

**MONITORAMENTO DE MOVIMENTOS HORIZONTAIS POR MEIO DA
TÉCNICA DE IRRADIAÇÃO TOPOGRÁFICA: ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO
CARMELITANO - MINHAS GERAIS -BRASIL**

Thiago Antônio Rosa Mendes¹
Jaqueline Vicente Matsuoka²
Emiliano Costa³
Vinicius Francisco Rofatto⁴
Marcelo Tomio Matsuoka⁵
João Batista Silva Neto⁶

RESUMO: Durante e principalmente após a construção de uma edificação a mesma sofre algumas deformações em função do calor, do frio, da acomodação do solo, entre outros. O monitoramento de tais deformações é extremamente relevante para evitar grandes desastres que podem afetar o meio ambiente e gerar a perda de inúmeras vidas. O monitoramento de estruturas utilizando técnicas geodésicas terrestres é muito utilizado na área da construção civil devido à alta precisão das medidas realizadas, trazendo assim confiabilidade para o trabalho. Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho é avaliar possíveis deslocamentos horizontais no Edifício Carmelitano em Monte Carmelo - MG). Três campanhas foram realizadas por meio da técnica de irradiação topográfica. As campanhas foram realizadas em dias diferentes com condições climáticas diversas. Dois prismas foram instalados no edifício, sendo um na fachada e outro na lateral. Pontos externos ao edifício, supostos fixos, foram medidos sem prisma com a finalidade de comparar com as coordenadas dos pontos do edifício. Isso permite também controlar uma eventual falta de calibração do equipamento ou detectar possíveis erros grosseiros. Por meio dos experimentos realizados e dos resultados obtidos, constatou-se que o equipamento utilizado atende as normas de precisão e confiabilidade e que a edificação não está sofrendo movimentos horizontais, visto que as variações entre uma campanha e outra não ultrapassaram 6 mm.

Palavras-chave: Monitoramento Geodésico, Deformação, Estação Total, Construção, Estrutura.

ABSTRACT: During and after the building stage any structural object movements or displacements in space and time. Generally, the movements and displacements are originated by thermal effects, soil accommodation or even by severe weather events. One of the main tasks in deformation monitoring is to investigate whether such displacements are significant or not.

1 - Graduando do curso de Engenharia Civil, Fundação Carmelitana Mário Palmério. Contato: thiagoarmendes@hotmail.com

2 - Docente do curso de Engenharia Civil - Fundação Carmelitana Mário Palmério - Av. Brasil Oeste, s/n, Jardim Zenith - Monte Carmelo, Fone: (34) 3842 - 5272. Contato: jaquematsuoka@gmail.com

3 - Docente do curso de Engenharia Civil - Fundação Carmelitana Mário Palmério - Av. Brasil Oeste, s/n, Jardim Zenith - Monte Carmelo, Fone: (34) 3842 - 5272. Contato: emilianoscosta@hotmail.com

4 - Docente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - Universidade Federal de Uberlândia - LMG-746, km 1 - Monte Carmelo-MG, Fone (34) 3810-1038.

5 - Docente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - Universidade Federal de Uberlândia - LMG-746, km 1 - Monte Carmelo-MG, Fone (34) 3810-1038. Contato: tomiomatsuoka@gmail.com

6 - Discente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - Universidade Federal de Uberlândia - LMG-746, km 1 - Monte Carmelo-MG, Fone (34) 3810-1038

If significant, appropriate and preventive measures shall be taken in order to avoid any damages to environment and people. In this study, a monitoring survey has been conducted in a edifice located at Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. The irradiation geodetic method by using total station has been used for such monitoring. Three campaigns were carried out which are taken on different days with different weather conditions. Two reflectors target points were installed on the edifice, being one on the side and other on the facade. In order to compare with the coordinates from the target points on the edifice, extra points, which are located at outside of the deformable body, were also measured without reflectors. By using extra points from outside of the edifice allows one to control any equipment calibration failure or even detect possible gross errors. It was verified that the method meets the standards of -precision and reliability and that the building is not suffering horizontal displacements, since the variations between one campaign and another have not exceeded 6 mm. Therefore, results from such work indicate the practicality of the geodetic method in displacements detection for civil engineering application.

Keywords: Geodetic monitoring, Deformations, Total Station, Construction, Structure.

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento de estruturas é uma técnica de fundamental importância para identificar movimentos 3D (três dimensões), 2D (duas dimensões) ou mesmo 1D (uma dimensão) em grandes edificações. Este controle pode evitar problemas decorrentes do grande peso das estruturas sobre o solo, um exemplo do caso 1D é o recalque que provoca trincas, rebaixamento e rachaduras nas estruturas (deformações verticais). A ação do vento, que pode deslocar a estrutura no sentido norte-sul e/ou leste-oeste, é um exemplo do caso 2D, que pode provocar deformações horizontais. Essas instabilidades podem ocorrer em barragens, represas, pontes, edifícios, viadutos, dentre outras construções não menos importantes que as citadas. Desta forma, a prática do monitoramento das edificações é de extrema importância para garantir estabilidade à estrutura. Tal processo pode ser realizado a fim de proporcionar segurança e controle das obras, quando utilizado equipamentos como a Estação Total ou o Nível (SANTOS, 2000).

Para validar a confiabilidade dos dados com equipamentos topográficos, os mesmos devem ser instalados em locais permanentes, isto é, em marcos materializado distante da estrutura a ser monitorada, garantindo total estabilidade ao equipamento, deste modo pode-se garantir que as coordenadas coletadas por tal aparelho permanecerão em uma rede de referência consistente, simplificando a detecção de movimento dos pontos monitorados (MIRANDA, 2007).

As estruturas edificadas estão sujeitas a movimentos distintos (horizontal e ou vertical), segundo os conceitos de Aguierre e Gemael (2001) o controle da variação das distâncias horizontais e desníveis verticais são obtidas com precisão milimétrica quando se faz o emprego da Estação Total.

Segundo os conceitos de Veiga e Faggion (2007) o monitoramento de deformações das estruturas edificadas utilizando técnicas topográficas é uma alternativa viável em relação aos equipamentos tradicionais (pêndulos e ou extensômetros), pois permitem a constatação dos movimentos estruturais de um modo geral. Tal monitoramento é realizado em análises temporais determinando as coordenadas X, Y e Z, sendo assim o mesmo ponto é rastreado em datas e em condições climáticas diferentes para realizar as devidas comparações e posteriormente avaliar se os dados coletados estão sofrendo variações.

É de grande relevância o monitoramento de grandes edificações, este processo pode prever com antecedência a ocorrência de deslocamentos que poderá afetar diretamente as estruturas com um todo. Caso confirmado à variação das coordenadas deverá ser realizado operações de manutenção e acompanhamento periódico da estrutura, esse processo de prevenção de certo modo irá resguardar vidas humanas, evitar desastres ambientais e perdas econômicas. Um exemplo atual é o rompimento da barragem de rejeito no município de Mariana/ MG que provocou várias mortes, impactos socioeconômicos e principalmente ambientais. Assim sendo, esse fato corrobora a grande importância do monitoramento estrutural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Monitoramento Geodésico

É evidente que grandes estruturas como prédios, barragens, pontes e dentre outras edificações se deformam com o passar do tempo. Com isso, há a necessidade de realizar o monitoramento estrutural para prevenir qualquer desastre que possa ocorrer. O monitoramento é um processo que pode evitar que estruturas armadas sejam responsáveis por desastres em casos de acidente.

O histórico do monitoramento estrutural realizado por metodologias geodésicas ocorre assunto. Chaves (2001) destacam o GNSS e a Estação Total como sendo duas técnicas mais poderosas utilizadas no monitoramento de estruturas.

Monitorar é acompanhar o comportamento de um objeto em escalas temporais. No caso particular do monitoramento geodésico, a análise é conduzida pela comparação das

coordenadas de um mesmo ponto em épocas diferentes. Deste modo, a partir de técnicas geodésicas podem-se determinar as variações das coordenadas de um objeto fornecendo parâmetros confiáveis para a tomada de decisões (MIRANDA, 2007). As variações que podem ocorrer nas estruturas são resultantes da ação de agentes externos às obras como, por exemplo, o vento, variações de temperatura, abalos sísmicos, cargas móveis, a própria carga da edificação, projetos executivos falhos e etc. Caso essas variáveis externas extrapolem o limite projetado podem provocar o colapso estrutural de qualquer obra (NEGRI, 2012).

As estruturas podem ser classificadas quanto aos movimentos estáticos ou dinâmicos. Os movimentos estáticos podem ser detectados em barragens, edifícios, etc. Já os movimentos dinâmicos são detectados em pontes, viadutos, torres de grande porte dentre outros. Mesmo que o projeto estrutural de um edifício seja projetado para suportar deformações e vibrações em um limite determinado, é de grande valia que haja o monitoramento dessas edificações para confirmar se os limites projetados correspondem com a realidade local (FAZAN, 2010).

O monitoramento geodésico aplicado às estruturas civis emprega métodos geodésicos, buscando observar movimentos relativos entre pontos com coordenadas distintas, para isto deve-se instalar um pino de centragem forçada na estrutura que se deseja monitorar e outro pino como referência localizado fora da área de influência da estrutura a ser analisada (NEVES, 2008).

Com todas as fontes de erros e os efeitos que interferem no sistema geodésico, ainda sim a Estação Total é uma técnica de grande eficiência, os benefícios devem ser levados em consideração em comparação com outros tipos de monitoramento.

A topografia, com sua tecnologia e metodologia colaboram para definir a posição espacial dos elementos estruturais, a partir de pontos de referência externos e independentes das estruturas, contribuindo assim com informações para o modelo de resposta das mesmas, (BUENO, 2007)

Apesar das vantagens em comparação a metodologia GNSS, podem-se destacar os seguintes aspectos que ainda deixam a desejar nos métodos topográficos:

há vários anos. No passado para obter as informações necessárias para este estudo utilizavam-se procedimentos como: a triangulação, trilateração e o nivelamento que apesar de serem técnicas eficazes eram métodos morosos (BUENO, 2007). Nas últimas décadas, o monitoramento estrutural vem crescendo significativamente com o auxílio de técnicas GNSS e topográficas. Fato este pode ser ratificado ao verificar as publicações relacionadas a este

1. As mensurações são muito localizadas e podem ser afetadas por perturbações locais, que não representam as deformações atuais;
2. Sendo as observáveis de caráter local, não conectadas geometricamente às demais medições em outros pontos de monitoração, a análise da tendência global das deformações de estruturas é mais difícil, a menos que os pontos observados sejam densamente espaçados, (BUENO, 2007).

Outro equipamento bastante difundido no monitoramento estrutural é o Nível Ótico que pode determinar com agilidade o recalque estrutural presente na edificação. O nível é um aparelho de grande importância quando combinado a outras técnicas, como o GNSS e a Estação Total. Apesar dos dois últimos serem equipamentos com excelência no monitoramento, o GNSS apresenta uma limitação no que diz respeito à altimetria. Por outro lado, a Estação Total é um equipamento que pode determinar com precisão as variações verticais e horizontais.

O monitoramento estrutural não se fundamenta em apenas coletar dados e posteriormente compará-los para analisar se houve um deslocamento na estrutura a partir da variação das coordenadas, é necessária a aplicação de um grande trabalho estatístico e de ajustamento nos conjuntos de dados coletados em distintas épocas. Os testes e metodologias estatísticas e de ajustamento irá proporcionar uma confiabilidade maior na coleção das informações levantadas em campo e em alguns casos a minimização de erros, e assim determinar se ocorreu ou não o deslocamento estrutural.

2.2 Rede absoluta (referência)

A rede absoluta consiste nos pontos de referência determinada distantes do corpo deformado, estes pontos irão determinar os deslocamentos absolutos dos pontos do objeto monitorado. A maior dificuldade em analisar geometricamente uma rede absoluta (ou uma rede de referência) é a identificação dos pontos que permanecem estáveis (CHAVES, 2001).

2.3 Rede relativa (objeto)

Na rede relativa os pontos estão no corpo da estrutura a ser monitorada, com a finalidade de identificar o modelo de deformação determinado pelas deformações, deslocamentos relativos do corpo rígido e pelos deslocamentos pontuais. A averiguação de

uma rede relativa depara-se com a determinação do modelo de deformação nos domínios espaciais e temporais (CHAVES, 2001).

2.4 Deslocamentos da geometria externa da estrutura

Quando há deslocamento em estruturas tem-se a presença de movimentos de translação ou rotação de um corpo rígido, esse movimento pode ser identificado por meio de um referencial fixo. Geralmente os deslocamentos das edificações podem ser decompostos em translações e rotações (CHAVES, 1994). Conforme Figura 1, apresentadas as variações da geometria externa da estrutura.

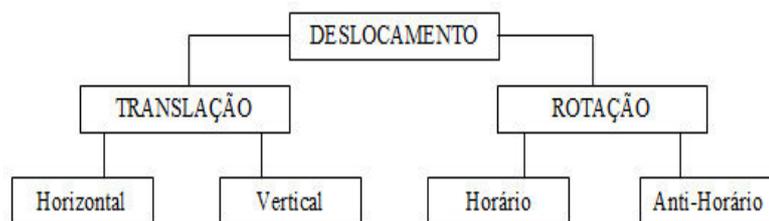


Figura 1- Deslocamentos.

Fonte: O autor (2018).

Segundo Bueno (2007), algumas variáveis que podem ocasionar o deslocamento nas estruturas, é:

- i. O próprio peso das edificações;
- ii. Variações climáticas;
- iii. Abalos sísmicos e dentre outros.

De acordo com as Figura 2 e Figura 3, tem-se a ideia de como o deslocamento poderá ocorrer em uma determinada edificação.

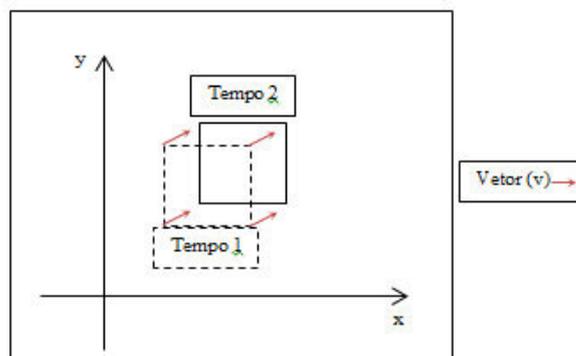


Figura 2: Deslocamentos entre tempos distintos.

Fonte: O autor (2018)

2.4 Deformações da geometria interna da estrutura

As deformações causam a alteração do formato inicial de um corpo sólido. É qualquer variação da configuração geométrica do corpo levando a alterações de suas dimensões originais devido a ações externas.

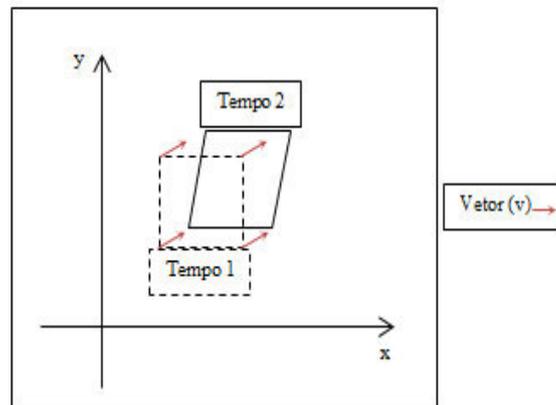


Figura 3- Deformações entre tempos distintos.
Fonte- O autor (2018).

De acordo com Chaves (1994) as deformações podem ser classificadas de acordo com suas dimensões, ou seja, em escala local, regional e global. Citadas a seguir:

- As deformações de natureza local ocorrem em estruturas artificiais como: área de mineração de carvão e petróleo;
- Deformações da crosta terrestre com proximidade aos limites de uma placa são de natureza regional;
- E por fim, a deformação global, que está relacionada ao movimento da crosta terrestre.

2.5 Estação Total

Uma Estação Total é constituída por um teodolito com um distanciômetro e um coletor de dados acoplados, podendo desta maneira medir e gravar ângulos e distâncias ao mesmo tempo.

Para a utilização de metodologias topográficas é necessário compreender as vantagens e desvantagens que este tipo de técnica proporciona aos levantamentos.

As técnicas geodésicas convencionais possuem características fundamentadas por observações diretas de distâncias, ângulos verticais e horizontais, direções horizontais e diferenças de altitudes. Tem como principais vantagens: fornecer o estado global de um corpo
GETEC, v.7, n.19, p.108-127 /2018

deformável; aquisição de dados de forma autônoma; possibilidade de monitoramento em ambientes fechados, como cavernas e minas. E como desvantagem esta técnica é morosa na coleta de observações, (MIRANDA, 2007).

Em um levantamento topográfico pode haver três erros básicos relacionados às condições climáticas, equipamentos e do operador. Por mais confiantes que sejam os aparelhos e por mais cuidado que o operador tome ao proceder a um levantamento topográfico, as medidas obtidas jamais estarão isentas de erros, (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2007). As fontes de erros poderão ser ambientais: causados por alterações nas condições ambientais, como o vento e temperatura; instrumentais: causados por problemas de ajuste do equipamento e pessoais: originados por falhas do operador, como falta de atenção ao executar uma medição e cansaço.

Todos os três erros citados anteriormente são mais conhecidos como: grosseiros, sistemáticos e aleatórios.

É importante lembrar que alguns erros se anulam durante a medição ou durante o processo de cálculo. Deste modo, um levantamento que visivelmente não apresenta erros, não significa estar necessariamente correto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Monte Carmelo é um município brasileiro do estado de Minas Gerais. Sua população estimada, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) em 2016, é de 48 096 habitantes. A principal atividade econômica da cidade é a produção de telhas, tijolos, artefatos cerâmicos e também é destaque na produção de curtume e de embalagens e ainda na produção de café. O trabalho consiste em realizar o monitoramento vertical e horizontal de uma estrutura edificada situada no município em questão. Segue na Figura 4, o mapa de localização com indicação do estado de Minas Gerais.

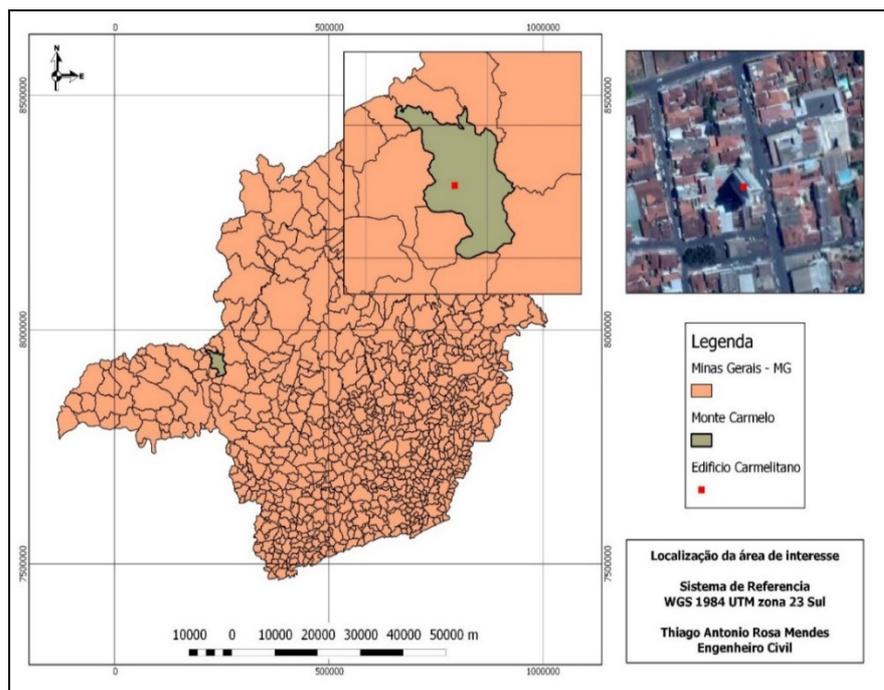


Figura 4- Mapa de localização da área de estudo.
Fonte- O autor (2018).

3.2 Objeto de estudo

O objeto de estudo é o Edifício Carmelitano, o qual localiza-se no centro da cidade de Monte Carmelo-MG, mais precisamente na Avenida João Pinheiro número 271 e possui 14 pavimentos como mostra a Figura 5.



Figura 5- Edifício Carmelitano.
Fonte- O autor (2018)

3.3 Levantamento

Após a escolha da edificação a ser monitorada foi necessário a demarcação de um ponto estático fora da área de estudo, tal ponto deve ser materializado com um prego ou marco.



Figura 6- Ponto estático da estação total.
Fonte- O autor (2018).

Essa materialização se faz necessária para que o responsável técnico possa sempre instalar o equipamento (Estação Total) no mesmo local minimizando assim os erros grosseiros, já que o acompanhamento da movimentação (horizontal e vertical) da estrutura deverá ser realizado preferencialmente em horários distintos (levando em consideração as variações de posicionamento devido às condições climáticas) por um período de dias a ser determinado. Esse procedimento garante dados suficientes para realizar as análises do movimento horizontal e vertical.

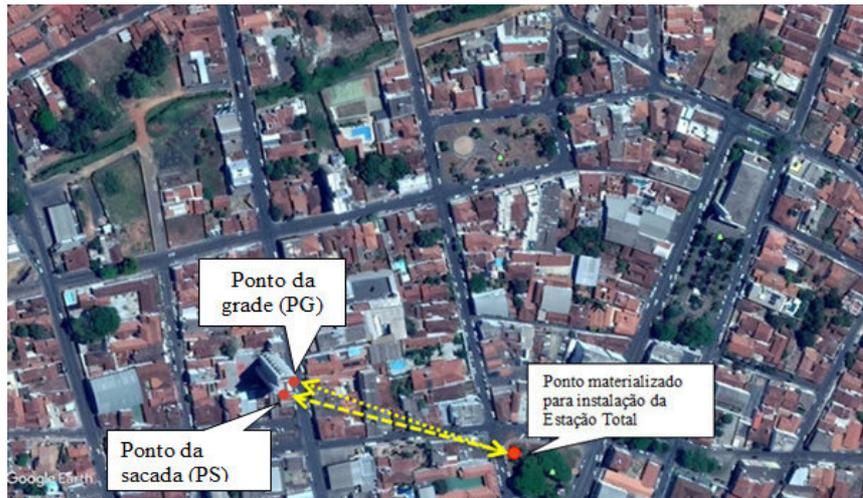


Figura 7- Vista aérea dos pontos fixos.
Fonte- Adaptada do Google Earth, 2018.

Posteriormente a escolha dos pontos de instalação da Estação Total se faz necessário anexar dois prismas refletores de sinal.



Figura 8- Localização do ponto estático da estação total e prismas.
Fonte- O autor (2018).

Tais prismas devem ser fixados na parte superior da estrutura e que possa ser visível ao ponto de instalação da Estação Total, a materialização desses dois pontos fixos nos proporciona informações para a análise de movimentação da estrutura, e ao mesmo tempo nos fornecem um estado global de deformação do objeto de estudo, Figura 9.

Monitoramento de movimentos horizontais

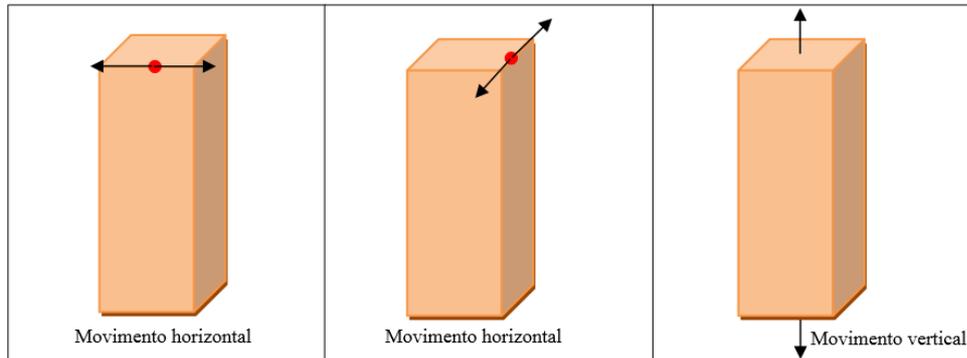


Figura 9- Tipos de movimentos estruturais.
Fonte- O autor (2018).

Com os pontos fixos indicados e o refletor fixado na parte superior da estrutura, a rede de trabalho já se encontra planejada. Dessa forma, o passo a seguir é a realização de leitura por um período a determinar. A princípio as leituras deverão ser coletadas em dias distintos e nas mais variadas condições climáticas correspondendo assim em uma média de cinco leituras por dia de levantamento. Lembra-se que quanto maior a redundância de informações melhor para que a média final seja mais próxima do valor correto.

3.4 Equipamentos utilizados

A Estação Total Ruide 822A utiliza em simultâneo, um feixe laser invisível para medição de distâncias e um feixe laser visível, para identificar o ponto de medição. O laser visível pode ser facilmente ativado ou desativado conforme necessário. O laser é uma ajuda efetiva para o nivelamento correto durante a instalação e identificar o ponto de medição sem prisma.

Para a realização do trabalho foram necessários o emprego de alguns equipamentos relacionados a topografia. São eles:

- ✓ Estação Total Ruide: A Estação Total Ruide RTS 822, possui duplo características: precisão angular de 2" atendendo a norma DIN 18723, alcance com 1 prisma de até 2.000 metros (m), precisão linear de 2mm + 2ppm e prumo óptico, teclado e display, realizando medições angulares e lineares. Com as seguintes
- ✓ Tripé de estação: este acessório é utilizado para estacionar e nivelar o equipamento de medição.

- ✓ Mini prismas: são refletores de sinais eletrônicos enviados pela Estação Total possibilitando a medição eletrônica da distância entre a Estação e o ponto de interesse, de maneira bastante precisa.
- ✓ Acessórios gerais: piquetes de madeira para materialização dos pontos tomados como apoio, trena para medição da altura do equipamento.

3.5 Deslocamentos limites

Segundo a (NBR6118/2004), deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura.

São classificados nos quatro grupos básicos a seguir relacionados:

- a) aceitabilidade sensorial: caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. A limitação da flecha para prevenir essas vibrações, em situações especiais de utilização.
- b) efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- c) efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;
- d) efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.

A NBR6118/2004 limita os valores de deslocamento limite em elementos estruturais para movimento lateral provocado pela ação do vento de $H/1700$, conforme Tabela 1:

Tabela 1- Limites de deslocamentos.

| Tipo de Efeito | Razão da Limitação | Exemplo | Deslocamento a considerar | Deslocamento Limite |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Aceitabilidade Sensorial | Visual | Deslocamentos visíveis em elementos estruturais | Total | $l/250$ |
| | Outro | Vibrações sentidas no piso | Devido a cargas acidentais | $l/350$ |
| Efeitos estruturais em serviço | Superfícies que devem drenar água | Coberturas e varandas | Total | $l/250^a$ |
| | Pavimentos que devem permanecer plano | Ginásios e pistas de boliche | Total | $l/350$ +contraflecha ^b |
| | Elementos que suportam equipamentos sensíveis | Laboratórios | Ocorrido após nivelamento do equipamento | De acordo com a recomendação do fabricante do equipamento |
| Efeitos em elementos não estruturais | Paredes | Alvenaria, caixilhos e revestimentos. | Após a construção da parede | $l/500^e$ 10 mm e $\theta=0,0017$ rad ^d |
| | | Divisórias leves e caixilhos telescópicos | Ocorrido após a instalação da divisória | $l/250^e$ e 25 mm |
| | | Movimento lateral de edifícios | Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi=0,30$) | H/1700 e H/850 ^e entre pavimentos |
| | | Movimentos térmicos verticais | Provocado por diferença de temperatura | $l/400^g$ e 15 mm |

Fonte- ABNT (2004)

As estruturas de concreto devem ser projetadas de modo a manter sua segurança, estabilidade e aptidão perante as solicitações que sofrerá durante o seu período de projeto. Desta forma, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem em uma estrutura sejam limitados de forma a garantir a qualidade da obra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Medições das campanhas realizadas

Para o monitoramento estrutural do edifício as leituras das campanhas foram feitas em datas distintas, em diferentes horários e condições climáticas.

As campanhas de leituras do monitoramento da estrutura foram realizadas nas seguintes datas e horários de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Datas das leituras de campo.

| Data | Horário | Temperatura |
|-------------|----------------------|--------------------|
| 27/09/2018 | 15h30min às 18h18min | Ti=36°C e Tf=32°C |
| 28/09/2018 | 17h25min às 18h26min | Ti=33°C e Tf=28°C |
| 29/09/2018 | 06h28min às 11h32min | Ti=26°C e Tf=32°C |

Fonte- O autor (2018).

No dia 27/09/2018 foi realizada a primeira campanha com oito determinações de posições planimétricas conforme dados da Tabela 3.

Tabela 3- Determinações de posições planimétricas.

| Ponto da Sacada (PS) | | Ponto da Grade (PG) | |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
| 1197,868238 | 978,755015 | 1199,135615 | 961,225326 |
| 1197,872199 | 978,763808 | 1199,139197 | 961,230641 |
| 1197,870433 | 978,75672 | 1199,137202 | 961,223013 |
| 1197,872508 | 978,766686 | 1199,137348 | 961,228997 |
| 1197,869405 | 978,761197 | 1199,139406 | 961,229097 |
| 1197,872199 | 978,763808 | 1199,1395 | 961,22958 |
| 1197,869525 | 978,767006 | 1199,140951 | 961,231803 |
| 1197,871274 | 978,769244 | 1199,136764 | 961,22861 |

Fonte- O autor (2018).

Monitoramento de movimentos horizontais

No dia 28/09/2018 foi realizada a segunda campanha com quatro determinações de posições planimétricas conforme dados da Tabela 4

Tabela 4- Determinações de posições planimétricas.

| Ponto da Sacada (PS) | | Ponto da Grade (PG) | |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
| 1197,871823 | 978,769671 | 1199,142194 | 961,235569 |
| 1197,866148 | 978,768339 | 1199,133119 | 961,230822 |
| 1197,865754 | 978,769351 | 1199,134665 | 961,233527 |
| 1197,864605 | 978,768019 | 1199,134821 | 961,226483 |

Fonte- O autor (2018).

No dia 29/09/2018 foi realizada a terceira campanha com quinze determinações de posições planimétricas.

Tabela 5- Determinações de posições planimétricas.

| Ponto da Sacada (PS) | | Ponto da Grade (PG) | |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
| 1197,870314 | 978,764981 | 1199,139176 | 961,23315 |
| 1197,871805 | 978,764821 | 1199,139573 | 961,232572 |
| 1197,869765 | 978,764555 | 1199,139458 | 961,234598 |
| 1197,869731 | 978,768925 | 1199,139834 | 961,236529 |
| 1197,869422 | 978,766047 | 1199,137703 | 961,233437 |
| 1197,872765 | 978,769084 | 1199,140763 | 961,230837 |
| 1197,871959 | 978,76626 | 1199,140742 | 961,233346 |
| 1197,872696 | 978,763755 | 1199,140836 | 961,233829 |
| 1197,873794 | 978,764607 | 1199,142496 | 961,234508 |
| 1197,873245 | 978,764181 | 1199,142423 | 961,231516 |
| 1197,872217 | 978,768658 | 1199,13974 | 961,236047 |
| 1197,871445 | 978,761463 | 1199,140366 | 961,231415 |
| 1197,872765 | 978,769084 | 1199,140648 | 961,232864 |
| 1197,872902 | 978,765673 | 1199,139949 | 961,234503 |
| 1197,873571 | 978,771909 | 1199,141609 | 961,235182 |

Fonte- O autor (2018).

4.2 Cálculos de desvio padrão e média aritmética

Totalizando três campanhas e vinte e sete determinações de coordenadas planimétricas dos pontos sacada e grade, após análise dos dados coletados foram calculados o desvio padrão e a média.

Tabela 6 - Desvio Padrão e Média para os pontos observados na campanha

| 1.Ponto da Sacada (PS) | | | | Ponto da Grade (PG) | | | |
|------------------------|---------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|
| DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | | DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | |
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | | X (m) | Y (m) |
| 0,001571 | 0.00502 | 1197,871 | 978,7629 | 0,001779 | 0,002862 | 1199,138 | 961,2284 |

Tabela 7- Desvio Padrão e Média para os pontos observados na campanha 2.

| Ponto da Sacada (PS) | | | | Ponto da Grade (PG) | | | |
|----------------------|---------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|
| DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | | DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | |
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
| 0,003227 | 0,00079 | 1197,867 | 978,7688 | 0,004069 | 0,003927 | 1199,136 | 961,2316 |

Tabela 8- Desvio Padrão e Média para os pontos observados na campanha 3.

| Ponto da Sacada (PS) | | | | Ponto da Grade (PG) | | | |
|----------------------|---------|----------|----------|---------------------|----------|---------|----------|
| DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | | DESVIO PADRÃO | | MÉDIA | |
| X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) |
| 0,001453 | 0,00273 | 1197,872 | 978,7663 | 0,001246 | 0,001656 | 1199,14 | 961,2336 |

4.3 Avaliações de deslocamentos

4.3.1 Deslocamentos obtidos nas campanhas

Com base nos dados das tabelas 6, 7, e 8 foram gerados os gráficos mostrados nas Figuras 14 e 15.

No gráfico da Figura 14, tem-se a representação das coordenadas planimétricas para as três campanhas realizadas para a medição do ponto localizado na sacada do prédio, assim como suas respectivas médias. As variações observadas para tais medições entre uma campanha e outra foram extremamente satisfatórias, sendo encontrado o valor mínimo de variação de 3,53 mm entre a segunda e a terceira campanha e o máximo de 6,94 mm entre primeira e a segunda campanha.

Monitoramento de movimentos horizontais

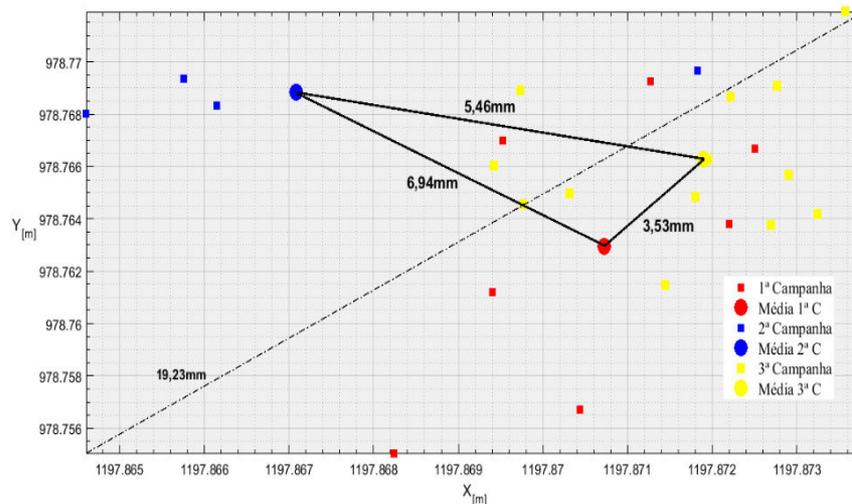


Figura 10- Ponto da sacada.
Fonte- O autor (2018).

O mesmo procedimento foi aplicado para gerar o gráfico mostrado na Figura 15, onde também se tem a representação das coordenadas planimétricas para as três campanhas realizadas para a medição do ponto agora localizado na grade do prédio, assim como suas respectivas médias. As variações observadas para as medições entre uma campanha e outra também se apresentaram extremamente satisfatórias, sendo encontrados o valor mínimo de variação de 3,81mm entre a primeira e a segunda campanha e o máximo de 5,65mm entre primeira e a terceira campanha.

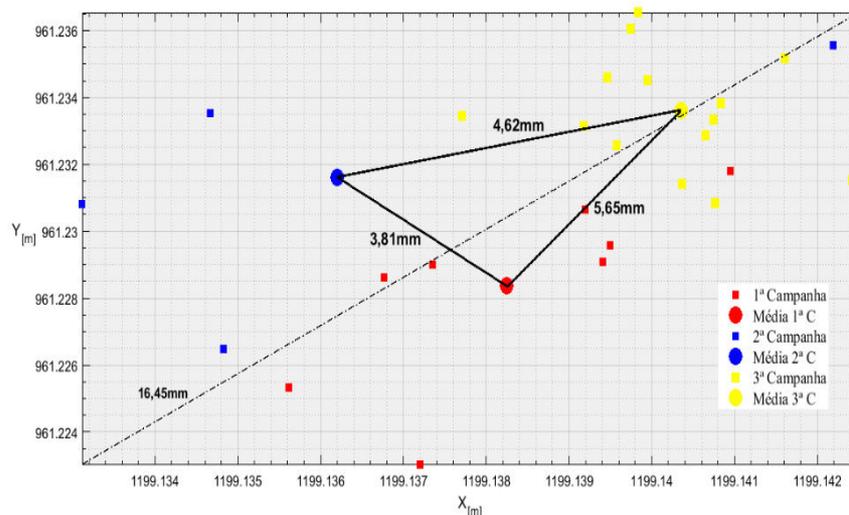


Figura 11- Ponto da grade.
Fonte- O autor (2018).

4.3.2 Deslocamento calculado segundo a NBR 6118.

Para o cálculo dos deslocamentos a Figura 16 mostra o esquema da edificação a ser analisada e fórmula a ser utilizada nos cálculos.

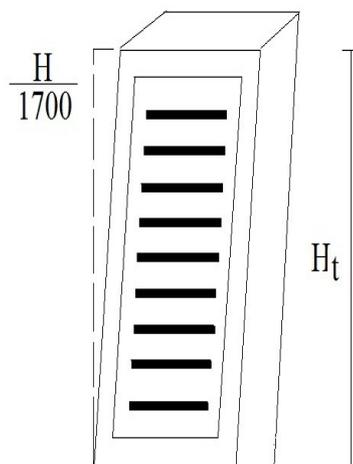


Figura 12- Limitações dos deslocamentos.
Fonte- O autor (2018).

Segue abaixo dados da edificação analisada para cálculo de deslocamento, onde:

H= altura total do edifício (45 metros)

$\frac{H}{1700} = \frac{45}{1700} = 0,0264705882352941$ metros, ou seja, temos um deslocamento de 2,64 centímetros considerando movimento lateral máximo provocado pela ação do vento. (NBR 6118,2004)

4.3.3 Comparação de deslocamentos obtidos e deslocamentos limites

Calculando a média entre as campanhas obteve-se um valor de 5,31 milímetros para o ponto da sacada e 4,69 milímetros para o ponto da grade, considerando o valor encontrado de 2,64 centímetros segundo cálculos da norma NBR 6118, indica que o deslocamento encontrado está dentro dos padrões estabelecidos pela norma, não oferecendo danos nenhum à estrutura.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar uma metodologia eficaz para monitoramento estrutural, aplicando técnicas de topografia e avaliando sua eficiência com o uso de uma estação total em que os valores das medições são obtidos de forma direta, utilizando o método de levantamento planimétrico por irradiação.

Assim, como já era esperada a estabilidade desta edificação, conclui-se que o método utilizado é de grande confiabilidade, podendo ser aplicado também à outros tipos de estruturas, monitorando-as desde o início da construção, podendo de forma prática constatar qualquer tipo de movimentação (recalque) na estrutura evitando até um possível colapso estrutural.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que sejam coletados dados em intervalos de tempo maiores, em estações do ano diferentes, com diferentes níveis de pressão atmosférica, para que seja possível realizar essas análises em mudanças climáticas maiores.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, P.A.; GEMAEL, C.; Análise de Deslocamento em uma Mina a Céu Aberto. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº. 53, p. 92-96, dezembro 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: (Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.)** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 13133:** Execução de Levantamentos Topográficos. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 22 de set, 2015.

_____. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.fp.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/NBR6122.pdf>>. Acesso em: 24 fev, 2016.

BUENO, R. F.; **Monitoração, por GPS, de deslocamentos em estruturas com carga dinâmica.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p. 212. 2007.

CALDAS, F. L. Análise de deformação da rede geodésica GNSS/SP com base na teoria da elasticidade. 94p. Presidente Prudente: [s.n], 2014.

CHAVES, J. C. **Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos.** São Carlos. 155p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

NADAL, C. A. **Nivelamento geométrico.** Setor de ciências da terra - Departamento de Geomática - Universidade Federal Do Paraná.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. Fundamentos de topografia. 2007.