



## **Análise de recalques dos guindastes utilizados na construção de usina termelétrica**

### **Settlement analysis of cranes used in a thermoelectric power plant construction**

Priscila Pereira Cunha<sup>1</sup>  
Alessandra Conde de Freitas<sup>2</sup>  
Eduardo Cabral Vidal<sup>3</sup>

**Resumo:** Com a evolução da indústria da construção civil, é cada vez mais comum a utilização de guindastes em obras de diferentes portes, a fim de acelerar os processos, permitindo o atendimento do cronograma físico-executivo previsto, cada dia mais enxuto. No entanto, com a assídua utilização de guindastes em obras, é possível a ocorrência de acidentes devido ao tombamento dos mesmos, muitas vezes acarretando tragédias. Diversas podem ser as causas de tombamento de guindastes. No presente artigo pretende-se avaliar uma delas: o recalque diferencial entre patolas de guindastes, que para valores consideráveis, contribuem para a ocorrência de distorção angular acima da desejável e permitida para o uso adequado do equipamento. O caso estudado trata-se da Usina Termelétrica Mauá 3, no Amazonas, Brasil. Serão apresentados resultados de previsão de recalques absolutos de patolas de dois guindastes utilizados durante a construção da Usina. Os recalques absolutos foram estimados com base nos métodos de Barata (1984) e de Schmertmann et al (1978) e comparados aos resultados obtidos por método numérico, tendo sido utilizado o software Plaxis 2D. Com base nesses resultados foram, também, verificadas as distorções angulares obtidas com base em diferentes critérios. Adicionalmente, foi avaliada a influência do efeito de grupo na estimativa dos recalques obtidos pelos métodos citados anteriormente. Utilizando-se tal análise, foi possível avaliar se os recalques distorcionais (vinculados as distância entre duas patolas) obtidos atendem à especificação requerida pelo fabricante dos guindastes, concluindo-se, se haverá segurança na utilização dos mesmos no solo da região em questão.

**Palavras-chave:** Previsão de recalque, guindaste, método Barata, Método Schmertmann, Plaxis 2D.

<sup>1</sup> UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>2</sup> UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>3</sup> UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

**Abstract:** With the evolution of the civil construction industry, it is increasingly common the use of cranes in works of different sizes, in order to accelerate the processes, allowing to attend work's financial- physical schedule, each day leaner. Nevertheless, with the usage of cranes, it is possible to verify the occurrence of accidents due to the tipping of the same ones, often generating tragedies. There are several reasons to cranes' tipping. In the present article we intend to evaluate one of them: the differential settlement between crane pads, which in the case of assuming considerable values, contribute to the occurrence of angular distortion above the desirable and allowed for proper use of the equipment. The studied case is the Thermoelectric Plant Mauá 3, in Amazonas, Brazil. Prediction results will be presented for absolute settlement of two cranes used during the construction of the Plant. Absolute settlement were estimated based on the analytical methods Barata (1984) and Schmertmann et al. (1978) and were compared to the results obtained by numerical method, using Plaxis 2D software. Based on these results, we also verified the angular distortions obtained according to the different criteria. It was assessed whether the cranes met the required specification, and it was possible to determine if there would be safety in the use of the cranes in the place intended for installation, according to the soil characteristics of the region.

In addition, it was evaluated the group effect influence in the settlement prediction obtained through the methods mentioned above. Using this analysis was possible to evaluate if the distorcional settlements (related to pads distances) obtained met the crane's manufacturer specification, concluding whether it is possible to guarantee safety during cranes use.

**Keywords:** Barata Method, Schmertmann Method, Plaxis 2D, Settlement prediction, Cranes.

---

## 1. Introdução

Tendo em vista o fato de que o tombamento de um guindaste acarreta enormes prejuízos humanos e financeiros, torna-se de extrema importância a realização de avaliações rigorosas em relação à segurança operacional do equipamento. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo a estimativa da magnitude dos recalques absolutos em cada uma das patolas dos guindastes Terex-AC 350 e Terex AC-500 utilizados na obra da UTE Mauá 3 em Manaus a fim de verificar a segurança na utilização dos mesmos.

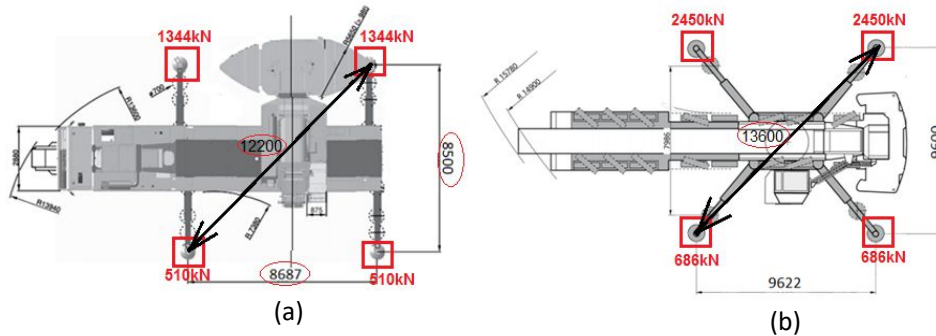
As patolas de ambos os guindastes possuem dimensões em planta de 2,5m x 2,5 m e são assentes em solo areno argiloso. Os recalques são estimados com base em duas metodologias analíticas: Método de Barata (1984) e Método de Schmertmann et al. (1978) e por método numérico que baseia-se no Método dos Elementos Finitos, através do software Plaxis 2D. Serão efetuadas duas verificações distintas: análise de patolas isoladas e a verificação da influência entre patolas vizinhas (efeito de grupo).

O fabricante dos guindastes prevê distorção angular,  $\theta$ , limite baseada nos recalques diferenciais entre patolas de cada guindaste e, por não terem sido fornecidos dados de instrumentação, utilizou-se tal restrição do fabricante para avaliação do desempenho dos mesmos, em termos de recalques.

## 2. Equipamentos utilizados

Foram utilizados diversos guindastes na construção da Usina. Neste estudo serão avaliados os guindastes Terex AC-350 e Terex AC-500. Cada guindaste foi assente em quatro patolas metálicas com largura  $B = 2,5$  m e comprimento  $L = 2,5$  m, posicionadas no nível do terreno natural. Nas Figuras 1a e 1b é possível observar os guindastes em questão, vistos em planta, com as respectivas distâncias entre patolas, bem como a carga aplicada em cada uma delas.

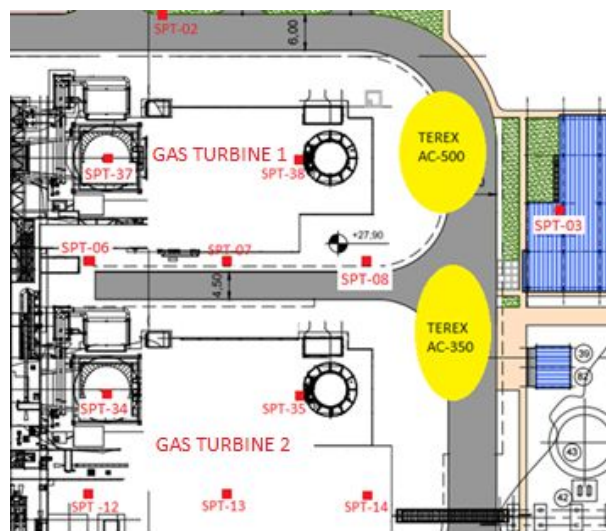
O guindaste Terex AC-350 trata-se de um guindaste de 12 rodas, que possui capacidade máxima de içamento de 350 toneladas quando a lança encontra-se a três metros do centro de massa do equipamento. É possível atingir-se até 64 metros de lança, com a redução de sua capacidade de carga para 5,8 toneladas. Já o guindaste Terex AC-500 é um guindaste de 16 rodas, com capacidade máxima de içamento de 500 toneladas quando a lança encontra-se a três metros do centro de massa do equipamento. É possível atingir-se até 56 metros de lança, com a redução de sua capacidade de carga para 18,6 toneladas.



**Figura 1.** Detalhes, em planta, das patolas e distâncias entre eixos – Em (a) Guindaste AC-350 e em (b) AC-500.

### 3. Sondagens Consideradas

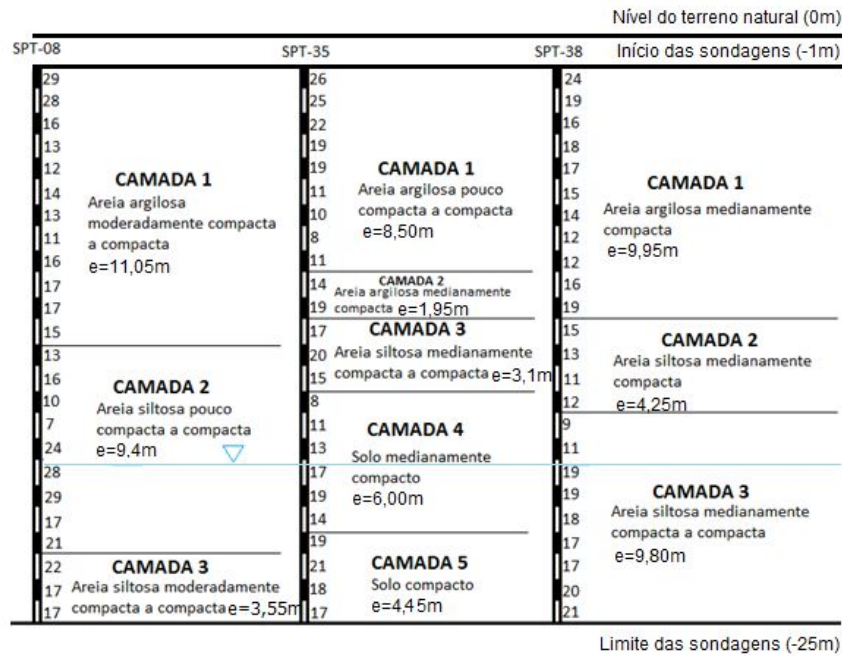
As posições de algumas das sondagens associadas ao SPT (Standard Penetration Test) realizadas próximas ao local previsto para posicionamento dos guindastes são mostradas na Figura 2, bem como a posição de operação dos mesmos.



**Figura 2.** Posição em planta das sondagens realizadas.

Observa-se que as sondagens mais representativas para o guindaste Terex AC-350 são as sondagens SPT-03, SPT-08, SPT-14 e SPT-35. Já para o guindaste Terex AC-500, as sondagens mais próximas são as SPT-03, SPT-08 e SPT-38. No presente estudo serão utilizadas as sondagens SPT-08 e SPT-3, para o AC-350, e as SPT-08 e SPT-38, para o AC-500, por terem sido disponibilizadas. Os perfis de sondagem referentes às sondagens SPT-08, SPT-35 e SPT-38 são mostrados na Figura 3.

Observa-se que, em todas as sondagens consideradas, há a predominância de solo areno-argiloso e que o nível d'água apresenta-se, em média, a 18,5 metros de profundidade.



**Figura 3.** Perfis estratigráficos SPT-08, SPT-35 e SPT-38 (“e” se refere a espessura das camadas).

#### 4. Previsão de recalques absolutos

##### 4.1. Método Barata (1984)

Segundo Barata (1984 e 1986), seu método pode ser aplicado para previsão de recalque de fundações superficiais assentes em terrenos de compressibilidade rápida, como é o caso da areia siltosa e da areia argilosa do caso em estudo. Barata (1962, 1966 e 1967) propõe a seguinte expressão:

$$r_h = \lambda \cdot c_A \cdot \Delta p \cdot \frac{B}{E_Z} \cdot (1 - \mu^2) \quad (1)$$

Na qual  $r_h$  é o recalque estimado da fundação na profundidade de assentamento  $h$ ;  $\lambda$  é o coeficiente que considera o efeito do embutimento da fundação, chamado de coeficiente de Mindlin;  $c_A$  é o fator de forma da fundação, que leva em consideração a relação  $L/B$  (razão da maior dimensão pela menor dimensão da fundação);  $\Delta p$  é a tensão líquida uniformemente distribuída na base da fundação analisada;  $B$  é a menor dimensão da fundação ou seu diâmetro; e  $E_Z$  e  $\mu$  são respectivamente o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do terreno.

Barata (1984) sugere adotar-se a expressão (2) para estimativa do Módulo de elasticidade do solo,  $E_z$ , o cerne do seu método. Barata sugere, também, considerar-se na expressão (1) o valor de  $E_z$  representativo do meio do bulbo de pressões. Na expressão (2),  $q_c$  é a resistência de ponta do ensaio de cone e o parâmetro  $a$ , designado por Barata como coeficiente de Buisman, depende do tipo de solo. Já o fator  $K$ , sugerido por Danziger (1982), correlaciona os parâmetros dos ensaios SPT e de cone, em função do tipo de solo.

Existem casos, todavia, na prática das fundações, em que não se dispõe do ensaio de cone. Nesses casos, é possível utilizar correlação entre a resistência de ponta do cone e o  $N_{SPT}$ , conforme expressão (3). Sendo  $K$  o fator que correlaciona às referidas resistências, sugerido por Danziger (1982). Neste estudo, utilizou-se  $K= 5,3 \text{ kgf/cm}^2$  de modo a melhor representar a presença de solo areno-argiloso presente na região mais afetada pelo carregamento.

$$E_z = a \times q_c \quad (2)$$

$$q_c = K \cdot N_{SPT} \quad (3)$$

No presente estudo, foram considerados dois casos de análise de recalque por este método: **Caso A**, que utiliza módulo de elasticidade,  $E_z$ , estimado considerando-se toda a profundidade (25 m) ensaiada nos boletins de sondagem representativos para cada guindaste (SPT-8 e SPT-350 para o guindaste Terex AC-350 e SPT-8 e SPT-38 para o guindaste Terex AC-500) e, **Caso B**, que faz uso do módulo de elasticidade  $E_z$  estimado considerando-se profundidade mais afetada pelo carregamento (trecho do bulbo de pressão +1 m = 6m).

Os valores de  $E_z$  utilizados na estimativa de recalque das patolas dos guindastes foram obtidos graficamente (perfil profundidade  $\times E_z$ ). Os valores de  $E_z$  mostrados na Tabela 1 são referentes à profundidade do meio do bulbo de pressão que, nesta análise, é igual a 2,5 metros, uma vez que a profundidade atingida pelo bulbo de pressões é dada pela equação  $\alpha.B$ , sendo  $\alpha$  a relação entre o comprimento e largura da fundação ( $L/B$ ), neste caso igual a 1, portanto  $\alpha=2$  e, por fim  $\alpha.B= 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ m}$ .

A tensão líquida uniformemente distribuída na base da fundação ( $\Delta p$ ) utilizada na estimativa dos recalques foi baseada nas cargas aplicadas por patola. Para o guindaste AC-350, considerou-se  $\Delta p$  de 81,6 e 21,5kN/m<sup>2</sup>, para as cargas de 510 e 1344 kN, respectivamente. Já para o AC-500 usou-se  $\Delta p$  de 109,8 e 392 kN/m<sup>2</sup>, para cargas de 686 e 2450 kN, respectivamente.

Além dos dados mostrados na Tabela 1, as seguintes condições de contorno foram consideradas no cálculo dos recalques: (i) solo é predominantemente areno-argiloso, sendo  $a=1,2$  e  $k=5,3 \text{ kgf/cm}^2$ ; (ii) patolas ( $B=2,5\text{m}$  e  $L= 2,5\text{m}$ , sendo  $c_\Delta=0,82$ ) foram assentes no nível

do terreno, ou seja, não houve embutimento, assim  $\lambda=1$ ; (iii) pressão transmitida pela base das patolas foi estimada com base em informações fornecidas pelo fabricante dos equipamentos. Utilizando-se a equação (1) foram obtidos os recalques mostrados na Tabela 2.

**Tabela 1.** Valores de  $E_z$  usados na estimativa de recalque das patolas dos guindastes.

Guindaste Terex AC-350								
Sondagem analisada	SPT-08				SPT-35			
Guindaste Terex AC-350	Terex AC-350				Terex AC-350			
	Caso A		Caso B		Caso A		Caso B	
Carga aplicada na patola (kN)	1344	510	1344	510	1344	510	1344	510
$E_z(\text{kN/m}^2)=$	13000	13456	13000	13456	12900	14655	12900	14655
Sondagem analisada	SPT-08				SPT-38			
Guindaste Terex AC-500	Terex AC-500				Terex AC-500			
	Caso A		Caso B		Caso A		Caso B	
Carga aplicada na patola (kN)	2450	686	2450	686	2450	686	2450	686
$E_z(\text{kN/m}^2)=$	13000	13456	13000	13456	12100	11100	12100	11100

**Tabela 2.** Recalques absolutos obtidos pelo método Barata (1984).

Guindaste	Carga avaliada	Recalque (mm)					
		(SPT-08)		(SPT-35)		(SPT-38)	
		Caso A	Caso B	Caso A	Caso B	Caso A	Caso B
AC-350	510 kN	11,7	11,3	11,8	10,4	*	*
	1344 kN	30,9	29,8	31,1	27,4	*	*
AC-500	686 kN	15,8	15,2	*	*	16,9	18,5
	2450 kN	56,3	54,3	*	*	60,4	65,9

#### 4.2. Método Schmertmann et al. (1978)

Este método foi desenvolvido para possibilitar a estimativa de recalques de fundações superficiais assentes em solo arenoso. A seguinte expressão para estimativa de recalques foi proposta por Schmertmann (1970):

$$\rho = C_1 \times C_2 \times \Delta p \times \sum \frac{I_{ZP}}{E_s} \cdot \Delta z \quad (4)$$

Na equação (4),  $C_1$  é o fator relacionado ao efeito do embutimento da fundação,  $C_2$  é o fator que considera o efeito do tempo (“creep”),  $I_{ZP}$  é o fator de influência para cada uma das subcamadas de espessura  $\Delta z$ , a qual não deve ser maior que  $B/2$  (sendo  $B$  a menor dimensão da fundação);  $E_s$  é o módulo de elasticidade de cada subcamada, sendo para fundações quadradas,



$E_s = 2,5 \cdot q_c$  (Schmertmann et al., 1978);  $\Delta p$  é a tensão líquida atuante na profundidade de assentamento da fundação.

Os fatores  $C_1$  e  $C_2$  são dados pelas equações (5) e (6), respectivamente.

$$C_1 = 1 - 0,5 \frac{\sigma'_{vb}}{\Delta p} \quad (5)$$

$$C_2 = 1 + \log \frac{t}{t_0} \quad (6)$$

Onde,  $\Delta p = p - \sigma'_{vb}$  = tensão líquida na fundação,  $\sigma'_{vb}$  = tensão vertical efetiva ao nível da base da fundação,  $t$  = tempo para avaliação dos recalques e  $t_0$  = tempo de referência, assumido como 0,1 ano. Em ambos os casos estudados,  $C_1$  e  $C_2$  serão iguais a 1,  $C_1$  pelo fato do embutimento ser nulo, ou seja, não há sobrecarga de terreno no nível da base das patolas ( $\sigma'_{vb} = 0$ ) e  $C_2 = 1$  pois a análise é feita para recalque imediato.

O fator de influência para cada uma das subcamadas de espessura  $\Delta z$  é dado pela equação (7). Seu valor varia de acordo com a patola analisada, uma vez que depende da carga aplicada na mesma, que varia conforme o guindaste avaliado (Tabela 1).

$$I_{z(máx)} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\left(\frac{p - \sigma'_{vb}}{\sigma'_{vp}}\right)} \quad (7)$$

A tensão líquida uniformemente distribuída na base da fundação ( $\Delta p$ ) utilizada é similar à mostrada no item anterior (4.1). No caso em questão, as patolas possuem  $L = B = 2,5$  m, deste modo, considerou-se, em todas as análises, a distribuição do fator de influência das deformações para a condição axissimétrica ( $L/B = 1$ ). A Tabela 3 mostra os valores de  $I_{z(máx)}$  considerados para cada guindaste, sondagem e carga atuante na patola considerada.

**Tabela 3.** Valores de  $I_{z(máx)}$  utilizados na análise de recalques.

Sondagem analisada	SPT-08		SPT-35	
<b>Guindaste Terex AC-350</b>				
Carga aplicada na patola (kN)	1344	510	1344	510
$I_{z(máx)} =$	0,81	0,69	0,81	0,69
Sondagem analisada	SPT-08		SPT-38	
<b>Guindaste Terex AC-500</b>				
Carga aplicada na patola (kN)	2450	686	2450	686
$I_{z(máx)} =$	0,92	0,72	0,92	0,72

Utilizou-se a equação  $E_s = 2,5 \cdot q_c$  (Schmertmann et al., 1978), uma vez que as, para os guindastes descritos, as patolas são quadradas, conforme citado anteriormente. Na obtenção de



$q_c$  (resistência de ponta no ensaio de cone) de cada uma das subcamadas de espessura  $\Delta z$  utilizou-se a correlação prevista por Danziger (1982) na equação (3). Sendo assim, foi possível obter os valores de recalques mostrados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resumo dos valores de recalques obtidos pelo Método Schmertmann (1977).

Guindaste	Carga avaliada (kN)	SPT-08	SPT-35	SPT-38
AC-350	510	4,4 mm	4,7 mm	*
	1344	13,7 mm	14,3 mm	*
AC-500	686	9,3 mm	*	11,2 mm
	2450	37,8 mm	*	24,4 mm

\* Valor de recalque não se aplica ao caso analisado

### 4.3. Plaxis 2D

O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma das ferramentas numéricas mais utilizadas na prática de projeto atual em razão de sua capacidade de simular diversas condições de contorno, incorporando diferentes etapas construtivas e modelos constitutivos diversos. Neste item, os recalques, causados pelas cargas operacionais dos guindastes, serão avaliados com o uso do MEF através de análise bidimensional no software Plaxis 2D, descrito por Brinkgreve (2002) como um programa de elementos finitos específico para análises de deformações e estabilidade de obras geotécnicas.

Para análise no Plaxis 2D são necessários alguns parâmetros do solo que devem ser estimados de acordo com a experiência e conhecimento do engenheiro, caso não seja possível a realização de ensaios em laboratório.

Com o intuito de tornar comparável o número de golpes,  $N_{SPT}$  em diferentes países, foi preciso padronizar os resultados obtidos no ensaio SPT. Pesquisas desenvolvidas por Palacios (1977) e Schmertmann e Palacios (1979) mostraram que o número de golpes no ensaio,  $N_{SPT}$ , é inversamente proporcional à energia que chega ao topo da composição de hastes, ao menos para  $N$  até 50. A ISSMFE (1989) estabeleceu 60% da energia potencial teórica ( $E^* = 474 \text{ J}$ ) como a referência internacional. Então, havendo a realização do ensaio SPT, o valor de  $N_{SPT}$  deve ser convertido para  $N_{60}$ , através da expressão (8).

$$N_{60} = N_{SPT} \frac{E}{E_{60}} \quad (8)$$

Na equação (8)  $E$  é a energia real aplicada ao amostrador, correspondente a  $N_{SPT}$ , e  $E_{60}$  corresponde a 60% da energia potencial teórica. Se a energia  $E$  é conhecida, a expressão acima deve ser usada. Caso não o seja, há necessidade de uma estimativa do valor de  $E$ . Levando em consideração uma eficiência do ensaio brasileiro de 72%, Decourt et al. (1989) sugeriu que no Brasil fosse utilizada a seguinte expressão

$$\frac{E}{E_{60}} = 1,20 \quad (9)$$

Para a estimativa do módulo de elasticidade do solo, foram utilizadas duas abordagens:

- a) De acordo com Schnaid (2000) para solos arenosos  $\frac{E}{N_{60}} = 3,4$ . Com isso,  $E = 3,4 N_{60}$  (MPa). Correlacionando essa expressão, na expressão (9) obtém-se a expressão (10).

$$E = 3,4 \cdot (1,2 \cdot N_{SPT}) \cdot 10^3 = 4080 \cdot N_{SPT} \text{ (em kPa)} \quad (10)$$

- b) De acordo com Freitas, Pacheco e Danziger (2012), o módulo de elasticidade de areias sedimentares pode ser estimado de acordo com a seguinte expressão  $E = 8000 \cdot N_{60}^{0,8}$ . Substituindo esta expressão na expressão (8) obtemos a equação (11).

$$E = 8000 \cdot (1,2 \cdot N_{SPT})^{0,8} \approx 9256 \cdot N_{SPT}^{0,8} \text{ (em kPa)} \quad (11)$$

Além do módulo de elasticidade, são necessários mais alguns parâmetros para utilização do software Plaxis 2D. Utilizou-se Coeficiente de Poisson,  $\nu = 0,3$ , pois para solos de compressibilidade rápida, é aceitável utilizar tal valor, na maioria dos casos. Este estudo se enquadra na descrição, uma vez que se trata de solo predominantemente arenoso.

Na análise numérica (Plaxis 2D) foi considerado peso específico do solo de  $\gamma_{nat} = 18$  kN/m<sup>3</sup>, que considerou o tipo de solo encontrado nas sondagens disponíveis (em todas elas, solo areno-argiloso), bem como a ausência de nível d'água na profundidade mais relevante para análise do recalque (profundidade do bulbo de pressão).

As placas de apoio (patolas) como já citado no item 2 possuem dimensões de 2,5 m x 2,5 m e espessura de 0,050 m. As mesmas foram modeladas utilizando-se elemento de placa disponível no Plaxis 2D (plate). Utilizou-se, também, os seguintes dados referentes às placas: (i) Módulo de rigidez axial - EA (kN/m); (ii) Módulo de rigidez à flexão EI (kN.m<sup>2</sup>/m) e (iii) Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Sendo  $E$  o módulo de elasticidade,  $A$ , a área da placa e  $I$  o momento de inércia à flexão. O procedimento para obtenção destes parâmetros é apresentada a seguir.

Para as modelagens numéricas realizadas neste trabalho, foi adotada a consideração de estado plano de deformação. Esta condição é muito utilizada para análise de obras geotécnicas

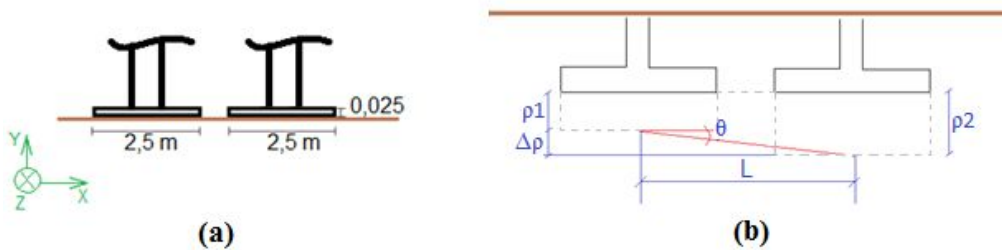
(barragens, túneis, fundações corridas, etc.) e envolve as seguintes hipóteses sobre geometria, carregamento e parâmetros constitutivos: (i) Uma das dimensões do corpo é muito maior do que as outras duas, permitindo que uma seção transversal qualquer possa ser considerada como “seção de simetria” e, conseqüentemente, apresentando deformações nulas ortogonalmente ao plano XY da Figura 4a; (ii) Os parâmetros elásticos não variam ao longo da maior dimensão do corpo e (iii) O carregamento não varia ao longo da maior dimensão do corpo e tampouco apresenta componente nessa direção.

A fim de ser contemplado o fato da placa possuir dimensão finita de 2,5 metros no eixo z (Figura 4a), e não muito maior que as demais como requerido no modelo de estado plano de deformações, utilizou-se o seguinte artifício: Dividiu-se o valor de E.A e E.I pela dimensão da placa no eixo Z, que é igual a 2,5 metros. Tal artifício é frequentemente utilizado em análises numéricas bidimensionais.

Os módulos de rigidez axial e à flexão, respectivamente E.A e E.I são estimados, para a situação estudada, conforme mostrado nas equações a seguir. Sendo  $E_{aço} = 210 \text{ GPa}$ ,  $B = 2,5 \text{ m}$  e  $e = 0,025 \text{ m}$ . Substituindo esses valores nas equações e obtêm-se:

$$E.A = (E_{aço} \cdot B \cdot e) / 2,5 = \frac{[210000000 \times (2,5 \times 0,025)]}{2,5} = 525000 \text{ kN/m} \quad (12)$$

$$E.I = (E_{aço} \frac{B \cdot e^3}{12}) / 2,5 = \frac{[210000000 \times \frac{(2,5 \times 0,025^3)}{12}]}{2,5} = 27,3 \text{ kN.m}^2/\text{m} \quad (13)$$



**Figura 4. (a)** Detalhe das patolas em relação aos eixos considerados no Plaxis 2D. **(b)** Esquema indicando recalque diferencial.

Cumprе salientar que recalque diferencial é a diferença entre recalques absolutos de duas fundações distintas ou de dois pontos de uma mesma fundação. Na Figura 4b, o recalque diferencial é dado por  $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ . Introduzindo-se a distância entre os eixos das fundações  $L$  (Figura 4b), é possível obter o recalque distorcional dado por  $\rho_{dist} = \Delta\rho / L$ . Calculando-se a tangente de  $\rho_{dist}$ , é possível obter a inclinação, ângulo  $\theta$ , referente ao  $\rho_{dist}$  analisado.

#### 4.3.5. Resultados obtidos

A partir das considerações feitas no item anterior, obtiveram-se os resultados gráficos para cada patola analisada individualmente. Um exemplo de saída gráfica do Plaxis 2D é apresentado na Figura 6a. A partir dos resultados gráficos, foi possível obter os recalques absolutos mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Recalques obtidos através de método numérico (Plaxis 2D)

Guindaste	Carga avaliada	Recalques de patolas isoladas (mm) Com módulo E obtido por Schnaid (2000)			Recalques de patolas isoladas (mm) Com módulo E obtido por Freitas, Pacheco e Danziger (2012)		
		SPT-08	SPT-35	SPT-38	SPT-08	SPT-35	SPT-38
AC-350	510 kN	7,9	8,4	*	6,2	6,5	*
	1344 kN	20,6	21,9	*	16,1	17,1	*
AC-500	686 kN	10,6	*	12,1	8,3	*	9,3
	2450 kN	37,6	*	43,3	29,3	*	33,1

### 5. Análise de recalques distorcionais

De acordo com o fabricante dos guindastes, para os modelos de equipamentos estudados neste trabalho (AC-350 e AC-500), o ângulo máximo ( $\theta$ ), cuja tangente é o recalque distorcional ( $\rho_{dist}$ ), deve ser no máximo igual  $0,1^\circ$ , referente a um recalque distorcional limite de  $1/573$ , garantindo assim segurança de utilização dos equipamentos.

Os guindastes analisados possuem distâncias variadas entre patolas, conforme anteriormente mostrados nas Figuras 1a e 1b. A partir das distâncias e dos recalques absolutos estimados no item anterior, torna-se possível calcular os recalques distorcionais, avaliando se os mesmos estão de acordo com o critério especificado pelo fabricante.

#### 5.1. Guindaste Terex AC-350

De acordo com as características do guindaste AC-350, a menor distância entre patolas carregadas com cargas distintas é 8,50 metros e a maior distância possível entre as mesmas é 12,2 metros, conforme Figura 1a. Sendo assim, serão apresentadas análises de modo a verificar, para cada método analítico se, para estas distâncias entre eixos de patolas, o recalque distorcional atende à especificação do fabricante, que se dá em função do ângulo  $\theta$ , já apresentado anteriormente.

### 5.1.1. Recalques distorcionais

Levando em consideração os recalques mostrados nas Tabelas 2, 4 e 5, bem como a menor e a maior distância entre patolas mostrada na Figura 1a, foram obtidos os recalques distorcionais e ângulos  $\theta$  mostrados na Tabela 6, considerando os casos A e B, avaliados no Método Barata (1984), no Método Schmertmann et al. (1978) e, através do software Plaxis 2D.

A partir dos resultados mostrados na Tabela 6 nos casos em que se considerou a sondagem SPT-08 verifica-se que o método de análise de recalque que apresentou menores valores de  $\theta$  foi o Schmertmann et al. (1978), com valores de  $0,06^\circ$  e  $0,04^\circ$  nos casos de distância entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente. Já o método Barata (1984) Caso A, forneceu maiores valores de  $\theta$  dentre todos os avaliados, sendo  $0,13^\circ$  e  $0,09^\circ$  nos casos de distância entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente.

A partir do apresentado anteriormente, como era esperado, é possível verificar que as inclinações obtidas (valores de  $\theta$ ) foram maiores quando foi considerada distância entre patolas de menor magnitude. Observa-se, também, que, em média, todos os métodos apresentaram inclinações, valores de  $\theta$ , dentro do limite previsto pelo fabricante, igual a  $0,1^\circ$ . Com isso, pode-se concluir que, baseado na sondagem SPT-08, sendo a mesma representativa do terreno, é possível garantir segurança, em relação ao recalque diferencial, na utilização do guindaste no solo avaliado, de acordo o critério estabelecido pelo fabricante do equipamento.

A partir dos resultados mostrados na Tabela 6 nos casos em que se analisou a sondagem SPT-08 verifica-se que o método de análise de recalque que apresentou menores valores de inclinação,  $\theta$ , foi o de Schmertmann et al. (1978), com valor igual a  $0,06^\circ$  e  $0,04^\circ$  para os casos em que se considerou distâncias entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente. Já o método Barata (1984) Caso A, apresentou maiores inclinações,  $\theta$ , dentre todos os avaliados, sendo  $0,13^\circ$  e  $0,09^\circ$  nos casos de distância entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente.

Deste modo, é possível verificar, conforme esperado, que as inclinações obtidas foram maiores quando foi considerada a menor distância entre patolas. Observa-se, também, que, em média, todos os métodos apresentaram inclinações,  $\theta$ , dentro do limite previsto pelo fabricante, igual a  $0,1^\circ$ . Com isso, pode-se concluir que ao se considerar a sondagem SPT-08 como representativa do terreno, é possível garantir segurança, em relação ao recalque diferencial, na utilização do guindaste no solo avaliado, de acordo o critério estabelecido pelo fabricante do equipamento.

Considerando-se novamente a tabela 6, avaliando-se os resultados obtidos para o guindaste AC-350 a partir da sondagem SPT-35, verifica-se que o método que forneceu

menores inclinações,  $\theta$ , foi o de Schmertmann et al. (1978), com valores de  $0,06^\circ$  e  $0,05^\circ$  para os casos de distância entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente. Já o método Barata (1984) Caso A, forneceu maiores inclinações dentre todos os métodos avaliados, sendo  $0,10^\circ$  e  $0,09^\circ$  para os casos de distância entre patolas de 8,5 e 12,2 metros, respectivamente.

Verifica-se que as inclinações,  $\theta$ , conforme esperado, tenderam novamente a serem maiores quando se considerou a menor distância entre patolas. Nota-se que para ambas as distâncias entre patolas consideradas nas análises, de acordo com a sondagem SPT-35, os métodos forneceram inclinações,  $\theta$ , dentro do limite indicado pelo fabricante, igual a  $0,1^\circ$ . Com isso, pode-se concluir que, baseado nesta sondagem, é possível garantir segurança, em relação ao recalque diferencial, na utilização do guindaste no solo avaliado, de acordo o critério estabelecido pelo fabricante do equipamento.

**Tabela 6.** Recalques para distâncias entre patolas de 8,50 m e 12,20 m - SPT-08 e SPT-35

Distância entre patolas (m)	Sondagem considerada	Tipo de Recalque	Barata Caso A		Barata Caso B		Schmertmann et al.		Plaxis 2D (E por Schnaid 2000)		Plaxis 2D (E por Freitas et al 2012)	
			Q=1344kN	Q=510kN	Q=1344kN	Q=510kN	Q=1344kN	Q=510kN	Q=1344kN	Q=510kN	Q=1344kN	Q=510kN
8,5	SPT-08	Absoluto (mm)	30,9	11,7	29,8	11,3	13,7	4,4	20,6	7,9	16,1	6,2
8,5	SPT-08	Diferencial (mm)	19,1		12,7		9,3		12,7		9,9	
8,5	SPT-08	Distorcional	0,00220		0,00146		0,00107		0,00149		0,00116	
8,5	SPT-08	$\theta(^{\circ})$	0,13		0,08		0,06		0,09		0,07	
12,2	SPT-08	Absoluto (mm)	30,9	11,7	29,8	11,3	13,7	4,4	20,6	7,9	16,1	6,2
12,2	SPT-08	Diferencial (mm)	19,1		18,5		9,3		12,7		9,9	
12,2	SPT-08	Distorcional	0,00157		0,00152		0,00076		0,00104		0,00081	
12,2	SPT-08	$\theta(^{\circ})$	0,09		0,09		0,04		0,06		0,05	
8,5	SPT-35	Absoluto (mm)	29,8	11,3	27,4	10,4	14,3	4,7	21,9	8,4	17,1	6,5
8,5	SPT-35	Diferencial (mm)	14,6		11,0		9,6		13,5		10,6	
8,5	SPT-35	Distorcional	0,00168		0,00126		0,00111		0,00159		0,00125	
8,5	SPT-35	$\theta(^{\circ})$	0,10		0,07		0,06		0,09		0,07	
12,2	SPT-35	Absoluto (mm)	29,8	11,3	27,4	10,4	14,3	4,7	21,9	8,4	17,1	6,5
12,2	SPT-35	Diferencial (mm)	18,5		17,0		9,6		13,5		10,6	
12,2	SPT-35	Distorcional	0,00152		0,00139		0,00079		0,00111		0,00087	
12,2	SPT-35	$\theta(^{\circ})$	0,09		0,08		0,05		0,06		0,05	

## 5.2. Guindaste Terex AC-500

De acordo com as características do guindaste AC-500, a menor distância entre patolas carregadas com cargas distintas é 9,60 metros e a maior distância possível entre as mesmas é 13,60 metros, conforme Figura 1b. Sendo assim, conforme procedimento realizado para o equipamento AC-350, serão apresentadas análises, para o AC-500, de modo a verificar, para cada método analítico se, para estas distâncias entre eixos de patolas, o recalque distorcional atende à especificação do fabricante, que se dá em função do ângulo  $\theta$ , já apresentado anteriormente.

### 5.2.1. Recalques distorcionais

Considerando-se os recalques mostrados nas Tabelas 2, 4 e 5, bem com a menor e a maior distância entre patolas mostrada na Figura 1b, foram obtidos os recalques distorcionais e inclinações,  $\theta$ , mostrados na Tabela 7, considerando os casos A e B, avaliados no Método Barata (1984), no Método Schmertmann et al.(1978) e com base no software Plaxis 2D.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, referentes à sondagem SPT-08, observa-se que a menor inclinação obtida,  $\theta$ , foi a baseada na análise numérica (Plaxis 2D) considerando-se módulo de elasticidade, E, por Freitas et al. (2012). Por outro lado, o maior valor de  $\theta$  foi obtido pelo método Barata (1984) Caso A. Verifica-se, ainda, que dentre os métodos analisados, o único que forneceu inclinação,  $\theta$ , inferior ao limite máximo de  $0,1^\circ$ , recomendado pelo fabricante, foi o método numérico Plaxis 2D considerando módulo de elasticidade, E, por Freitas et al. (2012). Com base nestas informações, pode-se concluir que para o guindaste AC-500 considerando-se a sondagem SPT-08 como representativa do terreno, não é recomendado o posicionamento do guindaste diretamente na superfície do terreno, sendo preferível que haja algum tipo de tratamento no mesmo (troca de solo ou reforço do solo), de modo que se garanta a segurança em relação ao recalque diferencial.

Avaliando-se os resultados obtidos para a sondagem SPT-38, ainda na Tabela 7, verifica-se que o método Schmertmann et al.(1978) apresentou menor valor de inclinação,  $\theta$ , dentre os casos analisados, enquanto o método Barata (1984) Caso B, apresentou o maior valor de  $\theta$ . Verifica-se ainda que o método Schmertmann et al. (1978) foi o único a apresentar inclinações,  $\theta$ , inferiores a  $0,1^\circ$ , sendo assim, para a consideração da sondagem SPT-38 ser a representativa do terreno, também não é recomendado o assentamento do guindaste AC-500 diretamente na superfície do terreno, sendo aconselhável que haja tratamento do solo.

**Tabela 7.** Recalques para Distância entre patolas de 9,60 m e 13,6 m - SPT-08 e SPT-38.

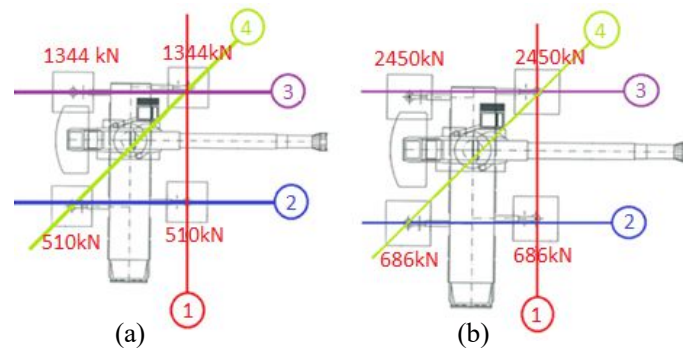
Distância entre patolas (m)	Sondagem considerada	Tipo de Recalque	Barata Caso A		Barata Caso B		Schmertmann et al.		Plaxis 2D (E por Schnaid 2000)		Plaxis 2D (E por Freitas et al 2012)	
			Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN
9,6	SPT-08	absoluto (mm)	56,3	15,8	54,4	15,2	37,8	9,3	37,6	10,6	29,3	8,3
9,6	SPT-08	Diferencial (mm)	40,5		39,2		28,5		27,0		21,0	
9,6	SPT-08	Distorcional	0,00422		0,00408		0,00297		0,00281		0,00219	
9,6	SPT-08	$\theta(^{\circ})$	0,24		0,23		0,17		0,16		0,13	
13,6	SPT-08	absoluto (mm)	56,3	15,8	54,4	15,2	37,8	9,3	37,6	10,6	29,3	8,3
13,6	SPT-08	Diferencial (mm)	40,5		39,2		28,5		27,0		21,0	
13,6	SPT-08	Distorcional	0,00298		0,00288		0,00210		0,00199		0,00154	
13,6	SPT-08	$\theta(^{\circ})$	0,17		0,17		0,12		0,11		0,09	
9,6	SPT-38	absoluto (mm)	60,4	16,9	65,9	18,5	24,4	11,2	43,3	12,1	33,1	9,3
9,6	SPT-38	Diferencial (mm)	43,5		47,4		13,2		31,2		23,8	
9,6	SPT-38	Distorcional	0,00453		0,00494		0,00138		0,00325		0,00248	
9,6	SPT-38	$\theta(^{\circ})$	0,26		0,28		0,08		0,19		0,14	
13,6	SPT-38	absoluto (mm)	60,4	16,9	65,9	18,5	24,4	11,2	43,3	12,1	33,1	9,3
13,6	SPT-38	Diferencial (mm)	43,5		47,4		13,2		31,2		23,8	
13,6	SPT-38	Distorcional	0,00320		0,00348		0,00097		0,00229		0,00175	
13,6	SPT-38	$\theta(^{\circ})$	0,18		0,20		0,06		0,13		0,10	



## 6. Análise considerando efeito de grupo

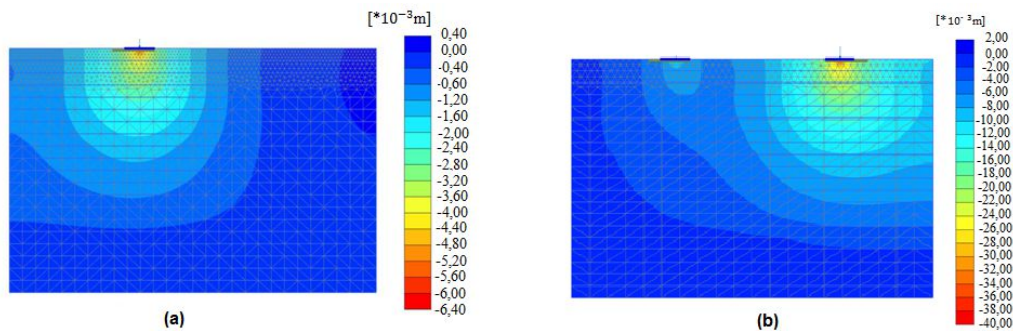
No presente item, diferentemente das análises feitas anteriormente, são avaliados os recalques diferenciais obtidos com a consideração do efeito de grupo entre patolas, ou seja, quando se considera que uma patola vizinha possa influenciar o recalque verificado em uma dada patola. Nesta análise serão considerados os recalques obtidos através do software Plaxis 2D, que permite simular a existência de duas patolas afastadas a determinada distância. Com isso, é possível avaliar a relação entre os recalques absolutos por patolas considerando-as isoladamente e os valores obtidos considerando-se análise de grupo de duas patolas.

Para cada guindaste haverão quatro condições distintas a serem avaliadas. As Figuras 5a e 5b mostram as quatro situações de avaliação dos recalques absolutos para o guindaste AC-350 e AC500, respectivamente. A Condição (1) é representada na Figura 5 por linhas vermelhas. Para o Terex AC-350, a mesma representa a situação na qual uma patola possui carga de 510 kN e outra de 1344 kN e distância entre seus eixos de 8,50 metros. Já para o Terex AC-500, a condição (1) representa a situação na qual uma patola recebe carga de 686 kN e outra de 2450 kN e distância entre seus eixos de 9,6 metros. Já a Condição (2) é representada na Figura 5 por linhas azuis, sendo que para o Terex AC-350, a mesma representa a situação com as duas patolas carregadas com 510 kN e distância entre seus eixos de 8,687 metros. No caso do Terex AC-500, a condição (2) representa a situação na qual as duas patolas possuem carga de 686 kN e distância entre seus eixos de 9,622 metros. A Condição (3) é representada na Figura 5 por linhas roxas. Na qual, para o Terex AC-350, a mesma representa a situação onde as duas patolas possuem carga de 1344 kN e distância entre seus eixos de 8,687 metros. Considerando agora o Terex AC-500, a condição (3) representa a situação na qual as duas patolas estão carregadas com 2450 kN e possuem distância entre seus eixos de 9,622 metros. Por fim, a Condição (4) é representada na Figura 5 por linhas verdes. Para o Terex AC-350, a mesma representa a situação em que uma patola recebe carga de 510 kN e outra com 1344 kN e distância entre seus eixos de 12,2 metros. Considerando então o Terex AC-500, a condição (4) representa a situação na qual uma patola está carregada com 686 kN e outra com 2450 kN e distância entre seus eixos é de 13,6 metros.



**Figura 5.** Representação das condições consideradas – AC-350 à esquerda e AC-500 à direita.

Sendo assim, foi possível realizar-se análises numéricas para as situações citadas anteriormente e obtenção de saídas gráficas, com base nas quais é possível obter os recalques absolutos de ambas as patolas avaliadas para cada uma das situações modeladas. Na Figura 6b é mostrado um exemplo de saída gráfica obtida considerando-se o grupo de patolas. Verifica-se a intensidade da coloração vermelha mais próxima das bases das sapatas, o que mostra que há maior deslocamento nesta região. É possível, também, observar a interação patola-solo-patola baseada na interação do campo de deslocamentos apresentados na Figura 6b.



**Figura 6.** Deslocamentos verticais descendentes - (a) Patola isolada e (b) grupo de patolas vizinhas

Nas Tabelas 8 e 9 são mostrados os recalques obtidos através do Plaxis 2D para ambos os guindaste, baseados nas sondagens representativas, considerando as premissas apresentadas no item 4.3.

Observa-se nas Tabelas 8 e 9 que, em geral, os recalques absolutos mostraram-se superiores aos valores apresentados na Tabela 5, na qual não se considerou a influência de patola vizinha, conforme era de se esperar, uma vez que ao se considerar o efeito de grupo há a sobreposição dos bulbos de pressão das duas patolas.

Ressalta-se também, o fato das condições 2 e 3, em todos os casos, apresentarem mesmos valores de recalques absolutos para cada situação avaliada – Carga nas patolas e

sondagem considerada – o que mostra que há pouca variabilidade estratigráfica horizontal no solo em que se previu o assentamento dos guindastes.

Verifica-se ainda, que para a condição (4), em que a distância entre eixos de patolas é bastante elevada em ambos os guindastes há a redução da influência de sapatas vizinhas (pouco efeito de grupo). Isso pode ser observado analisando-se as condições (4) para cada guindaste e sondagem representativa, onde são verificados recalques muito próximos aos obtidos com a consideração de patolas isoladas (Tabela 5).

**Tabela 8.** Recalques Absolutos – Terex AC-350 – SPT-08 e SPT-35 – Plaxis 2D.

Sondagem considerada	Método para cálculo de $E$	C1 (L=8,687m)		C2 (L=8,500m)		C3 (L=8,500m)		C4 (L=12,200 m)	
		Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN
SPT-08	Epor Schnaid (2000)	8,6	21,4	8,7	8,7	22,7	22,7	7,3	21,1
SPT-08	Epor Freitas, Pacheco e Danziger (2012)	6,7	16,7	6,8	6,8	17,7	17,7	7,7	16,5
SPT-35	Epor Schnaid (2000)	11	22,8	9,4	9,4	24,4	24,4	11,1	22,6
SPT-35	Epor Freitas, Pacheco e Danziger (2012)	8	17,8	7,3	7,3	18,9	18,9	6,7	17,9

**Tabela 9.** Recalques Absolutos – Terex AC-500 – SPT-08 e SPT-38 – Plaxis 2D.

Sondagem considerada	Método para cálculo de $E$ considerado	C1 (L=9,622m)		C2 (L=9,600m)		C3 (L=9,600m)		C4 (L=13,600 m)	
		Q=686kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=686kN	Q=2450kN	Q=2450kN	Q=686kN	Q=2450kN
SPT-08	Epor Schnaid (2000)	13,3	38,4	11,4	11,4	40,4	40,4	10	38,5
SPT-08	Epor Freitas, Pacheco e Danziger (2012)	11	30,1	8,9	8,9	31,6	31,6	8,9	29,8
SPT-38	Epor Schnaid (2000)	17,8	44,3	13,2	13,2	46,8	46,8	13	44,6
SPT-38	Epor Freitas, Pacheco e Danziger (2012)	11,7	33,8	10,1	10,1	35,6	35,6	9	34

## 7. Conclusões

A partir dos resultados obtidos nas diversas análises apresentadas neste artigo, verifica-se que o efeito de grupo é um aspecto importante a ser considerado na estimativa de recalques de guindastes, embora nem sempre seja incluído na etapa de projeto. Este tipo de abordagem mostra-se de extrema utilidade uma vez que, atualmente, na indústria da construção civil o uso dos guindastes é muito difundido e existem diversos modelos, com diferentes dimensões e capacidades de carga, com vários tipos e distância entre patolas, bem como limites de distorção angular requeridos apropriados para cada modelo. Como os guindastes possuem uma grande variedade de distância entre patolas, há possibilidade de que o efeito de grupo seja mais significativo a medida que a mesma diminua, aspecto que deve ser avaliado.

Curiosamente, na prática de engenharia, é pouco frequente a análise de recalque em patolas de guindaste. Realiza-se em geral, a substituição do solo na região de assentamento das patolas. No entanto, as análises de recalques realizadas preliminarmente poderiam mostrar que a prática de substituição de solo, em alguns casos, pode se mostrar bastante conservadora, comprovando que os métodos de previsão de recalque tornam-se ótimas ferramentas para reduzir custos com a troca de solo em situações que os recalques se mostrem admissíveis com a estrutura analisada. Ou, de outro modo, que a melhoria prevista possa não ser suficiente fazendo-se necessária um novo procedimento para melhoria do solo, ou modificação do projeto de fundação das patolas dos equipamentos, de superficial para profunda. Sendo assim, espera-se que este trabalho tenha contribuído de maneira a mostrar as vantagens de uma previsão mais rigorosa e que incentive, também, a medição dos recalques em patolas de guindastes, possibilitando a avaliação do desempenho dos referidos equipamentos. Permitindo, deste modo, futuros estudos na mesma linha e práticas mais assertivas em campo.

Finalmente, considerando-se as elevadas cargas à que as patolas destes equipamentos são submetidas, seria bastante interessante, servindo como sugestão para trabalhos futuros, a realização de análise de capacidade de carga do solo submetido às cargas provenientes dos guindastes, a partir de análise numérica tridimensional, a fim de analisar-se a segurança em relação à ruptura do solo, verificação requerida em todo projeto de fundações.

## 8. Referências

- Barata, F. E. 1962. *Tentativa de racionalização do problema da taxa admissível de fundações diretas*. Tese de livre docência, Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil.
- Barata, F. E. 1984. *Propriedades mecânicas dos solos – uma introdução ao projeto de fundações*, Rio de Janeiro, RJ.
- Barata, F. E. 1986. *Recalque de Edifícios sobre fundações diretas em terrenos de compressibilidade rápida e com a consideração da rigidez da estrutura*. Tese de concurso para professor titular, DCC, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Brinkgreve, R. B. J. 2002. *Finite Element Code for Soil and Rock Analyses - PLAXIS 2D user's manual*, Rotterdam, Netherlands.
- Danziger, B. R. 1982. *Estudo de correlações entre os ensaios de penetração estática e dinâmica e suas aplicações ao projeto de fundações profundos*. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Decourt, L. The standard penetration test: State-of-the-art report. International Conference in Soil Mechanics And Foundation Engineering, 1989 Rio de Janeiro, Brasil. General Report presented in Session 2
- Freitas, A.C.; Pacheco, M. & Danziger, B.R. 2012. Estimating Young Moduli in Sands from the Normalized N60 Blow Count. *Soils & Rocks*, v. 35, p. 89-98.
- ISSMFE. Internacional Reference Test Procedure for the Standard Penetration Test (SPT). Report of the ISSMFE – TC 16 – Technical Committee on Penetration Testing of Soils, with Reference Test Procedures – CPT– SPT –DP –WST, 1989, pp. 17-19.

- Palacios, A. 1977. *The theory and measurement of energy transfer during standard penetration test sampling*. Doctoral Thesis in Philosophy, University of Florida.
- Schmertmann, J.H. & Palacios A. 1979. Energy dynamics of SPT. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, v.105, n.GT8, p.909-926.
- Schmertmann, J. H. & ASCE, M. 1970. Static cone to compute static settlement over sand. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, v. 96, n. SM3, pp. 1011-10143.
- Schmertmann, J. H., ASCE, F., HARTMAN, J. P. & BROWN, P. R. 1978. *Improved Strain Influence Factor Diagrams*, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, v. 104, n. GT8, pp. 1131-1135.
- Schnaid, F. & Odebrecht, E. 2012. *Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações - 2ª edição*, São Paulo, SP.