

ESTUDO DE CASO DE MEDIÇÃO DE RECALQUE EM UMA CONSTRUÇÃO NA CIDADE DE ANÁPOLIS - GO

Ádryam Kevin Rosa Machado

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (adryamkevin33@gmail.com)

Hávilla Aparecida Fernandes

Bacharelada do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (havillaasilva@hotmail.com)

Pedro Henrique Domingues Brito

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (ph.dominguesbrito@gmail.com)

Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA
(Agnaldo.silva@docente.unievangelica.edu.br)*

RESUMO

Este estudo empreende uma análise completa do estudo e acompanhamento do recalque diferencial em dois blocos construídos através do método de parede de concreto, localizados em um condomínio residencial em Anápolis-GO. A abordagem metodológica para a medição do recalque baseou-se no nivelamento geométrico, proporcionando uma análise precisa dos procedimentos, datas de leituras, métodos construtivos, recalques acumulados e a elaboração da curva de isorecalque. O estudo culmina em uma avaliação final dos resultados obtidos. Ao longo desta pesquisa, são detalhados minuciosamente os materiais utilizados no acompanhamento e diagnóstico do recalque nos blocos, ressaltando a importância de escolhas fundamentadas para a confiabilidade dos dados. Além disso, tabelas contendo valores de recalque e suas respectivas datas são apresentadas de maneira clara e organizada, visando facilitar a compreensão dos resultados. A análise aprofundada possibilitou não apenas a determinação dos valores de recalque por bloco, mas também a identificação das áreas específicas que apresentaram maior ou menor recalque. Os resultados obtidos confirmaram de maneira positiva a eficácia da metodologia adotada neste estudo, reforçando a confiabilidade e utilidade das informações coletadas para compreender o comportamento estrutural dos blocos ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Recalque; Metodologia; Leituras; Fundações; Solo

1 INTRODUÇÃO

O recalque em construções é um dos temas mais importantes na engenharia civil e geotecnia. É o termo utilizado na engenharia que se refere ao afundamento ou rebaixamento de uma estrutura devido à compressão e ao adensamento do solo sob a fundação. (Milititsky, 2005) O estudo teórico sobre recalque envolve a análise das propriedades do solo, cargas aplicadas, geometria da estrutura e a forma como esses fatores interagem entre si, e também são analisadas a eficácia de suas fundações.

A principal função das fundações, que é desempenhar sua transferência de cargas de uma estrutura ao solo pode ser prejudicada por diversos e diferentes fatores ao longo do tempo. Problemas de projeto, execução ou utilização de uma estrutura, assim como a falta de estudos aprofundados do solo local são determinantes ao surgimento de patologias. Conforme citação de Alonso (1991, p. 5), uma das características referentes às fundações, é que elas permanecem enterradas e, dessa forma, não é possível inspecioná-las com facilidade após sua conclusão, como ocorre com os demais elementos estruturais.

Ao longo deste trabalho, serão investigados os princípios teóricos que regem o comportamento do solo e as bases conceituais das medições de recalque. Além disso, abordou-se normas e regulamentos que orientam as práticas de monitoramento geotécnico. Por fim, foi aplicado a pesquisa com um estudo de caso real de uma construção em Anápolis, destacando as implicações práticas dos resultados obtidos e as lições aprendidas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITO DE RECALQUE

Define-se recalque como sendo o deslocamento vertical para baixo sofrido pela base da fundação em relação à superfície do terreno. Esse deslocamento é resultante da deformação do solo proveniente da aplicação de cargas ou devido ao peso próprio das camadas sobre a qual se apoia o elemento da fundação (Alonso, 1991).

A causa mais frequente de problemas em fundações é a falha durante a investigação do subsolo. Sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais à solução de qualquer problema, devido ao solo ser o meio que suportará as cargas (Milititsky, 2005).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), deve-se fazer uma campanha de investigação geotécnica preliminar para qualquer tipo de edificação, realizando no mínimo, sondagens a percussão (com SPT – Standard Penetration Test), tendo em vista a posição do nível d'água, a determinação da estratigrafia e classificação dos solos e a medida do índice de resistência à penetração NSPT, de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001). Na classificação dos solos deve ser empregada a NBR 6502 (ABNT, 1995).

2.2 EFEITOS DO RECALQUE

Os efeitos dos recalques nas estruturas podem ser classificados em três tipos: danos visuais ou estéticos, que não apresentam riscos de qualquer natureza; danos que comprometam o uso e a funcionalidade da construção e danos estruturais, que danificam a estrutura propriamente dita, colocando em risco a segurança dos usuários (Milititsky, 2005). Entretanto, a deformação no solo, não necessariamente pode causar danos à estrutura. Se as cargas que a fundação recebe forem uniformes, ocorrerá apenas o

afundamento do nível térreo, provocando problemas de uso, porém não estruturais. A diferença da intensidade dos recalques nos apoios pode provocar danos à edificação, e até mesmo levar a estrutura à ruína parcial ou total (Rebello, 2008).

A manifestação patológica mais comum na ocorrência do movimento das fundações em edificações é o surgimento de fissuras e trincas, geralmente com ângulos de 45 graus, partindo do lado mais rígido do solo para o lado que está sofrendo deformação. Toda vez que a resistência dos componentes da edificação ou conexão entre elementos for superada pelas tensões geradas por movimentação, ocorrem fissuras (Milititsky, Consol e Schnaid, 2008). O quadro 1 detalha as espessuras das aberturas classificadas como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha.

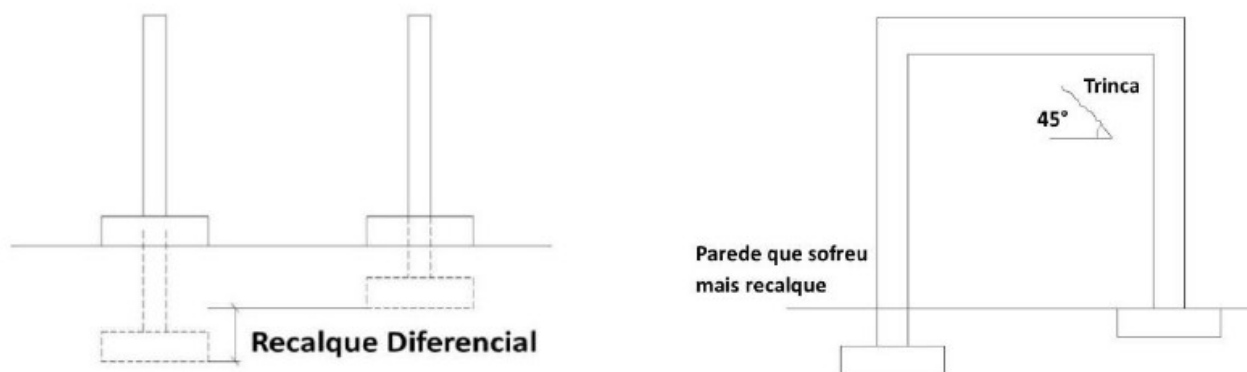
Quadro 1 - Classificação de fissura, trinca e rachadura

ANOMALIAS	ABERTURAS (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: OLIVEIRA. et al. 2017. – (adaptado)

Na primeira evidência do recalque diferencial acontece nas alvenarias de vedação, por serem mais frágeis. A sua ruptura ocorre devido ao efeito da força cortante, apresentando um ângulo de aproximadamente 45°, conforme demonstrado na Figura 1, sendo a direção que se dá a ruptura, o lado que sofreu maior recalque (Rebello, 2008).

Figura 1 - Trinca devido ao recalque diferencial



Fonte: REBELLO, 2008.

Dependendo do tipo e posicionamento do recalque diferencial em relação à estrutura de fundação, as patologias se apresentam de forma e direção diferenciadas. As trincas tendem a demonstrar a parte da estrutura da fundação que não sofreu recalque.

3 METODOLOGIA

Situado na cidade de Anápolis, no estado de Goiás, o empreendimento que foi objeto de estudo está localizado na região norte da cidade, em um condomínio residencial composto por 12 blocos de quatro andares, totalizando 32 unidades em cada prédio e um total de 384 apartamentos no complexo. Esses apartamentos estão divididos igualmente entre duas plantas diferentes, distribuídas em 12 torres, com seis blocos de cada planta.

A construção teve uma duração aproximada de 22 meses, iniciando em outubro de 2021 e com a entrega do residencial em agosto de 2023. A construção utilizou um método executivo de parede de concreto, com a utilização de formas de alumínio e concreto autoadensável, seguindo as diretrizes da norma NBR 16055/2022. As fundações do edifício foram executadas por meio de estacas de hélice contínua, conforme as especificações da NBR 6122/2019, com profundidades variáveis e diâmetros padrões de 30 cm. A Figura 2 ilustra o condomínio em questão.

Figura 2 - Imagem realística da vista superior do condomínio



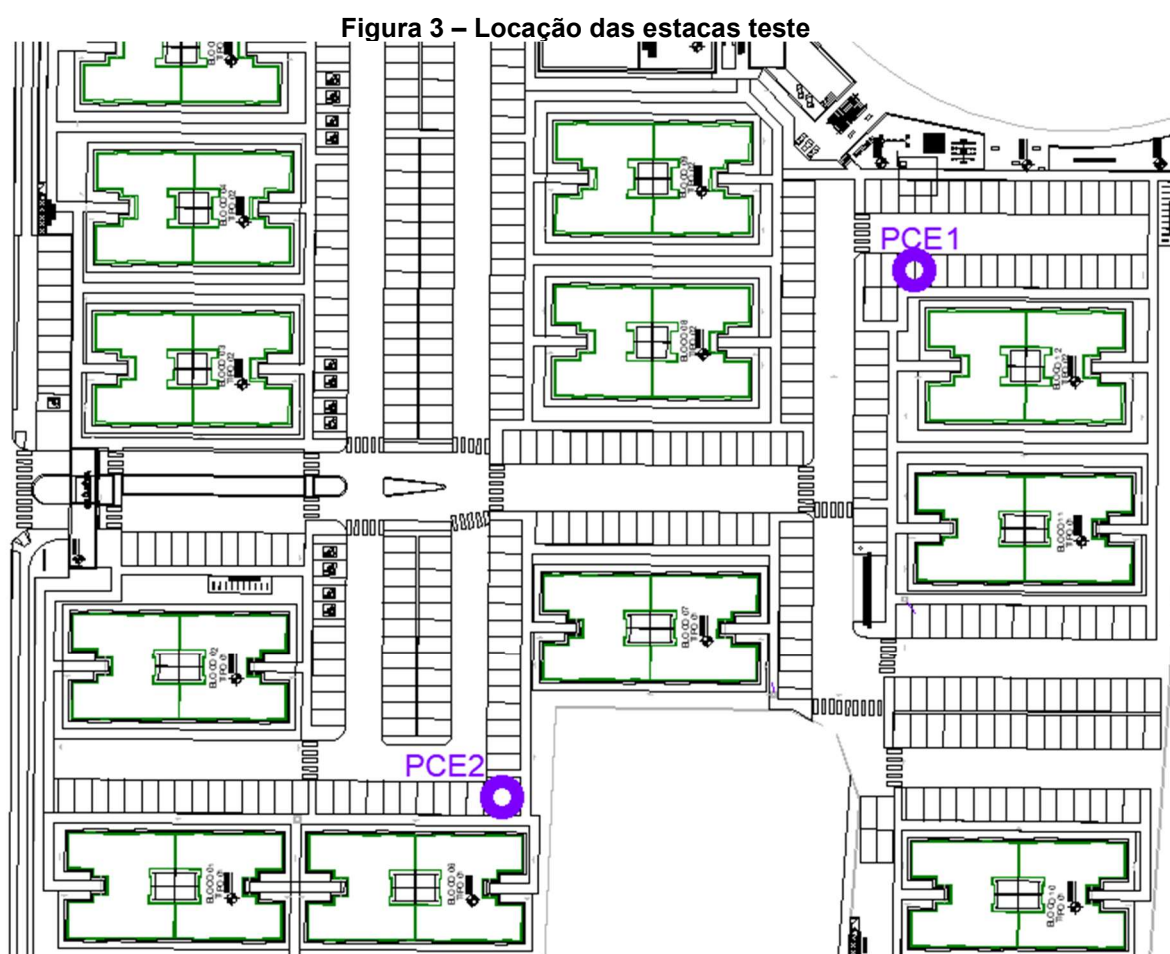
Fonte: AUTORES, 2023

O período de execução das fundações ocorreu de outubro de 2021 a março de 2022, e ao longo desse processo, não foram identificadas anormalidades ou falhas executivas.

No início da etapa de fundações, foi conduzido o ensaio à compressão, também conhecido como prova de carga estática, em estacas. Esse procedimento visa fornecer dados para avaliar o comportamento de carga versus deslocamento e estimar a capacidade de carga das estacas. O ensaio segue as regulamentações da NBR 16903 (ABNT, 2020) e envolve a instrumentação do topo da estaca, com a aplicação gradual de carga em estágios crescentes até atingir a máxima carga de mobilização da estaca ou duas vezes a provável carga de projeto, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019). Os valores medidos de deslocamento do topo incluem deformações elásticas do fuste, que são reversíveis, e recalques na ponta.

Conforme estipulado no item 9.2.2.1 da NBR 6122 (ABNT, 2019) – (Projeto e execução de fundações), é obrigatória a execução de provas de carga estática no início da obra em casos de fundações por estacas tipo hélice contínua quando o número de estacas excede 100. O número de provas de carga deve ser igual a, no mínimo, 1% do total de estacas da obra.

O ensaio foi realizado em dois pontos, um próximo ao bloco A e outro próximo ao bloco B, como ilustrado na Figura 3.



Fonte: AUTORES, 2023

A estaca PCE1 está localizada ao lado do Bloco B, próxima ao furo de sondagem SP 06, que foi executado pela empresa Solo Base – Engenharia de Solos e Fundações Ltda. Por outro lado, a estaca PCE2 está situada ao lado do Bloco A, próxima ao furo de sondagem SP 05. Nas provas de carga realizadas em PCE1 e PCE2, foram ensaiadas estacas tipo hélice contínua com diâmetros de 30 cm e profundidades de 15,0 m e 10,0 m, respectivamente.

No Bloco B, foi realizado um aterro controlado com uma altura média de 5,0 m. No entanto, a estaca PCE1 foi executada a uma profundidade 1,8 m abaixo do nível de execução das estacas do Bloco B. Na área onde ocorreu a prova de carga da PCE2, foi feita uma escavação com profundidade média de 2,0 m.

Para os ensaios, foram aplicadas cargas máximas de 70 tf, o que corresponde a duas vezes a carga prevista no projeto. Os resultados dos testes não foram satisfatórios nem conforme o esperado na estaca PCE2. Ao aplicar uma carga de 46,7 tf, foi observado um deslocamento superior a 10% do diâmetro da estaca (30 cm), e uma ruptura nítida ocorreu. No entanto, na estaca PCE1, os resultados foram satisfatórios, já que a estaca suportou a carga de teste de 70 tf sem rupturas, e o deslocamento foi inferior a 10% do diâmetro da estaca (30 cm).

Diante desse cenário, os relatórios dos ensaios foram entregues ao projetista estrutural, que solicitou um acompanhamento contínuo de medições de recalque até a conclusão do empreendimento.

3.1 MEDIÇÃO DE RECALQUE

O controle de medição de recalque é essencial para garantir a segurança da estrutura, uma vez que muitas vezes não é possível detectar o que está ocorrendo sem o auxílio de equipamentos especializados. Dada a situação enfrentada pelo empreendimento, o acompanhamento do recalque foi conduzido em colaboração entre a equipe de engenharia e uma empresa especializada em geotecnia, responsável por supervisionar as medições.

O período de controle se estendeu por 10 meses (307 dias), ocorrendo de agosto de 2022 a junho de 2023. As leituras foram realizadas simultaneamente nos Blocos A e B. Uma vez que o método construtivo empregado envolveu o uso de paredes de concreto, algumas adaptações no método leitura devido á estrutura do prédio foram necessárias. Além disso, devido à natureza do processo construtivo, não foi possível seguir um cronograma de medições predefinido. Isso ocorreu porque o prédio, mesmo com apenas 4 lajes, se completava estruturalmente em um curto espaço de tempo, frequentemente dentro de 30 dias, recebendo uma parte significativa de sua carga nesse período.

3.2 MÉTODO REALIZADO

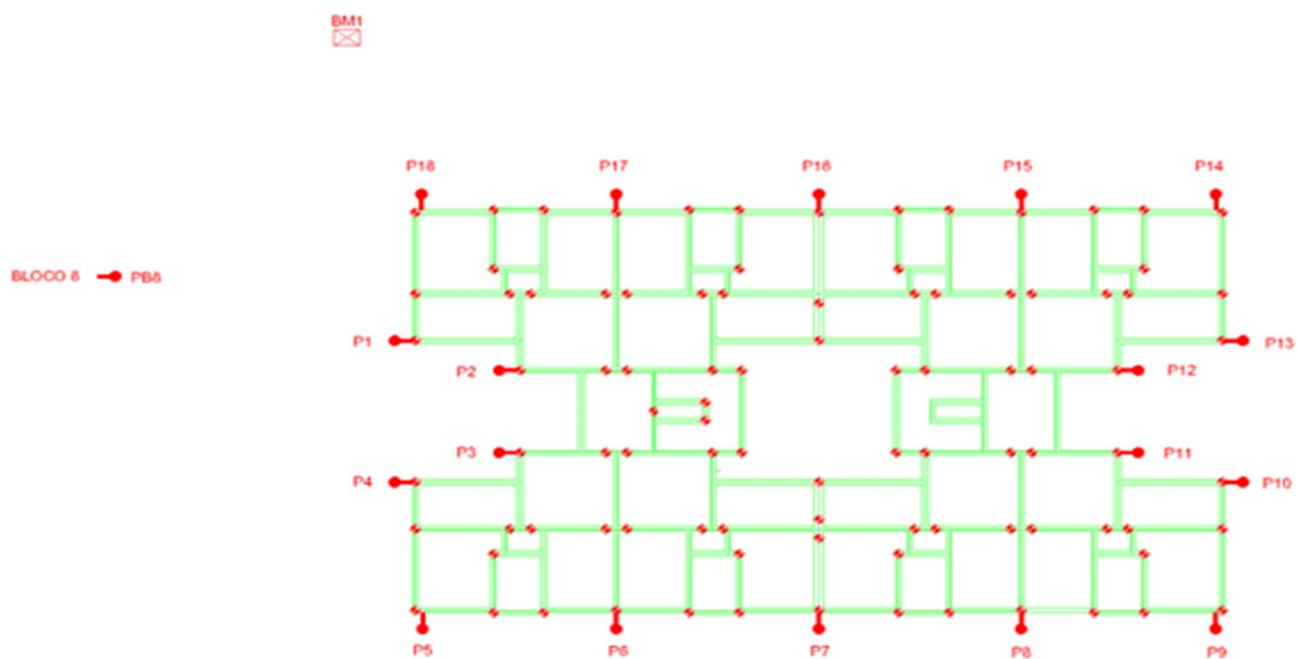
O método adotado para a leitura do recalque baseou-se no nivelamento geométrico, o qual requer a instalação de um "benchmark", que consiste em um ponto de referência fixo e imutável ao longo do período de estudo. Para isso, escolhemos utilizar os pontos nos quais as estacas de teste das provas de carga foram posicionadas. Esses pontos eram profundos e estáveis, não sujeitos a cargas ou movimentações, tornando-os ideais para servirem como bases e pontos de referência para a leitura de outros pontos localizados nos edifícios.

Devido ao fato de o edifício não ter seguido um método construtivo convencional, a instalação dos pinos de fixação foi realizada nas vigas baldrame, distribuídos uniformemente ao longo da viga, com uma distância de 10 cm em relação à parte superior da viga. No total, foram instalados 18 pinos em cada edifício. A Figura 4 ilustra a localização do *benchmark* e a disposição dos pinos no Bloco B, enquanto a Figura 5 apresenta a situação no Bloco A. Em evidencia está a representação do bloco B em sua vista superior indicando a localização dos pinos de apoio

Foi necessário instalar um único pino em um terceiro edifício para funcionar como um ponto intermediário para o Bloco B, uma vez que o *benchmark* foi definido como a estaca de teste, que se encontrava a uma cota de -1,80 m em relação ao nível do Bloco B. A Figura 6 ilustra a diferença de nível entre o Bloco B e o *benchmark*.

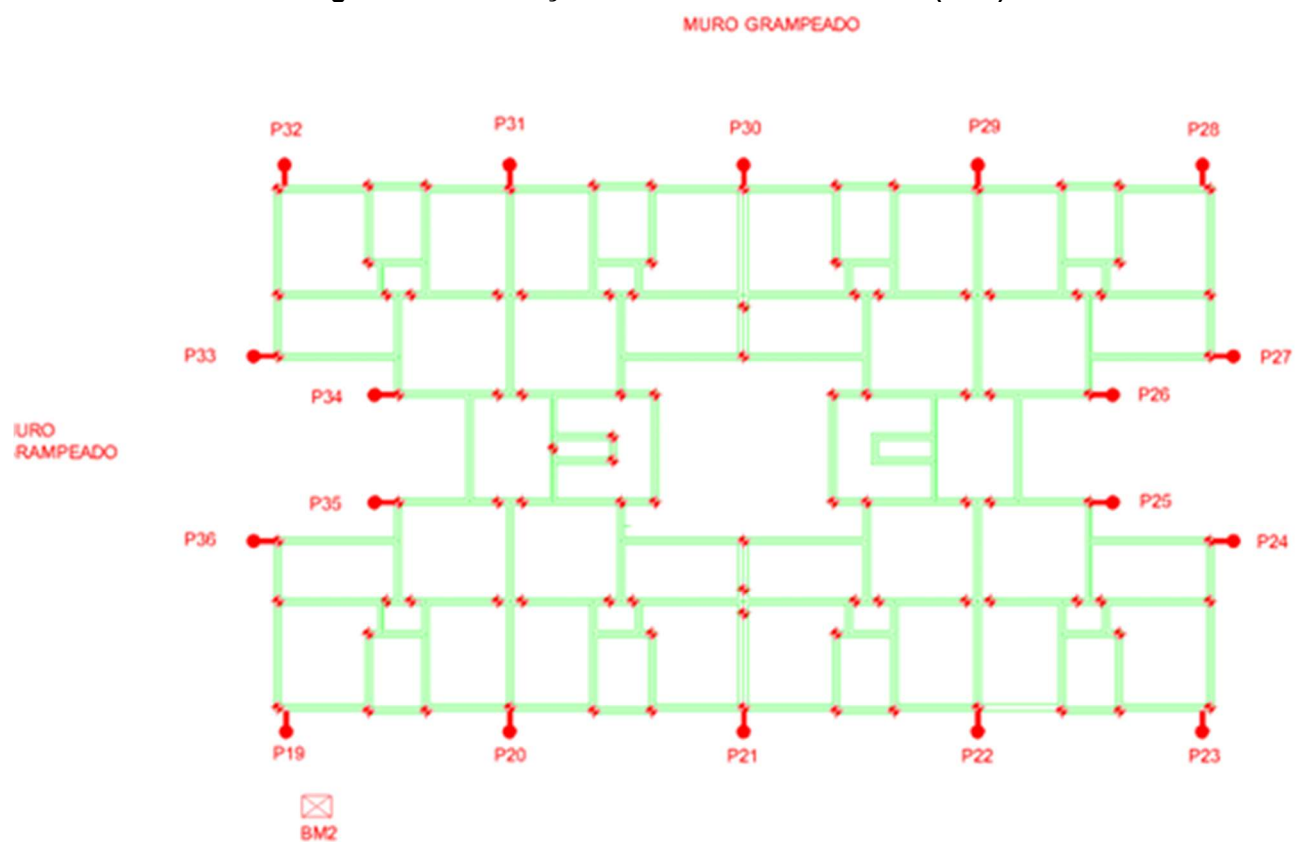
Deve se salientar que o método construtivo em questão é o de parede de concreto, e com isso tiveram de ser realizadas adaptações no método de leitura, onde os pinos que seriam instalados em pilares foram instalados em viga baldrames em pontos estratégicos.

Figura 4 – Localização do benchmark no bloco B (bm1)



Fonte: AUTORES, 2023

Figura 5 – Localização do benchmark no bloco A (bm2)



Fonte: AUTORES, 2023

Figura 6 – Bloco B pronto com o benchmark em um nível de -1,80m



Fonte: AUTORES, 2023

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização da leitura do recalque foram utilizados os seguintes materiais:

- Nível óptico de alta precisão (Wild Heerbrugg N2) – Figura 7;
- Micrômetro acoplado Wild Heerbrugg (placa plano-paralela de alta precisão, podendo-se estimar até centésimo de milímetro) – Figura 7;
- Tripé de apoio;
- Mira Wild Heerbrugg com barra de Invar, contém um coeficiente de dilatação térmica 10 vezes menor que o das miras comuns (Figura 8);
- Haste em aço inox (para apoio da mira); pinos em aço carbono e latão (engastados nas vigas baldrame), fabricados sob orientações da norma N-1807 (PETROBRAS, 2005) – Figura 9. Após a realização dos furos nas vigas baldrame, os pinos são fixados com adesivo estrutural de base epóxi. Foram instalados 37 pinos na viga baldrame dos Blocos; figura 10, ilustra o pino fixado no baldrame
- Calota em aço carbono fixada sobre o benchmark para apoio da mira, fixada em um bloco de concreto de resistência de 30MPa com adesivo estrutural a base de epóxi – figura 11.

**Figura 7 – Nível óptico de precisão Wild Heerbrugg N2 e
Micrômetro nível de precisão**



Fonte: AUTORES, 2023

O nível óptico de precisão e o micrômetro são utilizados para realizar as leituras quando direcionados a mira topográfica visto que o Micrometro é utilizado para realizar as com uma maior precisão, diminuindo assim o índice de erros.

Figura 8 - Mira com barra Invar



Fonte: AUTORES, 2023

Mira com barra invar, utilizada para leituras de maior precisão, e para locais de grandes dimensões e distancias, diminuindo assim índices de erros.

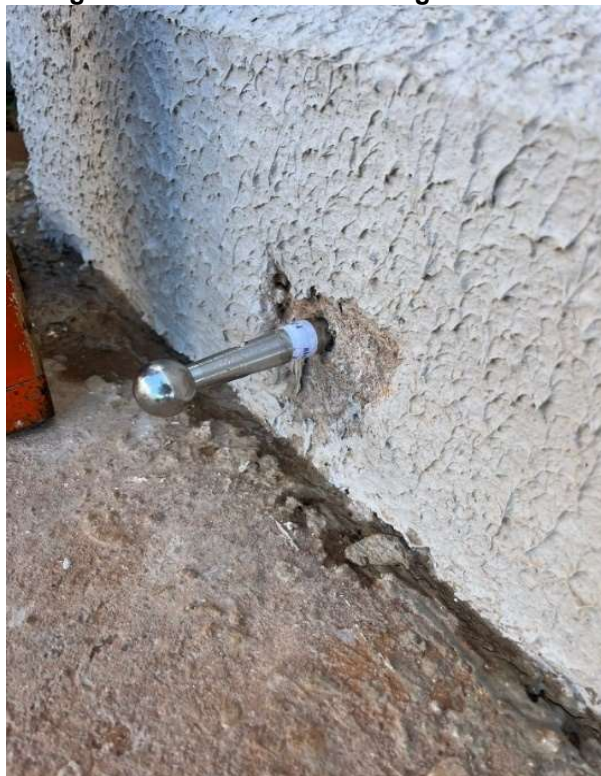
Figura 9 – Pino (1) e haste (2)



Fonte: AUTORES, 2023

O pino (1) instalado na viga baldrame com uso de cola a base de resina epóxi, através de um furo com a furadeira comum é comumente chamado de pino de encaixe onde o mesmo recebe a haste (2) de de apoio da mira, que é rosqueada na ponta superior do pino.

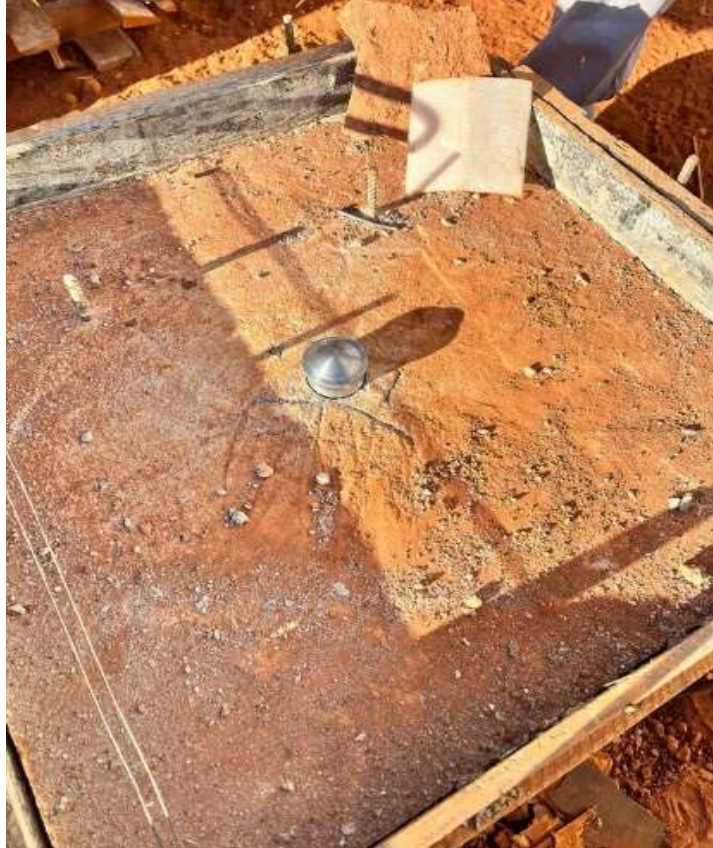
Figura 10 - Pinos fixado na viga baldrame



Fonte: AUTORES, 2023

Haste metálica em material galvanizado rosqueada ao pino já fixado na viga baldrame através de adesivo estrutural a base de epóxi, é utilizado apenas uma haste, pois a cada leitura a mesma é removida e rosqueada em outro pino.

Figura 11 - Calota em aço carbono fixada no benchmark



Fonte: AUTORES, 2023

Calota fixada em um ponto fixo que não sofre intercorrências denominado benchmark, a calota fica fixa até o final do estudo onde precisa ser protegida de qualquer possível impacto ou dano causado por máquinas e pessoas. A calota foi fixada com adesivo estrutural a base de epóxi em uma base de concreto estrutural que anteriormente foi usado como local de prova de carga com isso a base se tornou imóvel uma vez que a mesma está unida a uma estaca de 10,0 m de profundidade, e não recebe nenhuma carga.

3.4 ESQUEMÁTICA DE LEITURAS

No decorrer do estudo, foram realizadas um total de oito leituras, sendo que a primeira leitura teve como objetivo apenas a coleta de dados, enquanto a comparação de resultados foi realizada a partir da segunda leitura. Inicialmente, estava planejado realizar as leituras a cada 60 dias; no entanto, devido ao método construtivo, que envolve uma execução extremamente rápida das estruturas, o prazo foi encurtado e não teve um padrão fixo. A Tabela 1 apresenta as datas das leituras e os momentos construtivos correspondentes dos blocos.

Para realizar as medições em todo o entorno do prédio, foram necessárias várias modificações nos equipamentos de medição, incluindo o tripé, a mira e a régua, a fim de determinar e verificar a altura de todos os pinos fixados nos baldrames.

No Bloco A, o procedimento se iniciava com a mira apoiada na calota fixa do ponto de referência, onde a cota de referência era registrada. Em seguida, as leituras dos demais pontos distribuídos ao redor do bloco eram realizadas.

No Bloco B, devido à diferença de nível, era necessário realizar uma segunda medição antes de direcionar-se aos pinos ao redor do bloco. Na Figura 12, é possível observar a mira apoiada no ponto de referência com o nível sendo ajustado para a

primeira medição. Na Figura 13, a mira está apoiada em um pino no Bloco C, e o nível é ajustado para a segunda medição. Na Figura 14, a mira já está direcionada e apoiada no Bloco B, com o nível ajustado para a terceira medição. Após essas etapas, as leituras eram feitas ao redor do Bloco B. Parte superior do formulário

Tabela 1 – Data das leituras e momentos construtivos

Leitura	Data da Leitura	Situação Bloco A	Situação Bloco B
1ª	20-08-2022	4 lajes concluídas	3 lajes concluídas
2ª	15-09-2022	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso	4 lajes concluídas
3ª	04-11-2022	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso
4ª	08-12-2022	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido
5ª	13-01-2023	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido, esquadrias e piso cerâmico	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido completos
6ª	10-03-2023	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido, esquadrias e piso cerâmico completos	Estrutura e sobrecarga de regularização de piso concluída e gesso corrido, esquadrias e piso cerâmico completos
7ª	24-04-2023	Estrutura e sobrecargas (Regularização, gesso, piso cerâmico, esquadrias e cobertura)	Estrutura e sobrecargas (Regularização, gesso, piso cerâmico, esquadrias e cobertura)
8ª	23-06-2023	Estrutura e sobrecargas (Regularização, gesso, piso cerâmico, esquadrias e cobertura,)	Estrutura e sobrecargas (Regularização, gesso, piso cerâmico, esquadrias e cobertura

Fonte: AUTORES, 2023.

A Tabela 1 ilustra de forma clara e objetiva as datas das leituras, bem como a etapa construtiva como o edifício se encontra a cada leitura, não conseguiu-se criar um padrão para as leituras visto que o período de tempo de uma varia outra varia em média entre 30 e 65 dias.

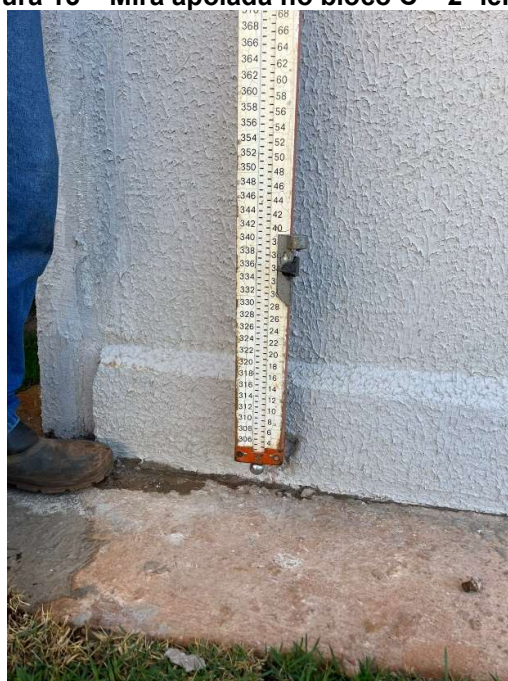
Figura 12 – Mira apoiada no Benchmark (Bloco B) – 1ª leitura



Fonte: AUTORES, 2023.

Início da leitura no Bloco A, onde há o desnível, e o *benchmark* locado em um nível de 30cm abaixo da cota do solo e cerca de 1,80m abaixo do nível do baldrame onde estão instalados os pinos de leitura, onde por sua vez, pode-se observar que as calçadas e estacionamentos já estavam prontos e houve a necessidade de fazer uma proteção na calota que ali estava instalada. Observa-se no momento a mira apoiada sobre a calota para assim realizar a primeira leitura do bloco, onde se encontra a cota inicial que não sofre alterações.

Figura 13 – Mira apoiada no bloco C – 2ª leitura



Fonte: AUTORES, 2023

Mira com barra Invar apoiada na haste metálica, para realização da segunda leitura, onde ao ser feita, pode-se encontrar as diferenças de níveis da cota anterior para a posterior e assim encontrar o desnível.

Figura 14 – Mira apoiada no bloco B, e o nível apontado para a mira, 3ª leitura



Fonte: AUTORES,2023

Realização de leitura onde o nível óptico é apontado para a mira que está apoiada sobre a haste metálica, sendo assim, após a identificação do nível no pino atual é realizada a mudança para os demais pinos que estão distribuídos em torno da viga baldrame do bloco.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os danos na Tabela 2 delinea de maneira elucidativa os desdobramentos observados ao longo do período de leitura, proporcionando uma visão abrangente dos valores de recalque acumulado desde a 1ª até a 5ª leitura, concernentes ao Bloco A.

Os danos na Tabela 3 delinea de maneira elucidativa os desdobramentos observados ao longo do período de leitura, proporcionando uma visão abrangente dos valores de recalque acumulado desde a 6ª até a 8ª leitura, concernentes ao Bloco A.

Simultaneamente, a Tabela 4 compila e apresenta de forma sistemática os resultados adquiridos durante o período de leitura, explicitando os valores de recalque acumulado da 1ª à 5ª leitura, entretanto, esta vez associados ao Bloco B, a Tabela 5 compila e apresenta de forma sistemática os resultados adquiridos durante o período de leitura, explicitando os valores de recalque acumulado da 6ª à 8ª leitura, entretanto, esta vez associados ao Bloco B. Vale destacar que para o BM1 e o BM2, as cotas foram estabelecidas em 100,00000 metros e 200,00000 metros, respectivamente. O BM2 foi empregado estrategicamente entre a 7ª e 8ª leituras.

É relevante mencionar que um imprevisto, relacionado a um incidente envolvendo um equipamento, ocasionou o deslocamento da calota do ponto de referência. Como

solução, o pino P36 foi adotado como referência para a 8ª leitura, evidenciando a adaptabilidade do método diante de contratempos.

Cabe ressaltar que as informações sobre recalque acumulado na figura indicam recalques descendentes representados por números positivos, enquanto levantamentos são expressos por números negativos, proporcionando uma compreensão mais clara e concisa dos fenômenos observados durante o processo de leitura.

Tabela 2 – Recalque acumulado da 1ª a 5ª leitura bloco A

PINOS	1ª Leitura Cotas (m)	2ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 2ª Leitura (mm)	3ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 3ª Leitura (mm)	4ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 4ª Leitura (mm)	5ª Leitura Cotas (m)
	20/08/2022	15/09/2022	Δ dias 26	04/11/2022	Δ dias 76	08/12/2022	Δ dias 110	13/01/2023
P19	200,0949	200,0943	0,55	200,09345	1,4	200,09425	0,6	200,0949
P20	200,1049	200,1043	0,55	200,10375	1,1	200,10455	0,3	200,1041
P21	200,0833	200,08355	-0,3	200,08315	0,1	200,08335	-0,1	200,0822
P22	200,0967	200,0961	0,55	200,0953	1,35	200,0958	0,85	200,0955
P23	200,1205	200,1188	1,65	200,1194	1,05	200,11995	0,5	200,1152
P24	200,0783	200,07415	4,15	200,07315	5,15	200,07345	4,85	200,0734
P25	200,0475	200,04265	4,8	200,04225	5,2	200,0424	5,05	200,0428
P26	200,0742	200,0703	3,85	200,06915	5	200,0696	4,55	200,0694
P27	200,0898	200,0857	4,05	200,0849	4,85	200,0848	4,95	200,0848
P28	200,0898	200,0882	1,55	200,08745	2,3	200,0875	2,25	200,0875
P29	200,0867	200,08595	0,7	200,0851	1,55	200,08305	3,6	200,0828
P30	200,0725	200,0714	1,1	200,0719	0,6	200,0713	1,2	200,0712
P31	200,0919	200,09035	1,55	200,0901	1,8	*	1,8	*
P32	200,0946	200,0935	1,05	200,0941	0,45	200,0939	0,65	200,0946
P33	200,0958	200,09515	0,6	200,0954	0,35	200,0956	0,15	200,0937
P34	200,1073	200,1071	0,2	200,1071	0,2	200,1067	0,6	200,1052
P35	200,1082	200,1079	0,25	200,10735	0,8	200,1076	0,55	200,1066
P36	200,107	200,10685	0,1	200,1064	0,55	200,1064	0,55	200,1059
PB8	100,5637	100,56365	0	100,5632	0,45	100,5638	-0,15	100,5635

Fonte: AUTORES, 2023.

Tabela 3 – Recalque acumulado da 6ª a 8ª leitura bloco A

PINOS	Recalque acumulado até a 5ª Leitura (mm)	6ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 6ª Leitura (mm)	7ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 7ª Leitura (mm)	8ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 8ª Leitura (mm)
	Δ dias 146	10/03/2023	Δ dias 202	24/04/2023	Δ dias 247	23/06/2023	Δ dias 307
P19	0	200,09515	-0,3	200,09475	0,1	200,0944	0,45
P20	0,75	200,10435	0,5	200,0957	9,15	200,1036	1,25
P21	1,05	200,08215	1,1	200,0817	1,55	200,08295	0,3
P22	1,15	200,0951	1,55	200,09535	1,3	200,09605	0,6
P23	5,3	200,11475	5,7	200,117	3,45	200,1191	1,35
P24	4,95	200,07305	5,25	200,0733	5	200,0741	4,2
P25	4,65	200,0424	5,05	200,0403	7,15	200,0413	6,15
P26	4,75	200,0666	7,55	200,06815	6	200,0693	4,85
P27	5	200,08415	5,6	200,08655	3,2	200,0873	2,45
P28	2,25	200,0872	2,55	200,0867	3,05	200,08755	2,2
P29	3,9	200,0841	2,55	200,0843	2,35	200,0855	1,15
P30	1,35	200,07065	1,85	200,0709	1,6	200,0719	0,6
P31	1,8	200,08935	2,55	*	2,55	200,08965	2,25
P32	-0,05	200,09345	1,1	200,09345	1,1	200,0935	1,05
P33	2,1	200,094	1,75	200,09465	1,1	200,09385	1,9
P34	2,1	200,10565	1,65	200,10605	1,25	200,1064	0,9
P35	1,55	*	1,55	200,1074	0,75	200,10795	0,2
P36	1,1	200,10565	1,3	200,1062	0,75	200,1062	0,75
PB8	0,15					100,564	-0,35

Fonte: AUTORES, 2023.

As tabelas 2 e 3 apresentam de maneira abrangente dados fundamentais, destacando a variação diária e as cotas registradas em cada leitura. Esses elementos são cruciais para a análise do recalque acumulado, permitindo a identificação precisa dos locais onde ocorrem essas variações. Para otimizar a compreensão e interpretação dos resultados, é imperativo que essas informações sejam apresentadas de forma clara e organizada desde as primeiras leituras. A disposição metódica desses dados desde o início não apenas facilita a compreensão imediata, mas também estabelece uma base sólida para uma análise mais aprofundada ao longo do tempo, garantindo uma interpretação precisa e informada dos resultados obtidos.

Tabela 4 – Recalque acumulado da 1ª a 5ª leitura – Bloco B

PINOS	1ª Leitura Cotas (m)	2ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 2ª Leitura (mm)	3ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 3ª Leitura (mm)	4ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 4ª Leitura (mm)	5ª Leitura Cotas (m)
	20/08/2022	15/09/2022	Δ dias 26	04/11/2022	Δ dias 76	08/12/2022	Δ dias 110	13/01/2023
P1	102,3491	102,3474	1,75	102,3472	1,95	102,3482	0,95	102,3474
P2	102,3373	102,3354	1,9	102,3357	1,6	102,3364	0,85	102,3357
P3	102,3351	102,3332	1,85	102,3336	1,45	102,3348	0,3	102,3347
P4	102,3591	102,3576	1,5	102,3577	1,35	102,3587	0,35	102,3585
P5	102,3507	102,35	0,75	102,3508	-0,05	102,3514	-0,65	102,3514
P6	102,3107	102,3097	0,95	102,3108	-0,1	102,311	-0,35	102,3112
P7	102,3299	102,3291	0,85	102,3304	-0,5	102,3305	-0,55	102,331
P8	102,3186	102,3177	0,85	102,3186	-0,05	102,3191	-0,5	102,3192
P9	102,3327	102,3325	0,2	102,3333	-0,65	102,3343	-1,6	102,3338
P10	102,3378	102,3374	0,4	102,3388	-0,95	102,3395	-1,7	102,3393
P11	102,3534	102,3532	0,2	102,3537	-0,25	102,3538	-0,4	102,3534
P12	102,3514	102,3504	0,95	102,3517	-0,35	102,352	-0,6	102,3518
P13	102,343	102,3423	0,65	102,3426	0,4	102,3434	-0,45	102,343
P14	102,3349	102,3342	0,7	102,3349	0	102,335	-0,05	102,3346
P15	102,3462	102,3448	1,45	102,345	1,25	102,3453	0,9	102,3447
P16	102,3413	102,3399	1,4	102,3399	1,35	102,3406	0,7	102,3402
P17	102,3461	102,3438	2,35	102,3441	2	102,345	1,15	102,344
P18	102,3936	102,3922	1,4	102,3925	1,1	102,3932	0,4	102,3916

Fonte: AUTORES, 2023.

Tabela 5 – Recalque acumulado da 6ª a 8ª leitura – Bloco B

PINOS	Recalque acumulado até a 5ª Leitura (mm)	6ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 6ª Leitura (mm)	7ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 7ª Leitura (mm)	8ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 8ª Leitura (mm)
	Δ dias 146	10/03/2023	Δ dias 202	24/04/2023	Δ dias 247	23/06/2023	Δ dias 307
P1	1,75	102,3462	2,95	102,3404	8,75	102,3449	4,25
P2	1,6	102,3346	2,7	102,3323	4,95	102,3308	6,5
P3	0,4	102,3336	1,45	102,3308	4,25	102,3299	5,2

(continua)

Tabela 5 – Recalque acumulado da 6ª a 8ª leitura – Bloco B

(conclusão)

PINOS	Recalque acumulado até a 5ª Leitura (mm)	6ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 6ª Leitura (mm)	7ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 7ª Leitura (mm)	8ª Leitura Cotas (m)	Recalque acumulado até a 8ª Leitura (mm)
	Δ dias 146	10/03/2023	Δ dias 202	24/04/2023	Δ dias 247	23/06/2023	Δ dias 307
P4	0,55	102,3576	1,5	102,3577	1,4	102,3565	2,6
P5	-0,65	102,3514	-0,65	102,3483	2,4	102,3514	-0,7
P6	-0,5	102,3116	-0,9	102,316	-5,3	102,3102	0,5
P7	-1,05	102,3316	-1,7	102,3334	-3,5	102,3275	2,4
P8	-0,6	102,3197	-1,15	102,3195	-0,9	102,3198	-1,25
P9	-1,15	102,3346	-1,9	102,3341	-1,4	102,3343	-1,6
P10	-1,45	102,3397	-1,9	102,3367	1,15	102,3362	1,6
P11	0	102,3518	1,65	102,349	4,4	102,3499	3,5
P12	-0,4	102,3537	-2,3	102,3518	-0,4	102,3508	0,55
P13	0	102,3429	0,1	102,3427	0,3	102,3421	0,9
P14	0,3	102,3352	-0,3	102,3347	0,25	102,3334	1,55
P15	1,55	102,3456	0,6	102,3459	0,35	102,3437	2,5
P16	1,1	102,3374	3,85	102,3382	3,05	102,338	3,3
P17	2,15	102,3434	2,7	102,3364	9,7	102,3422	3,95
P18	1,95	102,3909	2,65	102,3853	8,3	102,388	5,55

Fonte: AUTORES, 2023.

3.6 GRÁFICOS DE RECALQUES ACUMULADOS

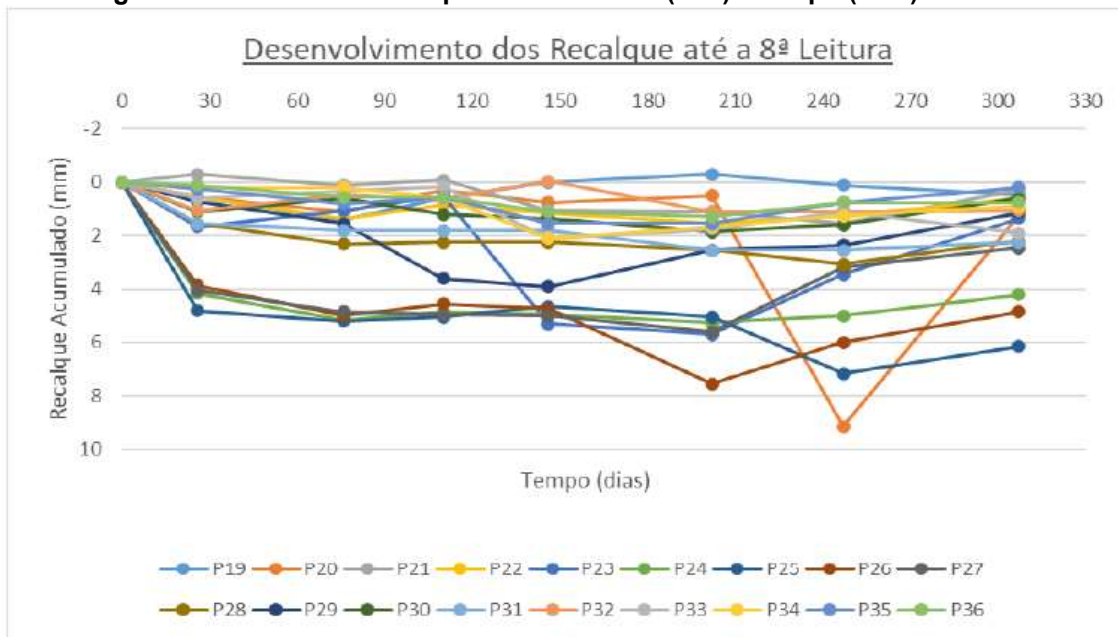
Durante a realização da sétima leitura, tornou-se evidente que alguns pinos em ambos os blocos sofreram danos decorrentes de atividades de acabamento executadas nos baldrames entre a sexta e a sétima leitura. Essa circunstância, potencialmente suscetível a introduzir imprecisões nos resultados, demandou uma abordagem cautelosa. Diante disso, foi deliberado conduzir a oitava leitura com o intuito de assegurar uma integridade e confiabilidade superiores nos dados obtidos. Como resultado, serão apresentados gráficos que incorporam tanto a sétima leitura quanto versões que a excluem.

As Figuras 15 e 16 fornecem uma representação visual da progressão das movimentações verticais de cada pino até a 8ª leitura. Por sua vez, as Figuras 17 e 18 oferecem uma análise específica da evolução das movimentações verticais, destacando os resultados quando a 7ª leitura é excluída do conjunto de dados.

Vale ressaltar que as informações referentes ao recalque acumulado nos gráficos indicam recalques descendentes representados por números positivos, enquanto

levantamentos são expressos por números negativos. Este contexto proporciona uma compreensão mais precisa e abrangente das variações observadas ao longo do processo de leitura, contribuindo para a interpretação criteriosa dos resultados obtidos

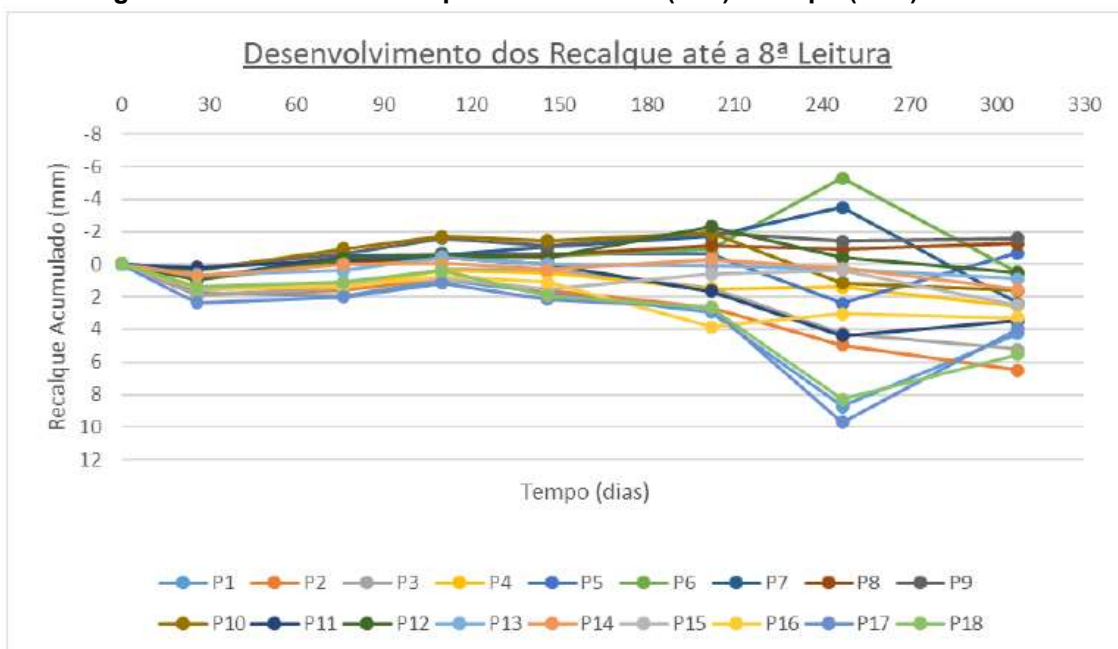
Figura 15 - Gráfico de recalques acumulados (mm) x tempo (dias) – Bloco A



Fonte: AUTORES,2023

O Gráfico ilustrado apresenta o recalque acumulado no bloco A, onde o mesmo possui uma relação Tempo (dias) X Recalque acumulado (mm). Observa-se que o pino 20 foi o que sofreu maior recalque descendente, encontrando o valor de 9,1mm.

Figura 16 - Gráfico de recalques acumulados (mm) x tempo (dias) – Bloco B

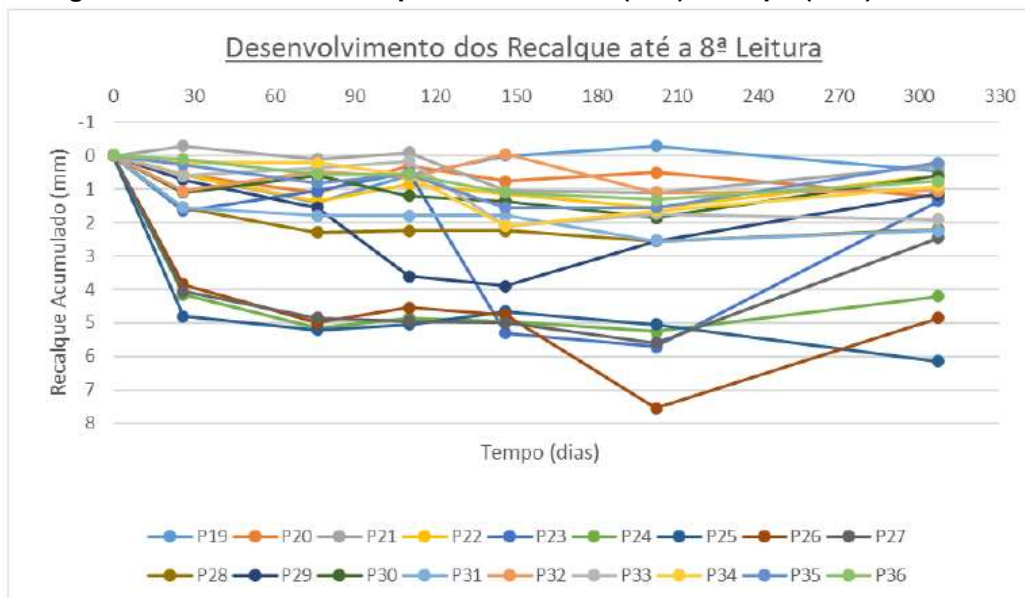


Fonte: AUTORES,2023

Além disso, o gráfico proporciona uma visão visualmente acessível da relação entre o tempo decorrido e o recalque acumulado no bloco B. Destaca-se a importância dos pinos 17 e 06, que se destacam com recalques significativos e levantamentos de

9,7mm e -5,3mm, respectivamente. Essas observações detalhadas não apenas enriquecem a compreensão do comportamento do solo, mas também orientam futuras ações e intervenções com base nas variações mais proeminentes identificadas no contexto do recalque acumulado.

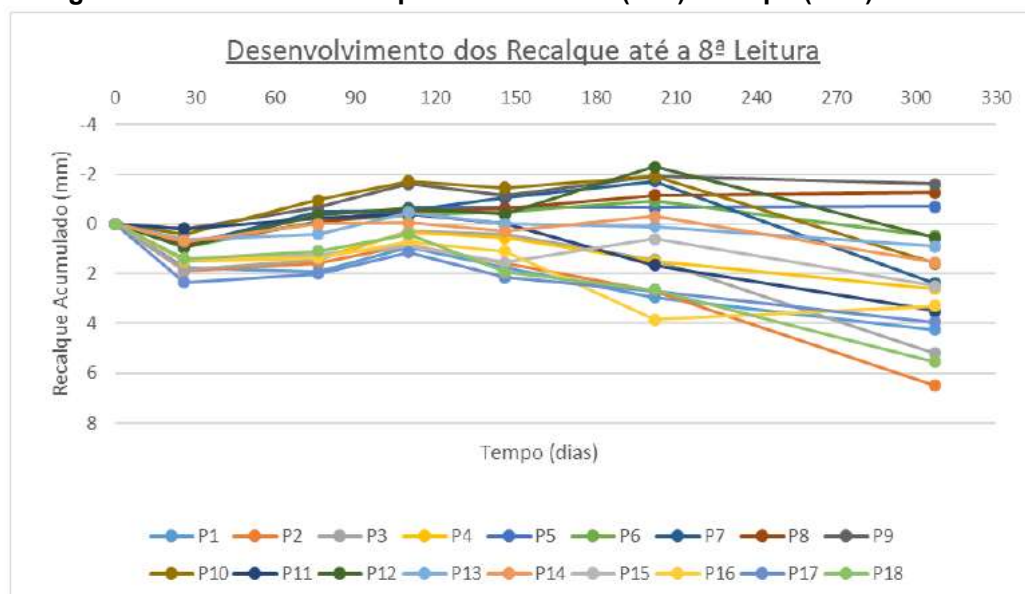
Figura 17 - Gráfico de recalques acumulados (mm) x tempo (dias) – Bloco A



Fonte: AUTORES,2023

O Gráfico ilustrado na figura 17 apresenta o recalque acumulado no bloco A com exclusão da sétima leitura, onde o mesmo possui uma relação Tempo (dias) X Recalque acumulado (mm). Pode-se observar que o pino 23 foi o que sofreu maiores oscilações no período de leituras, variando de 0,5mm na quarta leitura para 5,3mm na quinta leitura. Enquanto no pino 26 ocorreu maior recalque descendente, com valor de 7,55mm na sexta leitura.

Figura 18 - Gráfico de recalques acumulados (mm) x tempo (dias) – Bloco B



Fonte: AUTORES,2023

A representação gráfica do recalque acumulado no bloco B, com a exceção da sétima leitura, oferece uma visão detalhada da evolução temporal desse fenômeno. Ao

observar a relação entre o tempo decorrido e o recalque acumulado em milímetros, torna-se evidente que a exclusão da sétima leitura não apenas destaca a consistência dos dados, mas também revela padrões mais claros. Notavelmente, entre a sexta e a oitava leitura, identifica-se um recalque médio de 1,77mm, ressaltando uma fase específica de variação.

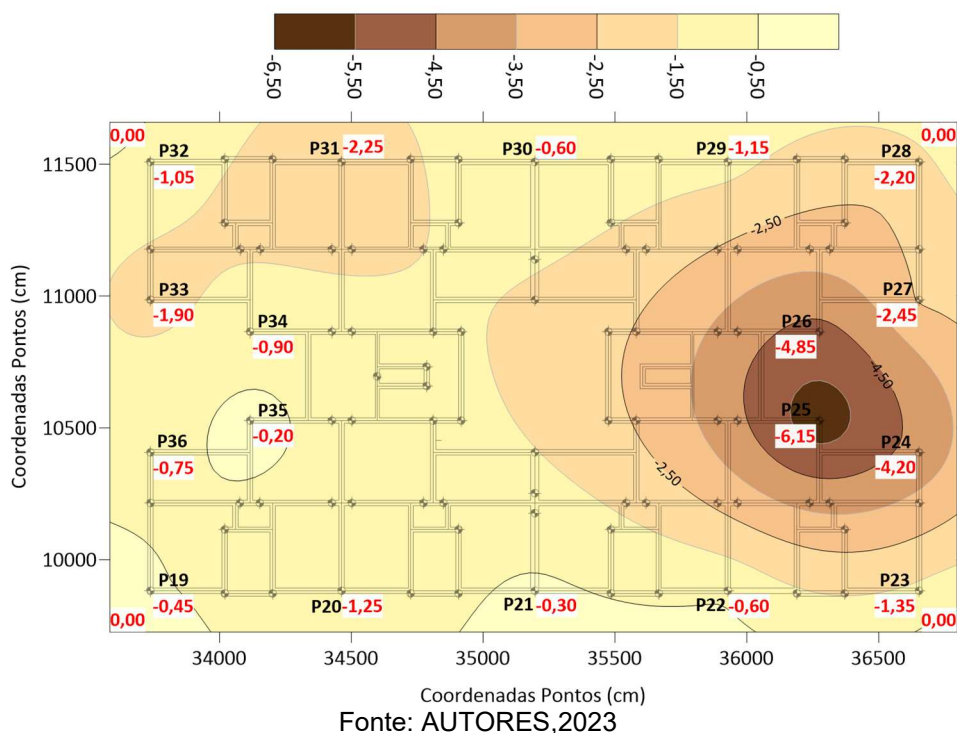
3.7 CURVAS DE ISORECALQUE

As Figuras 19 e 20 proporcionam uma representação do posicionamento dos pinos em relação à estrutura do edifício, incluindo as curvas de isorecalque. As curvas primárias, em preto, possuem uma equidistância de 2,00 mm, enquanto as curvas secundárias, em cinza, mantêm uma equidistância de 1,00 mm. Essas representações dizem respeito ao Bloco B e A e refletem os recalques totais resultantes das medições feitas ao longo de um período de 307 dias. O projeto de fundação e a projeção do edifício também são considerados na análise.

A visualização planialtimétrica do deslocamento vertical da fundação, por meio das isolinhas de recalque, pode fornecer informações valiosas para antecipar o comportamento da fundação. Os dados obtidos a partir do levantamento têm o potencial de alimentar um sistema de informações local. Esses dados, quando combinados com outras informações cartográficas e não cartográficas, serão submetidos à análise para embasar processos decisórios, como destacado por SEIXAS, A. et al., em 2009.

Com o intuito de aprimorar a análise e compreensão dos resultados, empregou-se o software Soil. Esse software visa realizar uma modelagem visual da representação esquemática dos recalques, utilizando coordenadas padrão. Nesse contexto, é relevante observar que os recalques descendentes são descritos como valores negativos, enquanto os recalques ascendentes são representados por valores positivos. Essa abordagem proporciona uma visualização mais clara e precisa das variações ocorridas, contribuindo significativamente para uma interpretação mais aprofundada dos resultados obtidos.

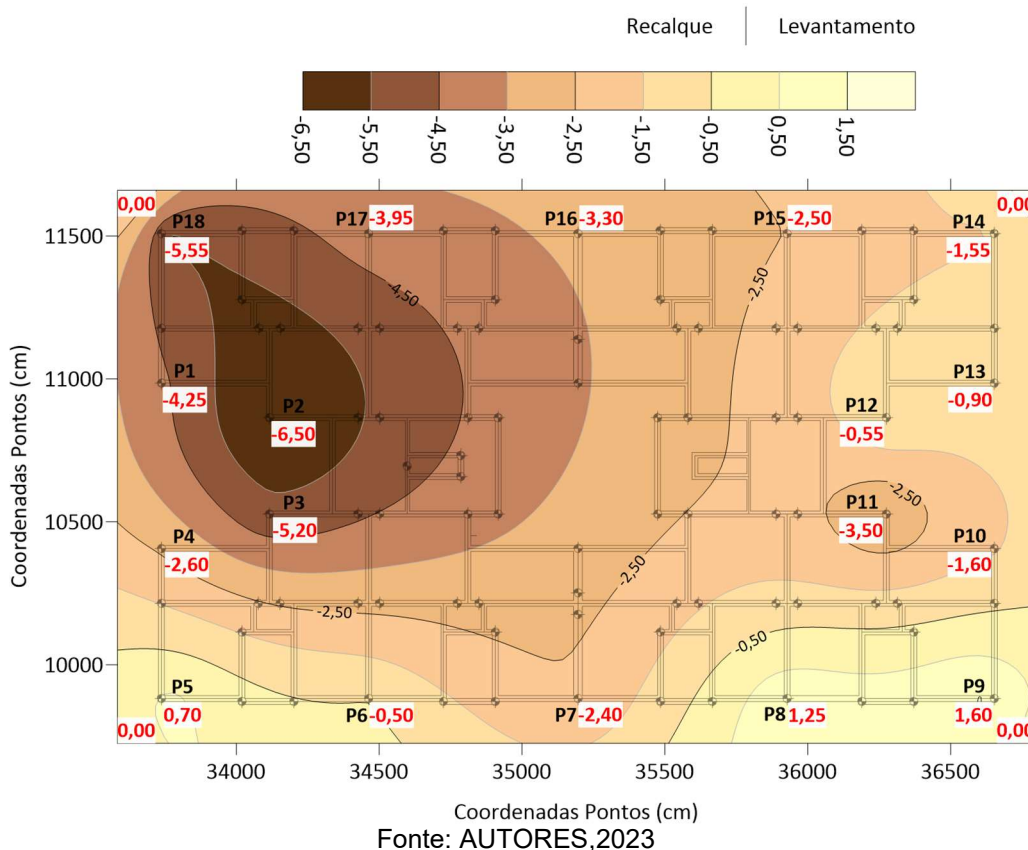
Figura 19 - Curvas de isorecalque totais (até 8ª leitura) - Bloco A
Recalque Acumulado (mm)



A figura 19 destaca as curvas de recalque, abrangendo uma variação de -6,50 a 0,50. É possível observar uma notável concentração de recalque na região do P25, onde a curva atinge a maior profundidade. Por outro lado, nas áreas próximas aos pinos P19, P21 e P35, que se encontram em regiões menos profundas, os deslocamentos são menos acentuados.

Vale ressaltar que a área de maior incidência de recalque está localizada na entrada do edifício, coincidindo com a posição onde se encontra a cozinha de um dos apartamentos.

Figura 20 - Curvas de isorecalque totais (até 8ª leitura) - Bloco B
Recalque Acumulado (mm)

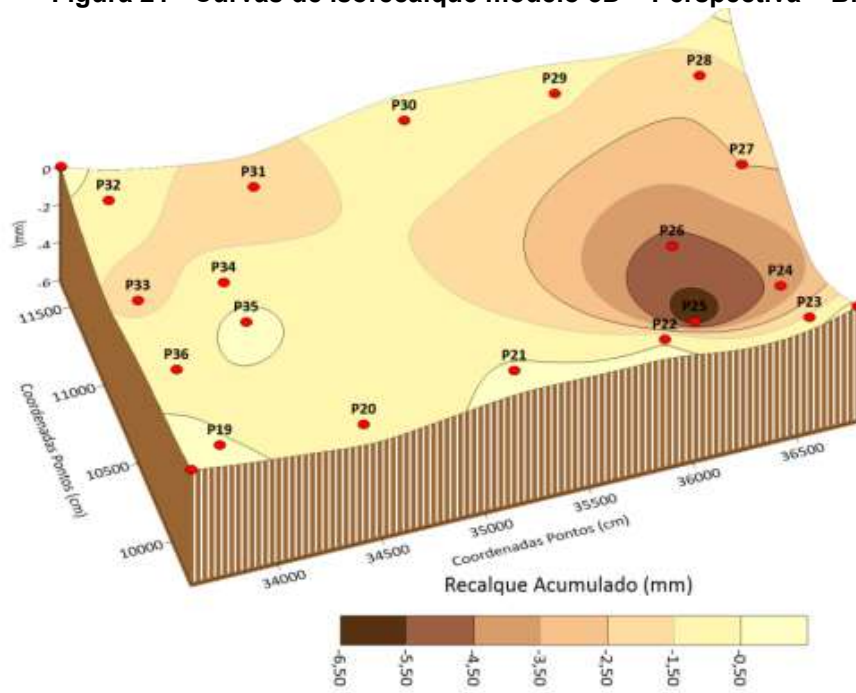


A figura 20 apresenta as curvas de recalque, variando entre -6,50 e 1,50. Destaca-se uma incidência maior de recalque na região do P2, onde a curva atinge sua maior profundidade. Por outro lado, os pinos P8 e P9, localizados em regiões menos profundas, exibem deslocamentos menores.

É destacável que a área com maior incidência de recalque está situada na entrada do edifício, coincidindo com a localização da cozinha, sala e um pouco do quarto de um dos apartamentos. Além disso, observa-se levantamento nos pontos P8, P9 e P5.

As Figuras 21 e 22 proporcionam uma representação visual tridimensional das curvas de isorecalque, oferecendo uma perspectiva mais abrangente e detalhada das variações de deslocamento ao longo da área estudada. Essa visualização em 3D é crucial para uma compreensão mais completa dos padrões de movimentação no edifício, possibilitando uma análise mais precisa e informada.

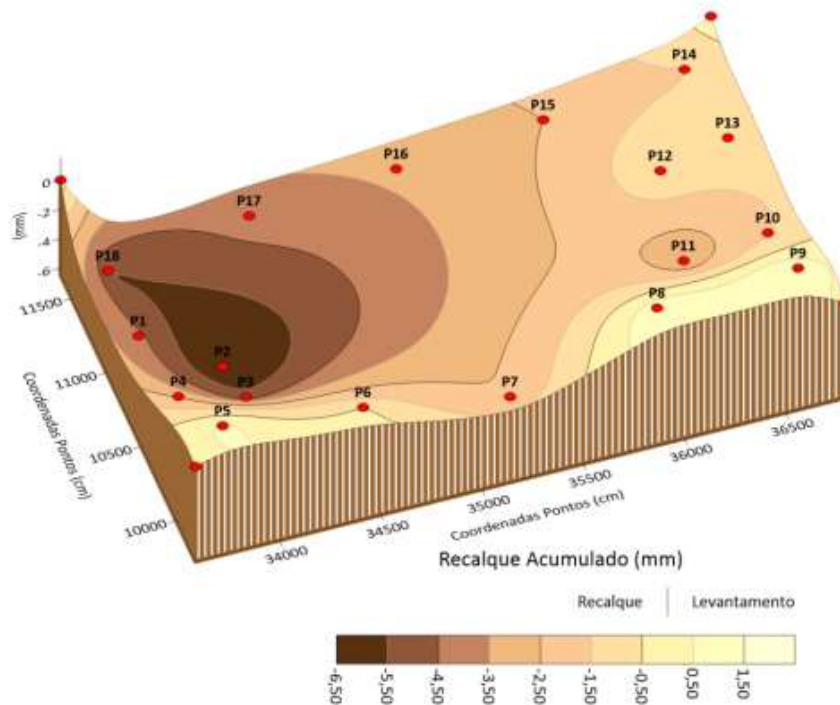
Figura 21 - Curvas de isorecalque modelo 3D – Perspectiva – Bloco A



Fonte: AUTORES,2023

Com a visualização 3D das curvas de isorecalque podemos entender de forma visual que todo o bloco tem pontos de recalque, porém na região dos pinos 24, 25 e 26 há um maior rebaixamento, onde o maior recalque descendente foi de -6,15mm.

Figura 22 - Curvas de isorecalque modelo 3D – Perspectiva – Bloco B



Fonte: AUTORES,2023

Com a visualização 3D das curvas de isorecalque pode-se entender de forma visual que o bloco tem pontos de recalque, como também pontos de levantamento, porém na região dos pinos 1, 2, 3 e 18 foi onde ocorreu a maior incidência de recalque, com o maior valor encontrado de -6,50mm.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 RECALQUE ABSOLUTO

Com a oitava leitura, foram registrados recalques absolutos variando de 0,20 mm a 6,15 mm, com uma média de 1,81 mm, abrangendo todos os pontos medidos no Bloco A. No caso do Bloco B, os recalques absolutos oscilaram entre -1,60 mm e 6,50 mm, com uma média de 2,29 mm para todos os pontos medidos.

Em relação aos valores considerados admissíveis, Alonso (2011) enfatiza que a definição dos mesmos é atribuída a especialistas envolvidos no projeto, execução e monitoramento do desempenho da obra. Esses valores são determinados com base na experiência local ao longo de períodos significativos, que permitem concluir que, para o tipo específico de estrutura, cargas aplicadas, tipos de solo e comunidades envolvidas, os recalques observados podem ser considerados aceitáveis e, portanto, admissíveis (ALONSO, 2011, p. 27).

4.2 CURVAS DE ISORECALQUE

As curvas de isorecalque, que esboçam as igualdades de recalque, foram meticulosamente elaboradas a partir dos valores cumulativos até a oitava leitura, conferindo uma panorâmica abrangente do comportamento da estrutura. Ao amalgamar essas curvas numa animação tridimensional, intensifica-se a compreensão dinâmica da trajetória dos recalques ao longo do tempo.

É pertinente salientar que a expansão da escala em Z foi implementada para viabilizar uma visualização mais precisa, permitindo uma análise mais detalhada das variações volumétricas. Este aprimoramento da representação gráfica oferece uma visão enriquecedora sobre a evolução dos deslocamentos estruturais, contribuindo significativamente para uma interpretação mais sofisticada dos fenômenos observados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste estudo, contou-se com o apoio da Sonaf – Empresa Nacional de Fundações Eireli, localizada em Goiânia, GO. Sua contribuição no suporte técnico e operacional das medições, leituras e interpretações de resultados contribuiu para o êxito desta pesquisa.

Observou-se ao longo do estudo que o ponto crítico foi o bloco B referente a 8ª leitura que acusou um recalque de 6,5mm. Em comparação com o limite aceito de 10 mm observou-se que a obra mesmo com os recalques apresentado está dentro dos limites. Os serviços de acabamento nas laterais dos Blocos B e A resultaram em danos nos pinos, influenciando ligeiramente os valores de recalque nas leituras 7 e 8. No entanto, a magnitude dessas variações foi considerada de pequena ordem.

No Bloco B, ao considerar o recalque acumulado, observou-se que o lado dos pinos P23 à P28 recalcou aproximadamente de 1 a 4 mm a mais que o outro lado (pinos P19 e P32 à P36), destacando-se o recalque nos pontos P25 e P26. Já no Bloco A,

observou-se que o lado do edifício que vai dos pontos P14 ao P18 (lado que possui aterro) recalçou mais que o outro lado (pontos P5 ao P9), que majoritariamente apresentou levantamento.

Um ponto de atenção no Bloco A foi o P16, que apresentou um dano observado na 6ª leitura após a colocação de uma fita de para-raios. Esse incidente alterou consideravelmente o valor de recalque parcial a partir daquela leitura, gerando questionamentos sobre a precisão do valor lido na 8ª leitura. Além disso, constatou-se que o lado que contém os pontos P18 e P1 ao P5 recalçou de 1 a 6 mm a mais que o outro lado (pinos P9 ao P14). Ao analisar o lado que o bloco ficou sobre o aterro (pinos P14 ao P18), os pontos recacaram de 3 a 5 mm a mais que o outro lado (pinos P5 ao P9).

Este estudo ofereceu uma visão abrangente do comportamento da estrutura, permitindo reflexões sobre a integridade e desempenho da edificação ao longo do tempo. Torna-se crucial para a conscientização dos engenheiros, possibilitando que estes acompanhem e analisem de forma técnica o comportamento de suas fundações, a fim de evitar futuros danos à estrutura e reduzir retrabalhos pós-obra. A compreensão detalhada dos recalques e variações nos diferentes pontos da construção é essencial para embasar decisões proativas visando a segurança e durabilidade da edificação, pode se agir moldando o futuro da engenharia ao capacitar profissionais a construir estruturas mais duradouras, seguras e eficientes. Ao oferecer uma compreensão abrangente do comportamento da edificação, este estudo se torna uma ferramenta valiosa para todos os envolvidos no ciclo de vida de uma construção, desde a concepção até a manutenção a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. Previsão e Controle das Fundações. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 208p.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações – Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. São Paulo: Ziguarte, 2008. 240p.

KOGA, Letícia Midori; MIRANDA, Maicon de Oliveira. **PATOLOGIAS DAS FUNDAÇÕES**. 2017. 16 f. Monografia (Engenharia Civil) - Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, 2017.

DE OLIVEIRA, Alexandre Magno. **FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS CAUSADAS POR RECALQUE DIFERENCIAL DE FUNDAÇÕES**. Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva. 2012. 96 f. Monografia (Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

SANTOS FERREIRA, Joaquim Sant'Ana. **PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES DEVIDO AO RECALQUE DIFERENCIAL EM FUNDAÇÕES**. 2016. 51 f. Monografia (Curso de

Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2019, 108 p.

ABNT_____. **NBR 13.133**: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994, 35 p.

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 2011. 146 p.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p. 207.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. **Fundações**. 2 ed. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 1997. v 1. 290 p.