

**Avaliação de métodos de previsão de recalque em solos granulares do Nordeste do Brasil**

**Evaluating settlement prediction methods in granular soils of Northeastern Brazil**

**Evaluación de métodos de predicción de asentamientos en suelos granulares del Noreste de Brasil**

DOI: 10.54033/cadpedv22n12-110

Originals received: 9/5/2025

Acceptance for publication: 9/30/2025

---

**Matheus Vasconcelos do Nascimento**

Graduado em Engenharia Civil  
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil  
E-mail: matheusvasna@gmail.com

**Ana Carolina Vasconcelos Silva**

Graduada em Engenharia Civil  
Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Endereço: Teresina, Piauí, Brasil  
E-mail: eng.anacarolinasvasconcelos@gmail.com

**Rodolfo Moreira Cavalcante**

Graduado em Engenharia Civil  
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil  
E-mail: rodolfocavalcante@gmail.com

**André Leilson de Oliveira Barbosa**

Graduado em Engenharia Civil  
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil  
E-mail: andreleilson@gmail.com

**Samuel Porfírio Pinheiro Barros**

Graduado em Engenharia Civil  
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)  
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil  
E-mail: samuelbarros21@gmail.com

**Alfran Sampaio Moura**

Doutor em Geotecnia

Instituição: Universidade de Brasília (UnB)

Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil

E-mail: alfransampaio@ufc.br

---

**RESUMO**

Este trabalho avalia métodos de previsão de recalque por meio de uma prova de carga em placa circular de 50 cm de diâmetro, realizada no Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará. Ensaios laboratoriais e in situ forneceram os parâmetros geotécnicos, incluindo caracterização física, ensaios de cisalhamento direto, triaxiais e sondagens a percussão (SPT). As estimativas de recalque foram obtidas tanto pela Teoria Clássica da Elasticidade quanto por métodos semiempíricos propostos por Décourt (1992), Schmertmann (1978), Barata (1984), Burland & Burbidge (1985), Meyerhof (1965) e Sandroni (1991). A prova de carga em placa, executada em conformidade com a NBR 6489/19, foi adotada como referência para as comparações. Os resultados, analisados pelo método dos mínimos quadrados, indicam que os métodos de Schmertmann (1978) e Sandroni (1991) apresentaram a maior concordância com a curva experimental, enquanto as abordagens de Burland & Burbidge (1985), Barata (1984) e Meyerhof (1965) exibiram maiores discrepâncias.

**Palavras-chave:** Recalque. Prova de Carga. Métodos Semiempíricos. Parâmetros Geotécnicos.

**ABSTRACT**

This work evaluates settlement prediction methods through a 50 cm diameter circular plate load test carried out at the Geotechnics and Foundations Experimental Field of the Federal University of Ceará. Laboratory and in situ investigations provided the geotechnical parameters, including physical characterization, direct shear, triaxial tests, and Standard Penetration Tests (SPT). Settlement estimates were obtained using both the classical Elasticity Theory and semi-empirical approaches proposed by Décourt (1992), Schmertmann (1978), Barata (1984), Burland & Burbidge (1985), Meyerhof (1965), and Sandroni (1991). The plate load test, executed in accordance with NBR 6489/19, was adopted as the benchmark for comparison. Results analyzed by the least squares method show that the Schmertmann (1978) and Sandroni (1991) methods achieved the closest agreement with the experimental curve, whereas the approaches of Burland & Burbidge (1985), Barata (1984), and Meyerhof (1965) exhibited greater deviations.

**Keywords:** Settlement. Load Test. Semi-empirical Methods. Geotechnical Parameters.

**RESUMEN**

Este trabajo evalúa métodos de predicción de asentamientos mediante una prueba de carga en placa circular de 50 cm de diámetro, realizada en el Campo

Experimental de Geotecnia y Cimentaciones de la Universidad Federal de Ceará. Los ensayos de laboratorio e in situ proporcionaron los parámetros geotécnicos, incluyendo caracterización física, ensayos de corte directo, triaxiales y pruebas de penetración estándar (SPT). Las estimaciones de asentamiento se obtuvieron tanto a partir de la Teoría Clásica de la Elasticidad como de métodos semiempíricos propuestos por Décourt (1992), Schmertmann (1978), Barata (1984), Burland & Burbidge (1985), Meyerhof (1965) y Sandroni (1991). La prueba de carga en placa, ejecutada de acuerdo con la norma NBR 6489/19, se adoptó como referencia para las comparaciones. Los resultados, analizados mediante el método de los mínimos cuadrados, muestran que los métodos de Schmertmann (1978) y Sandroni (1991) presentaron la mayor concordancia con la curva experimental, mientras que los enfoques de Burland & Burbidge (1985), Barata (1984) y Meyerhof (1965) exhibieron mayores discrepancias.

**Palabras clave:** Asentamiento. Prueba de Carga. Métodos Semiempíricos. Parámetros Geotécnicos

## 1 INTRODUÇÃO

Na área da Engenharia Geotécnica, é comum recorrer a ensaios de campo para a obtenção de parâmetros relacionados às propriedades físicas, à deformabilidade e à resistência dos solos. Entre esses procedimentos destaca-se a prova de carga direta, que gera uma curva carga–recalque, permitindo visualizar a resposta do solo diante da aplicação de esforços transmitidos por uma placa de diâmetro definido.

A literatura apresenta diferentes metodologias para a estimativa de recalques em fundações rasas, contemplando abordagens diretas, semiempíricas e empíricas. Neste trabalho, são considerados tanto métodos baseados na Teoria da Elasticidade quanto formulações semiempíricas propostas por Décourt (1992), Schmertmann (1978), Barata (1984), Burland & Burbidge (1985), Meyerhof (1965) e Sandroni (1991). Tais métodos foram empregados para prever a curva carga–recalque, cujos resultados foram comparados por meio do método dos mínimos quadrados.

Estudos anteriores, como o de Tan e Duncan (1991), ao analisar 12 técnicas distintas de estimativa, destacaram critérios como precisão, confiabilidade e praticidade de aplicação, concluindo que cada metodologia foi

desenvolvida para finalidades específicas. De forma complementar, Bungenstab (2010) ressalta a variabilidade dos resultados oriundos de métodos indiretos de previsão, ao confrontá-los com recalques efetivamente medidos no acompanhamento de fundações superficiais de um edifício.

Este trabalho avalia métodos de previsão de recalque por meio de uma prova de carga em placa circular de 50 cm de diâmetro, realizada no Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A previsão de recalques em fundações superficiais constitui um dos desafios centrais da engenharia geotécnica. Segundo Harr (1966, p. 112), “a teoria clássica da elasticidade fornece uma base racional para estimar deformações em solos, ainda que limitada pela hipótese de homogeneidade e comportamento linear elástico[...]”. Essa abordagem, embora útil em análises preliminares, muitas vezes não representa adequadamente as condições naturais dos depósitos, especialmente em solos heterogêneos e tropicais, nos quais predominam características estruturais e colapsíveis.

Na tentativa de contornar essas limitações, diversos métodos semiempíricos foram desenvolvidos e vêm sendo aplicados em diferentes contextos geotécnicos. Décourt (1992) propôs correlações fundamentadas nos resultados do ensaio SPT, destacando sua simplicidade e ampla difusão no Brasil. Schmertmann (1978), por sua vez, introduziu o conceito do índice de deformação específica com base em provas de carga em placa, permitindo uma representação mais realista da distribuição de deformações sob fundações. De modo semelhante, Barata (1984) sugeriu o uso do ensaio CPT para estimar o módulo de elasticidade, ressaltando a importância de parâmetros de campo para maior confiabilidade das previsões.

Burland e Burbidge (1985) apresentaram um modelo generalista que relaciona recalques em areias e cascalhos com resultados de NSPT, consolidando uma ferramenta de aplicação prática em fundações rasas. Já Meyerhof (1965) estabeleceu uma das primeiras equações empíricas

relacionando cargas admissíveis a recalques em solos arenosos, sendo até hoje utilizada em análises preliminares. Em contexto nacional, Sandroni (1991) estudou solos residuais brasileiros e propôs correlações específicas entre NSPT e módulo de elasticidade, ressaltando a influência da gênese e da estrutura dos depósitos na resposta deformacional.

Diversos estudos comparativos indicam que a escolha do método de previsão deve considerar não apenas o tipo de solo, mas também o nível de precisão esperado no projeto. Tan e Duncan (1991) analisaram doze metodologias distintas e concluíram que “nenhum método apresenta caráter universal, uma vez que cada formulação responde a objetivos e contextos particulares de aplicação[...]” (Tan; Duncan, 1991, p. 448). Já Bungenstab *et al.* (2010) mostraram que as previsões indiretas apresentam grande variabilidade quando comparadas aos recalques efetivamente medidos em obras instrumentadas, enfatizando a necessidade de calibração regional.

A literatura converge em alguns pontos fundamentais: (i) métodos semiempíricos são práticos e refletem experiências acumuladas, mas apresentam limitações regionais; (ii) a Teoria da Elasticidade permanece relevante como base conceitual, embora possa superestimar ou subestimar recalques em situações específicas; e (iii) a utilização conjunta de diferentes métodos é recomendada como estratégia para conferir maior segurança às estimativas (Barata, 1984; Schmertmann, 1978; Décourt, 1992).

Entretanto, lacunas ainda persistem, sobretudo quanto à adaptação das correlações para solos tropicais e residuais do Brasil, que apresentam elevada heterogeneidade, microestrutura complexa e comportamento colapsível. Assim, torna-se necessário confrontar previsões teóricas e semiempíricas com resultados experimentais de provas de carga, de modo a avaliar a confiabilidade das metodologias existentes para solos granulares do Nordeste brasileiro.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo é o Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF – UFC), compreende uma área de, aproximadamente, 900 m<sup>2</sup> e está situado próximo ao Departamento de Educação Física, no Campus do Pici, Fortaleza, Ceará. Um mapa do local está representado na Figura 1.

Figura 1. Localização do Campo Experimental CEGEF-UFC.



Fonte: Adaptado de Lopes (2018).

Este campo experimental foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar um espaço para estudos geotécnicos aplicados, facilitando a realização de ensaios de caracterização do subsolo em condições controladas e reais. Localizado em uma área com características geológicas e geotécnicas típicas da região, o CEGEF apresenta um solo predominantemente arenoso, com variações de rigidez e granulometria que o tornam ideal para testes e validações de metodologias de investigação geotécnica. A infraestrutura do campo inclui áreas designadas para a realização de ensaios in situ, como sondagens (SPT), ensaios de Prova de carga estática em placa (PCE), ensaios sísmicos (GPR) e

ensaios pressiométricos (PMT), além de contar com equipamentos para ensaios de caracterização física e mecânica das amostras. A escolha do CEGEF como área de estudo permite não apenas a coleta de dados geotécnicos representativos da região, mas também possibilita a criação de uma base de dados de referência para pesquisas e projetos de engenharia. A caracterização detalhada do solo nesta área fornece subsídios para a análise de fundações e estabilidade de solos, bem como para o desenvolvimento de novas técnicas de investigação geotécnica aplicáveis em regiões de solo similar.

## 3.2 PREVISÃO DE RECALQUE

### 3.2.1 Método racional da elasticidade

Para o caso de recalque de uma sapata sob carga centrada, o método racional utilizando a Teoria da Elasticidade faz uso de parâmetros de deformabilidade obtidos e laboratório em campo, aplicando-os em modelos de previsão precisos. A Equação (1) pode ser utilizada.

$$w = q B \frac{1-\nu^2}{E} I_S I_D I_H \quad (1)$$

onde:

$w$  = recalque (mm);  $q$  = pressão média aplicada (kPa);  $B$  = menor dimensão da sapata (m);  $\nu$  = coeficiente de Poisson;  $E$  = Módulo de Elasticidade (kPa);  $I_S$  = Fator de forma do elemento de fundação;  $I_D$  = Fator de profundidade/embutimento e  $I_H$  = Fator de espessura de camada compressiva.

O valor de  $I_S I_H$  é adotado como 1 para carregamentos na superfície de um meio de espessura finita (Harry, 1966). Outros valores podem ser obtidos pela Tabela 1.

Tabela 1. Valores de  $I_{sxlh}$  para carregamentos na superfície de um meio de espessura finita.

h/a	Círculo	Retângulo						
		m=1	m=2	m=3	m=5	m=7	m=10	m=∞
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0
0,2	0,096	0,096	0,098	0,099	0,099	0,099	0,099	0,1
0,5	0,225	0,226	0,231	0,233	0,236	0,237	0,238	0,239
1	0,396	0,403	0,427	0,435	0,441	0,444	0,446	0,452
2	0,578	0,609	0,698	0,727	0,748	0,757	0,764	0,784
3	0,661	0,711	0,856	0,910	0,952	0,965	0,982	1,018
5	0,74	0,800	1,010	1,119	1,201	1,238	1,256	1,323
7	0,776	0,842	1,094	1,223	1,346	1,402	1,442	1,532
10	0,818	0,873	1,155	1,309	1,475	1,556	1,619	1,758
∞	0,849	0,946	1,300	1,527	1,826	2,028	2,246	∞

h = espessura do meio; a = B/2; m = L/B. Fonte: Harry, 1966.

### 3.2.2 Método de Decourt (1992)

Decourt (1992) propôs uma equação semi-empírica baseada no valor do SPT (Standard Penetration Test) para calcular o recalque em solos arenosos. A Equação (2) leva em consideração a carga aplicada ao solo ( $q$ ), a menor dimensão da fundação ( $B$ ) e o valor médio do SPT para a profundidade do bulbo de tensões gerado pelo elemento de fundação.

$$S = 27 \frac{q B^{0,7}}{N_{spt}} \quad (2)$$

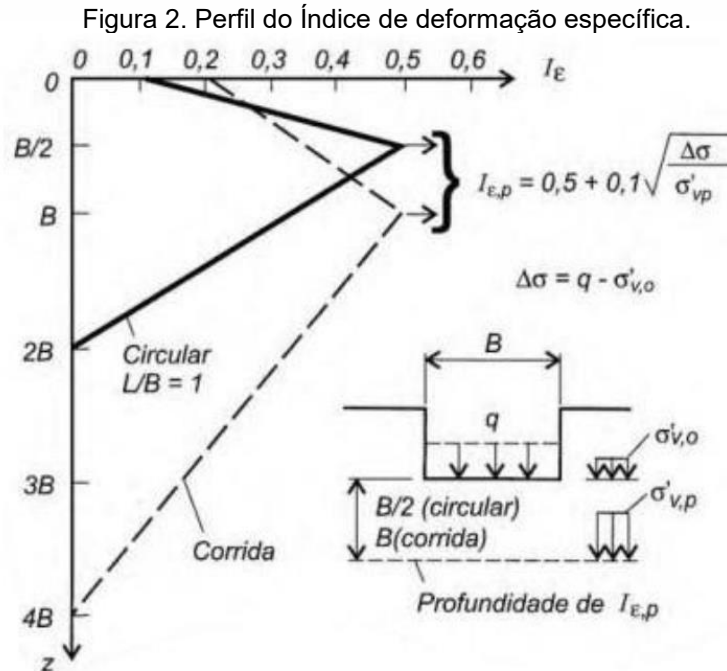
onde:

$S$  = recalque (cm);  $q$  = pressão média aplicada (MPa);  $B$  = menor dimensão da sapata (m)  
e  $N_{spt}$  = valor médio do SPT.

### 3.2.3 Método de Schmertmann (1978)

Schmertmann (1978) observou em ensaios de placa de prova de carga que abaixo delas ocorria uma deformação específica  $\varepsilon_z$ . Essa deformação apresentava um pico na profundidade de  $B/2$  e se anulava em  $2B$ , para fundações com a relação  $L/B=1$ . Com base nessa observação, ele criou o Índice de deformação específica, definido pela Equação (3) e apresentado na Figura 2.

$$I_z = \varepsilon_z \frac{E}{q} \quad (3)$$



Fonte: Schmertmann, 1978.

O pico é determinado com base no acréscimo de tensão, na tensão geostática e no alívio devido à escavação para o assentamento da fundação. Com o perfil do Índice de deformação específica construído e conhecido o valor de E, o recalque w pode ser calculado utilizando a Equação (4).

$$w = \int_0^H \varepsilon_z dz = \int_0^{2B} \frac{I_e}{E} dz = q \sum_{i=1}^n \frac{I_{e,i}}{E_i} \Delta z \quad (4)$$

Schmertmann propôs duas correções a serem aplicadas para ajustar o recalque obtido pela Equação 4. A primeira correção,  $C_1$ , relacionada ao embutimento do elemento de fundação, é expressa pela Equação (5).

$$C_1 = 1 - 0,5 \frac{\sigma'_{v,o}}{q} \quad (5)$$

onde:

$C_1$  = fator de correção de embutimento;  $\sigma'_{v,0}$  = tensão geostática na profundidade de assentamento da fundação (kPa) e  $q$  = tensão transmitida pelo elemento de fundação ao solo (kPa).

A segunda correção  $C_2$ , considera as deformações viscosas oriundas do adensamento secundário do solo (creep), é definida pela Equação (6).

$$C_2 = 1 + 0,2 \log \frac{t}{0,1} \quad (6)$$

onde:

$t$  = tempo em anos e o recalque final  $w_f$  é dado pela Equação (7).

$$w_f = w C_1 C_2 \quad (7)$$

Em 1978, Schmertmann propôs novas correlações para o Módulo de Elasticidade ( $E$ ) baseadas nos valores de  $q_c$  obtidos pelo ensaio de CPT (Cone Penetration Test). A Equação (8) é aplicada a sapatas circulares e quadradas, enquanto a Equação (9) é aplicada a sapatas corridas.

$$E = 2,5 q_c \quad (8)$$

$$E = 3,5 q_c \quad (9)$$

### 3.2.4 Método de Barata (1984)

Barata (1984) propôs que o recalque fosse calculado pela Teoria da Elasticidade, utilizando o Módulo de Young obtido por meio do ensaio de CPT (Cone Penetration Test) com a seguinte correlação expressa na Equação (10).

$$E = h q_c \quad (10)$$

onde:

$E$  = Módulo de Elasticidade (kPa);  $h$  = coeficiente do tipo de solo sendo  $h = 2,0$  para areias e  $h = 8,0$  para argilas;  $q_c$  = valor da resistência de ponta obtida pelo CPT (kPa).

A partir da obtenção do Módulo de Elasticidade e da pressão aplicada ( $\sigma$ ) é possível, pela aplicação da Lei de Hooke, determinar a deformação para a camada de solo considerada. A Equação (11) apresenta a Lei de Hooke.

$$\sigma = E \varepsilon \quad (11)$$

onde:

$E$  = Módulo de Elasticidade (kPa);  $\varepsilon$  = deformação (m) e  $\sigma$  = pressão aplicada (kPa). Com a deformação  $\varepsilon$  a espessura da camada de solo ( $H$ ) é possível determinar o recalque ( $w$ ) pela Equação (12).

$$w = H \varepsilon \quad (12)$$

onde:

$H$  = espessura da camada de solo considerando a profundidade do bulbo de tensões (m);  $\varepsilon$  = deformação (m) e  $w$  = recalque (m).

### 3.2.5 Método de Burland e Burbidge (1985)

O método de Burland & Burbidge (1985) define o recalque como uma expressão em função do valor do  $N_{spt}$  (Standard Penetration Test), do fator de forma e do fator de espessura compressível. A Equação (13) apresenta a expressão para o método.

$$w = q B^{0,7} \frac{1,71}{N^{1,4}} f_s f_l \quad (13)$$

onde:

$w$  = recalque (mm);  $q$  = pressão aplicada ( $\text{kN/m}^2$ );  $B$  = menor dimensão da fundação (m);  
 $N$  = média do número de golpes de  $N_{spt}$  na profundidade do bulbo de tensões e  $f_s$  = fator de forma dado pela Equação (14).

$$f_s = \frac{1,25 \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \quad (14)$$

$f_l$  = fator de espessura compressível dado pela Equação (15).

$$f_l = \frac{H}{z_1} \left( 2 - \frac{H}{z_1} \right) \quad (15)$$

sendo que:

para  $H > z_1$ ,  $f_l = 1,0$ .

### 3.2.6 Método de Meyerhof (1965)

O método de Meyerhof (1965) propõe que a relação entre a carga aplicada e o recalque admissível em areias pode ser expressa pelas Equações (16) e (17).

$$q_{adm} = \frac{N_{spt} w_{adm}}{8} \quad (16)$$

$$q_{adm} = \frac{N_{spt} w_{adm}}{12} \left( \frac{B+1'}{B} \right) \quad (17)$$

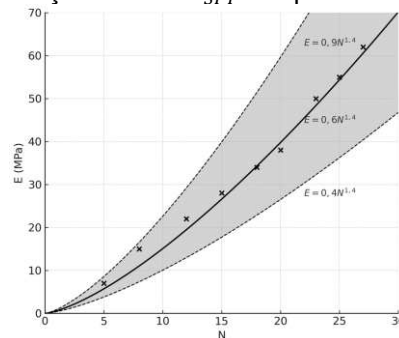
onde:

$B$  = menor lado da fundação (pés);  $w_{adm}$  = recalque (polegadas) e  
 $q_{adm}$  = carga aplicada ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

### 3.2.7 Método de Sandroni (1991)

Sandroni (1991), utilizando resultados de provas de carga em solos residuais de gnaiss, propôs um gráfico e expressões que relacionam o número de golpes do SPT com o Módulo de Elasticidade ( $E$ ) do solo. A Figura 3 apresenta o gráfico proposto com as devidas expressões.

Figura 4. Relação entre o  $N_{SPT}$  e  $E$  para solos residuais.



Fonte: Adaptado de Sandroni, 1991.

Após obter o Módulo de Elasticidade do solo, o cálculo do recalque pode ser realizado utilizando o método da Teoria da Elasticidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados da estimativa de recalque utilizando os métodos descritos na metodologia, juntamente com a comparação aos dados experimentais obtidos pelo ensaio de prova de carga direta. Para ordenar os métodos que mais se aproximam da curva experimental, utilizou-se o método dos Mínimos Quadrados.

#### 4.1 PARÂMETROS OBTIDO EM LABORATÓRIO

Foram conduzidos ensaios geotécnicos de campo e laboratório para caracterizar o subsolo do CEGEF – UFC, conforme descrito em Moura *et al.* (2018). Os ensaios incluíram caracterização física, ensaios triaxiais, oedométricos, de cisalhamento direto e sondagem a percussão (SPT). A classificação do solo superficial, submetido às pressões da prova de carga direta neste estudo, pelo Sistema Unificado de Classificação (SUCS), é SM, indicando que é um solo granular do tipo areia-siltosa. A Tabela 2 apresenta um resumo das principais características e parâmetros do solo estudado.

Tabela 2. Resumo dos principais parâmetros do solo para a profundidade de 1,10 m.

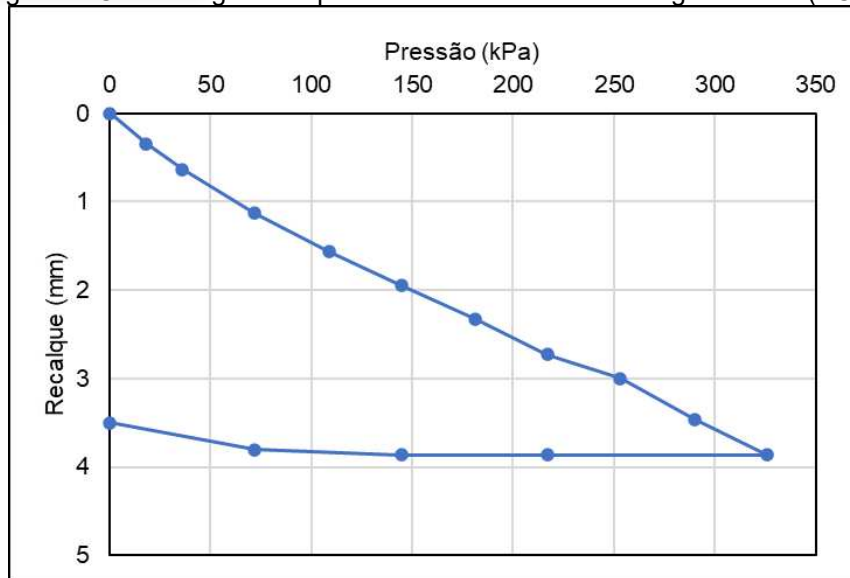
Características/Parâmetros	110 cm	Forma de Obtenção
Classificação do solo	SM	Granulometria
Umidade natural (%)	12,4	Estufa
G <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	Picnômetro
γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	22,5	Compactação
w <sub>ot</sub> (%)	9,6	Compactação
φ'	31,8°	Cisalhamento direto
c (kPa)	1,3	Cisalhamento direto
φ'	33,5°	Triaxial
c (kPa)	0	Triaxial
E (MPa)	20	Triaxial

Fonte: Moura *et. al.*, 2018.

#### 4.2 ENSAIO DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA (PCE)

Foi realizado um ensaio de Prova de Carga com uma placa de 50 cm de diâmetro sobre a superfície do solo, onde cargas foram aplicadas em estágios. Os resultados deste ensaio estão representados no gráfico da Figura 4.

Figura 4. Curva carga-recalque do ensaio de Prova de carga estática (PCE).



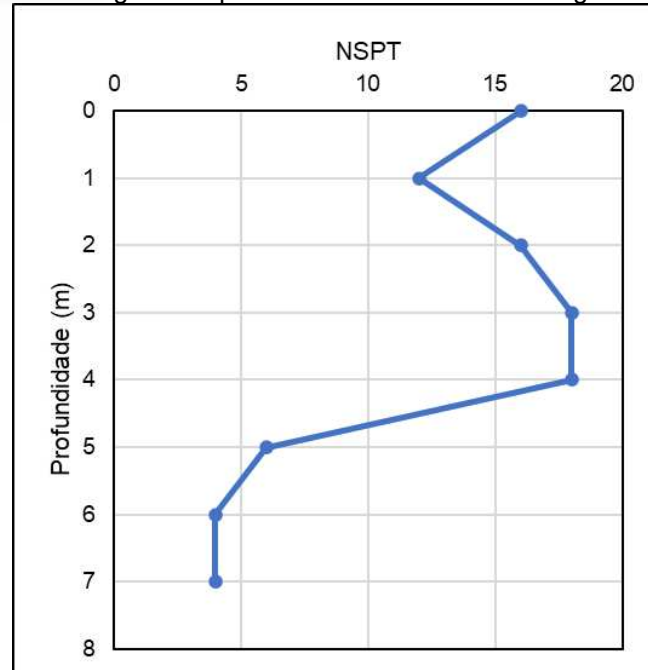
Fonte: Adaptado de Moura et al., (2018).

Na curva carga x recalque, observa-se que o recalque máximo atingiu aproximadamente 3,87 mm, correspondente à tensão de 350 kPa. O recalque residual registrado foi de 3,5 mm.

#### 4.3 ENSAIO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO (SPT)

Um ensaio de sondagem SPT (Standard Penetration Test) foi realizado a uma distância de 2,0 m do local onde a prova de carga direta foi conduzida. O perfil de sondagem pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5. Curva carga-recalque do ensaio de Prova de carga estática (PCE).



Fonte: Adaptado de Moura *et. al.*, 2018.

A Tabela 3 resume os valores de recalque calculados para cada um dos métodos propostos, juntamente com os respectivos erros mínimos quadrados (EMQ).

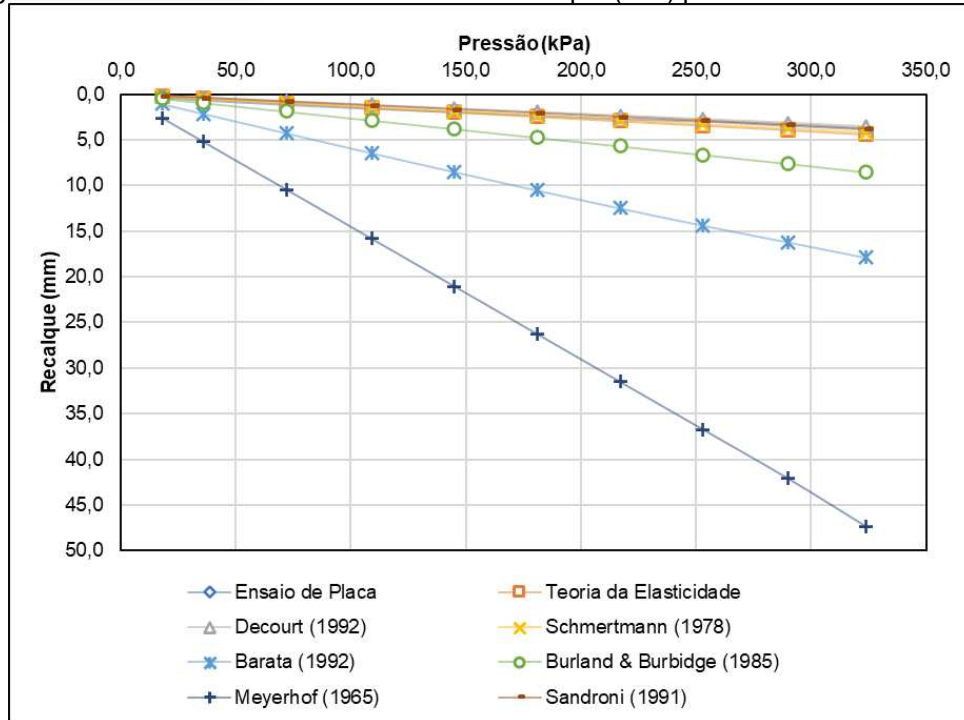
Tabela 3. Resumo dos valores calculados de recalque (mm) para cada um dos métodos.

Está- gio de carga	Pressão (kPa)	En- saio de Placa	Teoria da Elasti- cidade	Decourt (1992)	Sch- mert- mann (1978)	Barata (1992)	Burland & Bur- bidge (1985)	Meyerhof (1965)	San- droni (1991)
1	18,0	0,34	0,24	0,20	0,23	1,07	0,47	2,61	0,21
2	36,0	0,64	0,48	0,39	0,47	2,14	0,94	5,23	0,41
3	72,0	1,13	0,96	0,79	0,94	4,27	1,88	10,45	0,83
4	109,0	1,57	1,46	1,19	1,42	6,44	2,85	15,82	1,25
5	145,0	1,95	1,94	1,58	1,89	8,51	3,79	21,05	1,67
6	181,0	2,33	2,43	1,97	2,36	10,53	4,74	26,27	2,08
7	217,0	2,73	2,91	2,37	2,83	12,49	5,68	31,50	2,49
8	253,0	2,99	3,39	2,76	3,29	14,36	6,62	36,72	2,91
9	290,0	3,46	3,89	3,16	3,78	16,20	7,59	42,09	3,33
10	323,7	3,87	4,37	3,56	4,24	17,88	8,53	47,32	3,75
	EMQ		0,71	0,96	0,23	730,04	72,17	6599,92	0,49

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A Figura 6 ilustra graficamente o comportamento das curvas carga x recalque obtidas pelos métodos utilizados e do ensaio de prova de carga em placa realizado.

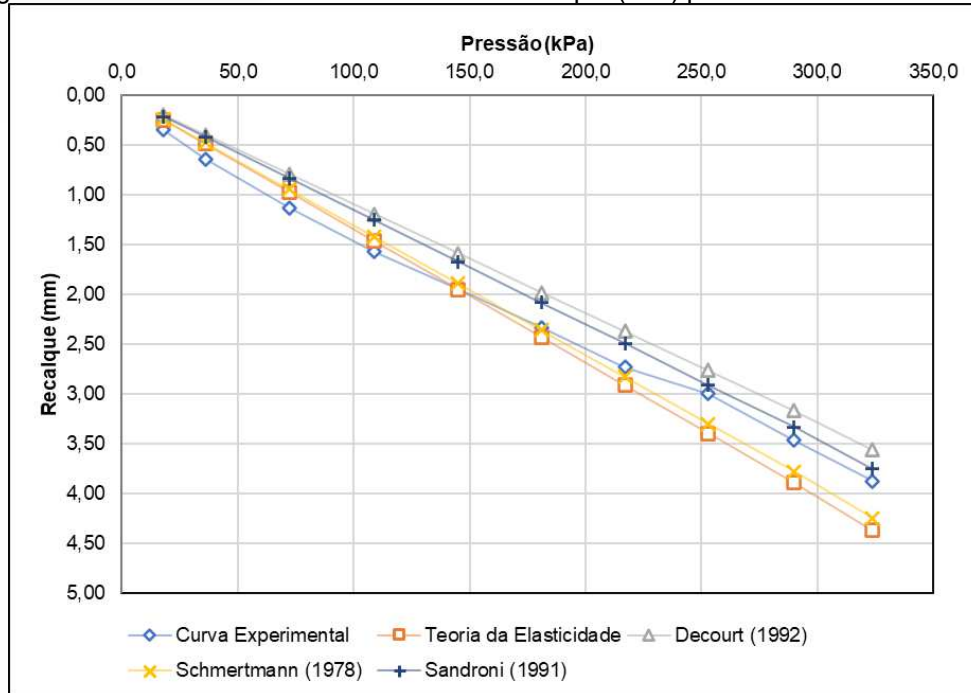
Figura 6. Resumo dos valores calculados de recalque (mm) para cada um dos métodos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os métodos que apresentaram previsões mais concordantes foram Schmertmann (1978), Sandroni (1991) e Teoria da Elasticidade, com valores de EMQ menores que 1. Os métodos de Meyerhof (1965), Barata (1984) e Burland & Burbidge (1985) mostraram EMQ com valores elevados, indicando que divergem do comportamento da curva carga x recalque experimental. A Figura 7 ilustra uma comparação entre a curva experimental e as curvas previstas pelos métodos mais convergentes.

Figura 7. Resumo dos valores calculados de recalque (mm) para cada um dos métodos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Pelo gráfico ilustrado na Figura 7, é perceptível que as estimativas feitas pelos métodos da Teoria da Elasticidade, Decourt (1992), Schmertmann (1978) e Sandroni (1991) apresentaram um comportamento próximo aos resultados experimentais. O método de Schmertmann (1978), com um EMQ de 0,23, foi o que mais se aproximou. É fundamental destacar que cada método possui considerações e características específicas de cálculo. Aqueles que incorporam o NSPT em suas formulações referem-se ao valor médio da sondagem para a camada de solo considerada, incluindo o bulbo de tensões gerado pelos incrementos de pressão da prova de carga.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo investigou métodos de previsão de recalque em fundações diretas comparados com ensaios de prova de carga direta realizados no Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará. Os resultados revelaram que os métodos baseados na Teoria da Elasticidade, especificamente os de Schmertmann (1978) e Sandroni (1991), apresentaram

previsões mais consistentes em relação aos valores experimentais. A Teoria da Elasticidade demonstrou ser uma representação adequada do comportamento do solo sob carregamento, considerando sua capacidade de deformação elástica, embora com uma parcela de deformação não recuperável quando a carga é removida. Métodos cujos resultados divergiram dos valores experimentais podem ser justificados pelas simplificações e correlações específicas utilizadas, que podem não ser totalmente aplicáveis ao tipo de solo em questão. É importante notar que cada correlação introduz um erro associado, uma vez que não corresponde a uma determinação experimental ou laboratorial direta do parâmetro em questão. Em geral, os métodos indiretos para previsão de recalques em fundações superficiais são úteis no projeto geotécnico, mas devem ser empregados com cautela. Recomenda-se o uso de múltiplos métodos para verificar a consistência dos resultados, permitindo ao engenheiro geotécnico escolher um valor de recalque que esteja dentro da faixa aceitável de carga para o problema em questão.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6489: Solo – Prova de carga estática em fundação direta**. Rio de Janeiro, 2019.
- BARATA, F. E. **Propriedades mecânicas dos solos: uma introdução ao projeto de fundações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- BUNGENSTAB, F. C.; BICALHO, K. V.; CASTELLO, R. R. **Estimativa de recalques em fundações superficiais apoiadas em solos arenosos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – COBRAMSEG, 15., 2010, Gramado. Anais... Gramado: ABMS, 2010.
- BURLAND, J. B.; BURBIDGE, M. C. **Settlements of foundations on sand and gravel**. In: INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. Proceedings. London: ICE, 1985.
- DÉCOURT, L. **SPT in non-classical material: applicability of classical soil mechanics principles in structured soils**. In: US/BRAZIL GEOTECHNICAL WORKSHOP, 1992, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte, 1992. p. 67-100.
- HARR, M. E. **Foundations of theoretical soil mechanics**. New York: McGraw-Hill, 1966.
- LOPES, E. F. **Estudo experimental e numérico do recalque de fundações superficiais em solo não saturado em diferentes perfis de sucção**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- MOURA, A. S.; RAMOS, M. R.; CERQUEIRA JÚNIOR, E.; BEZERRA DE MENEZES, P. H. L.; LIMA FILHO, F. P. **Caracterização preliminar geotécnica do subsolo do Campo Experimental de Geotecnia e de Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF – UFC)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19., 2018, Salvador. Anais... Salvador: ABMS, 2018.
- SANDRONI, S. S. **Young metamorphic residual soils**. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 9., 1991, Viña del Mar. Proceedings... Viña del Mar: PCSMFE, 1991.
- SCHMERTMANN, J. H.; HARTMAN, J. P.; BROWN, P. R. **Improved strain influence factor diagrams**. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, v. 104, n. GT8, p. 1131-1135, 1978.
- TAN, C. K.; DUNCAN, J. M. **Settlement of footings on sands: accuracy and reliability**. In: GEOTECHNICAL ENGINEERING CONGRESS, 1991. Proceedings... v. 1, p. 446-455.