XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/25

Avaliação da aplicabilidade de Métodos Semi-empíricos no cálculo da Tensão Admissível do Solo em duas obras na Bahia: estudo de caso

Felipe Oliveira Silva
Graduando do Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana-DTEC, Bahia, Brasil, fosilva.eng@gmail.com

Maria do Socorro Costa São Mateus
Professora Doutora, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil, socorro@uefs.br

RESUMO: Fundações superficiais são utilizadas em projetos de fundações de diversas edificações no Brasil. O dimensionamento é realizado em função da tensão admissível do solo, que pode ser determinada utilizando-se métodos teóricos, semi-empíricos e prova de carga sobre placa, conforme NBR 6122 (ABNT, 2022). Os métodos semi-empíricos destacam-se pela praticidade e relacionam o índice de resistência à penetração obtido no ensaio de Sondagem à Percussão (SPT) com a tensão admissível dos solos. Este trabalho analisou os métodos semi-empíricos propostos por quatro autores brasileiros, avaliando a sua aplicabilidade ao solo de duas obras no estado da Bahia. Foram escolhidos quatro métodos semi-empíricos para o cálculo da tensão admissível do solo, para comparação com os resultados do ensaio de prova de carga sobre placa, executado em cada obra. Com o relatório de Sondagem à Percussão, calculou-se a tensão admissível do solo, utilizando quatro cenários distintos (variando a cota de assentamento da sapata e o seu índice de resistência a penetração N_{spt}). Observou-se uma variação na eficiência dos métodos analisados, devido aos diferentes índices N_{spt}. Dos métodos que subestimaram a tensão admissível, De Mello (1975) apresentou a melhor convergência.

PALAVRAS-CHAVE: Tensão Admissível, Métodos Semi-empíricos, Prova de Carga, Estudo de Caso.

ABSTRACT: Shallow foundations are widely used in foundation designs for various buildings in Brazil. The design is carried out based on the allowable bearing capacity of the soil, which can be determined using theoretical, semi-empirical methods, and plate load tests, in accordance with NBR 6122 (ABNT, 2022). Semi-empirical methods stand out due to their practical application, correlating the penetration resistance index obtained from the Standard Penetration Test (SPT) with the allowable bearing capacity. This study analyzed the semi-empirical methods proposed by four Brazilian authors, evaluating their applicability to the soil in two constructions on Bahia State. Four semi-empirical methods were chosen to calculate the soil's allowable bearing capacity and compared to the results of plate load tests performed in each construction. With the Standard Penetration Test, the allowable bearing capacity was calculated using four distinct scenarios (varying the footing's embedment depth and its penetration resistance index). A variation in the efficiency of the analyzed methods was observed due to different indices. Among the methods that underestimated the allowable bearing pressure, De Mello (1975) showed the best convergence.

KEYWORDS: Allowable Bearing Capacity, Semi-empirical Methods, Plate Load Test, Case Study.

1 INTRODUÇÃO

Os elementos de fundações desempenham um papel crucial para o comportamento da superestrutura, sendo responsáveis pela transmissão de esforços ao solo. Um projeto de fundações só deverá ser iniciado após uma adequada investigação do subsolo, para conhecimento e previsão do comportamento quanto às tensões e deformações, para garantia da segurança e viabilidade dos projetos.

Veloso e Lopes (2011) recomendam a definição de um programa de investigação, como sendo o primeiro passo para conhecer o subsolo. De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), deve-se realizar uma campanha de investigação geotécnica preliminar com o intuito de definir o perfil estratigráfico do solo, a posição do nível d'água e o índice de resistência à penetração (NSPT), considerando no mínimo uma

Sondagem à Percussão, como o ensaio "Standard Penetration Test (SPT)", normatizado na NBR-6484 (ABNT, 2020). O projetista poderá solicitar investigações complementares, caso necessário.

A partir da Sondagem à Percussão, será possível definir tipo de fundação e profundidade de apoio, avaliando-se as tensões ou cargas de ruptura (capacidade de carga) e admissíveis, bem como os recalques das fundações nos solos.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), três tipos de metodologias podem ser recomendados para se obter a capacidade de carga para fundações superficiais, sendo eles, métodos teóricos, semiempíricos e o ensaio de prova de carga sobre placa.

Os métodos teóricos para cálculo de capacidade de carga das fundações superficiais dos solos fundamentam-se em equações que foram desenvolvidas por diversos autores, tendo como marco inicial os estudos realizados por Terzaghi (1943), seguidos com as contribuições de Meyerhof (1963), Hansen (1961) e Vésic (1975). De maneira geral, esses métodos teóricos baseiam-se na resistência ao cisalhamento dos solos (Veloso e Lopes, 2011).

Os métodos semiempiricos são o resultado de correlações entre os ensaios como SPT e CPT (Cone Penetration Test) e a tensão admissível do solo, obtida nas provas de carga sobre placa. Dentre os métodos disponíveis na literatura, destacam-se: Meyerhof (1965), Terzaghi e Peck (1967), De Mello (1975), Albiero e Cintra (1996), Teixeira (1996) e Teixeira e Godoy (1998). Em suas correlações, os autores incorporaram fatores de segurança, para obtenção da tensão admissível do solo (Cintra et al., 2011). De acordo com De Mello (1975), faz-se necessário a verificação da validade e aplicabilidade dos métodos, para cada subsolo.

Segundo a NBR 6489 (ABNT, 2019), o ensaio de prova de carga sobre placa consiste na aplicação de esforços axiais de compressão a uma placa metálica e na medição dos seus respectivos deslocamentos. De acordo com Almeida (2018), o ensaio é realizado na superfície do terreno ou na cota de assentamento da fundação rasa, tendo como objetivo investigar o comportamento do solo quando solicitado por determinado carregamento, simulando a interação solo-fundação direta.

Embora existam vários métodos para a previsão da tensão de ruptura de fundações superficiais nos solos, são escassos os registros na literatura brasileira, comparando os resultados com os ensaios de prova de carga sobre placa. Castro (2008) estudou quatro locais do município de Feira de Santana-Ba, determinando as tensões de ruptura e admissível dos solos na profundidade de apoio de sapatas quadradas com 1 m de lado, por meio dos métodos de Terzaghi (teórico) e empíricos de Alonso (1943), Décourt (1992) e Teixeira e Godoy (1996). Para o método de Terzaghi, foram utilizados valores de coesão e ângulo de atrito determinados no ensaio de cisalhamento direto inundado e, também, obtidos de correlações com o N_{SPT}. Para os demais métodos, as tensões foram obtidas das correlações com o N_{SPT}. Os resultados foram comparados também com os valores constantes da tabela de pressões básicas dos solos, da NBR-6122 (1996). Castro (2008) concluiu que os métodos de Alonso (1943) e de Teixeira e Godoy (1996) apresentaram valores mais próximos aos previstos na tabela da NBR-6122. O método de Décourt (1992) forneceu os maiores valores para as tensões. Para o método de Terzaghi, utilizando os parâmetros de coesão e ângulo de atrito do ensaio de cisalhamento direto inundado, as tensões foram inferiores, quando comparados a todos os métodos.

O presente trabalho utilizou os métodos semiempíricos para o cálculo de tensão admissível, desenvolvidos por quatro autores brasileiros, sendo eles: De Mello (1975), Albiero e Cintra (1996), Teixeira (1996) e Teixeira e Godoy (1998), comparando os resultados com o ensaio de prova de carga sobre placa, para estudar a aplicabilidade dos diferentes métodos em solo de dois municípios no Estado da Bahia. Utilizou-se também o método de extrapolação da curva tensão-recalque proposto por Van Der Veen (1953) com modificações realizadas por Aoki (1976), utilizando as equações (1) e (2). Segundo Carvalho e Albuquerque (2023), a aplicação desse método requer que o ensaio de prova de carga alcance, no mínimo, 70% da carga de ruptura do solo.

$$Q = Q_{rup}(1 - e^{-\alpha\rho + \beta}) \quad (1)$$

$$-\ln(1 - Q / Q_{rup}) \quad (2)$$

Onde, Q = carga aplicada, Q_{rup} = carga de ruptura, α = forma da curva, ρ = recalque e β = intercepto.

2 METODOLOGIA

As principais características dos métodos e suas respectivas equações são apresentadas na Tabela 1. Para avaliar a aplicabilidade dos métodos semiempíricos, foram analisados quatro cenários distintos (Tabela 2),

variando a profundidade de apoio e o valor do N_{SPT}. Vale ressaltar que, para todos os cenários analisados, considerou-se sapata quadrada com lado B = 1,0 m.

Tabela 1. Métodos semiempíricos utilizados.

Autor	Condições	Equação
De Mello (1975)	$(4 \leq N_{spt} \leq 16)$ Aplicável a qualquer tipo de solo	$\sigma_{adm} = 0{,}1 \times \left(\sqrt{N_{spt}} - 1\right)$ (MPa)
Albiero e Cintra (1996)	Para $N_{spt} > 5$ profundidade (1,5m) de apoio da fundação Aplicável a solos arenosos $(5 \leq N_{spt} \leq 20)$	$\sigma_{adm} = \frac{N_{spt}}{50}$ (MPa)
Teixeira (1996)	Valores de N_{spt} na extensão até 2B B (m): menor dimensão da sapata	$\sigma_{adm} = 0{,}05 + (1 + 0{,}4B) * \frac{N_{spt}}{100}$ (MPa)
Teixeira e Godoy (1998)	Aplicável a areias e argilas Valores de N_{spt} na extensão até 2B	$\sigma_{adm} = 20 * N_{spt}$ (kPa)

Tabela 2. Cenários estudados.

Cenário	Profundidade de apoio	N_{spt}	
		Obra 1	Obra 2
1	1,0 m (profundidade do ensaio de prova de carga)	41	07
2	1,5 m (Profundidade adotada pelo autor)	15	15
3	1,0 m (NSPT médio na região do bulbo de tensões com extensão de 2B)	28	11
4	1,5 m (NSPT médio na região do bulbo de tensões com extensão de 2B)	16	10

3 ESTUDO DE CASO

Foram escolhidas duas obras em diferentes municípios no estado da Bahia, uma em Dias D'Ávila (Obra 1) e outra em Feira de Santana (Obra 2), que tivessem realizado sondagem à percussão e prova de carga sobre placa no terreno, onde seriam assentes as fundações superficiais.

3.1 Obra 1

3.1.1 Sondagem à Percussão: obra 1

A sondagem à percussão, foi executada nas proximidades do local da prova de carga sobre placa, atingindo a profundidade de 10,45 m, mostrando um perfil predominantemente arenoso até 6,0 m, com índice de resistência à penetração ($N_{SPTfinal}$) variando entre 15 e 19 golpes, tendo um pico de 41 golpes entre 1 m e 2 m. A partir dos 6 m, encontrou-se um silte argiloso com $N_{SPTfinal}$ variando entre 13 e 32 golpes. O nível d'água (N.A.) inicial foi observado a uma profundidade de 0,40 m em relação à superfície do solo. Conforme apresentado na Figura 1.

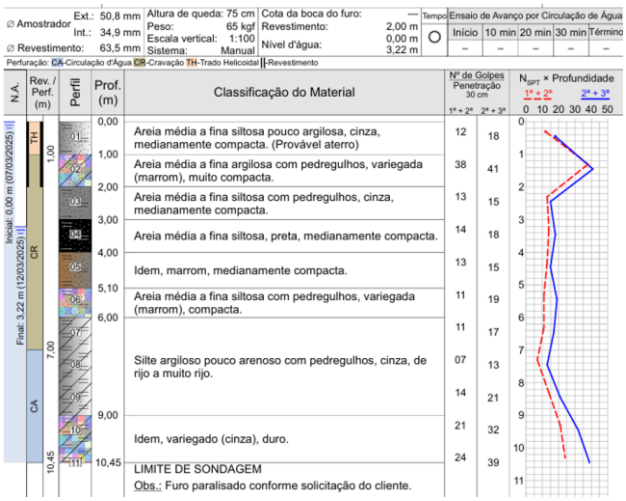


Figura 1. Perfil de sondagem SP-01: obra 1.

3.1.2 Prova de carga sobre placa: Obra 1

O ensaio de prova de carga estática em fundação direta foi realizado conforme locação fornecida pelo projetista, na cota de assentamento da fundação. Para o ensaio, foi adotado o método de carregamento lento, conforme previsto pelo item 4.4.1 da NBR 6489 (ABNT, 2019), que prevê estágios de carregamento iguais e sucessivos, utilizando no máximo em cada estágio 20% da carga admissível prevista, sendo mantida até a estabilização dos deslocamentos e, no mínimo, um tempo de 30 minutos. As leituras dos recalques devem ser realizadas em 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min e 1 h, até atingir a estabilização e o descarregamento deverá ser realizado em, no mínimo, quatro estágios, sendo medido o seu respectivo deslocamento até a estabilização, possuindo um tempo mínimo de 15 min por estágio.

Para execução do ensaio foi utilizada uma placa metálica com 0,50 m de diâmetro e 0,024 m de espessura e deflectômetros com precisão de 0,01 mm e curso de 0,05 m. A inundação do solo não foi realizada, devido à profundidade do nível d'água encontrar-se a apenas 0,40 m da superfície, garantindo que o ensaio de prova de carga ocorresse em condição saturada. O ensaio foi realizado em dez estágios de cargas, com incrementos de 20 kPa. A tensão admissível prevista pelo projetista para o solo foi de 100 kPa. O carregamento iniciou e seguiu até que fosse atingido o valor de 200 kPa, o que corresponde ao dobro da tensão prevista, conforme a NBR 6489 (ABNT, 2019). Após conclusão do último estágio, a carga foi mantida por um período de 12 h. Em seguida, iniciou-se o seu descarregamento em quatro estágios, com decréscimos de 50 kPa e tempo de estabilização de 15 min. A Figura 2 apresenta a curva tensão x recalque, obtida com a média dos valores dos quatro deflectômetros no ensaio, para cada estágio.

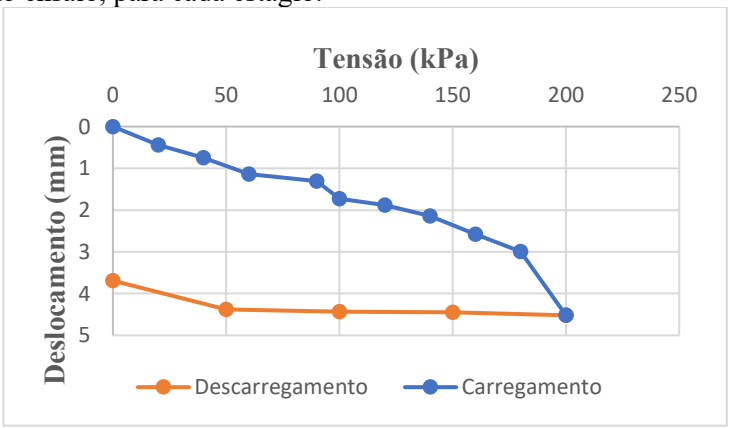


Figura 2. Ensaio de prova de carga sobre placa: Obra 1.

Realizou-se a extrapolação da curva tensão-recalque, para a estimativa da carga de ruptura, utilizando-se o método de Van Der Veen (1953) modificado por Aoki (1976), obtendo-se uma tensão de ruptura estimada de 220 kPa. Ao aplicar o fator de segurança global igual a 2, conforme NBR 6122 (ABNT, 2022), obteve-se o valor de tensão admissível de 110 kPa. A Figura 3 apresenta a curva tensão-recalque após a extrapolação.

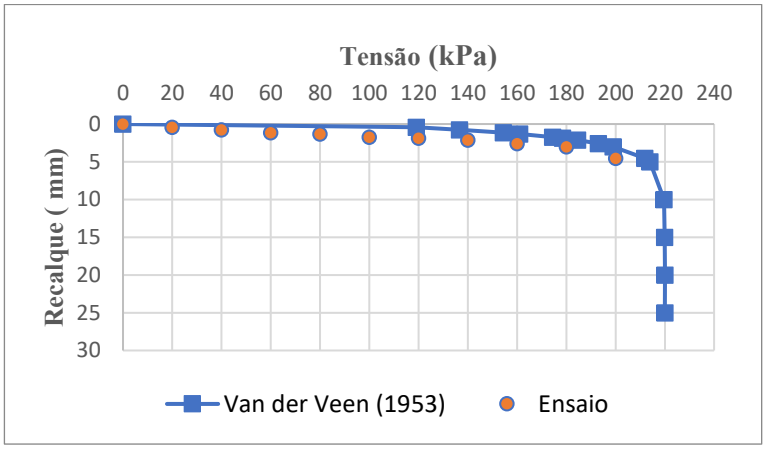


Figura 3. Curva Tensão x Recalque após extrapolação pelo método de van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976): Obra 1.

3.2 Obra 2

3.2.1 Sondagem à Percussão: obra 2

A sondagem à percussão, executada próximo ao local da prova de carga, atingiu a profundidade de 8,45 m (Figura 4), mostrando um perfil de solo arenoso até a profundidade de 2,0 m. Abaixo deste nível, observou-se uma transição para um solo com predominância argilosa. O solo possui índice de resistência à penetração ($N_{SPTfinal}$) variando entre 4 e 16 golpes. Não foi observado nível d'água (N.A.) inicial.

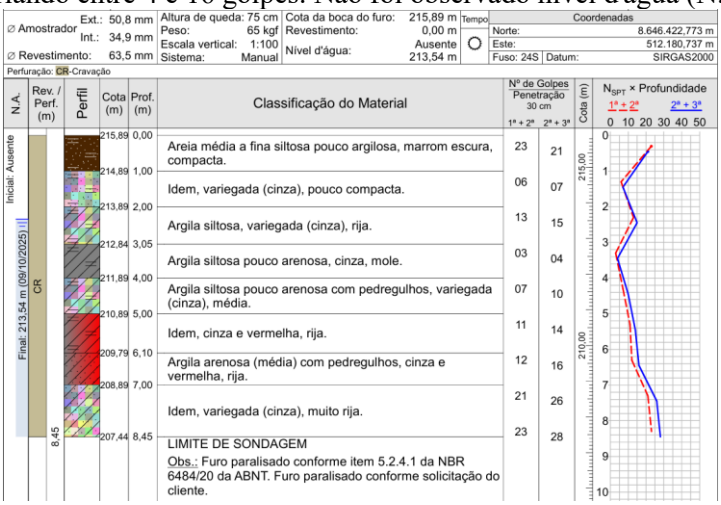


Figura 4. Perfil de sondagem SP-12: Obra 2.

3.2.2 Prova de carga sobre placa: obra 2

O ensaio foi executado seguindo rigorosamente os mesmos critérios normativos adotados na Obra 1. A locação dos pontos foi realizada seguindo orientações previstas pelo projetista. Adotou-se o método de carregamento lento conforme previsto pela NBR 6489 (ABNT, 2019), com estágios sucessivos de 20% da tensão admissível e intervalos de estabilização para os deslocamentos idênticos aos descritos anteriormente. O ensaio foi executado, utilizando uma placa metálica com 0,80 m de diâmetro e 0,024 m de espessura e deflectômetros com precisão de 0,01 mm e curso de 0,050 m.

A prova de carga foi realizada com dez incrementos de 32 kPa, até atingir 320 kPa (o dobro da admissível prevista de 160 kPa), conforme a NBR 6489 (ABNT, 2019). Manteve-se a carga por um período de 12 h antes do descarregamento, que ocorreu em quatro estágios de 80 kPa. A Figura 5 apresenta a curva tensão x recalque, obtida com a média dos valores dos quatro deflectômetros no ensaio.

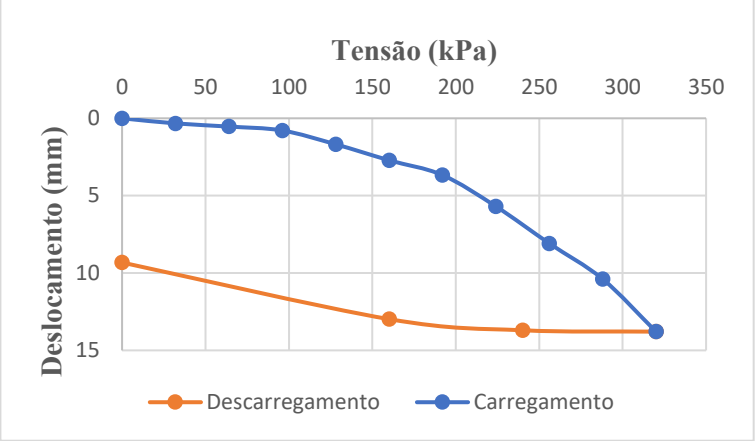


Figura 5. Ensaio de prova de carga sobre placa: Obra 2.

Utilizando a proposta de Van Der Veen (1953) modificada por Aoki (1976) para extrapolação, a tensão de ruptura estimada pelo método foi de 360 kPa. Aplicando o fator de segurança global igual a 2, recomendado pela NBR 6122 (ABNT, 2022), obteve-se o valor de tensão admissível de 180 kPa. A Figura 6 apresenta a curva tensão-recalque após a extrapolação.

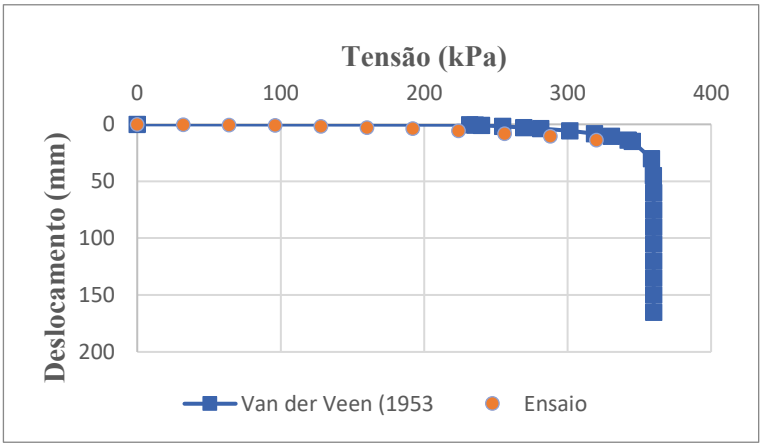


Figura 6. Curva Tensão x Recalque após extrapolação pelo método de van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976): Obra 2.

4 RESULTADOS

4.1 Obra 1

Tabela 3. Resultados da Obra 1.

	Tensão admissível calculada (kPa)				
Cenário	**De Mello (1975)**	**Albiero e Cintra (1996)**	**Teixeira (1996)**	**Teixeira e Godoy (1998)**	**Prova de carga**
1	-	-	-	-	110
2	287	300	260	300	
3	-	-	-	-	
4	300	320	274	320	

A Tabela 3 apresenta os resultados para a Obra 1. Para o primeiro e terceiro cenários da Obra 1, não se utilizaram os métodos semiempíricos tendo em vista o valor de N_{spt} = 41 e 28, respectivamente, que ultrapassam os limites estabelecidos pelos autores.

Na análise do segundo Cenário, observou-se valores de tensão admissível acima da estimada com a extrapolação de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976). Esse comportamento pode ser explicado pelo valor de N_{spt} = 15. Nesse contexto, todos os métodos apresentaram um erro relativo superior a 100%, superestimando a capacidade de carga do solo, oferecendo um risco à segurança.

Para o quarto e último Cenário, que considerou a sapata apoiada a 1,5 m de profundidade e o N_{spt} médio ao longo do bulbo de tensões com valor de 16 golpes, os métodos semiempíricos aplicados apresentaram erro relativo superior a 100% com aumento no resultado da tensão admissível, que pode ser explicada por um valor maior de N_{spt} quando comparado com o segundo Cenário.

4.2 Obra 2

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos.

Tabela 4. Resultados da Obra 2.

	Tensão admissível (kPa)				
Cenário	**De Mello (1975)**	**Albiero e Cintra (1996)**	**Teixeira (1996)**	**Teixeira e Godoy (1998)**	**Prova de carga**
1	165	140	-	140	180
2	287	300	-	300	
3	232	220	-	220	
4	216	200	-	200	

Ao analisar o primeiro Cenário, observou-se uma diferença considerável nos valores de tensão admissível obtidos quando comparados aos encontrados nos resultados da Obra 1. Essa diferença pode ser explicada pelo valor de N_{spt} = 7. Quando comparados com o valor obtido no ensaio de prova de carga, observa-se o método de De Mello (1975) se aproximar de forma satisfatória do valor estimado pela extrapolação, obtendo um resultado conservador para a tensão admissível do solo. Para o Cenário 2, utilizando um N_{spt} = 15, o método de De Mello (1975) seguiu sendo o mais próximo do resultado estimado pela extrapolação de Van Der Veen (1953) modificado por Aoki (1976), apresentando um erro relativo de aproximadamente 60%. Nos Cenários 3 e 4, observou-se que os métodos de Albiero e Cintra (1996) e Teixeira e Godoy (1998), para o N_{spt} = 11 e 10 respectivamente, apresentaram a melhor convergência em relação ao valor referência da tensão admissível. Ambas as metodologias resultaram em um erro relativo de aproximadamente 23% (Cenário 3) e 12 % (Cenário 4). O método de Teixeira (1996) não foi aplicado aos Cenários da Obra 2, uma vez que o perfil do solo apresentado na sondagem possui predominância argilosa. Os autores restringiram a aplicabilidade do método para solos arenosos.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados, observou-se que a escolha da metodologia semiempírica para cálculo da tensão admissível do solo deve seguir rigorosamente os domínios limites de validade propostos pelos autores dos métodos. Os resultados mostraram que a eficiência dos métodos é inversamente proporcional ao índice de resistência a penetração (N_{spt}). Na Obra 1, onde foram verificados valores de N_{spt} mais elevados (41, 15, 28 e 16 golpes), as tensões admissíveis calculadas variaram entre 260 kPa e 320 kPa. Quando comparadas com a tensão de 110 kPa estimada pela extrapolação de Van Der Veen (1953) modificada por Aoki (1976), essas metodologias apresentaram erros relativos superiores a 100%.

Em contrapartida, a análise da Obra 2 apresentou enários diferentes. Com índices N_{spt} mais baixos (7, 15, 11 e 10 golpes), as tensões admissíveis variaram entre 140 kPa e 300 kPa. Ao comparar esses dados com a tensão de referência estimada na extrapolação (180 kPa), verificou-se que os métodos: De Mello (1975), Albiero e Cintra (1996) e Teixeira e Godoy (1998) apresentaram convergência satisfatória, apresentando uma melhor aplicabilidade para o perfil de solo avaliado. Considerando os métodos que subestimaram a capacidade de carga do solo, De Mello (1975) apresentou o melhor resultado, se aproximando do valor estimado pela extrapolação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albiero, J. H.; Cintra, J. C. A. (1996). *Fundação teórica e prática*. São Paulo: ABED/ABMS, 320 p.

Almeida, M. M. R. (2018). *Análise comparativa de métodos de estimativa de capacidade de carga de fundações superficiais com resultados de provas de carga*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 144 p.

Alonso, R. R (1943). *Exercícios de Fundações*, São Paulo: Edgard Blucher.

Aoki, N. (1976). *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. Notas de Aula, Universidade Gama Filho.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6489. *Solo – Prova de carga estática em fundação direta*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Carvalho, D., Albuquerque, P. J. R. (2023). *Ensinando prova de carga estática em fundações: realização – interpretação – projeto – resultados*. Campinas: Unicamp.

Castro, Gledson Diórgenes Santos. (2008). *Estudo comparativo entre métodos de cálculo de tensões admissíveis para sapatas apoiadas em solo superficial da cidade de Feira de Santana-Ba.* Trabalho de Conclusão de Curso, 73p. Engenharia Civil. UEFS-Departamento de Tecnologia.

Cintra, J. C. A., Aoki, N., Albiero, J. H. (2011). *Fundações diretas: projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos.

De Mello, V. F. B. (1975). *Deformações como base fundamental de escolha da fundação*. Geotecnia, n. 12, p. 55-75.

Hansen, J. B. (1961). *A general formula for bearing capacity*. Danish Geotechnical Institute, , n. 11, p. 10.

Meyerhof, G. G. (1963). *Some recent research on the bearing capacity of foundations*. Canadian Geotechnical Journal, v.1, n. 1, p. 16-26.

Meyerhof, G. G. (1964). *Shalow foundations. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division1*, v. 91, n. 2, p. 21-31.

Teixeira, H. A. *Projeto e execução de fundações*. 3o Seminário de Engenharia de Fundações Especiais. Anais... p.1 - 18. São Paulo: ABMS, 1996.

Teixeira, A. H., Godoy, N. S. (1998). *Análise, projeto e execução de fundações rasas*. In: Hachich, W. et al. (Eds.). Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini/ABMS, p. 331-384.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.

Terzaghi, K.; Peck, R. B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd ed., p.729. New York: J. Wiley, 1967.

Van der Veen, C. (1953). *The bearing capacity of a pile*. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Zurich. *Proceedings*... ISSMFE, v. 2, p. 84-90.

Velloso, D. A., Lopes, F. R. (2011). *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. Rio de Janeiro: Oficina de Textos.

Vésic, A. S. (1973). *Analysis of ultimate loads of shallow foundati*ons. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, v. 88, n. SM1, p. 45-73. American Society of Civil Engineers.