

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Comparativo entre métodos semiempíricos e o método de Terzaghi para determinação da tensão admissível dos solos

Fernanda Oliveira de Souza Borba 1

Acadêmica de Eng. Civil, IFTO – *Campus* Palmas, Palmas - TO, Brasil, borba.oliveira.fernand@gmail.com

Edivaldo Alves dos Santos 2

Professor Me., IFTO – *Campus* Palmas, Palmas - TO, Brasil, edivaldo@ceulp.edu.br

RESUMO: Para o dimensionamento do projeto de fundações, é necessário ter o conhecimento da tensão admissível do solo. Nesse sentido, esse trabalho tem o objetivo de determinar as tensões obtidas por formulações teóricas e semiempíricas, com o propósito de adotar o método mais eficiente e seguro para o refeitório do IFTO *Campus* Palmas. O procedimento metodológico consistiu na coleta de dados de ensaios SPT e de resistência ao cisalhamento direto, sendo os parâmetros de resistência (c e ϕ) aplicados no método de Terzaghi e N_{SPT} nos métodos semiempíricos. Foi empregado o método teórico de Terzaghi com proposições de Vesic e os métodos semiempíricos de Albiero e Cintra, Milton Vargas, Modelo Prático 01 e 02, Urbano Alonso, Teixeira, Terzaghi e Peck, Victor de Mello e Berberian. Com o objetivo de validar os resultados, fez-se o comparativo das tensões admissíveis a partir de análises estatísticas, em que o método de Terzaghi foi o que alcançou um resultado maior, seguido dos métodos semiempíricos de Victor de Mello, Albiero e Cintra e Modelo Prático 01, que tiveram menores erros percentuais relacionados ao valor de Terzaghi. Em contrapartida, o Modelo Prático 02 foi o que obteve uma maior diferença comparado ao resultado de Terzaghi.

PALAVRAS-CHAVE: Terzaghi, Semiempíricos, Tensão Admissível.

ABSTRACT: For the design of the foundation project, it is necessary to have the knowledge of the permissible tension of the soil. In this sense, this work aims to determine the tensions obtained by theoretical and semi-empirical formulations, with the purpose of adopting the most efficient and safe method for the cafeteria of IFTO *Campus* Palmas. The methodological procedure consisted of data collection of SPT and direct shear resistance tests, and resistance parameters (c and ϕ) were applied in the Terzaghi and N-SPT method. semi-empirical methods. Terzaghi's theoretical method was used with Propositions of Vesic and the semi-empirical methods of Albiero and Cintra, Milton Vargas, Practical Model 01 and 02, Urbano Alonso, Teixeira, Terzaghi and Peck, Victor de Mello and Berberian. In order to validate the results, the permissible tensions were compared from statistical analyses, in which the Terzaghi method was the one that achieved a higher result, followed by the semiempirical methods of Victor de Mello, Albiero and Cintra and Practical Model 01, which had lower percentage errors related to Terzaghi value. On the other hand, Practical Model 02 was the one that obtained a greater difference compared to Terzaghi's result.

KEYWORDS: Terzaghi, Semiempirics, Permissible Tension.

1 Introdução

Por se tratar de um material natural, anisotrópico, com horizontes com características distintas, o solo se apresenta como um fator complicado para o projeto de fundações, tornando mais complexa a etapa de dimensionamento da fundação, sendo necessário então uma investigação geotécnica criteriosa e uma expertise do projetista. Deste modo, os valores de resistência que podem ser obtidos para um solo podem ser estimados através de diversas técnicas e metodologias (NOGUCHI, 2012).

Quanto aos métodos que podem ser aplicados na obtenção da capacidade de carga em fundações superficiais, a NBR 6122 (ABNT, 2019) no item 7.3 sugere três métodos, sendo estes o teórico, semiempíricos e provas de carga.



Nos métodos teóricos (analíticos), a capacidade de carga é obtida a partir de formulações propostas por pesquisadores, tendo como características a compressibilidade e resistência ao cisalhamento do solo. No caso dos métodos semiempíricos, estes são fundamentados em ensaios de campo, por meio de dados advindos do ensaio SPT (OLIVEIRA; AMANCIO, 2016).

A previsão da tensão admissível pelos métodos semiempíricos é comum, em que esta é fundamentada através de resultados do ensaio SPT, tendo como objetivo a obtenção dos índices de resistência à penetração (NSPT). Entretanto, o modo de transmissão de energia ao equipamento gera variações nos resultados. Desse modo, se não for feita correção da energia de transmissão ao ensaio, os valores dos resultados estarão expostos a previsões inconsistentes (MEDEIROS, 2013). Em razão disso, segundo Cintra *et al.* (2011), recomendam a adoção de um fator de correção de 1,2 aplicado ao N_{SPT} , para que este atinja a eficiência necessária para poder ser aplicado.

A respeito dessas correlações do N_{SPT} com parâmetros de resistência do solo, Gerscovich *et al.* (2016) comenta que a determinação de parâmetros de resistência com base em uma simples sondagem SPT é realizada por meio de correlações, que podem ser extrapoladas de forma não apropriada, não se aplicando a toda e qualquer situação. Essa correlação do N_{SPT} com parâmetros de resistência, na maioria dos casos, também é efetuada a partir de experiências prévias do projetista ou de conhecimentos adquiridos em outras obras por terceiros e repassados através do meio técnico.

Mello (1975, *apud* CINTRA *et al.*, 2011) faz uma observação, alegando que é preciso analisar a origem e validade de tais formulários de bolso antes de passar a aplicá-los inconscientemente e mesmo prejudicialmente em condições que extravasam do campo experimental do qual decorreram.

De forma análoga, Cintra *et al.* (2011) afirma que a estimativa desses parâmetros emprega inúmeras propostas disponíveis na literatura. A maioria foi desenvolvida com base semiempírica para solos sedimentares, havendo poucas para solos não convencionais, como solos residuais e não saturados. Assim, o emprego dessas fórmulas deve ser feito com critério, na fase preliminar de projeto, e ser confirmado em cada local estudado, por meio de ensaios específicos in situ ou de laboratório.

Segundo o cenário apresentado, o presente estudo tem como objetivo avaliar qual é o método mais eficiente e seguro, na determinação da tensão admissível para o projeto de fundações do refeitório do IFTO, no município de Palmas – TO.

Assim, torna-se necessário analisar o solo no que diz respeito aos parâmetros mecânicos, buscando dados de resistência ao cisalhamento direto, avaliar e interpretar os resultados do ensaio de sondagem SPT, determinar a capacidade de carga do solo através da aplicação dos dados advindos do ensaio SPT em métodos semiempíricos e dos dados do ensaio de cisalhamento direto na teoria de Terzaghi e comparar as correlações semiempíricas com os resultados alcançados na teoria de Terzaghi, na determinação da tensão admissível do solo, para avaliar a influência desses métodos no dimensionamento do projeto de fundação.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é exibida a bibliografia aplicada para fundamentar e referenciar o desenvolvimento do trabalho. Nele estão presentes as metodologias aplicadas para a obtenção da capacidade de carga como método de Terzaghi com proposições de Vesic e os métodos semiempíricos adotados baseados nos dados do SPT.

2.1 Ensaio de resistência ao cisalhamento direto

De forma simplificada, Caputo *et al.* (2015) descrevem o ensaio como sendo a colocação de uma amostra de solo, submetida a uma tensão normal, no interior de uma caixa formada por duas partes móveis, a metade superior pode mover-se em relação à metade inferior, onde através de duas pedras porosas colocadas uma na parte superior e a outra na inferior, permitem a drenagem do material em estudo.

A caixa de cisalhamento trata-se de um sistema rígido, que protege o corpo de prova lateralmente, confinando-o em seu interior. As placas dentadas são posicionadas no interior da caixa, de modo que fiquem em contato com as superfícies maiores do corpo de prova e seus dentes são cravados nestas superfícies, para evitar que ocorra o deslocamento relativo. Os furos nas placas são para possibilitar o processo de drenagem. As pedras porosas são colocadas em seguida, para permitir o escoamento da água. Os pesos tem a função de



transmitirem a tensão axial à amostra. A célula de carga afere a força de cisalhamento. O equipamento de cisalhamento direto e as partes que o compõem estão ilustrados na Figura 1.

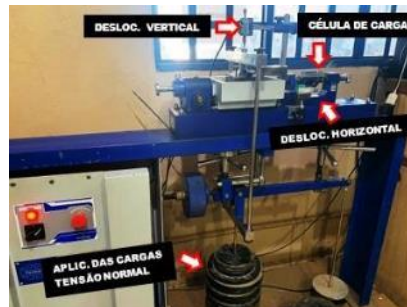


Figura 1. Esquema do aparelho do ensaio de cisalhamento direto. Fonte: Autor (2021).

Na fase de execução do ensaio são analisados vários corpos de prova, onde são aplicadas diferentes cargas verticais, e os valores de tensão de cisalhamento na ruptura são representados graficamente, de acordo com a tensão normal aplicada em cada um deles. Após a representação gráfica de cada valor encontrado no ensaio, uma linha é ajustada aos pontos plotados no gráfico, e a partir desta linha, podem ser obtidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento (CRAIG, 2018).

2.2 Ensaio SPT (Standard Penetration Test)

Cintra *et al.* (2013) afirmam que no Brasil, o SPT é um ensaio bastante conhecido, e muitas vezes o único, aplicado em projetos de fundações. Recomendam que deve ser prevista a análise prévia do solo, em virtude da variabilidade natural que este apresenta em relação aos tipos de solo, consistência, compacidade, e especialmente, em razão de suas propriedades de resistência e deformações.

Velloso e Lopes (2011) descrevem que o ensaio consiste na cravação de um amostrador padronizado com o nome de Raymond-Terzaghi, através de golpes de um peso de 65 kgf caindo de uma altura de 75 cm. O número necessário de golpes para cravar os 45 cm do amostrador em três conjuntos de golpes para cada 15 cm deve ser anotado. A obtenção do resultado ocorre por meio da quantidade necessária do número de golpes para cravar os 30 cm finais, sendo que os primeiros 15 cm são desprezados, entretanto registra-se o número de golpes que foram necessários para essa perfuração. Os números de golpes supracitados são definidos por Schnaid e Odebrecht (2012) como a resistência do solo à penetração (N_{SPT}).

2.2.1 Correções das medidas do N_{SPT}

Segundo Berberian (2015), devido à variabilidade na geometria e nos procedimentos de execução das sondagens Standards, torna-se fundamental corrigir e ajustar os índices do ensaio SPT, antes de sua aplicação.

Gerscovich (2016) nota que ao aplicar o valor do N_{SPT} , adquirido em um ensaio executado no Brasil em correlações desenvolvidas por ensaios realizados em outros países, pode levar a erros na etapa de determinação dos parâmetros a serem utilizados nos projetos.

Schnaid e Odebrecht (2012) enfatizam que a medida do N_{SPT} precisa ser corrigida, tendo em vista o efeito da energia de cravação. Hachich *et al.* (2019) cita que o N_{SPT} brasileiro é definido internacionalmente como N_{72} . Como nos sistemas americanos e europeus, o equipamento utilizado de queda do martelo é mecanizado, a transferência de energia de cravação ao conjunto é de 60% da energia teórica.

De acordo com Cintra *et al.* (2013), um valor do N_{SPT} no Brasil que teve uma $ef = 72\%$, deve ser multiplicado por 1,2 para poder ser comparado ao modelo americano, que possui $ef = 60\%$.

A aplicação de equipamentos manuais para liberação de queda do martelo no ensaio SPT é comum no Brasil, tendo em vista que a energia aplicada é da ordem de 72% da energia teórica (CLATON *et al.*, 1995 *apud* SOUZA, 2018), resultando na Equação 1:

$$N_{spt,60} = \frac{(N_{spt} \cdot ef)}{0,60} = \frac{(N_{spt} \cdot 72)}{0,60} = 1,2 \cdot N_{spt} \quad (1)$$



2.3 Método de Terzaghi

Velloso e Lopes (2011) citam que os métodos mais consagrados para a estimativa da capacidade de carga, através de formulações são de Terzaghi (1943), Meyerhof (1951) e Vesic (1943). Diante dos métodos apresentados, serão abordados os de Terzaghi e Vesic, em razão de terem sido utilizados neste estudo, para obtenção da tensão admissível do solo.

Caputo *et al.* (2017) comentam que a teoria consiste em verificar a formação de uma cunha no solo, logo abaixo da fundação, que tende a se deslocar verticalmente com a fundação, devido ao atrito solo-estrutura. A cunha, ao mover-se no solo confinado, desencadeia duas zonas de cisalhamento: radial e linear. Cintra *et al.* (2011) explicam que o solo faz um giro para baixo, formando uma cunha (estado ativo), movendo a zona II para a lateral (estado de cisalhamento) e deslocando para cima a zona III (estado passivo).

Terzaghi e Peck (1967 *apud* CINTRA *ET AL.*, 2011) elaboraram uma equação da capacidade de carga para a ruptura geral, com base na compatibilização de duas equações anteriormente criadas por eles, em que foi analisado o efeito do formato da sapata, conforme a Equação 2:

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c + q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \quad (2)$$

Os fatores de capacidade de carga N_c , N_q e N_γ , sujeitos ao ângulo de atrito interno do solo (φ), foram criados por Prandtl (1920 *apud* Velloso e Lopes, 2011) e por Reissner (1924 *apud* Velloso e Lopes, 2011) para o caso de ruptura generalizada.

Os fatores de forma da fundação, representados por S_c , S_q e S_γ , são indicadores do dimensionamento da capacidade de carga em função da coesão, sobrecarga e carga permanente, respectivamente.

2.3.1 Proposição de Vesic

Vesic (1975 *apud* Cintra *et al.*, 2011) acrescenta a teoria de Terzaghi duas substituições em sua fórmula de ruptura geral. A primeira refere-se a adoção de N_γ , um fator de capacidade de carga de Caquot e Kérisel (1953), que são utilizados valores numéricos obtidos por eles. Desse modo, os fatores de capacidade de carga podem ser estimados em função do ângulo de atrito (φ), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Fatores de capacidade de carga. Fonte: Vesic (1975 *apud* Cintra *et al.*, 2011).

φ (°)	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \varphi$	φ (°)	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \varphi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00	26	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
1	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02	27	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
2	5,63	1,20	0,15	0,21	0,03	28	25,80	14,72	16,72	0,57	0,53
3	5,90	1,31	0,24	0,22	0,05	29	27,86	16,44	19,34	0,59	0,55
4	6,19	1,43	0,34	0,23	0,07	30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09	31	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
6	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11	32	35,49	23,18	30,22	0,65	0,62
7	7,16	1,88	0,71	0,26	0,12	33	38,64	26,04	35,19	0,68	0,65
8	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14	34	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
9	7,92	2,25	1,03	0,28	0,16	35	46,12	33,30	48,03	0,72	0,70
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18	36	50,59	37,75	56,31	0,75	0,73
11	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19	37	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
12	9,28	2,97	1,69	0,32	0,21	38	61,35	48,93	78,03	0,80	0,78
13	9,81	3,26	1,97	0,33	0,23	39	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
14	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25	40	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27	41	83,86	73,90	130,22	0,88	0,87
16	11,63	4,34	3,06	0,37	0,29	42	93,71	85,38	155,55	0,91	0,90
17	12,34	4,77	3,53	0,39	0,31	43	105,11	99,02	186,54	0,94	0,93
18	13,10	5,26	4,07	0,40	0,32	44	118,37	115,31	224,64	0,97	0,97



19	13,93	5,80	4,68	0,42	0,34	45	133,88	134,88	271,76	1,01	1,00
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36	46	152,10	158,51	330,35	1,04	1,04
21	15,82	7,07	6,20	0,45	0,38	47	173,64	187,21	403,67	1,08	1,07
22	16,88	7,82	7,13	0,46	0,40	48	199,26	222,31	496,01	1,12	1,11
23	18,05	8,66	8,20	0,48	0,42	49	229,93	265,51	613,16	1,15	1,15
24	19,32	9,60	9,44	0,50	0,45	50	266,89	319,07	762,89	1,20	1,19
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47						

A segunda proposta de substituição de Vesic foi em relação aos fatores de forma de De Beer (1967 *apud* Cintra *et al.*, 2011), pois tendem a sofrer influência da geometria da sapata e do ângulo de atrito interno do solo, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores de forma. Fonte: Vesic (1975 <i>apud</i> CINTRA <i>et al.</i> , 2011).			
Sapata	Sc	Sq	S _γ
Corrida	1,0	1,0	1,0
Retangular	$1 + (B/L)(N_q/N_c)$	$1 + (B/L) \tan \phi$	$1 - 0,4 (B/L)$
Circular ou quadrada	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + \tan \phi$	0,6

2.4 Métodos Semiempíricos

Hachich *et al.* (2019) relatam que o método correlaciona as propriedades do solo com o objetivo de alcançar os valores estimados, aplicando-os as fórmulas teóricas. Geralmente, estas estimativas são feitas a partir dos índices de resistência à penetração do solo (N_{SPT}), obtidos no ensaio SPT.

Consistem em correlacionar os resultados de ensaios de solo com a tensão admissível. Sendo, no entanto, necessário avaliar as características regionais correspondentes a cada método, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019).

3 Estudo de caso

De acordo com Amaro *et al.* (2012 *apud* Castro, 2018), os solos predominantes no Estado do Tocantins são classificados como: areias quartzosas, latossolos vermelho-amarelo, litólicos e concrecionários. Para as áreas geológicas, predominam a Formação de Pimenteiras e os Terraços Fluviais do Rio Tocantins. A primeira corresponde a uma interpolação de argilitos, siltos e arenitos e a segunda apresenta depósitos arenosos, pedregulhosos e argilosos provenientes de processos erosivos e de deposição ocorridas na cidade de Palmas-TO.

A área de campo experimental corresponde ao local de implantação do refeitório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) – *Campus* Palmas, situado no município de Palmas-TO. O perfil geológico constitui-se basicamente de argila siltosa, de granulometria fina, com compacidade variando entre mole, nas camadas mais superficiais e nas camadas mais profundas, rija, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2. Escavação realizada no local de estudo. Fonte: Autor (2021).



Foi escavado um poço de 1,5 m de profundidade e com o molde cilíndrico de 30x30 cm, foi feita a moldagem da amostra no solo, depois aplicado parafina e envolvida com tecido para assegurar as condições reais de suas propriedades naturais.

Com a amostra coletada segundo a NBR 9604 (ABNT, 2016), pela empresa terceirizada do IFTO Campus Palmas, foi realizado a retirada do corpo de prova, através de um molde primático de 5x2 cm, pesado em balança e posteriormente, ajustado a caixa de cisalhamento e levado ao equipamento. Em seguida, foram feitos os ajustes do equipamento, como calibração horizontal e vertical, célula de carga, nivelamento do pêndulo das cargas, outros.

As cargas utilizadas para tensão normal foram 50 KPa, 100 KPa e 150 KPa. Cada uma dessas tensões foram aplicadas em estágio único e inspecionadas a estabilidade das deformações a cada 10 minutos. Depois da estabilização das deformações, o equipamento começava a realizar o cisalhamento direto do corpo de prova sob velocidade de 0,036 mm/min.

O procedimento de execução do ensaio de cisalhamento seguiu as orientações prescritas na norma americana D-3080, bem como as demais recomendações sugeridas pela bibliografia geotécnica. As sondagens foram realizadas pela Liga Acadêmica de Geotecnia (LAG), do IFTO Campus Palmas, seguindo os procedimentos preconizados pela NBR 6484 (ABNT, 2020). Foram executadas três sondagens: furo SP-1, SP-2 e SP-3, que chegaram a alcançar profundidades de 6m, os furos SP-1 e SP-2 e de 8m, o SP-3.

As amostras retiradas com o amostrador, foram levadas ao laboratório, armazenadas em sacos etiquetados e realizadas as análises táteis visuais.

De acordo com o ensaio descrito no item 2.2, foram obtidos três laudos de sondagens do IFTO – *Campus Palmas*, sendo utilizado apenas o laudo do furo SP-2. Posteriormente, foi recebida a planta de locação e de cargas da edificação, pela empresa responsável pelo projeto estrutural.

4 Procedimento de cálculo

Na primeira fase, foi realizado o dimensionamento da capacidade de carga obtida através das correlações semiempíricas e para que fosse possível, foi preciso do laudo de sondagem para conhecimento dos índices de resistência à penetração e realização das devidas correções, bem como do peso específico do solo, obtido através do valor alcançado pelo ensaio de massa específica e convertido pela aplicação do valor da gravidade.

Para a segunda etapa, dependeu-se do laudo de sondagem para análise do bulbo de tensões, do diagrama de ruptura obtido pela literatura, dos parâmetros de resistência do solo obtidos pelo ensaio de cisalhamento direto, do peso específico e do laudo para o cálculo da sobrecarga, da dimensão B da sapata para o cálculo dos fatores de forma, neste caso, foi necessário realizar o pré dimensionamento da fundação para obtenção das dimensões da sapata e do fator de segurança global para fundações superficiais.

Enfim, foi realizado o comparativo dos valores alcançados pelos dois métodos aplicados de capacidade de carga e verificado qual dos dados obtidos dos métodos semiempíricos teve uma maior tendência de aproximação com o resultado do método de Terzaghi. A sequência do procedimento está exibida na Figura 3.

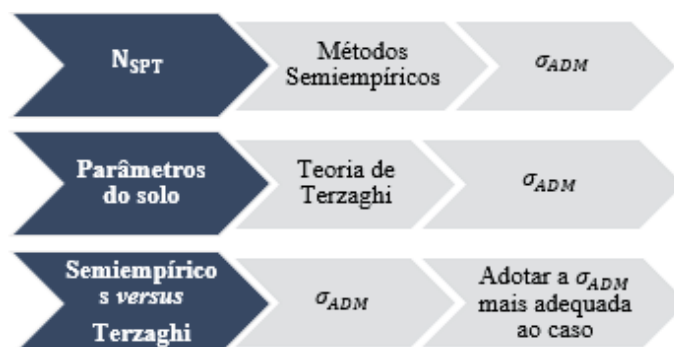


Figura 3. Sequência do procedimento da pesquisa. Fonte: Autor (2021).

5 Resultados e Discussões



No método de Terzaghi foi realizada uma média aritmética das tensões admissíveis obtidas das fundações do tipo sapatas, em razão de serem muito próximas, encontrando assim, a tensão admissível média de 5,11 kgf/cm².

Foi realizada uma análise estatística dos dois métodos (Semiempíricos e Terzaghi), de modo a obter resultados mais confiáveis, conforme apresentado no Tabela 2.

Tabela 2 – Análise estatística dos métodos Semiempíricos e de Terzaghi. Fonte: Autor (2021).

SEMIEMPÍRICOS			TERZAGHI		
	Média Aritmética			Média Aritmética	
$\bar{x}$	3,00	kgf/cm ²	$\bar{x}$	5,11	kgf/cm ²
	Variância Amostral			Variância Amostral	
s^2	1,59	(kgf/cm ²) ²	s^2	0,01	(kgf/cm ²) ²
	Desvio Padrão Amostral			Desvio Padrão Amostral	
s	1,26	kgf/cm ²	s	0,09	kgf/cm ²
	Coeficiente de Variação Amostral			Coeficiente de Variação Amostral	
cv	42,04	%	cv	1,76	%
	Erro Padrão			Erro Padrão	
er	0,42	kgf/cm ²	er	0,01	kgf/cm ²
	Amplitude Total			Amplitude Total	
AT	4,16	kgf/cm ²	AT	0,29	kgf/cm ²

Conforme os resultados obtidos na análise estatística, foi observado que o método de Terzaghi mostrou ser mais confiável, devido o erro padrão encontrado ser menor. Pois, ao ser analisado, levando em consideração a média e o desvio padrão, pode-se verificar que o valor alcançado neste método está mais próximo da média real e apresentou valores inferiores ao dos métodos semiempíricos.

Posteriormente, foi realizado o cálculo do erro percentual entre os métodos semiempíricos, considerando o resultado do método de Terzaghi como parâmetro de referência, sendo obtido o seguinte Gráfico 1 abaixo.

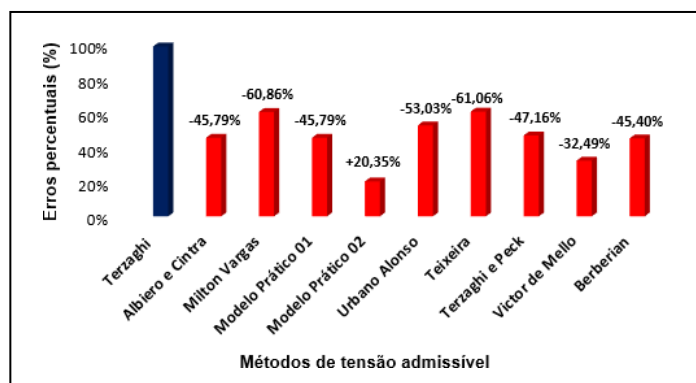


Gráfico 1 – Erros percentuais versus métodos semiempíricos. Fonte: Autor (2021).

Comparando os métodos acima, observou-se que o erro percentual entre as tensões admissíveis dos métodos semiempíricos em relação ao valor da tensão admissível obtida pelo método de Terzaghi, chega a até 61,06 por cento para menos (Método Teixeira) e de 20,35 percentual para mais (Modelo Prático 02).

6 Considerações Finais

O presente estudo teve por objetivo avaliar a capacidade de carga por diferentes metodologias de cálculo, a partir de comparações dos métodos semiempíricos com os valores obtidos pelo método teórico de Terzaghi.

Para o solo silteso arenoso determinado através de classificação física, o método de Terzaghi apresentou valores mais confiáveis, devido apresentar uma margem de erro padrão menor, sendo o valor obtido por Terzaghi de 0,01 kgf/cm², enquanto que para os semiempíricos de 0,42 kgf/cm².



Foi realizada a analogia dos métodos semiempíricos com o método de Terzaghi e observou-se que o método de Victor de Mello (1975) foi o que alcançou o menor erro percentual, apresentando um valor de 32,49 percentual para menos, aproximando-se mais do método de Terzaghi, enquanto que o método Modelo Prático 02 mostrou-se maior que o de Terzaghi, alcançando um valor de 20,35 percentual para mais. O método de Victor de Mello foi o menor, devido não considerar o movimento do reaterro, sendo influenciado apenas pelo número de golpes da sondagem SPT.

Outros métodos semiempíricos, além do método de Victor de Mello (1975), também apresentaram resultados a favor da segurança, como foi o caso de Albiero e Cintra (1996) e o Modelo Prático 01, em que foram obtidos erros percentuais de 45,79 percentuais para menos, simultaneamente.

A partir dos resultados, foi possível avaliar que valores distintos são encontrados em virtude da variabilidade do solo e suas interpretações, e que esse justifica a busca por mais conhecimento da interação solo estrutura e provas de cargas.

Assim, conforme os resultados alcançados, os métodos semiempíricos apresentaram uma boa margem de segurança em relação ao método de Terzaghi, sendo bastante oportuno dada a própria variabilidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-3080: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6122: Projeto e execução de fundações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

BERBERIAN, D. Engenharia de Fundações: passo-a-passo. 2 ed. Brasília: UnB – Infrasoil Technical, 2015.

CAPUTO, H. P. et al. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: Fundamentos. 7ª edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. v. 1, 2015. 542 p.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N; RODRIGUES, J. M. A. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra. 7 ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. v. 2, 2017.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. Fundações Diretas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140 p.

CRAIG, R. F.; KNAPPETT, J. A. Mecânica dos Solos. Tradução Amir Elias Abdalla Kurban. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

GERSCOVICH, D.; DANZIGER, B. R.; SARAMAGO, R. Contensões: teoria e aplicações em obras. 2 ed. rev. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

HACHICH, W. et al. Fundações: Teoria e Prática. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MEDEIROS, P. M. D. Avaliação da previsão do comportamento geotécnico de fundações superficiais assentes em subsolos arenosos de baixa compacidade em Fortaleza a partir de ensaios de placa. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, UFCE, Fortaleza, 2013.

NOGUCHI, L. T. Análise da capacidade de carga de fundação por sapatas executadas na cidade de São Caetano do Sul/SP. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas- SP, 2012.

OLIVEIRA, B. L. M.; AMANCIO, L. B. Otimização do cálculo da capacidade de carga e tensão admissível do solo para sapatas isoladas. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. V. 12, n. 2, 4 jul. 2016. Universidade Federal de Goiás.

SOUZA, M. W. F. D. Estudo da variação da tensão admissível com a dimensão de sapatas apoiadas em subsolos arenosos. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória- ES, 2018. 166 f.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações: Critérios de Projeto – Investigações do Subsolo – Fundações Superficiais. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.