

Rodrigues, F. S.¹; Carvalho, G. C.²

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

Pacheco, R. T.³

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

¹fabianesulato@hotmail.com; ²gabrielcoelho744@gmail.com; ³ricardoecivil@hotmail.com

RESUMO: O recalque em fundações e sua influência numa edificação é um parâmetro de suma importância, visto que, o recalque que a estrutura pode suportar em seu estado limites últimos (ELU) e estado limite de serviço (ELS) são fatores limitantes nos projetos. Este trabalho teve como principal objetivo analisar os recalques de duas estacas PC1 e PC2, calculados pelo método de Poulos e Davis (1980), comparando-os com os valores dos recalques obtidos por ensaios de prova de carga. Para isto, apresentou-se o resultado de dois ensaios de prova de carga segundo a ABNT NBR12131:2006, executados em estacas do tipo hélice contínua, com diâmetro de 50 cm e profundidade de 19 m para ambas as estacas. As estacas foram ensaiadas em uma obra no município de Goiânia-GO. Comparando os gráficos e tabelas dos ensaios de prova de carga e dos valores obtidos pelo método proposto, estimou-se o valor do módulo de deformabilidade do solo mais apropriado para o tipo de solo de cada estaca. Com isso, concluiu-se que o método de Poulos e Davis (1980) se mostrou adequado para a estimativa do recalque para o caso analisado.

Palavras-chaves: Recalque; Previsão de Recalque; Prova de Carga; Poulos e Davis.

Área de Concentração: 03 – Geotécnica

1 INTRODUÇÃO

O sistema estrutural de uma edificação é constituído por um conjunto de elementos estáveis, composto por uma superestrutura e uma infraestrutura. Esses elementos são projetados e construídos para sustentar as cargas e transmiti-las para o solo de maneira segura, sem exceder os esforços tolerados por cada elemento. (ALONSO, 1991)

No entanto, toda estrutura apoiada numa camada de solo apresenta recalques independentemente do tipo de solo. Esses recalques ocorrem por ação das cargas, originadas pela superestrutura, aplicadas no terreno, com isso, é importante verificar a magnitude desses recalques para garantir as mínimas condições de segurança, funcionalidade e durabilidade do elemento estrutural. (LUCENA, 2003)

O presente trabalho tem a finalidade de analisar se o método teórico de Poulos e Davis (1980), para previsão de recalques em estacas, é eficiente quando conferido com o ensaio de prova de carga estática segundo a ABNT NBR12131:2006. Para isso é necessário estimar o recalque em estacas e conferi-lo com o recalque

estudado através do ensaio de prova de carga. E, conseqüente, verificar se o método de Poulos e Davis é eficiente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definição de recalque

Segundo a ABNT NBR6122:2019 as fundações são classificadas em fundações diretas e indiretas. Todas as fundações devem ser projetadas de forma que determinados requisitos sejam atendidos através da verificação dos estados limites últimos (ELU – segurança contra a ruptura) e ao estado limite de serviço (ELS – segurança contra deformações excessivas).

Velloso e Lopes (2010) afirmam que toda fundação sofre deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotacionais em função das solicitações a que é submetida. Ainda de acordo com Velloso e Lopes (2010) ao carregar uma fundação ela sofre recalques que ocorrem, em parte, logo após o carregamento e, em parte, com o decorrer do tempo.

A ABNT NBR6122:2019 define recalque como sendo o movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando esse movimento for ascendente, denomina-se levantamento.

2.2 Módulo de deformabilidade do solo e do concreto

Cintra e Aoki (2010) diz que o módulo de deformabilidade é a relação entre a tensão aplicada em um material e a deformação, medida sob a forma de deformação específica. Esta relação corresponde a um comportamento não linear do solo, sendo assim, Cintra e Aoki (2010) afirma que, o fato do solo possuir um comportamento elástico-linear, é preferível substituir a denominação de Módulo de Elasticidade por Módulo de Deformabilidade, mas mantendo o símbolo “E”.

A deformabilidade do solo pode ser expressa fazendo referência ao módulo de deformabilidade, E, ou ao módulo de cisalhamento, G, uma vez que estes dois módulos apresentam uma relação linear entre eles, de acordo com a teoria da elasticidade. (CINTRA e AOKI, 2010)

A literatura geotécnica brasileira recomenda o uso de valores constantes para o módulo de deformabilidade do concreto. De acordo com Hachich et al. (1998) considera apenas dois valores de módulo de deformabilidade para estacas de concreto, para casos mais gerais de tipos de estacas considera 25 GPa, já para estacas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, adota-se um valor igual a 30 GPa.

Além disso, de acordo com a ABNT NBR6118:2014, quando não forem realizados ensaios, pode-se estimar o valor do módulo de deformabilidade do concreto utilizando as equações (5 e 6). Utiliza-se a equação 5 para um fck de 20 MPa à 50 MPa e a equação 6 para um fck de 55 MPa à 90 MPa ambas dependem do parâmetro em função da natureza do agregado (α_E).

Na geotecnia para avaliar o comportamento tensão-deformação de um solo em laboratório, além dos ensaios pressiométrico e dilatométrico, o ensaio triaxial é o principal para determinar diferentes módulos de deformabilidade do solo. (GON, 2011)

2.3 Investigações geotécnicas

Conforme a ABNT NBR6122:2019 para fins de projeto e execução de fundações em relação a investigação geotécnicas e geológicas são necessários os ensaios de campo, as sondagens de reconhecimento à percussão (SPT) são indispensáveis e devem ser executadas de acordo com a ABNT NBR6484:2020.

Além disso, a ABNT NBR6122:2019 prescreve as investigações complementares em laboratório sobre

amostras deformadas ou indeformadas para classificar os solos e determinar as propriedades como resistência, deformabilidade e permeabilidade. Os ensaios in situ complementares visam reconhecer o terreno de fundação e devem ser realizados diretamente sobre o maciço de solo ou rocha. Esses ensaios são o de penetração de cone (C.P.T.), palheta, pressiométricos, permeabilidade e prova de carga.

O ensaio de prova de carga tem o objetivo de determinar as características de deformabilidade e resistência do terreno por meio do carregamento dos elementos estruturais da fundação. Para isso, as provas de cargas podem ser realizadas com cargas verticais ou inclinadas, de compressão ou tração, com cargas transversais ou qualquer outro tipo de sollicitação destinada a reproduzir as condições da fundação a que se destinam. (ABNT NBR6122, 2019)

2.4 Método de Poulos e Davis

Poulos e Davis (1980) propuseram um método que analisa uma estaca isolada, considerando essa primeiramente como um elemento incompressível e carregado axialmente em solo elástico ideal. Nessa metodologia, a estaca é dividida em elementos uniformemente carregados e os esforços cisalhantes nas superfícies desses elementos atuando de maneira uniforme, o valor do deslocamento é obtido compatibilizando os deslocamentos da estaca com o deslocamento do solo adjacente para cada elemento da estaca.

É possível obter o deslocamento da estaca considerando sua compressibilidade quando imposta a um carregamento axial à compressão. Para deslocamentos do solo, utiliza-se a resolução da equação de Mindlin (1936). Através dessas considerações, Poulos e Davis (1980) chegaram à equação (1) para calcular o recalque devido ao solo.

$$\rho_s = \rho_{solo} = \frac{P.L}{D.E_s} \quad (1)$$

Legenda:

ρ_s = parcela do recalque devido ao solo (mm);

P = carga aplicada à estaca (kN);

L = comprimento da estaca (m);

d = diâmetro do fuste da estaca (m);

E_s = módulo de deformabilidade do solo (MPa).

O método proposto por Poulos e Davis (1980) é diretamente ligado a fatores como espessura da camada de solo, o comprimento da estaca, coeficiente de Poisson e o módulo de deformabilidade do solo, estes parâmetros levam a determinação dos valores de I_1 , R_k , R_h , R_b e R_v para estaca flutuante – situada dentro da massa de solo - equação (2) e estaca de ponta – apoiada

em uma camada resistente de solo, ou seja, numa base rígida - equação (3), utilizando os ábacos (Anexo 1) propostos por estes mesmos autores.

$$I = I_1 \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_v \quad (2)$$

$$I = I_1 \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v \quad (3)$$

Legenda:

I = fator de influência.

I_1 = fator de influência para estaca incompressível;

R_k = fator de correção para a compressibilidade da estaca;

E_c = módulo de deformabilidade do concreto (MPa);

R_v = correção do coeficiente de Poisson;

R_h = correção em função da presença do estrato rígido;

R_b = correção da estaca sobre a camada mais rígida;

d_b = diâmetro da base da estaca (m);

K = compressibilidade relativa;

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa);

α_E = parâmetro em função da natureza do agregado;

NSPT = número de golpes do ensaio SPT.

$$K = \frac{E_c}{E_s} \quad (4)$$

$$E_c = \alpha_E * 5600 * \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

$$E_c = 21,5 * 10^3 * \alpha_E * \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3} \quad (6)$$

$$E_s = 2 \text{ à } 5 * NSPT \quad (7)$$

2.5 Ensaio de Prova de Carga Estática

O ensaio de prova de carga estática especificado pela ABNT NBR12131:2006 consiste, sobretudo, na aplicação de esforços considerados estáticos à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais, de tração ou de compressão, ou transversais. A Figura 1 demonstra o ensaio de prova de carga, um sistema de reação para prova de carga juntamente com o dispositivo de aplicação de carga.

Figura 1 – Sistema de reação e dispositivo de aplicação de carga.



Fonte: próprio autor (2020).

2.5.1 Aparelhagem

Segundo a ABNT NBR12131:2006 princípio utiliza-se um dispositivo de aplicação de carga que é constituído por um ou mais macacos hidráulicos alimentados por bombas elétricas ou manuais, atuando contra um sistema de reação estável. Esse sistema deve ser projetado, montado e utilizado de forma que a carga aplicada atue na direção desejada, sem produzir choques ou vibrações.

Na prova de carga são, obrigatoriamente, realizadas medidas das cargas aplicadas (por meio de células de carga ou manômetros calibrados), dos deslocamentos axiais ou transversais do topo da estaca e do tempo da realização de cada medida. Esses dispositivos para as medições são instalados no sistema de alimentação do macaco hidráulico. (ABNT NBR12131, 2006)

2.5.2 Execução do Ensaio

De acordo com a ABNT NBR12131:2006 a realização da prova de carga deve ser comunicada ao executante da estaca, ao solicitante dos ensaios e ao projetista, devendo ser garantido seu acesso em todas as fases da execução do ensaio. A estaca a ser ensaiada deve estar documentada, isto é, os registros devem incluir geometria, método de execução, as propriedades dos materiais constitutivos e os controles realizados durante a execução.

O subsolo da estaca ensaiada deve estar caracterizado através de sondagens de simples reconhecimento, no mínimo com medidas dos valores da resistência à penetração do SPT, conforme a ABNT NBR6484:2020. A estaca deve estar situada dentro da área de abrangência da sondagem mais próxima, além disso a profundidade atingida pela sondagem deve ser superior à atingida pela ponta da estaca.

Entre a instalação da estaca e o início do carregamento da prova de carga deve ser respeitado um prazo mínimo de três dias para solos com comportamento não coesivo, e de dez dias para solos com comportamento coesivo. (ABNT NBR12131, 2006)

Na execução da prova de carga, a estaca é carregada até a carga definida pelo projetista, atendendo aos requisitos de segurança da ABNT NBR6122:2019. O ensaio pode ser realizado com carregamento lento, rápido, misto (lento e rápido) e cíclico.

De acordo com a ABNT NBR12131:2006 o ensaio com carregamento lento deve ser executado em estágios iguais e sucessivos, observando que a carga aplicada em cada estágio não deve ser superior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada e em cada estágio, a carga deve ser mantida até a estabilização dos

deslocamentos e no mínimo por 30 minutos. Em cada estágio os deslocamentos devem ser lidos imediatamente após a aplicação da carga correspondentes. Terminada a fase de carregamento, a carga máxima do ensaio deve ser mantida no mínimo durante 12 horas entre a estabilização dos recalques e o início do descarregamento. O descarregamento deve ser feito em no mínimo quatro estágios até atingir a estabilização dos deslocamentos com um tempo mínimo de 15 minutos.

Conforme a ABNT NBR12131:2006 nas provas de carga interrompidas por qualquer motivo, a estaca deve ser totalmente descarregada e o ensaio reiniciado, não deixando de se apresentar todos os dados do carregamento interrompido.

3 METODOLOGIA

3.1 Empreendimento

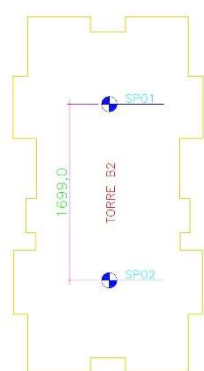
O presente trabalho foi realizado através da análise de um ensaio de prova de carga estática normatizado pela ABNT NBR12131:2006 sobre estaca hélice contínua monitorada executado na obra localizada no município de Goiânia-GO.

3.2 Descrição do Ensaio

Nas provas de carga, PC1 e PC2, foram ensaiadas duas estacas tipo hélice contínua monitorada com diâmetro de 50 cm e profundidade de 19 m. Na região das provas de carga PC1 e PC2 foi realizado escavação com profundidade média de 3,0 m.

O ensaio da prova de carga PC1 foi realizado na estaca localizada na região do furo de sondagem SP 01. Já o ensaio da prova de carga PC2 foi realizado na estaca localizada na região do furo de sondagem SP 02, regiões representadas na Figura 2.

Figura 2 – Croqui com a locação dos furos de sondagem.



Fonte: próprio autor (2020).

O dispositivo de aplicação de carga foi constituído por um macaco hidráulico, alimentado por uma bomba hidráulica manual, com capacidade nominal de 429 tf. A leitura da carga aplicada foi realizada através de um manômetro conectado a bomba hidráulica com capacidade nominal de 700 kg/cm².

O sistema de reação para a prova de carga à compressão utilizou, em cada lado, duas estacas hélice contínua monitorada, totalizando quatro estacas à tração armadas em toda a extensão do fuste. A viga metálica (viga de reação) foi posicionada em cima de cavaletes metálicos e travada com a utilização de perfis metálicos duplo I posicionados sobre a viga de reação.

O sistema de reação foi posicionado obedecendo à distância mínima de 1,50 m do eixo da estaca ensaiada até a face da estaca de reação mais próxima de forma a permitir que as estacas à tração transmitissem os esforços ao solo, porém fora da região de interferência do ensaio. Os deslocamentos verticais do topo da estaca foram medidos simultaneamente através de quatro extensômetros digitais instalados sobre o topo da estaca.

3.3 Estimativa de recalque

O método de estimativa de recalque de Poulos e Davis (1980) demanda algumas propriedades do solo e da estaca que devem ser estimados. Com isso, para obtenção dos parâmetros necessários ao cálculo, fez-se necessário o uso de correlações dos resultados do ensaio SPT, no intuito de estimar as propriedades mecânicas do solo.

Analisando o resultado das sondagens SP01 e SP02 para PC1 e PC2, respectivamente, calculou-se a média do NSPT e dessa forma foi possível estimar o módulo de deformabilidade do solo (E_s), que varia entre 2 a 5*NSPT e para o módulo de deformabilidade do concreto (E_c) empregou-se um valor igual a 25 GPa, de acordo com Hachich et al. (1998), pois não foi disponibilizado o fck de ambas as estacas. Além disso, considerou a gravidade (g) igual a 10 m/s² e coeficiente de Poisson (ν) igual a 0,3.

Com isso utilizou-se os ábacos (Anexo 1) propostos pelo método de Poulos e Davis para estimar os parâmetros e em seguida calcular o recalque teórico. Já que as estacas analisadas são estacas do tipo flutuante, utilizou-se a equação (2) para determinar o fator de influência e, conseqüentemente, calcular o recalque para cada variação do módulo de deformabilidade do solo (E_s).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item, são apresentados os resultados obtidos através do ensaio de prova de carga nas estacas, como a curva carga x recalque obtida por meio da instrumentação instalada nas estacas. Assim como os resultados de deslocamento remetidos pelo ensaio de prova de carga para a carga de trabalho de cada estaca e as respectivas estimativas de recalque calculadas por meio do método de Poulos e Davis proposto.

4.1 Coleta de Dados

Os valores dos deslocamentos medidos no topo das estacas na prova de carga estática executada nas estacas PC1 e PC2 estão expostos, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Deslocamento medidos no topo da estaca PC1.

Carga (ton)	Carga (kN)	Deslocamento				
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	Média (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22,86	228,60	0,19	0,19	0,18	0,03	0,15
45,71	457,10	0,52	0,83	0,56	0,14	0,51
68,57	685,70	0,99	1,77	1,13	0,28	1,04
91,43	914,30	1,57	3,00	1,96	0,49	1,76
114,29	1142,90	2,21	4,08	2,71	0,82	2,46
137,14	1371,40	3,10	5,36	3,64	1,41	3,38
160,00	1600,00	4,28	8,97	4,09	2,30	4,91
182,86	1828,60	5,46	9,50	6,18	3,33	6,12
211,43	2114,30	8,17	11,81	9,13	5,82	8,73
240,00	2400,00	14,39	18,94	15,89	11,81	15,26
240,00	2400,00	18,71	23,54	20,29	16,23	19,69
171,43	1714,30	18,28	23,28	19,84	15,82	19,31
114,29	1142,90	17,11	21,96	18,57	14,75	18,10
57,14	571,40	15,34	19,52	16,64	13,30	16,20
0,00	0,00	12,92	15,02	13,73	12,15	13,46

Fonte: próprio autor (2020).

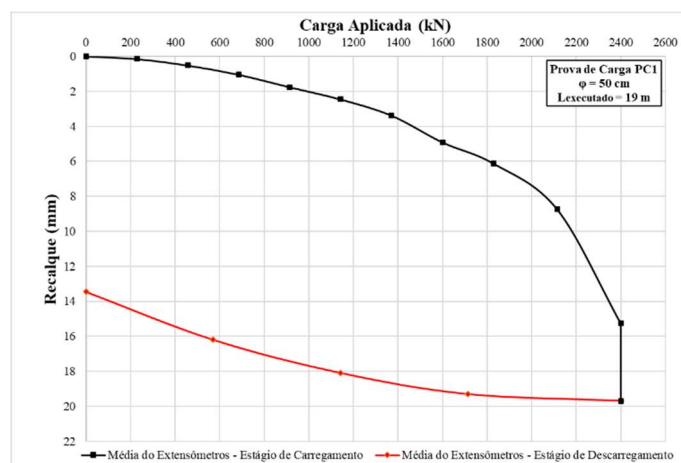
Tabela 2 – Deslocamento medidos no topo da estaca PC2.

Carga (ton)	Carga (kN)	Deslocamento				
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	Média (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22,86	228,60	0,36	0,32	0,15	0,05	0,22
45,71	457,10	1,10	1,14	0,56	0,33	0,78
68,57	685,70	1,71	1,94	0,95	0,54	1,29
91,43	914,30	2,51	3,00	1,57	0,89	1,99
114,29	1142,90	3,58	4,26	2,50	1,49	2,96
137,14	1371,40	4,61	5,52	3,46	2,20	3,95
160,00	1600,00	5,98	7,24	4,71	3,22	5,29
182,86	1828,60	7,59	9,17	6,17	4,44	6,84
211,43	2114,30	9,36	11,09	7,82	5,84	8,53
240,00	2400,00	12,36	14,35	10,55	8,38	11,41
240,00	2400,00	12,58	14,69	10,72	8,63	11,66
171,43	1714,30	11,85	13,98	10,16	8,17	11,04
114,29	1142,90	10,56	12,65	9,12	7,13	9,87
57,14	571,40	9,00	10,69	7,80	6,28	8,44
0,00	0,00	5,83	6,71	5,67	5,05	5,82

Fonte: próprio autor (2020).

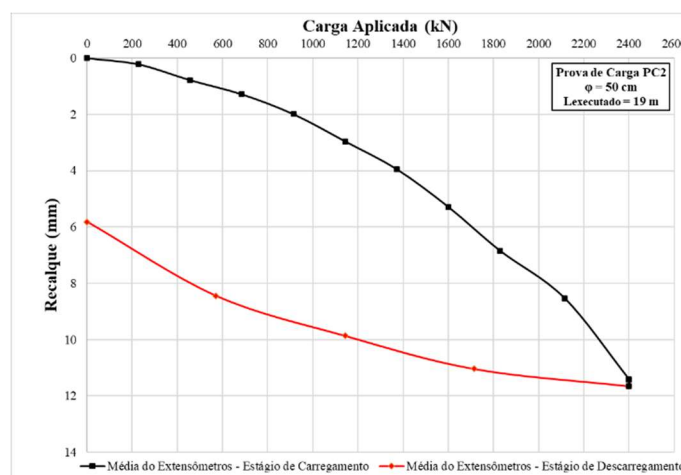
As Figuras 3 e 4 apresentam a curva Carga x Recalque do topo das estacas obtida pela média dos valores dos recalques medidos nos extensômetros para o ensaio das estacas PC1 e PC2, respectivamente.

Figura 3 – Curva Carga x Recalque do topo da estaca PC1.



Fonte: próprio autor (2020).

Figura 4 – Curva Carga x Recalque do topo da estaca PC2.



Fonte: próprio autor (2020).

Através das curvas representadas por meio das Figuras 3 e 4, é possível comparar os valores dos recalques obtidos nos ensaios de prova de carga e os recalques calculados pelo método de Poulos e Davis (1980).

4.2 Análise do Módulo de Deformabilidade do Solo das Estacas PC1 e PC2

As Tabelas 4 e 5 mostram os resultados dos recalques calculados através do método de Poulos e Davis para as estacas PC1 e PC2, respectivamente. Para isso, utilizou-se os laudos de sondagem para analisar o tipo de solo ao longo do fuste das estacas, caracterizando ambas como estaca flutuante. Com isso, calcula-se a média do NSPT dos dois laudos, obtendo os valores médios de 17 golpes para SP01 e de 18 golpes para SP02. Dessa

forma, estimou-se 5 valores diferentes para o módulo de deformabilidade do solo, que variou entre 2 à 5*NSPT, conforme a Tabela 3.

Na Tabela 3, para PC1 e PC2, os módulos de deformabilidade do solo que mais aproximaram da curva carga x recalque foram aqueles que variaram entre 2 à 3*NSPT. Para isso, calculou-se valores com os números decimais 2,6*NSPT (PC1) e 2,4*NSPT (PC2), pois esses obtiveram uma reta com um comportamento semelhante ao da curva carga x recalque. No entanto, 2,4*NSPT calculado para PC2 obteve um valor menor para a carga de trabalho 1200 kN, conforme será explicado nos gráficos das Figuras 5 e 6.

Tabela 3 – Cálculo do Módulo de Deformabilidade do Solo (Es) das Estacas PC1 e PC2.

	Es (MPa)	
	PC1	PC2
2*NSPT	34	36
2,4*NSPT	-	43,2
2,6*NSPT	44,2	-
3*NSPT	51	54
4*NSPT	68	72
5*NSPT	85	90

Fonte: próprio autor (2020).

Na Tabela 4, calculou-se 5 valores distintos para o módulo de deformabilidade do solo. Os recalques calculados que apresentaram um comportamento semelhante aos recalques obtidos no ensaio de prova de carga foram aqueles que variaram de 2 à 3*NSPT. Os recalques calculados para 2*NSPT com um módulo de deformabilidade do solo de 34 MPa e os recalques calculados para 3*NSPT com um valor de 51 MPa para o módulo de deformabilidade do solo tiveram um comportamento semelhante aos recalques obtidos no ensaio. Porém, os recalques calculados para 2*NSPT superestimam as características geométricas de uma fundação para o dimensionamento geotécnico. Já os recalques calculados para 3*NSPT quando analisados no ponto da carga de trabalho, tem-se um valor menor que o recalque obtido no ensaio.

Com isso, calculou-se um valor decimal de 2,6*NSPT para o módulo de deformabilidade do solo evidenciado na Tabela 4, pois esse apresentou resultados semelhantes aos resultados obtidos no ensaio de prova de carga e no ponto da carga de trabalho de 1200 kN, o recalque calculado foi maior, isto é, estimado a favor da segurança.

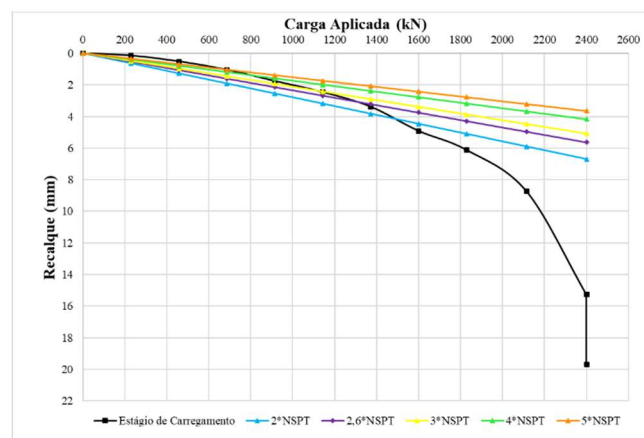
Tabela 4 – Cálculo de Recalque da Estaca PC1.

Carga (kN)	PC1 (mm)	Poulos e Davis				
		2*NSPT (mm)	2,6*NSPT (mm)	3*NSPT (mm)	4*NSPT (mm)	5*NSPT (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228,60	0,19	0,64	0,54	0,48	0,40	0,35
457,10	0,52	1,27	1,07	0,97	0,79	0,69
685,70	0,99	1,91	1,61	1,45	1,19	1,04
914,30	1,57	2,55	2,14	1,93	1,59	1,38
1142,90	2,21	3,19	2,68	2,42	1,98	1,73
1371,40	3,10	3,83	3,21	2,90	2,38	2,08
1600,00	4,28	4,46	3,75	3,38	2,78	2,42
1828,60	5,46	5,10	4,29	3,87	3,17	2,77
2114,30	8,17	5,90	4,96	4,47	3,67	3,20
2400,00	14,39	6,69	5,62	5,07	4,16	3,63
2400,00	18,71	6,69	5,62	5,07	4,16	3,63
1714,30	18,28	4,78	4,02	3,62	2,97	2,59
1142,90	17,11	3,19	2,68	2,42	1,98	1,73
571,40	15,34	1,59	1,34	1,21	0,99	0,86
0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: próprio autor (2020).

Ao analisar o gráfico da Figura 5, percebe-se que o melhor módulo de deformabilidade para o solo analisado e com os parâmetros estimados é o 2,6*NSPT igual a 44,2 MPa, pois quando comparado com a curva carga x recalque, esse obteve uma reta com valores mais próximos da curva. Além disso, os recalques calculados para esse Es foram maiores que os recalque obtidos no ensaio de prova de carga estática, sendo assim a favor da segurança.

Figura 5 - Comparação Curva Carga x Recalque de PC1 em comparação com recalque estimado pelo método de Poulos e Davis (1980).



Fonte: próprio autor (2020).

Na Tabela 5, também se calculou 5 valores diferentes para o módulo de deformabilidade do solo. Analisando a Tabela 5 e a Figura 6, observou-se que os valores dos recalques calculados que se apresentaram semelhantes aos recalques obtidos no ensaio de prova de carga variaram de 2 à 3*NSPT. Dentro dessa variação calculou-se o valor do módulo de deformabilidade para 2,4*NSPT, obtendo um valor de 43,2 MPa. Os valores dos recalques calculados para esse módulo de deformabilidade apresentaram-se semelhantes aos

recalques obtidos no ensaio de prova de carga, porém, quando analisados no ponto da carga de trabalho, tem-se um valor menor que o recalque obtido no ensaio.

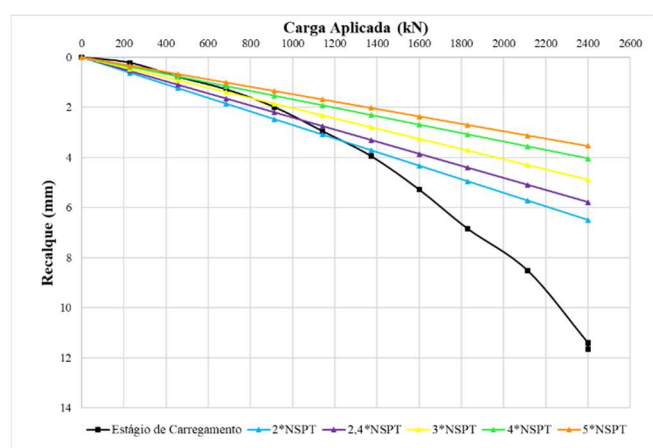
Tabela 5 – Cálculo de Recalque da Estaca PC2.

Carga (kN)	PC2 (mm)	Poulos e Davis				
		2*NSPT (mm)	2,4*NSPT (mm)	3*NSPT (mm)	4*NSPT (mm)	5*NSPT (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228,60	0,19	0,62	0,55	0,47	0,39	0,34
457,10	0,52	1,24	1,10	0,93	0,77	0,68
685,70	0,99	1,86	1,65	1,40	1,16	1,01
914,30	1,57	2,48	2,21	1,86	1,54	1,35
1142,90	2,21	3,10	2,76	2,33	1,93	1,69
1371,40	3,10	3,72	3,31	2,79	2,31	2,03
1600,00	4,28	4,34	3,86	3,26	2,70	2,36
1828,60	5,46	4,96	4,41	3,73	3,08	2,70
2114,30	8,17	5,73	5,10	4,31	3,57	3,12
2400,00	14,39	6,51	5,79	4,89	4,05	3,55
2400,00	18,71	6,51	5,79	4,89	4,05	3,55
1714,30	18,28	4,65	4,14	3,49	2,89	2,53
1142,90	17,11	3,10	2,76	2,33	1,93	1,69
571,40	15,34	1,55	1,38	1,16	0,96	0,84
0,00	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: próprio autor (2020).

Analisando o gráfico da Figura 6 constata-se que, para o solo em questão o melhor módulo de deformabilidade de 2*NSPT, equivalente a 36 MPa, obteve uma reta com os valores mais próximos da curva carga x recalque. Além disso, os recalques calculados para esse E_s foram maiores que os recalque obtidos no ensaio de prova de carga estática até atingir a carga de trabalho de 1200 kN, estando a favor da segurança.

Figura 6 - Comparação Curva Carga x Recalque de PC2 em comparação com recalque estimado pelo método de Poulos e Davis.



Fonte: próprio autor (2020).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi analisado o recalque calculado pelo método de Poulos e Davis (1980) e em seguida comparado com o recalque obtido através do ensaio de prova de carga estática segundo a ABNT NBR

12131:2006. Para, consequentemente, verificar se a metodologia aplicada foi eficiente.

Para a realização do estudo, analisou duas estacas que continham mesmo diâmetro e comprimento PC1 e PC2 localizadas em regiões diferentes SP01 e SP02, respectivamente. De acordo com os cálculos, ao comparar os recalques estimados pelo método com os recalques obtidos no ensaio de prova de carga, o módulo de deformabilidade do solo ideal para PC1 foi de 44,2 MPa e para PC2 foi de 36 MPa. Apesar de ambas as estacas serem iguais, o solo variou com a região. Com isso, por meio de análises, foi notória a variação da estimativa do módulo de deformabilidade, pois isso ocorre devido o solo ser um material variável.

Além disso, o método de Poulos e Davis (1980) parte da hipótese de que a estaca deve estar em solo homogêneo, situação que ocorre nos casos analisados, e os parâmetros utilizados nos cálculos do fator de influência foram estimados com base nos ábacos desenvolvidos pelos autores. Apesar disso, a metodologia aplicada se mostrou adequada à estimativa do recalque para o caso analisado. Isto é, foi possível estimar os recalques para ambas as estacas PC1 e PC2 através do método quando comparado com a curva carga x recalque até a carga de trabalho de 1200 kN, pois nesse trecho o solo apresenta um comportamento linear.

Para o dimensionamento geotécnico, o método utilizado para a estimativa do módulo de deformabilidade do solo e dos parâmetros levados em consideração, um projetista pode superestimar ou, até mesmo, subestimar as características geométricas de uma fundação caso não tenha um ensaio de prova de carga ou ensaio triaxial para verificar os valores estimados pelo método.

O ensaio de prova de carga é um dos ensaios de campo de suma importância dentro da engenharia de fundação e das obras geotécnicas, pois possui uma confiabilidade nos resultados e nas informações relacionadas à capacidade de carga e de deformação. Contudo, o ensaio de prova de carga, quando executado previamente e de forma correta, permite uma redução nas incertezas e até mesmo no custo da obra.

Dessa forma, conclui-se que o método de Poulos e Davis (1980) foi bom, mesmo sendo uma metodologia baseada em estimativa. De acordo com o objetivo do trabalho, isto é, comparar o método com o ensaio de prova de carga estática segundo a ABNT NBR12131:2006, método se mostrou adequado.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos dar força e coragem para superar os desafios e nos permitir chegarmos até aqui.

Aos nossos pais, familiares e amigos por todo apoio e incentivo durante esta jornada.

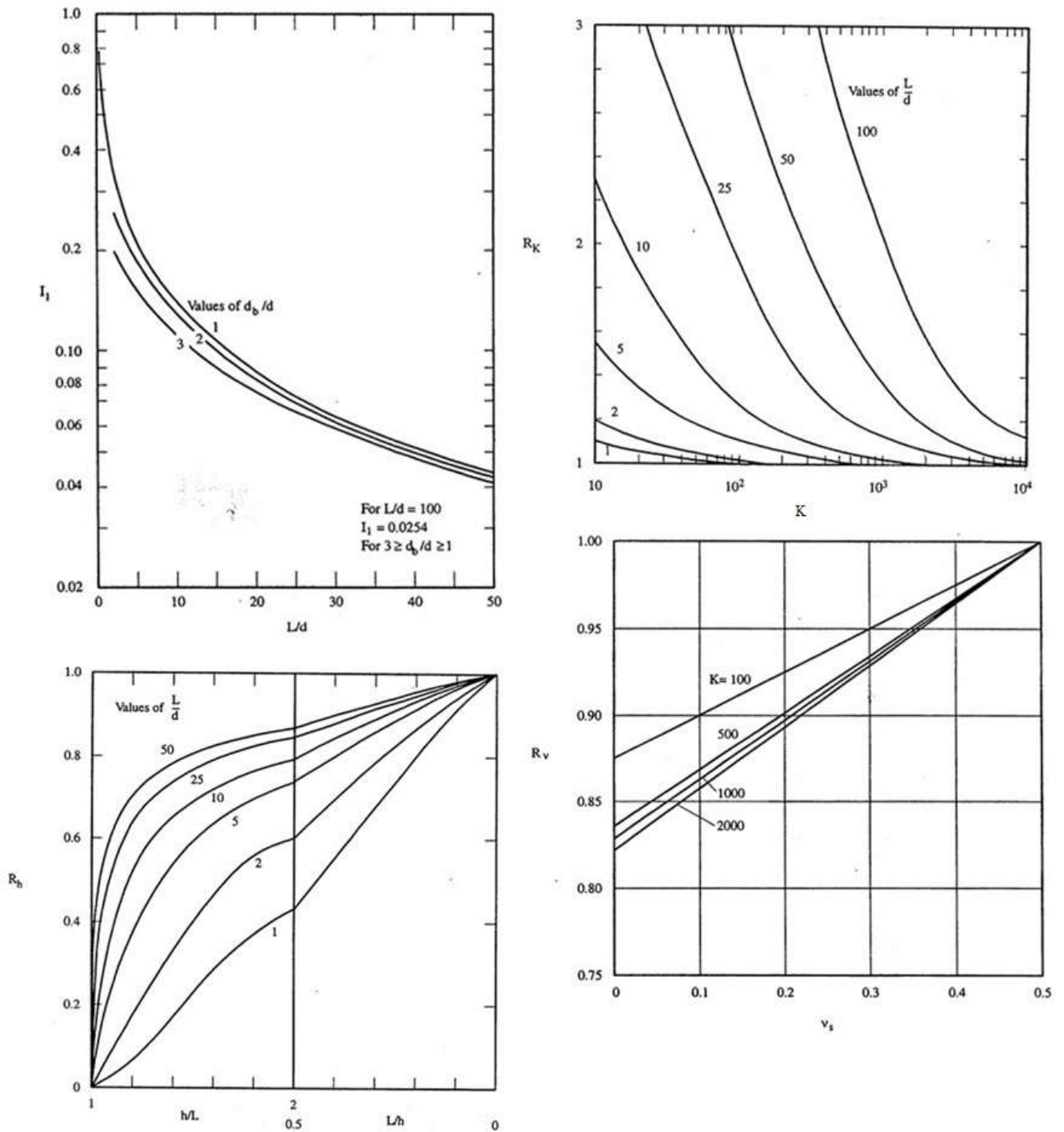
Ao nosso professor e orientador, Ricardo Tavares Pacheco, pelas orientações e sugestões ao longo deste ano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, U.R. **Previsão e controle de fundações**. 1 ed. Editora Edgar Blucher Ltda, São Paulo, p. 142, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12131: 2006: **Estacas – Prova de carga estática**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: 2019: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: 2020: **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GON, F.S. **Caracterização Geotécnica Através de Ensaio de Laboratório de um Solo de Diabásio da Região de Campinas**. Dissertação de Mestrado, FEC, UNICAMP, 153 p. 2010.
- HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.
- LUCENA, Adriano Alísio de Figueirêdo Lopes Lucena. **Monitoramento de recalques de edifícios e avaliação da interação solo-estrutura**. 2003. 145f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2003.
- MINDLIN, R.D. **Forces at a point in the interior of a semi-infinite-solid**. Physics 7, 195-202 p. 1936.
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. **Pile foundation analysis and design**. 1. Ed. Sydney, T. William Lambe et. al, 397 p. 1980.
- VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: critérios de projetos, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, v.1, 2010.

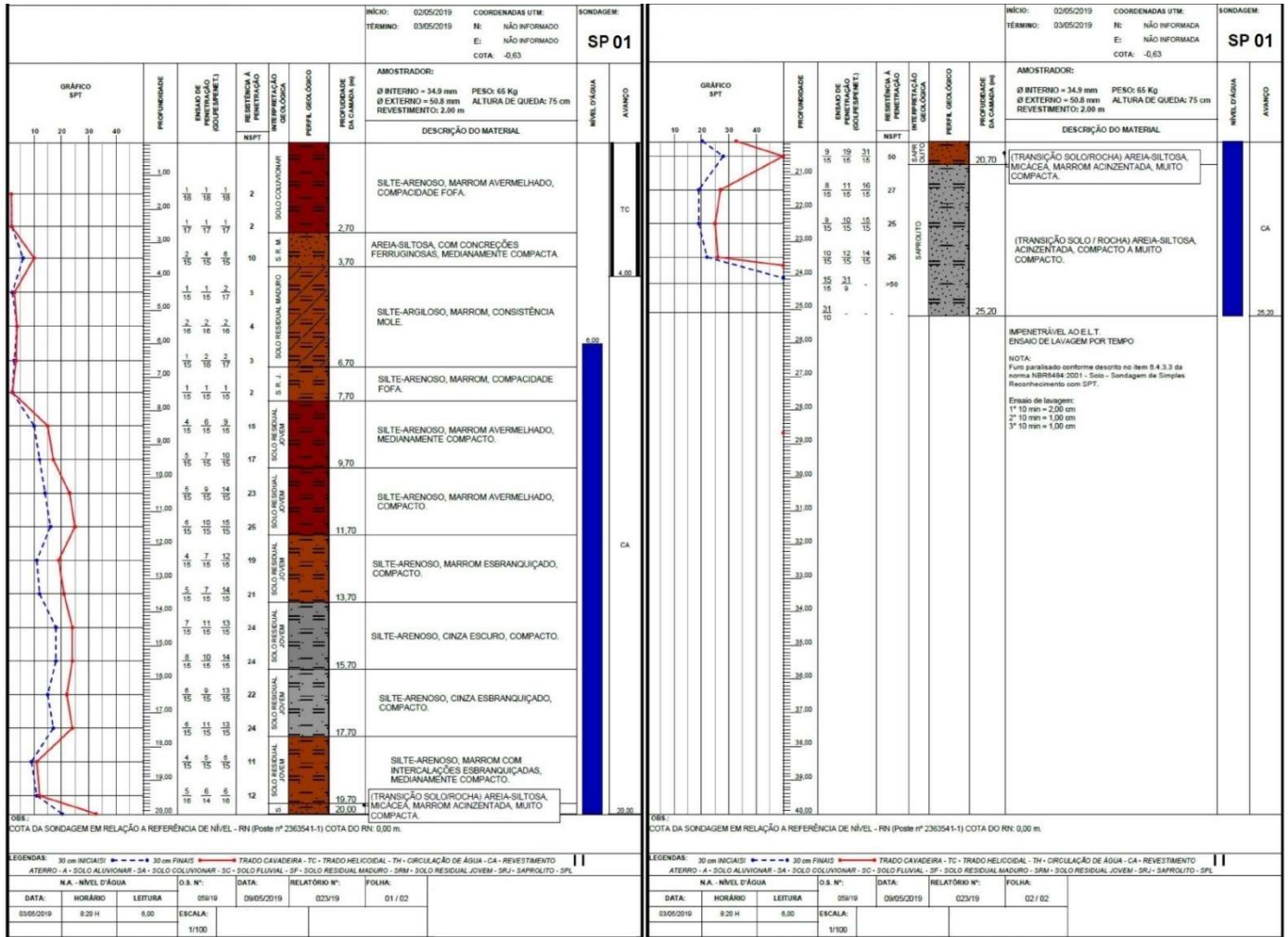
8 ANEXOS E APÊNDICE

Anexo 1 – Ábacos propostos por Poulos e Davis



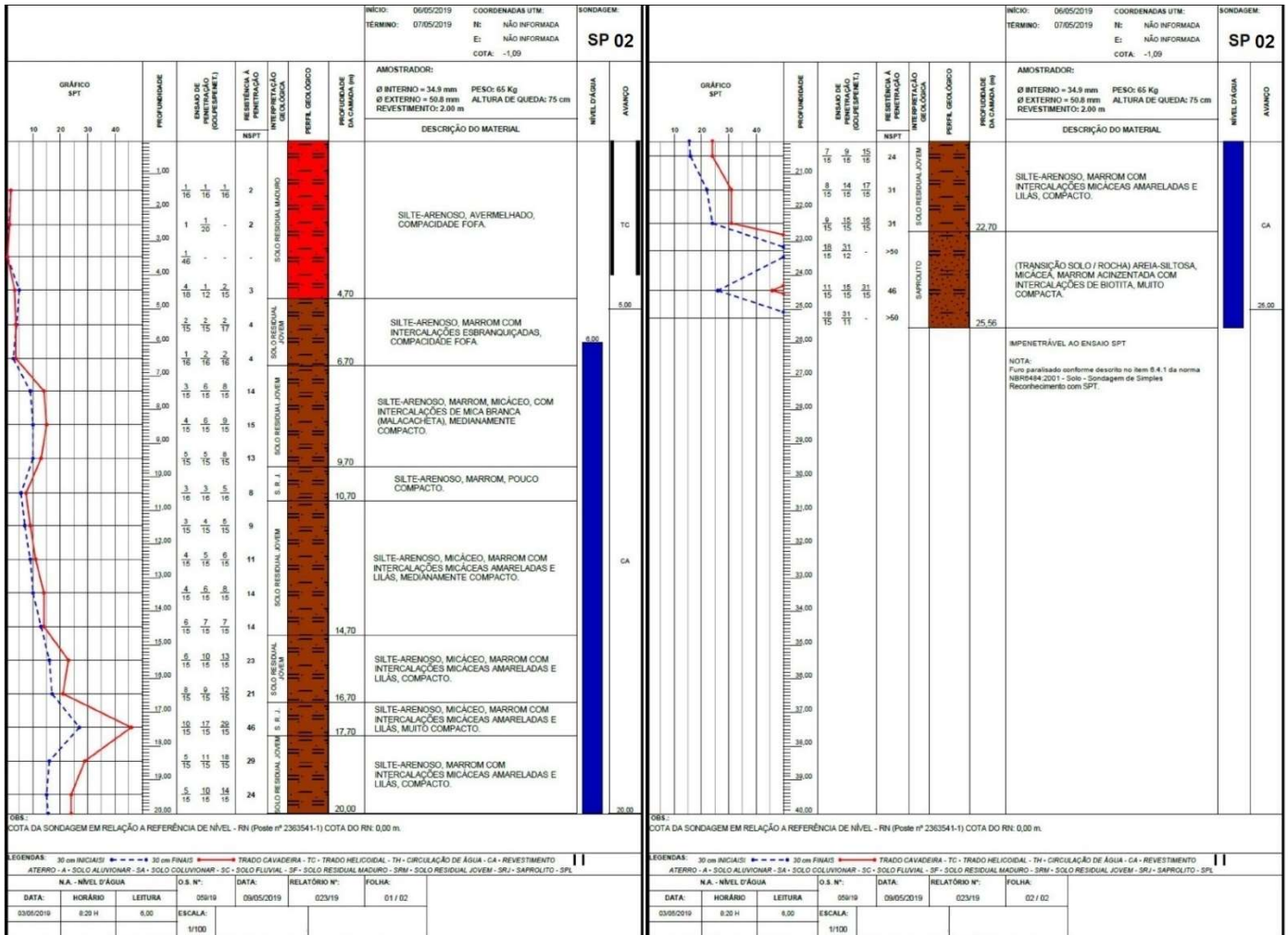
Fonte: Poulos e Davis (1980).

Anexo 2 – Laudo de sondagem SP01.



Fonte: próprio autor (2020).

Anexo 3 – Laudo de sondagem SP02.



Fonte: próprio autor (2020).

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Fabiane Sulato Rodrigues
do Curso de Engenharia Civil, matrícula 2016.1.0025.0522-0,
telefone: (62) 99137-3392 e-mail fabianesulato@hotmail.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
Estudo de recalque em estacas com os dados obtidos no ensaio de prova de carga em
comparação com os resultados calculados pelo método de Poulos e Davis,
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): Fabiane Sulato Rodrigues

Nome completo do autor: Fabiane Sulato 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 Gabrielle Coelho Carvalho
do Curso de Engenharia Civil, matrícula 2016.1.0025.0546-8,
telefone: (62) 98104-1298 e-mail gabriellicoelho744@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
Estudo de recalque em estacas com os dados obtidos no ensaio de prova de carga em
comparação com os resultados calculados pelo método de Poulos e Davis,
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, 11 de dezembro de 2020.

Assinatura do(s) autor(es): Gabrielle Coelho Carvalho

Nome completo do autor: Gabrielle Coelho Carvalho

Assinatura do professor-orientador: 

Nome completo do professor-orientador: Ricardo Tavares Pacheco