



**UFPB**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MATHEUS OLIVEIRA SIMAS**

**MONITORAMENTO DE RECALQUE EM OBRAS DE EDIFICAÇÃO**

**JOÃO PESSOA - PB  
2023**

MATHEUS OLIVEIRA SIMAS

**MONITORAMENTO DE RECALQUE EM OBRAS DE EDIFICAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção de bacharel em Engenharia Civil, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

**JOÃO PESSOA - PB  
2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S588m Simas, Matheus Oliveira.

Monitoramento de recalque em obras de edificação /  
Matheus Oliveira Simas. - João Pessoa, 2023.

55 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Monitoramento de recalque. 2. Recalques de  
fundação. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**MATHEUS OLIVEIRA SIMAS**

### **MONITORAMENTO DE RECALQUE EM OBRAS DE EDIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/06/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares APROVADO  
Fábio Lopes Soares  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Claudino Lins Nobrega Junior APROVADO  
Claudino Lins Nobrega Junior  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Andrea Brasiliano Silva Aprovado  
Andrea Brasiliano Silva  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Pablo Brillhante de Souza  
Pablo Brillhante de Souza  
Matrícula Siape: 1483214  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil

*Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Betania, e às minhas avós, Maria Socorro e Vicentina, exemplos de caráter, amor e dedicação.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida me dotando de orientação, sensatez e discernimento, para que eu pudesse tomar as melhores decisões que me fizeram chegar até aqui. Tenho plena consciência de que devo a Deus todas as minhas conquistas e tudo que ainda Ele me permitir conquistar no futuro.

A toda minha família, em especial às minhas avós, Socorro e Vicentina, por todo amor e carinho. Nos dias mais difíceis, penso nelas e sinto que sou muito amado.

À minhas tias, Leu e Nane (*in memoriam*), por todo apoio e por acreditarem no meu potencial quando muitos desacreditavam.

À minha tia Julia, por todos os conselhos dentro e fora da graduação. Minha confidente, me sinto honrado de ter sido sua primeira experiência como tia/mãe.

À minha tia Gerlania, pelo apoio. Sua história de vida é inspiradora.

Aos meus sobrinhos, Levi, Louis, Liam e Luma. Nos dias mais conturbados, estar com eles era a escapatória perfeita.

Aos amigos da vida Emily, Isabela, Isabelly, Laryssa, Maria Rita, Renata, Caio, Milena, Nathália, Thalita, Vanessa, Michelly e Eduarda. Obrigado por estarem comigo em todas as fases da minha vida. Crescer com vocês é um privilégio.

Aos meus irmãos em Cristo Bruna, Fernanda, Guilherme, Heitor, Hionara, Leila, Nicolly, Pâmela e Thamiris.

À minha dupla da graduação, Yane, por todo companheirismo e amizade. A graduação foi mais leve ao seu lado.

Aos amigos da Planej, Mariana e Alysson, por todo apoio durante a elaboração deste trabalho.

A todos os meus amigos da graduação: Camila, Joana, Ísis, Lucélia, Kaliel, Isaías, Renan, Helisson, Moab, Diego, Ricardo, Yusef, Caio, Lucas, José Matheus, José Júlio. Sou profundamente grato de ter trilhado esse caminho ao lado de vocês.

Ao meu orientador Fábio Lopes pela disponibilidade e paciência.

Aos professores da banca, Andrea Brasiliano e Claudino Lins, por toda contribuição.

Por último, mas não menos importante, à minha mãe, a quem devo tudo o que sou. Agradeço pelos valores. Agradeço por acreditar que a educação é o melhor caminho a ser seguido e não ter poupado esforços para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos. Agradeço por suas orações. Sou resultado das orações da minha mãe.

## RESUMO

A existência de diversos tipos de manifestações visíveis na edificação indica problemas os quais podem ser decorrentes de um projeto deficitário e/ou má execução e utilização do edifício. Com vistas à obtenção da melhor solução, essas ocorrências devem ser analisadas de modo a identificar suas origens e causas. Este trabalho apresenta algumas considerações teóricas sobre a interação do solo com a edificação, a qual influencia os recalques de fundação, causadores de danos notáveis às obras de construção civil, bem como métodos de monitoramento desses movimentos. Uma vez entendidas essas considerações, é possível ter uma maior segurança, trabalhabilidade de uma edificação e maior economia de execução. Ao analisar o funcionamento, destacar as vantagens e desvantagens dos métodos de monitoramento de recalque, por meio de uma revisão da bibliografia, objetiva-se, viabilizar diretrizes à escolha da metodologia mais adequada para o monitoramento desses movimentos de acordo com as especificações e condições da edificação. Um monitoramento adequado possibilita a detecção antecipada dessas deformações, permitindo a adoção de medidas corretivas e preventivas para evitar danos significativos, promover a estabilização dos recalques e assegurar o bom desempenho das edificações. Vale ressaltar que é recomendada a realização do monitoramento de recalque desde a fase construtiva, permitindo identificar eventuais problemas e realizar ajustes necessários. Ademais, é importante que seja realizado de forma contínua ao longo do tempo, possibilitando acompanhar a evolução dos recalques e detectar quaisquer alterações indesejadas. Com isso, a análise da interação solo-estrutura, uma execução do projeto de acordo com todas as normas necessárias e a adoção da metodologia de monitoramento mais adequada, configuram práticas fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade das estruturas.

**Palavras-chave:** Recalques de fundação; monitoramento de recalque; interação solo-estrutura.

## **ABSTRACT**

The existence of various types of visible manifestations in a building indicates problems that may result from deficient project, poor execution, and improper use of the structure. In order to achieve the best solution, these occurrences need to be analyzed to identify their origins and causes. This work presents some theoretical considerations on the interaction between the soil and the building, which influences foundation settlements that can cause significant damage to civil construction projects, as well as methods for monitoring these movements. By understanding these considerations, it is possible to enhance the safety, workability, and cost-effectiveness of a building. Through a literature review, this paper analyzes the functioning, advantages and disadvantages of settlement monitoring methods, aiming to provide guidelines for choosing the most appropriate methodology according to the specifications and conditions of the structure. Adequate monitoring enables early detection of these deformations, allowing for corrective and preventive measures to prevent significant damage, promote settlement stabilization, and ensure the proper performance of the building. It is recommended to conduct settlement monitoring from the construction phase onwards to identify potential issues and make necessary adjustments. Furthermore, continuous monitoring over time is important to track settlement progression and detect any undesired changes. Therefore, the analysis of soil-structure interaction, proper project execution in compliance with relevant standards, and the adoption of the most suitable monitoring methodology are essential practices to ensure the safety and stability of structures.

**Keywords:** Foundation settlements; settlement monitoring; soil-structure interaction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Distorções angulares e danos associados .....	18
Figura 2 - Nível Ótico Automático Nikon AZ 2F .....	21
Figura 3 - Detalhe do pino de leitura de recalque.....	21
Figura 4 - Medida de recalques com nivelamento ótico.....	21
Figura 5 - Miras graduadas de traço analógico e traço de código .....	24
Figura 6 - Estrutura e esquema de um teodolito .....	25
Figura 7 - Nível a Laser PLS5 2009 ponto a ponto, Pacific LASER Systems.....	26
Figura 8 - Foto de Nível a Laser rotativo .....	27
Figura 9 - Nivelamento Trigonométrico.....	28
Figura 10 - Efeito da curvatura e da refração no nivelamento trigonométrico.....	30
Figura 11 – Arranjo fotogramétrico utilizando pares estereoscópicos .....	31
Figura 12 - Esquema do indicador de nível líquido por transbordamento, com ambas as extremidades na mesma elevação.....	33
Figura 13 - Esquema da utilização de um sistema de vasos comunicantes para medição de recalques .....	33
Figura 14 - Danos associados ao recalque .....	37
Figura 15 - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Águas Claras .....	39
Figura 16 - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Gama.....	39
Figura 17 - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Guará, excluindo três obras reforçadas.....	40
Figura 18 - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Brasília .....	40
Figura 19 - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Taguatinga .....	40
Figura 20 - Reservatório de concreto armado em Santa Cruz do Sul - RS .....	42
Figura 21 - Referência Fixa de Nível (RN) .....	43
Figura 22 - Ponto de Nível com régua de aço milimetrada .....	44
Figura 23 - Disposição dos RN e PN.....	44
Figura 24 - Croquis esquemático do monitoramento .....	45
Figura 25 - Evolução dos recalques observados no pilar P1 .....	46
Figura 26 - Evolução dos recalques observados no pilar P2 .....	46
Figura 27 - Evolução dos recalques observados no pilar P3 .....	47
Figura 28 - Evolução dos recalques observados no pilar P4 .....	47
Figura 29 - Evolução dos recalques observados no pilar P5 .....	48
Figura 30 - Evolução dos recalques observados no pilar P6 .....	48
Figura 31 - Evolução dos recalques observados no pilar P7 .....	49
Figura 32 - Evolução dos recalques observados no pilar P8 .....	49
Figura 33 - Recalques totais .....	50
Figura 34 - Velocidade de Recalque.....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Correção da curvatura terrestre de 100m - 10.000m .....	29
Tabela 2 - Avaliação comparativa dos Métodos de Monitoramento .....	34

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. METODOLOGIA.....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA.....	15
4.2 RECALQUES DE FUNDAÇÃO.....	15
4.2.1 Tipos de recalques.....	15
4.2.2 Causas de recalques.....	16
4.2.3 Recalques diferenciais admissíveis.....	17
4.3 MONITORAMENTO DE RECALQUES.....	18
4.3.1 Medições por Nível Ótico Automático e Digital.....	20
4.3.2 Medições com teodolito e escalas.....	24
4.3.3 Nível laser.....	26
4.3.4 Nivelção Trigonométrica.....	27
4.3.5 Métodos fotogramétricos.....	30
4.3.6 Nivelamento hidrostático.....	32
4.4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MONITORAMENTO: VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	34
4.5 ESTABILIZAÇÃO DE RECALQUES.....	35
4.6 DANOS ASSOCIADOS AO RECALQUE.....	36
4.6.1 Fissuração.....	37
4.6.2 Desaprumos.....	37
5. ESTUDO DE CASOS.....	38
5.1 MONITORAMENTO DE RECALQUES DURANTE A EXECUÇÃO DE EDIFÍCIOS NO DISTRITO FEDERAL.....	38

5.2 MONITORAMENTO DE RECALQUES DE UM RESERVATÓRIO EM SANTA CRUZ DO SUL – RS .....	42
6. CONCLUSÃO .....	52
REFERÊNCIAS .....	53

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas advindos do projeto, da execução ou da utilização de uma estrutura, assim como a falta de estudos detalhados do solo local são determinantes ao surgimento de patologias. Problemas estes muitas vezes identificados de forma equivocada, ou mesmo atribuídas outras causas que deram origem às patologias apresentadas que não os provenientes de movimentos de recalque. O monitoramento de recalque em obras de edificações é uma prática essencial para garantir a integridade estrutural e a segurança das construções.

Recalque refere-se à movimentação vertical ou assentamento do solo, que pode resultar em deformações indesejáveis nas estruturas. Essas deformações podem comprometer a estabilidade, a segurança e a funcionalidade das edificações. Os recalques podem ser causados por uma série de fatores, tais como a heterogeneidade do solo, as variações de umidade, a presença de lençóis freáticos, a carga aplicada sobre a estrutura, entre outros. É fundamental considerar esses aspectos durante o planejamento e a execução de uma obra, a fim de adotar medidas preventivas e corretivas para controlar os recalques.

O monitoramento adequado permite a identificação precoce dessas deformações, possibilitando a tomada de ações corretivas e preventivas para evitar danos significativos e garantir o desempenho adequado das edificações. Esse é realizado por meio da instalação de instrumentos e dispositivos que permitem a medição precisa das deformações do solo e da estrutura ao longo do tempo. Esses métodos de monitoramento são fundamentais para a obtenção de dados confiáveis e representativos do comportamento do solo, possibilitando uma avaliação mais precisa dos recalques e a adoção de medidas adequadas para controlá-los.

Com o avanço da tecnologia, têm surgido diversas técnicas de instrumentação e sensoriamento que permitem o acompanhamento em tempo real dos recalques e outras deformações. Essas informações permitem a adoção de ações corretivas mais eficazes e a tomada de decisões embasadas para garantir a estabilidade da edificação. Ademais, existem diversos métodos e técnicas disponíveis para o monitoramento de recalque em obras de edificações. Entre eles, destacam-se medições por nível ótico; nível digital; medições com teodolitos; nível laser; nivelção trigonométrica; nivelamento hidrostático e até mesmo métodos fotogramétricos. Cada método possui suas características específicas e é selecionado de acordo com as necessidades do projeto e as características do solo e da estrutura a ser monitorada.

Além de medir as deformações, o monitoramento de recalque também permite avaliar a eficácia das medidas de controle adotadas, fornecendo dados para a verificação e ajustes necessários.

A avaliação de recalques normalmente é realizada em circunstâncias em que já são identificados problemas na edificação, como fissuras ou rachaduras, ou seja, quando são percebidos pelos observadores comuns alguma inconformidade. Nessas situações, o monitoramento fornece informações relevantes para possíveis intervenções, como reforço na estrutura ou medidas de emergência, como a evacuação do edifício. Contudo, de acordo com Danziger *et al.* (2000), nessas circunstâncias, não se possui nenhuma informação sobre os recalques anteriores à instalação de pinos e início do monitoramento, isto é, sobre o desempenho das fundações até aquele momento. Com isso, ressalta-se a importância da adoção de metodologias para o monitoramento dos recalques desde o início da construção, com vistas ao controle da qualidade das fundações.

Neste contexto, compreender os métodos de monitoramento de recalque e sua aplicação adequada torna-se crucial para garantir a integridade das estruturas e o sucesso das obras. Com isso, o referente trabalho vem ratificar a relevância do monitoramento dos movimentos de recalque, no que diz respeito à prevenção de manifestações patológicas e, por conseguinte, estabilização e estabelecimento da segurança estrutural da edificação, por meio da análise e comparação dos métodos de monitoramento mais utilizados na prática da engenharia civil. A partir dessa análise, busca-se fornecer subsídios para profissionais da área e pesquisadores, a fim de promover o uso adequado desses métodos, a segurança das edificações e a redução dos riscos associados aos recalques.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar e comparar métodos de monitoramento de recalque em obras de edificações.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O referente estudo teve como objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura, buscando identificar os métodos de monitoramento de recalque;
- Avaliar as vantagens e limitações de cada método de monitoramento em termos de precisão, facilidade de implementação, custos e confiabilidade dos resultados;
- Analisar e comparar métodos de monitoramento de recalque;
- Compreender a importância do monitoramento dos recalques de fundações;
- Abordar os tipos de patologias que indicam recalque.
- Contribuir para o conhecimento científico e prático na área de engenharia civil, fornecendo subsídios para aprimorar os processos de monitoramento de recalque em obras de edificações, visando a redução de riscos, otimização de recursos e garantia de maior segurança nas construções.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho constituiu em uma abordagem baseada em revisão de literatura com vistas a investigar e sintetizar os conhecimentos existentes sobre os métodos de monitoramento de recalque. Por meio de uma análise sistemática e crítica das publicações científicas, livros, artigos, teses e outros materiais relevantes que abordam o assunto em questão, buscou-se obter uma visão abrangente e aprofundada sobre o estado atual do conhecimento, identificar as lacunas existentes e propor novas perspectivas de estudo. A partir dessa análise, serão elaboradas as discussões e conclusões do trabalho, embasadas nas evidências e conhecimentos obtidos por meio da revisão da literatura.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA**

A interação solo-estrutura é um aspecto fundamental a ser considerado no projeto e na análise de estruturas de engenharia. Ela diz respeito à influência mútua entre o solo de fundação e a estrutura, levando em conta as propriedades geotécnicas do solo, a geometria e a rigidez da estrutura. Essa interação ocorre devido às transferências de carga entre a estrutura e o solo, afetando o comportamento e o desempenho do sistema como um todo. Segundo Chamecki (1958 apud GONÇALVES, 2004), argumenta-se que levar em conta o impacto da uniformização dos recalques diferenciais resulta em projetos melhores e mais rentáveis. Durante a vida útil da estrutura, as deformações do solo podem afetar diretamente a resposta estrutural, enquanto as deformações da estrutura podem alterar as tensões e os deslocamentos do solo adjacente. Ademais, de acordo com Iwamoto (2000), é afirmado em seu estudo que mesmo quando duas estruturas idênticas são construídas em locais diferentes, suas reações de apoio podem variar devido ao fenômeno do recalque. Desse modo, compreender e modelar adequadamente a interação solo-estrutura é essencial para garantir a estabilidade, a segurança e o desempenho das construções, além de evitar danos estruturais e colapsos catastróficos.

### **4.2 RECALQUES DE FUNDAÇÃO**

Conforme mencionado por Rebello (2008), o recalque se refere à deformação do solo sob cargas, resultando em deslocamento na fundação, o qual, dependendo de sua magnitude, pode causar danos significativos à estrutura.

Neste capítulo, serão abordados alguns dos principais tipos de recalque de fundação, suas características, possíveis origens, além das estratégias de controle do recalque e os limites considerados aceitáveis.

#### **4.2.1 Tipos de recalques**

Há alguns tipos de recalques que são de extrema relevância ao avaliar o desempenho das fundações. Entre eles, merecem destaque o recalque absoluto, o recalque diferencial e o recalque diferencial específico, também conhecido como distorção angular. O recalque absoluto é o deslocamento vertical total experimentado por uma fundação devido a cargas aplicadas. Ele representa a magnitude geral do afundamento ou elevação da estrutura como

um todo em relação ao nível original do solo. O recalque absoluto pode ser influenciado por vários fatores, como a natureza do solo, a carga aplicada, a rigidez da fundação e a distribuição das cargas.

Por outro lado, o recalque diferencial ocorre quando diferentes partes de uma fundação experimentam deslocamentos verticais diferentes. Isso pode ser causado por variações nas características do solo, cargas desiguais, distribuição irregular de cargas ou diferenças na rigidez da fundação. O recalque diferencial pode levar a deformações indesejadas, como inclinação, fissuras ou desalinhamento de estruturas, comprometendo sua estabilidade e integridade.

No que diz respeito ao recalque diferencial específico, também conhecido como distorção angular, tem-se como uma medida que avalia a variação angular entre diferentes pontos da fundação. Isto é, segundo Alonso (1991), o recalque diferencial específico é obtido pela divisão do recalque diferencial pela distância entre os dois pontos de fundação selecionados. A distorção angular pode ser crítica em estruturas sensíveis à deformação, como estruturas de concreto armado ou estruturas pré-moldadas. Sendo assim, é fundamental monitorar e controlar o recalque diferencial específico para garantir a estabilidade e a funcionalidade da estrutura, de modo a respeitar os limites pré-estabelecidos pela literatura.

#### **4.2.2 Causas de recalques**

Existem diversas causas que podem levar ao surgimento de recalques em edificações, resultando em movimentações indesejadas na estrutura. Uma das causas mais comuns está relacionada à qualidade do solo sobre o qual a construção é realizada. Solos de baixa capacidade de suporte, como argilas moles ou solos compressíveis, podem provocar assentamentos diferenciais, onde algumas partes da edificação afundam mais do que outras. Essa diferença de assentamento ocorre devido à distribuição desigual da carga exercida pelo peso da construção sobre o solo instável.

Outra causa frequente de recalques é o excesso de água no solo. Quando há uma quantidade elevada de água, ocorre o amolecimento do solo e a redução da sua capacidade de suporte, o que resulta em assentamentos não uniformes. Essa situação pode ser causada por vazamentos, infiltrações ou pela presença de lençóis freáticos elevados.

Além disso, intervenções humanas, como escavações próximas à edificação, obras subterrâneas ou alterações no sistema de drenagem do solo, podem desestabilizar o terreno e causar recalques. Essas intervenções podem modificar as características naturais do solo,

comprometendo sua resistência e estabilidade, o que leva a movimentações indesejadas na estrutura da edificação. Portanto, é essencial realizar estudos geotécnicos adequados e adotar medidas preventivas durante o projeto e a construção, a fim de evitar ou minimizar os recalques.

Em suma, os recalques em edificações podem ser ocasionados por diversas razões, destacando-se: deficiências na investigação geotécnica; erros durante o projeto e/ou na execução; sobrecargas não previstas durante a elaboração do projeto; compactação excessiva do solo; ruptura do solo; problemas relacionados à concretagem ou deformação do concreto ao longo do tempo; problemas nas fundações; alterações no uso da edificação (não previstas); variações de temperatura; influências de construções vizinhas; alterações no entorno da edificação; rebaixamento do lençol freático e; erros na locação das fundações ou pilares.

Por essa razão, é de extrema importância realizar estudos geotécnicos adequados e adotar medidas preventivas durante as etapas de projeto e construção, a fim de evitar ou minimizar os recalques.

#### **4.2.3 Recalques diferenciais admissíveis**

De acordo com Berberian (2011), é comum ocorrer recalque em todas as fundações. Além disso, as fundações são capazes de suportar certos níveis de recalque sem sofrer danos significativos. No entanto, a maioria desses recalques é absorvida sem que haja qualquer percepção visual, desde que pilares e vigas sejam construídos no prumo e nivelados corretamente.

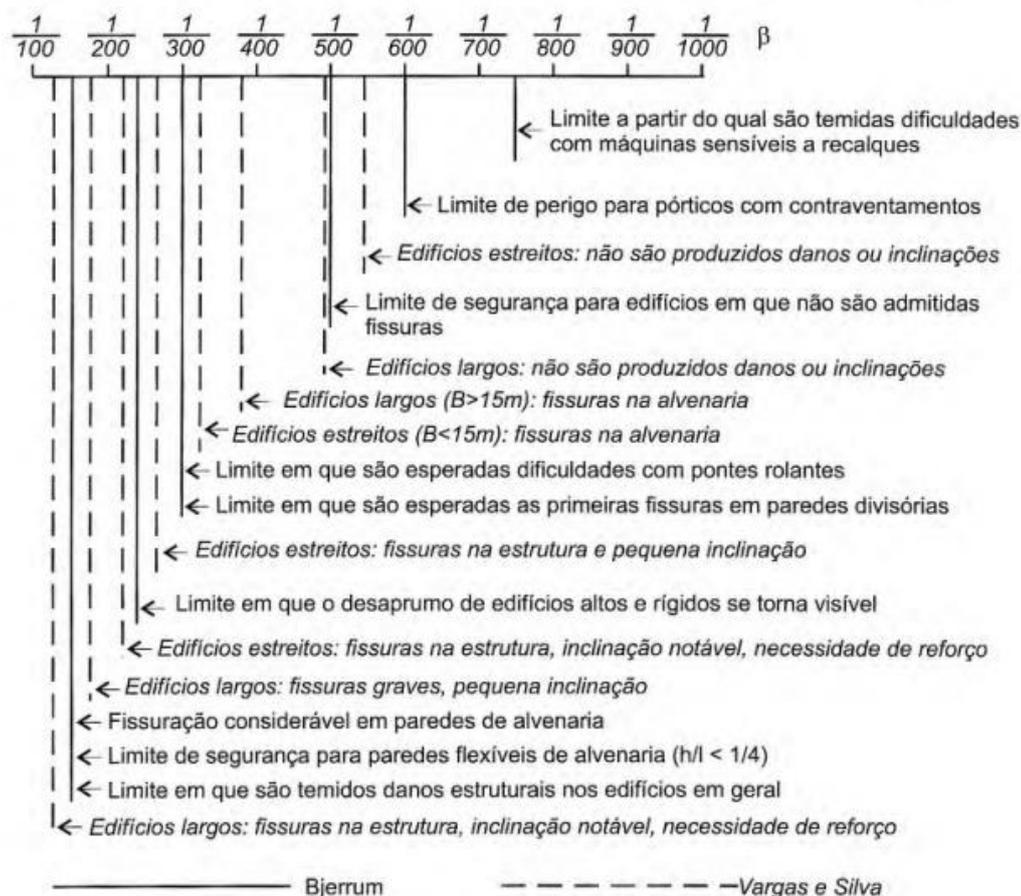
O recalque admissível se refere ao valor máximo de afundamento ou deslocamento vertical permitido para uma fundação sem comprometer sua estabilidade, segurança e desempenho estrutural. Os limites são determinados com base em critérios técnicos e normas de projeto, levando em consideração diversos fatores, como as características do solo, a carga aplicada, a rigidez da fundação e as exigências do projeto. Dessa forma, tem-se que o recalque admissível deve ser estabelecido com base nas demandas específicas de uso de uma edificação. O estabelecimento de um recalque admissível adequado é essencial para garantir que a estrutura permaneça funcional e segura ao longo do tempo, evitando danos estruturais, problemas de operação ou impactos negativos na vida útil da edificação. No entanto, vale ressaltar que, mesmo quando os valores não afetem negativamente o desempenho estrutural de uma edificação, é crucial respeitar os limites de resistência do solo estabelecidos.

Em consonância, Milititsky *et al* (2008) ressalta:

O estabelecimento de recalques admissíveis tem valor para indicar, aos envolvidos com o problema, níveis adequados ou ordens de grandeza de valores nos quais os problemas usualmente ocorrem. Tais valores não devem ser utilizados de forma rigorosa ou adotados como limites únicos, até porque a previsão de recalques de uma estrutura apoiada no solo não é um exercício com resultados precisos [...].

A fim de obter uma compreensão da magnitude dos valores permitidos para recalques, conforme o proposto por Bjerrum (1963) em conjunto com Vargas e Silva (1973) *apud* Velloso e Lopes (2010), a Figura 1 ilustra alguns danos relacionados às distorções angulares.

**Figura 1**– Distorções angulares e danos associados



Fonte: VELLOSO & LOPES (2010).

#### 4.3 MONITORAMENTO DE RECALQUES

De maneira geral, o monitoramento de recalques pode ser realizado durante a construção ou pós-construção, no que concerne à análise do comportamento de uma obra que apresenta e/ou pode apresentar recalques tidos como nocivos à estrutura. No que diz respeito ao

acompanhamento feito durante a construção, tem-se como o propósito de investigar o desempenho da estrutura à medida que a obra avança, permitindo verificar sua eficiência e os parâmetros de projeto. Esse tipo de monitoramento pode ser realizado tanto na própria estrutura em construção quanto em edificações vizinhas, possibilitando avaliar as interferências que a nova obra pode ter sobre as construções existentes no local. Por outro lado, o monitoramento pós-construção consiste em acompanhar e avaliar o comportamento estrutural após a ocorrência de problemas existentes em uma estrutura já construída. Esse monitoramento tem como finalidade a coleta de dados que permitam a análise do comportamento da estrutura e desenvolvimento de ações efetivas de recuperação de sua estabilidade, segurança e funcionalidade.

Ademais, a norma NBR 6122/2019 estabelece a necessidade de monitorar os recalques para avaliar o desempenho das fundações, exigindo-o obrigatoriamente nos seguintes cenários:

- Estruturas em que a carga variável é significativa em relação à carga total, como silos e reservatórios;
- Estruturas com altura superior a 55 metros em relação ao nível térreo;
- Estruturas com uma relação altura-largura (menor dimensão) superior a 4;
- Fundações ou estruturas não convencionais.

Segundo Prellwitz (2015), a observação e instrumentação das fundações têm os seguintes objetivos:

- Monitorar o desempenho das fundações durante e após a construção, a fim de tomar medidas necessárias em tempo hábil para garantir a segurança e utilização adequada da estrutura;
- Identificar anormalidades em obras já concluídas, incluindo construções próximas, para solucionar eventuais problemas;
- Ampliar o conhecimento local sobre o comportamento do solo sob diferentes tipos de fundações e carregamentos e;
- Comparar valores medidos com valores calculados para aprimorar os métodos de previsão de recalques e determinação das cargas admissíveis, incluindo empuxo e outros fatores.

Segundo Reginato *et al.* (2020), existem duas abordagens para monitorar deformações em estruturas: os métodos geodésicos e os métodos geotécnicos. Os métodos geotécnicos são empregados para detectar movimentos relativos e incluem técnicas geotécnicas e de

engenharia estrutural. Além disso, também são utilizados projetos especializados de monitoramento, como interferometria a laser, nivelamento hidrostático, alinhamento vertical ou a laser, e métodos holográficos.

Já no que diz respeito aos métodos de monitoramento geodésico, têm-se como objetivo identificar mudanças nas coordenadas (planimétricas e/ou altimétricas) de um ponto ou conjunto de pontos ao longo do tempo. Isso é feito por meio de leituras periódicas, que permitem detectar se houve variações nas coordenadas (X, Y, Z). Caso sejam identificadas variações, isso indica que houve deslocamento no ponto monitorado (REGINATO *et al.*, 2020).

Conforme USACE (1995), antes da adoção de sistema de instrumentação, é essencial estabelecer procedimentos para coletar, processar, apresentar, interpretar e relatar os dados. É importante reconhecer que o esforço envolvido nessas tarefas não deve ser subestimado.

Atualmente, ainda é frequente o uso de abordagens tradicionais, no que diz respeito a levantamentos para o monitoramento de edifícios prediais, exemplo onde esses métodos clássicos continuam sendo amplamente empregados. No entanto, nos últimos anos, os métodos modernos têm recebido considerável atenção devido à sua capacidade de fornecer informações em tempo real com níveis de precisão cada vez mais compatíveis aos obtidos por meio de abordagens mais tradicionais (SANTOS & SEIXAS, 2021).

Com o uso de ferramentas computacionais cada vez mais sofisticadas, é possível facilitar a análise dos recalques levando em conta a rigidez e as características específicas de cada tipo de estrutura.

No entanto, esse procedimento ainda não está amplamente integrado às práticas da engenharia civil, principalmente devido à complexidade envolvida na inserção dos dados necessários. Ademais, as tarefas de interpretação, julgamento e implementação devem ser realizadas por profissionais capacitados e não por meio exclusivo de computadores (USACE, 1995).

#### **4.3.1 Medições por Nível Ótico Automático e Digital**

O nível ótico (Figura 2) é um instrumento utilizado para obter leituras com precisão de décimos de milímetros, sendo composto por um tripé e uma luneta.

**Figura 2** - Nível Ótico Automático Nikon AZ 2F

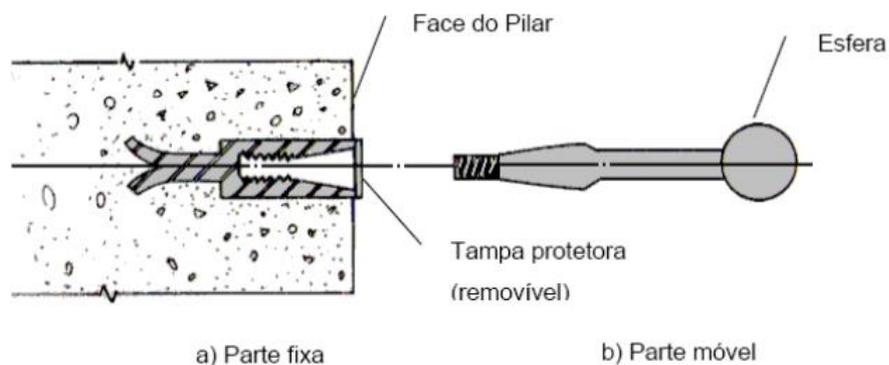


Fonte: CORRÊA (2012).

Um sistema que utiliza o nível ótico envolve o nivelamento ótico preciso de pontos de medição, geralmente em pilares, em relação a um *benchmark*, isto é, um marco de referência.

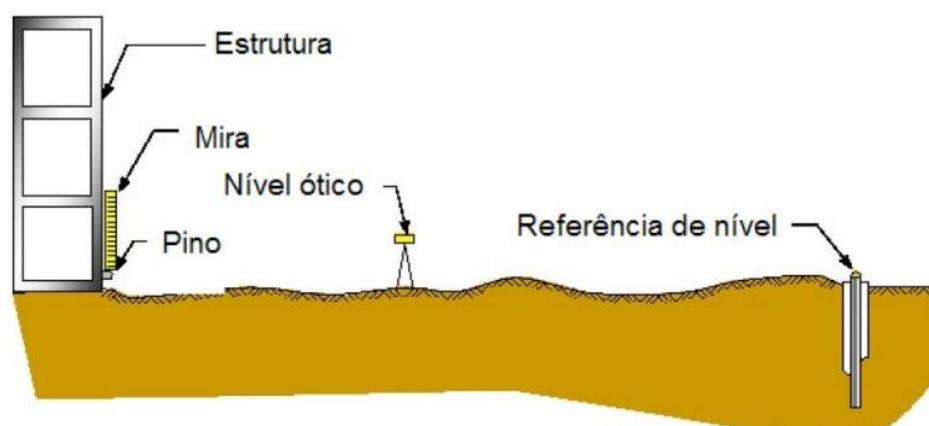
Sendo assim, é comum que esses pontos fixos sejam estabelecidos através de pinos metálicos fixados nos pilares, compostos por uma porção fixa anexada à estrutura e uma porção móvel que pode ser enroscada ou encaixada durante a medição (Figura 3). Ademais, esses pinos atuam como suporte para a mira (Figura 4).

**Figura 3** - Detalhe do pino de leitura de recalque



Fonte: ALONSO (2011).

**Figura 4** - Medida de recalques com nivelamento ótico



Fonte: NETO (2005, *apud* BORGES, 2011).

Em muitas obras, o contratante geralmente opta por instalar uma quantidade reduzida de pinos apenas nos pilares que levantam maiores preocupações em relação ao seu desempenho sob carga, buscando, a priori, uma economia. No entanto, para obter uma compreensão precisa do comportamento da estrutura, é necessário instrumentar uma quantidade adequada de pilares que seja representativa do tamanho e complexidade da obra em estudo.

É importante ressaltar que a norma NBR 6122/19 (ABNT) não estabelece uma quantidade específica de pilares a serem instrumentados, o que pode resultar em uma coleta inadequada de dados, tanto em relação à representação do comportamento real da estrutura, quanto para uma análise abrangente. Alonso (1991, apud CUNHA, 2014) sugere a instalação de um pilar instrumentado para cada 30m<sup>2</sup> como uma referência.

Conforme Cunha (2014), uma alternativa para o controle de recalques é o princípio do rodízio. Nesse método, a empresa responsável pelo monitoramento de recalques pode realizar medições alternadas em um conjunto de quarenta pilares, fazendo medições ímpares em um grupo de quarenta e medições pares em outro grupo de quarenta pilares, por exemplo. Isso implica em um acréscimo de custo para o proprietário apenas em relação aos quarenta pinos de recalque adicionais utilizados. Essa abordagem proporciona uma gama mais abrangente de informações. No entanto, vale ressaltar, que cada pilar instrumentado terá menos medições do que seria feito de maneira tradicional. Assim, a opção pelo rodízio oferece vários benefícios, incluindo um monitoramento mais abrangente da obra.

Uma vantagem do monitoramento por nível ótico ressaltada por Barros (2005) é que a medição é efetuada de forma rápida, nos casos onde são utilizados instrumentos autonivelantes, e utilização de alta tecnologia.

Prellwitz (2015), no entanto, destaca a necessidade de uma manutenção frequente deste equipamento, o que é crucial para garantir resultados precisos, especialmente ao medir valores significativamente pequenos, como no caso de recalques. Portanto, é importante que as leituras sejam realizadas por profissionais capacitados, o pino de referência deve estar firmemente fixado na estrutura e deve-se atentar à verticalidade da mira, entre outros aspectos. Esse método de coleta de dados requer, portanto, a presença de um profissional especializado, com competência e experiência no local, para realizar as leituras de forma adequada.

De acordo com Corrêa (2012), além das potenciais imprecisões provenientes dos equipamentos topográficos, também existem erros associados aos métodos operacionais devido a condições atmosféricas e de trabalho (como inexperiência, distração, fadiga, entre

outros). Esses erros podem ser classificados como grosseiros, sistemáticos ou acidentais, também conhecidos como aleatórios.

Os erros grosseiros, os mais comuns e de fácil identificação, configuram descuidos por parte do operador e/ou auxiliar. Os erros sistemáticos são aqueles que ocorrem de maneira consistente sempre que uma ação específica é repetida nas mesmas circunstâncias. Segundo Moura (2008 *apud* Corrêa, 2012), esses erros podem ser evitados por meio da aplicação de técnicas especiais de observação ou, quando conhecidos, podem ser expressos por modelagens matemáticas ou de retificações e calibrações que permitam a sua posterior correção. Os erros acidentais são as imprecisões imprevisíveis que afetam cada medição. Esses erros são causados por imperfeições nas habilidades do operador, variações atmosféricas e pequenos desvios intrínsecos na construção dos instrumentos. Apenas essas imprecisões irregulares e imprevisíveis são levadas em conta durante o processo de compensação e ajuste utilizando técnicas estatísticas (CORRÊA, 2012).

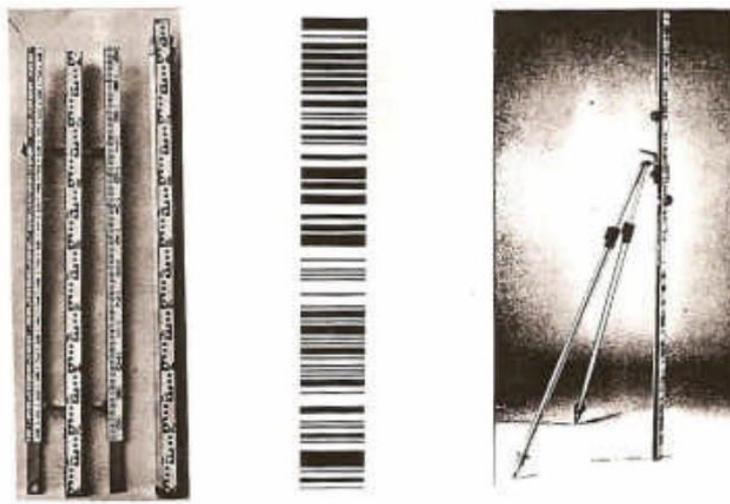
Moura (2008, citado por Corrêa, 2012) afirma que, no caso dos níveis óticos, o erro instrumental mais relevante é o erro de colimação vertical, causado pela falta de horizontalidade do eixo de colimação da luneta. Esse erro pode ser corrigido por meio da utilização de um método operacional apropriado: posicionando o nível a uma distância igual das miras ré e vante.

Corrêa (2012) ressalta, também, a importância de se observar erros que ocorrem nas miras verticais e destaca como sendo eles: erro de verticalidade da mira, a fim de corrigi-lo, faz-se uso do nível de cantoneira acoplado a ela; erro de graduação da mira, para evitar esse erro, aconselha-se o uso de miras confeccionadas em fita de invar cujo o coeficiente de dilatação é baixo, e; erro de índice de mira, proveniente da incerteza de que o zero da escala está ou não rigorosamente em conformidade com a base da mira.

De acordo com Silva (2017), a crescente demanda por maior precisão e produtividade nas medições tem impulsionado a automação dos níveis ao longo das últimas décadas. Veiga (2002 *apud* SILVA, 2017) diz que os níveis digitais compartilham dos mesmos componentes mecânicos e óticos de um instrumento ótico automático, porém se distinguem por sua forma de leitura. Essa leitura é baseada na decodificação de um código de barras, que substitui a tradicional escala em centímetros encontrada nas miras convencionais. Uma das vantagens desses equipamentos é a eliminação de erros de leitura, além da automação na coleta e armazenamento de dados. Espera-se que eles sejam incorporados nos manuais de procedimentos de nivelamento geométrico, como mencionado por Radcliffe (1999 *apud* SILVA, 2017).

Além disso, Antunes (1995) destaca que o que torna esses instrumentos inovadores e revolucionários é o seu sistema de leitura, que, assim como nos teodolitos eletrônicos, dispensa a necessidade de um observador realizar essa tarefa. Através do princípio do scanner a laser e com o uso de miras graduadas com código de barras (Figura 5), é possível obter de forma automática a leitura do valor de nível e da distância em relação à mira.

**Figura 5** - Miras graduadas de traço analógico e traço de código



Fonte: ANTUNES (1995).

Por fabricação, a escala do instrumento é inicialmente igual à da mira, no entanto, ao longo do tempo, é possível que ocorram alterações em ambas (TAKALO & ROUHIAINEN, 2004, *apud* GEMIN *et al.*, 2016).

Desse modo, o conjunto necessita ser submetido a um processo de calibração, no qual se examina ao mesmo tempo o desempenho do nível e da mira, a fim de permitir a avaliação do impacto das diferentes partes do sistema nos resultados das medições, assegurando assim a obtenção da precisão exigida.

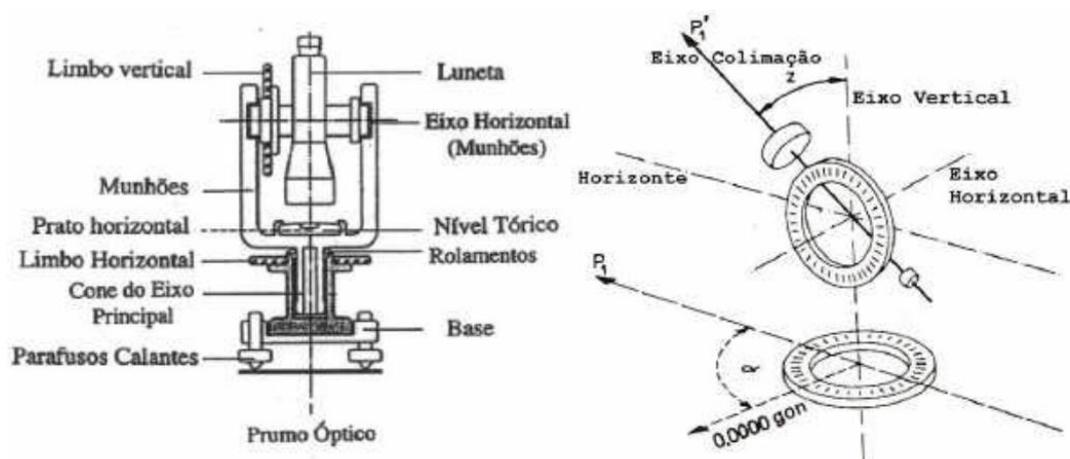
Segundo Woschitz *et al.* (2002, *apud* GEMIN *et al.*, 2016), os fabricantes de níveis digitais realizam ajustes de precisão, entretanto, quando identificam algum equívoco, realizam correções diretamente no software utilizado, mantendo esse procedimento confidencial devido a motivos comerciais. Como resultado, cabe ao usuário apenas operar o instrumento, sem ter controle sobre tais erros.

#### **4.3.2 Medições com teodolito e escalas**

Antunes (1995) enuncia, dentre os tipos de teodolitos, o teodolito ótico e o elétrico. Os teodolitos óticos são instrumentos utilizados para a medição de ângulos horizontais

(azimutais) e verticais (zenitais). Eles consistem em uma base que abriga o círculo graduado horizontal, que permite a leitura dos ângulos, e uma alidade, que é a parte giratória que se move em torno do eixo principal do aparelho. A alidade contém a luneta, que gira em torno do eixo dos munhões ou eixo secundário, e é suportada por dois montantes, um dos quais possui o círculo graduado vertical (Figura 6).

**Figura 6** - Estrutura e esquema de um teodolito



Fonte: ANTUNES (1995).

Por outro lado, os teodolitos elétricos, que representam a mais recente geração, são bastante similares aos teodolitos ópticos em termos de estrutura e princípios básicos de medição de ângulos. Ambos possuem dois círculos graduados centralizados em relação aos seus eixos, uma luneta para mira e observação da visada, uma base e uma alidade. As principais diferenças estão no sistema de leitura, registro e manipulação de dados. Agora, todo esse processo é realizado por meio de componentes eletrônicos e controlado por um microprocessador. Aliás, é o sistema de leitura que define os nomes desses dois tipos de teodolitos, um com leitura óptica e outro com leitura eletrônica. O microprocessador desempenha um papel fundamental como a unidade central de controle e operação dos instrumentos modernos de medição geodésico-topográfica, exercendo uma influência direta sobre o seu modo de funcionamento (ANTUNES, 1995).

Além disso, os teodolitos eletrônicos podem ser: o teodolito eletrônico informático, que possui uma caderneta eletrônica para armazenar os dados e permite a transmissão desses dados para um computador ou a uma estação gráfica (ploter) (SILVEIRA, 2000 apud FELIPE, 2015).

Uma vantagem do método ressaltada por Barros (2005) é que a medição é realizada de forma direta. No entanto, uma desvantagem é que requer uma referência fixa.

### 4.3.3 Nível laser

Conforme Ribeiro (2009, *apud* DE ARAÚJO, 2013), existem dois tipos principais de níveis a laser: os de ponto a ponto e os rotativos. O nível a laser ponto a ponto é uma ferramenta que substitui os antigos métodos de marcação utilizando fios de nylon e prumos de peso. Ele emite vários feixes de laser a partir de um único ponto, formando eixos direcionados e ortogonais entre si. Essa tecnologia oferece vantagens significativas em relação aos métodos tradicionais, como a rapidez e praticidade nas medições. Em apenas alguns segundos, é possível posicionar o aparelho e fazer a marcação desejada, dispensando a necessidade de usar fios, pêndulos ou realizar alinhamentos complexos. Um exemplo ilustrativo desse tipo de nível a laser pode ser visto na Figura 7.

**Figura 7** - Nível a Laser PLS5 2009 ponto a ponto, Pacific LASER Systems



Fonte: RIBEIRO (2009 *apud* DE ARAÚJO, 2013).

No que diz respeito ao nível a laser rotativo, Ribeiro (2009, *apud* DE ARAÚJO, 2013) caracteriza como sendo um instrumento composto por um feixe laser nivelador que gira ao redor do equipamento em um movimento circular. Essa rotação ocorre em uma velocidade que cria a ilusão de uma linha contínua em vez de um ponto em movimento. O motor responsável pela rotação do feixe laser está localizado na parte superior do nível, que é posicionado em um tripé ou em um suporte fixo. A linha gerada pelo laser pode ser projetada tanto na horizontal quanto na vertical, dependendo do tipo de nível a laser. Isso torna os níveis a laser altamente versáteis, podendo ser utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo alinhamentos horizontais, verticais e prumadas. Atualmente, os níveis a laser são autonivelantes e fornecem marcações precisas e instantâneas de prumo, nível, esquadro e alinhamento. Na Figura 8 é ilustrado um exemplo de utilização de um nível a laser rotativo.

**Figura 8** - Foto de Nível a Laser rotativo



Fonte: RIBEIRO (2009 apud DE ARAÚJO, 2013).

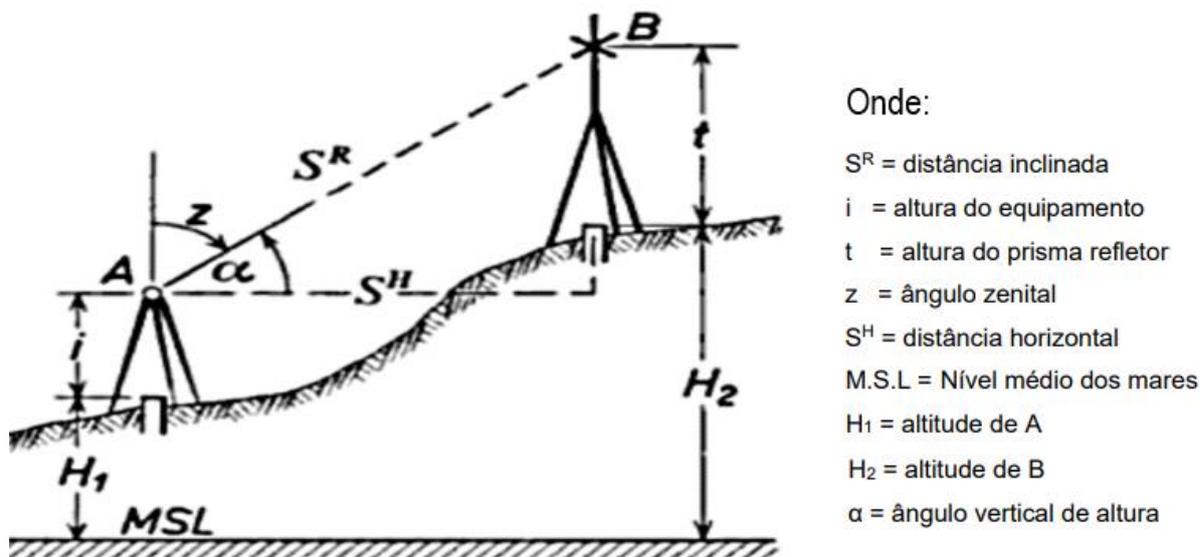
Como desvantagens do método, USACE (1995 *apud* BARROS, 2005) destaca algumas limitações, como a sensibilidade a perturbações atmosféricas, tais como poeira, umidade e variações de temperatura. Além disso, é necessário realizar correções de refração a cada aproximadamente 200 metros.

#### **4.3.4 Nivelção Trigonométrica**

Conforme Erba *et al.* (2005), o nivelamento trigonométrico é um método que envolve a determinação da diferença de altitude entre pontos topográficos através de leituras obtidas em visadas inclinadas. Essas leituras são realizadas utilizando taqueômetros ou estações totais e incluem medidas de distâncias horizontais, ângulos verticais e, em alguns casos, inclinações. Com base nessas informações, é possível calcular as diferenças de nível entre os pontos.

Uma das vantagens do nivelamento trigonométrico é a sua eficiência e rapidez na obtenção dos resultados. Além disso, o uso de instrumentos modernos, como as estações totais, permite uma maior automatização do processo, com a coleta direta de dados e cálculos computadorizados. No entanto, cabe ressaltar que o nivelamento trigonométrico requer conhecimentos técnicos avançados e um cuidadoso planejamento a fim de garantir a precisão dos resultados obtidos. Assim, para distâncias curtas, tem-se a Figura 9 com a disposição geral das informações para o cálculo do desnível entre os pontos A e B.

Figura 9 - Nivelamento Trigonométrico



Fonte: Adaptado de KAHMEN & FAIG (1988).

A precisão alcançada por meio do nivelamento trigonométrico é principalmente influenciada pelos ângulos e distâncias medidas, bem como pelas alturas do instrumento e do alvo. Além disso, fatores como a refração atmosférica e a curvatura terrestre também podem afetar os resultados. É importante destacar que os erros nas medições das alturas instrumentais são independentes da distância e podem requerer correções significativas, especialmente em distâncias mais curtas.

Para obter resultados confiáveis, é necessário considerar cuidadosamente todos esses elementos e aplicar correções apropriadas. O conhecimento preciso das técnicas trigonométricas, juntamente com a compreensão dos fatores que podem introduzir erros, é essencial para garantir a precisão das medições. Conforme mencionado por Ghilani & Wolf (2012 *apud* Silva, 2017), a realização de medições requer uma combinação de habilidades humanas e o uso de equipamentos mecânicos de alta precisão. No entanto, mesmo com todo o cuidado empregado durante o processo de medição, é importante reconhecer que os dados obtidos não são absolutamente precisos e sempre estarão sujeitos a erros.

Porém, é importante ressaltar que os erros angulares e a refração atmosférica têm uma influência cada vez maior à medida que a distância aumenta, seguindo uma relação inversamente proporcional (RESNIK e BILL, 2003 citados por SOUZA, 2012). Isso significa que, quanto maior a distância entre os pontos topográficos medidos, maior será o impacto desses erros nos resultados obtidos.

Essa relação inversa entre os erros angulares e a distância é um fator crucial a ser considerado durante o nivelamento trigonométrico. Conforme a distância aumenta, os erros

angulares podem se tornar mais significativos e afetar a precisão das medições. Da mesma forma, a refração atmosférica, que é o desvio causado pela passagem da luz através da atmosfera, pode distorcer os ângulos e introduzir erros adicionais nas leituras.

Uma vez adotadas distâncias pequenas, é possível desprezar os efeitos da curvatura da Terra e refração atmosférica. Nos casos que envolvem distâncias consideráveis, Kahmen e Faig (1988) apresenta os efeitos da curvatura terrestre para as distâncias de 100 a 10.000 metros (Tabela 1).

**Tabela 1** - Correção da curvatura terrestre de 100m - 10.000m

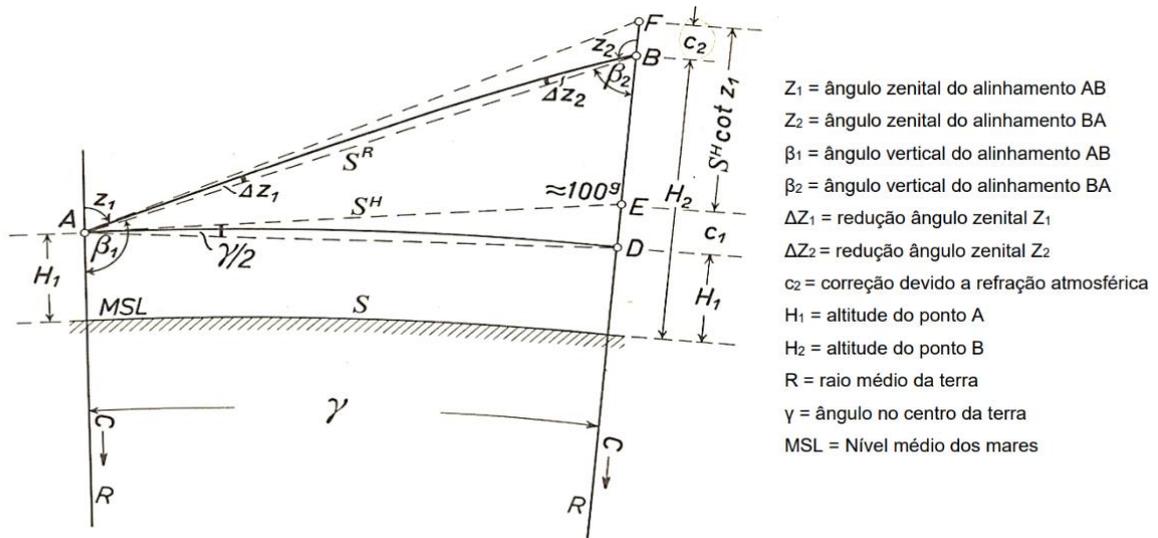
<b>Distância (m)</b>	<b>Correção da Curvatura (m)</b>	
100	0,0008	$c_1 = \frac{S^2}{2R}$ <p><math>c_1</math> = correção devido a curvatura terrestre  <math>S</math> = distância Horizontal  <math>R</math> = raio médio da terra</p>
200	0,0032	
500	0,0200	
1000	0,0790	
5000	1,9600	
10000	7,9000	

Fonte: Adaptado de KAHMEN & FAIG (1988).

Portanto, tem-se que, para assegurar um nível de precisão na faixa de 1 mm, é recomendado evitar distâncias que excedam 100 metros. Ao manter as distâncias dentro desse limite, é possível minimizar os efeitos negativos causados por erros inerentes ao processo de medição, proporcionando resultados mais confiáveis e precisos. Ademais, vale ressaltar que essa orientação visa garantir um alto grau de acurácia e consistência nas medições, especialmente em levantamentos que demandam uma precisão detalhada, como obras de engenharia civil, monitoramento de estruturas e projetos geodésicos de alta precisão.

Kahmen e Faig (1988) esquematizam na Figura 10 abaixo o efeito da curvatura e da refração no nivelamento trigonométrico.

**Figura 10** - Efeito da curvatura e da refração no nivelamento trigonométrico



Fonte: Adaptado de KAHMEN & FAIG (1988).

Com vistas à minimização dos efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica, Silva e Segantine (2015) discorrem sobre a aplicação do nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas, estratégia esta, constituída da instalação de prismas adicionais ao lado de cada instrumento de maneira a possibilitar leituras simultâneas e recíprocas entre determinados pontos.

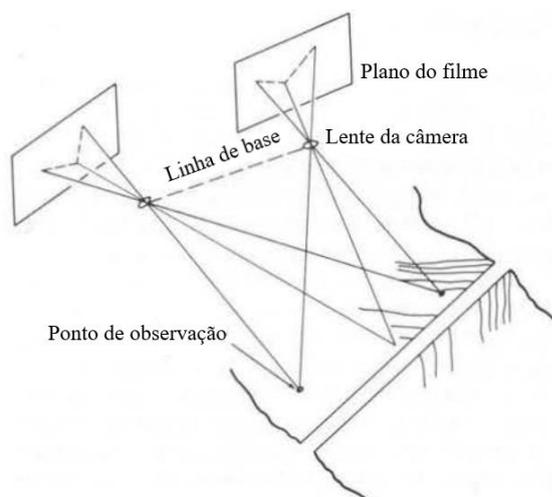
Conforme mencionado por Faggion (2011), ao realizar coleta de dados em campo, especialmente para obter resultados precisos, é fundamental que os instrumentos de medição sejam devidamente verificados, ajustados, classificados e calibrados, a fim de garantir a precisão necessária. Essas etapas de verificação e calibração dos instrumentos são essenciais para assegurar que as medições sejam confiáveis e estejam em conformidade com os padrões estabelecidos. Logo, investir na verificação, retificação e calibração dos instrumentos de medição é uma prática indispensável para obter dados mais precisos e confiáveis, cenário especialmente relevante em trabalhos que demandam alta precisão, como levantamentos topográficos, monitoramento de estruturas e projetos de engenharia em geral.

#### 4.3.5 Métodos fotogramétricos

Uma das maneiras para a obtenção de fotografias precisas para medir movimentos estruturais é realizada utilizando foto-teodolitos, os quais capturam fotografias consecutivas a partir de uma estação fixa ao longo de uma linha de base também fixa. Os movimentos são identificados em um estereocomparador através da observação do avanço ou recuo estereoscópico de pares de placas fotográficas em relação a elementos estáveis do cenário.

Esse procedimento permite determinar os componentes do movimento que ocorrem no plano da fotografia. O método utilizado é semelhante à triangulação e envolve a interseção de linhas de visão, como ilustrado na Figura 11. Os planos dos filmes geralmente são paralelos entre si e o mais perpendicular possível a uma linha que conecta os pontos médios da linha de base e dos pontos de observação. Para calcular a posição de um ponto, é necessário ter conhecimento do comprimento focal e da orientação da câmera, além da elevação das extremidades e o comprimento da linha de base (DUNNICLIFF, 1988).

**Figura 11** – Arranjo fotogramétrico utilizando pares estereoscópicos



Fonte: Adaptado de SENNE (1980 *apud* DUNNICLIFF, 1988).

Como vantagem, Dunnicliff (1988) destaca a capacidade de registrar o deslocamento de centenas de pontos potenciais simultaneamente, permitindo a determinação do padrão geral de deformação. Como restrições do método, tem-se que condições climáticas podem limitar o uso e; a interpretação requer habilidade especializada. Em consonância, Prellwitz (2015) afirma que o processo de análise fotogramétrica utilizando softwares de tratamento de imagens é suscetível à subjetividade do operador, uma vez que as distâncias determinadas no programa dependem da habilidade de identificar o ponto correto de medição. Considerando que cada indivíduo possui níveis distintos de sensibilidade, é esperado que essa variação tenha uma influência significativa nos resultados obtidos.

Segundo Prellwitz (2015), a técnica de tratamento de imagem é uma abordagem mais avançada que envolve o uso de um scanner que gira em alta velocidade ao redor da estrutura a ser monitorada, emitindo um feixe que cria uma nuvem de pontos que descreve a superfície. A digitalização desses pontos resulta em um modelo tridimensional altamente preciso da superfície de edifícios e estruturas, permitindo o monitoramento preciso das mesmas. Os instrumentos baseados nesse método permitem leituras com precisão de milímetros, com uma

tolerância de apenas 0,5 mm. No entanto, esses instrumentos são caros e requerem um profissional qualificado para operá-los com destreza.

Antunes (1995) recomenda que, ao escolher o método mais adequado, é essencial considerar principalmente a área e a escala do levantamento. O método topográfico envolve uma série significativa de operações de campo, o que o torna demorado para áreas extensas e, conseqüentemente, mais custoso em comparação ao método fotogramétrico. Por outro lado, o método fotogramétrico pode ter custos relativamente altos para áreas muito pequenas e apresenta a limitação da altura mínima de voo em escalas maiores. Normalmente, salvo exceções, o método topográfico é utilizado para escalas maiores que 1:1000, enquanto o método fotogramétrico é empregado em escalas menores ou iguais a 1:1000.

#### **4.3.6 Nivelamento hidrostático**

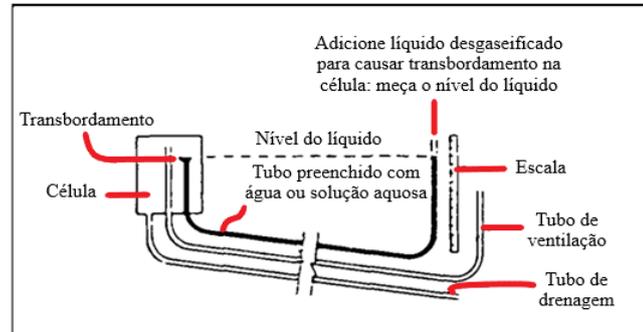
Os medidores de nível de líquido são instrumentos que utilizam o princípio dos vasos comunicantes. Eles consistem em um tubo preenchido com líquido, geralmente água, e um sistema de medição entre o nível do líquido e uma marca de referência. Ocasionalmente, podem ser incorporados manômetros ao sistema para medir a pressão da coluna d'água. Esses dispositivos fornecem a informação sobre a elevação relativa entre o objeto em análise e o ponto de referência de nível. O instrumento mais utilizado é o nível de borracha ou de mangueira.

De acordo com o princípio dos vasos comunicantes, a altura alcançada por um líquido em equilíbrio em diferentes vasos comunicantes é a mesma, independentemente da forma da seção transversal do tubo de ligação, desde que a pressão nas superfícies livres do líquido seja igual. A partir desse princípio, é possível determinar a elevação de um pilar em relação a um ponto de referência, comparando-se o nível de água nas extremidades do tubo.

Segundo Barros (2005), os medidores de nível d'água têm como principal aplicação o monitoramento de assentamentos em fundações e aterros de barragens e diques, com possibilidade de serem utilizados na medição de recalques de estruturas em concreto armado. Em geral, eles são opções que substituem extensômetros de sonda vertical, plataformas de assentamento e pontos de assentamento subterrâneo, permitindo a instalação sem interrupções frequentes no processo de preenchimento e compactação, reduzindo assim o risco de danos aos instrumentos. Esses medidores são sensíveis a mudanças na densidade do líquido devido a variações de temperatura, assim como a efeitos de tensão superficial e qualquer descontinuidade do líquido no tubo preenchido.

Conforme USACE (1995), os medidores podem ser categorizados como medidores de ponto único e medidores de perfil completo. No que diz respeito ao medidor de ponto único mais simples, tem-se a Figura 13 abaixo.

**Figura 12** - Esquema do indicador de nível líquido por transbordamento, com ambas as extremidades na mesma elevação

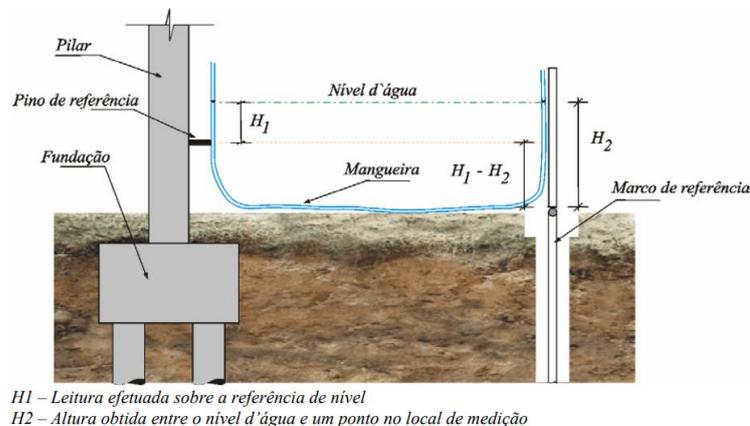


Fonte: Adaptado de Dunicliff (1988 *apud* USACE, 1995).

O medidor é normalmente lido adicionando líquido ao tubo preenchido de líquido no ponto de leitura, causando transbordamento na célula de modo que o nível visível no ponto de leitura se estabilize na mesma elevação do ponto de transbordamento. O tubo de ventilação é de suma importância para manter pressão igual em ambas as superfícies do líquido; já o tubo de drenagem é necessário para permitir que o líquido transbordado escoe para fora da célula.

Sendo assim, com vistas a exemplificar a aplicabilidade do modelo no âmbito da Engenharia Civil, Barros (2005) apresenta, na Figura 14 abaixo, a disposição geral da utilização do sistema de vasos comunicantes para a medição de recalques.

**Figura 13** - Esquema da utilização de um sistema de vasos comunicantes para medição de recalques



Fonte: Barros (2005).

Nos medidores de perfil completo, as leituras são feitas em pontos dentro do tubo, e o perfil vertical completo pode ser determinado. Com isso, diferenças no perfil vertical ao longo do tempo fornecem dados para a determinação da deformação vertical. No entanto, a única aplicação para esse tipo de medidor é nas camadas a jusante de barragens de aterro.

Dentre os métodos de aquisição de dados, posição do menisco, para o cálculo dos recalques, destacam-se a observação do menisco a olho nu; a observação do menisco com nível ótico (Terzaghi); fotografia digital e; com transdutor de pressão, dispositivo que transforma uma magnitude física, como a pressão, em sinal elétrico.

Prellwitz (2015) destaca notável simplicidade desses instrumentos, pois não possuem restrição em relação à quantidade de pontos que podem ser monitorados. Além disso, eles são fáceis de ler, não possuem componentes caros ou frágeis, são dispositivos simples e robustos, com custo reduzido e adaptáveis a diferentes tipos de obras. No entanto, Prellwitz ressalva que instrumentos convencionais que seguem o princípio dos vasos comunicantes são comumente empregados em levantamentos de menor precisão, sendo adequados para medições de deslocamentos que geralmente variam de alguns milímetros a centímetros.

#### 4.4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MONITORAMENTO: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Dessa forma, tem-se a Tabela 2 apresentando as considerações acerca dos métodos de monitoramento de recalque a partir de uma pesquisa realizada com o objetivo de analisar os diferentes métodos de monitoramento de recalque em obras de edificação, destacando suas vantagens e limitações. Essa tabela oferece uma visão geral das pesquisas realizadas, permitindo uma melhor compreensão das técnicas de monitoramento e auxiliando na escolha do método mais adequado para cada tipo de obra.

**Tabela 2** - Avaliação comparativa dos Métodos de Monitoramento

Método	Vantagens	Desvantagens
Medições por Nível Ótico Automático	Medição é efetuada de forma rápida; utilização de alta tecnologia.	Método de coleta de dados requer a presença de um profissional especializado; a necessidade de uma manutenção frequente deste equipamento para garantir resultados precisos; necessidade de equipamentos de alta precisão.
Medições por Nível Digital	Automação na coleta e armazenamento de dados; seu sistema de leitura dispensa a necessidade de um observador realizar essa tarefa.	O conjunto, nível e mira, necessita ser submetido a um processo de calibração; os fabricantes de níveis digitais realizam a calibração, entretanto, quando identificam algum equívoco, realizam correções diretamente no software utilizado, mantendo esse procedimento confidencial devido a motivos comerciais. Como resultado, cabe ao usuário apenas operar o instrumento, sem ter controle sobre tais erros.
Medições com teodolitos e escalas	Teodolitos óticos e elétricos são capazes de fazer uma medição direta; teodolitos elétricos são capazes de armazenar os dados e permite a transmissão desses para um computador ou a uma estação gráfica.	Requer uma referência fixa.

*Continua na página 35*

**Tabela 2 - Avaliação comparativa dos Métodos de Monitoramento**

<b>Nível a Laser</b>	Rapidez e praticidade nas medições; marcações precisas.	Susceptível a interferências atmosféricas, como poeira, umidade e oscilações de temperatura; requer correções de refração a cada cerca de 200 metros.
<b>Nivelação trigonométrica</b>	Eficiência e rapidez na obtenção dos resultados; uso de instrumentos modernos; permite uma maior automatização do processo, com a coleta direta de dados e cálculos computadorizados.	Requer conhecimentos técnicos avançados e um cuidadoso planejamento a fim de garantir a precisão dos resultados obtidos; fatores como a refração atmosférica e a curvatura terrestre podem afetar os resultados.
<b>Métodos fotogramétricos</b>	Capacidade de registrar o deslocamento de centenas de pontos potenciais simultaneamente, permitindo a determinação do padrão geral de deformação; altamente preciso.	Condições climáticas podem limitar o uso; a interpretação requer habilidade especializada; processo de análise fotogramétrica utilizando softwares de tratamento de imagens é suscetível à subjetividade do operador; a técnica de tratamento de imagem é uma abordagem mais avançada; instrumentos são caros e requerem um profissional qualificado para operá-los com destreza; pode ter custos relativamente altos para áreas muito pequenas e apresenta a limitação da altura mínima de voo em escalas maiores.
<b>Nivelamento hidrostático</b>	Notável simplicidade dos instrumentos; não possuem restrição em relação à quantidade de pontos que podem ser monitorados; equipamento básico e resistente, de preço acessível, demonstra versatilidade diante da variedade de projetos.	Menor precisão, sendo adequados para medições de deslocamentos que geralmente variam de alguns milímetros a centímetros; pode sofrer impacto de flutuações climáticas, variações de temperatura e imprecisões de leitura.

Fonte: Autoral (2023).

#### 4.5 ESTABILIZAÇÃO DE RECALQUES

Existem diversos métodos e técnicas disponíveis para a estabilização de recalque em obras de edificações. Entre eles, destacam-se o uso de estacas de fundação especiais, como as estacas raiz e as estacas hélice contínua, que promovem a transferência das cargas para camadas mais resistentes do solo. Além disso, podem ser adotadas soluções como a injeção de materiais expansivos ou a utilização de geossintéticos, que visam melhorar as características geotécnicas do solo e reduzir os recalques. Injeções de cimento consistem na aplicação de cimento no terreno abaixo das fundações através de tubos galvanizados. Essa técnica tem como objetivo melhorar as propriedades do solo, resultando em melhorias na resistência e na impermeabilização dos maciços.

Ademais, tem-se, também, como medida para estabilização de recalque, conforme mencionado por Caputo (2015), o método de congelamento do solo, concebido em 1883, reservado para situações desafiadoras que envolvem fundações em solos moles e saturados de água. A abordagem envolve a instalação de tubos no solo, pelos quais um líquido refrigerante, como nitrogênio ou salmoura, é conduzido. O resfriamento resultante faz com que a água

presente no solo atinja o ponto de congelamento, proporcionando estabilização ao recalque da fundação durante todo o processo de reforço. No entanto, esse método é considerado uma solução bastante onerosa.

#### 4.6 DANOS ASSOCIADOS AO RECALQUE

De acordo com o ISE (1989), os efeitos dos deslocamentos de uma estrutura podem ser classificados em três aspectos distintos: impacto visual (aparência), impacto na utilização e função, e impacto na estabilidade e danos à estrutura.

- **Danos arquitetônicos**

Consistem em danos facilmente percebidos por observadores comuns, que afetam a aparência estética da construção, tais como rachaduras nas paredes, pisos desnivelados e ruptura de painéis (TEIXEIRA e GODOY, 1998, p. 261). Não envolvem riscos quanto à estabilidade e segurança da construção.

- **Danos funcionais**

Os danos funcionais associados ao recalque das fundações podem impactar negativamente a utilidade e eficiência da edificação. Recalques podem causar desalinhamentos em dutos, tubulações e instalações, resultando em vazamentos, rompimentos e mau funcionamento dos sistemas. Gotlieb (1998) afirma que, a partir de certos limites, serão necessárias intervenções corretivas devido ao comprometimento do uso da construção, a fim de restaurar seu funcionamento adequado.

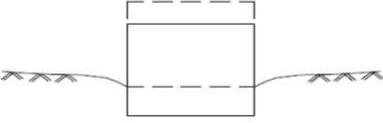
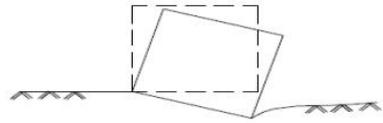
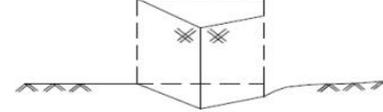
- **Danos estruturais**

Os danos estruturais referem-se a deformações e deslocamentos que comprometem a estabilidade e a integridade da estrutura, como rachaduras em elementos de concreto, desalinhamento de paredes e vigas, e até mesmo colapsos parciais ou totais da edificação. Esses danos podem comprometer a segurança e a capacidade estrutural da construção. Portanto, conforme Gotlieb (1998), o reforço, nesses casos, é imprescindível, uma vez que a

ausência de medidas de reforço adequadas pode resultar em instabilidade estrutural, com o risco de colapso da edificação.

Na Figura 15 abaixo, observar-se como diferentes tipos de recalque podem causar danos específicos na edificação.

**Figura 14** - Danos associados ao recalque

Tipo de recalque	Danos associados
<p data-bbox="555 566 683 595">Uniforme</p> 	<p data-bbox="839 566 1238 723">Danos arquitetônicos (estéticos e funcionais), dependendo da grandeza dos recalques. Danos às ligações com o exterior (instalações, rampa, escada).</p>
<p data-bbox="443 745 810 775">Não uniforme; sem distorção</p> 	<p data-bbox="839 745 1238 824">Danos arquitetônicos: desaprumo em prédios altos, etc.</p>
<p data-bbox="443 925 810 954">Não uniforme; com distorção</p> 	<p data-bbox="839 925 1238 1079">Danos arquitetônicos: fissuração, distorção de vãos, etc. Danos estruturais: fissuras em vigas, etc.</p>

Fonte: Berberian (2011).

Em relação as patologias provenientes de movimentos de recalque, destacam-se a fissuração e o desaprumo.

#### 4.6.1 Fissuração

Segundo Souza e Ripper (1998), as fissuras representam uma manifestação patológica frequente em estruturas de concreto, sendo o dano mais comum e perceptível para leigos, proprietários e usuários. Além de deformações significativas, as fissuras chamam a atenção para a ocorrência de algo anormal, indicando que há um problema em desenvolvimento.

#### 4.6.2 Desaprumos

O desaprumo de edifícios é uma condição patológica que tem sua origem principalmente no recalque diferencial das fundações. Capaz de prejudicar a aparência estética, o desaprumo de construções também resulta em cargas adicionais na estrutura, as quais são transferidas

para as fundações. Isso provoca um aumento significativo no recalque já existente, podendo alcançar valores críticos que podem levar ao colapso do edifício.

Um estudo realizado por Silva *et al.* (2003) investigou as patologias em edificações localizadas na capital do estado da Paraíba, João Pessoa. Os resultados revelaram que 14,29% dos problemas identificados estavam relacionados a ações mecânicas, como recalques, os quais poderiam ser avaliados durante a fase de projeto.

Com isso, reafirma-se a importância de um projeto bem elaborado levando em consideração as características do solo e os possíveis recalques esperados, incorporando medidas preventivas e soluções de fundação adequadas para minimizar os efeitos negativos do recalque. Além disso, o monitoramento contínuo do recalque, ainda durante a fase construtiva, permite detectar eventuais deslocamentos ou assentamentos excessivos, permitindo a tomada de medidas corretivas antes que ocorram problemas estruturais mais sérios.

## **5 ESTUDO DE CASOS**

### **5.1 MONITORAMENTO DE RECALQUES DURANTE A EXECUÇÃO DE EDIFÍCIOS NO DISTRITO FEDERAL**

Os estudos de caso são uma abordagem valiosa na pesquisa, permitindo uma investigação aprofundada e detalhada de recalques em contextos reais. Desse modo, um estudo realizado por Cunha *et al.* (2014) analisou os resultados do monitoramento de recalque realizado em cinquenta e três edifícios localizados em diferentes regiões do Distrito Federal.

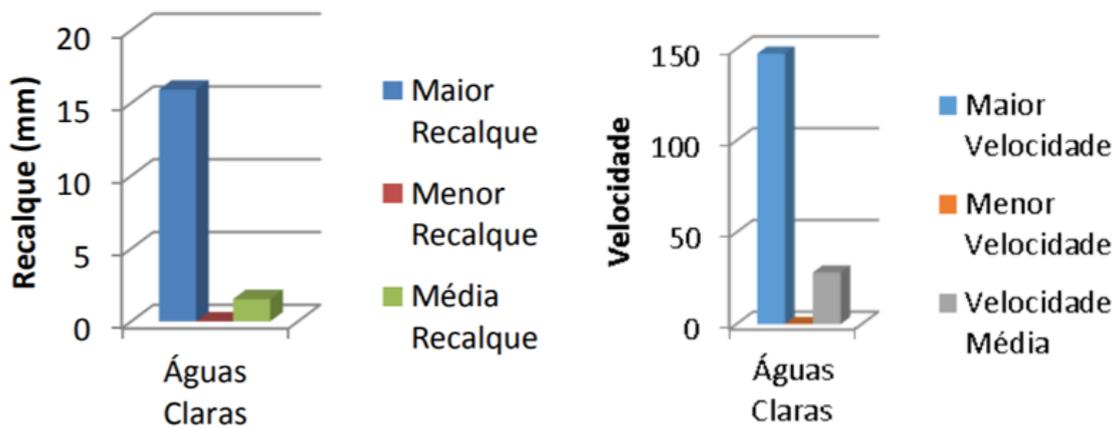
Para executar o monitoramento dos recalques, é imprescindível a colocação de dispositivos nos pilares da estrutura (pinos), permitindo assim a medição dos recalques por meio de instrumentos apropriados, como régua ou mira, nível ótico e uma referência de nível ou marco de referência.

As regiões analisadas foram: Águas Claras, Gama, Guará, Brasília e Taguatinga. No que diz respeito à escolha das obras, foram escolhidas com base na qualidade e quantidade de dados de monitoramento de recalque disponíveis, os quais foram realizados entre 2010 e 2013. Assim como ocorre em qualquer projeto, cada uma das edificações avaliadas apresenta características distintas. Ademais, essas edificações foram classificadas como de médio a grande porte, variando entre 6 e 34 lajes. É importante salientar que este estudo não

considerou o tipo de fundação utilizado, devido à complexidade e ao grande número de edifícios analisados.

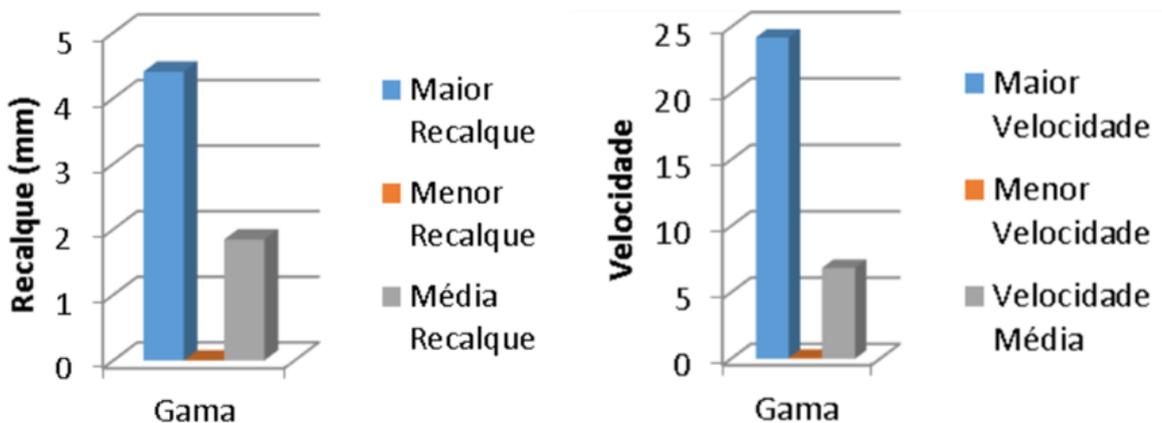
Essa análise dos dados obtidos por meio do monitoramento de recalque ofereceu informações sobre o recalque acumulado, a velocidade de recalque e a distorção angular entre os pilares ao longo de todas as medições realizadas durante a construção da edificação. Assim, têm-se a Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19, com os valores de recalque e velocidade de recalques para as obras situadas em Águas Claras, Gama, Guará, Brasília e Taguatinga, respectivamente.

**Figura 15** - Valores de recalque [ $mm$ ] e velocidade de recalque [ $\mu m/dia$ ] para as obras situadas em Águas Claras



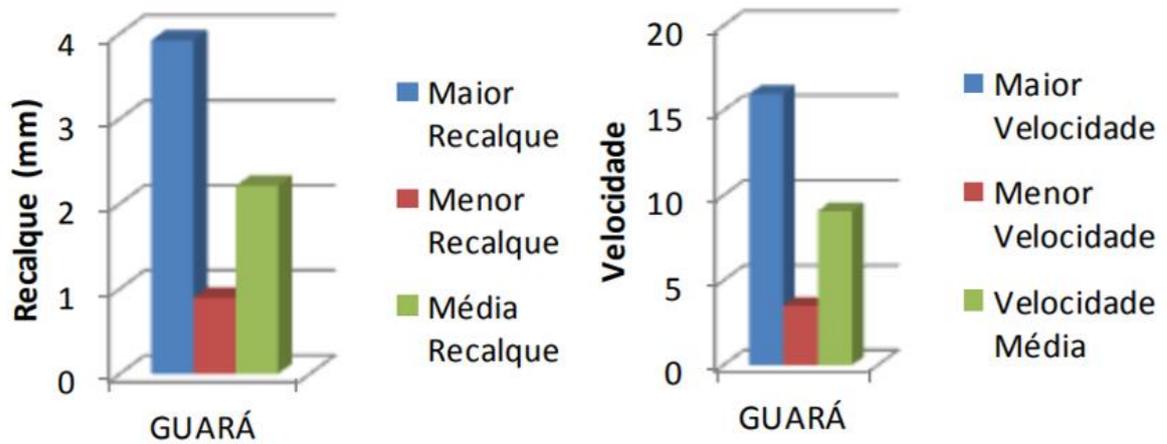
Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.* (2014).

**Figura 16** - Valores de recalque [ $mm$ ] e velocidade de recalque [ $\mu m/dia$ ] para as obras situadas em Gama



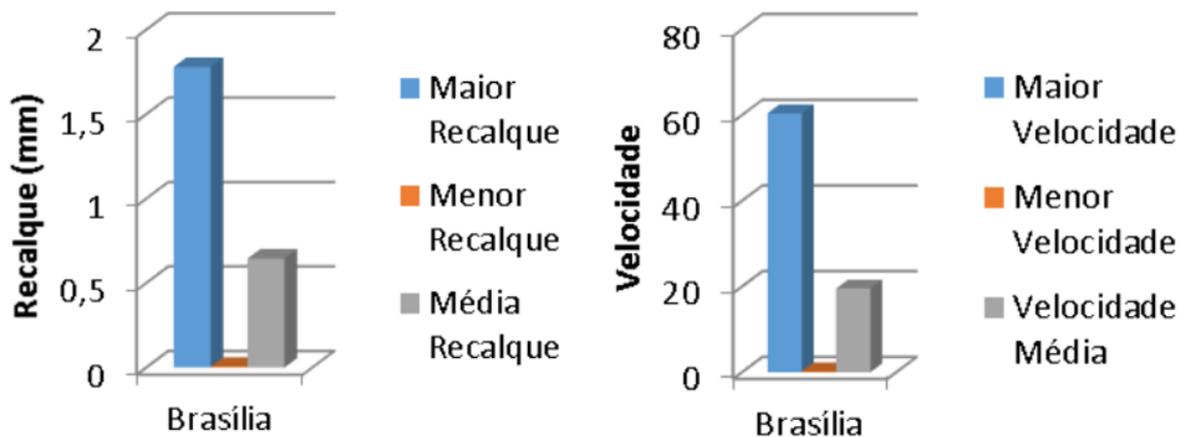
Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.* (2014).

**Figura 17** - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Guará, excluindo três obras reforçadas



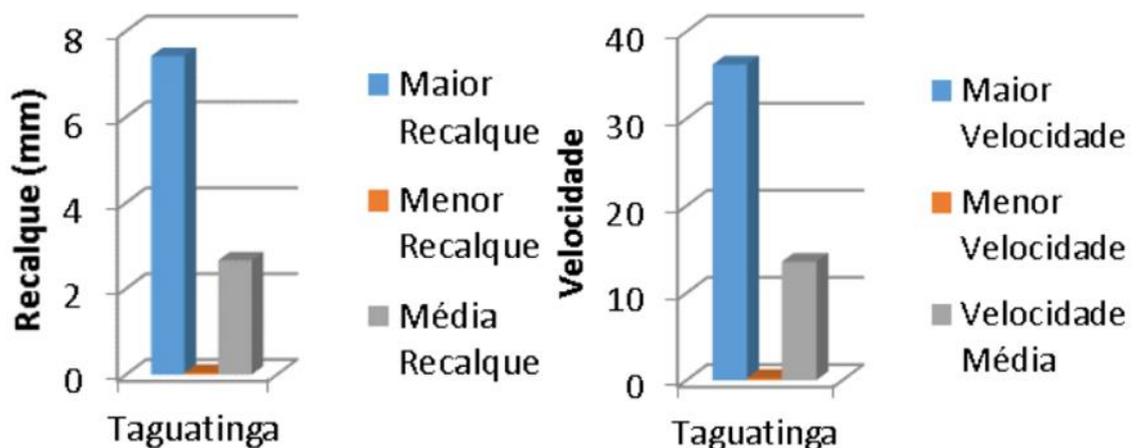
Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.* (2014).

**Figura 18** - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Brasília



Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.* (2014).

**Figura 19** - Valores de recalque [mm] e velocidade de recalque [ $\mu\text{m}/\text{dia}$ ] para as obras situadas em Taguatinga



Fonte: Adaptado de CUNHA *et al.* (2014).

Cunha *et al.* (2014), faz uma ressalva sobre três edifícios localizados no Guará, que foram construídos sobre fundações diretas, os quais apresentaram valores de recalque e velocidade de recalque significativamente elevados, diferindo dos valores médios observados. Os valores médios de recalque e velocidade de recalque, considerando os três edifícios que passaram por reforço estrutural com estacas raiz antes da conclusão, foram de 89,235 mm e 796,27  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , respectivamente, durante a fase de construção até a execução do reforço. Foi observado que a realização desses reforços com estacas raiz teve um impacto significativo no aumento da velocidade de recalque. No Guará, excluindo os edifícios que passaram por reforço, os valores médios de recalque e velocidade de recalque foram de 2,211 mm e 9,080  $\mu\text{m}/\text{dia}$ , respectivamente. Logo, os recalques acumulados e as velocidades de recalque são bastante reduzidos na maioria dos casos, exceto nas três edificações mencionadas.

Destaca-se que as edificações estudadas estão em proximidade umas das outras, o que nos permite perceber a heterogeneidade do solo nessa região e como isso resulta em resultados bastante divergentes. No entanto, é importante ressaltar que não apenas as características do solo podem influenciar a magnitude dos recalques, mas também outros fatores, como a qualidade da execução da obra e o projeto elaborado (CUNHA *et al.*, 2014).

Ademais, os recalques podem ser afetados tanto pelo carregamento aplicado sobre a estrutura quanto pela quantidade de lajes presentes.

Nas construções analisadas, verificou-se que elas estavam em estágios diferentes de carregamento durante as medições de recalque. Essa variação nos estágios de carregamento pode gerar distorções nos gráficos apresentados, uma vez que uma obra com menor carregamento terá uma parcela de recalque total diferente daquela em um estágio mais avançado. É importante considerar esse aspecto ao interpretar os resultados, uma vez que a magnitude dos recalques pode ser influenciada pelo estágio de carregamento em que a obra se encontra (CUNHA *et al.*, 2014).

Entre as cinquenta e três estruturas investigadas neste trabalho, constatou-se a necessidade de implementação de reforços em 5,66% do total, sendo que em todos os casos a intervenção foi necessária antes da conclusão da obra, afim de evitar problemas maiores, como por exemplo, trincas na estrutura. Isso ressalta a importância preventiva do monitoramento de recalque desde o início da construção.

## 5.2 MONITORAMENTO DE RECALQUES DE UM RESERVATÓRIO EM SANTA CRUZ DO SUL – RS

Um estudo realizado por Corrêa (2012) analisou os resultados do monitoramento de recalque realizado em um reservatório elevado de concreto armado do tipo INTZE (Figura 20), no município de Santa Cruz do Sul – RS.

**Figura 20** - Reservatório de concreto armado em Santa Cruz do Sul - RS



Fonte: CORRÊA (2012).

No que diz respeito às características do reservatório, tem-se que possui uma altura total de 18,77 metros, considerando desde o nível do terreno até o ponto mais alto da cúpula, e um diâmetro das paredes do cilindro externo de 12,40 metros. Ademais, sua infraestrutura e estrutura de apoio são compostas pelos seguintes elementos:

- Estaqueamento e cravação de estacas metálicas TR 45.
- Blocos de fundação posicionados sobre o terreno, dispostos em uma configuração semelhante a um octógono.
- Vigas de fundação que se intercalam entre cada par de blocos de fundação.
- Pilares de seção quadrangular (50x50cm), distribuídos em três níveis.

- Vigas de amarração dos pilares, com formato reto e seção retangular, também seguindo a disposição de um octógono, compostas por dois níveis.

Quanto a metodologia adotada para o acompanhamento dos recalques, optou-se pelo nivelamento geométrico, sendo os equipamentos utilizados: Nível Automático Nikon AZ 2F e régua metálica milimetrada.

A fim de analisar os deslocamentos verticais ocorridos na estrutura, foi necessário adotar pontos de referência teoricamente fixos (Figura 21) para servirem como marcos de referência (RN) para as demais observações. Foram instalados dois pontos de referência em muros de alvenaria, localizados do lado oposto da rua em relação ao terreno do reservatório, e um terceiro ponto em uma parede de alvenaria da casa adjacente. A disposição dos pontos foi cuidadosamente planejada para garantir que, ao posicionar o equipamento dentro do terreno do reservatório e realizar as leituras, os pontos fossem visíveis simultaneamente e estivessem alinhados na mesma altura de nível.

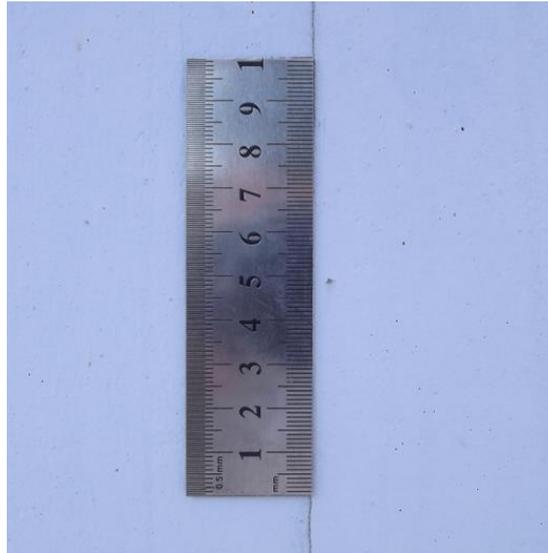
**Figura 21** - Referência Fixa de Nível (RN)



Fonte: CORRÊA (2012).

Para os pontos de nível (PN), a fim de permitir o monitoramento da estrutura, com vistas à redução dos erros, optou-se por utilizar régua de aço milimetradas com 10 cm de comprimento, fixadas nos pilares por meio de adesivo epóxi de alta aderência, mantendo-as na mesma posição para futuras leituras (Figura 22), não havendo, assim, necessidade de leituras em miras convencionais que estão sujeitas à destreza do auxiliar.

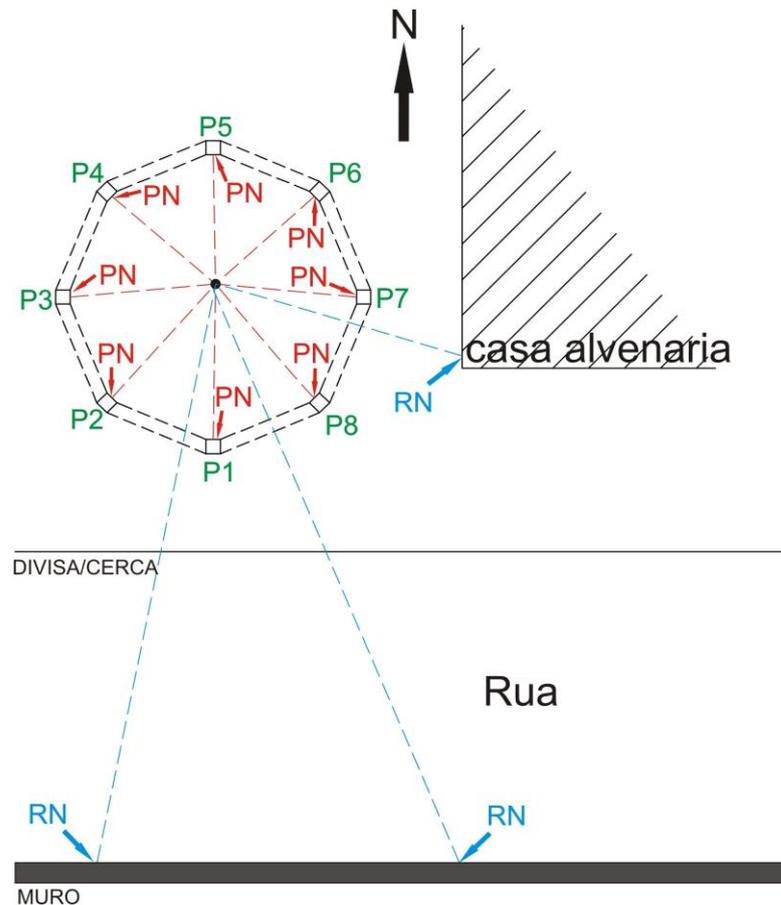
**Figura 22** - Ponto de Nível com régua de aço milimetrada



Fonte: CORRÊA (2012).

Os Pontos de Níveis foram estrategicamente posicionados de modo que, a cada instalação do equipamento, as leituras pudessem ser feitas de forma simultânea entre eles e as Referências de Nível (Figura 23).

**Figura 23** - Disposição dos RN e PN

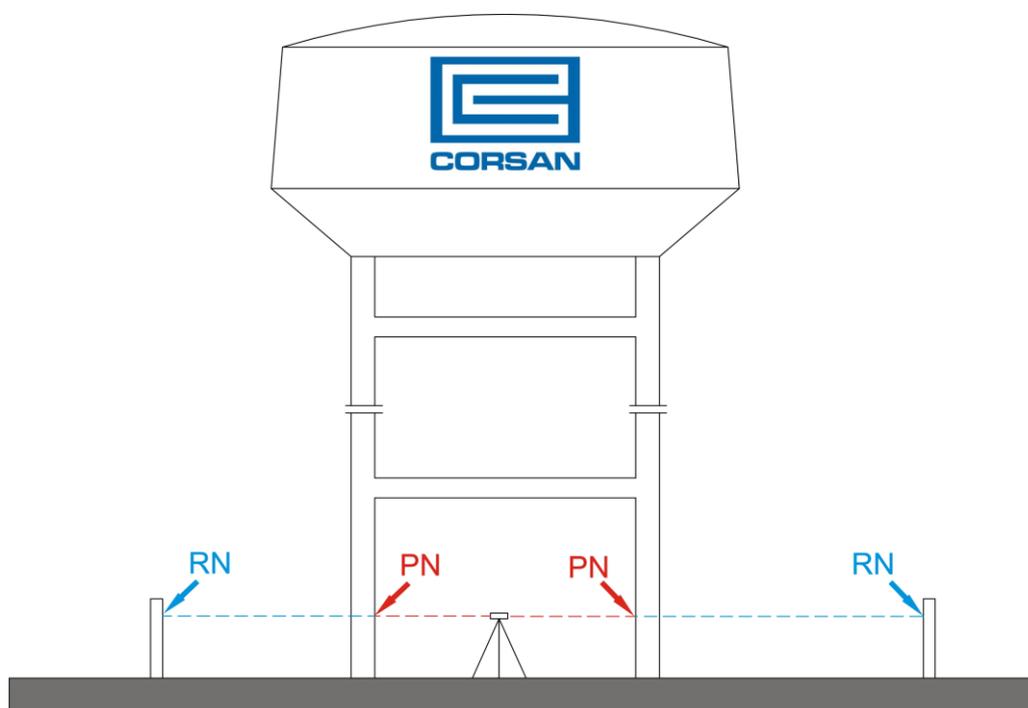


Fonte: CORRÊA (2012).

A metodologia adotada para o monitoramento dos recalques da estrutura foi projetada de maneira a dispensar a necessidade de um profissional auxiliar durante as leituras. Apenas o operador do Nível Ótico é necessário, o que reduz erros operacionais e custos.

O início das atividades ocorreu no dia 22 de julho de 2011, onde equipamento Nível Ótico foi instalado em três momentos distintos, sempre na mesma altura das Referências de Nível (RN). Em cada uma dessas instalações, as três referências de nível foram visadas para garantir que estivessem no mesmo plano horizontal. A partir disso, foram feitas as leituras nos Pontos de Nível (PN), nas régua fixadas nos pilares, realizando-se três leituras em cada RN e PN (Figura 24). Dessa maneira, ao fazer a leitura na régua do pilar, o valor do recalque correspondente era obtido no momento da visada com o equipamento. Esse procedimento tem uma duração aproximada de 1 hora e 30 minutos.

**Figura 24** - Croquis esquemático do monitoramento



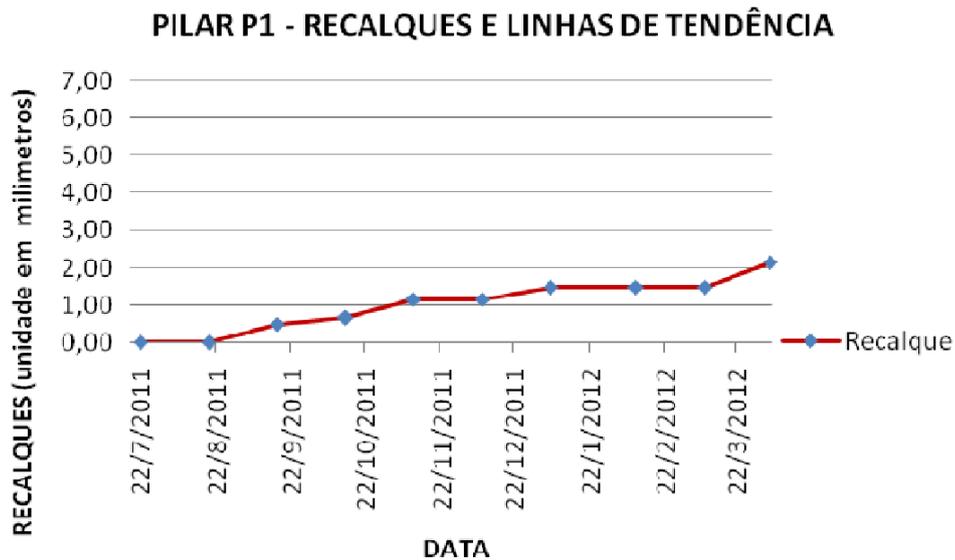
Fonte: CORRÊA (2012).

Foram realizadas leituras periódicas, durante dez meses, totalizando 10 séries de dados. As datas das leituras foram: 22 de julho de 2011; 19 de agosto de 2011; 16 de setembro de 2011; 14 de outubro de 2011; 11 de novembro de 2011; 09 de dezembro de 2011; 06 de janeiro de 2012; 10 de fevereiro de 2012; 09 de março de 2012; 04 de maio de 2012.

Para a análise dos dados coletados em campo, foram estabelecidos os seguintes parâmetros estatísticos relacionados às diferenças de nível calculadas em cada série de

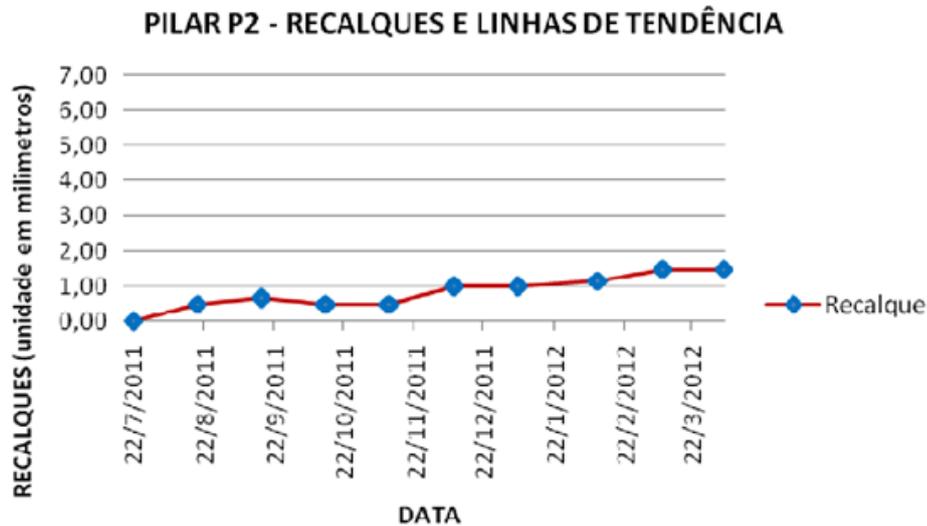
leituras: média dos recalques em cada pilar, calculada a partir das três leituras realizadas e velocidade dos recalques por pilar, expressa em micrômetros por dia. Esses parâmetros permitiram avaliar e quantificar as variações de nível ao longo do tempo em cada pilar, fornecendo informações importantes sobre o comportamento estrutural e o processo de recalque. Os dados processados permitiram a elaboração das Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32, as quais mostram as evoluções dos recalques nos pilares do reservatório.

**Figura 25** - Evolução dos recalques observados no pilar P1



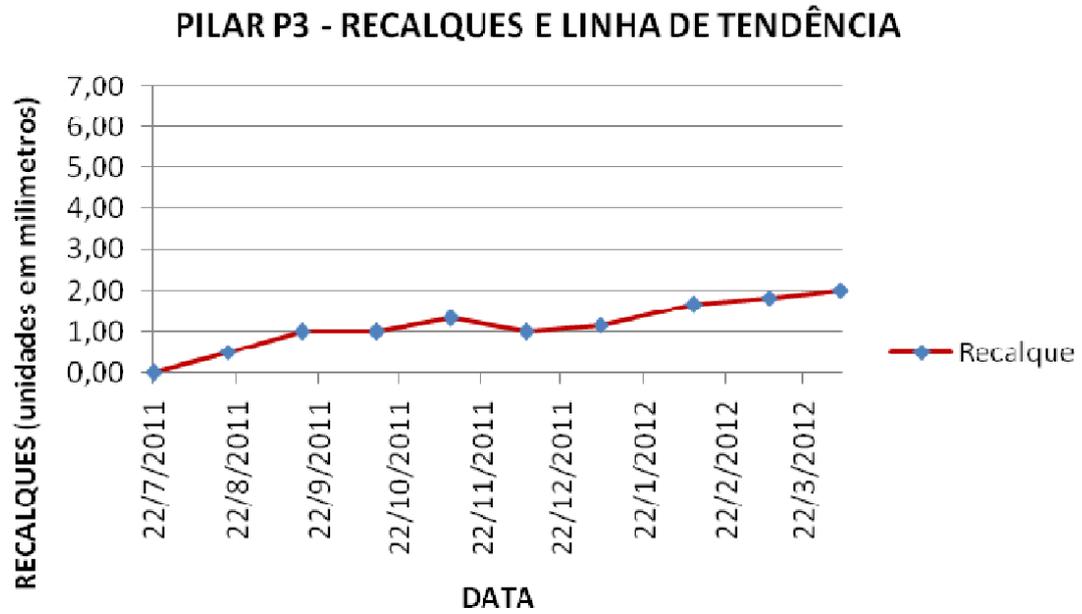
Fonte: CORRÊA (2012).

**Figura 26** - Evolução dos recalques observados no pilar P2



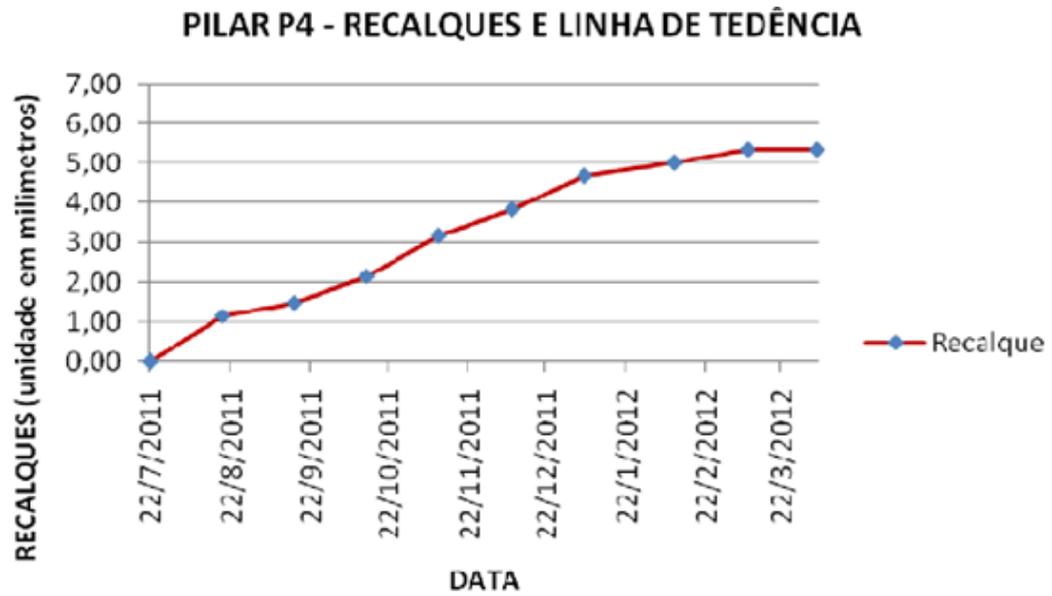
Fonte: CORRÊA (2012).

**Figura 27** - Evolução dos recalques observados no pilar P3



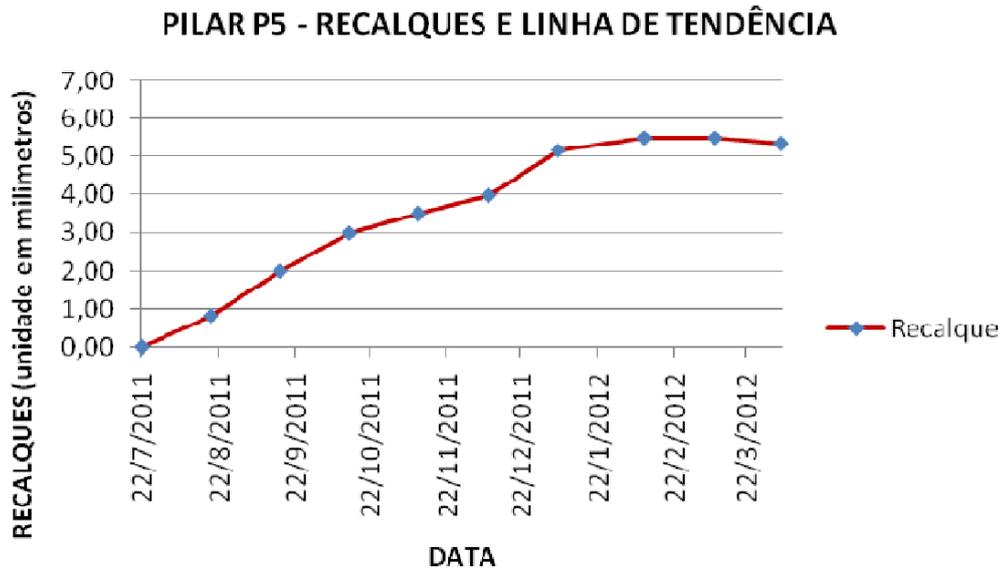
Fonte: CORRÊA (2012).

**Figura 28** - Evolução dos recalques observados no pilar P4



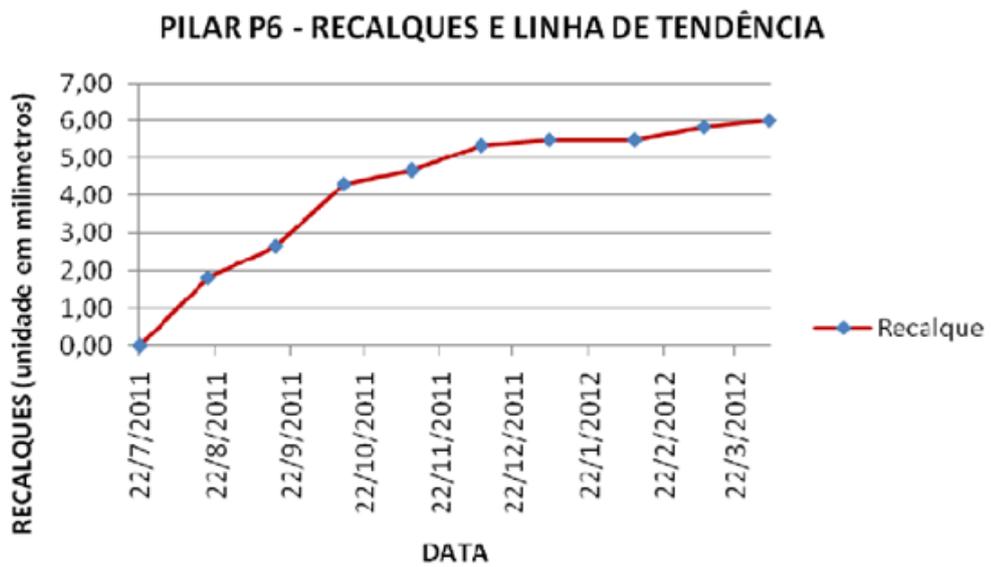
Fonte: CORRÊA (2012).

**Figura 29** - Evolução dos recalques observados no pilar P5

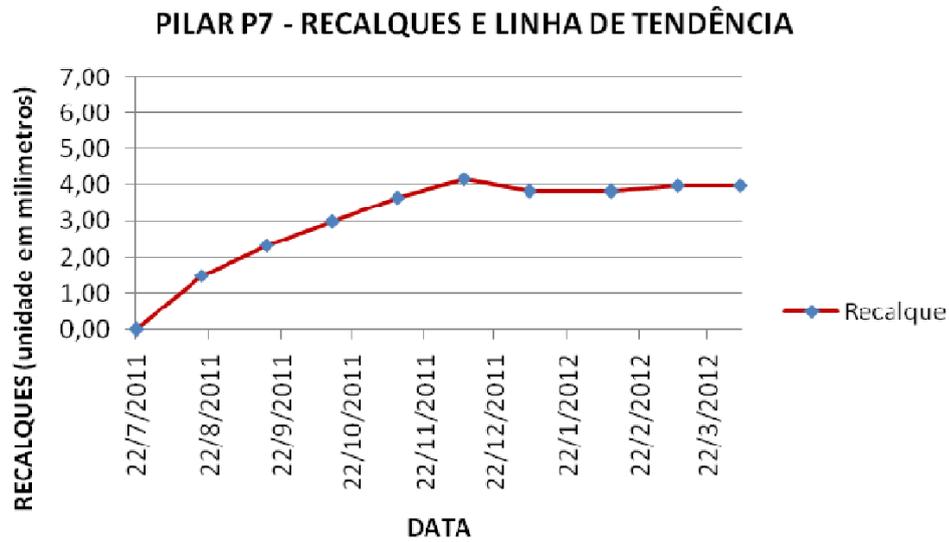


Fonte: CORRÊA (2012).

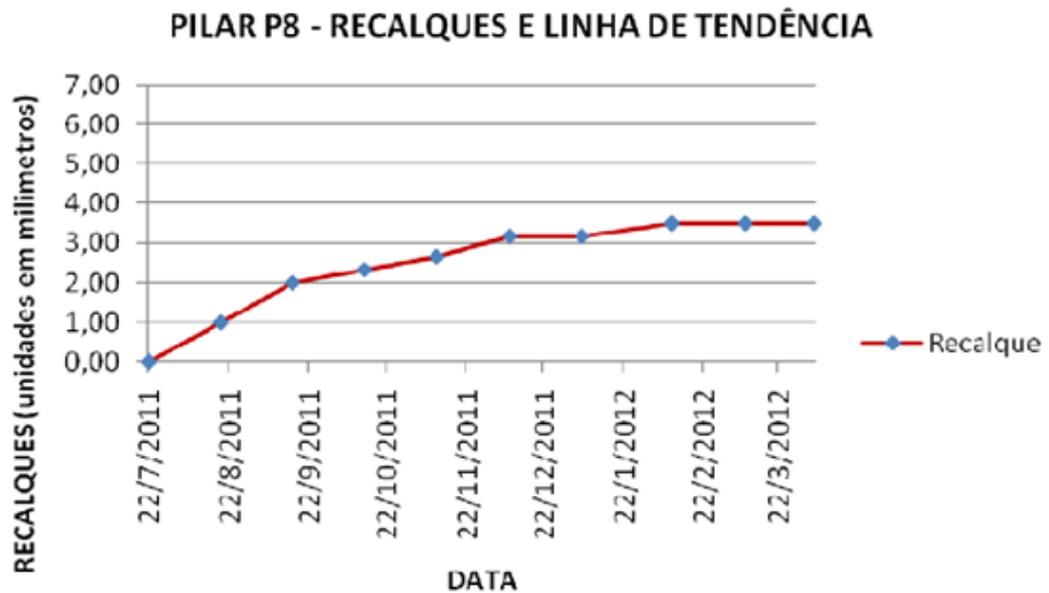
**Figura 30** - Evolução dos recalques observados no pilar P6



Fonte: CORRÊA (2012).

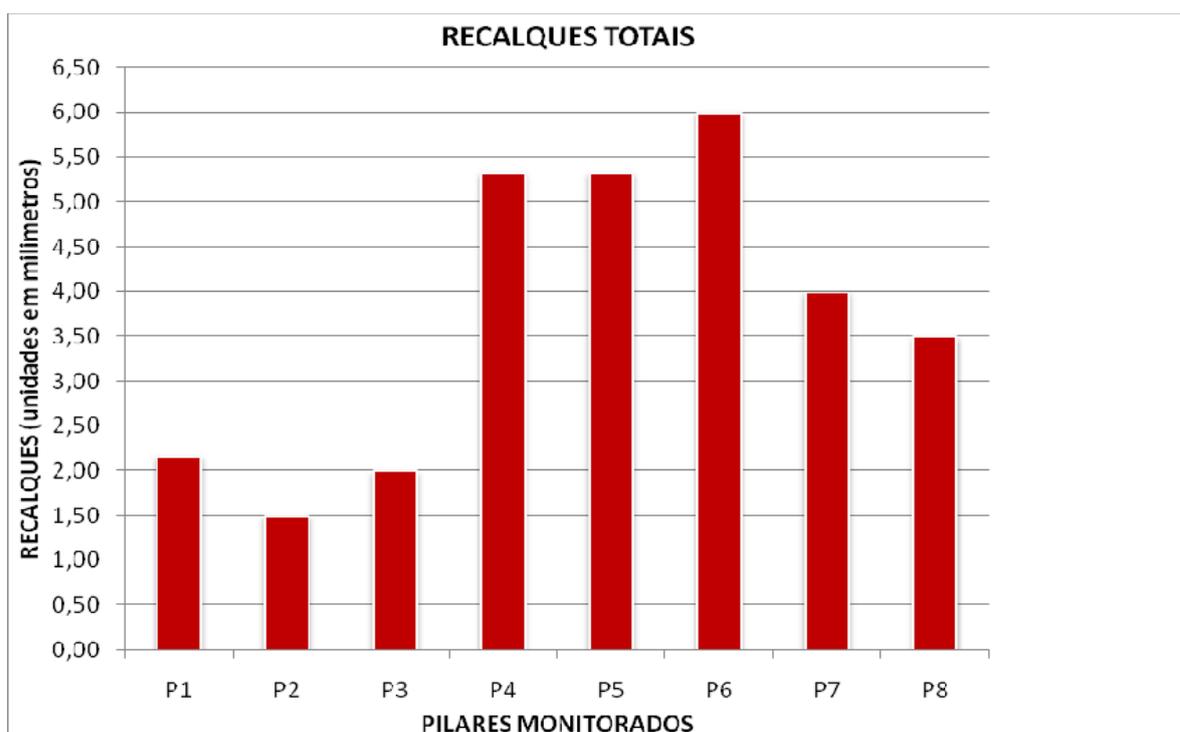
**Figura 31** - Evolução dos recalques observados no pilar P7

Fonte: CORRÊA (2012).

**Figura 32** - Evolução dos recalques observados no pilar P8

Fonte: CORRÊA (2012).

Ademais, com os dados do levantamento dos recalques, foi possível elaborar a Figura 33 com os valores de recalques totais até a décima série de leituras.

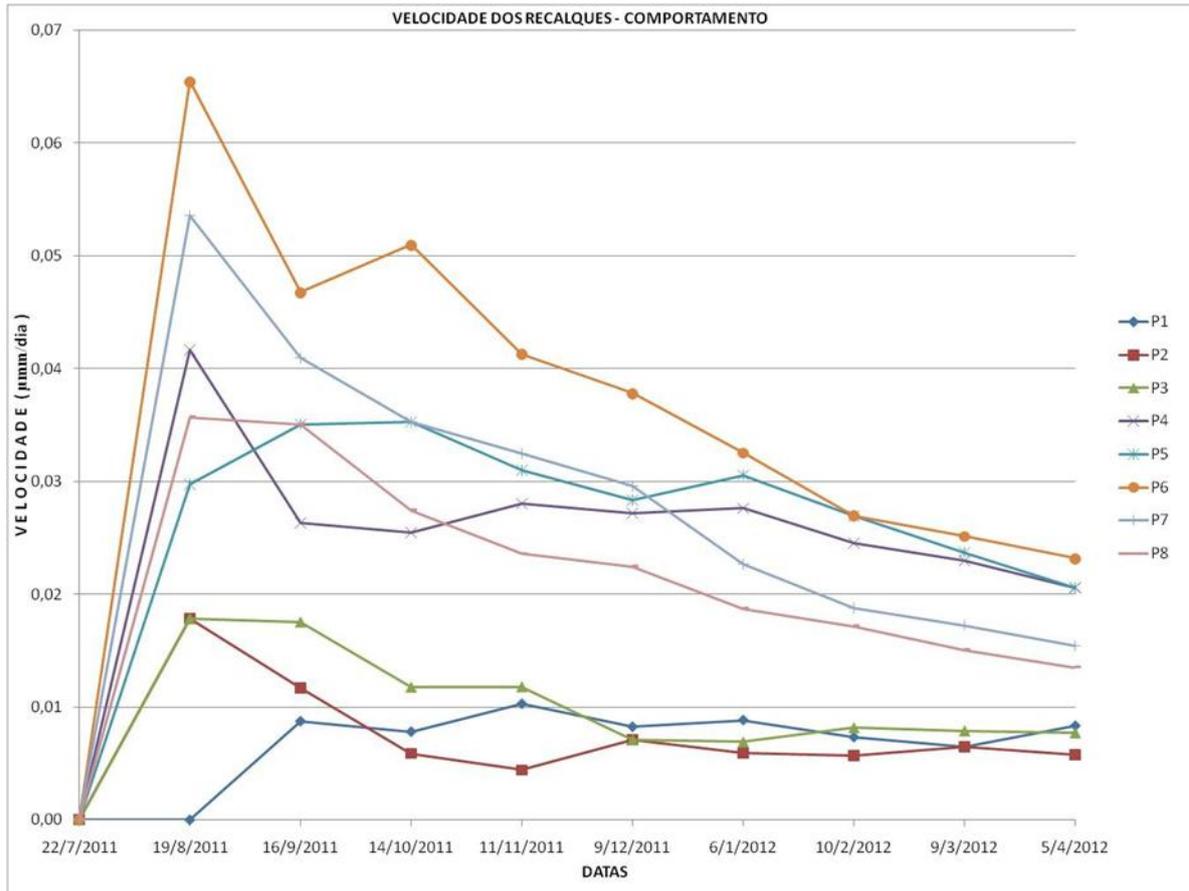
**Figura 33 - Recalques totais**

Fonte: CORRÊA (2012).

Uma vez que o levantamento dos recalques foi iniciado apenas em 22 de julho de 2011, não há registros da velocidade das deformações anteriores a essa data. Portanto, a determinação da velocidade de recalque teve início em 19 de agosto de 2012, conforme representado pelo gráfico apresentado na Figura 34. Essa data marca o ponto de partida para o cálculo da velocidade das deformações, permitindo a análise do comportamento ao longo do tempo. A partir desse momento, os dados coletados forneceram informações relevantes para a compreensão das variações e tendências dos recalques, possibilitando a identificação de padrões e a avaliação da estabilidade da estrutura.

É importante considerar que a ausência de valores anteriores à data de início do levantamento limita a obtenção de uma visão completa do comportamento desde o início da construção, a qual foi no início de 2010.

**Figura 34 - Velocidade de Recalque**



Fonte: CORRÊA (2012).

Ademais, é recomendável que o monitoramento seja realizado periodicamente, especialmente em casos em que a velocidade de recalque seja alta. Nesses casos, é aconselhável diminuir o intervalo entre as leituras, sendo essa determinação especificada pelo profissional responsável pelo monitoramento da estrutura (CORRÊA, 2012).

A velocidade de recalque é um parâmetro essencial para avaliar a estabilidade e a segurança de uma estrutura. Ao monitorar o recalque desde o início, é possível detectar variações significativas e acompanhar a evolução dessas deformações ao longo do tempo. Isso permite identificar possíveis anomalias e adotar medidas corretivas antes que elas se agravem.

O estudo feito por Corrêa (2012), ratifica a importância de monitoramento de recalque das obras, bem como traz técnicas de baixo custo e de simples aplicabilidade.

## 6 CONCLUSÃO

O monitoramento de recalque é uma prática essencial para garantir a segurança e estabilidade das estruturas em obras de edificação. O monitoramento adequado também desempenha um papel fundamental na otimização dos recursos, pois permite identificar eventuais problemas de projeto, execução ou utilização do edifício que possam causar deformações. Ao tomar conhecimento dessas questões, é possível realizar ajustes e melhorias para garantir o desempenho adequado da estrutura, evitando gastos desnecessários com reparos e manutenção corretiva.

Vale ressaltar que o monitoramento de recalque deve ser realizado desde a fase construtiva até a vida útil da edificação. Isso significa que as medições devem ser feitas durante todas as etapas do projeto, desde a fundação até a conclusão da obra, e continuar ao longo do tempo, permitindo avaliar a estabilidade da estrutura ao longo de sua vida útil. Ademais, as tarefas de interpretação, julgamento e implementação dos métodos devem ser realizadas por profissionais capacitados e não por meio exclusivo de computadores. Dessa forma, é possível obter uma maior segurança, confiabilidade e durabilidade das construções, garantindo a tranquilidade tanto para os usuários como para os responsáveis pela obra.

É importante reconhecer que todo trabalho possui suas limitações. No presente estudo, algumas limitações devem ser consideradas. Destacam-se a carência de estudos e aplicações práticas dos métodos de monitoramento menos tradicionais, os quais acabaram por impactar na caracterização dos métodos analisados. Portanto, é fundamental interpretar os resultados com cautela.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Projeto e execução de fundações: NBR-6122. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 2019.
- ALONSO, U. R. Previsão e Controle das Fundações. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.
- ALONSO, U.R. Previsão e controle das fundações. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2011.
- ANTUNES, C. ENGENHARIA GEOGRÁFICA LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS APONTAMENTOS DE TOPOGRAFIA. Lisboa, 1995 (Apostila).
- BARROS, R.A. Avaliação do comportamento de fundações em hélice através de medidas de recalques. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes.
- BERBERIAN, D. Engenharia de Fundações. 34. ed. Brasília: UnB, 2011.
- BORGES, L. U. N.; BUENO, N. M.; DOS SANTOS, P. R. A. Monitoramento de recalque em edificação utilizando nível ótico. 2011. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Goiânia.
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2015.
- CHAMECKI, S. (1954), Consideração da rigidez da estrutura no cálculo dos recalques da fundação. Anais I, COBRAMSEF, Vol. I, pp. 35-80, Porto Alegre.
- CORRÊA, C. P. Metodologia para controle de recalque em estruturas de concreto armado por meio de nivelamento de precisão. 2012. 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- CUNHA, H. L. R. *et al.* Controle de recalque durante a execução de edifícios no distrito federal. COBRAMSEG, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo horizonte, 9 a 13 set. 2014.
- DANZIGER, F. A. B.; DANZIGER, B. R. e CRISPEL, F. A., A medida dos recalques desde o início da construção como um controle de qualidade das fundações, in: Proceedings SEFE IV, vol.1, 191-202, São Paulo (2000).
- DE ARAÚJO, A. I. P. Geodésia aplicada aos estudos de verticalização de edifício predial de grande porte. 2013. 156f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- DUNNICLIFF, J. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. Copyright ©1988 by John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

ERBA, D.; UCHOA, C.; SOUZA, G.; VERONEZ, M.; FIGUEIREDO, L. e; BARCELOS, T. Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia. São Leopoldo – RS: Editora Unisinos, 2005. 211p.

FELIPE, A. L. da S. Topografia convencional na aferição de áreas obtidas por georreferenciamento e Google Earth. 2015. vii, 40 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/132115>>.

GEMIN, A. R. S.; MATOS, E. S. e; FAGGION, P. L. Investigações Preliminares do Processo de Calibração de Sistemas de Nivelamento Digitais utilizando Comparador Horizontal na UFPR. Revista Brasileira de Cartografia, 68(10), p. 2053-2062, 2016.

GONÇALVES, J. C. Avaliação da influência dos recalques das fundações na variação de carga dos pilares de um edifício. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 126p, 2004.

GOTLIEB, M. Reforço de fundações. In: AUTORES, V. Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 12.

ISE – INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS (1989). *Structure-soil interaction: The real behavior of structures*, London. *Apud* VELLOSO e LOPES (1997).

IWAMOTO, R. K. Alguns aspectos dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda. 2000. 140 f. Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2000.

KAHMEN, H.; FAIG, W.. Surveying. Berlin. Ed. De Gruyter. 1988. 578p.

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

PRELLWITZ, M. F. Monitoramento de recalques por fotogrametria usando o princípio dos vãos comunicantes. 2015. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos de Goytacazes.

REBELLO, Y. C. P. Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

REGINATO, V. C. da S.; ZIMMERMANN, C. C.;& ARAUJO; G. V. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC CENTRO TECNOLÓGICO-CTC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL-ECV APOSTILA DE TOPOGRAFIA II. Florianópolis, 2020. (Apostila).

SANTOS, W.J. & SEIXAS, A. 2021, 'Medições Geodésicas para Detecção de Movimentos em Terrenos Inclinados Susceptíveis a Recalques e Deslizamentos', Anuário do Instituto de Geociências, vol. 44: 37543. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_37543](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37543)

SILVA, E. de V. Monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica. 2017. 166f. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Campus Recife da UFPE, Recife.

SILVA, F. T., PIMENTEL, R. L., BARBOSA, N. P. (2003). Análise de patologias em estruturas de edificações da cidade de João Pessoa. 45º Congresso Brasileiro do Concreto.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. Topografia para Engenharia Teoria e Prática de Geomática. Rio de Janeiro – RJ: Editora Elsevier, 2015. 412p.

SOUZA, A. Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricos de medição. 2012. 163f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SOUZA, V. C. D.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. D. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: AUTORES, V. Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 7.

USACE– UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (1995). Engineering and Design - Instrumentation of Embankment Dams and Levees. Washington, EM 1110-2-1908, Department of the Army.

VELLOSO, D. A.; LOPES F. R. Fundações – Volume Completo. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.