

# Aplicação do Método de Fellenius para a Avaliação da Transferência de Carga e do Módulo de Deformabilidade do Concreto Armado em Provas de Carga Instrumentadas

Luiz Felipe Goulart Fiscina

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, luizfiscina@gmail.com

Yuri Barbosa

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, ybarbosa39@gmail.com

Murilo Heryaldo Pinheiro Tarozzo

Unicamp, Sondosolo Geotecnia e Engenharia, Campinas, São Paulo, Brasil, murilo.tarozzo@gmail.com

David de Carvalho

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, d33c@uol.com.br

Paulo José Rocha de Albuquerque

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, pjra@unicamp.br

**RESUMO:** Avalia-se nesse trabalho a transferência de carga de duas estacas hélice contínua, instrumentadas, executadas e ensaiadas conforme Tarozzo e Carvalho (2019), sob a perspectiva da metodologia do módulo de deformabilidade secante e tangente de Fellenius (1989, 2019). Foi observado que os resultados de transferência de carga obtidos por meio da metodologia de Fellenius mostraram-se condizentes com a realidade de provas de carga estáticas em estacas de concreto armado, visto que existe uma redução do módulo de deformabilidade do concreto com o acréscimo de carga. Adicionalmente, obteve-se a taxa de degradação do módulo de deformação da estaca desenvolvido durante os estágios de carregamento e, conseqüentemente, os valores do módulo de deformação inicial, na carga de trabalho e na carga de ruptura. Por último, comparou-se os valores de módulo de deformabilidade obtidos pela instrumentação com os valores obtidos por meio da equação do módulo composto teórico sugerida por Fellenius (2019). Foi evidenciando uma estimativa do módulo composto teórico da ordem de duas vezes superior os valores do módulo de deformabilidade obtidos por meio da instrumentação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Prova de carga instrumentada, hélice contínua, transferência de carga, módulo de deformabilidade.

**ABSTRACT:** This paper evaluates the load transfer mechanism of two instrumented continuous flight auger, performed and tested according to Tarozzo and Carvalho (2013), under the Fellenius (1989, 2019) secant and tangent modulus methodology. It was observed that the results of the load transfer mechanism obtained by means of the Fellenius methodology proved to be more consistent with the reality of a static load test in reinforced concrete piles, since there is a reduction in the deformability modulus of the concrete with load increment. In addition, the rate of degradation of the deformation module throughout the loading stages was obtained and, consequently, the values of the deformation module under three load conditions: initial load, workload and failure load. Finally, the values of the deformability modulus obtained by instrumentation were compared with the values obtained through the equation of the theoretical composite module suggested by Fellenius (2019). It was verified an overestimation of the theoretical composite module of about 2 times the values of the deformability module obtained through instrumentation.

**KEYWORDS:** Instrumented static load test, continuous flight auger, load transfer mechanism, deformability modulus

## **1 Introdução**

A execução de provas de carga estáticas em elementos de fundações profundas é uma prática cada vez mais usual no cenário brasileiro. Esse tipo de ensaio tem como objetivo avaliar tanto o comportamento carga-recalque desses elementos como também avaliar a sua integridade (ALONSO, 2012). No Brasil, existe um consenso entre a comunidade geotécnica que a prova de carga é a forma mais efetiva de se avaliar o comportamento de uma fundação (DÉCOURT, 2008).

As provas de carga estáticas podem ser comuns ou instrumentadas ao longo do fuste (ALBUQUERQUE, 2001). A diferença entre elas é que, no segundo caso, além de se obter o comportamento carga-recalque na cabeça da estaca é possível se obter também a divisão entre a carga absorvida pelo fuste e pela ponta, além da transferência de carga ao longo do fuste. Finalmente, outro benefício que a instrumentação pode englobar é a verificação do módulo de deformabilidade do elemento estrutural, avaliando-se de certa forma a sua integridade.

Entre os diversos tipos de instrumentação utilizados na engenharia geotécnica, os extensômetros elétricos (strain gauge) são frequentemente utilizados para o estudo da distribuição de carga ao longo do fuste de estacas (ALBUQUERQUE, 2017). Esse tipo de instrumentação determina as deformações específicas ( $\epsilon$ ) em cada nível da estaca em um dado carregamento. Sendo assim, a deformação medida em cada trecho é convertida em tensão ( $\sigma$ ) a partir da utilização do módulo de deformabilidade ou módulo de Young ( $E$ ) do material da estaca.

A solução para a obtenção do módulo de deformabilidade do elemento estrutural é a chamada seção de referência, isto é, escava-se o solo ao redor da primeira seção instrumentada da estaca de forma a garantir que a tensão aplicada no topo da estaca seja a mesma tensão atuante nessa seção (Cintra et al., 2013). Portanto, segundo esses autores, as tensões atuantes nas demais seções ao longo do fuste serão obtidas a partir da Teoria Clássica da Elasticidade ou Lei de Hooke, dadas pela multiplicação do módulo de deformabilidade ( $E$ ) obtido na seção de referência (considerado constante ao longo do fuste) pela deformação específica medida em cada nível instrumentado ( $\sigma = E \text{ vs } \epsilon$ ).

De acordo com Fellenius (2019), o módulo de deformabilidade do aço é conhecido de forma mais precisa ( $E = 205 \text{ GPa}$ ) do que o do concreto, principalmente devido ao rigor do seu processo de fabricação e por ser um elemento homogêneo. Segundo o mesmo autor, o módulo de deformabilidade do concreto pode assumir diversos valores por ser um material heterogêneo, além desse ser função da tensão aplicada. Em outras palavras, o concreto apresenta uma degradação do valor do módulo de deformabilidade com o aumento da tensão aplicada, (FELLENIOUS, 1989). Portanto, a utilização de um módulo de deformabilidade constante para a avaliação da transferência de carga em estacas de concreto armado pode acarretar resultados fora da realidade. Sendo assim, Fellenius (1989, 2019) propôs a utilização do módulo de deformabilidade secante a partir da determinação do módulo de deformabilidade tangente para a obtenção das tensões atuantes em cada nível instrumentado ao longo do comprimento da estaca. Vale ressaltar que ambos os módulos levam em consideração a variabilidade do módulo de deformação do concreto.

Finalmente, avalia-se nesse trabalho a transferência de carga de duas estacas instrumentadas do tipo hélice contínua em função da redução do módulo de deformação do concreto com acréscimo de carga. Todas elas foram executadas em solo arenoso, poroso e não saturado, típico da cidade Campinas/SP, e submetidas a provas de carga estática do tipo lenta. Complementarmente, comparou-se os valores de módulo de deformabilidade do elemento estrutural (concreto armado) obtidos pela instrumentação com os valores obtidos por meio da equação do módulo composto teórico sugerida por Fellenius (2019).

## **2 Metodologia de Fellenius (1989)**

### **2.1 Generalidades**

Fellenius (1989) introduziu o conceito de módulo de deformabilidade tangente, ou simplesmente módulo tangente, como forma de avaliar a transferência de carga ao longo do fuste em estacas. Segundo o autor, estacas isoladas submetidas a cargas axiais de compressão se comportam de forma similar a um pilar com a adição do efeito da resistência por atrito lateral que o solo impõe ao seu redor. Sendo assim, quando

todo o atrito lateral de uma estaca é plenamente mobilizado durante um carregamento, tem-se que o seu comportamento é semelhante ao de um pilar do mesmo material em termos de tensão-deformação (Figura 1A).

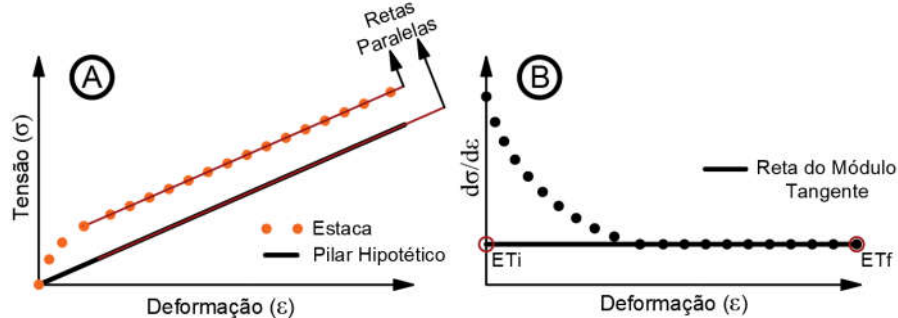


Figura 1. Dados típicos de uma prova de carga estática instrumentada em uma estaca de módulo constante (A) Gráfico de carga x deformação da cabeça da estaca e de um pilar hipotético e (B) Gráfico módulo de tangente x deformação (Modificado de Fellenius, 1989)

A inclinação da reta de ambos elementos se traduz no módulo de deformação do elemento estrutural (retas paralelas entre si) e, portanto, a diferença entre as duas retas é a resistência por atrito lateral proveniente da ação do solo no fuste da estaca. Na prática, a visualização do ponto em que a resistência por atrito lateral é plenamente mobilizada é uma tarefa não trivial e de difícil determinação, especialmente quando se analisa apenas o gráfico exposto pela Figura 1A. No entanto, ao se plotar a relação entre acréscimo de carga por acréscimo de deformação (eixo Y) em função da deformação (eixo X), esse ponto se torna de fácil visualização (Figura 1B). Dessa maneira, o atrito lateral no caso hipotético ilustrado na Figura 1B foi plenamente mobilizado ao atingir a linearidade da curva. Vale ressaltar que o módulo tangente é justamente a relação entre o acréscimo de tensão ( $\sigma$ ) por acréscimo de deformação ( $\epsilon$ ), quando o atrito lateral foi plenamente mobilizado.

Segundo Fellenius (1989), esse é um caso típico do comportamento de estacas metálicas pois tanto o módulo tangente inicial ( $ET_i$ ) como o módulo tangente final ( $ET_f$ ) são iguais, isto é, não houve degradação do módulo de deformabilidade do elemento estrutural (Figura 1b). Em outras palavras, pode-se dizer que o módulo tangente é igual ao módulo de Young ( $E$ ) da metodologia descrita por Cintra et al. (2013), que neste caso é considerado constante com o acréscimo de tensões. Um exemplo no caso prático comprovando esse comportamento pode ser visto em Fellenius et. al. (1989).

Por outro lado, quando se trata de estruturas de concreto armado, a análise do ponto de saturação da resistência por atrito lateral torna-se complexa pois existe uma degradação do módulo de deformabilidade do concreto em função do acréscimo de tensões. Dessa forma, tanto os dados de tensão-deformação da estaca como os do pilar hipotético de concreto armado terão um comportamento não linear (Figura 2A). Sendo assim, identificar o momento exato em que as curvas tendem a ficar paralelas entre si, isto é, o instante em que ocorre a plena mobilização do atrito lateral, é uma tarefa de elevado grau de complexidade.

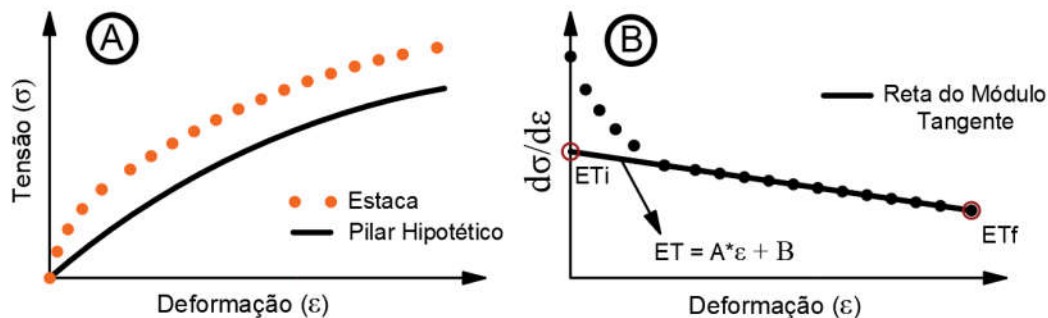


Figura 2. Dados típicos de uma prova de carga estática instrumentada em uma estaca de concreto armado (A) Gráfico de carga x deformação da cabeça da estaca e de um pilar hipotético e (B) Gráfico módulo de tangente x deformação (Modificado de Fellenius, 1989)

No entanto, ao se aplicar a abordagem do módulo tangente, a visualização do momento em que o atrito lateral é plenamente mobilizado se torna mais nítida (Figure 2B). Após a mobilização da resistência geotécnica lateral, o módulo tangente assume o comportamento de uma linha retilínea decrescente, cuja inclinação (A) é igual ao valor da taxa de degradação do módulo de deformabilidade da estaca de concreto armado com o acréscimo de tensões (FELLENIUS, 1989). Exemplos no caso prático comprovando esse comportamento pode ser visto em Fellenius et. al. (2000) além de ser objeto do presente estudo. Finalmente, ressalta-se que nesse cenário o módulo tangente inicial (estaca sem carregamento) é diferente do módulo tangente final (último estágio de carregamento), ou seja, comprova-se de fato que existe uma deterioração do módulo de deformabilidade do concreto com o acréscimo de carga (Figura 2B).

## 2.2 Relações Matemáticas

As retas e curvas citadas anteriormente são expressas matematicamente pelas equações a seguir.

Equação do Módulo Tangente:

$$E_T = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = A \times \varepsilon + B \quad (1)$$

Onde:  $E_T$  é o módulo tangente do material da estaca;  $d\sigma$  ( $\sigma_{n+1} + \sigma_n$ ) é a variação de tensão de um dado carregamento para o próximo;  $d\varepsilon$  ( $\varepsilon_{n+1} + \varepsilon_n$ ) é a variação de deformação de um dado carregamento para o próximo;  $A$  é a taxa de redução do módulo tangente;  $\varepsilon$  é a deformação medida em um dado carregamento (sempre medida em Microstrain =  $\mu\varepsilon$ ); e  $B$  é o intercepto da reta do módulo tangente no eixo y (módulo tangente inicial).

Integrando-se a Eq. (1) tem-se que a tensão em uma determinada seção instrumentada de uma estaca é:

$$\sigma = \frac{1}{2} \times A \times \varepsilon^2 + b \times \varepsilon \quad (2)$$

ou

$$\sigma = E_S \times \varepsilon \quad (3)$$

onde  $E_S$  é o módulo secante, isto é:

$$E_S = \frac{A}{2} \times \varepsilon + B \quad (4)$$

Para se obter o valor da carga (P) que chega em cada seção instrumentada, divide-se o valor de tensão obtida pelas Eq. 2 ou 3 pela área da seção transversal da estaca. Por último, conforme discutido por Fellenius (2019), o módulo tangente (Eq. 1) é utilizado principalmente para avaliar em qual nível de carga o atrito lateral foi plenamente mobilizado enquanto o módulo secante (Eq. 2) é utilizado para determinar a transferência de carga ao longo da profundidade do elemento de fundação.

## 3 Caracterização do Local

Trata-se de um empreendimento que conta com a construção de cinco condomínios no distrito de Jardim Ouro Verde, na cidade de Campinas / SP, próximo ao Aeroporto de Viracopos (Tarozzo e Carvalho, 2019). Para o desenvolvimento do projeto de fundações foi executada uma campanha de investigação geotécnica composta por 10 ensaios do tipo SPT além de quatro provas de carga estáticas instrumentadas das quais duas são objeto desse estudo (ET-01 e ET-04).

Foi verificado que o perfil do subsolo da região do empreendimento possui pouca variabilidade, sendo composto por uma camada de 5,0 m de areia fina argilosa, marrom amarelada, fofa a pouco compacta de solo

sedimentar, seguida de uma camada de 8,0 m de areia fina siltosa, marrom amarelada, compacta a muito compacta de solo residual. Adicionalmente, o nível de água foi encontrado a uma profundidade média de 7,0 m. Em relação ao desenvolvimento do número de golpes  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade foi possível observar duas regiões geotécnicas de destaque (Figura 3). A primeira contendo os ensaios SPT-1 a SPT-4 e a segunda abrangendo os ensaios SPT-5 a SPT-10. Pode-se observar que na Região Geotécnica 1 o aumento do  $N_{SPT}$  com a profundidade se desenvolve de forma mais rápida que na Região Geotécnica 2. Enquanto a primeira região apresenta um  $N_{SPT}$  médio de 50 a uma profundidade média de 7 m a segunda região só alcança a mesma resistência à penetração a uma profundidade média de 9 m.

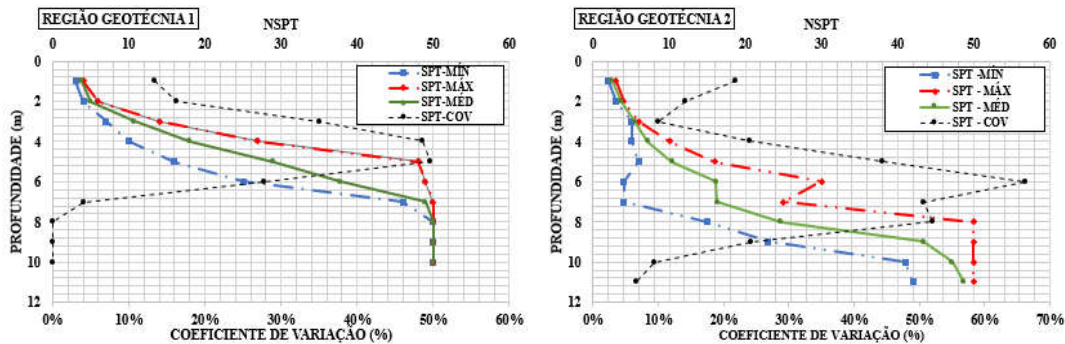


Figura 3. Desenvolvimento do  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade na Região Geotécnica 1 (à esquerda) e na Região Geotécnica 2 (à direita).

Em relação as estacas objeto desse estudo, uma delas foi executada na Região Geotécnica 1 (ET-04) enquanto a outra foi executada na Região Geotécnica 2 (ET-01).

#### 4 Prova de carga estática e instrumentação

O ensaio de carregamento estático do tipo lento foi executado de acordo com os preceitos indicados na ABNT NBR 12.131/2006, item 5.3.2, com o objetivo de atender aos itens 6.2.1.2.2 e 9.2.2.1 da ABNT NBR 6122/2019. Todas as estacas ensaiadas foram instrumentadas com strain-gauges colados em barras de aço complementares em três seções ao longo da profundidade. O tipo de conexão utilizada na instrumentação foi do tipo ponte completa (ALBUQUERQUE, 2017). A estaca ET-01 foi instrumentada nas cotas -0,5 m (seção de referência - SR), -6,0 m e -10,5 m enquanto a estaca ET-04 foi instrumentada nas cotas -0,5 m (SR), -5,0 m e -8,5 m.

A Tabela 1 expõe as características gerais das estacas ensaiadas bem como os principais resultados da prova da carga estática. Vale ressaltar que as estacas ET-01 e ET-04 sofreram ruptura estrutural no 18° e no 14° estágio de carregamento, respectivamente. Detalhes acerca do comportamento da curva carga-recalque encontra-se em Tarozzo e Carvalho (2019).

Tabela 1. Características e resultados gerais das estacas ensaiadas

Ensaio	$f_{ck_{projeto}}$ (MPa)	Armadura longitudinal	$\phi$ (mm)	10% $\phi$ (mm)	L (m)	$P_{trabalho}$ (kN)	$P_{máx}$ ensaio (kN)	Recalque <sub>trabalho</sub> (mm)	Recalque <sub>máx</sub> (mm)
ET-01	20	4x16 mm	300	30	11	450	1621	1,33	24,96
ET-04	20	4x16 mm	300	30	9	450	1252	1,26	9,46

Nota:  $\phi$  = diâmetro da estaca; L = comprimento da estaca; Q = carga

#### 4 Resultados e Discussões

##### 4.1 Avaliação da redução do módulo de deformabilidade tangente da estaca com o aumento do carregamento



A Figura 4 mostra os gráficos dos módulos tangentes das estacas ensaiadas. Pode-se verificar que o valor desse módulo converge para um comportamento linear decrescente em todas as seções instrumentadas em função do acréscimo de carga. Essa reta representa o módulo de deformação do elemento estrutural submetido à compressão, porém sem o efeito da resistência por atrito lateral. Adicionalmente, pode-se observar que na ET-01, para ambos os trechos instrumentados, há uma tendência de plena mobilização do atrito lateral já que a nuvem de pontos de ambos tende a interceptar a reta do módulo tangente. Em relação a ET-04 apenas o primeiro trecho instrumentado (SR → 5,0 m) apresenta esse comportamento.

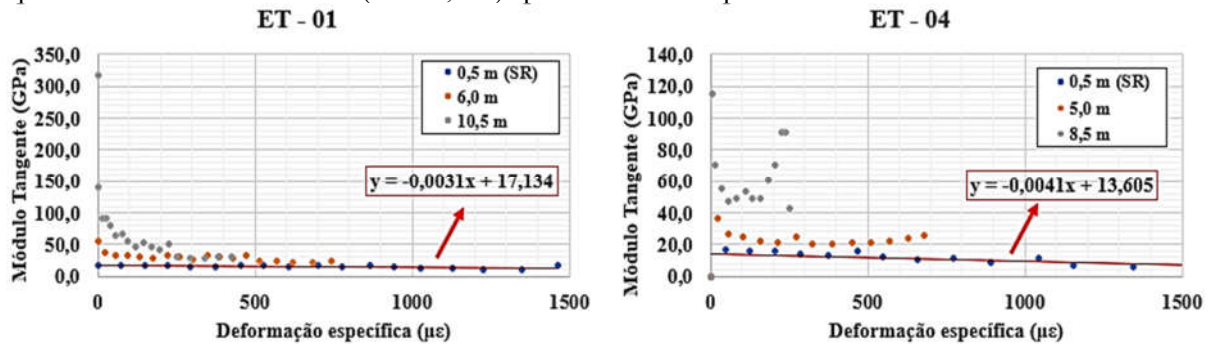


Figura 4. Degradação do módulo tangente das estacas ensaiadas

A Tabela 2 mostra os principais resultados obtidos a partir da análise dos resultados ilustrados na Figura 5, ou seja, os valores do módulo tangente inicial ( $ET_i$ ), do módulo tangente na carga de trabalho ( $ET_q$ ), do módulo tangente na ruptura ( $ET_f$ ) e os valores de degradação do módulo tangente ( $GPa/\mu\epsilon$ ) para cada estaca ensaiada.

Tabela 2. Módulos e degradação do módulo tangente

Estaca	$ET_i$ (GPa)	Degradação de ET ( $GPa/\mu\epsilon$ )	$ET_q$ (GPa)	$ET_f$ (GPa)
ET-01	17,134	-0,0031	15,975	12,382
ET-04	13,605	-0,0041	12,068	7,193

Pode-se observar que a estaca ET-01 apresentou menor taxa de degradação do módulo tangente quando comparada com a estaca ET-04. A primeira teve o seu valor de módulo tangente final reduzido da ordem de 27% do seu valor inicial enquanto a segunda atingiu uma redução crítica da ordem de 53% do seu valor inicial.

O módulo de deformabilidade da estaca ( $E_{estaca}$ ) foi calculado também a partir da equação do módulo composto teórico (Eq. 5) cujo valor é proporcional a área e o módulo dos materiais pertencentes à seção transversal da estaca (Fellenius, 2019).

$$E_{estaca} = \frac{E_{aço} \times A_{aço} + E_{concreto} \times A_{concreto}}{A_{aço} + A_{concreto}} \quad (5)$$

Onde:  $E_{aço} = 205$  GPa e  $E_{concreto} = \alpha \times 5600 \times f_{ck}^{1/2}$  (NBR 6118/2014).

O  $f_{ck}$  de projeto estabelecido foi de 20 MPa e  $\alpha$  de 1,2, referente à agregados constituídos de diabásio e basalto, resultando numa estimativa de  $E_{estaca}$  de 32 GPa, mostrando-se superior aos valores estimados pela instrumentação em profundidade (cerca de 1,8 a 2,4 vezes superior ao módulo de deformabilidade tangente inicial -  $ET_i$ ). Tal superestimativa pode ser proveniente da equação do módulo do concreto obtida a partir da NBR 6118/2014 a qual correlaciona o módulo do concreto com o  $f_{ck}$  de corpos de provas ensaiados em laboratório sob condições controladas. Destaca-se que no caso real pode haver influência do solo e de condições ambientais intensas (elevado índice pluviométrico e/ou elevadas temperaturas) no processo de cura do concreto, influenciando os valores da resistência a compressão desse elemento. Além disso, o módulo de deformabilidade do concreto utilizado nessa fórmula é considerado constante e, como já demonstrado nesse trabalho, o mesmo é função do nível de carregamento imposto em sua seção transversal.

## 4.2 Avaliação da transferência de carga

As transferências de carga por meio do método de Fellenius (1989, 2019), com auxílio das formulações matemáticas da seção 2.2, são apresentadas na Figuras 5. Complementarmente, a Tabela 3 apresenta os resultados obtidos das parcelas de atrito lateral e de resistência de ponta para as cargas máximas de cada estaca.

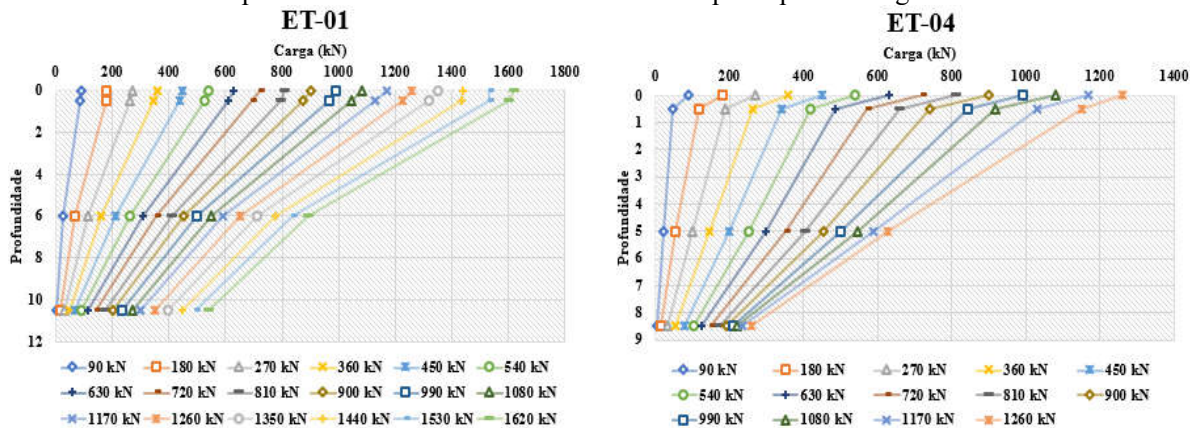


Figura 5. Transferência de carga ao longo da profundidade nas estacas ET-01 e ET-04

Tabela 3. Relações entre cargas máxima, lateral e de ponta para carga máxima do ensaio

Estaca	$Q_{\text{ensaio}}$ (kN)	$Q_{\text{ponta}}$ (kN)	$Q_{\text{ponta}}/Q_{\text{ensaio}}$	$Q_{\text{lateral}}$ (kN)	$Q_{\text{lateral}}/Q_{\text{ensaio}}$
ET-01	1621	542	0,33	1079	0,66
ET-04	1252	261	0,21	991	0,79

Com base nos dados da Figura 5 e da Tabela 4 é possível observar que ambas as estacas apresentaram na carga máxima do ensaio uma parcela de resistência por atrito lateral e uma parcela de resistência de ponta, sendo a última relativamente expressiva para o tipo de estaca em questão. Em média, as cargas de ponta e lateral foram respectivamente iguais a 27% e 73% da carga total aplicada na prova de carga estática.

Por meio da Figura 5, nota-se que as transferências de cargas fornecidas pela metodologia de Fellenius (1989, 2019) se dão principalmente no primeiro trecho da estaca, entre a seção de referência e a instrumentação logo abaixo. Esse comportamento também foi verificado no estudo de Tarozzo e Carvalho (2019) cujo trabalho analisou as mesmas estacas sobre a perspectiva da metodologia descrita por Cintra et al. (2013). No entanto, em Tarozzo e Carvalho (2019), os valores obtidos de transferência de carga no primeiro trecho foram superiores aos obtidos nesse estudo (da ordem de 13% superior). Esse fato é explicado pelo fato que a metodologia de Fellenius (1989, 2019) leva em consideração o módulo de deformabilidade secante ao longo do comprimento para cada estágio e, sendo as seções mais próximas à superfície as mais deformadas, estas apresentaram menores taxas de transferência quando comparadas às seções submetidas à um módulo de deformabilidade constante (E) ao longo do comprimento da estaca.

## 5 Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo analisar a transferência de carga de duas estacas hélices contínuas instrumentadas conforme a metodologia descrita por Fellenius (1989, 2019), isto é, levando em conta a redução do módulo de deformabilidade do concreto em função do acréscimo de carga durante um carregamento estático.

Com base nos dados fornecidos pela instrumentação foi possível estimar a taxa de degradação do módulo deformabilidade das estacas estudadas (-0,31 e -0,41 GPa/ $\mu\epsilon$ , respectivamente) além dos módulos de deformabilidade para três níveis de carga: inicial, de trabalho e de ruptura. Ao se comparar os módulos obtidos pela instrumentação com os obtidos a partir do módulo composto teórico, muitas vezes utilizado em análises prévias de comportamento de fundações, os resultados mostraram-se discrepantes. De forma geral, o valor obtido pelo módulo composto teórico ( $E_{\text{estaca,teórico}} = 32 \text{ GPa}$ ) ficou fora da faixa de  $7,193 \text{ GPa} \leq E_{\text{estaca,instrumentação}}$

$\leq 17,134$  GPa dos módulos obtidos em campo. Essa incompatibilidade de valores pode ser justificada pelo fato que o valor de módulo de deformabilidade do concreto utilizado na fórmula do módulo composto teórico é usualmente obtido a partir de correlações com a resistência característica do concreto medida em situações controladas (laboratório), fato esse pouco provável em uma situação de campo onde existe o efeito de condições ambientais intensas. Sendo assim, recomenda-se cautela ao utilizar essa equação para o cálculo do módulo de deformabilidade de estacas de concreto armado.

Em relação à transferência de carga, houve convergência das curvas e valores quanto aos atritos laterais e resistências de ponta em comparação aos resultados de Tarozzo e Carvalho (2019). Entretanto, a metodologia de Fellenius (1989, 2019) representa tal comportamento mais próximo da realidade, quando se considera o comportamento físico da estaca durante uma prova de carga, uma vez que é fundamentada na variação do módulo de deformabilidade da estaca ao longo da profundidade e dos estágios de carga, resultando em dados mais condizentes com a metodologia tradicional (Cintra et al., 2013), que admite módulo de deformabilidade constante.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudos oferecidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P. J. R. (2001) *Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: Estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo / USP, 297 p.
- Albuquerque, P. J. R. (2017) Electrical Resistance Strain Gages in Instrumentation of Deep Foundations. In: Bolivian Int. Conf. on Deep Foundation, 3, Santa Cruz de La Sierra. *Proceedings...* ISSMGE Events. 16 p.
- Alonso, U. R. (2012) Ensaio de integridade em estacas. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 7, São Paulo. *Anais...* Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. 7 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR 12131. *Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*. ABNT, Rio de Janeiro, 6 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. ABNT, Rio de Janeiro, 256 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. ABNT, Rio de Janeiro, 108 p.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Tsuha, C. H. C.; Giacheti, H. L. (2013) *Fundações: Ensaio estáticos e dinâmicos*. Oficina de Textos.
- Décourt, L. (2008) Provas de carga em estacas podem dizer muito mais do que têm dito. In: SEFE 6, São Paulo. *Anais...* Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. 20 p.
- Fellenius, B. H. (1989) Tangent modulus of piles determined from strain data. In: The ASCE Geotechnical Engineering Division Foundation Congress. v. 1, p. 500-510.
- Fellenius, B. H. (2019) Basics of foundation design (The Red Book). Disponível em: <<https://www.fellenius.net/papers/401%20The%20Red%20Book,%20Basics%20of%20foundation%20design%202020.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2020.
- Fellenius, B. H.; Brusey, W. G.; Pepe, F. (2000) Soil set-up, variable concrete modulus, and residual load for tapered instrumented piles in sand. In: Performance Confirmation of Const. Geot. Facilities. p. 98-114.
- Tarozzo, M. H. P.; Carvalho, D. (2019) Análise de Transferência de Carga de Estacas Hélice Contínua em Solo Arenoso e Colapsível de Campinas – SP. In: Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste – GEOCENTRO, 5, Brasília. *Anais...* Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. 8 p.