



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ANÁLISE DE RECALQUE DIFERENCIAL EM BLOCOS DE  
CONCRETO COM BASE EM MONITORAMENTO DE CAMPO: Um  
Estudo de Caso Geotécnico**

**NAYRA VITORIA MAMEDE DELLA ROVERE**

**REYNALDO GABRIEL LIMA DA CONCEIÇÃO**

**Belém – PA  
Fevereiro/2026**

**NAYRA VITORIA MAMEDE DELLA ROVERE**

**REYNALDO GABRIEL LIMA DA CONCEIÇÃO**

**ANÁLISE DE RECALQUE DIFERENCIAL EM BLOCOS DE  
CONCRETO COM BASE EM MONITORAMENTO DE CAMPO: Um  
Estudo de Caso Geotécnico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

**Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr. Helder Mansur Chaves.**

**Belém - PA  
Fevereiro/2026**

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Nayra Vitoria Mamede Della Rovere  
Reynaldo Gabriel Lima Da Conceição**

## **ANÁLISE DE RECALQUE DIFERENCIAL EM BLOCOS DE CONCRETO COM BASE EM MONITORAMENTO DE CAMPO: Um Estudo de Caso Geotécnico**

Belém, 04 de março de 2026

Prof. Helder Mansur Chaves  
Dr. Pela UFRGS  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

**Prof<sup>a</sup> Laís Rodrigues Da Costa Chaves**

Dra. pela UFRGS

**Prof. Marcelo de Souza Picanço**

Dr. pela UFPA

CONCEITO FINAL: EXCELENTE

## Sumário

FOLHA DE APROVAÇÃO .....	3
RESUMO .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1. Objetivo Geral .....	12
1.2. Objetivo Específico .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1. Fundações superficiais .....	13
2.2. Recalque.....	14
2.2.1. Recalque absoluto .....	15
2.2.2. Recalque diferencial .....	15
2.2.3. Distorção angular.....	15
2.3. Controle de recalque.....	16
2.4. Recalques admissíveis .....	17
2.5. Métodos de recuperação de estruturas afetadas por recalque diferencial	19
2.5.1. Macaqueamento .....	19
2.5.2. Estacas prensadas (estacas mega).....	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Caracterização da edificação .....	23
3.2. Sondagem do Local .....	30
3.3. Levantamento do Nível e Medição do Recalque .....	32
3.3.1. Nível Ótico e Mira (régua) graduada .....	32
3.3.2. Referencial de Nível (RN) .....	33
3.3.3. Pinos.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1. Sondagem do Local .....	35
4.2. Levantamento de Nível do Galpão .....	40
4.3. Leituras do Controle de Recalque .....	50
5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO .....	54
6. CONCLUSÃO .....	55
7. REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
8. ANEXOS .....	57
<b>ANEXO A – Nível dos Pilares .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO B – Distorção Angular – Pavimento Térreo .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO C Distorção Angular – Pavimento Superior .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO D – Controle de Recalque – 1ª Leitura .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO E - Controle de Recalque – 2ª Leitura .....</b>	<b>67</b>

<b>ANEXO F - Controle de Recalque – 3ª Leitura .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO G - Controle de Recalque – 4ª Leitura.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO H – Distorção Angular Durante Leituras.....</b>	<b>73</b>

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso geotécnico realizado no Galpão 10 do Porto de Belém, edificação centenária implantada em área originalmente litorânea, que passou por regularização com aterro dragado do Rio Guajará, que foi contido por um muro de cais portuário, a estrutura passará por adaptação em sua funcionalidade e será novo Terminal Hidroviário Internacional de Belém. As fundações da edificação foram executadas em blocos de concreto. O objetivo do estudo foi analisar a ocorrência de recalques diferenciais por meio de monitoramento de campo, visto que a edificação apresentava indícios significativos desse fenômeno. A metodologia adotada consistiu em levantamentos topográficos com nível ótico, utilizando pinos metálicos como marco de referência, com a realização de quatro campanhas de leituras ao longo de três meses. Os resultados indicaram a ocorrência de recalques diferenciais com baixas velocidades médias no período monitorado, na ordem de 5,345  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , bem como distorções angulares inferiores aos limites admissíveis, os maiores valores de distorção encontrados foram de 1/1314 no pavimento térreo e 1/2532 no pavimento superior, em relação aos desníveis atuais entre os pilares, e de 1/2909 para os recalques observados durante o período de monitoramento. Concluiu-se que não há a necessidade de reforço imediato das fundações, recomendando-se a regularização altimétrica da estrutura e a continuidade do monitoramento para acompanhamento do seu comportamento ao longo do tempo.

**Palavras-Chave:** monitoramento geotécnico; fundações superficiais; levantamento topográfico; recalque diferencial; velocidade de recalque.

## ABSTRACT

This work presents a geotechnical case study conducted on Warehouse 10 of the Port of Belém, a century-old building located in an originally coastal area, which underwent regularization with dredged landfill from the Guajará River, contained by a port quay wall. The structure will undergo adaptation in its functionality and will become the new Belém International Waterway Terminal. The building's foundations were constructed of concrete blocks. The objective of the study was to analyze the occurrence of differential settlements through field monitoring, since the building showed significant signs of this phenomenon. The methodology adopted consisted of topographic surveys with an optical level, using metal pins as reference points, with four reading campaigns carried out over three months. The results indicated the occurrence of differential settlements with low average velocities during the monitored period, on the order of  $5.345 \mu\text{m/day}$ , as well as angular distortions below the admissible limits. The highest distortion values found were  $1/1314$  on the ground floor and  $1/2532$  on the upper floor, in relation to the current level differences between the pillars, and  $1/2909$  for the settlements observed during the monitoring period. It was concluded that there is no need for immediate reinforcement of the foundations, and it is recommended that the structure be leveled and that monitoring be continued to track its behavior over time.

**Palavras-Chave:** geotechnical monitoring; shallow foundations; topographic survey; differential settlement; settlement velocity.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fundações superficiais.....	13
<b>Figura 2:</b> Tipos de fundações superficiais. ....	14
<b>Figura 3:</b> Distorção angular. ....	16
<b>Figura 4:</b> Distorções angulares e danos associados. ....	18
<b>Figura 5:</b> Sistema de macaqueamento.....	19
<b>Figura 6:</b> Métodos de cravação de estacas prensadas. ....	20
<b>Figura 7:</b> Fluxograma da metodologia adotada. ....	22
<b>Figura 8:</b> Planta de localização. ....	23
<b>Figura 9:</b> Elevações, corte e planta baixa do armazém do projeto original. ....	24
<b>Figura 10:</b> Vista Parcial do Porto do Pará.....	25
<b>Figura 11:</b> Seção do muro do cais.....	26
<b>Figura 12:</b> Verificação das fundações existentes.....	27
<b>Figura 13:</b> Projeto das fundações.....	28
<b>Figura 14:</b> Nova planta do galpão 10. ....	29
<b>Figura 15:</b> Croqui de locação dos furos de sondagem. ....	31
<b>Figura 16:</b> Procedimento de leitura com nível ótico e mira topográfica.....	32
<b>Figura 17:</b> Detalhe do pino de leitura de recalque. ....	34
<b>Figura 18:</b> Detalhe do pino de leitura de recalque. ....	34
<b>Figura 19:</b> Resultado dos furos de sondagem. ....	36
<b>Figura 20:</b> Resultado do furo de sondagem SP01.....	38
<b>Figura 21:</b> Distorção angular no pavimento térreo.....	42
<b>Figura 22:</b> Distorção angular no pavimento superior. ....	43
<b>Figura 23:</b> Planta de níveis do pavimento térreo. ....	44
<b>Figura 24:</b> Planta de níveis do pavimento superior. ....	45
<b>Figura 25:</b> Perfil de níveis do pilar 1 ao pilar 16.....	46
<b>Figura 26:</b> Perfil de níveis do pilar 17 ao pilar 32.....	47
<b>Figura 27:</b> Perfil de níveis do pilar 33 ao pilar 48.....	48
<b>Figura 28:</b> Perfil de níveis do pilar 49 ao pilar 64.....	49
<b>Figura 29:</b> Velocidade média do recalque total x tempo total.....	52
<b>Figura 30:</b> Distorção angular entre pilares.....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores admissíveis para velocidade recalque. ....	18
<b>Tabela 2:</b> Coordenadas UTM – Ponto de Referência.....	40
<b>Tabela 3:</b> Análise estatística dos desníveis dos pilares no pavimento térreo e superior em relação ao pilar de maior cota. ....	40
<b>Tabela 4:</b> Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 28 dias.....	50
<b>Tabela 5:</b> Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 64 dias.....	51
<b>Tabela 6:</b> Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 92 dias.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Os deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotacionais provocam deformações nas estruturas quando submetidas a carregamentos, devido ao comportamento do solo sob a ação dessas cargas (Alves, 2006). Os recalques também podem ocorrer devido a outros fenômenos independentes do acréscimo de carga, que estão associados à reorganização interna do solo, segundo Vargas (1978). Terzaghi (1996) também cita fatores como variação do lençol freático, perda de suporte do solo, escavações adjacentes e fugas de finos.

Nesse contexto, a instrumentação geotécnica por meio do monitoramento de recalque permite avaliar as velocidades de deformação do solo e identificar tendências de movimentação das fundações, constituindo ferramenta fundamental para análise de desempenho estrutural e prevenção de danos progressivos.

O presente estudo de caso foi realizado no Armazém 10, também denominado Galpão 10, localizado às margens da Baía do Guajará, integrante do conjunto de armazéns que compõem o Porto de Belém, no estado do Pará. A edificação, construída em estrutura metálica há mais de um século, foi implantada em área originalmente litorânea, sendo necessária a regularização do terreno por meio de aterro proveniente de dragagem da Baía do Guajará. A contenção do aterro foi executada mediante a construção do muro de cais do Porto de Belém, constituído por blocos pré-fabricados (Teixeira, 2005).

A necessidade de sua criação surgiu devido ao desenvolvimento econômico paraense no ciclo gomífero e à expansão do comércio local, onde ocorreu um crescimento significativo na demanda de comércio e consequentemente no escoamento de produção da borracha, o que fez com que as docas existentes na época passassem a ser insuficientes para a demanda (Teixeira, 2005).

Com o declínio do ciclo da borracha, ocorreu uma crise econômica, para manter as atividades comerciais, houve mudanças quanto à utilização do galpão. Para mantê-lo em operação, foram armazenados diversos tipos de mercadorias, tais como madeiras, carga geral, granel sólido (trigo a granel) e cargas containerizadas (Companhia Docas Pará, [s.d.]). A ausência de controle rigoroso quanto à natureza e magnitude das cargas armazenadas pode ter resultado na aplicação de solicitações superiores às previstas no projeto original, configurando possível fator contribuinte para os recalques observados ao longo do tempo.

Além desse fator, foi identificada fuga de aterro a montante por meio das aberturas existentes entre os blocos que compõem o muro do cais, que pode ter ocorrido principalmente devido a ação das variações de maré e da movimentação hidráulica, sendo assim, mais um fator que pode ter contribuído para a intensificação dos recalques observados na estrutura no decorrer dos anos.

Em virtude da ausência de registros históricos detalhados, não foi possível quantificar com precisão as cargas atuantes nesse período, tampouco identificar todas as intervenções e adaptações realizadas ao longo de sua vida útil. O projeto de adaptação funcional considera a aplicação de cargas de baixa magnitude, significativamente inferiores em relação às aquelas presumidas no projeto original.

Atualmente, o galpão 10 passa por um processo de revitalização e adaptação para abrigar o novo Terminal Hidroviário Internacional de Belém, contemplando intervenções como nivelamento estrutural, recuperação e tratamento da estrutura metálica, readequação do piso original, execução de alvenarias de vedação nas fachadas e nos banheiros, divisórias internas em drywall, revitalização da cobertura, instalação de esquadrias de vidro, melhoria nos acabamentos internos e sistemas de climatização e combate a incêndio.

A nova estrutura e reorganização do espaço visa atender as funções de embarque e desembarque, áreas de apoio ao usuário, restaurantes, lojas e áreas de serviços, além de garantir acessibilidade e segurança com postos destinados à Polícia Federal, Receita Federal e Anvisa. A partir dessas atividades, consideram-se aplicações de cargas de baixa magnitude compatíveis com uso público, circulação de pessoas e instalações de serviços.

Diante da constatação de recalques diferenciais evidenciados por afundamentos relativos de até 1,88 m, este trabalho tem como finalidade realizar a análise e o controle do comportamento da fundação por meio de monitoramento de campo, considerando diversas modificações que a edificação passou, as variações de carga não previstas no projeto original, e, às condições do terreno, especialmente quanto à fuga ou rearranjo do material de aterro. Busca-se, assim, compreender o comportamento atual do sistema solo-fundação e subsidiar decisões técnicas que evitem o agravamento das deformações estruturais.

### **1.1. Objetivo Geral**

Analisar e quantificar o recalque diferencial das fundações da estrutura ao longo do tempo, identificando suas possíveis causas e avaliando sua magnitude e seus impactos na infraestrutura do galpão.

### **1.2. Objetivo Específico**

- Caracterizar as condições geotécnicas do subsolo;
- Avaliar a velocidade de recalque da estrutura ao longo do período de três meses;
- Verificar a estabilidade da infraestrutura com base no comportamento atual da edificação.
- Propor possíveis intervenções ou medidas de reforço na fundação e/ou na estrutura.

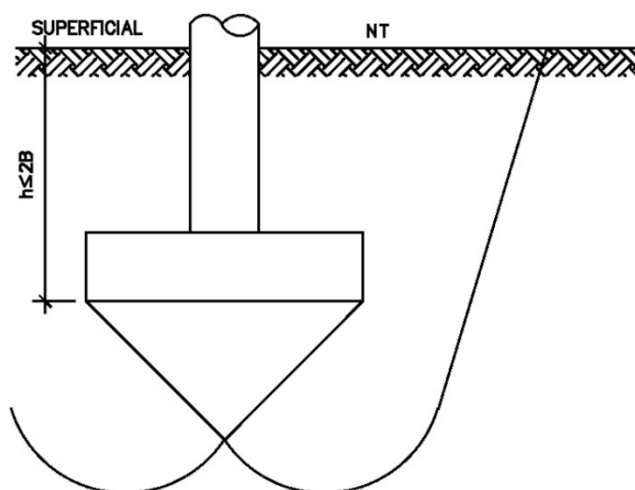
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Fundações superficiais

A NBR 6122:2019 define como fundação superficial o elemento de fundação o qual tem a base assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, como é representado na Figura 1. Nessa área atuam as tensões distribuídas, recebidas pelo solo, que equilibram a carga proveniente da estrutura, em casos onde esse nível de assentamento não é uniforme em todo perímetro da fundação, adota-se a menor profundidade. Destacam-se entre elas as sapatas, blocos, viga de fundação, grelha e radier. A Figura 2 ilustra os tipos de fundações superficiais.

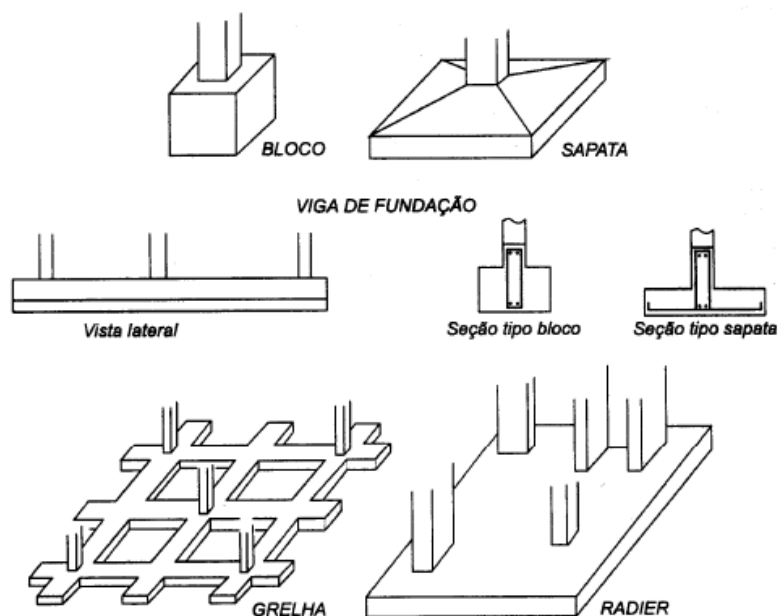
O desempenho dessas fundações depende diretamente de três fatores: a capacidade de suporte, a rigidez do solo próximo à superfície e a distribuição de cargas adequada entre o solo e a fundação. Portanto, a eficácia das fundações superficiais está associada à qualidade do solo subjacente e da transferência de carga da estrutura de maneira bem sucedida (Velloso e Lopes, 2011).

**Figura 1:** Fundações superficiais.



Fonte: Adaptado de Lopes e Velloso (2010).

**Figura 2:** Tipos de fundações superficiais.



Fonte: Lopes e Velloso (2010).

## 2.2. Recalque

O recalque pode ser definido como o deslocamento vertical de um elemento de fundação em relação a sua posição original, resultante da deformação do solo sob ação das cargas aplicadas. Segundo a NBR 6122:2019, esse fenômeno pode ocorrer de forma imediata, devido à deformação elástica do solo, ou ao longo do tempo, por processos de adensamento primário e secundário.

O recalque é uma parte inevitável do comportamento de uma fundação, uma vez que o solo sofre deformações quando submetido a carregamentos. Essas deformações podem ocorrer de forma imediata ou progressiva, e a magnitude depende diretamente das propriedades mecânicas e de compressibilidade do solo, do tipo de fundação e da intensidade das cargas.

Ademais, o objetivo da previsão de recalques não é eliminá-los, mas sim estimar sua magnitude e distribuição, de modo que não causem danos estruturais nem prejudiquem o funcionamento da edificação (Alonso, 1991). Bowles (1997) acrescenta que a magnitude e a distribuição dos recalques estão diretamente relacionadas às propriedades mecânicas e de compressibilidade do terreno, bem como à geometria e rigidez da estrutura apoiada.

### **2.2.1. Recalque absoluto**

Ao receber um determinado carregamento uma fundação sofre recalque, os quais podem ocorrer de modo imediato após o carregamento e/ou outra parcela no decorrer do tempo. Dessa forma, o recalque absoluto representa o deslocamento vertical total de um ponto da fundação em relação a um plano fixo de referência. Esse deslocamento é resultado da soma de diferentes componentes: recalque imediato, recalque por adensamento primário e recalque por deformações secundárias (Alonso, 2011). Logo, o recalque absoluto é o deslocamento vertical total sofrido por um ponto da fundação, medido em relação a um plano de referência fixo.

A NBR 6122:2019 estabelece que a avaliação do recalque absoluto deve garantir que a magnitude resultante não comprometa a funcionalidade da edificação, nem gere fissuras ou deformações excessivas nos elementos construtivos.

### **2.2.2. Recalque diferencial**

O recalque diferencial corresponde à diferença de deslocamento vertical entre dois ou mais pontos da fundação, como ilustrado pelos deslocamentos  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  e  $r_4$  na Figura 3. Segundo Alonso (2011), esse parâmetro é crítico, pois mesmo valores absolutos pequenos podem gerar esforços adicionais não previstos e fissuração, caso haja variação significativa entre apoios.

De maneira geral, a ocorrência de recalque diferencial é ocasionada pela heterogeneidade do solo, variação da profundidade de fundações adjacentes, carregamento assimétrico da estrutura ou ainda a diferenças nas condições de execução. A fase de projeto, especificamente a etapa de investigações geotécnicas detalhadas e a distribuição equilibrada das cargas sobre o terreno são fatores cruciais para o controle desse fenômeno (Cintra e Aoki, 2010).

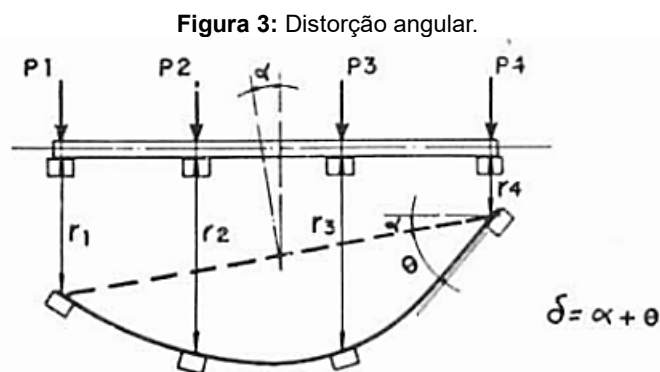
### **2.2.3. Distorção angular**

Este fenômeno é originado pelo recalque diferencial, ele representa a variação angular entre dois pontos de uma estrutura decorrente de deslocamentos verticais desiguais nas fundações (recalque diferencial). Conforme a NBR 6122:2019, a distorção angular é a razão entre o recalque diferencial e a distância horizontal entre os pontos considerados

De acordo com Alonso (2011), a distorção angular influencia a funcionalidade e a estabilidade estrutural, até pequenas variações angulares podem gerar tensões

adicionais e fissuração em elementos de alvenaria, concreto ou aço. Ele ressalta, ainda, que em situações de fundações submetidas a recalques diferenciais significativos, a distorção angular constitui o principal parâmetro de avaliação do comportamento deformacional da estrutura.

Conforme ilustrado na Figura 3, a distorção angular pode ser visualizada como o ângulo formado entre a linha de apoio deformada e a linha originalmente horizontal, resultante da diferença de recalques entre os apoios.



Fonte: Alonso (2011).

### 2.3. Controle de recalque

O controle de recalque é o conjunto de procedimentos de acompanhamento e medição dos deslocamentos verticais durante e após a execução da obra. De acordo com Alonso (2011), esse controle deve estar inserido no processo de gestão da qualidade, sendo realizado de forma sistemática desde o início da execução da fundação até a estabilização da estrutura.

A NBR 13133 trata dos procedimentos para execução de levantamentos topográficos e nivelamentos, sendo a base para o estabelecimento de métodos precisos de medição de recalques. A norma descreve as técnicas de nivelamento geométrico, trigonométrico e pelo Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS), bem como as tolerâncias e a frequência recomendada de medições.

Segundo a NBR 6122:2019, o controle de recalques deve considerar:

- Seleção de pontos fixos de referência estáveis;
- Instalação de marcos de medição na estrutura ou fundação;
- Medições periódicas durante as fases críticas de carregamento;
- Comparação dos resultados com os valores previstos em projeto;
- Adoção de medidas corretivas caso sejam constatados desvios significativos.

Alonso (2011) enfatiza que o controle in situ não deve se restringir a registrar dados, mas sim compará-los continuamente às previsões, permitindo ajustes imediatos no projeto ou na execução. Além de prevenir problemas estruturais, o controle sistemático serve como registro técnico, auxiliando na verificação de responsabilidades contratuais e na mitigação de disputas judiciais (Viana, 2014).

#### **2.4. Recalques admissíveis**

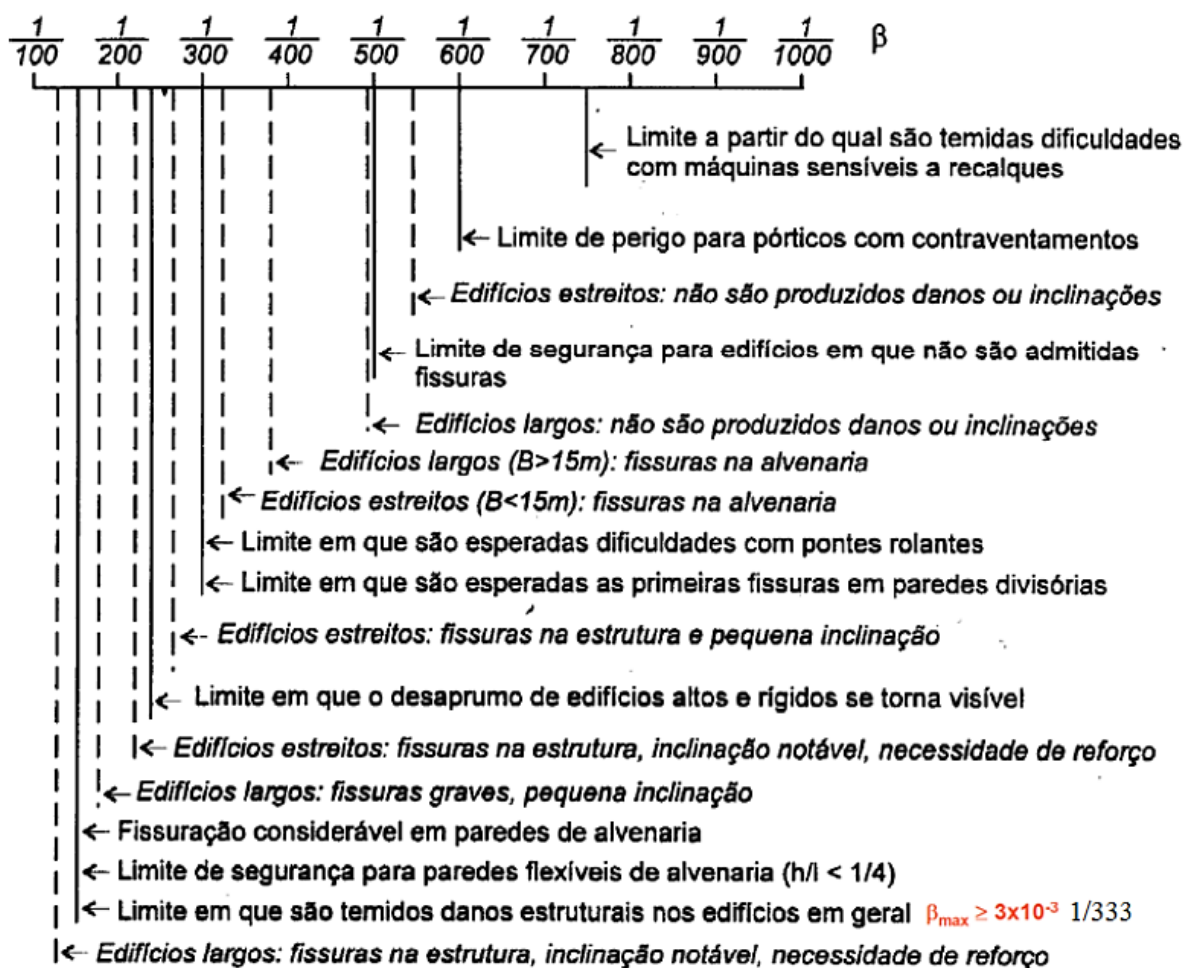
Conforme Alonso (1991), o recalque admissível depende do nível de desempenho esperado da edificação, o qual está relacionado com fatores como o tipo da estrutura, o uso da edificação e a natureza do solo sob onde a fundação está. Ele ressalta que tais limites não representam valores fixos ou universais, mas sim referências empíricas determinadas a partir de observações e experiências de campo.

A NBR 6122:2019 define que o recalque diferencial admissível deve ser limitado para evitar distorções angulares prejudiciais. Esse valor depende do tipo de estrutura, dos materiais e da função da edificação. Em estruturas rígidas, a norma recomenda valores mais restritivos.

Ao exceder o limite tolerável de recalques, é possível que haja o comprometimento da funcionalidade e estabilidade de estruturas. Dessa forma, é necessário que sejam definidos valores de recalques admissíveis, a fim de que os valores sejam iguais ou inferiores a estes, para que não resulte em danos às estruturas.

A distorção angular ( $\beta$ ), citada no subitem 2.3 constitui um parâmetro essencial na avaliação da deformabilidade de fundações. Os valores orientativos de  $\beta$  variam conforme o tipo de estrutura e o nível de dano tolerável, conforme apresentado na Figura 4 que relaciona os limites de distorção angular admissível para diferentes condições estruturais (Alonso, 2011).

**Figura 4:** Distorções angulares e danos associados.



Fonte: Vargas e Silva (1978).

Além da distorção angular, a velocidade de ocorrência dos recalques, medida em micrômetros por dia ( $\mu$ /dia), também é um fator importante para a avaliação do comportamento mecânico das fundações quanto às deformações. Segundo Milititsky et al. (2008), essa velocidade é tão relevante quanto o valor absoluto dos recalques, e está condicionada a múltiplos fatores, principalmente ao comportamento do solo sob carga e como indicação genérica de valores usuais, recomenda-se os valores constados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores admissíveis para velocidade recalque.

Condição	Velocidade $\mu$ /dia
Prédios com mais de 5 anos	10
Prédios entre 1 e 5 anos	10 a 20
Prédios em fundações diretas, fase construtiva	200
Prédios em fundações profundas, fase construtiva	80

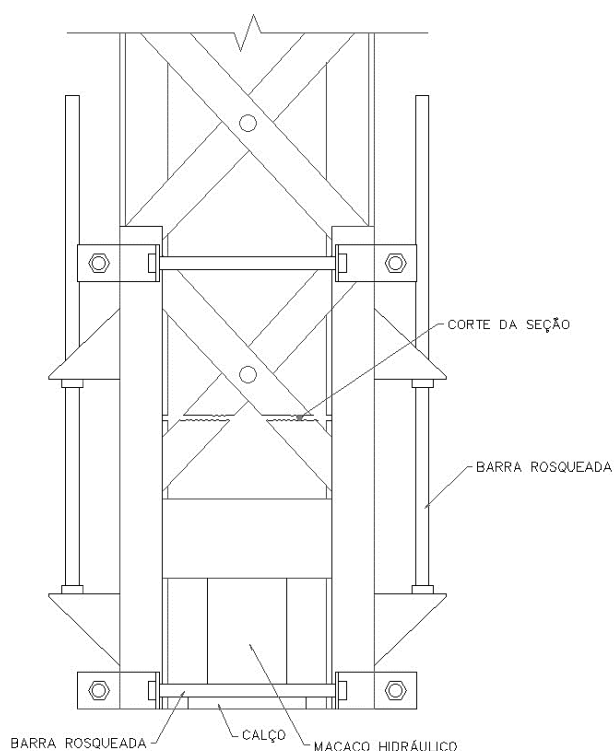
Fonte: Adaptado de Milititsky et al. (2008).

## 2.5. Métodos de recuperação de estruturas afetadas por recalque diferencial

### 2.5.1. Macaqueamento

É uma técnica para recuperação de edificações que sofreram recalques diferenciais, por meio dela é possível elevar e nivelar a estrutura de forma controlada (Oliveira, 2006). Esse processo exige que as elevações sejam aplicadas de forma gradual e sincronizada entre os pontos de elevação, para garantir a redistribuição da carga sem gerar novos recalques, ou seja, é necessário que haja um controle rigoroso da velocidade de elevação e de monitoramento topográfico contínuo (Maffei et al., 2009). Na Figura 5 abaixo é possível observar um desenho esquemático do macaqueamento.

**Figura 5:** Sistema de macaqueamento.



Fonte: Autores (2025).

### 2.5.2. Estacas prensadas (estacas mega)

É um tipo de reforço que se constitui na instalação de pequenos elementos superpostos de estacas de 0,50 a 1,00 metro, que podem ser constituídos por peças de concreto armado vazadas ou perfis metálicos, os quais são cravados com auxílio de macaco hidráulico que reage contra uma cargueira (Figura 6a), contra a estrutura (Figura 6b) ou contra a fundação já existente (Hachich et al., 1996).

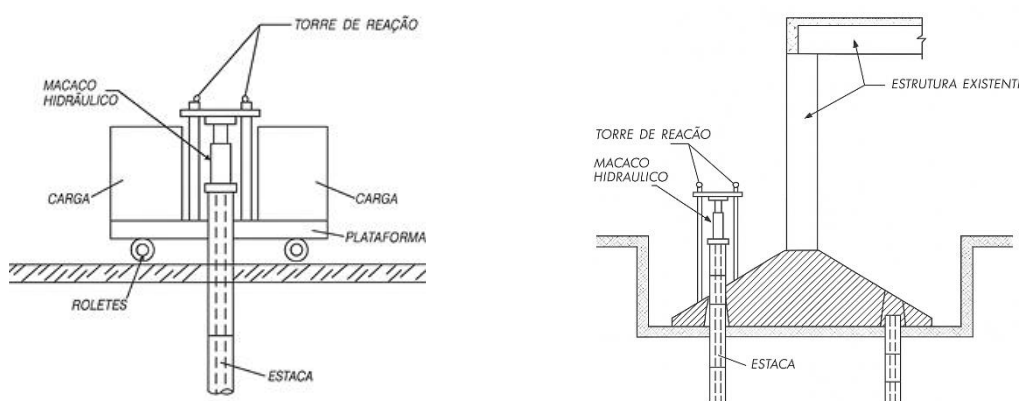
Essa tecnologia apresenta vantagens como ausência de vibrações e ruídos, além de permitir a execução em locais confinados, característica essencial em áreas urbanas densamente ocupadas. Entretanto, diferente das estacas cravadas por impacto, o processo depende diretamente da reação disponível na estrutura e da resistência do solo, o que limita as cargas admissíveis e as profundidades alcançadas (Cintra, Aoki e Albiero, 2003).

A ABNT NBR 6122:2019 ressalta a importância do acompanhamento rigoroso ao controle de recalques e deformações durante a execução das estacas prensadas, visto que a reação direta do macaco hidráulico contra a estrutura existente pode introduzir tensões adicionais nos elementos estruturais. Dessa maneira, é necessário executar o processo de cravação de forma gradual e controlada, garantindo a integridade da edificação durante o reforço.

As estacas prensadas quando bem executadas, seguindo os critérios normativos e recomendações de projeto têm se mostrado uma solução técnica eficaz e segura para a recuperação de fundações afetadas por recalques diferenciais, bem como para a adequação estrutural em reformas e ampliações, especialmente em locais onde há restrição de vibração ou espaço reduzido.

**Figura 6:** Métodos de cravação de estacas prensadas.

(a) Cargueira para cravação de estacas prensadas. (b) Reação contra a estrutura existente.



Fonte: Hachich et al. (1996).

### 3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi desenvolvido em um armazém industrial, localizado na cidade de Belém, no estado do Pará. O galpão possui área de 4.816,00 m<sup>2</sup>, com aproximadamente 100 anos de existência, sendo constituído por dois pavimentos (térreo e superior).

Inicialmente foi realizado o estudo de sondagem, conforme a NBR 6484, para obter informações sobre o solo no qual as fundações do galpão estão assentadas e para determinação da profundidade de um nível de referência (bench-mark) que foi instalado para leituras de cota posteriores.

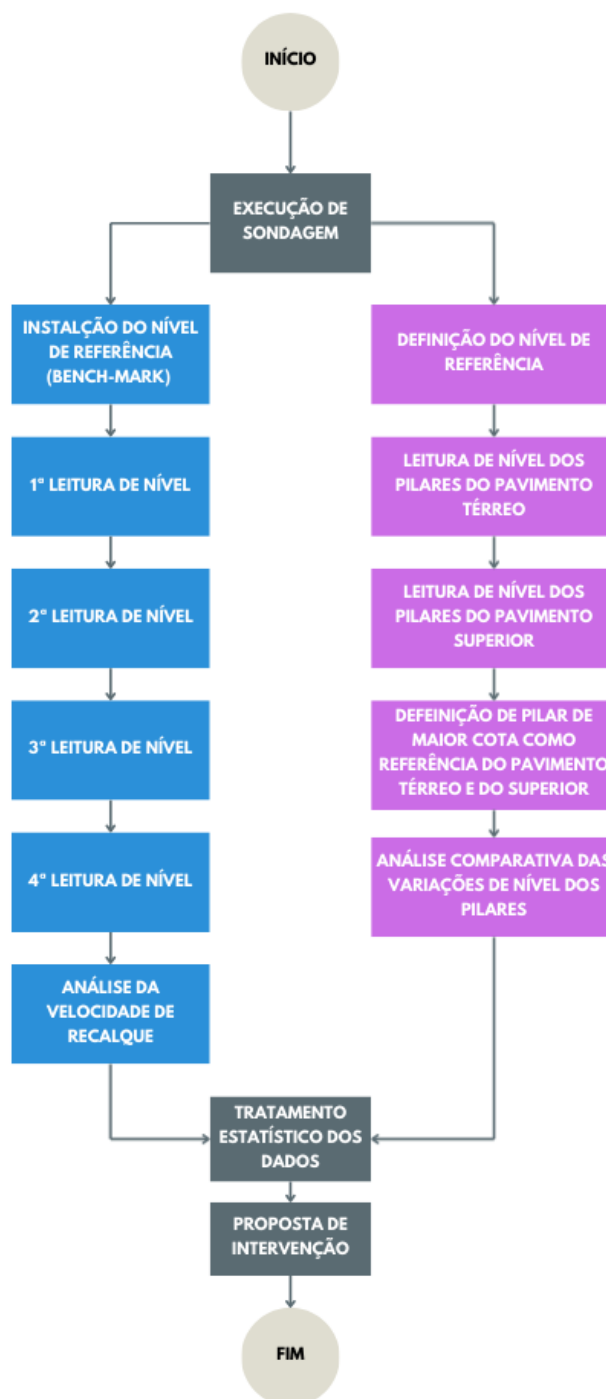
Em sequência foi feita a verificação de nível dos pilares do pavimento térreo e do pavimento superior do galpão por meio de nivelamento topográfico utilizando nível óptico, conforme as recomendações da NBR 13133 (ABNT, 2021). De posse dos níveis, determinou-se o pilar de maior cota (tanto no pavimento térreo como no superior) como referência com o intuito de verificar os desníveis dos demais pilares em relação a ele.

Além do nível de referência citado anteriormente, foram instalados pinos metálicos nos pilares do pavimento térreo para a estimativa de recalque diferencial, a qual ocorreu ao longo de 4 leituras, as quais também foram realizadas por meio de nivelamento topográfico com utilização do nível óptico, uma vez que por meio desse equipamento é possível verificar se há movimentação ou afundamento diferencial ao longo do tempo. A instrumentação técnica, através do monitoramento de recalque, permite a determinação das velocidades de deformação do solo. Com os dados adquiridos, foram calculados os fatores de recalque diferencial ( $\beta$ ), visando avaliar o nível do risco que associado à estrutura.

A partir dos dados obtidos tanto na verificação de níveis dos pilares do pavimento térreo e superior quanto do controle de recalque, procedeu-se com um tratamento estatístico descritivo, de caráter simples, com o objetivo de avaliar o comportamento dos desníveis dos pilares do pavimento térreo e superior do galpão, bem como a velocidade de recalque. Para tanto, foram determinados os valores máximo e mínimo, além do cálculo da média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, permitindo uma avaliação quantitativa da dispersão e da tendência central dos resultados.

Por fim, foi analisada a necessidade de intervenção com base nos resultados do monitoramento, tais como execução a reforço de fundações, caso necessário, e o renivelamento da estrutura, que apresenta desníveis consideráveis e perceptíveis visualmente. Pode-se entender melhor a metodologia adotada por meio do fluxograma ilustrado na Figura 7.

**Figura 7:** Fluxograma da metodologia adotada.

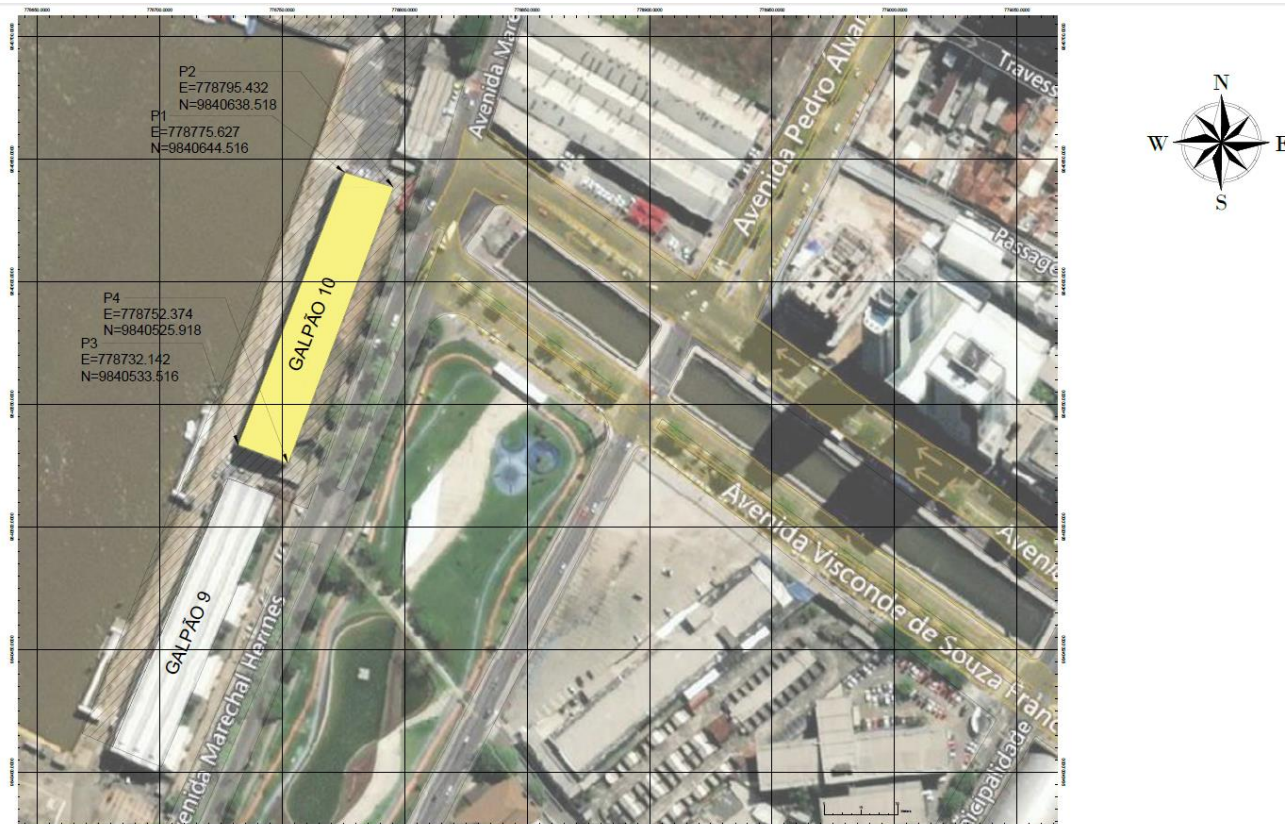


Fonte: Autores (2026).

### 3.1. Caracterização da edificação

A edificação está situada às margens da Baía do Guajará, na Avenida Marechal Hermes, bairro Umarizal, em Belém/PA, conforme Figura 8.

**Figura 8:** Planta de localização.



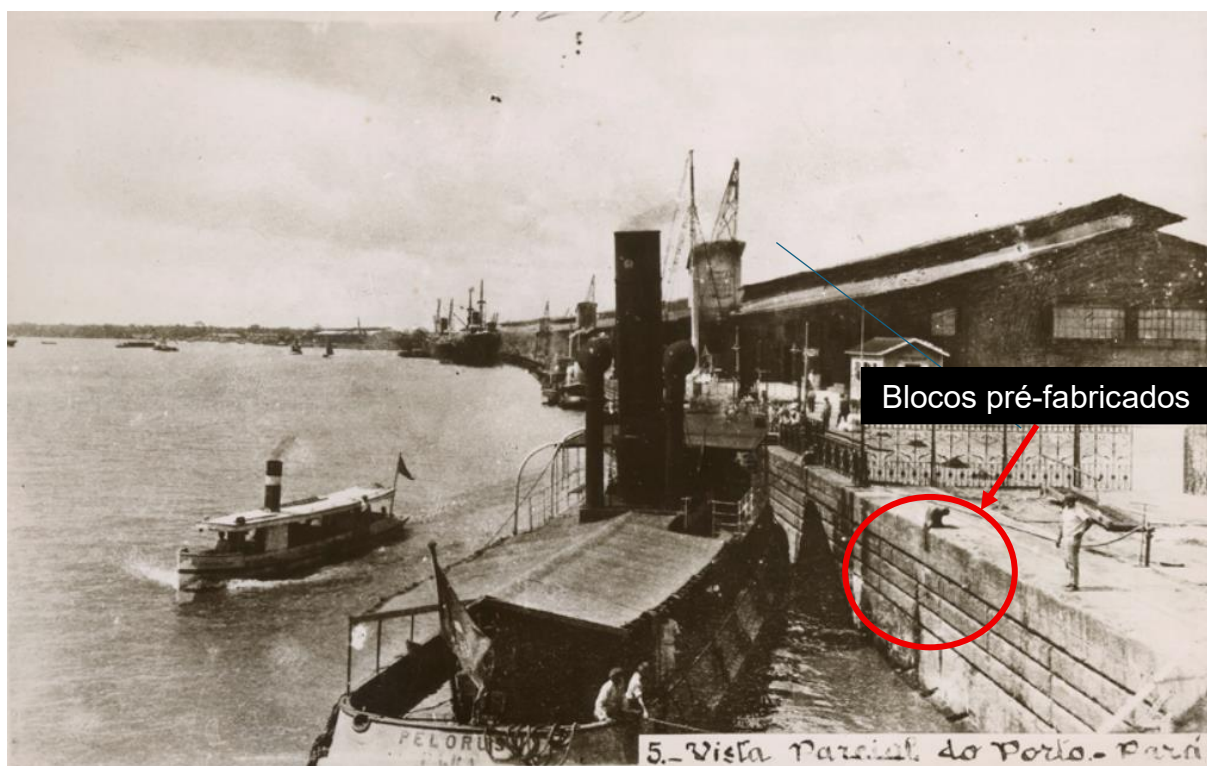
Fonte: Google Maps (2025), adaptado pelos autores (2025).

O projeto original trata-se de um armazém com área total de 2.400 m<sup>2</sup>, cuja a estrutura encontra-se assentada sobre blocos de fundação em concreto. A superestrutura é composta por 64 pilares metálicos, contando ainda com duas escadas localizadas nas extremidades da edificação. O edifício está distribuído em dois níveis: no pavimento térreo, o piso em concreto armado está apoiado sobre uma camada de brita compactada, salienta-se que ao longo do tempo o nível do piso foi aumentando, ou seja, a sua espessura aumentou com o acréscimo de camadas; enquanto no pavimento superior há uma laje em concreto armado que se prolonga, formando uma marquise. A cobertura é constituída por telhas metálicas apoiadas sobre estrutura metálica treliçada, apresentando três lanternins. Na Figura 9 pode-se observar a planta da edificação.



Sua construção foi feita em área originalmente litorânea, a qual foi regularizada com aterro obtido por dragagem da Baía do Guajará. Para contenção desse material foi executado o muro do cais do Porto de Belém, constituído de blocos pré-fabricados (ver Figura 10) interligados entre si e assentados sobre enrocamento, como pode observar-se na Figura 11.

**Figura 10:** Vista Parcial do Porto do Pará.



Fonte: Acervo Digital Biblioteca da Nacional.



Para verificar a locação e condições da fundação foi necessário realizar o levantamento in situ, devido à falta de informações do material existente, com intuito de reprodução em planta e descrição do galpão.

Foram realizadas escavações para verificação das dimensões das fundações (Figura 12), sendo observado que se trata de fundação direta, tipo bloco de fundação com seção quadrada  $3,00 \times 3,00 \text{m} \times 0,50 \text{m}$ . A distribuição dos blocos está apresentada na Figura 13.

**Figura 12:** Verificação das fundações existentes.

(a) Demolição de piso com martetele.

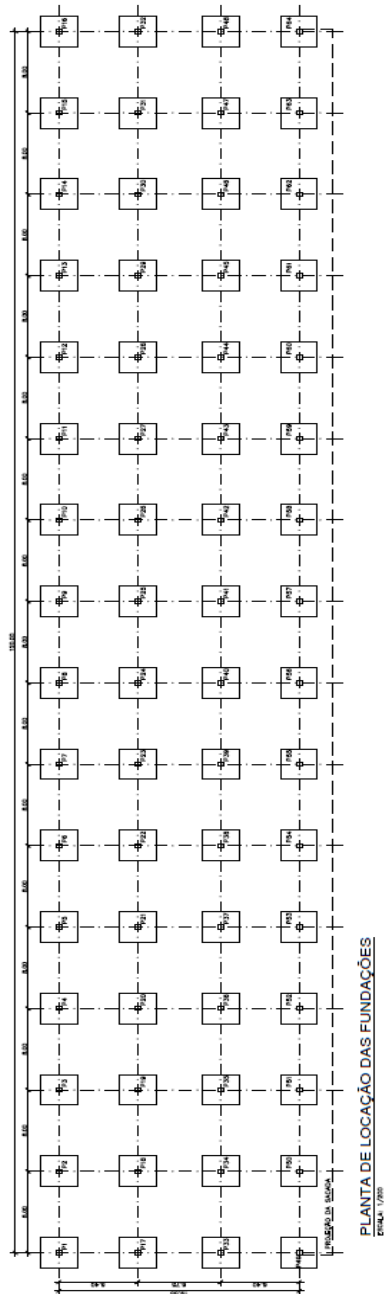
(b) escavação realizada.



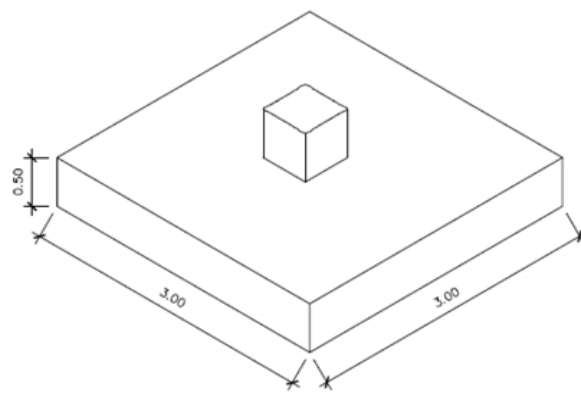
Fonte: Autores (2024).

**Figura 13:** Projeto das fundações.

(a) Locação das fundações.

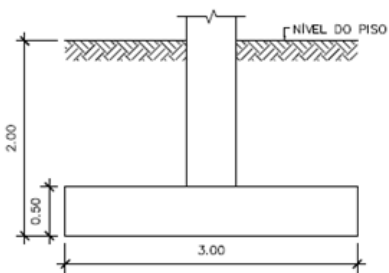


(b) Detalhe dos blocos.



DETALHE ISOMÉTRICO DO BLOCO

ESC.: 1/50



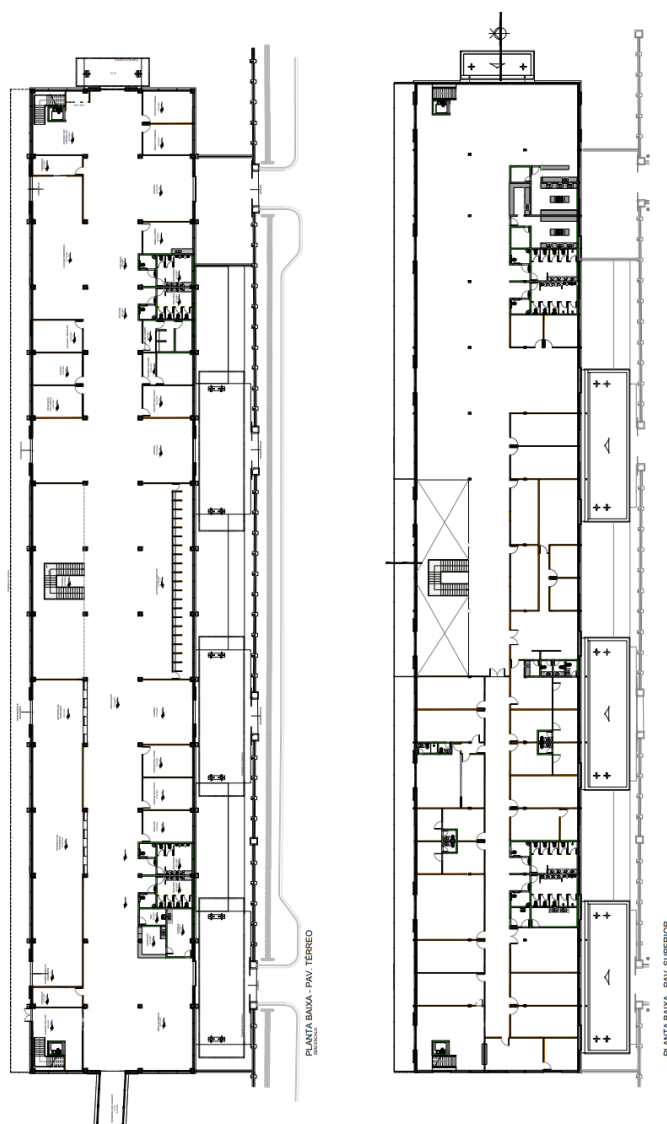
SEÇÃO TRANSVERSAL DO BLOCO

ESC.: 1/50

Fonte: Autores (2025).

A partir das inspeções realizadas no local, foi possível constatar que, conforme descrito anteriormente, ao longo da história ocorreram alterações da funcionalidade da edificação, isso demandou uma revitalização acompanhada de modificações em sua estrutura. Essa intervenção tornou-se necessária em virtude da ocorrência de processos corrosivos nos perfis metálicos, comprometendo parcialmente a integridade da estrutura. As principais ações executadas consistiram na recuperação dos elementos metálicos afetados e na aplicação de pintura de proteção anticorrosiva em todo o edifício. Além disso, o nível do piso foi elevado, a substituição das duas escadas existentes por elevadores e a construção de uma nova escada central, destinada ao acesso do atual terminal hidroviário. A Figura 14 apresenta a nova planta do galpão após as intervenções realizadas.

**Figura 14:** Nova planta do galpão 10.



Fonte: Companhia de Portos e Hidrovias do Pará (2025).

### 3.2. Sondagem do Local

A sondagem foi realizada com o intuito de caracterizar o solo e verificar sua resistência. Os pontos sondados foram locados conforme parâmetros técnicos. Foram realizados 09 (nove) furos, perfazendo um total de 337,05m de perfuração. A Figura 15 apresenta o croqui da planta de locação da investigação geotécnica.

A sistemática de trabalho adotada obedeceu a norma Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio da NBR 6484 – ABNT, que prevê uma cravação dinâmica de um amostrador padrão em intervalos de um metro, possibilitando identificar o tipo de solo e determinar um índice de resistência, além de permitir a observação do nível freático ao longo do furo de sondagem. O ensaio segue os seguintes procedimentos:

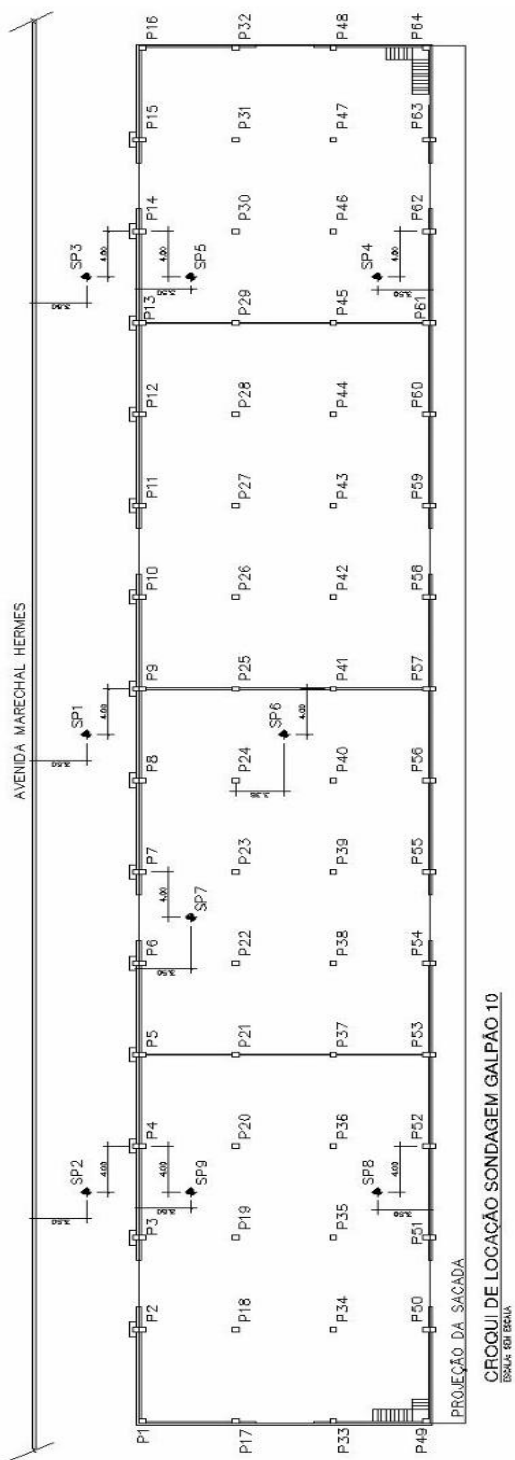
a) A perfuração foi executada por percussão, com auxílio de circulação de água e protegida por um revestimento de 2 ½” de diâmetro nominal. Esta sondagem foi realizada em terreno seco;

b) No trecho a percussão, a extração das amostras foi feita com cravação de amostrador padrão do tipo Raymond, bi-partido com 609,6mm de comprimento e 34,9mm e 50,88mm de diâmetro interno e externo respectivamente.

c) Anotou-se o número de golpes de um peso de 65 Kg que cai em queda livre de 75 cm de altura para cravar 45 cm do amostrador descrito acima, nas camadas de solo atravessadas.

d) O número obtido, fornece a indicação da compactidade (caso de solos de predominância arenosa ou silto-arenosa) ou da consistência (caso de solos de predominância argilosa ou silto-argilosa) dos solos em estudo.

Figura 15: Croqui de locação dos furos de sondagem.



Fonte: Autores (2025).

### 3.3. Levantamento do Nível e Medição do Recalque

#### 3.3.1. Nível Ótico e Mira (régua) graduada

O nível ótico é um equipamento de topografia que mede diferenças de altura entre pontos, utilizando um ponto de nível como referência, uma mira (régua) graduada, e pinos de recalques. Ele é um equipamento composto por um tripé e uma luneta, como observado na Figura 16a, com um alcance de aproximadamente de 100m de distância e a capacidade de realizar a leitura em décimos de milímetros de precisão. Para o nivelamento do aparelho utiliza-se a bolha esférica e os parafusos niveladores, garantindo a precisão da leitura. No acompanhamento de recalque, ele permite detectar variações milimétricas no posicionamento vertical de pontos de referência instalados na estrutura. A leitura é realizada diretamente no retículo do nível ótico, anotando os valores observados em milímetros. O equipamento foi instalado de modo a permitir visada direta entre o Referencial de Nível (RN) e os pontos de medição, ele foi utilizado para fazer as leituras de nível dos pilares do galpão bem como para o acompanhamento de recalque.

Associada ao nível ótico, foi utilizada uma mira graduada em escala milimétrica, que foi colocada verticalmente sobre os pontos de medição (RN ou pino), durante as leituras. Por meio do nível ótico, realiza-se a leitura correspondente ao menor valor observado no momento em que a mira está na vertical. A ilustração da mira é apresentada na Figura 16b.

É importante ressaltar que a leitura do nível dos pilares foi feita tanto no nível térreo quanto no nível superior do galpão e nos dois pavimentos levou-se em consideração o pilar de maior cota para comparar o desnível com os demais pilares.

**Figura 16:** Procedimento de leitura com nível ótico e mira topográfica.

(a) Leitura no nível ótico.



(b) Representação da mira.



Fonte: Autores (2024).

### 3.3.2. Referencial de Nível (RN)

O nível de referência é um marco inicial a partir do qual se avaliam variações, diferenças ou deslocamentos. Para o levantamento de níveis dos pilares do galpão foi utilizado para a aferição o marco RN-pino, localizado próximo a área de estudo. Enquanto nas leituras de recalque foi utilizado o referencial de nível conhecido como bench-mark.

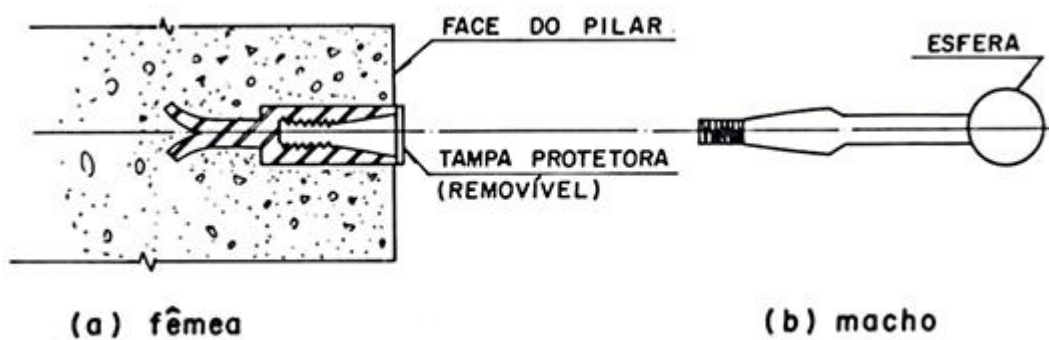
Para definição e instalação do bench-mark foi realizado um estudo de sondagem geotécnica, para que se pudesse encontrar a camada de solo com o Número de golpes do Standard Penetration Test (NSPT) mínimo igual a 30 e então executar a instalação. O Referencial de Nível instalado trata-se de um tubo metálico com diâmetro igual a 1" cravado no solo até a profundidade que possui NSPT igual a 30, esse tubo possui uma esfera na sua extremidade que servirá de apoio para posicionar a mira topográfica onde serão feitas as leituras de níveis. Além desse tubo, há o tubo de revestimento com profundidade de aproximadamente 6,00 metros e diâmetro igual 2 ½" e entre os dois tubos é colocada uma borracha para diminuição de atrito e facilitar as leituras. É executada uma parede de revestimento com uma tampa para proteção do sistema e garantir a confiabilidade nas leituras.

Ressalta-se, ainda, que o ponto escolhido para a instalação do referencial de nível está fora da área de influência do bulbo de pressão da fundação mais próxima do ponto de instalação, o motivo da escolha foi um ponto fixo e estável para que o RN não sofra deslocabilidade influenciada pela estrutura do prédio, conforme a NBR 6122/2019 recomenda.

### 3.3.3. Pinos

Os pinos são caracterizados por duas partes, o "macho" e a "fêmea", a fêmea é fixada no ponto de referência e o macho é rosqueado na fêmea, como mostra as Figuras 17 e 18. Foram instalados pinos metálicos em 55 (cinquenta e cinco) pontos, através de solda nos pilares metálicos existentes. Apesar de existirem 64 pilares no galpão, em alguns pontos não foram instalados pinos devido às limitações físicas e operacionais. Em alguns casos, os pilares estavam inseridos entre alvenarias que permaneceriam em uso durante a fase de transição do galpão, especialmente nas áreas de banheiros destinados ao apoio da obra, o que inviabilizou a instalação e a realização das leituras. Além disso, alguns pinos foram obstruídos ou danificados durante a demolição de antigas vedações.

**Figura 17:** Detalhe do pino de leitura de recalque.



Fonte: Alonso (1991).

**Figura 18:** Detalhe do pino de leitura de recalque.



Fonte: Autores (2024).

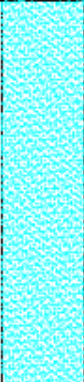


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Sondagem do Local

O perfil apresentado na Figura 19 evidencia que o solo predominante é a argila, um material de elevada compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento, principalmente quando classificada entre muito mole e mole. É um tipo de solo altamente suscetível a recalques primários significativos, bem como a recalques secundários. As camadas de argila apresentam uma variação de muito mole a dura, o que indica uma heterogeneidade no perfil geotécnico. Nos trechos mais moles, o comportamento tende a ser mais deformável, contribuindo para recalques diferenciais. Já nas porções mais rijas, observa-se maior capacidade de suporte e menor deformabilidade. Identifica-se ainda no perfil que somente as camadas iniciais são constituídas de um solo arenoso compacto e medianamente compacto, que se trata do material dragado do Rio Guajará, o qual passou por um processo de compactação, o que explica uma maior resistência nas camadas em que ele está presente.

A Figura 20 apresenta o laudo de sondagem SP01, identificado no croqui de locação dos furos de sondagem, conforme exibido anteriormente na Figura 15. Este é o ponto em que foi instalado o bench-mark, o qual encontra-se fora da zona de influência das fundações mais próximas, conforme recomendado. O resultado obtido neste ponto assemelha-se aos demais pontos, mantendo um comportamento similar ao comentado anteriormente. Além de estar fora da área de influência das fundações mais próximas, para que neste ponto fosse instalado um nível de referência, era necessário que o estudo geotécnico avançasse até chegar na camada de solo com o Número de golpes do Standard Penetration Test (NSPT) igual ou superior a 30, a qual foi identificada a partir de 35 metros de profundidade.

Figura 19: Resultado dos furos de sondagem.

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					Profundi- dade	Consistên- cia ou Compaci- dade	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN- CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO	
10	20	30	40	50						DESCRIÇÃO DA CAMADA	N.A.(m)
					1	COMPACTA				AREIA VERMELHA	4.5
					2						
					3						
					4						
					5						
					6	MEDIAMENTE COMPACTA			ARGILA ORGÂNICA CINZA ESCURA		
					7	RUA					
					8						
					9	MOLU					
					10						
					11	MUITO MOLU					
					12						
					13	MOLU					
					14						
					15	MÉDIA					
					16	RUA			ARGILA SILTOSA CINZA ESCURA		
					17						
					18	MÉDIA					
					19						
					20						
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo	Obs.:				
1	--	--	T. Cavadeira	--	--	Profun. de Início (m) :					
2	--	--	T. Espiral	--	--	Estagio 1 (cm) :					
3	--	--	Lavagem	0,00	36,45	Estagio 2 (cm) :					
						Estagio 3 (cm) :					
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO											
Interessado : COMPANHIA DE PORTOS E HIDROVIAS DO ESTADO DO PARÁ - CPH											
Obra : ADEQUAÇÃO E MANUTENÇÃO PORTUÁRIA: ESTRUTURA METÁLICA DO GALPÃO 10 - ETAPA 01.											
Local : GALPÃO 10											
Esc. :	S/ ESCALA	Des.:		Data :	AGO/2024	Relatório nº :	Folha: 01 / 02				
							Resp. Técnico				

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					Profundi- dade	Consistên- cia ou Compaci- dade	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN- CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO	
10	20	30	40	50						DESCRIÇÃO DA CAMADA	N.A.(m)
					21	MÉDIA				ARGILA SILTOSA	CINZA ESCURA
					22						
					23						
					24						
					25						
					26	MOLLE					
					27	MÉDIA					
					28						
					29	RUJA	DURA				
					30						
					31						
					32						
					33						
					34						
					35						
					36						
					36,45						
					37					Limite da Sondagem	
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo	--	OBS.:			
1	--	--	T. Cavadeira	--	--	Profun. de Início (m):	--				
2	--	--	T. Espiral	--	--	Estagio 1 (cm):	--				
3	--	--	Lavagem	0,00	36,45	Estagio 2 (cm):	--				
						Estagio 3 (cm):	--				
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO											
Interessado: COMPANHIA DE PORTOS E HIDROVIAS DO ESTADO DO PARÁ - CPH											
Obra: ADEQUAÇÃO E MANUTENÇÃO PORTUÁRIA: ESTRUTURA METÁLICA DO GALPÃO 10 - ETAPA 01.											
Local: GALPÃO 10											
Esc.: S/ ESCALA		Des.:		Data: AGO/2024		Relatório nº:		Folha: 02 / 02		Resp. Técnico	

Fonte: Autores (2024).

Figura 20: Resultado do furo de sondagem SP01.

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES S. P. T.	CONSIS- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN- CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO SP01	
10	20	30	40	50						DESCRIÇÃO DA CAMADA	N.A.(m)
					1						
	20				2	9 10 10 15 15 15					
		26			3	11 12 14 15 15 15	COMPACTA				AREIA VERMELHA
			23		4	11 11 13 15 15 15					
				22	5	9 9 13 15 15 15					
					6	7 9 9 15 15 15	MEDIAMENTE COMPACTA				
					7	6 6 8 15 15 15	RUJA				
					8	6 7 7 15 15 15					
					9	1 1 2 15 15 15	MOLLE				
					10	1 2 1 15 15 15					ARGILA ORGÂNICA CINZA ESCURA
					11	1 1 1 15 15 15	MUITO MOLLE				
					12	1 0 1 15 15 15					
					13	1 1 2 15 15 15	MOLLE				
					14	2 2 3 15 15 15					
					15	2 3 4 15 15 15	MEDIA				
					16	4 5 7 15 15 15	RUJA				
					17	3 4 4 15 15 15					ARGILA SILTOSA CINZA ESCURA
					18	4 3 5 15 15 15	MEDIA				
					19	4 3 4 15 15 15					
					20	2 3 3 15 15 15					
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo	OBS.:				
1	---	---	T. Cavadeira	---	---	Profun. de Início (m):	---				
2	---	---	T. Espiral	---	---	Estagio 1 (cm):	---				
3	---	---	Lavagem	0,00	36,45	Estagio 2 (cm):	---				
						Estagio 3 (cm):	---				
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO											
Interessado : COMPANHIA DE PORTOS E HIDROVIAS DO ESTADO DO PARÁ - CPH											
Obra : ADEQUAÇÃO E MANUTENÇÃO PORTUÁRIA: ESTRUTURA METÁLICA DO GALPÃO 10 - ETAPA 01.											
Local : GALPÃO 10											
Esc.:	S/ ESCALA	Des.:		Data:	AGO/2024	Relatório nº:	Folha:	01 / 02	Resp. Técnico		

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES S. P. T.	CONSI- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN- CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO SP01		
10	20	30	40	50						DESCRIÇÃO DA CAMADA		N.A.(m)
6					3 3 3 15 15 15	MÉDIA						
8					4 3 5 15 15 15							
10					5 4 6 15 15 15							
8					2 4 4 15 15 15							
6					2 3 3 15 15 15							
5					1 2 3 15 15 15	MOLLE						
8					2 4 4 15 15 15	MÉDIA						
10					5 4 6 15 15 15							
15					6 7 8 15 15 15	RUJA						ARGILA SILTOSA CINZA ESCURA
17					8 8 9 15 15 15							
22					11 10 12 15 15 15							
24					9 11 13 15 15 15							
27					10 12 15 15 15 15	DURA						
28					14 13 15 15 15 15							
32					13 14 18 15 15 15							
34					14 15 19 15 15 15							
43					18 21 22 15 15 15			36,45	Limite da Sondagem			
Leitura	Intervalo	N.A.(m)		Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo	OBS.:				
1	---	---		T. Cavadeira	---	---	Profun. de Início (m):	---				
2	---	---		T. Espiral	---	---	Estagio 1 (cm):	---				
3	---	---		Lavagem	0,00	36,45	Estagio 2 (cm):	---				
							Estagio 3 (cm):	---				
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO												
Interessado: COMPANHIA DE PORTOS E HIDROVIAS DO ESTADO DO PARÁ - CPH												
Obra: ADEQUAÇÃO E MANUTENÇÃO PORTUÁRIA: ESTRUTURA METÁLICA DO GALPÃO 10 - ETAPA 01.												
Local: GALPÃO 10												
Esc.: S/ ESCALA			Des.:			Data: AGO/2024		Relatório nº:		Folha: 02 / 02		
Resp. Técnico												

Fonte: Autores (2024).

## 4.2. Levantamento de Nível do Galpão

O levantamento de nível do galpão, utilizado para mapear os desníveis em cada pilar do pavimento térreo e superior, foi realizado fixando como nível de referência o marco RN-PINO, o qual utiliza o Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Coordenadas UTM – Ponto de Referência.

CÓDIGO	NORTE(m)	LESTE(m)	Z(m)
RN-PINO	9.840.717,529	778.712,255	6,369

Fonte: Autores (2024).

A partir do nível de referência (RN-PINO), foram determinados os níveis dos pilares, cujos valores encontram-se apresentados no Anexo A. Adicionalmente, a tabela indica a diferença de nível entre cada pilar e o pilar P16, o qual apresentou os maiores valores de cota tanto no nível térreo quanto no nível superior. Por esse motivo, o pilar P16 foi adotado como referência, considerando-se seu nível igual a zero, permitindo a análise comparativa das variações de nível entre os demais pilares.

A partir do Anexo A, fez-se uma breve análise estatística para compreender melhor o comportamento dos pilares quanto aos desníveis. Os referidos resultados encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3:** Análise estatística dos desníveis dos pilares no pavimento térreo e superior em relação ao pilar de maior cota.

NÍVEL TÉRREO					
Máximo (m)	Mínimo (m)	Médio (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)	Coeficiente de variação (%)
0,877	0,042	0,289	0,302	0,165	57%
NÍVEL SUPERIOR					
Máximo (m)	Mínimo (m)	Médio (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)	Coeficiente de variação (%)
1,883	0,117	1,213	1,282	0,572	47%

Fonte: Autores (2026).

Na avaliação dos dados, observou-se que no nível térreo os desníveis em relação ao P16 variam entre 0,042 m (P15, situado na região direita do galpão) e 0,877 m (P49, situado na região esquerda do galpão), com desnível médio de 0,289 m e mediana de 0,302 m, como está próxima da média, indica que não há forte assimetria

nos dados. O desvio padrão de 0,165 m demonstra que os valores apresentam dispersão considerável em torno da média, o que, associado ao coeficiente de variação de 57%, expressa elevada heterogeneidade entre os pilares, indicando que os deslocamentos não ocorreram de forma uniforme ao longo da estrutura. Já no pavimento superior, os desníveis relativos ao P16 situam-se no intervalo de 0,117 m (P32, situado na região direita do galpão) a 1,883 m (P21, situado na região esquerda do galpão), com desnível médio de 1,213 m e mediana de 1,282 m, ligeiramente superior à média, indica leve assimetria, indicando que parte dos pilares apresenta desníveis acima do valor médio, mas sem evidenciar influência significativa de valores extremos. O desvio padrão do nível superior de 0,572 m demonstra dispersão significativamente maior que a observada no térreo, indicando que os valores estão mais afastados da média. Entretanto, quando analisado de forma relativa, o coeficiente de variação de 47% aponta dispersão proporcional ligeiramente menor que a do térreo, indicando comportamento comparativamente mais uniforme, ainda que com magnitudes superiores.

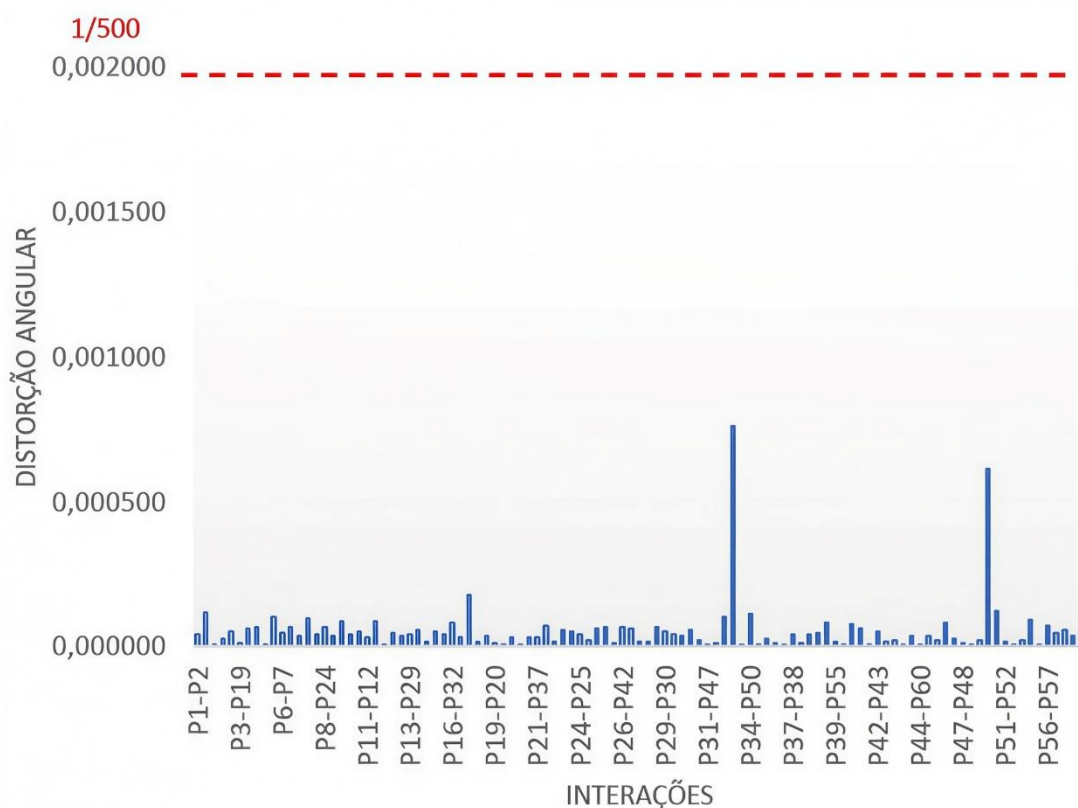
Esses resultados reforçam a ocorrência de recalque diferencial na edificação, com maior intensidade no pavimento superior, vale ressaltar que é possível que nele os desníveis são maiores em relação aos desníveis do pavimento térreo por conta da elevação do piso do térreo ao longo do tempo, como tentativa de corrigir as irregularidades dos desníveis, contudo, não houve ações que buscassem a correção dessas irregularidades do piso superior, logo, permanecendo um desnível maior no pavimento superior.

Além da análise realizada, verifica-se que as diferenças registradas são estatisticamente elevadas e potencialmente relevantes sob o ponto de vista estrutural, especialmente diante da amplitude observada no pavimento superior de 1,766 m, que indica recalque diferencial expressivo. Apesar da distribuição dos dados ser aproximadamente simétrica, os coeficientes de variação de 57% no térreo e 47% no superior caracterizam comportamento heterogêneo, demonstrando que os deslocamentos não ocorreram de forma uniforme. Os referidos desníveis podem ocasionar redistribuição de esforços na estrutura do galpão, introdução de solicitações adicionais não previstas em projeto e manifestações patológicas, ainda que a maior ductilidade da estrutura metálica favoreça certa acomodação, deformações excessivas podem comprometer o desempenho em serviço. Para uma breve

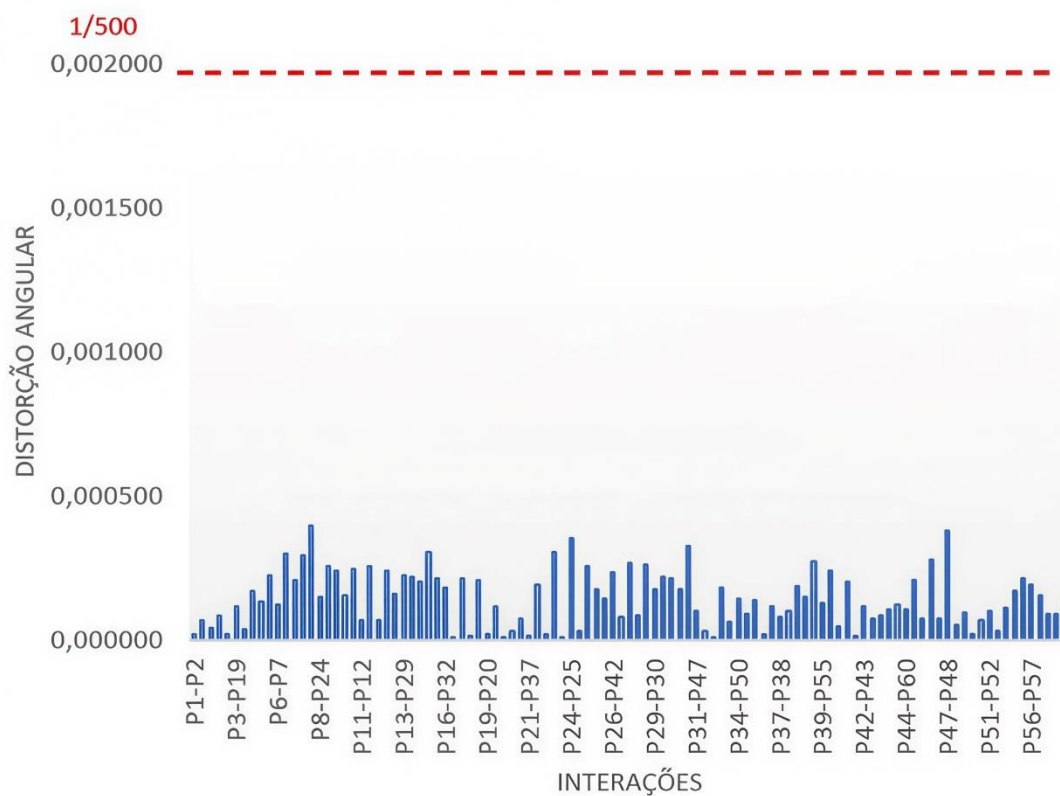
avaliação, foram verificadas as distorções angulares entre os pilares do pavimento térreo e superior.

Apesar dos desníveis verificados serem significativos, a análise das distorções angulares entre os pilares demonstra que os valores obtidos permanecem dentro dos limites admissíveis. O valor mais crítico observado no pavimento térreo foi da ordem de  $1/1314$ , enquanto no pavimento superior foi de  $1/2532$ , conforme destacado nos Anexos B e C, os quais, apesar de representarem a condição mais desfavorável entre os pontos analisados, ainda encontram-se inferiores aos limites usualmente adotados como aceitáveis, conforme a literatura. Dessa forma, sob o ponto de vista das distorções angulares, não se caracteriza situação de instabilidade iminente. Nas Figuras 21 e 22 foram ilustradas as distorções angulares evidenciadas no pavimento térreo e superior, respectivamente.

**Figura 21:** Distorção angular no pavimento térreo.



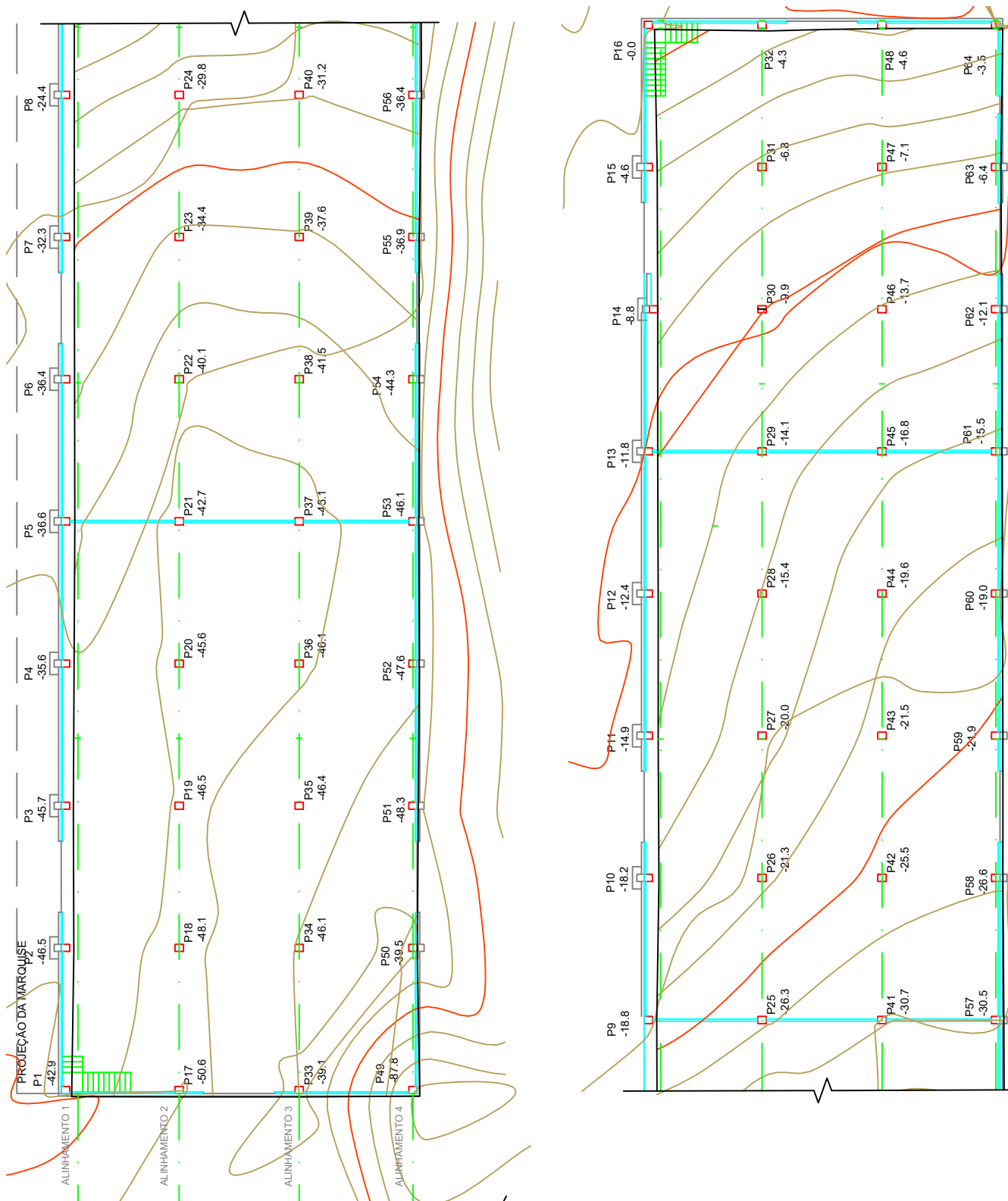
Fonte: Autores (2026).

**Figura 22:** Distorção angular no pavimento superior.

Fonte: Autores (2026).

As Figuras de 23 a 28 permitem visualizar e interpretar de maneira mais clara os níveis dos pilares, a partir dos resultados apresentados na Tabela 7 em anexo.

Figura 23: Planta de níveis do pavimento térreo.



Fonte: Autores (2024).

Figura 24: Planta de níveis do pavimento superior.

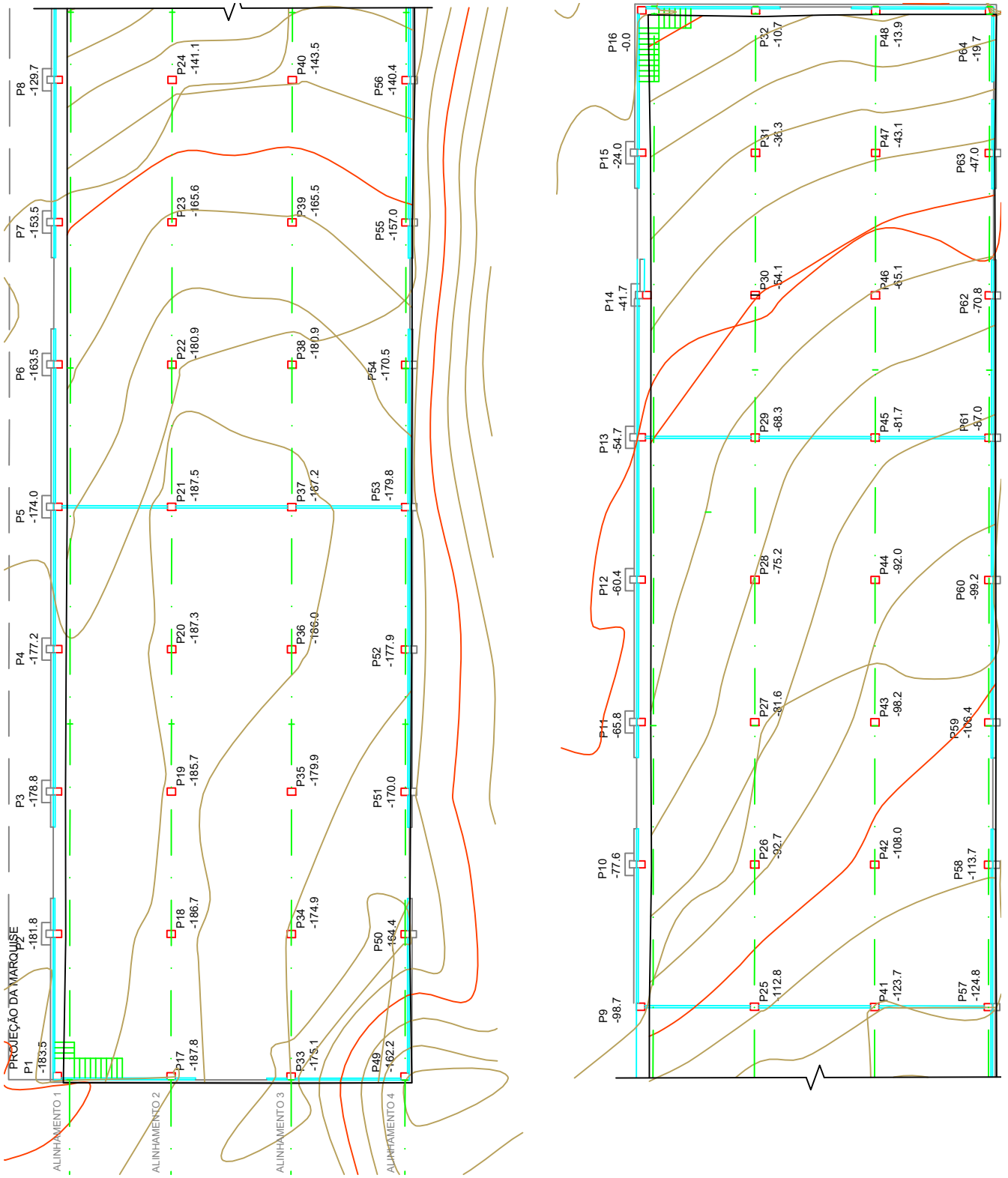


Figura 25: Perfil de níveis do pilar 1 ao pilar 16.

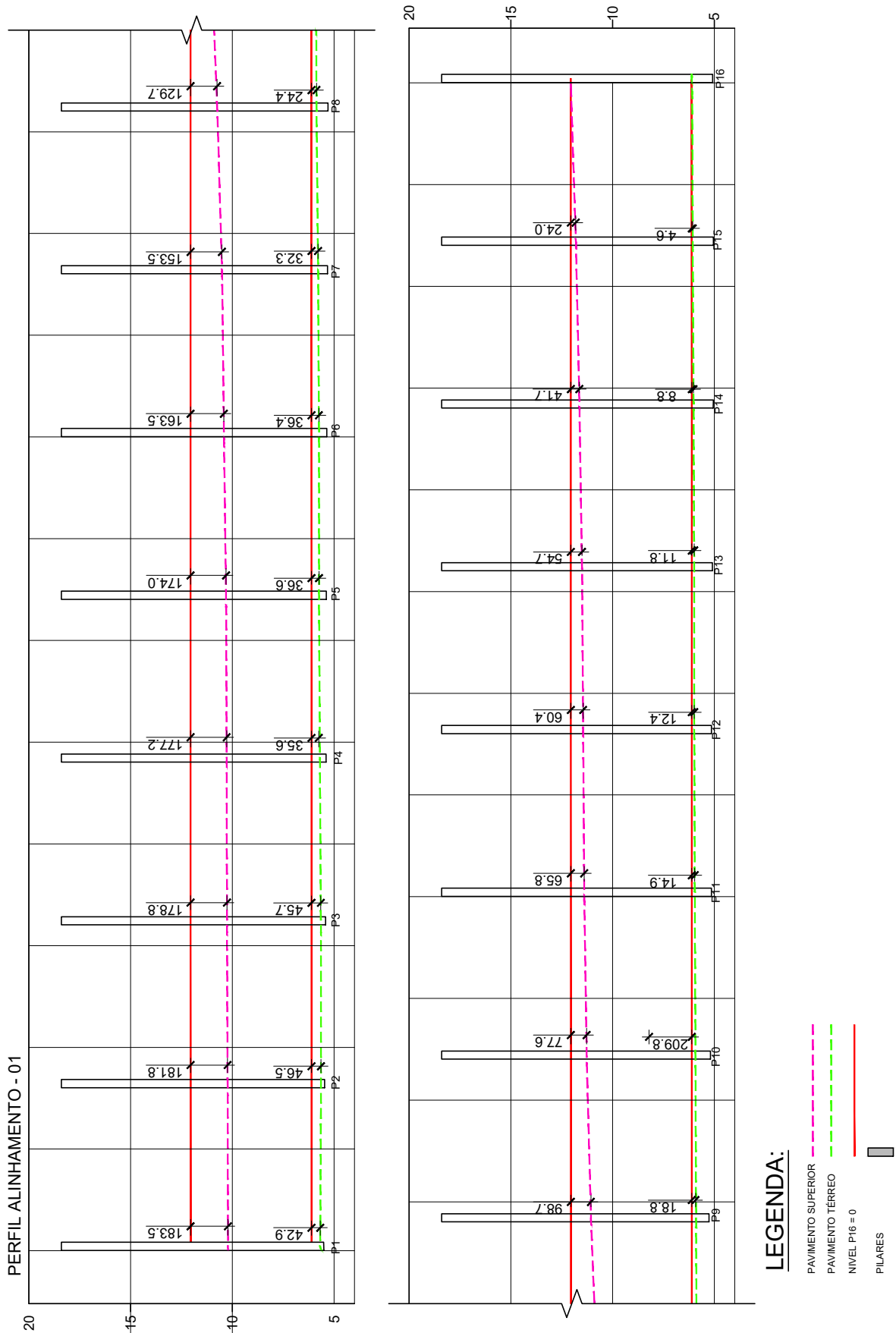
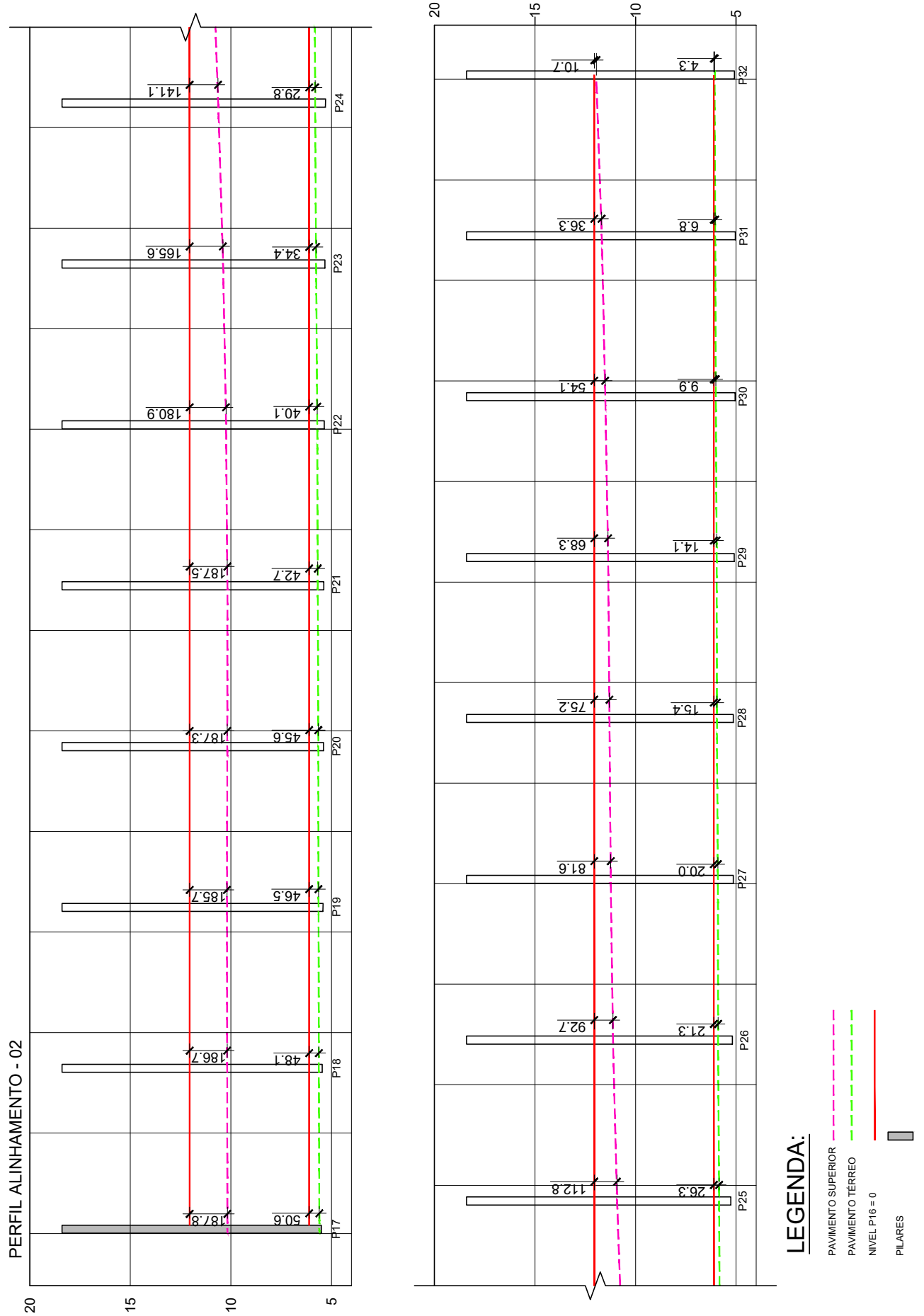
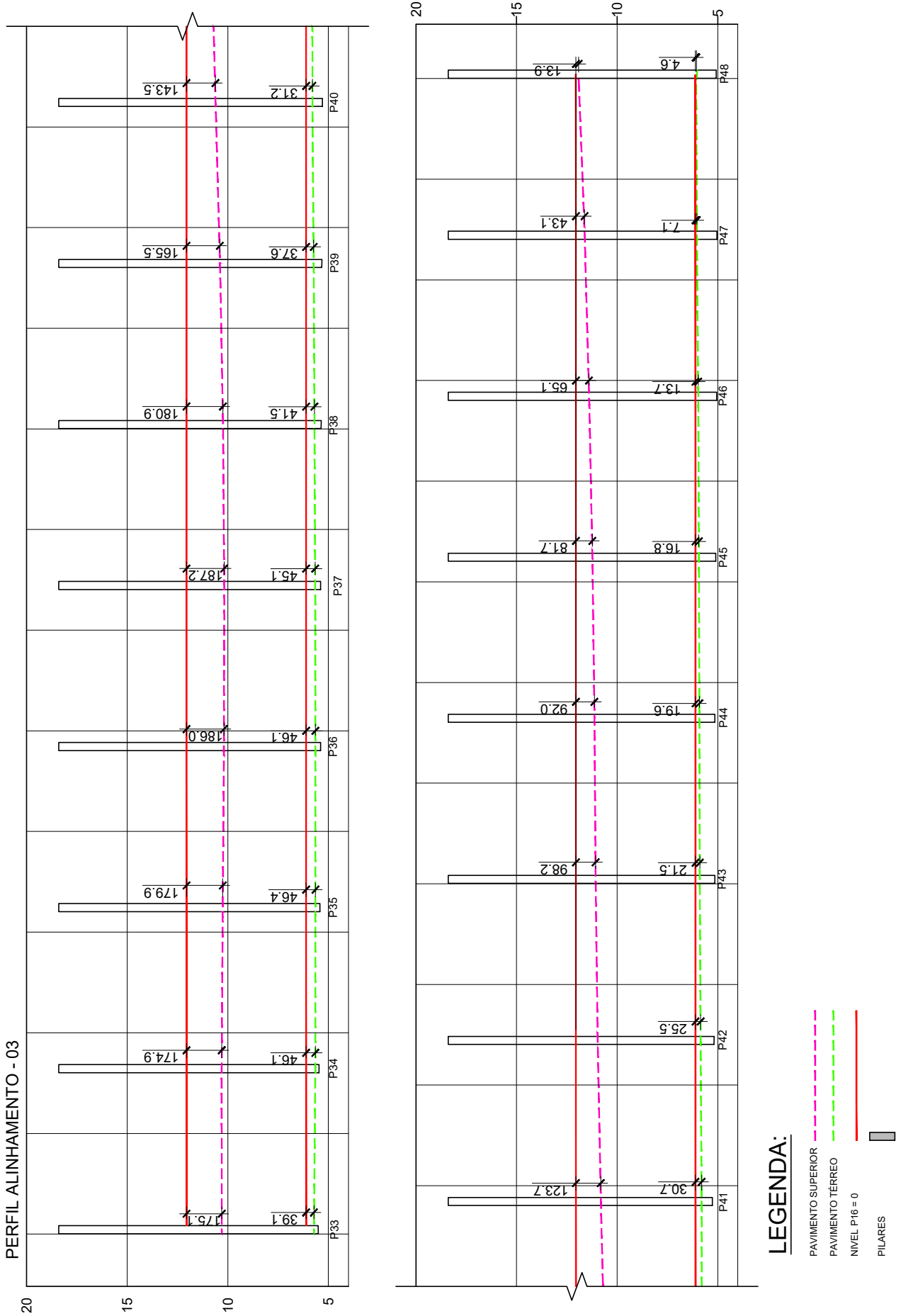


Figura 26: Perfil de níveis do pilar 17 ao pilar 32.



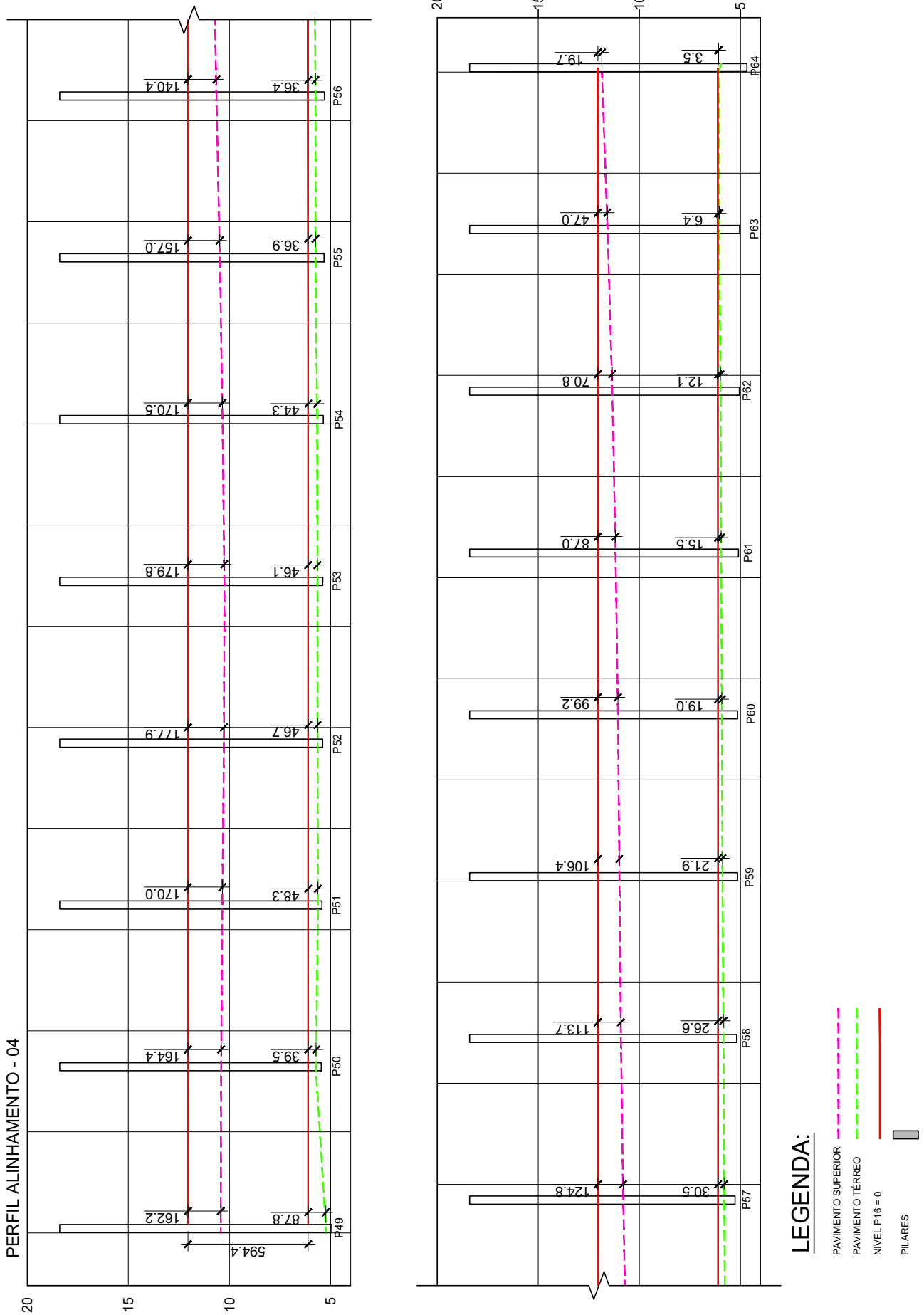
Fonte: Autores (2024).

Figura 27: Perfil de níveis do pilar 33 ao pilar 48.



Fonte: Autores (2024).

Figura 28: Perfil de níveis do pilar 49 ao pilar 64.



Observando as Figuras acima é possível perceber que os maiores desníveis se concentram predominantemente à esquerda do galpão. Essa concentração espacial dos recalques indica comportamento não uniforme da fundação, possivelmente relacionado à heterogeneidade do aterro dragado utilizado na implantação da edificação, que pode apresentar variações de compactação e compressibilidade.

Ademais, há a possibilidade de perda ou rearranjo do material de aterro que ocorreu anteriormente à execução do embrechamento entre os blocos do muro do cais. Nessa região específica, a fuga de finos pode ter sido mais acentuada, especialmente em função da ação das marés e da movimentação hidráulica, reduzindo o confinamento lateral do aterro e promovendo vazios internos. Esse processo tende a provocar acomodação progressiva do solo e, conseqüentemente, maiores recalques diferenciais.

### 4.3. Leituras do Controle de Recalque

Foram realizadas 04 (quatro) leituras ao longo de 03 (três) meses para a verificação das tendências de movimento para classificação quanto a sua magnitude. Os valores obtidos foram registrados em planilhas de campo e posteriormente inseridos em tabelas com os resultados das leituras contendo os recalques parciais e totais dos respectivos dias, bem como os valores das velocidades de recalque parciais e totais (as quais foram calculadas por meio da fórmula universal da velocidade).

As cotas dos pontos foram obtidas levando em consideração a cota do bench-marck com nível igual a 100.000 ( $10^{-2}$ mm).

A primeira leitura foi realizada no dia 04/09/2024, para verificação dos níveis dos pilares em relação ao bench-mark. Essa leitura serviu para a fixação de cotas registradas nos pilares da referida estrutura, tomando o bench-mark como referência. O Anexo D em anexo possui os dados obtidos na leitura.

A segunda leitura foi realizada no dia 02/10/2024, compreendendo um intervalo entre leituras de 28 dias. Os dados levantados constam no Anexo E.

Com os dados obtidos acima foi realizada uma análise estatística para melhor compreensão do comportamento da velocidade de recalque, apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 28 dias.

VELOCIDADE DE RECALQUE					
Máximo ( $\mu$ m/dia)	Mínimo ( $\mu$ m/dia)	Médio ( $\mu$ m/dia)	Mediana ( $\mu$ m/dia)	Desvio Padrão ( $\mu$ m/dia)	Coefficiente de variação (%)
38,000	0,000	3,873	2,000	6,348	164%

Fonte: Autores (2026).

Os resultados da velocidade de recalque evidenciam elevada variabilidade entre os pontos. A amplitude entre o valor máximo de 38  $\mu\text{m}/\text{dia}$  e o mínimo de 0  $\mu\text{m}/\text{dia}$  é significativa, indicando comportamento não uniforme. A média de 3,873  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , superior à mediana de 2,000  $\mu\text{m}/\text{dia}$  expressa assimetria da distribuição, causada por valores mais elevados. Apesar do coeficiente de variação de 164% e o desvio padrão superior à média confirmarem alta dispersão dos dados, a velocidade média do recalque ainda encontra-se dentro do limite estabelecido na Tabela 1.

Em 07/11/2024 foi efetuada a terceira leitura, contendo um intervalo entre leituras de 36 dias, conforme apresentado no Anexo F.

A análise estatística da velocidade de recalque aos 64 dias é apresentada abaixo na Tabela 5.

**Tabela 5:** Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 64 dias.

VELOCIDADE DE RECALQUE					
Máximo ( $\mu\text{m}/\text{dia}$ )	Mínimo ( $\mu\text{m}/\text{dia}$ )	Médio ( $\mu\text{m}/\text{dia}$ )	Mediana ( $\mu\text{m}/\text{dia}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}/\text{dia}$ )	Coeficiente de variação (%)
39,000	0,000	5,691	4,000	7,736	136%

Fonte: Autores (2026).

Assim como aos 28 dias, aos 64 dias os resultados mantiveram a tendência de elevada variabilidade na velocidade de recalque entre os pontos monitorados. A amplitude entre o valor máximo de 39  $\mu\text{m}/\text{dia}$  e o mínimo de 0  $\mu\text{m}/\text{dia}$  é expressiva, o que caracteriza comportamento heterogêneo. A média de 5,691  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , superior à mediana de 4,000  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , evidencia uma leve assimetria da distribuição, que é influenciada pelos valores mais elevados. O desvio padrão de 7,736  $\mu\text{m}/\text{dia}$  e o coeficiente de variação de 136% confirmam alta dispersão dos dados, caracterizando velocidade de recalques relevantes. Embora tenha-se obtido valores significativos, nota-se que aos 64 dias houve uma pequena diminuição quanto à dispersão dos dados em relação aos 28 dias. E a velocidade média permanece dentro do limite estabelecido na Tabela 1.

A quarta e última leitura foi efetuada no dia 05/12/2024, compreendendo um intervalo entre leituras de 28 dias. No Anexo G é possível observar os resultados da leitura.

Seguindo com a análise do ponto de vista estatístico, segue abaixo Tabela 6 com os referidos resultados aos 92 dias.

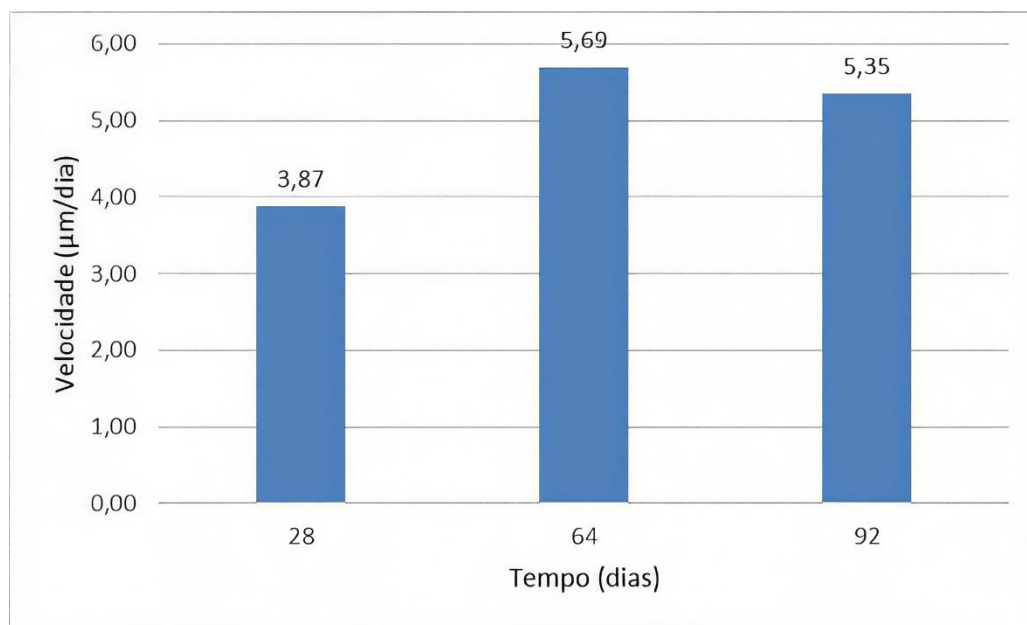
**Tabela 6:** Análise estatística da velocidade de recalque no intervalo de 92 dias.

VELOCIDADE DE RECALQUE					
Máximo	Mínimo	Médio	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
31,000	0,000	5,345	4,000	6,266	117%

Fonte: Autores (2026).

Ao fim das leituras, observa-se a continuação da tendência de elevada variabilidade, embora com nova redução em relação aos períodos anteriores. A amplitude entre o valor máximo de 31  $\mu\text{m}/\text{dia}$  e o mínimo de 0  $\mu\text{m}/\text{dia}$  permanece significativa, indicando que ainda há comportamento não uniforme entre os pontos monitorados. A média de 5,345  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , novamente superior à mediana de 4,000  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , demonstra assimetria da distribuição mais minimizada em relação às leituras anteriores, mas ainda sim está presente pelo fato da ocorrência de valores mais elevados. O desvio padrão de 6,266  $\mu\text{m}/\text{dia}$  e o coeficiente de variação de 117% confirmam que a dispersão ainda é alta, porém inferior à verificada aos 64 e 28 dias, evidenciando tendência gradual de estabilização das velocidades de recalque. E assim como nas outras leituras, a velocidade média permanece dentro do limite indicado na Tabela 1.

Para melhor compreensão dos resultados demonstrados acima é ilustrado na Figura 29 o resultado da velocidade média das leituras.

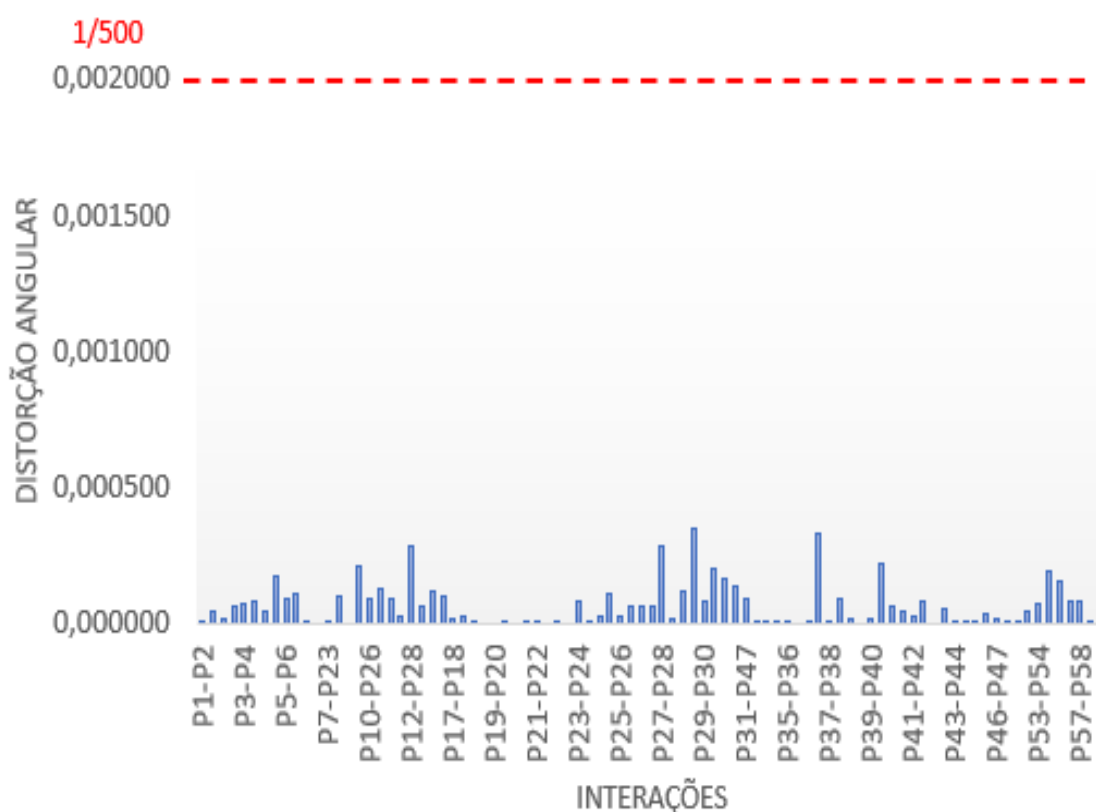
**Figura 29:** Velocidade média do recalque total x tempo total.

Fonte: Autores (2026).

Após as 04 (quatro) leituras de instrumentação para verificação do comportamento das fundações para acompanhamento do seu desempenho através de controle de recalque, verificou-se que os níveis de recalques experimentados pela edificação possuem características de estabilização, denotando que tais efeitos que ocorreram ao longo do tempo, demonstram na atualidade, cenários de baixa velocidade média global de acomodação da ordem de  $5\mu\text{m}/\text{dia}$ , indicando condição de estabilidade compatível com os limites de aceitabilidade para o tipo de estrutura em análise, conforme a Tabela 1.

Associada à baixa velocidade média de recalque, foi constatado que nenhuma das distorções angulares estão acima dos limites estabelecidos na literatura, conforme a Figura 4, inclusive, os valores das distorções encontram-se significativamente abaixo dos limites permitidos, apresentando a maior igual a  $1/2909$ , como destacado na Figura 30 e no Anexo H.

**Figura 30:** Distorção angular entre pilares.



Fonte: Autores (2026).

## 5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

Ao invés de intervenções imediatas nas fundações, optou-se pela execução do nivelamento da estrutura como medida corretiva. Para isso foram encontradas duas possíveis soluções técnicas viáveis, descritas a seguir:

- Regularização altimétrica por alongamento do pilar com auxílio de macaco hidráulico.:

Inicialmente será preparada uma estrutura provisória de suporte para os pilares, destinada a atuar como elemento de apoio temporário e de transmissão de carga durante o levantamento. Em seguida, será feito um corte transversal no pilar com o oxiacetileno, onde será posicionado o macaco hidráulico, o qual será apoiado sobre chapas de aço também inseridas no centro do pilar.

Concluídas as etapas anteriores, o sistema de macacos hidráulicos será instalado nos pilares metálicos para realização da elevação da estrutura. O levantamento será realizado em etapas curtas e sucessivas, na ordem de centímetros por ciclo, com monitoramento topográfico constante.

Por fim, após atingir o nível desejado, será executada a ligação entre os trechos do pilar que foram segmentados, com perfis metálicos.

- Regularização altimétrica por encurtamento e alongamento do pilar com auxílio de macaco hidráulico.:

Essa segunda opção é caracterizada por definir uma cota média de nivelamento, em que os pilares que estiverem com a cota acima da média terão a sua seção cortada e soldada, ou seja, terá encurtamento até atingir a cota estimada. Enquanto os pilares que estiverem com a cota abaixo da cota média definida serão macaqueados, utilizando a proposta de intervenção citada acima.

Apesar de a segunda opção apresentar mais vantagens, visto que teria uma otimização do processo ao apenas cortar alguns pilares e elevar somente alguns ao invés de todos, gerando economicidade com redução de mão de obra e materiais e execução mais rápida, sugere-se a primeira opção para preservar as características arquitetônicas originais da estrutura, pois, embora a segunda tenha melhor custo-benefício, ela reduziria o pé-direito original

Além disso, recomenda-se o acompanhamento contínuo por meio de instrumentação, a fim de garantir a segurança estrutural e permitir a detecção precoce de eventuais alterações no comportamento do solo.

## 6. CONCLUSÃO

O trabalho atingiu seu objetivo geral, por meio da análise e quantificação do recalque diferencial das fundações da estrutura ao longo do tempo, identificando suas possíveis causas e avaliando sua magnitude e seus impactos na infraestrutura do galpão, bem como os objetivos específicos ao caracterizar as condições geotécnicas do subsolo, avaliar a velocidade de recalque da estrutura no período monitorado, verificar a estabilidade da infraestrutura com base no comportamento atual da edificação e propor as intervenções necessárias.

Os resultados evidenciam que, ao longo do tempo, houve a ocorrência de deslocamentos verticais significativos, compatíveis com a complexidade histórica da edificação, as modificações de uso ao longo do tempo e as condições geotécnicas associadas ao aterro de origem dragada.

Entretanto, a análise dos dados demonstrou que, o comportamento atual do sistema solo-estrutura se apresenta estável quanto aos deslocamentos verticais. Verificou-se que as velocidades médias de recalque registradas são reduzidas e as distorções angulares entre pilares permanecem dentro dos limites de aceitabilidade indicados pela literatura técnica, o que viabilizou a indicação de que há um desempenho estrutural satisfatório.

Logo, com base nos resultados obtidos, evidencia-se que a execução de reforços de fundação, como estacas prensadas ou outras técnicas de recuperação estrutural, não se mostra necessária no momento. Essa decisão fundamenta-se na baixa velocidade média de recalque observada e pequena distorção angular atual entre os pilares, conforme comentado acima, além da redução significativa das cargas previstas para a nova função da edificação. Diante desse cenário, a proposta de intervenção consiste somente na correção altimétrica do galpão para reestabelecer os níveis da estrutura, associada à continuidade do monitoramento dos recalques, a fim de acompanhar o comportamento das fundações ao longo do tempo considerando as novas condições de uso da edificação.

## 7. REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

ARRUDA, E. S. **Porto de Belém do Pará: origens, concessão e contemporaneidade**. Rio de Janeiro, 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133:1994 – Execução de levantamentos topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

BOWLES, J. E. **Análise e Projeto de Fundações**. 5. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill do Brasil, 1997.

CINTRA, J. C.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2003.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (ed.). **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: ABMS/ABEF; PINI, 1998.

MAFFEI, B.; MAFFEI, A.; RODRIGUES, L. **Renivelamento do Edifício Núncio Malzoni**. Geotecnia, v. 107, p. 5-26, 2009. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/geotecnia/article/download/10784/7982/45862>. Acesso em: 3 out. 2025.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

OLIVEIRA, J. A. L. de. **Renivelamento e reforço de fundação de edifício de 12 andares**. In: **SEFE – Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**. São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.sefe.com.br/appogeo/renivelamento-12-andares.pdf>. Acesso em: 3 out. 2025.

TEIXEIRA, L. G. **The Port of Pará: o porto da história Amazônica**. Belém: Universidade Federal do Pará, [s.d.].

TERZAGHI, K; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 3. ed. New York: Wiley, 1996.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

## 8. ANEXOS

**ANEXO A – Nível dos Pilares****Anexo A.1:** Nível dos pilares.

PILAR	NÍVEL TÉRREO (m)	NÍVEL P16=0 (m)	NÍVEL SUPERIOR (m)	NÍVEL P16=0 (m)
1	5,676	-0,430	10,216	-1,835
2	5,642	-0,464	10,233	-1,818
3	5,648	-0,458	10,266	-1,785
4	5,692	-0,414	10,283	-1,768
5	5,742	-0,364	10,313	-1,738
6	5,745	-0,361	10,418	-1,633
7	5,784	-0,322	10,514	-1,537
8	5,863	-0,243	10,747	-1,304
9	5,897	-0,209	11,063	-0,988
10	5,926	-0,180	11,270	-0,781
11	5,959	-0,147	11,392	-0,659
12	5,984	-0,122	11,447	-0,604
13	5,991	-0,115	11,503	-0,548
14	6,019	-0,087	11,630	-0,421
15	6,064	-0,042	11,807	-0,244
16	6,106	0,000	12,051	0,000
17	5,600	-0,506	10,171	-1,880
18	5,626	-0,480	10,180	-1,871
19	5,641	-0,465	10,190	-1,861
20	5,650	-0,456	10,174	-1,877
21	5,677	-0,429	10,168	-1,883
22	5,703	-0,403	10,227	-1,824
23	5,761	-0,345	10,382	-1,669
24	5,807	-0,299	10,627	-1,424
25	5,842	-0,264	10,911	-1,140
26	5,893	-0,213	11,114	-0,937
27	5,904	-0,202	11,227	-0,824
28	5,953	-0,153	11,292	-0,759
29	5,965	-0,141	11,359	-0,692
30	6,007	-0,099	11,501	-0,550
31	6,038	-0,068	11,672	-0,379
32	6,054	-0,052	11,934	-0,117
33	5,716	-0,390	10,307	-1,744
34	5,649	-0,457	10,313	-1,738
35	5,643	-0,463	10,263	-1,788
36	5,646	-0,460	10,193	-1,858
37	5,656	-0,450	10,177	-1,874
38	5,692	-0,414	10,238	-1,813
39	5,728	-0,378	10,387	-1,664
40	5,793	-0,313	10,607	-1,444

PILAR	NÍVEL TÉRREO (m)	NÍVEL P16=0 (m)	NÍVEL SUPERIOR (m)	NÍVEL P16=0 (m)
41	5,799	-0,307	10,800	-1,251
42	5,851	-0,255	10,963	-1,088
43	5,893	-0,213	11,056	-0,995
44	5,911	-0,195	11,124	-0,927
45	5,939	-0,167	11,220	-0,831
46	5,969	-0,137	11,387	-0,664
47	6,036	-0,070	11,608	-0,443
48	6,045	-0,061	11,913	-0,138
49	5,229	-0,877	10,422	-1,629
50	5,722	-0,384	10,405	-1,646
51	5,625	-0,481	10,350	-1,701
52	5,640	-0,466	10,268	-1,783
53	5,647	-0,459	10,242	-1,809
54	5,663	-0,443	10,332	-1,719
55	5,738	-0,368	10,468	-1,583
56	5,744	-0,362	10,637	-1,414
57	5,802	-0,304	10,792	-1,259
58	5,840	-0,266	10,916	-1,135
59	5,888	-0,218	10,987	-1,064
60	5,916	-0,190	11,058	-0,993
61	5,952	-0,154	11,173	-0,878
62	5,985	-0,121	11,340	-0,711
63	6,042	-0,064	11,576	-0,475
64	6,060	-0,046	11,851	-0,200

Fonte: Autores (2024).

## ANEXO B – Distorção Angular – Pavimento Térreo

Anexo B.1: Distorção angular entre pilares do pavimento térreo.

DISTRORÇÃO ANGULAR – PAVIMENTO TÉRREO					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1 <sup>o</sup> -r2 <sup>o</sup> )/L (bom= 1/500)
P1-P2	8000	5676,00	5642,00	0,34	1/23529
P1-P17	6400	5676,00	5600,00	0,76	1/8421
P2-P3	8000	5642,00	5648,00	0,06	1/133333
P2-P18	6400	5642,00	5626,00	0,16	1/40000
P3-P4	8000	5648,00	5692,00	0,44	1/18182
P3-P19	6400	5648,00	5641,00	0,07	1/91429
P4-P5	8000	5692,00	5742,00	0,50	1/16000
P4-P20	6400	5692,00	5650,00	0,42	1/15238
P5-P6	8000	5742,00	5745,00	0,03	1/266667
P5-P21	6400	5742,00	5677,00	0,65	1/9846
P6-P7	8000	5745,00	5784,00	0,39	1/20513
P6-P22	6400	5745,00	5703,00	0,42	1/15238
P7-P23	6400	5784,00	5761,00	0,23	1/27826
P7-P8	8000	5784,00	5863,00	0,79	1/10127
P8-P9	8000	5863,00	5897,00	0,34	1/23529
P8-P24	8000	5863,00	5807,00	0,56	1/14286
P9-P10	8000	5897,00	5926,00	0,29	1/27586
P9-P25	6400	5897,00	5842,00	0,55	1/11636
P10-P11	8000	5926,00	5959,00	0,33	1/24242
P10-P26	6400	5926,00	5893,00	0,33	1/19394
P11-P12	8000	5959,00	5984,00	0,25	1/32000
P11-P27	6400	5959,00	5904,00	0,55	1/11636
P12-P13	8000	5984,00	5991,00	0,07	1/114286
P12-P28	6400	5984,00	5953,00	0,31	1/20645
P13-P14	8000	5991,00	6019,00	0,28	1/28571
P13-P29	6400	5991,00	5965,00	0,26	1/24615
P14-P15	8000	6019,00	6064,00	0,45	1/17778
P14-P30	6400	6019,00	6007,00	0,12	1/53333
P15-P16	8000	6064,00	6106,00	0,42	1/19048
P15-P31	6400	6064,00	6038,00	0,26	1/24615
P16-P32	6400	6106,00	6054,00	0,52	1/12308
P17-P18	8000	5600,00	5626,00	0,26	1/30769
P17-P33	6400	5600,00	5716,00	1,16	1/5517
P18-P19	8000	5626,00	5641,00	0,15	1/53333
P18-P34	6400	5626,00	5649,00	0,23	1/27826
P19-P20	8000	5641,00	5650,00	0,09	1/88889
P19-P35	6400	5641,00	5643,00	0,02	1/320000
P20-P21	8000	5650,00	5677,00	0,27	1/29630
P20-P36	6400	5650,00	5646,00	0,04	1/160000

<b>DISTORÇÃO ANGULAR – PAVIMENTO TÉRREO</b>					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1 <sup>o</sup> -r2 <sup>o</sup> )/L (bom= 1/500)
P21-P22	8000	5677,00	5703,00	0,26	1/30769
P21-P37	6400	5677,00	5656,00	0,21	1/30476
P22-P23	8000	5703,00	5761,00	0,58	1/13793
P22-P38	6400	5703,00	5692,00	0,11	1/58182
P23-P24	8000	5761,00	5807,00	0,46	1/17391
P23-P39	6400	5761,00	5728,00	0,33	1/19394
P24-P25	8000	5807,00	5842,00	0,35	1/22857
P24-P40	6400	5807,00	5793,00	0,14	1/45714
P25-P26	8000	5842,00	5893,00	0,51	1/15686
P25-P41	6400	5842,00	5799,00	0,43	1/14884
P26-P27	8000	5893,00	5904,00	0,11	1/72727
P26-P42	6400	5893,00	5851,00	0,42	1/15238
P27-P28	8000	5904,00	5953,00	0,49	1/16327
P27-P43	6400	5904,00	5893,00	0,11	1/58182
P28-P29	8000	5953,00	5965,00	0,12	1/66667
P28-P44	6400	5953,00	5911,00	0,42	1/15238
P29-P30	8000	5965,00	6007,00	0,42	1/19048
P29-P45	6400	5965,00	5939,00	0,26	1/24615
P30-P31	8000	6007,00	6038,00	0,31	1/25806
P30-P46	6400	6007,00	5969,00	0,38	1/16842
P31-P32	8000	6038,00	6054,00	0,16	1/50000
P31-P47	6400	6038,00	6036,00	0,02	1/320000
P32-P48	6400	6054,00	6045,00	0,09	1/71111
P33-P34	6400	5716,00	5649,00	0,67	1/9552
P33-P49	6400	5716,00	5229,00	4,87	1/1314
P34-P35	8000	5649,00	5643,00	0,06	1/133333
P34-P50	6400	5649,00	5722,00	0,73	1/8767
P35-P36	8000	5643,00	5646,00	0,03	1/266667
P35-P51	6400	5643,00	5625,00	0,18	1/35556
P36-P37	8000	5646,00	5656,00	0,10	1/80000
P36-P52	6400	5646,00	5640,00	0,06	1/106667
P37-P38	8000	5656,00	5692,00	0,36	1/22222
P37-P53	6400	5656,00	5647,00	0,09	1/71111
P38-P39	8000	5692,00	5728,00	0,36	1/22222
P38-P54	6400	5692,00	5663,00	0,29	1/22069
P39-P40	8000	5728,00	5793,00	0,65	1/12308
P39-P55	6400	5728,00	5738,00	0,10	1/64000
P40-P41	8000	5793,00	5799,00	0,06	1/133333
P40-P56	6400	5793,00	5744,00	0,49	1/13061
P41-P42	8000	5799,00	5851,00	0,52	1/15385
P41-P57	6400	5799,00	5802,00	0,03	1/213333
P42-P43	8000	5851,00	5893,00	0,42	1/19048
P42-P58	6400	5851,00	5840,00	0,11	1/58182
P43-P44	8000	5893,00	5911,00	0,18	1/44444
P43-P59	6400	5893,00	5888,00	0,05	1/128000

<b>DISTORÇÃO ANGULAR – PAVIMENTO TÉRREO</b>					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1 <sup>o</sup> -r2 <sup>o</sup> )/L (bom= 1/500)
P44-P45	8000	5911,00	5939,00	0,28	1/28571
P44-P60	6400	5911,00	5916,00	0,05	1/128000
P45-P46	8000	5939,00	5969,00	0,30	1/26667
P45-P61	6400	5939,00	5952,00	0,13	1/49231
P46-P47	8000	5969,00	6036,00	0,67	1/11940
P46-P62	6400	5969,00	5985,00	0,16	1/40000
P47-P48	8000	6036,00	6045,00	0,09	1/88889
P47-P63	6400	6036,00	6042,00	0,06	1/106667
P48-P64	6400	6045,00	6060,00	0,15	1/42667
P49-P50	8000	5229,00	5722,00	4,93	1/1623
P50-P51	8000	5722,00	5625,00	0,97	1/8247
P51-P52	8000	5625,00	5640,00	0,15	1/53333
P52-P53	8000	5640,00	5647,00	0,07	1/114286
P53-P54	8000	5647,00	5663,00	0,16	1/50000
P54-P55	8000	5663,00	5738,00	0,75	1/10667
P55-P56	8000	5738,00	5744,00	0,06	1/133333
P56-P57	8000	5744,00	5802,00	0,58	1/13793
P57-P58	8000	5802,00	5840,00	0,38	1/21053
P58-P59	8000	5840,00	5888,00	0,48	1/16667
P59-P60	8000	5888,00	5916,00	0,28	1/28571
P60-P61	8000	5916,00	5952,00	0,36	1/22222
P61-P62	8000	5952,00	5985,00	0,33	1/24242
P62-P63	8000	5985,00	6042,00	0,57	1/14035
P63-P64	8000	6042,00	6060,00	0,18	1/44444

Fonte: Autores (2026).

## ANEXO C Distorção Angular – Pavimento Superior

Anexo C.1: Distorção angular entre pilares do pavimento superior.

DISTRORÇÃO ANGULAR - PAVIMENTO SUPERIOR					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1º-r2º)/L (bom= 1/500)
P1-P2	8000	10216,00	10233,00	0,17	1/47059
P1-P17	6400	10216,00	10171,00	0,45	1/14222
P2-P3	8000	10233,00	10266,00	0,33	1/24242
P2-P18	6400	10233,00	10180,00	0,53	1/12075
P3-P4	8000	10266,00	10283,00	0,17	1/47059
P3-P19	6400	10266,00	10190,00	0,76	1/8421
P4-P5	8000	10283,00	10313,00	0,30	1/26667
P4-P20	6400	10283,00	10174,00	1,09	1/5872
P5-P6	8000	10313,00	10418,00	1,05	1/7619
P5-P21	6400	10313,00	10168,00	1,45	1/4414
P6-P7	8000	10418,00	10514,00	0,96	1/8333
P6-P22	6400	10418,00	10227,00	1,91	1/3351
P7-P23	6400	10514,00	10382,00	1,32	1/4848
P7-P8	8000	10514,00	10747,00	2,33	1/3433
<b>P8-P9</b>	<b>8000</b>	<b>10747,00</b>	<b>11063,00</b>	<b>3,16</b>	<b>1/2532</b>
P8-P24	8000	10747,00	10627,00	1,20	1/6667
P9-P10	8000	11063,00	11270,00	2,07	1/3865
P9-P25	6400	11063,00	10911,00	1,52	1/4211
P10-P11	8000	11270,00	11392,00	1,22	1/6557
P10-P26	6400	11270,00	11114,00	1,56	1/4103
P11-P12	8000	11392,00	11447,00	0,55	1/14545
P11-P27	6400	11392,00	11227,00	1,65	1/3879
P12-P13	8000	11447,00	11503,00	0,56	1/14286
P12-P28	6400	11447,00	11292,00	1,55	1/4129
P13-P14	8000	11503,00	11630,00	1,27	1/6299
P13-P29	6400	11503,00	11359,00	1,44	1/4444
P14-P15	8000	11630,00	11807,00	1,77	1/4520
P14-P30	6400	11630,00	11501,00	1,29	1/4961
P15-P16	8000	11807,00	12051,00	2,44	1/3279
P15-P31	6400	11807,00	11672,00	1,35	1/4741
P16-P32	6400	12051,00	11934,00	1,17	1/5470
P17-P18	8000	10171,00	10180,00	0,09	1/88889
P17-P33	6400	10171,00	10307,00	1,36	1/4706
P18-P19	8000	10180,00	10190,00	0,10	1/80000
P18-P34	6400	10180,00	10313,00	1,33	1/4812
P19-P20	8000	10190,00	10174,00	0,16	1/50000
P19-P35	6400	10190,00	10263,00	0,73	1/8767
P20-P21	8000	10174,00	10168,00	0,06	1/133333
P20-P36	6400	10174,00	10193,00	0,19	1/33684
P21-P22	8000	10168,00	10227,00	0,59	1/13559

<b>DISTORÇÃO ANGULAR - PAVIMENTO SUPERIOR</b>					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1º-r2º)/L (bom= 1/500)
P21-P37	6400	10168,00	10177,00	0,09	1/71111
P22-P23	8000	10227,00	10382,00	1,55	1/5161
P22-P38	6400	10227,00	10238,00	0,11	1/58182
P23-P24	8000	10382,00	10627,00	2,45	1/3265
P23-P39	6400	10382,00	10387,00	0,05	1/128000
P24-P25	8000	10627,00	10911,00	2,84	1/2817
P24-P40	6400	10627,00	10607,00	0,20	1/32000
P25-P26	8000	10911,00	11114,00	2,03	1/3941
P25-P41	6400	10911,00	10800,00	1,11	1/5766
P26-P27	8000	11114,00	11227,00	1,13	1/7080
P26-P42	6400	11114,00	10963,00	1,51	1/4238
P27-P28	8000	11227,00	11292,00	0,65	1/12308
P27-P43	6400	11227,00	11056,00	1,71	1/3743
P28-P29	8000	11292,00	11359,00	0,67	1/11940
P28-P44	6400	11292,00	11124,00	1,68	1/3810
P29-P30	8000	11359,00	11501,00	1,42	1/5634
P29-P45	6400	11359,00	11220,00	1,39	1/4604
P30-P31	8000	11501,00	11672,00	1,71	1/4678
P30-P46	6400	11501,00	11387,00	1,14	1/5614
P31-P32	8000	11672,00	11934,00	2,62	1/3053
P31-P47	6400	11672,00	11608,00	0,64	1/10000
P32-P48	6400	11934,00	11913,00	0,21	1/30476
P33-P34	6400	10307,00	10313,00	0,06	1/106667
P33-P49	6400	10307,00	10422,00	1,15	1/5565
P34-P35	8000	10313,00	10263,00	0,50	1/16000
P34-P50	6400	10313,00	10405,00	0,92	1/6957
P35-P36	8000	10263,00	10193,00	0,70	1/11429
P35-P51	6400	10263,00	10350,00	0,87	1/7356
P36-P37	8000	10193,00	10177,00	0,16	1/50000
P36-P52	6400	10193,00	10268,00	0,75	1/8533
P37-P38	8000	10177,00	10238,00	0,61	1/13115
P37-P53	6400	10177,00	10242,00	0,65	1/9846
P38-P39	8000	10238,00	10387,00	1,49	1/5369
P38-P54	6400	10238,00	10332,00	0,94	1/6809
P39-P40	8000	10387,00	10607,00	2,20	1/3636
P39-P55	6400	10387,00	10468,00	0,81	1/7901
P40-P41	8000	10607,00	10800,00	1,93	1/4145
P40-P56	6400	10607,00	10637,00	0,30	1/21333
P41-P42	8000	10800,00	10963,00	1,63	1/4908
P41-P57	6400	10800,00	10792,00	0,08	1/80000
P42-P43	8000	10963,00	11056,00	0,93	1/8602
P42-P58	6400	10963,00	10916,00	0,47	1/13617
P43-P44	8000	11056,00	11124,00	0,68	1/11765
P43-P59	6400	11056,00	10987,00	0,69	1/9275
P44-P45	8000	11124,00	11220,00	0,96	1/8333

<b>DISTORÇÃO ANGULAR - PAVIMENTO SUPERIOR</b>					
Interação	Distância entre pilares (mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1º-r2º)/L (bom= 1/500)
P44-P60	6400	11124,00	11058,00	0,66	1/9697
P45-P46	8000	11220,00	11387,00	1,67	1/4790
P45-P61	6400	11220,00	11173,00	0,47	1/13617
P46-P47	8000	11387,00	11608,00	2,21	1/3620
P46-P62	6400	11387,00	11340,00	0,47	1/13617
P47-P48	8000	11608,00	11913,00	3,05	1/2623
P47-P63	6400	11608,00	11576,00	0,32	1/20000
P48-P64	6400	11913,00	11851,00	0,62	1/10323
P49-P50	8000	10422,00	10405,00	0,17	1/47059
P50-P51	8000	10405,00	10350,00	0,55	1/14545
P51-P52	8000	10350,00	10268,00	0,82	1/9756
P52-P53	8000	10268,00	10242,00	0,26	1/30769
P53-P54	8000	10242,00	10332,00	0,90	1/8889
P54-P55	8000	10332,00	10468,00	1,36	1/5882
P55-P56	8000	10468,00	10637,00	1,69	1/4734
P56-P57	8000	10637,00	10792,00	1,55	1/5161
P57-P58	8000	10792,00	10916,00	1,24	1/6452
P58-P59	8000	10916,00	10987,00	0,71	1/11268
P59-P60	8000	10987,00	11058,00	0,71	1/11268
P60-P61	8000	11058,00	11173,00	1,15	1/6957
P61-P62	8000	11173,00	11340,00	1,67	1/4790
P62-P63	8000	11340,00	11576,00	2,36	1/3390
P63-P64	8000	11576,00	11851,00	2,75	1/2909

Fonte: Autores (2026).

## ANEXO D – Controle de Recalque – 1ª Leitura

Anexo D.1: Controle de recalque dos pilares monitorados (04/09/2024).

Ponto	Em 04/09/2024	Recalque		Velocidade	Velocidade
	COTA 10 <sup>-2</sup> mm	Parcial 0 dias 10 <sup>-2</sup> mm	Total 0 dias 10 <sup>-2</sup> mm	Parcial de Recalque µm / dia	Total de Recalque µm / dia
P1	147031	-	-	-	-
P2	141518	-	-	-	-
P3	135757	-	-	-	-
P4	132932	-	-	-	-
P5	132991	-	-	-	-
P6	127158	-	-	-	-
P7	126517	-	-	-	-
P9	117775	-	-	-	-
P10	113672	-	-	-	-
P11	115789	-	-	-	-
P12	107830	-	-	-	-
P13	105321	-	-	-	-
P14	106943	-	-	-	-
P17	128646	-	-	-	-
P18	124202	-	-	-	-
P19	119023	-	-	-	-
P20	115757	-	-	-	-
P21	113871	-	-	-	-
P22	111965	-	-	-	-
P23	107464	-	-	-	-
P24	102608	-	-	-	-
P25	100633	-	-	-	-
P26	95009	-	-	-	-
P27	90981	-	-	-	-
P28	88365	-	-	-	-
P29	86703	-	-	-	-
P30	86373	-	-	-	-
P31	86368	-	-	-	-
P33	127193	-	-	-	-
P34	123525	-	-	-	-
P35	121409	-	-	-	-
P36	117206	-	-	-	-
P37	116276	-	-	-	-
P38	112484	-	-	-	-
P39	111674	-	-	-	-
P40	104487	-	-	-	-
P41	101319	-	-	-	-
P42	97946	-	-	-	-
P43	91616	-	-	-	-
P44	89360	-	-	-	-

Ponto	Em 04/09/2024		Recalque		Velocidade Parcial de Recalque  $\mu\text{m} / \text{dia}$	Velocidade Total de Recalque  $\mu\text{m} / \text{dia}$
	COTA	Parcial	Total			
		0 dias	0 dias			
	$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$			
P45	87053	-	-	-	-	-
P46	85494	-	-	-	-	-
P47	84892	-	-	-	-	-
P48	101408	-	-	-	-	-
P50	141435	-	-	-	-	-
P51	138287	-	-	-	-	-
P52	137859	-	-	-	-	-
P53	137848	-	-	-	-	-
P54	132293	-	-	-	-	-
P55	130012	-	-	-	-	-
P56	125672	-	-	-	-	-
P57	123883	-	-	-	-	-
P58	115059	-	-	-	-	-
P59	112188	-	-	-	-	-
P60	112920	-	-	-	-	-

Fonte: Autores (2024).

## ANEXO E - Controle de Recalque – 2ª Leitura

Anexo E.1: Controle de recalque dos pilares monitorados (02/10/2024).

Ponto	Em 02/10/2024		Recalque		Velocidade Parcial de Recalque $\mu\text{m} / \text{dia}$	Velocidade Total de Recalque $\mu\text{m} / \text{dia}$
	COTA	Parcial	Total			
	$10^{-2}\text{mm}$	28 dias $10^{-2}\text{mm}$	28 dias $10^{-2}\text{mm}$			
P1	147015	-16	-16	5	5	
P2	141507	-11	-11	3	3	
P3	135723	-34	-34	12	12	
P4	132912	-20	-20	7	7	
P5	132980	-11	-11	3	3	
P6	127157	-1	-1	0	0	
P7	126516	-1	-1	0	0	
P9	117756	-19	-19	6	6	
P10	113643	-29	-29	10	10	
P11	115788	-1	-1	0	0	
P12	107818	-12	-12	4	4	
P13	105270	-51	-51	18	18	
P14	106907	-36	-36	12	12	
P17	128645	-1	-1	0	0	
P18	124201	-1	-1	0	0	
P19	119022	-1	-1	0	0	
P20	115756	-1	-1	0	0	
P21	113870	-1	-1	0	0	
P22	111964	-1	-1	0	0	
P23	107456	-8	-8	2	2	
P24	102605	-3	-3	1	1	
P25	100618	-15	-15	5	5	
P26	94993	-16	-16	5	5	
P27	90972	-9	-9	3	3	
P28	88258	-107	-107	38	38	
P29	86672	-31	-31	11	11	
P30	86372	-1	-1	0	0	
P31	86367	-1	-1	0	0	
P33	127192	-1	-1	0	0	
P34	123524	-1	-1	0	0	
P35	121408	-1	-1	0	0	
P36	117205	-1	-1	0	0	
P37	116275	-1	-1	0	0	
P38	112483	-1	-1	0	0	
P39	111663	-11	-11	3	3	
P40	104486	-1	-1	0	0	
P41	101308	-11	-11	3	3	

P42	97945	-1	-1	0	0
P43	91583	-33	-33	11	11
P44	89355	-5	-5	1	1
P45	87034	-19	-19	6	6
P46	85482	-12	-12	4	4
P47	84885	-7	-7	2	2
P48	101394	-14	-14	5	5
P50	141434	-1	-1	0	0
P51	138284	-3	-3	1	1
P52	137858	-1	-1	0	0
P53	137807	-41	-41	14	14
P54	132291	-2	-2	0	0
P55	129989	-23	-23	8	8
P56	125670	-2	-2	0	0
P57	123872	-11	-11	3	3
P58	115058	-1	-1	0	0
P59	112179	-9	-9	3	3
P60	112907	-13	-13	4	4

Fonte: Autores (2024).

## ANEXO F - Controle de Recalque – 3ª Leitura

Anexo F.1: Controle de recalque dos pilares monitorados (07/11/2024).

Ponto	Em 07/11/2024	Recalque		Velocidade	Velocidade
	COTA 10 <sup>-2</sup> mm	Parcial 36 Dias 10 <sup>-2</sup> mm	Total 64 dias 10 <sup>-2</sup> mm	Parcial de Recalque μ / dia	Total de Recalque μ / dia
P1	147000	-15	-31	4	4
P2	141485	-22	-33	6	5
P3	135718	-5	-39	1	6
P4	132823	-89	-109	24	17
P5	132965	-15	-26	4	4
P6	127155	-2	-3	0	0
P7	126515	-1	-2	0	0
P9	117703	-53	-72	14	11
P10	113534	-109	-138	30	21
P11	115787	-1	-2	0	0
P12	107733	-85	-97	23	15
P13	105215	-55	-106	15	16
P14	106898	-9	-45	2	7
P17	128632	-13	-14	3	2
P18	124200	-1	-2	0	0
P19	119021	-1	-2	0	0
P20	115755	-1	-2	0	0
P21	113869	-1	-2	0	0
P22	111963	-1	-2	0	0
P23	107455	-1	-9	0	1
P24	102564	-41	-44	11	6
P25	100597	-21	-36	5	5
P26	94902	-91	-107	25	16
P27	90947	-25	-34	6	5
P28	88114	-144	-251	40	39
P29	86512	-160	-191	44	29
P30	86274	-98	-99	27	15
P31	86365	-2	-3	0	0
P33	127191	-1	-2	0	0
P34	123523	-1	-2	0	0
P35	121407	-1	-2	0	0
P36	117204	-1	-2	0	0
P37	116274	-1	-2	0	0
P38	112481	-2	-3	0	0
P39	111659	-4	-15	1	2
P40	104485	-1	-2	0	0
P41	101285	-23	-34	6	5
P42	97895	-50	-51	13	7

Ponto	Em 07/11/2024		Recalque		Velocidade Parcial de Recalque $\mu$ / dia	Velocidade Total de Recalque $\mu$ / dia
	COTA	Parcial	Total			
		36 Dias	64 dias			
$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$				
P43	91562	-21	-54		5	8
P44	89307	-48	-53		13	8
P45	86994	-40	-59		11	9
P46	85471	-11	-23		3	3
P47	84844	-41	-48		11	7
P48	101375	-19	-33		5	5
P50	141433	-1	-2		0	0
P51	138283	-1	-4		0	0
P52	137857	-1	-2		0	0
P53	137797	-10	-51		2	7
P54	132290	-1	-3		0	0
P55	129944	-45	-68		12	10
P56	125669	-1	-3		0	0
P57	123839	-33	-44		9	6
P58	115023	-35	-36		9	5
P59	112160	-19	-28		5	4
P60	112895	-12	-25		3	3

Fonte: Autores (2024).

## ANEXO G - Controle de Recalque – 4ª Leitura

Anexo G.1: Controle de recalque dos pilares monitorados (05/12/2024).

Ponto	Em 05/12/2024		Recalque		Velocidade Parcial de Recalque $\mu/\text{dia}$	Velocidade Total de Recalque $\mu/\text{dia}$
	COTA	Parcial	Total			
		28 Dias	92 dias			
	$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$	$10^{-2}\text{mm}$			
P1	146987	-13	-44		4	4
P2	141472	-13	-46		4	5
P3	135702	-16	-55		5	5
P4	132820	-3	-112		1	12
P5	132917	-48	-74		17	8
P6	127154	-1	-4		0	0
P7	126514	-1	-3		0	0
P9	117684	-19	-91		6	9
P10	113503	-31	-169		11	18
P11	115786	-1	-3		0	0
P12	107725	-8	-105		2	11
P13	105198	-17	-123		6	13
P14	106871	-27	-72		9	7
P17	128629	-3	-17		1	1
P18	124198	-2	-4		0	0
P19	119020	-1	-3		0	0
P20	115754	-1	-3		0	0
P21	113868	-1	-3		0	0
P22	111961	-2	-4		0	0
P23	107454	-1	-10		0	1
P24	102534	-30	-74		10	8
P25	100542	-55	-91		19	9
P26	94899	-3	-110		1	11
P27	90918	-29	-63		10	6
P28	88076	-38	-289		13	31
P29	86505	-7	-198		2	21
P30	86240	-34	-133		12	14
P31	86366	1	-2		0	0
P33	127190	-1	-3		0	0
P34	123521	-2	-4		0	0
P35	121404	-3	-5		1	0
P36	117202	-2	-4		0	0
P37	116273	-1	-3		0	0
P38	112480	-1	-4		0	0
P39	111657	-2	-17		0	1
P40	104484	-1	-3		0	0
P41	101270	-15	-49		5	5

Ponto	Em 05/12/2024		Recalque		Velocidade Parcial de Recalque $\mu$ / dia	Velocidade Total de Recalque $\mu$ / dia
	COTA $10^{-2}\text{mm}$	Parcial	Total			
		28 Dias $10^{-2}\text{mm}$	92 dias $10^{-2}\text{mm}$			
P42	97875	-20	-71		7	7
P43	91545	-17	-71		6	7
P44	89291	-16	-69		5	7
P45	86982	-12	-71		4	7
P46	85448	-23	-46		8	5
P47	84831	-13	-61		4	6
P48	101350	-25	-58		8	6
P50	141432	-1	-3		0	0
P51	138282	-1	-5		0	0
P52	137838	-19	-21		6	2
P53	137790	-7	-58		2	6
P54	132289	-1	-4		0	0
P55	129858	-86	-154		30	16
P56	125639	-30	-33		10	3
P57	123784	-55	-99		19	10
P58	115021	-2	-38		0	4
P59	112148	-12	-40		4	4
P60	112878	-17	-42		6	4

Fonte: Autores (2024).

## ANEXO H – Distorção Angular Durante Leituras

### Anexo H.1: Distorção angular.

Interação	Distância entre sapatas(mm)	Recalque (10 <sup>^-2</sup> mm) 1 <sup>º</sup> P	Recalque (10 <sup>^-2</sup> mm) 2 <sup>º</sup> P	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R1 <sup>º</sup> -r2 <sup>º</sup> )/L (bom= 1/500)
P1-P2	8000	44,00	46,00	0,02	1/400000
P1-P17	6400	44,00	17,00	0,27	1/23704
P2-P3	8000	46,00	55,00	0,09	1/88889
P2-P18	6400	46,00	4,00	0,42	1/15238
P3-P4	8000	55,00	112,00	0,57	1/14035
P3-P19	6400	55,00	3,00	0,52	1/12308
P4-P5	8000	112,00	74,00	0,38	1/21053
P4-P20	6400	112,00	3,00	1,09	1/5872
P5-P6	8000	74,00	4,00	0,70	1/11429
P5-P21	6400	74,00	3,00	0,71	1/9014
P6-P7	8000	4,00	3,00	0,01	1/800000
P6-P22	6400	4,00	4,00	0,00	-
P7-P23	6400	3,00	10,00	0,07	1/91429
P9-P10	8000	91,00	169,00	0,78	1/10256
P9-P25	6400	91,00	91,00	0,00	-
P10-P11	8000	169,00	3,00	1,66	1/4819
P10-P26	6400	169,00	110,00	0,59	1/10847
P11-P12	8000	3,00	105,00	1,02	1/7843
P11-P27	6400	3,00	63,00	0,60	1/10667
P12-P13	8000	105,00	123,00	0,18	1/44444
P12-P28	6400	105,00	289,00	1,84	1/3478
P13-P14	8000	123,00	72,00	0,51	1/15686
P13-P29	6400	123,00	198,00	0,75	1/8533
P14-P30	6400	72,00	133,00	0,61	1/10492
P17-P18	8000	17,00	4,00	0,13	1/61538
P17-P33	6400	17,00	3,00	0,14	1/45714
P18-P19	8000	4,00	3,00	0,01	1/800000
P18-P34	6400	4,00	4,00	0,00	-
P19-P20	8000	3,00	3,00	0,00	-
P19-P35	6400	3,00	5,00	0,02	1/320000
P20-P21	8000	3,00	3,00	0,00	-
P20-P36	6400	3,00	4,00	0,01	1/640000
P21-P22	8000	3,00	4,00	0,01	1/800000
P21-P37	6400	3,00	3,00	0,00	-
P22-P23	8000	4,00	10,00	0,06	1/133333
P22-P38	6400	4,00	4,00	0,00	-
P23-P24	8000	10,00	74,00	0,64	1/12500
P23-P39	6400	10,00	17,00	0,07	1/91429
P24-P25	8000	74,00	91,00	0,17	1/47059
P24-P40	6400	74,00	3,00	0,71	1/9014
P25-P26	8000	91,00	110,00	0,19	1/42105

Interação	Distância entre sapatas(mm)	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 1ºP	Recalque (10 <sup>-2</sup> mm) 2ºP	Diferença de recalques (mm)	Distorção angular (R <sup>1º</sup> -r <sup>2º</sup> )/L (bom= 1/500)
P25-P41	6400	91,00	49,00	0,42	1/15238
P26-P27	8000	110,00	63,00	0,47	1/17021
P26-P42	6400	110,00	71,00	0,39	1/16410
P27-P28	8000	63,00	289,00	2,26	1/3540
P27-P43	6400	63,00	71,00	0,08	1/80000
P28-P29	8000	289,00	198,00	0,91	1/8791
P28-P44	6400	289,00	69,00	2,20	1/2909
P29-P30	8000	198,00	133,00	0,65	1/12308
P29-P45	6400	198,00	71,00	1,27	1/5039
P30-P31	8000	133,00	2,00	1,31	1/6107
P30-P46	6400	133,00	46,00	0,87	1/7356
P31-P47	6400	2,00	61,00	0,59	1/10847
P33-P34	8000	3,00	4,00	0,01	1/800000
P34-P35	8000	4,00	5,00	0,01	1/800000
P34-P50	6400	4,00	3,00	0,01	1/640000
P35-P36	8000	5,00	4,00	0,01	1/800000
P35-P51	6400	5,00	5,00	0,00	-
P36-P37	8000	4,00	3,00	0,01	1/800000
P36-P52	6400	4,00	213,00	2,09	1/3062
P37-P38	8000	3,00	4,00	0,01	1/800000
P37-P53	6400	3,00	58,00	0,55	1/11636
P38-P39	8000	4,00	17,00	0,13	1/61538
P38-P54	6400	4,00	4,00	0,00	-
P39-P40	8000	17,00	3,00	0,14	1/57143
P39-P55	6400	17,00	154,00	1,37	1/4672
P40-P41	8000	3,00	49,00	0,46	1/17391
P40-P56	6400	3,00	33,00	0,30	1/21333
P41-P42	8000	49,00	71,00	0,22	1/36364
P41-P57	6400	49,00	99,00	0,50	1/12800
P42-P43	8000	71,00	71,00	0,00	#DIV/0!
P42-P58	6400	71,00	38,00	0,33	1/19394
P43-P44	8000	71,00	69,00	0,02	1/400000
P43-P60	6400	71,00	69,00	0,02	1/320000
P44-P45	8000	69,00	71,00	0,02	1/400000
P45-P46	8000	71,00	46,00	0,25	1/32000
P46-P47	8000	46,00	61,00	0,15	1/53333
P47-P48	8000	61,00	58,00	0,03	1/266667
P51-P52	8000	3,00	5,00	0,02	1/400000
P52-P53	8000	21,00	58,00	0,37	1/21622
P53-P54	8000	58,00	4,00	0,54	1/14815
P54-P55	8000	4,00	154,00	1,50	1/5333
P55-P56	8000	154,00	33,00	1,21	1/6612
P56-P57	8000	33,00	99,00	0,66	1/12121
P57-P58	8000	99,00	38,00	0,61	1/13115
P58-P59	8000	38,00	40,00	0,02	1/400000
P59-P60	8000	40,00	42,00	0,02	1/400000

Fonte: Autores (2024).