

## Caso de Obra de Fundações em Estacas de Obra Industrial: Aspectos de Projeto, Execução e Controle

Alexandre Duarte Gusmão

Universidade de Pernambuco e Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, gusmao.alex@ig.com.br

Gilmar de Brito Maia

Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, gilmar@gusmao.eng.br

Rodrigo Figueiredo Roma

Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, rodrigo.f.roma@gmail.com

Rogério Amaral Pinto de Almeida

GNG Fundações, Fortaleza, Brasil, roger@gngfundacoes.com.br

José Cláudio Filho

GNG Fundações, Recife, Brasil, joseclaudio@gngfundacoes.com.br

**RESUMO:** A construção de uma indústria é sempre um grande desafio para a engenharia. Os volumes e prazos envolvidos fazem com que a etapa de fundação seja um dos marcos no planejamento da obra. O presente artigo apresenta um caso de obra da construção de uma fábrica localizada na Região Metropolitana do Recife. São 19 unidades compreendidas entre armazéns e edificações especiais com requisitos elevados de desempenho. Tendo em vista as características geotécnicas do terreno e o reduzido prazo da obra, foram projetadas fundações com estacas tipo hélice contínua (3.129 estacas de 400, 500 e 600mm de diâmetro e comprimento variando entre 16 e 25m) e metálicas (538 estacas com perfil laminado HP-310x125 e comprimento variando entre 23 e 27m). A execução das estacas foi concluída em 137 dias. São apresentados os principais aspectos da logística necessária à execução das estacas, bem como são discutidos os resultados dos controles de execução (provas de carga estáticas; ensaios de carregamento dinâmico; ensaios de integridade; etc). Ao final, os resultados foram plenamente satisfatórios e atenderam às expectativas do contratante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações em estacas; execução; controles; obra industrial.

**ABSTRACT:** Building an industry is always a big challenge for engineering. The volumes and deadlines involved make the foundation stage one of the milestones in the planning of the work. This article presents a case study of the construction of a factory located in the Metropolitan Area of Recife. There are 19 units between warehouses and special buildings with high performance requirements. Because of the geotechnical characteristics of the site and the reduced construction time, pile foundations were designed with Continuous Flight Auger (3.129 piles of 400, 500 and 600mm in diameter and length ranging from 16 to 25m) and steelpiles (538 piles with laminated steel profile HP-310x125 and length ranging from 23 to 27m). The execution of the piles was completed in 137 days. The main aspects of the logistics necessary for the execution of the piles are presented, as well as the results of the execution controls (static load tests, dynamic load tests, integrity tests, etc.) are discussed. At the end, the results were fully satisfactory and attended the expectations of the contractor.

**KEYWORDS:** Pile Foundations; Execution; Controls; Industrial work.

## 1 Localização geográfica da obra

Os expressivos investimentos no desenvolvimento da infraestrutura do Complexo Industrial de Suape, motivada principalmente pelo seu posicionamento geográfico e estratégico, atraíram grandes indústrias como a Refinaria Abreu e Lima e o Estaleiro Atlântico Sul. Estes investimentos contribuíram para uma região com a construção civil aquecida e economia crescente. Como resultado do último período de recessão econômica sofrido pelo país, a construção de novas indústrias na região foi fortemente impactada. Entretanto, as novas e promissoras perspectivas econômicas, já especuladas desde 2017, fizeram com que algumas empresas retomassem seus planejamentos e construções de indústrias e fábricas na região de Suape.

O Complexo Industrial de Suape, localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), é uma microrregião compreendida entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, sendo um dos maiores polos industriais do Estado de Pernambuco. A obra relatada, objeto de estudo deste trabalho, localiza-se na porção norte da microrregião, pertencente ao sul do município de Cabo de Santo Agostinho. Adiante, na Figura 1, encontra-se o geoposicionamento deste município.

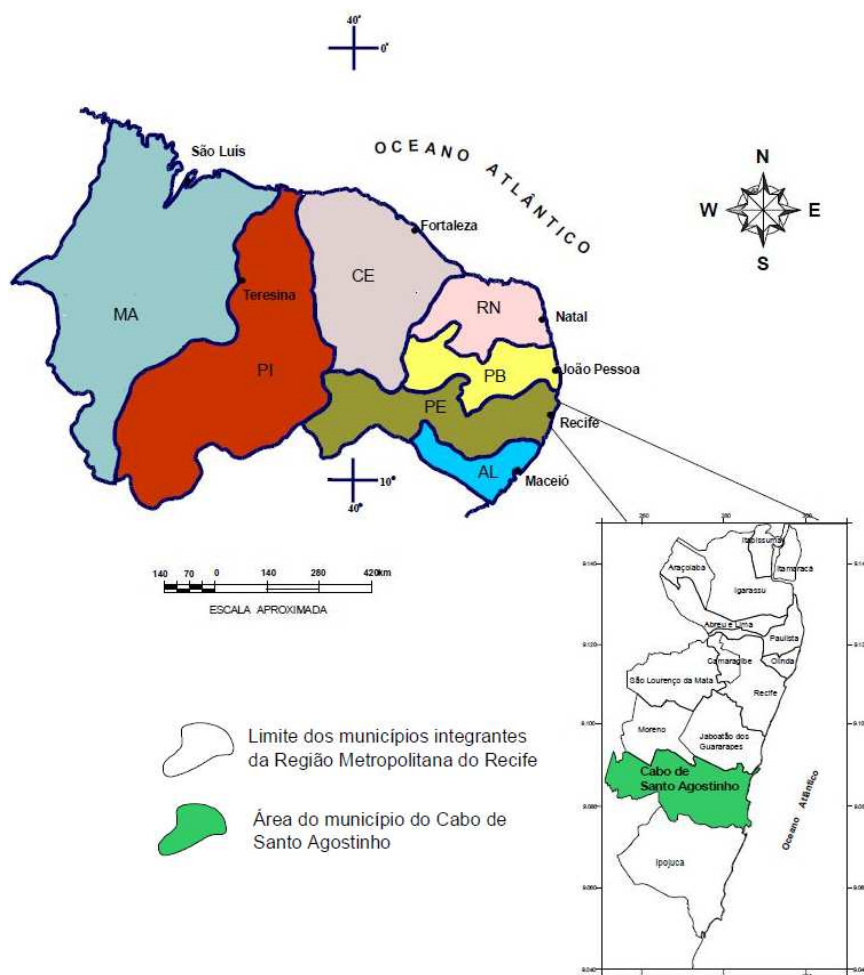


Figura 1. Localização do município de Cabo de Santo Agostinho na RMR. Fonte: Assis (1999).

Segundo Assis (1999), o município do Cabo de Santo Agostinho fica à 41km da capital Recife, com área de 448,4 km<sup>2</sup>, representando 16,28% da RMR e 0,45% do território do estado de Pernambuco. Possui duas zonas fisiográficas distintas: Litoral e Zona da Mata, onde predomina o clima quente e úmido. Os principais solos da região são formados por aluviões, solos de mangue, terra roxa, latossolo amarela, podzólico e podzol, areias marinhas e areias de praia (EMBRAPA, 2001).

## 2 A Obra

### 2.1 Porte da Obra

A fábrica está localizada em um lote com 25ha de área, às margens da PE-009, possuindo 32ha de área construída. Foram planejadas 19 unidades, compreendidas entre galpões e edificações, variando de tamanho e funcionalidade na fábrica, e apenas 16 destas unidades foram projetadas e executadas com fundações em estacas (hélice contínua e metálica). Além das 19 unidades, são previstos estacionamentos, pátios, sistemas de drenagem (escoamento e retenção), centro de distribuição interna (CDI), pavimentação e áreas destinadas à posterior construção de novas unidades e ampliação de unidades fabris existentes.

O número total de estacas executadas foi de 3.667, compreendidas entre 3.129 estacas do tipo hélice contínua (400, 500 e 600mm de diâmetro), e 538 estacas com perfil laminado HP-310x125. Os comprimentos executados divergiram levemente dos comprimentos projetados, onde o comprimentos das estacas tipo hélice contínua variaram de 16 a 25m, e as estacas metálicas variaram de 23 a 27m. No quadro I encontra-se um resumo das unidades com suas respectivas fundações projetadas.

Quadro 1. Unidades, tipos de estacas e suas respectivas quantidades e comprimentos projetados.

UNIDADE	SOLUÇÃO	TIPO	QUANTIDADE	COMPRIMENTO DE PROJETO (m)
1 – Balança dos Caminhões	Hélice Contínua	Ø 400 mm	24	18,50
2 – Portaria	Hélice Contínua	Ø 350 mm	36	19,00
		Ø 400 mm	12	19,00
3 – Administração	Hélice Contínua	Ø 400 mm	189	19,00
		Ø 500 mm	56	20,00
		Ø 600 mm	164	21,00
4 – Apoio dos Caminhoneiros	Hélice Contínua	Ø 350 mm	12	19,00
5 – Produção	Hélice Contínua	Ø 400 mm	104	18,50
		Ø 600 mm	250	20,00
	Perfil Metálico	HP 310x125	538	23,00 a 27,00
6 – Injetáveis	Hélice Contínua	Ø 400 mm	207	18,50
		Ø 500 mm	286	18,50
		Ø 600 mm	39	18,50
7 – Espinha	Hélice Contínua	Ø 400 mm	100	18,50
		Ø 600 mm	04	20,00
8 – Recebimento	Hélice Contínua	Ø 400 mm	30	18,50
		Ø 600 mm	247	20,00
9 – Armazém Automático	Hélice Contínua	Ø 500 mm	750	24,00
10 – Expedição	Hélice Contínua	Ø 400 mm	183	18,50
		Ø 500 mm	28	18,50
11 – Utilidades	Hélice Contínua	Ø 400 mm	164	18,50
		Ø 500 mm	44	18,50
12 – Casa de Caldeiras	Hélice Contínua	Ø 400 mm	26	21,00
13 – Resíduos	Hélice Contínua	Ø 350 mm	61	17,50
14 – Inflamáveis	Hélice Contínua	Ø 350 mm	26	19,00
15 – Reservatório	Hélice Contínua	Ø 400 mm	77	19,00
		Ø 500 mm	24	19,00
16 – Tank Farm	Hélice Contínua	Ø 350 mm	10	19,00



## 2.3 Controles de Execução

### 2.3.1 Hélice Contínua

Os controles executivos relacionados às estacas tipo hélice contínua foram divididos em três: I) controles dos materiais constituintes das estacas ; II) controles durante a execução; III) controles após a execução. No quadro 2 é apresentada a divisão dos controles e suas especificações.

Quadro 2. Controles executivos das estacas tipo hélice contínua.

TIPO	ATIVIDADE	QUANTIDADE
Controles dos materiais	Ensaio de Slump	XX
	Resistência à compressão de corpo-de-prova	XX
Controles durante a execução	Gráfico de execução, contendo: volume de concreto, comprimento da estaca, torque do trado, velocidade de rotação do trado, etc.	3.129
Controles após a execução	Prova de Carga Estática (PCE)	03
	Ensaio de integridade - Pile Integrity Test (PIT)	61

### 2.3.2 Perfis Metálicos

Os controles executivos relacionados às estacas metálicas perfil HP-310x125 foram divididos em dois: I) controles durante a execução; II) após a execução. No quadro 3 é apresentada a divisão dos controles e suas especificações.

Quadro 3. Controles executivos das estacas tipo hélice contínua.

TIPO	ATIVIDADE	QUANTIDADE
Controles durante a execução	Medição de Nega e Repique elástico	538
	Diagrama de cravação	538
	Ensaio de Carregamento Dinâmico – Pile Driving Analyzer (PDA)	25
Controles após a execução	Prova de Carga Estática (PCE)	01

## 3 Resultados dos Controles de Execução

### 3.1 Hélice Contínua

#### 3.1.1. Concreto usinado

Em relação ao controle do concreto utilizado nas estacas tipo hélice contínua, foram elaboradas análises estáticas dos valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova, com base nos relatórios fornecidos pelo laboratório responsável. O  $f_{ck}$  teve um valor de aproximadamente 30,7 MPa. Abaixo, na figura 04, encontra-se a Distribuição Normal dos valores de resistência à compressão, bem como o valor característico ( $f_{ck}$ ), para o intervalo de 28 dias entre a moldagem e o rompimento dos corpos-de-prova. Adiante, na figura 05, é apresentado o gráfico de evolução dos valores de resistência ( $f_{cj}$ ) para todos os intervalos entre moldagem e rompimento existentes nos relatórios (de 7 à 33 dias). Percebe-se que não há uma relação linear entre os valores obtidos.

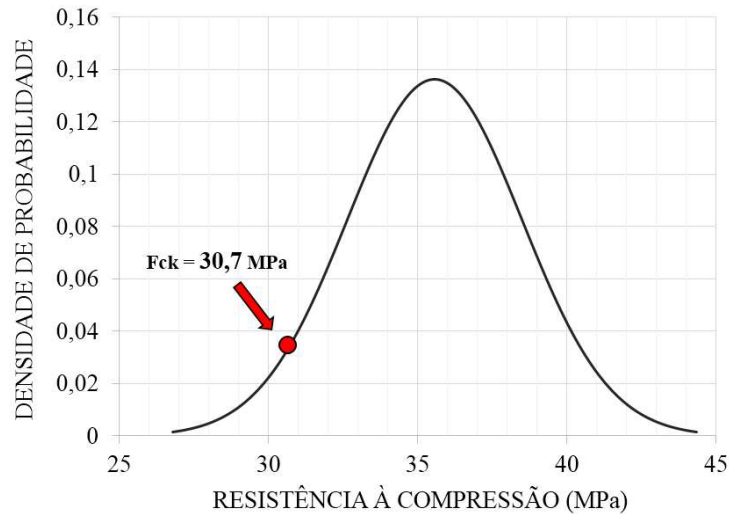


Figura 04. Distribuição Normal dos valores de resistência à compressão do concreto aos 28 dias (fck).  
 Fonte: Autores.

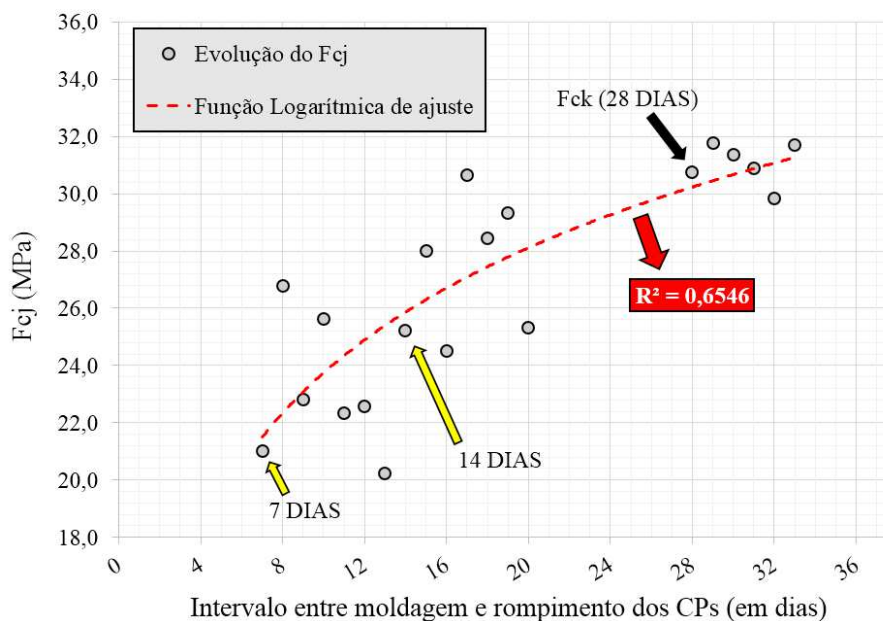


Figura 05. Evolução dos valores de resistência à compressão para os intervalos entre moldagem e rompimento dos corpos-de-prova. Fonte: Autores.

### 3.1.2. Gráfico de Execução

A questão mais relevante durante a execução de estacas moldadas “in loco”, como a estaca hélice contínua, é a garantia da integridade do seu fuste e do diâmetro. A monitoração eletrônica realizada pelo instrumento de medida *GeoDigitus- SoftSaci*, que é acoplado ao equipamento executor da estaca, permite o acompanhamento dos dados que são essenciais ao controle: profundidade, volume de concreto lançado, pressão de injeção de concreto, tempo e velocidade de extração do trado.

A extração dos dados fornecidos pelo software permitiram a análise estatística dos valores fornecidos, caracterizando o elemento estaca quanto à sua execução, sendo estes valores armazenados em bancos de dados isolados para cada unidade construída, de forma a refinar a qualidade das informações de cada

construção e permitir acompanhar a evolução dos valores no período de construção da unidade. Como exemplo são apresentadas, nas figuras 06 e 07, as análises gráficas dos valores de comprimento e sobreconsumo das estacas da unidade Armazém Automático, construção com o maior número de estacas do tipo hélice contínua (750 estacas de 500mm de diâmetro).

Acerca desta unidade, o comprimento previsto foi de 24,00m e o comprimento executado variou entre 16,16 m e 24,16 m, com valor médio de 20,9 m. Observou-se que a camada de alteração de rocha se encontra a menos de 24 m de profundidade, como previsto nas sondagens. O comprimento total executado foi de 15.704,1 m, 2.295,9 m a menos do que o valor previsto em projeto. O sobreconsumo apresentou valores bastante dispersos nas primeiras semanas de execução, com posterior normalização, apresentando valor médio de 20,8%. Ambos os valores foram considerados satisfatórios.

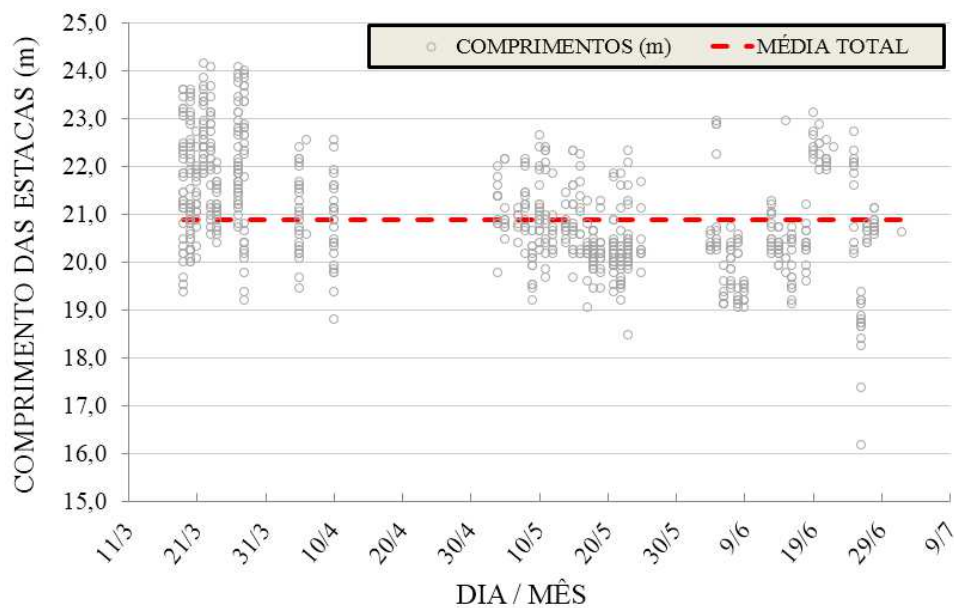


Figura 06. Evolução física do comprimento das estacas na unidade Armazém Automático. Fonte: Autores.

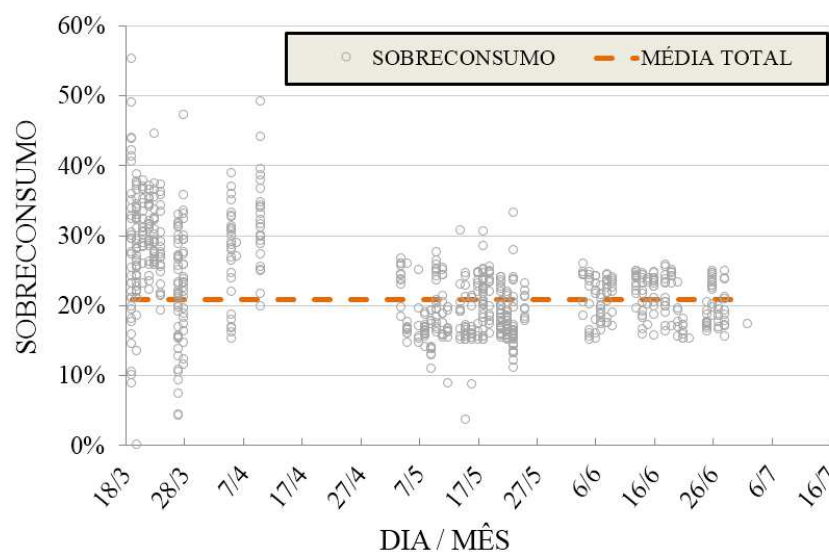


Figura 07. Evolução física do sobreconsumo de concreto das estacas na unidade Armazém Automático. Fonte: Autores.

### 3.1.3. Prova de Carga Estática (PCE)

Em função do porte da obra, bem como da necessidade de um maior conhecimento das características da interação solo-estaca, foram realizadas 03 provas de carga estática (PCE) por uma empresa local especializada. O Quadro 04 resume as quantidades e as estacas onde foram realizados os ensaios, por unidade da fábrica.

Quadro 04. Provas de carga estática realizadas nas estacas hélice contínua.

UNIDADE	ESTACAS ENSAIADAS				
	DIÂMETRO O (mm)	CARGA DE ENSAIO (kN)	RECALQUE TOTAL (mm)	RECALQUE PERMANENTE (mm)	RECALQUE ELÁSTICO (mm)
Produção – E494	600	2.600	8,00	3,61	4,39
Recebimento – EEC1	600	2.600	11,58	4,92	6,66
Armazém Automático – EEC2	500	2.000	9,70	5,30	4,40

Abaixo, na figura 08, apresenta-se a curva carga-recalque obtida através das PCEs apresentadas anteriormente no quadro 04. O resultado das PCEs realizadas na obra demonstraram baixos níveis de deformação para carga de ensaio da ordem de 2 vezes a carga de trabalho, como especifica a NBR 6122/2010, apresentando resultados bastante satisfatórios.

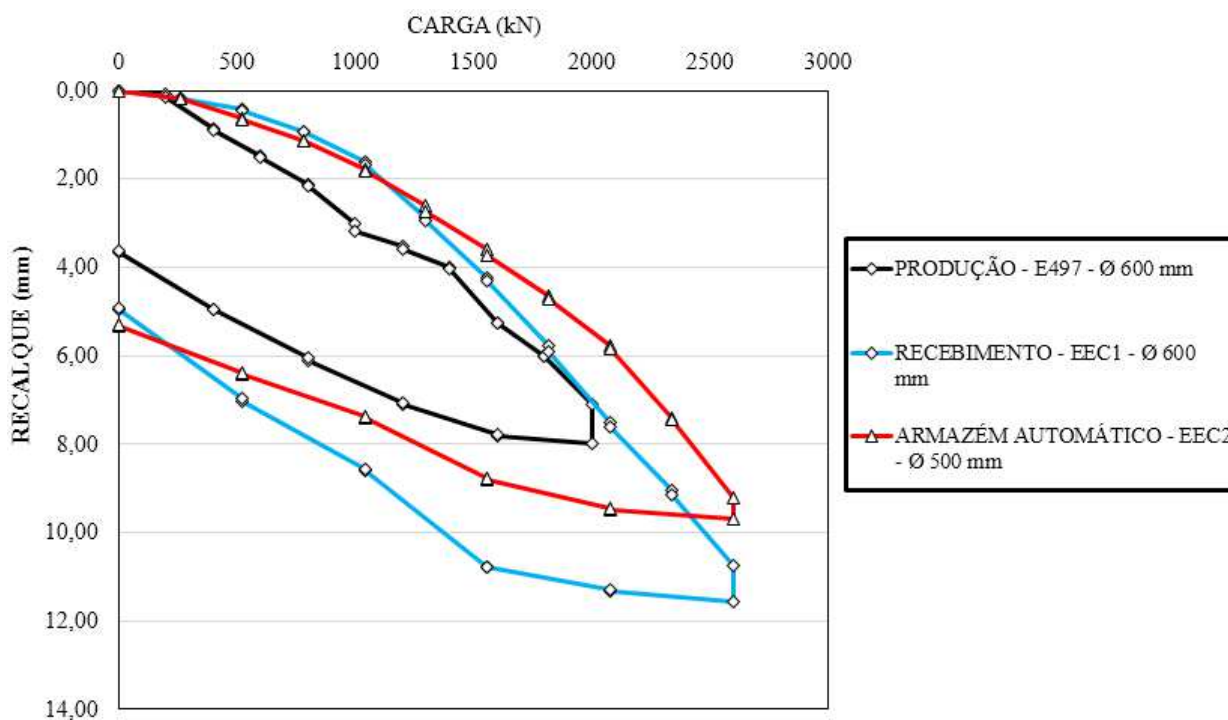


Figura 08. Curva Carga x Recalque obtida na PCE realizadas nas estacas hélice contínua. Fonte: Autores.

### 3.1.4. Ensaio de Integridade (PIT)

Por especificação de projeto, foram realizados ensaios para a verificação da integridade estrutural após a execução das estacas. Estes ensaios são conhecidos como PIT (Pile Integrity Test), ou “Ensaio de Baixa Deformação”, e são assim denominados por necessitar de um impacto de um martelo de mão no topo do elemento de fundação, provocando um nível muito baixo de deformação. Segundo Turner (1997), esta



onda de baixa deformação se propaga da mesma forma ao longo da estaca, refletindo-se em pontos de singularidades, onde ocorreriam eventuais danos. Logo, a verificação da integridade se dá através da determinação da velocidade de propagação de onda daquele elemento de fundação e, indiretamente, o valor do módulo de deformação dinâmico, parâmetros estes úteis na análise da instrumentação dinâmica.

Na obra, foram executados 61 PITs na unidade Armazém Automático, onde constatou-se que todas as estacas ensaiadas estão íntegras, com valores de velocidade de onda variando de 3,5 a 4,0 m/ms, resultado bastante satisfatório. Adiante, na figura 09, encontra-se o resultado do ensaio elaborado por software do equipamento utilizado.

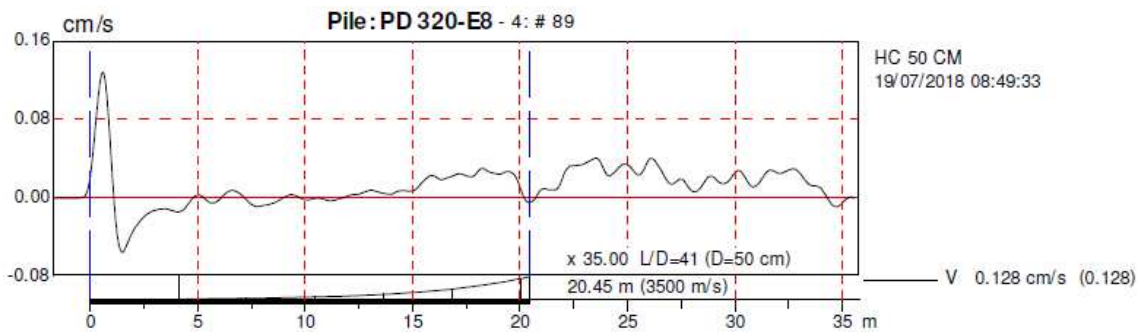


Figura 09. Resultado do ensaio PIT em uma das estacas da unidade Armazém Automático. Fonte: Autores.

## 3.2 Perfis Metálicos

### 3.2.1. Medição de Nega e Repique elástico

O controle através da nega (deslocamento permanente para um golpe do pilão) e do repique elástico (deformação elástica da estaca para um golpe do pilão), interpretada pelas “Fórmulas Dinâmicas de Cravação”, permite avaliar a homogeneidade do estaqueamento e estimar a capacidade de carga das estacas do ponto de vista da resistência do terreno. Abaixo, na figura 10 encontra-se a evolução dos valores de Nega medidos na execução das 538 estacas metálicas da obra.

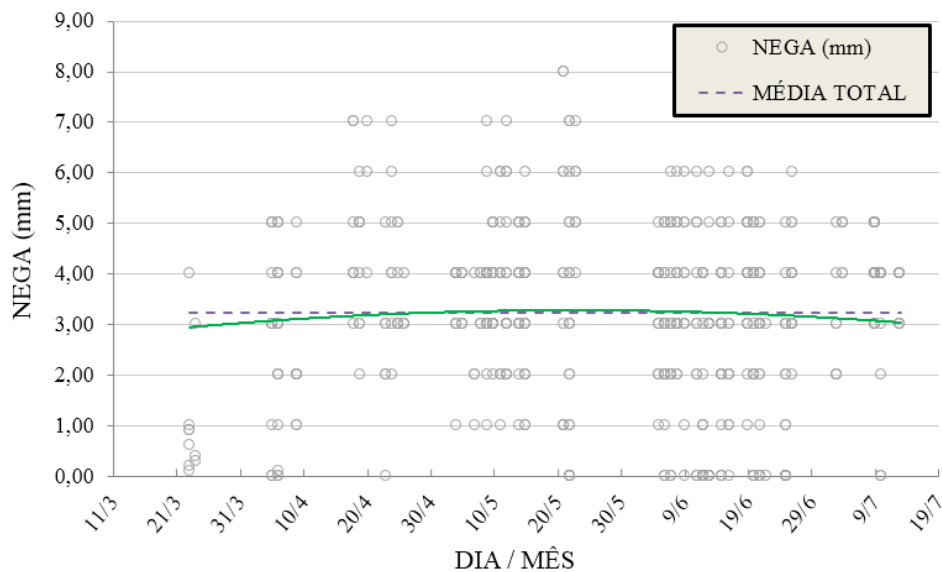


Figura 10. Evolução dos valores de Nega medidos no final da cravação dos perfis metálicos. Fonte: Autores.

### 3.2.2. Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) e Prova de Carga Estática (PCE)

No total, foram realizados 25 ensaios PDA ao final da cravação dos perfis metálicos, e 01 PCE após parte do estaqueamento concluído, de forma a validar as premissas de projeto e liberar a cravação das demais estacas metálicas da obra. Os ensaios PDA mostraram que, pela linearidade das curvas, a maioria dos ensaios mobilizou resistência superior a 3.500 kN, resultado bastante satisfatório.

Em relação à PCE, a carga de ensaio foi de 3.450 kN e observou-se a ruptura do terreno de fundação na ponta da estaca. Os dados encontram-se resumidos abaixo no quadro 05.

Quadro 05. Provas de carga estática realizada na estaca metálica.

UNIDADE	ESTACAS ENSAIADAS			
	CARGA DE ENSAIO (kN)	RECALQUE TOTAL (mm)	RECALQUE PERMANENTE (mm)	RECALQUE ELÁSTICO (mm)
Produção – EM129	3.450	52,81	36,81	16,81

Diante da análise dos conjuntos das campanhas de PDA e PCE, constata-se que os resultados são satisfatórios em função da carga de projeto de 2.170 kN, atendendo às premissas de projeto. Os resultados dos ensaios são ilustrados todos juntos na figura 11.

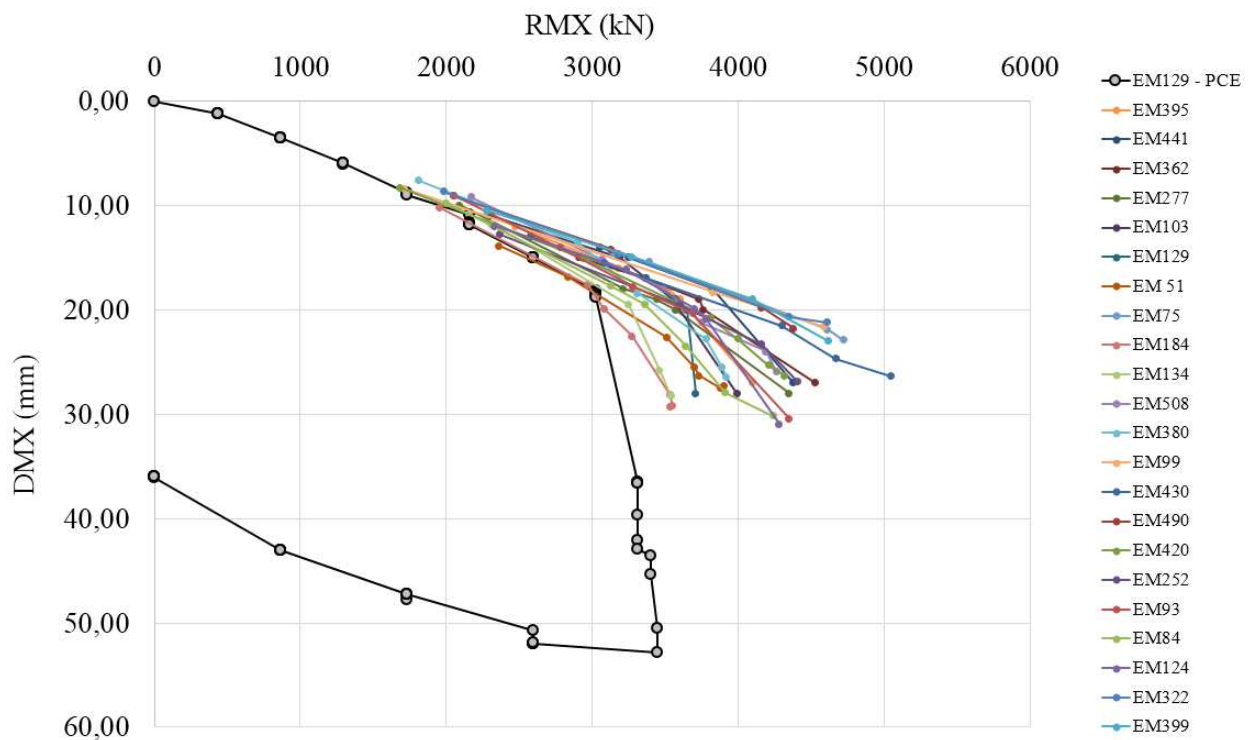


Figura 11. Resultados dos ensaios de PDA e PCE. Fonte: Autores.

## 5 Conclusão

A empreiteira contratada executou 3.667 estacas da obra em 137 dias corridos, entre os meses de março e agosto de 2018, utilizando 08 máquinas no total, onde 05 foram destinadas à execução das estacas tipo hélice contínua e as outras 03 foram destinadas à execução das estacas metálicas. O prazo estabelecido pelo contratante foi atendido, assim como as especificações técnicas do projeto.

Em relação às estacas tipo hélice contínua, os resultados dos controles de execução foram considerados satisfatórios e confirmam a qualidade do estaqueamento realizado. As estacas executadas atingiram, de forma geral, as profundidades especificadas em projeto, exceto na unidade Armazém Automático, onde não foi possível atingir o comprimento de projeto, como citado anteriormente. Todas as estacas obtiveram sobreconsumos e pressões de concreto aceitáveis. O volume total de concreto para a execução de todas as estacas foi considerado também satisfatório, correspondendo a um sobreconsumo global médio de 20,3%, estando dentro da faixa de valores previstos para a obra. As provas de carga estáticas realizadas nas estacas hélice contínua validam as cargas adotadas nos projetos, com baixos níveis de deformação. A integridade estrutural foi constatada por ensaios PIT (*Pile Integrity Test*) em todas as 61 estacas ensaiadas.

Em relação às estacas metálicas, executadas na unidade Produção, estas apresentaram diagramas de cravação incoerentes com as sondagens disponíveis, e os comprimentos alcançados variaram entre 15,70 e 20,20 m, menores do que os valores previstos no projeto (23 a 27 m). Entretanto, os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico e prova de carga estática mostraram que os valores de resistência mobilizada estão adequados para a carga de projeto. Logo, os resultados dos controles de execução das estacas metálicas também foram considerados satisfatórios.

Tendo em vista os resultados dos controles durante a execução do estaqueamento da obra industrial, conclui-se que foram atendidos aos requisitos de projeto, sendo previsto um desempenho satisfatório para as edificações. Nas estruturas de maior porte, em especial no prédio da unidade Produção, foi recomendado que seja feito o monitoramento de recalques da obra durante sua construção e operação, de forma a acompanhar o desempenho da construção ao longo do tempo, permitindo a elaboração de pesquisas futuras.

#### AGRADECIMENTOS

À empresa GNG Fundações Especiais Ltda. pela disponibilização de material da obra. Agradecimentos também à equipe da Gusmão Engenheiros Associados Ltda. pelo apoio técnico para elaboração deste trabalho, em especial ao desenhista Victor Rufino pelas figuras e design.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, H. M. B. (1999) Cartografia Geomorfológica do Município do Cabo de Santo Agostinho/PE. Série Cartas Temáticas. Recife: CPRM/FIDEM. v. 4, p. 2.
- EMBRAPA/CEPATSA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. EMBRAPA Solos, UEP Recife, 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Turner, M.J. (1997) *Integrity testing in piling practice*. London: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), report 144, pp. 71-86.