

O uso do martelo vibratório em obras no Grande Recife

Rafael Dantas Sena
UNICAP, Recife, Brasil, rds@rdsh.com.br

Joaquim Teodoro Oliveira
UNICAP, Recife, Brasil, jtrdo@uol.com.br

Alexandre Duarte Gusmão
POLI-UPE, Recife, Brasil, gusmao.alex@ig.com.br

RESUMO: São apresentados estudos de caso em duas das primeiras obras executadas com o martelo vibratório na Região Metropolitana do Recife (RMR), sendo a primeira para a instalação de perfis metálicos na lâmina e periferia do Edf. CASO 1, localizado no bairro de Piedade, Jaboatão dos Guararapes - PE, e a segunda com a instalação de estacas-prancha para contenção e parede definitiva de estacionamento subsolo no Edf. CASO 2, em Boa Viagem, Recife - PE. Diante dos resultados obtidos nos dois estudos de caso, fica evidente uma tendência no aumento do número de projetos utilizando a solução do martelo vibratório para a instalação de perfis metálicos e estacas-prancha na RMR. Além de causar baixa perturbação em edificações vizinhas quando comparado aos métodos tradicionais, o equipamento oferece boa produtividade, segurança e praticidade.

PALAVRAS-CHAVE: Martelo vibratório, livre de ressonância, fundações, perfil metálico, estaca-prancha.

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é a maior aglomeração urbana do Norte-Nordeste e a sexta do país. Conta com uma população, de aproximadamente, 3,7 Milhões de habitantes (IBGE, 2010) representando 65% do PIB do estado de Pernambuco (IBGE, 2012). Composta por 14 municípios com grande potencial econômico devido a excelente posição geográfica, a região é ponto de convergência das principais rotas comerciais que interligam a costa brasileira ao hemisfério norte e vem assumindo um importante papel na logística de importação, exportação e escoamento de produtos.

O desenvolvimento da economia local, aliado ao crescimento populacional, demandam obras imobiliárias e de infraestrutura cada vez mais robustas e complexas, permitindo às empresas envolvidas no processo construtivo uma busca constante pela tecnologia de ponta, neste caso, equipamentos importados dos

melhores fabricantes do mundo para a execução de projetos de fundação.

É nesse contexto que o martelo vibratório vem ganhando destaque como solução para a instalação de elementos de fundação em projetos locais. Este trabalho irá apresentar o estudo de caso nas duas primeiras obras, executadas por uma determinada empresa, que utilizaram o equipamento para a instalação de perfis e pranchas metálicas, em obras imobiliárias, nos bairros de Boa Viagem e Piedade, da Região Metropolitana do Recife, além de sugerir as oportunidades que se abrem para uma melhor performance em obras de infraestrutura, como canais, túneis, pontes e implantação de sistema sanitário, demandas atuais de uma região que sofre com problemas graves de mobilidade, saneamento básico, entre outros.

1.2 Objetivo

Analisar os aspectos de projeto em duas obras

executadas no Grande Recife, como o estudo de capacidade de carga, cotas de ponta, sondagens, relatórios e comparar com os resultados obtidos na execução com o martelo vibratório, como desempenho, produtividade e a interação solo-estaca na instalação dos perfis e estacas-prancha.

2 CASO 1

2.1 O Empreendimento

Edifício residencial, com 15 andares, totalizando 60 apartamentos, 02 elevadores, piscina, salão de festa, guarita. Localizado no bairro de Piedade, em Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife.

2.2 Caracterização da estrutura e do terreno

De acordo com o relatório RL02-11313, a edificação analisada é uma estrutura de concreto armado com 18 lajes. Há um total de 18 pilares na lâmina e 19 na periferia.

As Figuras 01 e 02 mostram o perfil do solo encontrado. Inicialmente encontra-se uma de areia fina escura até a cota -1,70; segue-se uma camada de turfa, mole, até a cota -3,20. Em seguida, foi encontrada uma camada de areia fina, siltosa, com matéria orgânica, fofa a pouco compacta, até a cota -6,00. A seguir, existe uma camada de turfa, muito mole, até a cota -11,00. Logo abaixo, encontra-se uma camada de areia fina siltosa com matéria orgânica e lentes de turfa, fofa, até a cota -14,50. A camada seguinte é composta por argila siltosa, com fragmentos de conchas, média, variando até as cotas -33,00 a -36,00. E por fim, existe uma camada de areia fina, siltosa, muito compacta, até o limite das sondagens, na cota -47,00. O nível d'água encontra-se variando entre as cotas -0,60 e -0,70.

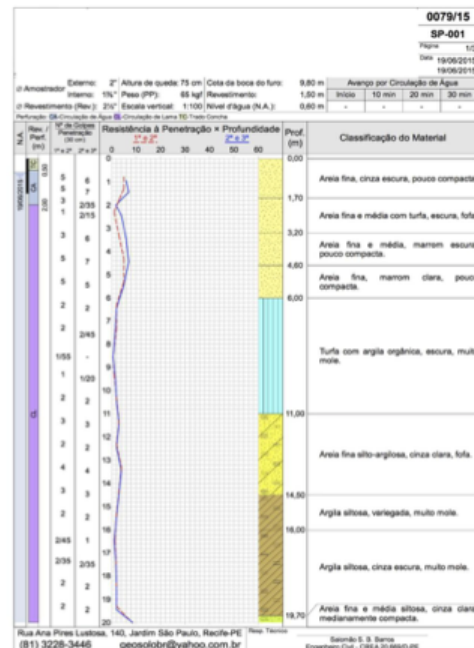


Figura 01. SP-001 – Edf. CASO 1.

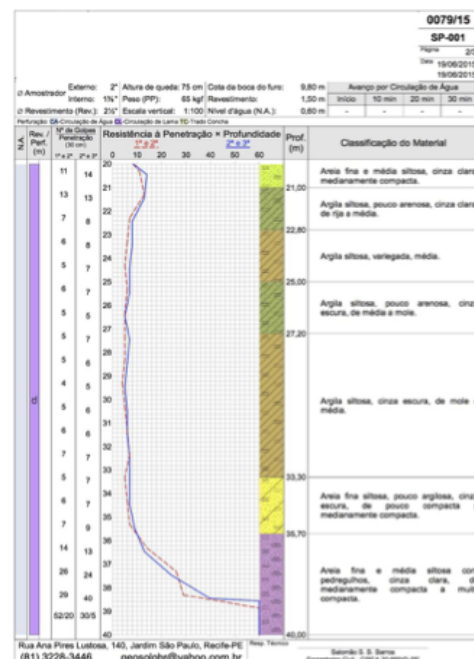


Figura 02. SP-001 – Edf. CASO 1.

2.3 Projeto e Execução

2.3.1 Projeto

As fundações projetadas são constituídas de perfis metálicos para a torre e periferia com comprimento variando de 41,50m a 45,50m na torre e com comprimento único de 23,50m na periferia

Tabela 1. Cargas admissíveis e de ponta			
Referência	Tipo de Estaca	Seção	Cota de Ponta (m)
Tipo A	Perfil Metálico	310x79/93/125	-45,50
Tipo B	Perfil Metálico	310x79/93/110	-43,50
Tipo C	Perfil Metálico	310x79/93	-41,50
Tipo D	Perfil Metálico	310x79	-41,50
Tipo E	Perfil Metálico	310x79	-23,50

2.3.2 Execução



Figura 03. Execução – Edf. CASO 1.

Conforme registrado e exibido no "Relatório 02-11313", o estaqueamento foi executado, inicialmente, por uma primeira empresa, entre os dias 31 de março e 15 de abril de 2015, sendo utilizado o equipamento do tipo vibratório ICE 28RF de alta frequência, tendo sua máquina substituída por motivos de quebra por equipamento de uma segunda empresa, entre os dias 20 de maio a 04 de junho de 2015, utilizando um martelo do tipo vibratório ABI HVR100.

No processo decisório da solução, a construtora optou pelo estaqueamento com martelo vibratório, contra solução em martelo de impacto, devido, principalmente à proximidade de residências e construções antigas, tendo um dos prédios sido desapropriado pouco antes do início da obra pela Defesa Civil da Prefeitura de Jaboatão, com risco de desabamento.

3 CASO 2

3.1 O Empreendimento

Edifício residencial com 18 andares, um nível de subsolo, totalizando 72 apartamentos, central de gás, gerador, piscina, salão de festas, sauna. Localizado no bairro de Boa Viagem, Recife.

3.2 Caracterização da estrutura e do terreno

Conforme projeto, a edificação analisada é uma estrutura de concreto armado com 21 lajes. Há um total de 11 pilares apoiados sobre uma fundação em radier.

Como pode ser observado na Figura 04, inicialmente encontra-se uma camada de areia fina com restos de vegetais, até a cota -3,00; segue-se uma camada de areia fina, mediantemente compacta até a cota -4,20. Em seguida, foi encontrada uma camada de areia fina/grossa, muito compacta, até a cota -7,80. A seguir, existe uma camada de areia média, mediantemente compacta até a cota -11,00. Logo abaixo, encontra-se uma camada de areia média/fina até -13,05. A camada seguinte é composta por areia fina/média com baixo SPT até a cota -24,70. Por fim, existe uma camada de argila orgânica siltosa, com plasticidade alta e média até o limite da sondagem na cota -26,60. O nível d'água encontra-se variando entre as cotas -4,50 e -5,00.

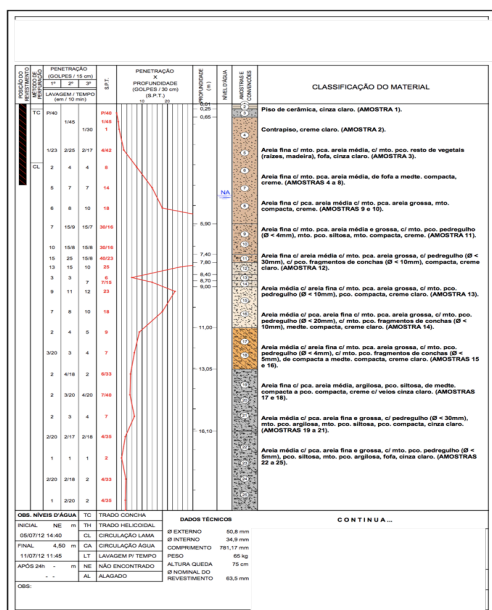


Figura 04. SP-02 – Edif. CASO 2.

3.3 Projeto e Execução

3.3.1 Projeto

Diante das duas opções apresentadas por fornecedores, uma em concreto armado, outra em metálica, a construtora optou por executar a contenção necessária para a construção de subsolo no Edif. CASO 2 em estacas-prancha do tipo AU 14, de fabricação Arcelor Mittal, com 8,00m de profundidade.

Após a execução da laje de fundo, as pranchas passam de contenção provisória para parede definitiva do subsolo.

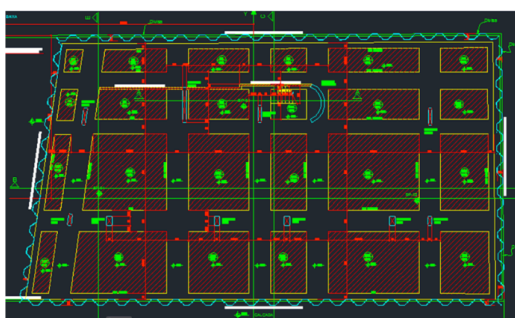


Figura 05. Projeto de Contenção – Edif. CASO 2.

Como pode ser observado no corte transversal exibido na Figura 06, as estacas-pranchas AU 14 foram instaladas a partir da cota - 0,30m, com 8,00m de profundidade, e segue a seguinte

seqüência construtiva, conforme Projeto Executivo da Arcelor Mittal:

1. Construção da viga de coroamento da estaca-prancha;
2. Instalação de tirantes provisórios para travamento da cortina na cota - 0,30m;
3. Escavação até a cota - 5,25m;
4. Execução do radier como travamento definitivo;
5. Remoção dos tirantes provisórios.

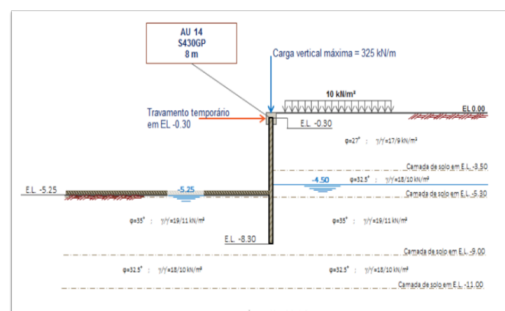


Figura 06. Corte transversal – Edif. CASO 2.

3.3.2 Execução

Utilizando o martelo vibratório modelo ICE 28RF, a instalação das pranchas metálicas modelo AU 14 foi iniciada pela empresa de fundação, no dia 25 de fevereiro de 2015, porém, devido a interferências no local da obra, só veio a ser finalizada no dia 09 de junho de 2015. No total foram instaladas 132 pranchas com 0,75m de largura, somando 100,00m de perímetro em torno do radier, que será executado abaixo da laje de fundo do estacionamento; abaixo da cota - 5,50m.

A escolha da solução em pranchas metálicas pela construtora levou em consideração, não só os aspectos econômicos, pois este projeto se mostrou economicamente mais viável do que a parede em concreto armado (parede diafragma), mas também aspectos executivos como o fato de o martelo vibratório ser livre de ressonância, evitando problemas com ruído e vibração nas edificações vizinhas, muito próximas à obra.



Figura 15. Execução – Edf. CASO 2.



Figura 07. Execução – Edf. CASO 2.

4 RESULTADOS

4.1 Caso 1 – Previsto x Executado

A partir do acompanhamento na execução da instalação dos perfis metálicos, foram coletados os dados de execução e os resultados do ensaio exigido, a Prova de Carga Estática.

O terreno apresentou um comportamento peculiar na utilização do martelo vibratório, com um rápido "Set-Up", vindo a parada na camada de areia fina siltosa muito compacta, com alto SPT, tendo comprovado a capacidade de carga através de Provas de Carga Estática, apresentadas nas Figuras 08, 09 e Tabela 3.

Como ainda não existe método disponível para a paralisação na instalação de estacas por martelo vibratório, o critério adotado foi o do

comprimento definido em projeto com comprovação da Prova de Carga Estática.

Observou-se uma redução do comprimento das estacas, variando entre 36,00 e 43,60m na lâmina, conforme mostrado abaixo em gráficos nas Figuras 17, 18 e 19, os comparativos entre a profundidade prevista, inicialmente, em projeto e o que foi executado.

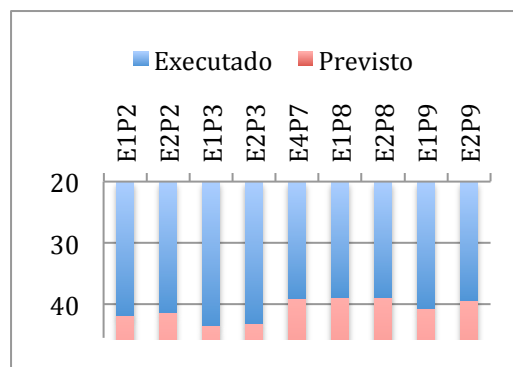


Gráfico 01. Previsto x Executado – Estacas Tipo A

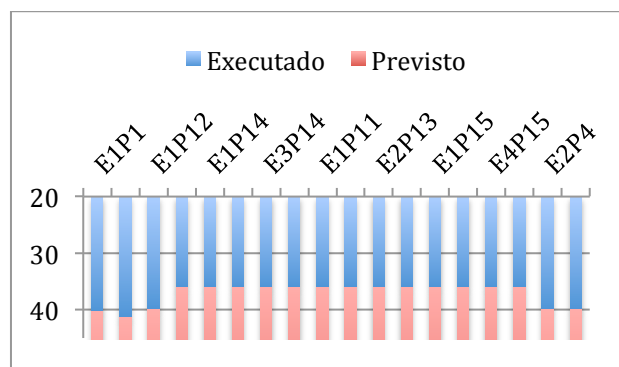


Gráfico 02. Previsto x Executado – Estacas Tipo B

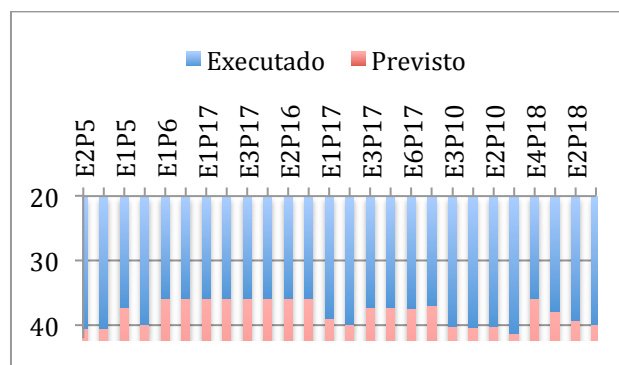


Gráfico 03. Previsto x Executado – Estacas Tipo C e D

Na periferia foram atingidos os 23,50m previstos sem maiores dificuldades.

Como pode ser observado na Tabela 02, com relação ao desempenho e produtividade dos martelos vibratórios, nesta obra, o modelo ICE 28RF trabalhou por 11 dias mantendo uma média de 128,90m de perfis instalados por dia, em uma profundidade média de 39,00m. Em seguida, o modelo ABI HVR100, em 10 dias trabalhados executou uma média de 80,25m/dia, em uma profundidade média de 35,70m.

Comparando a produtividade obtida no CASO 1 com tabela apresentada por (Gusmão et. al, 2005) onde tem-se uma média de 50,00m de estaca metálica executada por dia, pode-se considerar que o resultado foi satisfatório.

Tabela 2. Resumo de Produção – Edf. CASO 1

Mod elo	Tip o	Tip o	Ti po	Tip o	Média (m)	Dias Trabalh ados	Tot al
	A(%)	B(%)	C/ D (%)	E(%)			
ICE	100	22	63	56	128,9	11	41
ABI	0	88	37	44	80,25	10	37

4.1.2 Controle da instalação dos perfis

Foram feitas Provas de Carga Estática em duas estacas: P7-E04 (Tipo A) e P16-E01 (Tipo C), pelo método misto de acordo com a NBR 12131/2006, apresentadas nas Figuras 08 e 09 e na Tabela 03. A primeira foi instalada com o martelo ICE 28 RF, e a segunda com o ABI HVR 100

Tabela 3. Provas de Carga Estáticas.

Es tac a	Seção	Com p.(m)	Car ga Má x(T f)	Rec. Tota l(m)	Rec. Perm (mm)	Rec. Elásti co(m)	P. C. E
P7 - E0 4	310x7 9/93/1 25	39,3 0	441 ,6	51,2 1	13,7	37,5	1
P1 6- E0 1	310x7 9/93	36,0 0	312 ,8	40,5 5	15,5	25,0	2

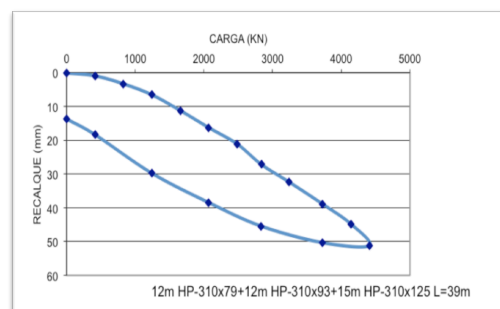


Figura 08. Carga x Recalque – Estaca P7-E04

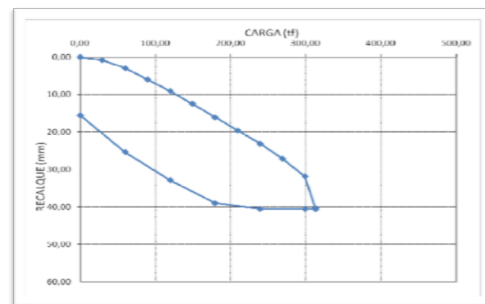


Figura 09. Carga x Recalque – Estaca P16-E01

Os ensaios realizados nas estacas P7-E04 e P16-E01 atingiram mais de 2 vezes a carga de trabalho, atendendo aos parâmetros da NBR 12131/2006, onde exige-se que a carga máxima atinja no mínimo 2,0 vezes a carga de trabalho para estacas metálicas. Na tabela 04, pode-se verificar um resumo do resultado da Prova de Carga realizada na estaca P7-E04, interpretado por diferentes métodos, correlacionando com o coeficiente de segurança obtido.

$$\text{Coeficiente de Segurança (CS)} = \text{Carga de ruptura} / \text{Carga de Trabalho} \quad (1)$$

Tabela 4. Coeficiente de Segurança x Método P.C.E.

Estaca P7- E04	Norma (Tf)	Chin (Tf)	Van der Veen (Mod.Aoki) (Tf)
Carga de Trabalho	220	220	220
Carga de Ruptura	490	526,31	620
Coeficiente de Segurança	2,3	2,39	2,82

A interpretação dos resultados pelos métodos da Norma, Chin e Van der Veen, foi feita apenas para a estaca P7-E04 nesta obra. Porém, no relatório fornecido pela empresa que executou a

P.C.E e conforme informações apresentadas na Tabela 3, é possível verificarmos que o Coeficiente de Segurança 2 também foi atingido na estaca P16-E01.

Para a estaca P7-E04, Tipo A, inicialmente prevista para 45,50m e ensaiada com 39,60m de profundidade, houve redução de quase 5,00m no comprimento, atingindo a carga solicitada em projeto com recalques admissíveis.

Para a estaca P16-E01, Tipo C, inicialmente prevista para 41,50m, ensaiada com 36,00m de profundidade, houve uma redução de pouco mais de 5,00m no comprimento unitário, atingindo a carga solicitada em projeto com recalques admissíveis. "Do ponto de vista da execução do estaqueamento os resultados de cravação, bem como dos ensaios de prova de carga estática executados correspondem às premissas do projeto", Gusmão et al. (2015).

4.2 Caso 2

Diante dos resultados obtidos no Edf. CASO 2, primeira obra de subsolo com contenção em estacas-prancha na região, utilizando o martelo vibratório para a instalação, pode-se destacar alguns pontos importantes que fazem desta uma excelente solução para este tipo de obra em aglomerados urbanos:

- Custo x Benefício: Solução mais barata do que as apresentadas em concreto armado;
- As estacas-prancha serão utilizadas como contenção e parede definitiva do subsolo, aplicando apenas uma pintura especial após a execução da laje de fundo;
- As estacas-prancha impedem a passagem do lençol freático para dentro da obra de uma maneira muito mais eficaz do que uma "parede diafragma", que contém vazamentos devido ao método de execução;
- Tempo de execução: Foram necessários apenas 7 dias trabalhados para a instalação das estacas-prancha;-
- Baixa emissão de vibrações e ruídos - Obra cercada de prédios vizinhos;-

- Produto reutilizável, de baixo impacto ambiental;
- Obra enxuta, com necessidade de uma área pequena para estoque.

Não houve monitoramento por parte do cliente. Na execução, houve cuidado redobrado com o alinhamento das pranchas, e a verificação através de inspeção visual.

Com relação ao desempenho e produtividade no CASO 2, considerando os 7 dias trabalhados, foram em média executados 15,00m do perímetro da contenção por dia, aproximadamente 20 estacas-pranchas de 8,00m de profundidade, ou 160,00m por dia. Na Figura 10 pode-se observar a escavação do terreno na cota -2,80. Nesta cota, será executado uma linha de tirantes que funcionará como ancoragem provisória até a concretagem da laje de fundo. Até a conclusão deste trabalho, o estágio da obra é o mostrado abaixo na Figura 10.



Figura 10. Contenção – Edf. CASO 2

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos dois estudos de caso comprovam a viabilidade da utilização do martelo vibratório para a instalação de perfis e pranchas-metálicas na Região Metropolitana do Recife.

No CASO 1, onde o equipamento foi usado para a instalação de perfis metálicos com até 45,00m de profundidade, o resultado foi bastante satisfatório nos quesitos produtividade e confiabilidade. Verificou-se uma diminuição nos comprimentos das estacas, atendendo a carga de trabalho definida em projeto e atingindo coeficiente de segurança maior do

que 2, conforme exigido pela Norma NBR 12131/2006, representando economia considerável, e segurança para a Construtora. Além disso, esta solução favoreceu a não transferência de vibração para as edificações vizinhas, tendo toda a fundação concluída sem ocorrência, principalmente do edifício que foi desocupado pela Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes com risco de desabamento.

Até a execução do CASO 2, a grande maioria das contenções foram dimensionadas em concreto armado na Região Metropolitana do Recife, assim como a solução inicial desta obra que seria em parede diafragma. Em 07 dias trabalhados, foram executados 1.056,00m de estacas-prancha, correspondendo 100,00m do perímetro. Normalmente, as máquinas mais modernas que executam parede-diafragma conseguem atingir uma produtividade de 70,00m² por dia. Nesta obra o martelo vibratório executou 117,60m² diariamente. Considerando que o martelo vibratório tem poucas obras executadas até o momento, não só na RMR, mas em todo o Brasil, a partir do aumento na frequência de uso do equipamento, será possível avançar cada vez mais no entendimento de como o solo local reage à utilização do equipamento, acrescentando às normas atuais, aspectos importantes para a formulação de novos projetos.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de agradecer toda a sua família, especialmente da esposa e companheira Tatiana, a mãe Maria e o pai José Claudio. Aos colegas de trabalhos, sócios, clientes e fornecedores, que sempre depositaram confiança em seu trabalho.

Agradece a Gusmão Engenheiros Associados Ltda., que forneceu dados para a formatação deste trabalho. A GNG Fundações e toda sua equipe. Por fim, agradecer a Arcelor Mittal e a SEFE, que também cederam material para o trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas(2006). NBR 12131. *Prova de Carga estática*.

COBRAMSEG 2016

Gusmão Engenheiros e Associados(2015). Relatório RL02-11313.

Gusmão et. al. (2005). *Geotecnia no Nordeste*. 2nd edição.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Censo Brasileiro*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística(2012). *Produto Interno Bruto dos Municípios*.

Perez, Bruno. (2014). *Tradução do Manual de Treinamento para martelo vibratórios da Dieseko Group*.

Sena, Rafael. (2015). *O uso do martelo vibratório em obras no Grande Recife. Trabalho de Conclusão de Curso. Unicap*.