



Análise comparativa da capacidade de carga à tração em estacas moldadas “in loco” através do método Tronco de Cone e prova de carga

Eduarda Dall Oglio de Quadros

Unochapecó, Chapecó, Brasil, eduarda16@unochapeco.edu.br

Angélica Maria Pietroski

Unochapecó, Chapecó, Brasil, angelica.pietroski@unochapeco.edu.br

Marieli Biondo Lopes

Unochapecó, Chapecó, Brasil, engmary@unochapeco.edu.br

RESUMO: Os efeitos de tração em estacas podem ser minimizados com soluções teóricas e empíricas. Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre a capacidade de carga estimada pelo método de Tronco de Cone, com modelos de estacas submetidas à esforços de tração. Para isso, executou-se “in loco” modelos de estacas com 0,40m de diâmetro e 1,3m de comprimento. Os elementos foram armados integralmente e concretados com argamassa de traço 25MPa, sendo divididas em dois grupos: o primeiro somente com argamassa e o segundo com argamassa aditivada com expansor na porcentagem de 1%, para avaliar melhorias no atrito lateral. Em relação a capacidade de carga à tração, constatou-se uma aproximação de 92,5% das provas de carga com o método teórico, representados por 1,74tf na estaca ensaiada e 1,90tf no método Tronco de Cone. Quanto ao atrito lateral, concluiu-se que o aditivo promoveu um acréscimo de 13,3% na resistência ao arrancamento dos elementos.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de Carga, Tração em Estacas, Aditivo Expansor de Argamassa, Prova de Carga, Método Teórico Tronco de Cone.

1 INTRODUÇÃO

Devido a evolução das edificações, que atualmente são mais esbeltas, faz-se necessário aperfeiçoar o dimensionamento e a execução de fundações para que resistam às novas cargas solicitantes.

As estacas escavadas são fundações profundas muito difundidas na construção civil, devido a sua fácil execução e ao seu baixo custo se comparado a outros estaqueamentos (ZAGONEL, 2017). Porém, devido à ação dos ventos e ao peso próprio da estrutura, essas fundações tendem a sofrer intensos efeitos de tração.

Para solucionar esse problema, é necessário aprofundar o conhecimento dos métodos teóricos existentes de capacidade de carga à tração e realizar estudos quanto a melhoria do atrito lateral, por ser um condicionante na resistência à tração dos elementos de fundações.

Dentre os métodos teóricos de dimensionamento o método de Tronco de Cone se destaca, em que Cavarzzan (2017) afirma que este método é muito difundido no Brasil, principalmente em torres de transmissão de energia que sofrem os efeitos de tração provenientes da ação de ventos.



Segundo Neves (2012), para determinar a capacidade de carga em estacas submetidas a tração, considera-se somente a parcela referente ao atrito lateral. Dessa forma, é possível afirmar que para melhorar a resistência à tração é necessário estudar técnicas que aumentem o atrito lateral entre o sistema estaca-solo.

Para melhorar essa propriedade, Zagonel (2017) estudou a aplicação de aditivo expansor de argamassa em modelos de estacas escavadas. A autora salienta que o aditivo diminui os vazios entre a estaca e o solo, permitindo que o concreto penetre nos vazios absorvendo melhor os esforços.

Para verificar as cargas de ruptura dos elementos de fundações, utiliza-se os ensaios de prova de carga estática e dinâmica, estabelecidas pelas NBR 12131 (ABNT, 2006) e NBR 13208 (ABNT, 2007). Através da prova de carga é designado os carregamentos reais de serviço que as estacas estarão submetidas. Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017) realizaram em suas pesquisas uma adaptação do ensaio de prova de carga estática utilizando um sistema do tipo pórtico para simular os efeitos de tração em estacas escavadas.

Este estudo segue as diretrizes desenvolvidas nos trabalhos de Cavarzzan (2017) e Zagonel (2017), tendo como objetivo determinar a capacidade de carga à tração pelo método de Tronco de Cone e analisar o desempenho à tração em modelos de estacas concretadas com aditivo expansor de argamassa através do ensaio proposto por Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017). Será também analisado e comparado os resultados das cargas de ruptura obtidas no ensaio com a carga dimensionada pelo método teórico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local para a execução das estacas

Para a execução das estacas foi escolhido um terreno próximo ao *campus* da Unochapecó, em Chapecó-SC. A área escolhida é próxima do local onde os autores Cavarzzan (2017) e Zagonel (2017) realizaram suas pesquisas.

2.2 Coleta e caracterização da amostra de solo

Para efetuar os ensaios de caracterização, foi coletada uma amostra de um solo de aterro característico do local onde foram executados os elementos. A preparação das amostras foi realizada conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016).

Para caracterizar a amostra de solo foi realizado o ensaio de massa específica utilizando a NBR 6458 (ABNT, 2017). Os ensaios de granulometria, sedimentação e peneiramento seguiram as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2016). Por fim, foram realizados os ensaios de consistências executados conforme os procedimentos da NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

2.3 Execução das estacas

Para realizar a execução dos elementos, foi necessário determinar previamente o espaçamento entre as estacas. Para isso, adotou-se uma distância maior ou igual à abertura do cone do método teórico Tronco de Cone (Figura 1).

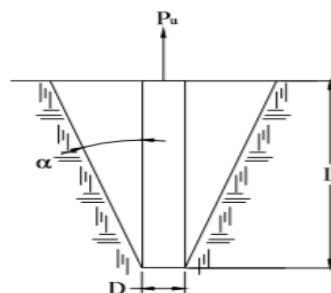


Figura 1. Método Tronco de Cone (ELL, 2003).

Para a inclinação α , adotou-se o ângulo de atrito interno do solo, conforme citado por Balla (1961, *apud* CAVARZZAN, 2017). Sendo que os parâmetros de resistência ao cisalhamento do



solo foram adotados segundo Wiroski (2016), o qual realizou um estudo de resistência e capacidade de carga de uma amostra de argila no *campus* da Unochapecó.

Além do dimensionamento da largura do cone através do ângulo de atrito interno do solo, foi verificado se o espaçamento obedecia ao critério de Alonso (1983) de 3ϕ . Para que durante o ensaio de arrancamento a massa de solo levantada não influenciasse à estaca vizinha. O espaçamento ficou definido conforme a Figura 2.

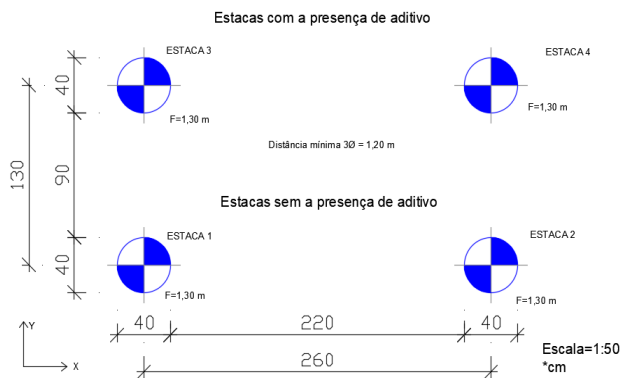


Figura 2. Espaçamento entre as estacas.

A perfuração (Figura 3) foi executada por uma empresa de Chapecó-SC na qual, utilizou uma perfuratriz de 40 cm de diâmetro. A profundidade de escavação foi de 1,30 m, sendo realizado a verificação da altura manualmente com uma fita métrica.



Figura 3. Perfuração das estacas.

Após a perfuração, foi posicionado nos fustes as armaduras (Figura 4) com as cordoalhas para a realização do ensaio de arrancamento. As armaduras utilizadas foram dimensionadas por Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017) conforme o efeito de tração.



Figura 4. Posicionamento da armadura no fuste.

Para a concretagem dos elementos (Figura 5), utilizou-se concreto usinado de 25 MPa. Nas duas estacas que não possuíam a presença de aditivo, o concreto foi despejado nos fustes com o auxílio de carrinhos de mão e pás.

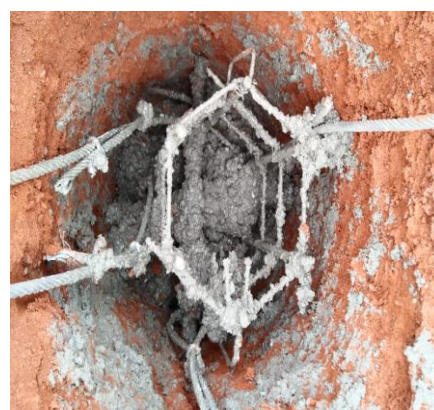




Figura 5. Concretagem das estacas.

Nas outras duas estacas, adicionou-se no concreto o aditivo compensador de retração de argamassa da Vedacit na proporção de 1% sobre a massa de cimento, conforme indicado pelo fabricante.

Para a mistura ser efetiva, o aditivo foi adicionado gradualmente com o volume de concreto em uma betoneira de 120 l.

2.4 Capacidade de carga

A capacidade de carga teórica foi dimensionada pelo método Tronco de Cone. De acordo com Bessa (2005), a carga última à tração (R) é determinada pela adição da parcela de peso do solo contido no tronco de cone (Ps) com o peso próprio da fundação (Pf), conforme a Equação 1:

$$R = Pf + Ps \quad (1)$$

Para a determinação do peso de solo contido no tronco de cone efetuou-se o dimensionamento das parcelas de atrito lateral (C1, C2 e C3). Para isso, foi substituído nas Equações 2, 3 e 4 os valores de comprimento da estaca (L), o ângulo de atrito interno do solo (α), o peso específico do solo (γ_s) e o diâmetro dos elementos (D).

$$C1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \gamma_s \quad (2)$$

$$C2 = \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \gamma_s \cdot \text{tg}(\alpha) \quad (3)$$

$$C3 = \frac{\pi}{3} \cdot \gamma_s \cdot \text{tg}^2(\alpha) \quad (4)$$

A carga última (R) foi obtida aplicando os valores das parcelas de atrito lateral (C1, C2 e C3) e o comprimento das estacas (L) na Equação 5.

$$R = Pf + C1 \cdot L + C2 \cdot L^2 + C3 \cdot L^3 \quad (5)$$

2.5 Ensaio de arrancamento

Para verificar o comportamento à tração, foi realizado o ensaio de arrancamento 28 dias após a concretagem dos elementos. Para o ensaio, utilizou-se um sistema tipo pórtico adaptado pelos autores Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017) da NBR 12131 (2006).

Antes da montagem do sistema, foram realizados os serviços preliminares, como a limpeza da superfície e o nivelamento do terreno para a colocação dos barrotes.

O sistema foi constituído por uma viga metálica, macaco hidráulico, célula de carga e chapa circular (Figura 6). Nos furos da chapa circular foram transpassados a outra extremidade dos cabos concretados com a armadura, sendo fixos por abraçadeiras metálicas.



Figura 6. Sistema tipo pórtico.

Os carregamentos foram do tipo rápido, conforme adotado pelos autores Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017). O carregamento inicial aplicado nas estacas foi de 0,5 tf e a leitura dos deslocamentos foi efetuada por quatro extensômetros dispostos nos eixos das



“cabeças” das estacas (Figura 7).



Figura 7. Posicionamento dos extensômetros.

A leitura inicial dos extensômetros foi executada imediatamente após a aplicação do carregamento e a leitura final após um período de 5 min. Os carregamentos aumentavam gradativamente em 0,5 tf até a ruptura do elemento.

O ensaio foi interrompido quando identificou-se a ruptura do elemento. Os critérios de ruptura seguiram as definições dos autores Zagonel (2017) e Cavarzzan (2017) na qual, a ruptura foi considerada quando não era possível aumentar as cargas aplicadas pelo macaco hidráulico e/ou quando os deslocamentos apresentavam leituras significativamente maiores que as obtidas anteriormente. Neste caso, realizavam-se as leituras de ruptura e iniciava-se o descarregamento do elemento em estágios.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio laboratoriais do solo

Os resultados obtidos nesta pesquisa apresentados na Tabela 1, foram analisados de forma comparativa com os autores Zagonel (2017), Cavarzzan (2017) e Wiroski (2016), os quais, realizaram suas pesquisas próximo ao local de coleta das amostras ensaiadas.

Tabela 1. Resumo Ensaio de caracterização.

| Ensaio | Unidades | Resultados |
|--------|----------|------------|
|--------|----------|------------|

| | | |
|-------------------------|----------------------|------|
| M. Específica dos grãos | g/cm ³ | 2,8 |
| Umidade higroscópica | % | 15,5 |
| Limite de Plasticidade | % | 37,2 |
| Limite de Liquidez | % | 56,4 |
| Índice de Plasticidade | % | 19,2 |
| Granulometria | Argila silto-arenosa | |

A composição granulométrica identificada condiz com a classificação do solo natural de Chapecó-SC (WIROSKI, 2016). Na amostra ensaiada, identificou-se 0,7% de pedregulho, o mesmo ocorreu para Zagonel (2017), devido o solo pertencer a um aterro.

Confrontando com os autores, os valores de umidade higroscópica apresentaram-se discrepantes ao da pesquisa. Entretanto, nesta pesquisa foi considerado satisfatório pois, o teor de umidade tende a aumentar em solos argilosos.

Os demais ensaios apresentaram maior proximidade à pesquisa de Wiroski (2016). Quanto ao índice de plasticidade, conforme Burmister (1949, *apud* DAS; SHOBAN, 2014) pode-se afirmar que o solo ensaiado possui plasticidade média.

Para a definição dos espaçamentos entre as estacas adotou-se os parâmetros do solo segundo Wiroski (2016) no qual, o ângulo de atrito interno do solo (ϕ) corresponde a 13° e o intercepto de coesão (c) a 20 KPa.

Os dados utilizados para determinar a distância entre os elementos foram o comprimento das estacas (L=1,30 m) e o ângulo de atrito interno do solo ($\phi=13^\circ$) majorado a um coeficiente de segurança 2 ($\phi=26^\circ$). Portanto, a distância auferida foi de 0,63 m. Devido a abertura ser inferior à verificação de 3ϕ de Alonso (1983) adotou-se a distância no eixo x de 2,60 m e a distância no eixo y de 1,30 m, apresentado na Figura 2.

3.2 Capacidade de carga método de Tronco de Cone



A Tabela 2 apresenta os dados de entrada utilizados para o dimensionamento do peso próprio dos elementos e o peso próprio contido no Tronco de Cone.

Tabela 2. Dados de entrada.

| Dados | Unidades | Valores |
|--|-------------------|---------|
| Diâmetro (D) | m | 0,4 |
| Comprimento (L) | m | 1,3 |
| Peso específico do concreto (γ_c) | kN/m ³ | 24,7 |
| Ângulo de atrito do solo (α) | Graus (°) | 13 |
| Peso específico do solo (γ_s) | kN/m ³ | 27,7 |

A Tabela 3 demonstra os resultados das parcelas de atrito lateral (C1, C2 e C3) e a carga última (R) quando aplicados os dados de entrada definidos na Tabela 2.

Tabela 3. Resultados finais.

| Incógnitas | Unidades | Resultados | Equações |
|------------|-------------------|------------|----------|
| Pf | kN | 4,03 | - |
| C1 | kN/m | 3,5 | (2) |
| C2 | kN/m ² | 4,02 | (3) |
| C3 | kN/m ³ | 1,55 | (4) |
| R | kN | 18,7 | (5) |

3.3 Capacidade de carga das estacas

A Tabela 4 apresenta a comparação dos valores de capacidade de carga obtidos no ensaio de arrancamento, com a capacidade de carga teórica obtida pelo Tronco de Cone.

Tabela 4. Comparativo entre a carga última estimada com as cargas de ruptura do ensaio.

| Método | Estacas sem aditivo expansor (tf) | Identificação das estacas |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Tronco de Cone (tf) | 1,74 | Estaca 1 |
| | 1,72 | Estaca 2 |

Analisando a Tabela 4, pode-se afirmar que as cargas de ruptura da Estaca 1 e 2 estão próximas à carga estimada pelo método teórico.

Efetuada a média entre as capacidades de

carga das Estacas 1 e 2 foi obtido o valor de 1,73 tf. Ao comparar esse valor com a capacidade de carga estimada pelo método, é possível afirmar que o método de Tronco de Cone possui uma diferença percentual de 8,1% das provas de carga.

Também, ao analisar o elemento de maior carga de ruptura (Estaca 1), pode-se afirmar que a aproximação do método teórico com as provas de carga foi de 92,5%.

A Tabela 5 demonstra os elementos com suas devidas cargas de rupturas e deslocamentos máximos obtidos pelo ensaio de prova de carga.

Tabela 5. Resumo dos deslocamentos e cargas de ruptura dos elementos ensaiados.

| Estacas sem Aditivo | | |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Identificação das estacas | Carga de ruptura (tf) | Deslocamentos máximos (mm) |
| E1 | 1,74 | 6,7 |
| E2 | 1,72 | 7,9 |
| Estacas com Aditivo | | |
| E3 | 2,29 | 6,9 |
| E4 | 1,63 | 5,5 |

Ao analisar a Tabela 5, observa-se que a média dos carregamentos das estacas sem aditivo foi de 1,73 tf, enquanto que a média das estacas aditivadas na dosagem de 1% de expansor de argamassa foi de 1,96 tf.

Para essa análise, pode-se afirmar que o atrito lateral foi 13,3% maior nas estacas aditivadas. Entretanto, esta porcentagem só foi maior devido a Estaca 3 possuir uma carga de ruptura muito maior que a Estaca 4.

Zagonel (2017) constatou em sua pesquisa um acréscimo do atrito lateral na ordem de 60,6% em estacas concretadas com aditivo expansor na dosagem de 2%. Em sua pesquisa, as cargas de ruptura das estacas com aditivo apresentaram-se próximas umas das outras, ao contrário desta pesquisa, na qual uma das estacas apresentou carga de ruptura muito maior que a identificada nos demais elementos.

Confrontando as porcentagens do atrito lateral obtidas pela pesquisa de Zagonel (2017) com



este trabalho, pode-se afirmar que os resultados foram 78% inferiores ao da autora.

4 CONCLUSÕES

Neste artigo, foi apresentado uma relação entre a resistência à tração estimada pelo método teórico de Tronco de Cone, com as cargas obtidas no ensaio de arrancamento aplicado em modelos de estacas escavadas. O trabalho também permitiu analisar o aumento da parcela do atrito lateral em razão da aplicação de aditivo expensor de argamassa.

Com base nos resultados aferidos na Tabela 4, conclui-se que o método teórico de Tronco de Cone aproxima-se 92,5% das provas de carga. Isso quando representado pela estaca sem aditivo de maior carga de ruptura. Contudo, este método necessita de estudos mais aprofundados pois, trata-se de um método com conhecimentos insuficientes quanto a variável ângulo α .

Analisando os resultados obtidos no ensaio de arrancamento (Tabela 5), é possível afirmar que as estacas que receberam aditivo na dosagem de 1% obtiveram uma resistência à tração 13,3% superior em relação as estacas concretadas sem aditivo. Isso pode ser justificado pelo aumento do atrito lateral no conjunto estaca-solo pois, o concreto apresentou maior fluidez durante a execução dos elementos sendo melhor distribuído entre os vazios do solo.

Apesar dos resultados obtidos neste estudo serem inferiores aos encontrados por Zagonel (2017), deve-se considerar que a pesquisa da autora possuía variáveis diferentes, tais como: o tipo de solo, a dosagem do aditivo e o preparo do concreto. Apesar disso, é possível afirmar que os efeitos de tração nas fundações podem ser minimizados com a aplicação de aditivos expansores de argamassa.

Salienta-se a importância de novas pesquisas envolvendo os esforços de tração em elementos de fundação. Aprofundando o estudo dos métodos teóricos de capacidade de carga à

tração e interação do atrito lateral com a aplicação de aditivos expansores de argamassa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos guiar nesta caminhada. Aos nossos familiares e amigos pelo apoio e incentivo. Agradecemos também a professora e orientadora Marieli Biondo Lopes pelos conhecimentos repassados. Aos técnicos do laboratório de engenharia civil da Unochapecó no auxílio da execução dos ensaios. Um agradecimento especial aos colaboradores do artigo, Eng. Jonatham Bortolanza, Domus Engenharia de Fundações e a Vedacit pelo fornecimento dos materiais desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 6458, *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181, *Análise granulométrica dos solos, Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180, *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459, *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457, *Amostras de solo – Preparação para os ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). NBR 13208, *Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131, *Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Alonso, U. R. (1983). *Exercícios de Fundações*, 2 ed., Blucher, São Paulo, 71-75 p.
- Balla, A. (1961). *The resistance of breaking out of mushroom foundations for pylons*. In: International



- Conferece on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Proceedings..., vol. 1. Paris, France, (pp. 569-576).
- Bessa, A. O. (2005). *Avaliação da resistência lateral em estacas escavadas com trado submetidas à tração*, Dissertação, Viçosa, 183 p.
- Burmister, D. M. (1949). *Principles and Techniques of Soil Identification*, Proceedings, Annual Highway Research Board Meeting, National Research Council, Washington. D.C., v.29, p. 402-434.
- Cavarzzan, J. (2017). *Avaliação da capacidade de carga à tração em modelos de estacas escavadas na cidade de Chapecó*, Monografia, Chapecó, 66 p.
- Ell, S. M. (2003). *Análise do comportamento à tração de estacas apiloadas executadas em solos arenosos do interior do estado de São Paulo*, Dissertação, Campinas. Neves, D. P. (2012). *Estudo da capacidade de carga ao arrancamento de estacas tubulares vazadas*, Dissertação, Rio de Janeiro, 193 p.
- Wiroski, W. (2016). *Análise comparativa da capacidade de carga entre métodos teóricos e prova de carga direta para fundações superficiais*, Monografia, Chapecó, 81 p.
- Zagonel, T. C. (2017). *Viabilidade da aplicação de aditivo expansor de argamassa para melhoramento da resistência à tração em estacas escavadas*, Monografia, Chapecó, 92 p.