XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação da capacidade de carga à tração em estacas escavadas com a adição do aditivo MC-Quellmittel

Evaluation the tension load capacity in pile digged with the addition of the MC-Quellmittel additive

Diogo Bevilaqua
Unochapecó | Chapecó | Brasil | diogobevi@unochapeco.edu.br
Caroline Zolett
Unochapecó | Chapecó | Brasil | caroline.z@unochapeco.edu.br
Daniela Tamara Fileski
Unochapecó | Chapecó | Brasil | fileski@unochapeco.edu.br
Andressa Vigne Xavier
Unochapecó | Chapecó | Brasil | andressavignex@gmail.com
Luana Peroza Piaia
Unochapecó | Chapecó | Brasil | luanapiaia@unochapeco.edu.br
Carla Cristina Secchi
Unochapecó | Chapecó | Brasil | cah_secchi@unochapeco.edu.br
Paola Avila
Unochapecó | Chapecó | Brasil | paola.avila@unochapeco.edu.br
Valdir Eduardo Olivo
Prefeitura Municipal de Chapecó | Chapecó | Brasil | eduolivo123@gmail.com

Resumo
Com o avanço da construção de edificações mais esbeltas são necessárias novas soluções para melhoria das fundações em relação aos esforços de tração. Neste estudo, comparou-se valores de capacidade de carga pelo método teórico de tronco de cone aos obtidos pela prova de carga in situ. Para isso foram confeccionadas seis estacas, sendo três concretadas com o uso do aditivo expansor MC- Quellmittel e três sem o uso desse. Constatou-se que a adição de 0,15% do aditivo MC- Quellmittel ocasionou um aumento de 10,9% no atrito lateral, resultando em um ganho na capacidade de carga à tração nas estacas.

Palavras-chave: Estacas submetidas à tração. Capacidade de carga. Aditivo expansor. Atrito lateral.

Como citar:
BEVILAQUA, D.; ZOLETT, C.; FILESKI, D. T.; XAVIER, A. V.; PIAIA, L. P.; SECCHI, C. C.; AVILA, P.; OLIVO, V. E. Avaliação da capacidade de carga à tração em estacas escavadas com a adição do aditivo MC-Quellmittel. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-1.

Abstract
With the advancement of the construction of slender buildings, new solutions are needed to improve resistance to tensile stresses in piles. In this study, load capacity values were compared by the theoretical tronco de cone method to those obtained by the in-situ load test. For this purpose, six piles were built, three of them concreted with MC-Quellmittel expander additive and other three without the use of it. It was found that the addition of 0.15% of the MC-Quellmittel additive caused a 10.9% increase in lateral friction, resulting in a gain in the tensile load capacity of the piles.
Keywords: Piles submitted to traction. Load capacity. Additive expander. Lateral friction.

INTRODUÇÃO

Em projetos de fundações profundas não é incomum a necessidade da determinação da capacidade de carga à tração, geralmente em elementos enterrados que servirão de fundações para estruturas de porte esbelto e de elevada altura. Pode-se citar, como exemplo, fundações que servirão de base para torres de linhas de transmissão, sendo os esforços de tração provenientes do vento atuando tanto na torre e nos cabos [15] [18] [19].

Existem inúmeras situações em que se recorre ao emprego de estacas tracionadas, tais como fundações de plataformas marítimas e de petróleo, fundações de estruturas leves industriais, obras de contenção submetidas a empuxos laterais de água ou de solo entre outras [14] [20] [21].

As duas parcelas responsáveis pela capacidade de carga à tração são o peso próprio da estaca e a resistência lateral, pois a resistência de ponta é desprezada [9] [13]. Os métodos de cálculo de capacidade de carga de fundações tracionadas passaram a ser abordados com mais atenção a partir de 1960, posteriormente, procurou-se comparar o grau de confiança dos métodos propostos, através de provas de carga [15] [22].

Recentemente aditivos expansivos de argamassas vêm se mostrando eficientes quando utilizados no processo executivo de estacas submetidas à tração [12] [23]. Estacas brocas moldadas em solo argilo-siltoso com diâmetro de 30 cm e comprimento de 1,30 m com o uso de aditivo compensador de retração para argamassas da Vedacit, utilizando 2% sobre a massa de cimento, resultaram em uma carga de ruptura 60,6% maior que as estacas sem adição de aditivo, isso, devido a expansão do concreto preencher os espaços vazios do solo melhorando a fixação do mesmo, dessa forma, aumentando o atrito lateral à tração e consequentemente acrescendo a capacidade de carga nas estacas com o uso do aditivo expansor de argamassa [18].

Além disso, na pesquisa realizada por [16] foram ensaiadas estacas broca em solo argilo-siltoso com diâmetro de 40 cm e comprimento de 1,30 m com o uso do mesmo aditivo da Vedacit, porém com 1% sobre a massa de cimento, resultando em uma carga de ruptura 13,3% maior que as estacas sem adição de aditivo, devido ao concreto com aditivo apresentar maior fluidez permitindo ser distribuído mais efetivamente entre os vazios do solo.

Considerando os diversos casos em que as fundações podem ser solicitadas à tração e os estudos já realizados por meio da utilização de aditivos expansores, o presente trabalho investigou a capacidade de carga à tração de estacas escavadas do tipo broca

executadas sem e com aditivo expansor de argamassa MC-Quellmittel, utilizando o método teórico do tronco de cone e a prova de carga estática adaptada por [18].

MATERIAIS E MÉTODOS

ADITIVO MC- QUELLMITTEL

No que tange a [7], o aditivo deve ser inserido em quantidade não superior a 5% sobre o peso de cimento. O aditivo utilizado no estudo é o MC- Quellmittel, que conforme descrito pelo fabricante, deve ser adicionado no final do processo de mistura fazendo-se uso de equipamento adequado. A dosagem do aditivo deve ser de 0,1 a 1% sobre o peso de cimento, sendo necessário a realização de testes preliminares. A expansão é completada após um período de 2 a 4 horas, dependendo da temperatura [11].

ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PARA LIBERAÇÃO DA EXECUÇÃO DA PROVA DE CARGA

Preparou-se o concreto em betoneira para estimar quantos dias após a concretagem seria possível realizar a prova de carga à tração, sendo que para as estacas utilizou-se concreto usinado. Para moldagem dos corpos de prova (CP) preparou-se o concreto em betoneira conforme a [3]. Foram utilizados os materiais: areia grossa, brita 1 e cimento Portland CPII-Z com traço 1: 1,4: 2,9: 0,46. Em seguida realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone conforme a [5], para determinação da consistência do concreto.

Foram moldados os CP's cilíndricos com diâmetro de 100 mm e 200 mm de altura, conforme a [1]. A cura ocorreu por meio da câmara úmida até a data do rompimento. No total foram moldados 24 CP's, sendo 12 com adição de 0,15% de aditivo e 12 sem o aditivo, sendo quatro corpos de prova para cada idade de rompimento, conforme a [4]. Determinou-se a resistência à compressão pela ruptura dos corpos de prova em sete, 14 e 28 dias após a moldagem, realizou-se esse ensaio segundo a [2].

SOLO

Os parâmetros do solo adotado foram os encontrados por [17], que classificou o solo como argilo-siltoso, com um ângulo de atrito interno de 13° e massa específica de 26,9 kN/m³.

ESTACA

Em virtude do processo executivo e do elevado custo de execução de outros tipos de estaca, optou-se pela execução da estaca Broca.

AÇO

Para as armaduras utilizadas nas estacas (Figura 1) tomou-se como base o dimensionamento realizado por [18]. O diâmetro adotado dos cabos de aço foi inferior ao do referido autor, pois estes suportam aproximadamente 2,32 tf cada, resistindo assim a força solicitada de 5 tf, que é a capacidade de carga que o autor calculou para resistência à tração.

Figura 1: Armadura utilizada nas estacas tipo broca



Fonte: Elaborado pelos autores.

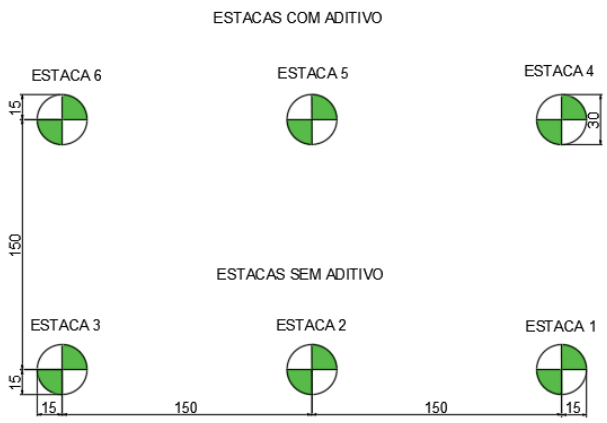
LOCAL DO ENSAIO

Realizou-se o ensaio próximo ao Parque Científico e Tecnológico Chapecó@, na cidade de Chapecó. O local escolhido é próximo da área utilizada na pesquisa de [18] e [16] e também próximo ao local onde os dados do solo foram estimados por [17].

LOCAÇÃO E EXECUÇÃO DA ESTACA

Para determinação da distância entre as estacas utilizou-se do método teórico de Tronco de Cone, que por meio do ângulo de atrito interno majorado por 2 (ϕ = 26°), e pelo comprimento da estaca (L = 1,30 m), calculou-se a abertura do cone, chegando em um resultado de 0,63 m. Adotou-se uma distância superior a abertura encontrada e superior a 3Ø, segundo o critério de [8]. Tal medida foi adotada para evitar que o solo movimentado durante o processo de arrancamento da estaca interferisse na estaca vizinha. A locação das estacas está representada na Figura 2.

Figura 2: Locação das estacas



Nota: unidades em cm. Fonte: Elaborado pelos autores.

Houve a locação das estacas por meio de piquetes cravados no solo *in-loco*. Posteriormente com o auxílio do equipamento perfurador de solo foram executados seis furos com 30 cm de diâmetro e 1,30 m de profundidade. As armaduras foram posicionadas antes da concretagem, sendo cuidadosamente colocadas para não deslocar os cabos. A concretagem foi realizada com concreto confeccionado em central dosadora especificado para um fck 30 MPa, sendo três estacas concretadas sem aditivo expansor de argamassa e três estacas com a presença do aditivo MC-Quellmittel, o qual foi adicionado ao concreto em 0,15% sobre o peso do cimento. Efetuou-se a mistura do aditivo no concreto aos poucos com auxílio de uma betoneira de 120 L.

No total foram realizadas três misturas, uma para cada estaca com presença do aditivo, sendo moldados quatro corpos de prova para cada uma delas e, mais quatro corpos de prova para o concreto sem a presença do aditivo para serem rompidos aos 17 dias, idade em que os CP's moldados para verificar a idade de liberação do ensaio de tração apresentaram resistências satisfatórias.

EXECUÇÃO DA PROVA DE CARGA

O ensaio para avaliação da capacidade de carga à tração das estacas foi realizado 17 dias após a concretagem das estacas, devido ao concreto já ter obtido a resistência mínima desejada para realização do ensaio.

Para montagem do pórtico criado por [18], primeiramente nivelou-se o solo para posicionamento dos barrotes, em seguida sobre os mesmos foi disposto a viga metálica de perfil "I" centralizada logo acima da cabeça da estaca. Fixou-se o macaco hidráulico na parte superior da viga, a capacidade do macaco hidráulico é de 100 tf à compressão e 5 tf à tração. Logo acima foi disposto a célula de carga e por fim posicionada a chapa circular que possui quatro furos.

Após a montagem do sistema foram transpassados os cabos de aço pelos furos da chapa circular, em seguida, fixados com duas presilhas metálicas cada cabo. Por último foram instalados quatro extensômetros posicionados na cabeça da estaca (Figura 3), com precisão de 0,01 mm e medição máxima de 50 mm da marca Digimess.

Realizou-se o carregamento das estacas conforme [6], sendo do tipo carregamento rápido, no qual cada estágio aplicou-se um carregamento de 10% da carga de ruptura estimada de 5 tf, que foi mantido por cinco minutos, sucessivamente até o rompimento da estaca. A identificação da ruptura ocorreu quando não se admitia o aumento do carregamento por meio do macaco hidráulico.

Os deslocamentos verticais foram medidos através de quatro extensômetros, sendo efetuada a leitura no início e fim de cada estágio de carregamento. Após atingir a carga de ruptura realizou-se a leitura do deslocamento e a estaca foi descarregada. Dez minutos depois de efetivar o descarregamento realizou-se a leitura final.

Figura 3: Sistema para realização do teste à tração



Fonte: Elaborado pelos autores.

CAPACIDADE DE CARGA TEÓRICA

Para o cálculo da capacidade de carga utilizou-se o método do tronco de cone, de acordo com [10].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

A resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos moldados para liberação da execução da prova de carga estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Resistência à compressão dos corpos de prova

Tipo de concreto	CP's	Resistência do concreto (MPa)		
		7 dias	14 dias	28 dias
Concreto sem aditivo	CP1	14,4	17,18	20,65
	CP2	15,44	21,18	20,72
	CP3	17,03	21,65	21,56
	CP4	18,17	22,58	24,44
Concreto com aditivo	CP1	15,51	18,2	20,41
	CP2	16,01	18,3	21,06
	CP3	16,29	18,93	21,64
	CP4	17,39	19,56	23,23

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando as Tabelas determinou-se que a prova de carga seria realizada próximo aos 14 dias devido aos valores de resistência serem próximos ao mínimo exigido em estacas do tipo broca, que é 20 MPa.

CAPACIDADE DE CARGA MÉTODO DO TRONCO DE CONE

A Tabela 2 apresenta os dados para a determinação do peso da fundação (Pf) e do peso do solo contido no tronco de cone (Ps). Estão representados também os dados finais

das parcelas de atrito lateral e a carga última à tração quando aplicados os valores iniciais.

Tabela 2: Carga última à tração

Diâmetro (m)	Profundidade (m)	Peso específico do concreto armado (KN/m³)	Ângulo de atrito do solo (°)	Peso específico do solo (kN/m³)
0,30	1,30	25	13	26,9
Resultados				
Pf (kN)			2,29	
Ps (kN/m)			1,90	
C2 (kN/m²)			2,92	
C3 (kN/m³)			0,45	
Pu (kN)			10,11	
Pu (tf)			1,011	

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 3 apresenta um comparativo de capacidade de carga calculada pelo método teórico e o encontrado pela execução da prova de carga nas estacas sem o uso do aditivo.

Tabela 3: Comparativo entre as capacidades de cargas encontradas

Estacas sem o uso de aditivo	Capacidade de carga pela prova de carga (tf)	Capacidade de carga pelo método teórico (tf)
E1	2,16	
E2	1,35	1,011
E3	2,56	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base na Tabela 3 é possível determinar que a média da capacidade de carga nas estacas sem aditivo é de 2,02 tf, sendo possível verificar uma diferença percentual de 99,80% entre a capacidade de carga pelo método teórico e pela prova de carga. Observando a estaca 2 que apresentou a menor carga de ruptura obteve-se uma diferença percentual de 33,53% entre as capacidades de carga encontradas quando comparada com a calculada.

CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

De acordo com os resultados representados na Tabela 4, é possível verificar que a média de carga de ruptura à tração das estacas com uso do aditivo expansor a 0,15% é de 2,24 tf, já das estacas sem aditivo foi de 2,02 tf, sendo assim, a carga de ruptura das estacas com aditivo foi 10,90% maior que a carga de ruptura das estacas sem aditivo.

Pode-se observar que as cargas de ruptura das estacas com aditivo ficaram bem próximas das estacas sem aditivo, e que as estacas 1 e 3 concretadas sem aditivo obtiveram maior capacidade de carga do que as estacas 4 e 5 concretadas com aditivo, sendo assim a média das capacidades de carga das estacas com aditivo ficou maior devido à estaca 6 que apresentou uma elevada capacidade de carga comparada as outras estacas.

Tabela 4 - Resultados das provas de carga

Aditivo	Estaca	Carga de Ruptura (tf)	Deslocamento Máximo (mm)
Sem Aditivo	E1	2,16	7,81
Sem Aditivo	E2	1,35	15,90
Sem Aditivo	E3	2,56	14,65
Com Aditivo	E4	2,06	21,65
Com Aditivo	E5	1,86	24,73
Com Aditivo	E6	2,80	25,5

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os deslocamentos apresentados foram maiores nas estacas com o uso do aditivo. Tal comportamento já tinha sido verificado em estudos que utilizaram aditivos expansores na verificação da resistência à tração em estacas [18].

Pietroski e Quadros [16] obtiveram como resultado que estacas com 1% do aditivo apresentaram carga de ruptura 13,3% maior, se comparado as estacas sem aditivo.

Com relação à capacidade de carga, o presente estudo obteve valores 82% e 18% inferiores, se comparado com [18] e [16], respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos é possível destacar que o incremento do aditivo às estacas demanda uma maior a carga de ruptura à tração. Isso porque a expansão do material faz com que o concreto preencha os vazios do solo, o que melhora a interação solo-estaca, aumentando assim o atrito lateral.

CONCLUSÕES

Conforme o exposto conclui-se que a capacidade de carga à tração em modelos de estacas escavadas sem o uso de aditivo pelo método teórico do tronco de cone e pela prova de carga tiveram uma diferença percentual de 99,80%.

A partir do programa experimental desenvolvido, é possível destacar a viabilidade da aplicação do aditivo expansor de argamassa (em baixa porcentagem) no concreto, visto que se observou um ganho de resistência à tração de 10,9% em relação às estacas sem o aditivo.

Para trabalhos futuros sugere-se um aprofundamento na caracterização do solo para um melhor entendimento sobre a interação solo-estaca. Com relação ao uso do aditivo, pode-se incrementar maiores dosagens deste nas estacas de modo que se possa verificar os novos comportamentos apresentados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Unochapecó pela disponibilidade dos laboratórios e equipamentos utilizados nessa pesquisa e também a UNIEDU/FUMDES Pós-Graduação e a CAPES pelas bolsas de pesquisa outorgada.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

[2] _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[3] _____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

[4] _____. **NBR 16886**: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 2020.

[5] _____. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

[6] _____. **NBR 16903:** Solo - Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro, 2020.

[7] _____. **NBR 11768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

[8] ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações.** 2 ed. São Paulo: Blucher, 1983.

[9] BESSA, A. O. de. **Avaliação da resistência lateral em estacas escavadas com trado submetidas à tração.** 2005. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

[10] ELL, S. M. **Análise do comportamento à tração de estacas apiloadas executadas em solos arenosos do interior do estado de São Paulo.** 2003. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

[11] MC-BAUCHEMIE. **Centrament Expanding Agent, 2020**. Disponível em: <https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/pt-BR/fichas_tecnicas/Centrament%20Expanding%20Agent.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

[12] MOHSEN, M. K. Assessing the increase in bearing capacity of bored piles in sandy soil using expansive additives. **Kufa Journal of Engineering**, v. 10, n. 1, p. 12-28, 2019.

[13] NEVES, Danielle Pereira. **Estudo da capacidade de carga ao arrancamento de estacas tubulares vazadas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

[14] ORLANDO, C. **Contribuição ao estudo da resistência de estacas tracionadas em solos arenosos:** análise comparativa da resistência lateral na tração e na compressão. 1999. 332 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

[15] PASCHOALIN FILHO, J. A.; CARVALHO, D. **Estudo do comportamento à tração axial de diferentes tipos de estacas em solo de diabásio da Região de Campinas/SP.** 2008. 383 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

[16] PIETROSKI, A.; QUADROS, E. D. O. de. **Estudo da capacidade de carga à tração pelo método de tronco de cone em estacas concretadas com aditivo expansor de argamassa.** 2018. 23 f. Artigo (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2018.

[17] WIROSKI, W. **Análise comparativa da capacidade de carga entre métodos teóricos e prova de carga direta para fundações superficiais.** 2016. 81 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2016.

[18] ZAGONEL, T. C. **Viabilidade da aplicação de aditivo expansor de argamassa para melhoramento da resistência à tração de estacas escavadas.** 2017. 91 f. Monografia

(Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2017.

[19] ORS, D. M.; EBID, A. M.; MAHDI, H. A. Evaluating the lateral subgrade reaction of soil using horizontal pile load test results. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 5, p. 1-13, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101734

[20] YONG, A. Z.; CHAO, G. J.; CHONG, C. Y. Performance of vertically loaded pile group embedded in layered transversely isotropic saturated viscoelastic soils. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, v. 110, p. 112-123, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2019.10.010

[21] LUAMBA, E. S.; PAIVA, J. B. de. A BEM/FEM formulation for the analysis of piles submitted to horizontal loads. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, v. 81, p. 12-20, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2017.05.004

[22] LIU, R.; SU, J.; WU, F.; LV, Y.; GUO, Y.; BAO, J.; GE, Z. Full-scale experimental research on the bending fatigue performance of post-tensioned prestressed concrete pipe piles. **Ocean Engineering**, v. 260, p. 215-226, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112025

[23] PITON, R. C.; SCHAFER, M. C. W.; LOPES, M. B.; DALAZEN, E. B.; PIAIA, N.; LORENZON, T.; KRONBAUER, B. K.; BALDISSERA, M. G. Estudo da melhoria do atrito lateral em estacas moldadas in-loco através da adição de materiais expansivos na argamassa. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 9., 2019, São Paulo. **Anais...** São Paulo: BEF, 2019.