

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/533

Ensaio DMT na Previsão de Recalques de Pisos

Antônio Sérgio De Pietro Damasco Penna

Diretor Técnico, Damasco Penna, São Paulo, Brasil, penna@damascopenna.com.br

Luhan Alves Melo

Engenheiro Civil, Damasco Penna, São Paulo, Brasil, luhan@damascopenna.com.br

Anderson Diego Dardis de Macedo

Engenheiro Civil, Damasco Penna, São Paulo, Brasil, anderson@damascopenna.com.br

Gustavo Marques Freitas

Engenheiro Civil, Damasco Penna, São Paulo, Brasil, gustavo@damascopenna.com.br

RESUMO: Em galpões de logística é fator determinante no projeto do piso interno a avaliação das condições de apoio no terreno, visto os elevados carregamentos que serão impostos e os baixos valores de recalques admitidos para um desempenho satisfatório. A utilização de sondagens a percussão (SPT) não é eficiente para avaliação de deformações, sendo necessária a utilização de ensaios complementares para melhor estudo. O ensaio DMT tem-se mostrado importante na previsão de recalques de pisos, sendo proposto neste artigo um método simples para previsão de recalques em pisos, através da consolidação de mais de 25 anos de experiência com o ensaio DMT nesse tipo de aplicação. É apresentado um exemplo prático para utilização do método através de um DMT realizado em um terreno localizado no município de Três Lagoas/MS, investigado inicialmente apenas com sondagens a percussão. Conclui-se que o método proposto é uma alternativa expedita e de aplicação direta para utilização do ensaio DMT na previsão de recalques de pisos.

PALAVRAS-CHAVE: DMT, Dilatômetro de Marchetti, recalque, pisos, módulo edométrico.

ABSTRACT: In logistic condominiums, the assessment of the support conditions of the floors is a determining factor in the design, considering the high loads they are subjected to and the low values of allowed settlements. The use of percussion drillings (SPT) is not efficient for evaluating deformations, and it is necessary to use complementary tests for a better study. The DMT test has proven to be important in predicting floor settlements. This article proposes a method for predicting floor settlements through the consolidation of over 25 years of experience with the DMT test. A practical example is presented for the use of the method through a DMT test carried out in a terrain located in Três Lagoas/MS, initially investigated only with Standard Penetration Tests. It is concluded that the proposed method is an expeditious and directly applicable alternative for the use of the DMT test in predicting floor settlements.

KEYWORDS: DMT, Marchetti Dilatometer, settlement, floors, oedometer modulus.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por centros de distribuição e armazenagem de produtos tem resultado na expansão do número de condomínios logísticos em todo o território nacional. A localização desses empreendimentos requer regiões estratégicas, que possuam infraestrutura que otimize a eficiência logística, independente das condições geotécnicas.

Os condomínios logísticos muitas vezes atingem expressivas áreas brutas locáveis (ABL), com áreas superiores a 100.000 m², em muitos casos. Geralmente, para implantação desses empreendimentos são necessárias obras de terraplenagem com grandes volumes de movimentação de terra.

Para minimizar os custos, os projetos de terraplenagem preveem que os volumes geométricos estejam equilibrados, de tal maneira que é esperado que na projeção dos pisos dos galpões ocorrerão áreas de corte e áreas de aterro.

Em grande parte dos galpões logísticos, para o máximo aproveitamento da área de armazenagem, a sobrecarga solicitada nos pisos é elevada, atingindo valores da ordem de $60,0 \text{ kN/m}^2$ ($6,0 \text{ tf/m}^2$).

Devido à magnitude dos carregamentos, é necessário definir, na fase de projeto, as condições de apoio do piso, principalmente verificando a viabilidade do apoio diretamente sobre solo, seja em área de corte ou em área de aterro.

Por questões econômicas, o ideal é que os pisos sejam sempre apoiados diretamente sobre o solo. Para validação dessa solução, é fundamental que sejam realizadas campanhas de investigações geotécnicas anteriores e posteriores à execução da terraplenagem, para avaliação da deformabilidade dos solos. A utilização do ensaio de sondagem a percussão (SPT) não é capaz de fornecer diretamente parâmetros que sejam passíveis para a avaliação de recalques, dessa forma, há a necessidade da execução de ensaios geotécnicos complementares.

O ensaio com o Dilatômetro de Marchetti (DMT) pode ser utilizado para diversas aplicações em projetos, como para obtenção de parâmetros geotécnicos, previsão de recalques de fundações rasas, controle de compactação, entre outras, conforme apresentado por Totani et al. (2001), se mostrando também um aliado importante nas tomadas de decisões para previsão de recalques em pisos de galpões logísticos, principalmente através da análise do módulo edométrico (M), um dos parâmetros obtidos com a execução do ensaio DMT, que é capaz de fornecer resultados semelhantes aos ensaios de adensamento edométrico, a cada 20 cm ao longo da profundidade de execução do ensaio.

2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

As investigações geotécnicas *in situ* podem ser realizadas por diversos ensaios, a depender da problemática a ser estudada, cada ensaio disponível hoje tem a sua respectiva aplicabilidade e no Brasil o hábito é começar as investigações geotécnicas com sondagens a percussão.

Em áreas para implantação de galpões logísticos, a mesma situação não é diferente. A campanha de investigação geotécnica é iniciada com sondagens SPT, podendo ser utilizada para diversas finalidades dentro de um site logístico, seja para avaliação das áreas de corte e aterro, fundações, possíveis contenções, capacidade de apoio para redes de drenagem ou então avaliação da capacidade de apoio do piso interno.

As sondagens a percussão são amplamente utilizadas na prática da engenharia geotécnica, principalmente quando aplicadas a fundações. Entretanto, como a própria norma de fundações preconiza (ABNT NBR 6122), as sondagens são utilizadas como forma de investigação geotécnica preliminar, podendo ser muito conveniente a complementação com demais ensaios e coletas de amostras.

Uma das principais informações fornecidas pela sondagem a percussão é o N_{spt} , que traz uma noção de resistência do material investigado, por meio de uma determinada quantidade de golpes em função da cravação de um amostrador padrão.

O valor N_{spt} é indiscutivelmente de direta interpretação, mas para a solução de problemas mais complexos, como por exemplo a avaliação de recalques, não é adequado.

Nos casos dos pisos de galpões logísticos, é notável a intolerância de recalques que possam comprometer juntas ou ocasionar fissuras nas placas. Nessas condições é necessária uma análise rigorosa do terreno de apoio, principalmente devido à elevada sobrecarga atuante, da ordem de $60,0 \text{ kN/m}^2$. Dessa maneira, para apoio do piso, pode ser necessário o tratamento do solo ou até mesmo a utilização de estacas, soluções que elevam consideravelmente o custo da obra.

Os resultados de N_{spt} são de um certo modo simples de serem analisados. Na situação de apoio de piso interno em terrenos com valores muito baixos de N_{spt} , como $N_{spt}=1$ golpe, $N_{spt}=2$ golpes, já é direta a interpretação de que aquele solo não oferecerá capacidade de apoio direto. No outro extremo, valores altos de $N_{spt}=10$ golpes, $N_{spt}=20$ golpes, $N_{spt}=30$ golpes, determinam avaliação positiva, para apoio direto do piso.

A incerteza é gerada quando são obtidos valores baixos intermediários de $N_{spt}=3$ golpes, $N_{spt}=4$ golpes, $N_{spt}=5$ golpes, $N_{spt}=6$ golpes. Com esses valores, a dúvida é grande, em relação à solução a ser adotada, podendo variar a solução entre as mais comuns, como adotar apoio direto do piso, piso estaqueado ou realizar o tratamento do solo em que o piso estará apoiado. Estas situações mostram uma das limitações da sondagem

a percussão, sendo necessária a execução de ensaios complementares para a tomada de decisão de maneira assertiva.

Dentro dos diversos ensaios disponíveis, a utilização do ensaio com o Dilatômetro de Marchetti (DMT) tem sido efetiva para contribuir nas decisões em relação às condições para apoio de pisos, que estão diretamente ligadas às deformações (recalques) admissíveis.

Com o ensaio DMT é possível obter diversos parâmetros geotécnicos através de correlações empíricas e semi-empíricas já consolidadas, sempre com base nos *parâmetros intermediários* do DMT, sendo esses o índice do material (I_D), o índice de tensão horizontal (K_D) e o módulo dilatométrico (E_D), conforme apresentado por Marchetti (1980).

Desde 1997, quando iniciamos a operação desse ensaio no Brasil, adquirimos muita experiência na previsão de recalques de pisos, com a utilização do módulo de deformabilidade ou módulo edométrico (M), que pode ser calculado a partir do módulo dilatométrico (E_D) do ensaio DMT por meio da seguinte expressão:

$$M = R_M \times E_d \text{ [MPa]} \quad (1)$$

Onde R_M é determinado a depender do valor de I_D e em função do valor de K_D , de acordo com o exposto por Marchetti (1980) e transcrito nas equações a seguir:

$$I_d \leq 0,6, R_M = 0,14 + 2,36 \times \log K_D \quad (2)$$

$$0,6 \leq I_d < 3, R_M = R_{MO} + (2,5 - R_{MO}) \times \log K_D \quad (3)$$

$$I_d \geq 3, R_M = 0,32 + 2,18 \times \log K_D \quad (4)$$

$$\text{Se } R_M < 0,85, R_M = 0,85 \quad (5)$$

$$\text{Se } K_D > 10, R_M = 0,32 + \log K_D \quad (6)$$

Sendo R_{MO} calculado pela seguinte equação:

$$R_{MO} = 0,14 + 0,15 \times (I_D - 0,6) \quad (7)$$

Conforme apresentado por Schnaid e Odebrecht (2012), a proposição de Marchetti já foi validada por diversos autores, em vastas campanhas de investigações geotécnicas em depósitos argilosos e arenosos.

Dessa forma, dado o procedimento de execução do ensaio DMT, são obtidos valores do módulo M do material estudado a cada 20 cm, sendo proposto um método para previsão de recalques de pisos, descrito no capítulo seguinte.

3 MÉTODO PROPOSTO PARA PREVISÃO DE RECALQUES DE PISOS

Na etapa de execução dos ensaios dilatométricos em campo, é necessário um cuidado em relação à profundidade mínima de execução do ensaio. O desejável é que o ensaio atinja profundidades que garantam, no mínimo, a penetração da ponteira de 3 m a 4 m em solos naturais resistentes. Dessa forma, o ensaio não deve ser interrompido em camada de solo fraco, ou então em profundidade em que ainda não tenha ultrapassado toda a espessura de aterro existente no local investigado.

O método prevê a adoção de algumas simplificações para o cálculo dos recalques.

Os recalques são obtidos em função da aplicação da sobrecarga nominal plena (em geral da ordem de 50,0 kN/m² ou 60,0 kN/m²).

No cálculo dos recalques o solo de apoio é subdividido em camadas de 20 cm de espessura, em toda a profundidade de realização do ensaio e dessa forma, não é excluído do cálculo nenhum valor do módulo edométrico (M) obtido.

Deve ser observado que valores de M menores do que 1 MPa devem ser substituídos, no cálculo, pelo valor mínimo nominal de $M=1,0$ MPa.

Na avaliação de deformações em profundidade, é de conhecimento que existem diversos métodos para o cálculo da propagação das tensões aplicadas na superfície, contudo no método proposto não é considerada a redução da tensão do piso em função da profundidade, ou seja, a tensão aplicada na cota de topo do ensaio é considerada em sua totalidade até o final do mesmo.

Sendo assim, a avaliação de recalque é feita levando em consideração o conceito do módulo edométrico M , que representa a relação entre o acréscimo de tensão efetiva vertical ($\Delta\sigma'v$) e a deformação axial específica ($\Delta\varepsilon_v$) correspondente, em condição de compressão unidimensional (confinada), conforme equação 8.

$$M = \frac{\Delta\sigma'v}{\Delta\varepsilon_v} \quad (8)$$

A analogia do conceito de módulo edométrico é aplicada no método aqui sugerido, onde um elemento de solo submetido a um acréscimo de tensão vertical efetiva ($\Delta\sigma'v$), em condição confinada, experimenta uma variação de volume exclusivamente por efeito de redução da sua espessura, uma vez que a deformação transversal é impedida.

Assim, admitindo-se que a variação de volume unidimensional do elemento de solo corresponde a sua variação de volume, ou seja, sua deformação axial específica, tem-se:

$$\Delta\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_i} \quad (9)$$

Onde:

$\Delta\varepsilon_v$ é a deformação axial específica, do elemento de solo, devido à aplicação do acréscimo de tensão vertical efetiva ($\Delta\sigma'v$);

ΔH é a variação da altura do elemento de solo devido à aplicação do acréscimo de $\Delta\sigma'v$;

H_i é a altura inicial do elemento de solo.

Dessa forma, substituindo a equação 9 em 8:

$$M = \frac{\Delta\sigma'v}{\Delta H} \times H_i \quad (10)$$

Isolando a altura ΔH , obtém-se:

$$\Delta H = \frac{\Delta\sigma'v}{M} \times H_i \quad (11)$$

Na metodologia proposta o elemento de solo que sofre a variação de altura ΔH é tomado como sendo aquele onde a ponteira é estacionada e onde são aplicadas as deformações da membrana DMT. O perfil do solo ensaiado é então discretizado em camadas de 20 cm de espessura, que é a rotina padrão do ensaio, cada uma com o seu valor correspondente de módulo M .

Então, para uma dada tensão vertical aplicada sobre uma série de camadas com seus respectivos valores de módulo M , a deformação acumulada deste sistema de camadas discretizadas é obtida com o somatório das deformações individuais de cada camada.

Em nossa experiência obtida nos 27 anos de uso intenso desse ensaio para essa finalidade, recomendamos que, perante esse conjunto de simplificações do método proposto, o valor considerado como limite aceitável de deformação para o apoio diretamente sobre o terreno, é de 7,0 cm.

É importante destacar que esse valor é nominal, pois o método é simplificado.

Na Figura 1, é apresentado um esquema ilustrando este sistema.

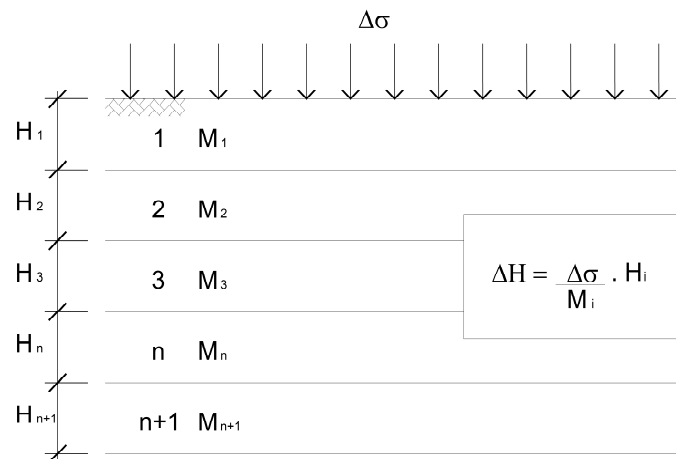


Figura 1. Esquema do modelo de discretização das camadas do perfil de solo.

Deste modo, o recalque total obtido pelo método é dado pela seguinte expressão:

$$\rho = \sum \frac{\Delta\sigma_v}{M_i} \times H_i \quad (12)$$

Onde:

ρ recalque total calculado pelo método através da somatória dos recalques obtidos em todas as camadas discretizadas no ensaio DMT;

$\Delta\sigma_v$ sobrecarga nominal do piso (acréscimo de tensão vertical efetiva);

M_i módulo edométrico obtido pelo ensaio DMT na camada discretizada;

H_i altura inicial da camada de solo ensaiada.

4 EXEMPLO

A abordagem proposta foi aplicada na avaliação das condições de apoio de um piso de um galpão que seria implantado sobre um horizonte de solo sedimentar arenoso, localizado no município de Três Lagoas no Mato Grosso do Sul (MS), onde nos primeiros 5,0 m de profundidade do terreno foram encontradas areias fofas a pouco compactas, com (NSPT < 9 golpes), levantando dúvidas sobre a viabilidade de uma fundação direta para o apoio do piso.

Foram realizados quatro ensaios DMT que avançaram até cerca de 20 m de profundidade, para avaliação das características geotécnicas do solo e consequente definição da viabilidade ou não do uso de piso apoiado diretamente sobre o terreno. O perfil típico da sondagem a percussão e os resultados do módulo M dos ensaios DMT realizados estão indicados na Fig. 2.

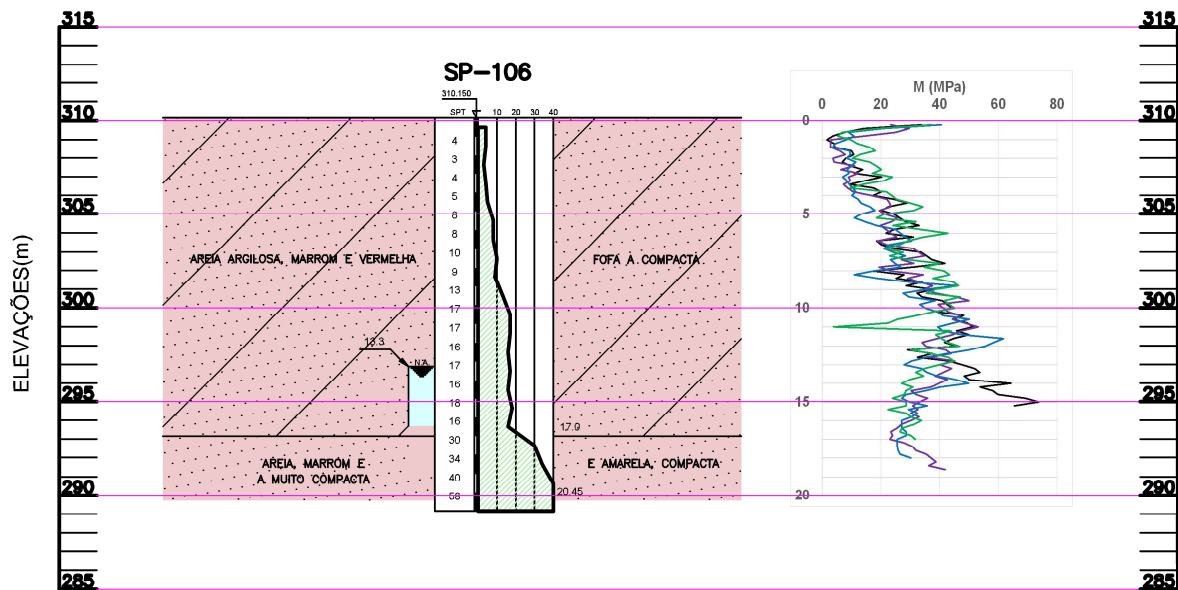


Figura 2. Sondagem a percussão e resultados de módulo M dos ensaios DMT

Os recalques foram avaliados seguindo a metodologia proposta, lançando-se mão de uma planilha de cálculo simplificada, conforme indicado na Tabela 1, que foi aplicada para um dos ensaios realizados.

Tabela 1. Planilha de avaliação de recalques devidos à aplicação de uma sobrecarga distribuída

Prof. (m)	Módulo M (MPa)	Acréscimo de pressão (kN/m ²)	Espessura da camada (cm)	Varição de espessura da camada (cm)	Recalque acumulado (cm)
0,20	23,40	60,0	20,00	0,0513	0,0513
0,40	29,60	60,0	20,00	0,0405	0,0918
0,60	25,10	60,0	20,00	0,0478	0,1396
0,80	14,20	60,0	20,00	0,0845	0,2241
1,00	3,00	60,0	20,00	0,4000	0,6241
1,20	2,90	60,0	20,00	0,4138	1,0379
1,40	2,90	60,0	20,00	0,4138	1,4517
1,60	6,00	60,0	20,00	0,2000	1,6517
1,80	7,90	60,0	20,00	0,1519	1,8036
2,00	3,70	60,0	20,00	0,3243	2,1279
2,20	4,10	60,0	20,00	0,2927	2,4206
2,40	11,00	60,0	20,00	0,1091	2,5297
2,60	6,40	60,0	20,00	0,1875	2,7172
2,80	12,40	60,0	20,00	0,0968	2,8140
3,00	9,00	60,0	20,00	0,1333	2,9473
3,20	9,60	60,0	20,00	0,1250	3,0723
3,40	7,30	60,0	20,00	0,1644	3,2367
3,60	8,70	60,0	20,00	0,1379	3,3746
3,80	10,60	60,0	20,00	0,1132	3,4879
4,00	16,80	60,0	20,00	0,0714	3,5593
4,20	22,10	60,0	20,00	0,0543	3,6136
4,40	23,00	60,0	20,00	0,0522	3,6658
4,60	23,40	60,0	20,00	0,0513	3,7170
4,80	19,50	60,0	20,00	0,0615	3,7786
5,00	21,30	60,0	20,00	0,0563	3,8349
5,20	25,70	60,0	20,00	0,0467	3,8816
5,40	23,70	60,0	20,00	0,0506	3,9322
5,60	19,90	60,0	20,00	0,0603	3,9925
5,80	21,70	60,0	20,00	0,0553	4,0478
6,00	23,40	60,0	20,00	0,0513	4,0991
6,20	25,40	60,0	20,00	0,0472	4,1464
6,40	18,90	60,0	20,00	0,0635	4,2099
6,60	22,00	60,0	20,00	0,0545	4,2644

Continua

Continuação

Prof. (m)	Módulo M (MPa)	Acréscimo de pressão (kN/m ²)	Espessura da camada (cm)	Varição de espessura da camada (cm)	Recalque acumulado (cm)
6,80	31,00	60,0	20,00	0,0387	4,3031
7,00	32,90	60,0	20,00	0,0365	4,3396
7,20	34,80	60,0	20,00	0,0345	4,3741
7,40	27,00	60,0	20,00	0,0444	4,4185
7,60	31,20	60,0	20,00	0,0385	4,4570
7,80	19,40	60,0	20,00	0,0619	4,5188
8,00	23,30	60,0	20,00	0,0515	4,5703
8,20	34,40	60,0	20,00	0,0349	4,6052
8,40	29,10	60,0	20,00	0,0412	4,6465
8,60	33,30	60,0	20,00	0,0360	4,6825
8,80	37,60	60,0	20,00	0,0319	4,7144
9,00	34,60	60,0	20,00	0,0347	4,7491
9,20	38,80	60,0	20,00	0,0309	4,7800
9,40	45,70	60,0	20,00	0,0263	4,8063
9,60	50,00	60,0	20,00	0,0240	4,8303
9,80	39,50	60,0	20,00	0,0304	4,8607
10,00	41,30	60,0	20,00	0,0291	4,8897
10,20	42,90	60,0	20,00	0,0280	4,9177
10,40	47,10	60,0	20,00	0,0255	4,9432
10,60	44,40	60,0	20,00	0,0270	4,9702
10,80	48,70	60,0	20,00	0,0246	4,9948
11,00	53,10	60,0	20,00	0,0226	5,0174
11,20	47,40	60,0	20,00	0,0253	5,0427
11,40	44,40	60,0	20,00	0,0270	5,0698
11,60	39,20	60,0	20,00	0,0306	5,1004
11,80	34,10	60,0	20,00	0,0352	5,1356
12,00	35,30	60,0	20,00	0,0340	5,1696
12,20	42,10	60,0	20,00	0,0285	5,1981
12,40	43,90	60,0	20,00	0,0273	5,2254
12,60	36,60	60,0	20,00	0,0328	5,2582
12,80	45,20	60,0	20,00	0,0265	5,2847
13,00	40,10	60,0	20,00	0,0299	5,3147
13,20	44,10	60,0	20,00	0,0272	5,3419
13,40	41,30	60,0	20,00	0,0291	5,3709
13,60	38,50	60,0	20,00	0,0312	5,4021
13,80	42,60	60,0	20,00	0,0282	5,4303
14,00	39,80	60,0	20,00	0,0302	5,4604
14,20	37,10	60,0	20,00	0,0323	5,4928
14,40	30,30	60,0	20,00	0,0396	5,5324
14,60	32,00	60,0	20,00	0,0375	5,5699
14,80	35,90	60,0	20,00	0,0334	5,6033
15,00	33,10	60,0	20,00	0,0363	5,6395
15,20	30,90	60,0	20,00	0,0388	5,6784
15,40	32,60	60,0	20,00	0,0368	5,7152
15,60	30,20	60,0	20,00	0,0397	5,7549
15,80	33,00	60,0	20,00	0,0364	5,7913
16,00	30,20	60,0	20,00	0,0397	5,8310
16,20	27,10	60,0	20,00	0,0443	5,8753
16,40	25,60	60,0	20,00	0,0469	5,9222
16,60	23,40	60,0	20,00	0,0513	5,9735
16,80	24,00	60,0	20,00	0,0500	6,0235
17,00	23,10	60,0	20,00	0,0519	6,0754
17,20	28,00	60,0	20,00	0,0429	6,1183
17,40	30,80	60,0	20,00	0,0390	6,1572
17,60	31,90	60,0	20,00	0,0376	6,1948
17,80	35,40	60,0	20,00	0,0339	6,2287
18,00	37,10	60,0	20,00	0,0323	6,2611
18,20	38,80	60,0	20,00	0,0309	6,2920
18,40	36,30	60,0	20,00	0,0331	6,3251
18,60	41,90	60,0	20,00	0,0286	6,3537

Os resultados dos ensaios DMT foram processados seguindo a metodologia sugerida, resultando em recalques avaliados entre 4,5 cm e 6,3 cm para uma sobrecarga nominal de 60,0 kN/m² (6,0 tf/m²).

Os resultados sinalizaram uma condição favorável para o apoio direto do piso sobre aquele pacote de solo arenoso fofo a pouco compacto, já que se limitaram a faixa de valor recomendada de até 7,0 cm.

5 CONCLUSÃO

O método apresentado representa a consolidação dos conhecimentos adquiridos em 27 anos de uso do ensaio com o dilatômetro de Marchetti (DMT), na aplicação da rotina de previsão de recalques para pisos de galpões logísticos.

A utilização apenas dos resultados obtidos em sondagens a percussão não trazem esclarecimentos de forma direta em relação às condições de apoio de pisos, principalmente quando os valores de N_{spt} são intermediários baixos, sendo necessários a utilização de outros ensaios.

A aplicação do método é realizada através dos resultados dos ensaios DMT de forma direta, por meio de um dos parâmetros obtidos no ensaio, o módulo edométrico (M).

Os critérios e as simplificações utilizados no método proposto visam trazer segurança e tornar mais expedita a sua aplicação.

O método proposto é apresentado como uma significativa alternativa de simples aplicação para previsão de recalques de pisos em galpões logísticos, de modo a contribuir nas tomadas de decisões na etapa de projeto de galpões logísticos.

A obtenção de valores de recalques maiores do que o limite superior recomendado, de 7,0 cm, determinam a necessidade de melhoria do terreno, como a recompactação de um horizonte superficial ou a aplicação de uma sobrecarga temporária de consolidação ou mesmo o uso de estacas para o suporte do piso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

ASTM International (2006). ASTM D6635-15: *Standard test method for performing the Flat Dilatometer Test (DMT)*.

Eurocode 7 (2007). Geotechnical design - Part 3: Design Assisted by Field Testing. Section 9: *Flat Dilatometer Test (DMT)*.

Marchetti, S. (1980) *In Situ Tests by Flat Dilatometer*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.106, pp. 299-321.

Schnaid, F., Odebrecht, E. (2012) *Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações*, 2ª edição, Oficina de Textos, São Paulo.

Totani, G., Marchetti, S., Monaco, P., Calabrese, M. (2001) *Use of the Flat Dilatometer Test (DMT) in geotechnical design*. In: International Conference On In situ Measurement of Soil Properties, Bali, Indonesia.