o intervalo com a evolução do empreendimento. Algo que também deve ser levado em consideração é que os valores iniciais ainda são muito pequenos e a estrutura não tem rigidez suficiente, uma hipótese seria que o pilar por ter muita inércia receba uma parcela de carga maior percentualmente que nos estágios finais de carga, fazendo assim que o método não tivesse uma boa previsão para o caso inicialmente.

Com a falta de cargas intermediárias por parte do projetista fica difícil estimar e realizar cálculos de recalques intermediários previstos, fazendo assim que haja uma dificuldade para fazer o monitoramento, fato pelo qual se deu a escolha do monitoramento pela velocidade, mas levando em conta também, as estimativas de recalque absoluto calculadas com a totalidade de carga do edifício.

Observa-se ao realizar os cálculos pelo método Poulos & Davis (1980) que o projetista usa valores para módulo de elasticidade do solo ( $E_s$ ) inferior ao valor sugerido por Poulos, de três vezes o NSPT.

Os tubulões dos pilares PB2 e PB3 estão localizados na região do SPT 05, com valor que mais se encaixa para o módulo de elasticidade do solo ( $E_s$ ) é entre 4,5 e 5 vezes o Nspt. Já o grupo de tubulões do pilar P2 está na região do SPT 03, com valor que mais se encaixa para o módulo de elasticidade do solo ( $E_s$ ) é entre 2,5 e 3 vezes o Nspt.

#### 4.3 Recalque diferencial e Distorção angular

O recalque diferencial junto a distorção angular foram calculados a partir dos recalques reais fornecidos em relatório, ao qual suas distâncias foram utilizadas a partir do projeto de fundação disponível em Anexo B.

A Tabela 7 define o recalque diferencial entre os pilares ( $\Delta\rho$ ), a distorção angular que a estrutura pode sofrer ( $\delta_{\max}$ ) e comparar com a tabela de Bjerrum como referencial teórico de problemas que a estrutura pode sofrer Anexo A.

**Tabela 7 – Comparação do recalque diferencial esperado, distorção angular e tabela de Bjerrum**

PILAR	$\Delta\rho$	$L_{(m)}$	$\delta_{\max}$	BJERRUM
P2-PB2	0,0075	9,4	0,00080	1/1254
P2-PB3	0,0098	9,0	0,0011	1/919
PB2-PB3	0,0023	4,2	0,00055	1/1826

Fonte: próprio autor (2020)

Diante a Tabela 7, pode-se constatar que a distorção angular entre os pilares P2-PB2 e PB2-PB3 estão acima de 1/1000, assim considerada irrelevante para Bjerrum, pois segundo o mesmo, a estrutura começa a sofrer efeitos da distorção no intervalo de 1/100 até 1/1000 (anexo A). Já entre os pilares P2-PB3 a distorção angular ficou entre 1/900 e 1/1000 sendo desconsiderado por estar mais perto dos limites de parâmetros.

#### 4.4 Velocidade de Recalque

Através dos dados obtidos nos relatórios de monitoramento de recalque do empreendimento da 1° a 8° medição, pode-se calcular as velocidades de recalque reais e também o recalque absoluto esperado e calculado para o empreendimento.

A seguir as tabelas de 8 a 14 comparam as velocidades de recalque com as datas dos deslocamentos de cada medição, tendo como base a 1° medição (O pilar 12 foi desconsiderado por impossibilidade de aferir seu deslocamento em algumas medições).

**Tabela 8 – Velocidade de recalque 2° medição**

PILAR	$\mu\text{m}/\text{dia}$	PILAR	$\mu\text{m}/\text{dia}$
P1B	45,5	P20	12,1
P2	118,2	P21	66,7
P3A	106,1	P22	0,0
P4	51,5	P23	36,4
P5	12,1	P24	9,1
P6	21,2	P25	3,0
P7	56,6	P26A	24,2
P8	27,3	P27A	39,4
P9	66,7	PB1	57,6
P10B	90,9	PB2	69,7
P11	36,4	PB3	0,0
P12	0,0	PB4	24,2
P13	24,2	PB5	84,8
P14	54,5	PB6	45,5
P15	63,6	PB7	60,6
P16	33,3	PB8	87,9
P17	0,0	PB9	54,5
P18A	33,3	PB10	51,5
P19	0,0	PB11	21,2

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

**Tabela 9 – Velocidade de recalque 3° medição**

PILAR	$\mu\text{m}/\text{dia}$	PILAR	$\mu\text{m}/\text{dia}$
P1B	26,5	P20	7,4
P2	97,1	P21	36,8
P3A	101,5	P22	5,9
P4	25,0	P23	22,1
P5	7,4	P24	10,3
P6	10,3	P25	1,5
P7	30,9	P26A	22,1
P8	17,6	P27A	26,5
P9	33,8	PB1	32,4
P10B	44,1	PB2	38,2



P11	20,6	PB3	16,2
P12	0,0	PB4	17,6
P13	22,1	PB5	50,0
P14	32,4	PB6	27,9
P15	39,7	PB7	29,4
P16	16,2	PB8	42,6
P17	0,0	PB9	27,9
P18A	25,0	PB10	25,0
P19	11,8	PB11	17,6

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Tabela 10 –Velocidade de recalque 4° medição

PILAR	µm/dia	PILAR	µm/dia
P1B	20,6	P20	5,20
P2	96,9	P21	27,8
P3A	100	P22	5,20
P4	26,8	P23	21,6
P5	5,20	P24	7,20
P6	8,20	P25	3,10
P7	22,7	P26A	16,5
P8	17,5	P27A	21,6
P9	23,7	PB1	25,8
P10B	32,0	PB2	33,0
P11	16,5	PB3	15,5
P12	0,00	PB4	12,4
P13	18,6	PB5	38,1
P14	23,7	PB6	20,6
P15	29,9	PB7	20,6
P16	13,4	PB8	29,9
P17	5,20	PB9	21,6
P18A	19,6	PB10	17,5
P19	10,3	PB11	15,5

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Tabela 11 –Velocidade de recalque 5° medição

PILAR	µm/dia	PILAR	µm/dia
P1B	16,2	P20	6,20
P2	74,6	P21	21,5
P3A	80,8	P22	6,20
P4	21,5	P23	17,7
P5	5,40	P24	5,40
P6	6,90	P25	5,40
P7	16,9	P26A	12,3
P8	15,4	P27A	17,7
P9	19,2	PB1	20,0
P10B	25,4	PB2	27,7
P11	13,1	PB3	12,3
P12	0,00	PB4	9,20
P13	13,8	PB5	30,0
P14	19,2	PB6	15,4
P15	23,1	PB7	17,7
P16	12,3	PB8	23,8
P17	6,90	PB9	18,5
P18A	16,2	PB10	14,6
P19	10,8	PB11	13,1

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Tabela 12 –Velocidade de recalque 6° medição

PILAR	µm/dia	PILAR	µm/dia
P1B	14,6	P20	4,90
P2	59,1	P21	18,3
P3A	72,0	P22	6,70
P4	17,1	P23	16,5
P5	4,90	P24	5,50
P6	5,50	P25	6,10
P7	14,6	P26A	9,80
P8	18,3	P27A	15,2
P9	15,9	PB1	17,1
P10B	21,3	PB2	23,8
P11	11,0	PB3	10,4
P12	0,00	PB4	9,10
P13	12,8	PB5	24,4
P14	15,9	PB6	12,2
P15	20,1	PB7	15,2
P16	11,6	PB8	18,9
P17	8,50	PB9	15,9
P18A	14,6	PB10	13,4
P19	9,10	PB11	12,2

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Tabela 13 –Velocidade de recalque 7° medição

PILAR	µm/dia	PILAR	µm/dia
P1B	13,5	P20	4,70
P2	51,8	P21	16,1
P3A	64,8	P22	6,20
P4	14,5	P23	14,0
P5	4,10	P24	5,70
P6	4,70	P25	7,30
P7	15,0	P26A	8,80
P8	17,1	P27A	14,0
P9	14,0	PB1	15,0
P10B	18,7	PB2	21,2
P11	9,80	PB3	8,80
P12	0,00	PB4	8,80
P13	13,5	PB5	21,2
P14	13,5	PB6	10,4
P15	17,6	PB7	13,5
P16	10,9	PB8	17,1
P17	10,4	PB9	14,5
P18A	13,5	PB10	12,4
P19	7,80	PB11	10,9

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Tabela 14 –Velocidade de recalque 8° medição

PILAR	µm/dia	PILAR	µm/dia
P1B	12,8	P20	4,40
P2	49,8	P21	14,5
P3A	56,8	P22	6,60
P4	12,8	P23	14,5
P5	3,50	P24	6,20
P6	4,00	P25	7,00
P7	15,0	P26A	7,90
P8	16,3	P27A	11,9
P9	12,8	PB1	13,2
P10B	15,9	PB2	18,9

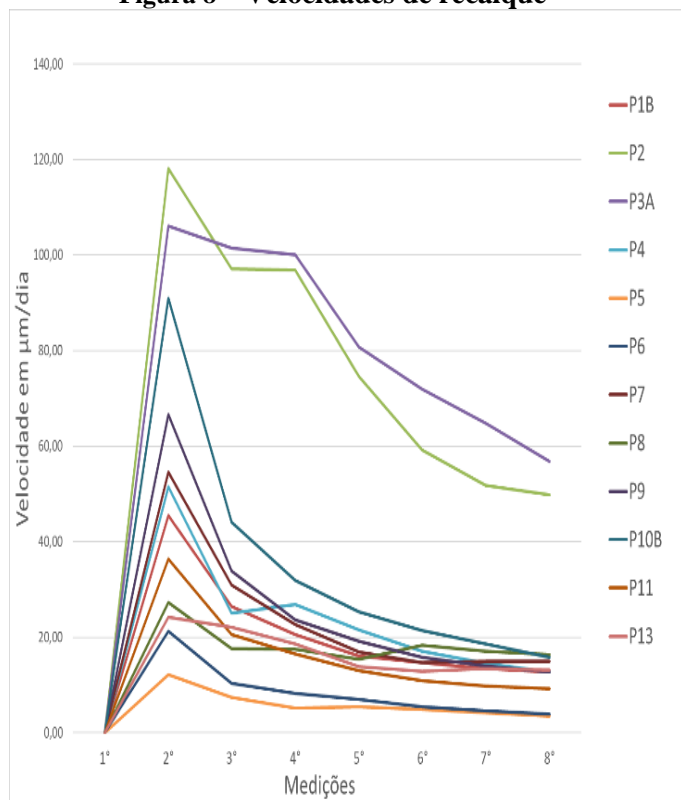
P11	9,30	PB3	8,80
P12	0,00	PB4	9,30
P13	13,2	PB5	18,1
P14	12,3	PB6	9,70
P15	16,3	PB7	12,3
P16	9,30	PB8	14,5
P17	11,0	PB9	14,1
P18A	14,1	PB10	11,5
P19	9,70	PB11	9,70

Fonte: Relatório de monitoramento (2020)

Ao analisar as tabelas, percebe-se que os valores de velocidade de recalque estão abaixo do valor mencionado para construções apoiadas em fundações profundas, cujo o valor é de  $100\mu\text{m}/\text{dia}$ , exceto os pilares P2 e P3A com alterações pequenas que logo se normalizam.

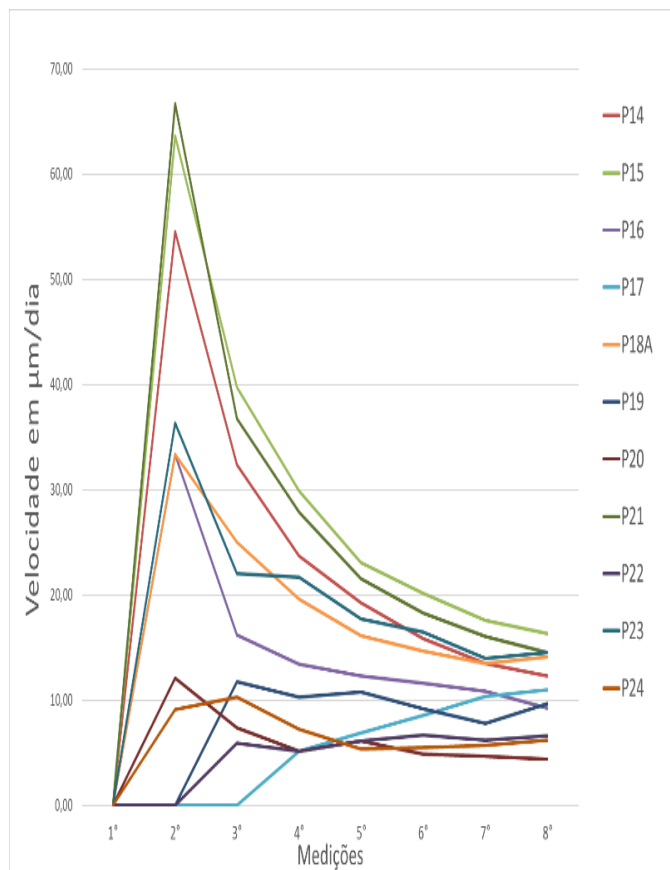
Ao traçar os gráficos de velocidade ao longo das medições, presentes nas figuras 8, 9 e 10, conclui-se que em uma construção regular e sem nenhuma surpresa, nota-se que as velocidades de recalque em todos os pilares tendem-se a diminuir constantemente a fim de estabilizar-se, considerando que a estrutura vai ficando enrijecida. Mostrando que a obra se comporta (tendência) como um corpo rígido.

Figura 8 – Velocidades de recalque



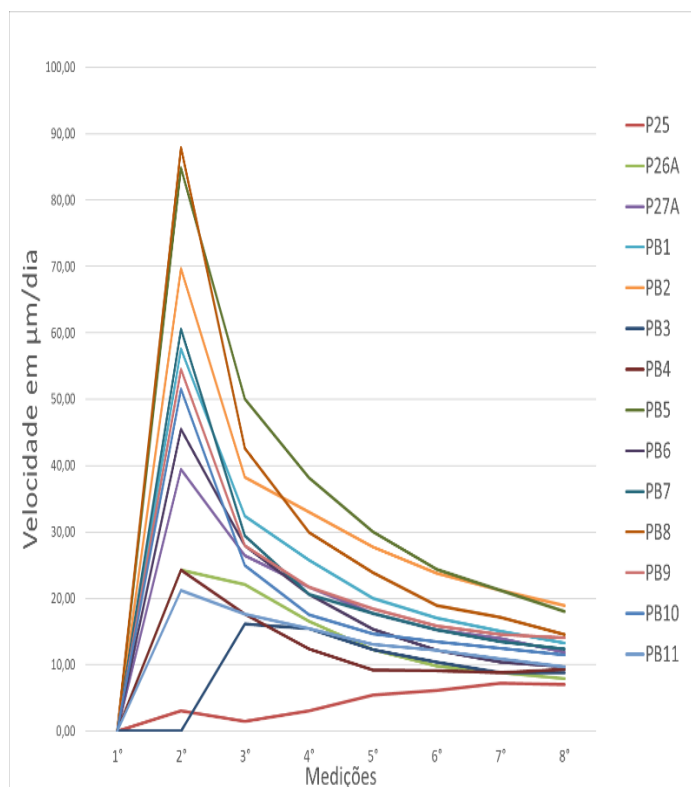
Fonte: próprio autor (2020)

Figura 9 – Velocidades de recalque



Fonte: próprio autor (2020)

Figura 10 – Velocidades de recalque



Fonte: próprio autor (2020)

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos estudos feitos, percebe-se a grande variabilidade que um solo pode apresentar, pois tem-se o exemplo de 2 ensaios de Nspt, SP-05 e SP-03, realizados em diferentes regiões de um mesmo lote, mostrando diferentes comportamentos e estimativas de Es.

A partir da determinação dos recalques absolutos, foi constatado a proximidade de valores calculados pelos estimados por Poulos e pelo projetista, conforme exposto em Figura 4.

O Projetista utiliza um valor de Es entre 2 e 2,5 vezes o NSPT, aumentando assim a deformação do solo prevista, dando uma boa margem de segurança. Justificável, pois não foi realizado nenhum ensaio para obter o Es com precisão, com os valores de Es encontrados por meios empíricos relacionados com o NSPT.

A partir dos recalques diferenciados e suas respectivas distâncias, foram analisadas as distorções angulares entre os pilares e comparados com a tabela de Bjerrum, e conclui-se que sua relação de distorção angular é muito pequena, assim não causando risco algum a estrutura.

Devido a falta de carregamentos e recalques intermediários previstos ao longo das medições, foi proposto o acompanhamento do recalque através do acompanhamento de suas velocidades no decorrer do empreendimento.

Quanto as velocidades de recalque é considerado que não há nenhum problema relacionado a recalque até o presente momento, logo é afirmado que as fundações foram bem dimensionadas e executadas. Pois os valores de velocidade de recalque diminuem com o passar do tempo e estabilizam-se, além do fato de que os valores estão dentro dos limites citados acima.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de fundações profundas**. 3 reim. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 2003.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações**. 1 ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. NBR 6122:2019: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

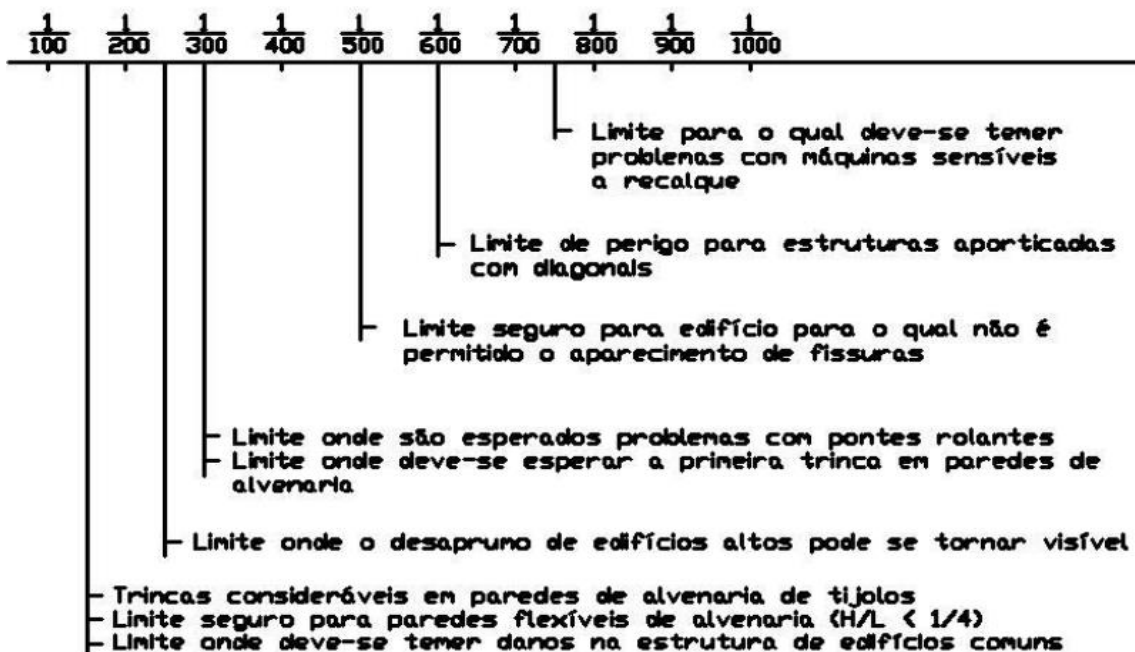
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. NBR 6122:2010: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

DÉCOURT, L; BELINCANTA, A. & QUARESMA FILHO, A. **Brazilian experience on SPT, supplementary contributions by the brasilian society for soil mechanics**. XII ICSMFE, Rio de Janeiro, p. 49-54, 1989.

GUSMÃO, A. D. **Desempenho de fundações de edifícios**. In: Palestras XIII COBRAMSEG, Curitiba, 2006. pp 215-240.

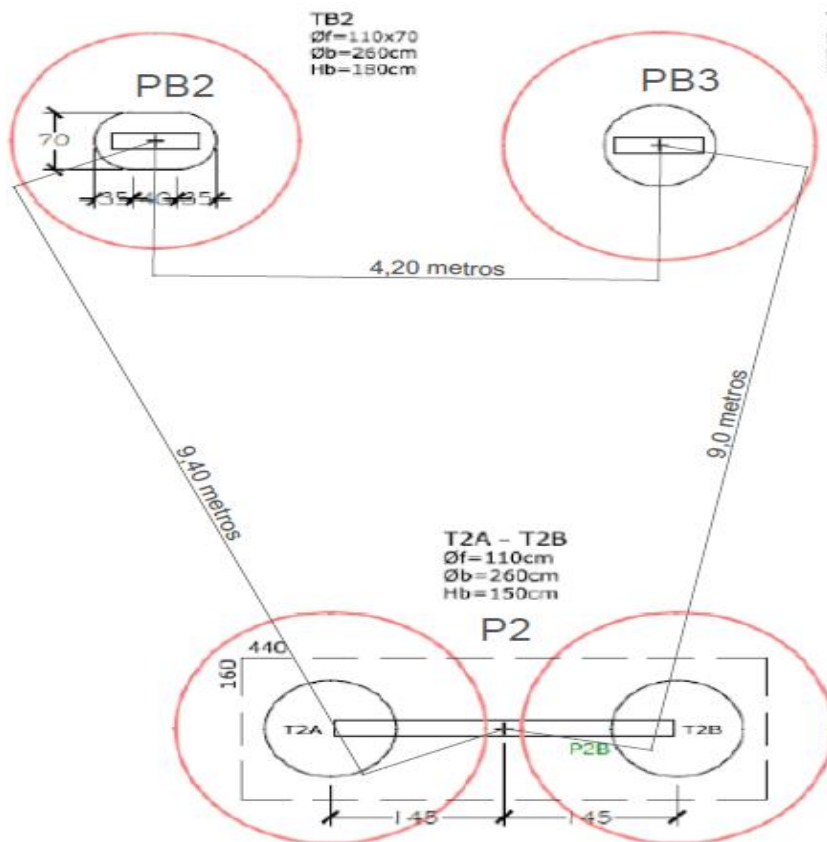
POULOS, H.G. (2001). **Piled raft foundations: design and applications**. Géotechnique, 51(2), 95-113.

Anexo A - Limites de distorção angular



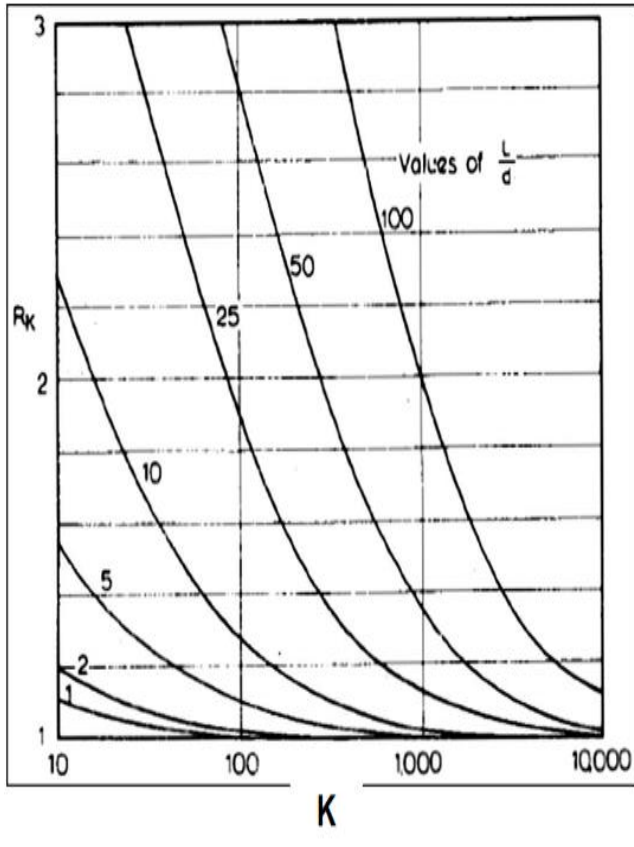
Fonte: BJERRUM., 1963.

Anexo B – Localização dos pilares em seus respectivos tubulões

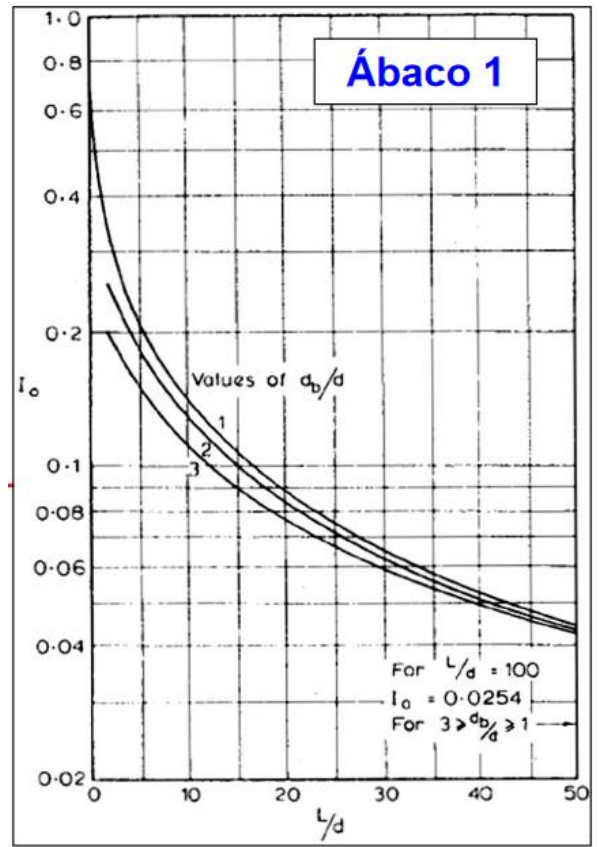


Fonte: Proprio autor.

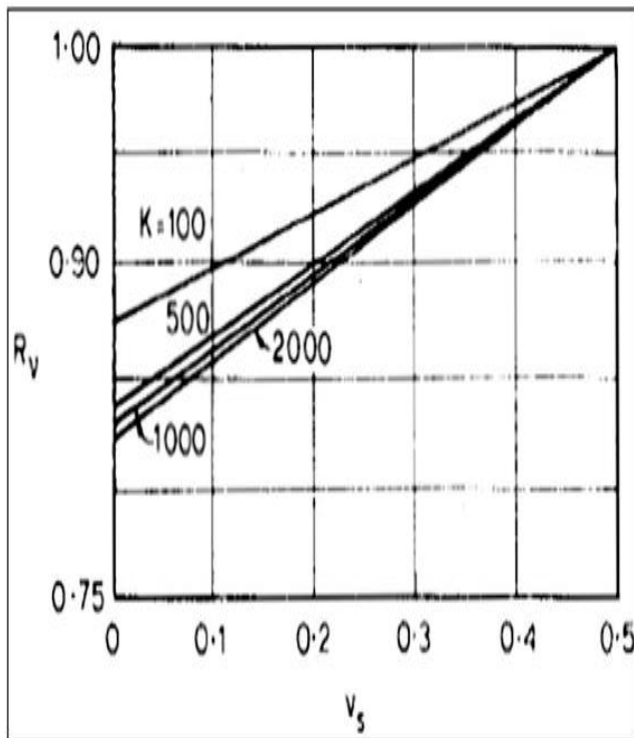
Anexo C – Ábaco de correção pela compressibilidade real



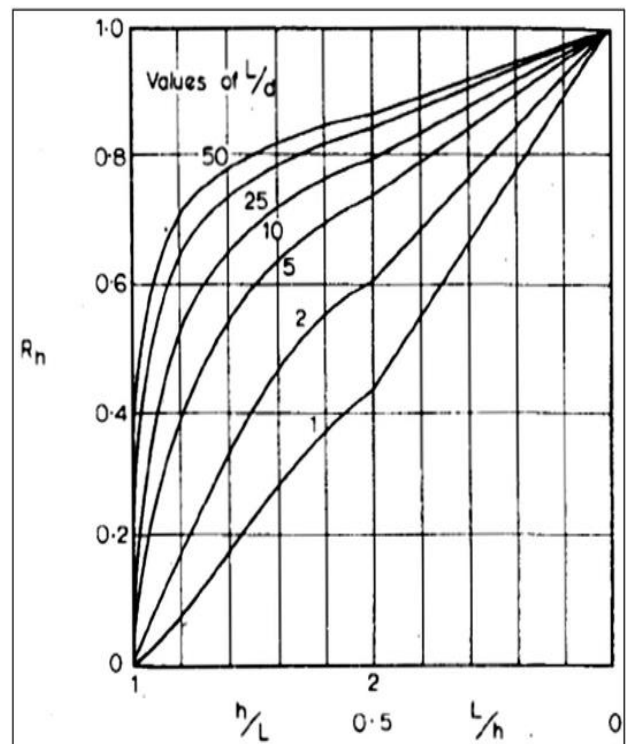
Anexo D – Ábaco de fator de influência



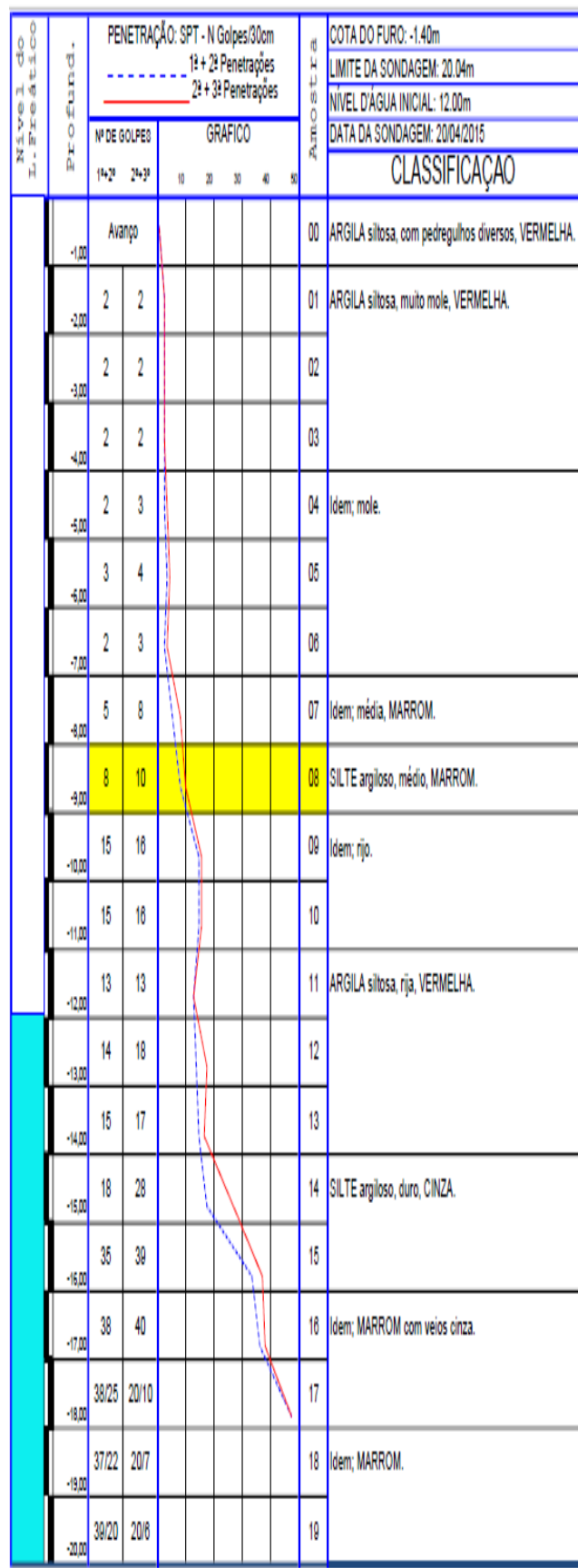
Anexo E – Ábaco de correção devido ao "v" real



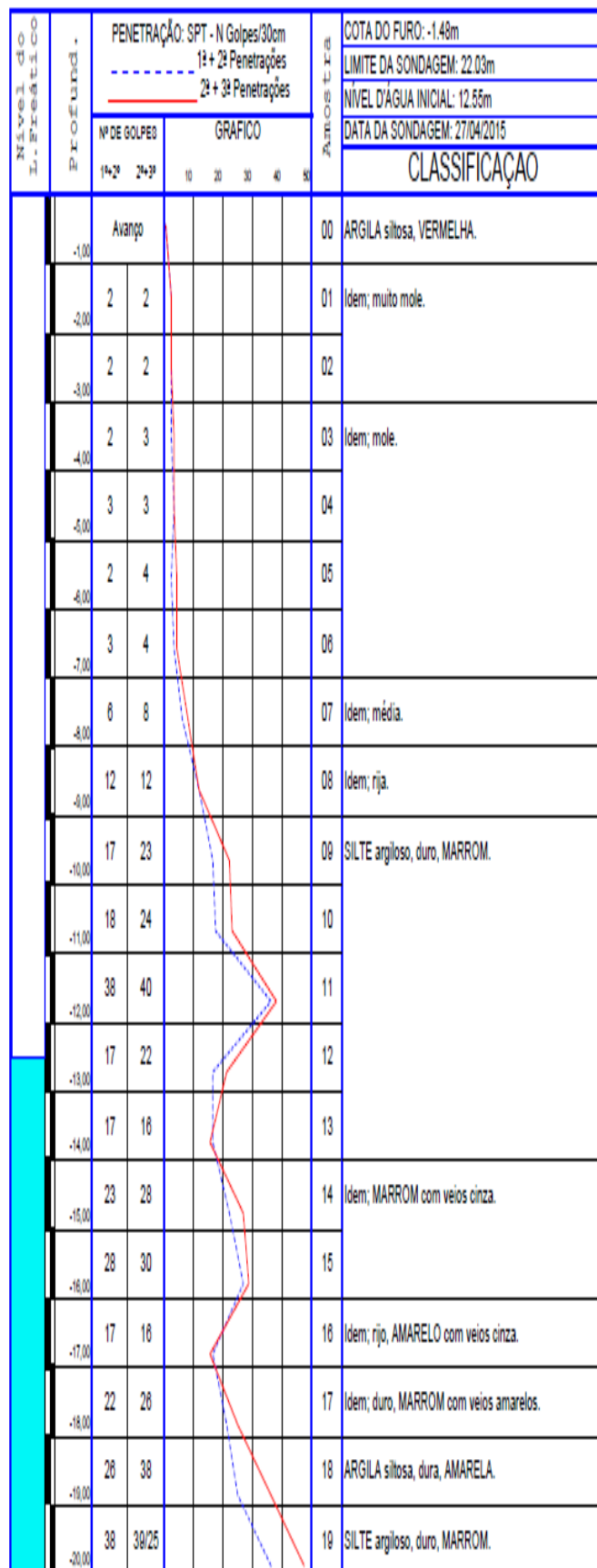
Anexo F – Ábaco correção em uma camada finita de solo



Anexo G – Ensaio SPT-03



Anexo H – Ensaio SPT-05



**Anexo I – Recalque acumulado nos Pilares monitorados, em mm**

<b>PILAR</b>	06/09/2019	09/10/2019	13/11/2019	12/12/2019	14/01/2020	17/02/2020	17/03/2020	<b>20/04/2020</b>
P1B	0,0	-1,500	-1,800	-2,000	-2,100	-2,400	-2,600	<b>-2,900</b>
P2	0,0	-3,900	-6,600	-9,400	-9,700	-9,700	-10,000	<b>-11,300</b>
P3A	0,0	-3,500	-6,900	-9,700	-10,500	-11,800	-12,500	<b>-12,900</b>
P4	0,0	-1,700	-1,700	-2,600	-2,800	-2,800	-2,800	<b>-2,900</b>
P5	0,0	-0,400	-0,500	-0,500	-0,700	-0,800	-0,800	<b>-0,800</b>
P6	0,0	-0,700	-0,700	-0,800	-0,900	-0,900	-0,900	<b>-0,900</b>
P7	0,0	-1,800	-2,100	-2,200	-2,200	-2,400	-2,900	<b>-3,400</b>
P8	0,0	-0,900	-1,200	-1,700	-2,000	-3,000	-3,300	<b>-3,700</b>
P9	0,0	-2,200	-2,300	-2,300	-2,500	-2,600	-2,700	<b>-2,900</b>
P10B	0,0	-3,000	-3,000	-3,100	-3,300	-3,500	-3,600	<b>-3,600</b>
P11	0,0	-1,200	-1,400	-1,600	-1,700	-1,800	-1,900	<b>-2,100</b>
P12	0,0	0,000	0,000	-280,500	-280,500	-280,500	-280,500	<b>0,000</b>
P13	0,0	-0,800	-1,500	-1,800	-1,800	-2,100	-2,600	<b>-3,000</b>
P14	0,0	-1,800	-2,200	-2,300	-2,500	-2,600	-2,600	<b>-2,800</b>
P15	0,0	-2,100	-2,700	-2,900	-3,000	-3,300	-3,400	<b>-3,700</b>
P16	0,0	-1,100	-1,100	-1,300	-1,600	-1,900	-2,100	<b>-2,100</b>
P17	0,0	0,000	0,000	-0,500	-0,900	-1,400	-2,000	<b>-2,500</b>
P18A	0,0	-1,100	-1,700	-1,900	-2,100	-2,400	-2,600	<b>-3,200</b>
P19	0,0	0,000	-0,800	-1,000	-1,400	-1,500	-1,500	<b>-2,200</b>
P20	0,0	-0,400	-0,500	-0,500	-0,800	-0,800	-0,900	<b>-1,000</b>
P21	0,0	-2,200	-2,500	-2,700	-2,800	-3,000	-3,100	<b>-3,300</b>
P22	0,0	0,000	-0,400	-0,500	-0,800	-1,100	-1,200	<b>-1,500</b>
P23	0,0	-1,200	-1,500	-2,100	-2,300	-2,700	-2,700	<b>-3,300</b>
P24	0,0	-0,300	-0,700	-0,700	-0,700	-0,900	-1,100	<b>-1,400</b>
P25	0,0	-0,100	-0,100	-0,300	-0,700	-1,000	-1,400	<b>-1,600</b>
P26A	0,0	-0,800	-1,500	-1,600	-1,600	-1,600	-1,700	<b>-1,800</b>
P27A	0,0	-1,300	-1,800	-2,100	-2,300	-2,500	-2,700	<b>-2,700</b>
PB1	0,0	-1,900	-2,200	-2,500	-2,600	-2,800	-2,900	<b>-3,000</b>
PB2	0,0	-2,300	-2,600	-3,200	-3,600	-3,900	-4,100	<b>-4,300</b>
PB3	0,0	0,000	-1,100	-1,500	-1,600	-1,700	-1,700	<b>-2,000</b>
PB4	0,0	-0,800	-1,200	-1,200	-1,200	-1,500	-1,700	<b>-2,100</b>
PB5	0,0	-2,800	-3,400	-3,700	-3,900	-4,000	-4,100	<b>-4,100</b>
PB6	0,0	-1,500	-1,900	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	<b>-2,200</b>
PB7	0,0	-2,000	-2,000	-2,000	-2,300	-2,500	-2,600	<b>-2,800</b>
PB8	0,0	-2,900	-2,900	-2,900	-3,100	-3,100	-3,300	<b>-3,300</b>
PB9	0,0	-1,800	-1,900	-2,100	-2,400	-2,600	-2,800	<b>-3,200</b>
PB10	0,0	-1,700	-1,700	-1,700	-1,900	-2,200	-2,400	<b>-2,600</b>
PB11	0,0	-0,700	-1,200	-1,500	-1,700	-2,000	-2,100	<b>-2,200</b>



## RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

### ANEXO I

#### APÊNDICE ao TCC

#### Termo de autorização de publicação de produção acadêmica


O(A) estudante João Victor Dias Rodrigues do  
Curso de Engenharia Civil matrícula 2016.1.0025.0428-3, telefone: 062  
99820-2646 e-mail joavictordrodrigues1997@gmail.com, na qualidade de titular dos  
direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão  
de Curso intitulado Monitoramento de Recalque em Fundações: Estudo de Caso de uma  
Fundação em Tubulão, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco)  
anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de  
computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE,  
MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de  
leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos  
cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 10 de Dezembro de 2020.



Assinatura do(s) autor(es): \_\_\_\_\_

Nome completo do autor: João Victor Dias Rodrigues

Assinatura do professor-orientador: \_\_\_\_\_  


Nome completo do professor-orientador: Ricardo Tavares Pacheco

## RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

### ANEXO I

#### APÊNDICE ao TCC

#### Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante José Dias Assis Neto do  
Curso de Engenharia Civil matrícula 2016.1.0025.0904-8, telefone: 062  
99622-1564 e-mail jose.daneto98@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos  
autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de  
Conclusão de Curso intitulado Monitoramento de Recalque em Fundações: Estudo de  
Caso de uma Fundação em Tubulão, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos  
autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico,  
na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF  
ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros,  
específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação  
da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 10 de Dezembro de 2020.

Assinatura do(s) autor(es): *José Dias Assis Neto*

Nome completo do autor: José Dias Assis Neto

Assinatura do professor-orientador: *[Assinatura]*

Nome completo do professor-orientador: Ricardo Tavares Pacheco