

Capacidade de Carga de Fundações Rasas em Solos Granulares: um comparativo racional entre Provas de Carga e Métodos Teóricos e Semi-empíricos em Parque de Energia Renovável

Lucas Quiocca Zampieri

Engenheiro Civil, Araxá Engenharia/UFSC, Florianópolis, Brasil, lqzampieri@gmail.com

Gracieli Dienstmann

Engenheira Civil, UFSC, Florianópolis, Brasil, g.dienstmann@gmail.com

Alysson Rodrigo Marques Gomes de Assis

Engenheiro Civil, Araxá Engenharia, Florianópolis, Brasil, alyssondeassis@gmail.com

RESUMO: O setor energético global enfrenta o desafio de reduzir suas emissões, responsáveis por 75% dos gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que sustenta o crescimento econômico. A transição para fontes renováveis, como a solar e a eólica, impulsiona investimentos, especialmente no Brasil, onde já representam quase metade da matriz elétrica. Nesse cenário de crescimento, a confiabilidade de dados e dos parâmetros geotécnicos é crucial para o sucesso dos projetos, visando às boas práticas e ao atendimento a requisitos mínimos de engenharia. Este estudo considera três análises: a correlação entre N_{SPT} e a capacidade de carga por ensaio de placa, que revelou uma correlação linear positiva e significativa (Pearson); a comparação entre métodos semi-empíricos de capacidade de carga e resultados de ensaio de placa, onde apenas dois de vinte pontos analisados atingiram o fator de segurança mínimo da NBR 6122, indicando limitações desses métodos para as condições estudadas; e a comparação da capacidade de carga por métodos teóricos e ensaio de placa, que apresentou boa concordância com o ensaio de placa, com diferenças estatisticamente insignificantes e baixa variabilidade nos testes pareados. Conclui-se que, embora o ensaio de placa seja a referência, os métodos teóricos são alternativas viáveis, especialmente em cenários com restrições operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Placa, Fundações Rasas, Análise Estatística, Métodos Teóricos, Métodos Semi-empíricos.

ABSTRACT: The global energy sector faces the challenge of reducing its emissions, responsible for 75% of greenhouse gases, while sustaining economic growth. The transition to renewable energy sources, such as solar and wind, drives investment, particularly in Brazil, where they already account for almost half of the electricity matrix. In this growth scenario, the reliability of data and geotechnical parameters is crucial for project success, ensuring best practices and compliance with minimum engineering requirements. This study considers three analyses: a correlation between N_{SPT} and bearing capacity determined by plate load tests, which revealed a positive and significant linear correlation (Pearson); a comparison between semi-empirical methods for bearing capacity and plate load test results, which found that only two out of twenty analyzed points met the minimum factor of safety stipulated by the Brazilian standard NBR 6122, indicating the limitations of these methods for the conditions studied; and a comparison of bearing capacity from theoretical methods with the plate load test, which demonstrated good agreement, showing statistically insignificant differences and low variability in paired tests. The study concludes that while the plate load test serves as the benchmark, theoretical methods are viable alternatives, especially in scenarios with operational constraints.

KEYWORDS: Plate Load Test, Shallow Foundations, Statistical Analysis, Theoretical Methods, Semi-Empirical Methods



1 INTRODUÇÃO

O sistema energético global alimenta economias e sociedades modernas, mas é responsável por 75% das emissões de gases de efeito estufa, impulsionando as mudanças climáticas. O crescimento de tecnologias de energia renovável, como veículos elétricos e energia solar, mantém a meta de limitar o aquecimento. Contudo, será necessário um progresso mais rápido, em maior escala e maior cooperação internacional. Isso inclui compromissos da COP28, como triplicar a capacidade de energia renovável até 2030, dobrar a eficiência energética e acelerar a redução dos combustíveis fósseis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2025).

Nesse cenário, a demanda por energia renovável se intensifica e movimenta o mercado de energia, levando os tradicionais combustíveis fósseis a um papel secundário e impulsionando investimentos em usinas fotovoltaicas. De acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2024), o Brasil já possui mais de 56,5 GW de potência operacional em energia solar, o que representa 22,7% da matriz elétrica nacional, com uma estimativa de 81,4 milhões de toneladas de CO₂ evitadas. Segundo relatório da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2025), o ano de 2024 foi encerrado com 33,7 GW de potência eólica instalada, resultando na evitação de aproximadamente 40,2 milhões de toneladas de CO₂. As fontes solar e eólica ocupam, respectivamente, o segundo e terceiro lugares na matriz elétrica brasileira, ficando atrás apenas da fonte hídrica em termos de potência instalada.

Os processos executivos essenciais para a concepção de uma usina incluem as investigações geológico-geotécnicas, o levantamento topográfico, a remoção parcial da vegetação, a movimentação de solo, a implantação do sistema de drenagem, a execução dos acessos internos e a instalação dos equipamentos. As fundações e as movimentações de terra são elementos fundamentais para o bom desempenho da obra. Dessa forma, os parâmetros do solo são cruciais para os dimensionamentos e tomadas de decisão ao longo do projeto. Visando ao melhor desempenho das soluções de engenharia, é indispensável confiar nos dados de entrada, métodos utilizados e garantir a qualidade dos processos de desenvolvimento e assegurar boa acurácia nos modelos adotados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ensaio de Placa

O ensaio de placa está regulamentado pela NBR 6489 (ABNT, 2019), a qual estabelece os procedimentos para obtenção da curva tensão \times deslocamento, permitindo a estimativa de parâmetros de deformabilidade (como o coeficiente de reação vertical e o módulo de deformabilidade) e de resistência (tensão admissível) do solo analisado. A placa utilizada para aplicação das cargas ao solo deve apresentar rigidez equivalente à da fundação prevista (em concreto armado ou aço), com diâmetro ou lado mínimo de 0,30 m. A critério do projetista, a prova de carga pode ser executada por um dos seguintes métodos: a) Carregamento lento; b) Carregamento rápido. A principal diferença entre os dois ensaios reside no critério de aplicação e manutenção dos estágios de carga. No ensaio lento, a estabilização dos recalques em cada etapa constitui o critério fundamental. A norma estabelece essa estabilização como um incremento mínimo do recalque em um intervalo de tempo determinado, estipulando que a carga deve ser mantida por, pelo menos, 30 minutos em cada estágio. Em contrapartida, o ensaio rápido adota intervalos de tempo fixos e breves, o que torna o procedimento mais ágil; cada estágio de carregamento é mantido por um período fixo e curto, geralmente de 15 minutos, independentemente da estabilização dos recalques.

Na ausência de ruptura clássica do solo, utiliza-se o método de Van der Veen (1953). Esse método envolve um modelo gráfico que ajusta a curva carga-recalque a uma função exponencial. Essa abordagem permite extrapolar a curva e estimar a carga de ruptura, mesmo quando a ruptura não é claramente observada.

2.2 Métodos Semi-empíricos de Capacidade de Carga de Fundações Rasas

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), os métodos semiempíricos (nesse artigo nomeados com a sigla MS) relacionam os resultados de ensaios, como o SPT, com tensões admissíveis, desde que sejam observados os limites de validade e aplicação desses métodos. Nesse sentido, Cintra, Aoki e Albiero (2012)



destacam que as correlações consagradas já fornecem diretamente o valor da tensão admissível, com segurança implícita.

Dessa forma, nesse artigo, utilizam-se as seguintes equações da Tabela 1 para a determinação da tensão admissível do solo a partir da correlação com o N_{SPT} .

Tabela 1. Métodos Semi-empíricos

Referência	Autor	Relação
MS.01		$\sigma_a = N_{SPT}/50 \text{ (MPa)}$
MS.02		$\sigma_a = 0,1\sqrt{N_{SPT} - 1} \text{ (MPa)}$

2.3 Métodos Teóricos de Capacidade de Carga de Fundações Rasas

A capacidade de carga última de fundações rasas, que incorpora tanto a ocorrência de ruptura geral quanto os efeitos da forma da sapata, é solução clássica derivada da proposta de Terzaghi e Peck (1967), descrita pela equação a seguir:

$$q_u = cN_cS_c + qN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma \quad (1)$$

Em que, q_u representa a capacidade de carga última, c é a coesão do solo, q sobrecarga atuante na base da fundação, γ o peso específico do solo, B a largura da sapata, e N_c , N_q , N_γ são os fatores de capacidade de carga associados aos parâmetros de resistência do solo, ajustados por fatores de forma S_c , S_q e S_γ .

Segundo Das (2012), os valores dos coeficientes N_c e N_q apresentam variações relativamente pequenas entre os diversos métodos de determinação. No entanto, o coeficiente N_γ apresenta variações significativas em função do ângulo de atrito interno do solo (ϕ). Para determinar N_γ , foram propostas as equações da Tabela 2.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2(45^\circ + \phi/2) \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi \quad (3)$$

$$S_q = 1 + \sin \phi \quad \text{para forma quadrada ou circular} \quad (4)$$

$$S_y = 0,7 \quad \text{para forma quadrada ou circular} \quad (5)$$

$$S_c = \frac{S_q(N_q - 1)}{N_q - 1} \quad \text{para forma retangular, quadrada ou circular} \quad (6)$$

Tabela 2. Relações N_γ por autores

Referência	Autor	Relação
MT.01	Meyerhof (1963)	$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4 \cdot \phi')$
MT.02	Hansen (1970)	$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi')$
MT.03	Biarez (1961)	$N_\gamma = 1,8 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi')$
MT.04	Michalowski (1997)	$N_\gamma = e^{(0,66 + 5,1 \cdot \tan(\phi'))} \cdot \tan(\phi')$
MT.05	Hjiaj et al. (2005)	$N_\gamma = e^{((1/6)(\pi + 3\pi^2 \cdot \tan(\phi')))} \cdot (\tan(\phi'))^{(2\pi/5)}$
MT.06	Martin (2005)	$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,32 \cdot \phi')$

2.4 Análise estatística – Correlação

Conforme Barbetta, Reis e Bornia (2010), a correlação estabelece uma medida numérica da associação entre duas variáveis. Tipicamente, a análise de dados para identificar correlações é de natureza exploratória, atuando como um elemento subsidiário na elucidação do problema em investigação. Para qualquer conjunto de dados, o coeficiente de correlação de Pearson (r) está compreendido no intervalo de -1 a 1. Valores positivos de r indicam uma correlação linear direta, enquanto valores negativos sinalizam uma correlação linear inversa. A magnitude de r , ou seja, sua proximidade a 1 ou -1, é indicativa da força da relação linear presente nos dados observados.



2.5 Análise estatística - Análise de dados pareados e Wilcoxon-Mann-Whitney

Os testes de normalidade têm como objetivo avaliar se um conjunto de dados segue, aproximadamente, uma distribuição normal. Entre eles, o teste de Shapiro-Wilk é amplamente utilizado e verifica se há violação da hipótese de normalidade (BARBETTA, REIS E BORNIA, 2010).

De acordo com Barbetta, Reis e Bornia (2010), o teste t para dados pareados é apropriado para comparar dois conjuntos de dados quantitativos em termos de suas médias. A hipótese nula e a alternativa são formuladas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (não há diferença entre as médias)} \text{ e } H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ (existe diferença entre as médias)}$$

Esse teste permite estimar o tamanho do efeito e verificar se a diferença média entre observações pareadas é estatisticamente diferente de zero.

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney compara a posição central de duas populações usando amostras independentes de distribuições contínuas, sem exigir observação direta das variáveis, apenas uma ordenação dos elementos. Sejam η_1 a mediana da população 1 e η_2 a mediana da população 2 (Barbetta; Reis; Bornia, 2010). As hipóteses podem ser colocadas como:

$$H_0 = \eta_1 = \eta_2 \text{ (não há diferença entre as médias)} \text{ e } H_1 = \eta_1 \neq \eta_2 \text{ (existe diferença entre as médias)}$$

Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010), a hipótese nula do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney propõe que não há diferença entre as posições centrais de duas populações, com somas de postos similares. Valores de “u” distantes dos esperados indicam a possível rejeição de H_0 , considerando a significância do teste. Esse teste é usado para comparar médias de amostras pareadas quando a normalidade dos dados não é atendida.

O valor-p indica a probabilidade de obter os resultados observados ou mais extremos, sob a hipótese nula de que não há diferença entre as medidas. Interpreta-se que um valor-p menor que o nível de significância escolhido (geralmente 0.05) sugere que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Um valor-p maior que o nível de significância sugere que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.

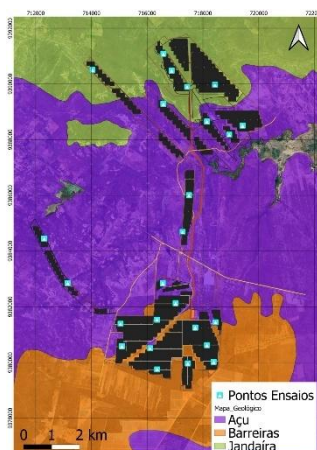
3 DADOS E MÉTODOS UTILIZADOS

O estudo apresentado neste artigo, baseia-se em dados obtidos durante uma campanha geotécnica realizada para o projeto de implantação de uma usina fotovoltaica na região Nordeste do Brasil. De acordo com o CPRM (2010), as condições geológico-geotécnicas da área de implantação do parque são predominantemente compostas por três formações geológicas: Formação Jandaíra (região norte), Formação Açú (regiões central e norte) e Formação Barreiras (região sul).

A Figura 1 apresenta a localização dos pontos ensaiados, bem como as formações geológicas presentes na área de estudo. A metodologia compreendeu a análise de 20 pontos distintos. Em cada ponto, foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Coleta de uma amostra deformada a 1,0 m de profundidade, submetida a ensaios de caracterização geotécnica em laboratório (análise granulométrica, densidade dos grãos, índices de consistência e compactação).
- b) Coleta de uma amostra indeformada, na mesma profundidade, para ensaios de cisalhamento direto a fim de obter os parâmetros de resistência.
- c) Execução de um ensaio de penetração padrão (SPT).
- d) Realização de um ensaio de placa na superfície do terreno. Uma vez que os ensaios não apresentaram ruptura clássica, a tensão de ruptura foi determinada pelo método de extrapolação de Van der Veen.

A análise granulométrica dos 20 pontos de ensaio revelou um solo predominantemente arenoso (Figura 1), esperado para a região de estudo. Os resultados dos demais ensaios são apresentados na Tabela 3, os valores de N_{SPT} e as amostras para ensaios de laboratório foram obtidos a 1,0 m de profundidade, enquanto os ensaios de carga, com placa de 40 cm de diâmetro, foram realizados na superfície do terreno.



(a)



(b)

Figura 1. Mapa geológico (a) e classificação dos solos na região de estudo (b)

Tabela 3. Resultados SPT, ângulo de atrito, intercepto coesivo e tensão de ruptura do solo

PONTO	SPT	ϕ (°)	c (kPa)	Ensaio Placa (q_u [kPa])	PONTO	SPT	ϕ (°)	c (kPa)	Ensaio Placa (q_u [kPa])
P01	17	35.4	6.7	466	P11	14	41	0,0	585
P02	50	43.8	9,0	972	P12	18	40	0,0	321
P03	26	35.2	1.6	1403	P13	6	39.4	1.6	492
P04	34	36.9	3.2	889	P14	11	40.3	0,0	420
P05	20	36.3	9.5	912	P15	14	37	0,0	364
P06	29	39	0,0	401	P16	14	35.8	2.7	380
P07	27	34.6	4.5	345	P17	27	37	0,0	609
P08	9	40.5	0,0	609	P18	13	40.3	5.6	532
P09	35	35.9	13.4	799	P19	12	42.7	7,0	530
P10	11	32.8	19.7	502	P20	10	38.9	0,0	268

Para as análises deste artigo foram elaborados três níveis de avaliação:

- Análise 1: q_u (ensaio de placa) x N_{SPT} – os resultados da capacidade de carga obtida pelo ensaio de placa são correlacionados com N_{SPT} , com o objetivo de avaliar a existência e a intensidade da correlação entre esses dois métodos de investigação (correlação Pearson, conforme item 2.4).
- Análise 2: q_u (ensaio de placa) x q_{adm} métodos semi-empíricos – comparar os valores de q_u obtidos através dos ensaios de placa (Tabela 3) com as tensões admissíveis do solo estimadas por dois métodos semi-empíricos (MS, presentes no item 2.2).
- Análise 3: q_u (ensaio de placa) x q_u métodos teóricos – com base em uma abordagem de dados pareados (item 2.5), procede-se a análises estatísticas para confrontar os resultados da capacidade de carga pelo ensaio de placa (Tabela 3) com as previsões de capacidade de carga determinadas pelos métodos teóricos (MT, presentes no item 2.3).

Essas análises visam verificar a aplicabilidade e a confiabilidade das abordagens indiretas na estimativa da capacidade de carga para os solos encontrados na área de estudo.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Análise 1 - q_u (ensaio de placa) x N_{SPT}

Como primeira avaliação é verificada a correlação dos valores de resultados de q_u do ensaio de placa com o N_{SPT} , dados presentes na Tabela 3.

A análise dos dados revela uma relação estatisticamente significativa entre a capacidade de carga obtida pelo Ensaio Placa e o N_{SPT} , conforme evidenciado pelo coeficiente de correlação de Pearson de 0.548 e um p-valor de 0.012, sendo que valores de “p” inferior ao nível de significância de 0.05 e o “r” entre 0 e 1 indicam

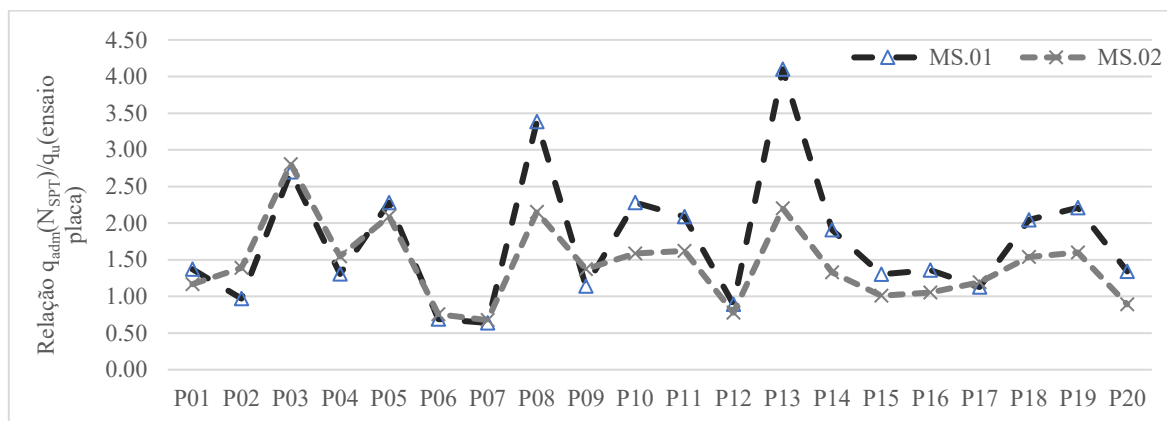
correlação linear positiva entre as duas variáveis. Ou seja, existe uma tendência de aumento no valor do q_u à medida que o valor do N_{SPT} aumenta, sugerindo que o SPT pode ser um indicador razoável para a estimativa da capacidade de carga do solo, dentro da sua variabilidade intrínseca, sabendo da existência de ruído nos dados.

Tabela 4 - Correlação entre Ensaio Placa (q_u) e N_{SPT}

Medida/Teste	Variáveis	Valor	p-valor
Correlação de Pearson (r)	Ensaio Placa (q_u) x N_{SPT}	0.548	0.012

4.2 Análise 2 - q_u (ensaio de placa) x q_{adm} métodos semi-empíricos

Em segunda análise, avaliam-se os resultados da capacidade de carga última (q_u) obtidos nos ensaios de placa em comparação com os valores da capacidade de carga admissível calculados pelos métodos semi-empíricos (Tabela 1). A Figura 2 apresenta essa variação, na qual observa-se que os valores oscilam entre 0,6 e 4,1. A NBR 6122, recomenda que o Fator de Segurança Global seja, no mínimo, 3 para a determinação da capacidade de suporte por métodos semi-empíricos. Neste caso, apenas dois pontos atingiram esse critério. Portanto, para este estudo, no solo com as condições indicadas, as correlações apresentadas pelos métodos semi-empíricos de determinação de capacidade de carga admissível não são recomendável.

Figura 2. Quociente entre capacidade de carga método semi-empírico e carga última ensaio de placa (q_u)

4.3 Análise 3 - q_u (ensaio de placa) x q_u métodos teóricos

Em terceira análise, avaliam-se os dados da capacidade de carga obtidos pelo ensaio de placa (q_u , Tabela 3) com os resultados de q_u obtidos a partir dos métodos teóricos (MT, item 2.3). A Tabela 5 apresenta os resultados compilados da prova de carga de placa e as capacidades de carga determinadas pelos métodos teóricos.

Tabela 5. Resultados ensaio de placa e capacidade de carga pelos métodos teóricos (kPa)

P	Placa	MT.01	MT.02	MT.03	MT.04	MT.05	MT.06	P	Placa	MT.01	MT.02	MT.03	MT.04	MT.05	MT.06
P01	466	601.6	593.4	609.7	627.9	594.3	593.1	P11	585	272.1	226.9	272.3	338.1	246.5	240.6
P02	972	2293.2	2180.9	2263.8	2408.4	2239.3	2224.3	P12	321	207.2	175.9	211.1	259.3	188.3	184.2
P03	1403	221.1	212.1	230.5	251.0	212.9	211.6	P13	492	369.7	343.6	375.0	416.7	353.1	349.7
P04	889	398.2	385.8	406.0	429.8	388.6	386.9	P14	420	230.8	194.9	233.9	288.2	209.5	204.8
P05	912	892.4	882.5	900.0	920.2	884.3	882.9	P15	364	120.1	106.8	128.2	153.4	109.9	108.1
P06	401	162.4	140.2	168.2	204.6	147.9	145.0	P16	380	310.7	301.4	318.8	338.4	302.8	301.4
P07	345	397.5	390.9	405.6	421.5	391.1	390.1	P17	609	120.1	106.8	128.2	153.4	109.9	108.1
P08	609	247.1	208.0	249.6	308.1	224.2	219.1	P18	532	961.9	924.5	965.1	1021.6	939.7	934.8



2 0 2 5

P	Placa	MT.01	MT.02	MT.03	MT.04	MT.05	MT.06	P	Placa	MT.01	MT.02	MT.03	MT.04	MT.05	MT.06
P09	799	1167.7	1158.8	1175.4	1194.1	1160.2	1158.9	P19	530	1562.3	1491.6	1550.4	1645.5	1526.3	1516.9
P10	502	1225.6	1222.1	1232.5	1243.4	1221.5	1220.8	P20	268	172.5	149.2	179.0	217.5	157.2	154.1

Conforme visto na Tabela 6, os dados do teste T pareado entre a capacidade de carga obtida pelo Ensaio Placa e a capacidade de carga obtida pelos métodos teóricos (MT.01 a MT.06) indicam uma ausência de diferenças estatisticamente significativas nas medições, com “valores p” que variam de 0.689 a 0.958. O teste de Wilcoxon corrobora esses dados, com valores p variando de 0.622 a 0.841 e tamanhos de efeito pela correlação bisserial de postos também pequenos, reforçando a conclusão de que os métodos teóricos para determinação da capacidade de carga, podem ser usados de forma intercambiável com o "Ensaio Placa" sem introduzir erros sistemáticos significativos. Esses resultados confirmam a robustez e a validade dos métodos teóricos como alternativas viáveis ao ensaio de placa, permitindo flexibilidade de uso em contextos em que recursos limitados ou condições adversas possam restringir a aplicação do método.

Tabela 6. Verificação de amostra pareada

Medida 1	Medida 2	Teste	Estatística	z	df	Valor p	Tamanho do Efeito	SE Tamanho do Efeito
Ensaio Placa - MT.01		Student	-0.054		19	0.958	-0.012	0.262
		Wilcoxon	119	0.523		0.622	0.133	0.25
Ensaio Placa - MT.02		Student	0.165		19	0.871	0.037	0.261
		Wilcoxon	123	0.672		0.522	0.171	0.25
Ensaio Placa - MT.03		Student	-0.082		19	0.935	-0.018	0.262
		Wilcoxon	119	0.523		0.622	0.133	0.25
Ensaio Placa - MT.04		Student	-0.407		19	0.689	-0.091	0.263
		Wilcoxon	111	0.224		0.841	0.057	0.25
Ensaio Placa - MT.05		Student	0.077		19	0.939	0.017	0.261
		Wilcoxon	122	0.635		0.546	0.162	0.25
Ensaio Placa - MT.06		Student	0.107		19	0.916	0.024	0.261
		Wilcoxon	122	0.635		0.546	0.162	0.25

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam importantes considerações sobre a confiabilidade e aplicabilidade de diferentes métodos de avaliação da capacidade de carga do solo. A análise inicial revelou uma correlação positiva e estatisticamente significativa para ($p < 0.05$) entre os valores de N_{SPT} e os resultados de qu do ensaio de placa, conforme indicado pelo coeficiente de Pearson.

Na comparação entre os valores de capacidade de carga última obtidos por ensaio de placa e os valores admissíveis calculados por métodos semi-empíricos, observou-se que apenas dois entre vinte pontos avaliados atenderam ao fator de segurança mínimo recomendado pela NBR 6122. Isso indica que, para as condições de solo analisadas, os métodos semi-empíricos não são adequados como única base para a determinação da capacidade de suporte para os dados deste estudo.

A comparação entre os resultados da capacidade de carga obtida pelo ensaio de placa e os obtidos pelos métodos teóricos demonstrou boa concordância, com ausência de diferenças estatisticamente significativas e tamanhos de efeito desprezíveis. Apesar da maior variabilidade nos métodos teóricos, sua média se mostrou compatível com a do ensaio de placa, reforçando sua viabilidade como alternativa prática, especialmente em contextos onde a aplicação do ensaio de placa seja limitada.

No presente trabalho, os parâmetros de resistência utilizados como dados de entrada do método teórico foram obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto. Zampieri et al. (2024) demonstraram que a estimativa de parâmetros por correlações semi-empíricas do N_{SPT} pode ser uma alternativa viável e complementar, expandindo a abordagem deste estudo.

Conclui-se que, embora o ensaio de placa continue sendo uma referência robusta, os métodos teóricos são ferramentas válidas e úteis. No entanto, é fundamental que suas limitações sejam compreendidas e consideradas no processo de tomada de decisão em projetos geotécnicos.



AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nosso sincero agradecimento à Araxá Engenharia, à Universidade Federal de Santa Catarina, à CAPES e ao CNPq pela sua disponibilidade e apoio na condução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEEÓLICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. Infovento: boletim mensal de dados do setor eólico. Edição 36, abr. 2025. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2025/04/INFOVENTO_ED36_PT_DIGITAL.pdf. Acesso em: 22 jun. 2025.
- ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Infográfico do mercado de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico>. Acesso em: 22 jun. 2025..
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019). NBR 6489: Solo — Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2022). NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Barbetta, P. A., Menezes, M. R., & Bornia, A. C. (2010). Estatística: para cursos de engenharia e informática. 3. ed., Adas, São Paulo.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N., Albiero, J. H. (2011) Fundações Diretas: Projeto Geotécnico. 1. ed., Oficina de Textos, São Paulo – SP, 136 p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2010). Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte - Programa Geologia Do Brasil: Levantamento Da Geodiversidade. Rio de Janeiro.
- DAS, B. M. (2012). Fundamentals of Geotechnical Engineering. Cengage Learning, 656 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Climate change. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/climate-change>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ZAMPIERI, Lucas Quiocca et al. Estudo comparativo entre a obtenção de ângulo de atrito (ϕ) para solos do nordeste brasileiro por meio de correlações de SPT e cisalhamento direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 20., 2024, Balneário Camboriú. Anais [...]. Balneário Camboriú: COBRAMSEG, 2024.