

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAIO FERREIRA DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO DINÂMICO DE PRÉDIOS ALTOS UTILIZANDO ESTAÇÃO
TOTAL**

GUARAPUAVA

2022

CAIO FERREIRA DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO DINÂMICO DE PRÉDIOS ALTOS UTILIZANDO ESTAÇÃO
TOTAL**

DYNAMIC MONITORING OF TALL BUILDINGS USING TOTAL STATION

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. MSc. Carlos Francisco Pecapedra Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo de Miranda Saleme Gidrão.

GUARAPUAVA

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CAIO FERREIRA DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO DINÂMICO DE PRÉDIOS ALTOS UTILIZANDO ESTAÇÃO
TOTAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 16/dezembro/2022

Carlos Francisco Pecapedra Souza
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo de Miranda Saleme Gidrão
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rúbia Mara Bosse
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Laura Silvestro
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Cássio e Edilane, e ao meu irmão, Gustavo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter abençoado toda a minha trajetória até aqui.

Agradeço também aos meus pais, Cássio Anício de Oliveira e Edilane Gomes Ferreira de Oliveira, por sempre me apoiarem e me darem força para continuar correndo atrás dos meus sonhos.

Agradeço ao meu irmão, Gustavo Ferreira de Oliveira, por estar sempre comigo e sempre me apoiando na busca dos meus objetivos.

Agradeço aos meus amigos, por sempre me acolherem e nunca deixarem de acreditar em mim e na minha capacidade durante todo esse caminho e por nunca duvidarem da realização dos meus sonhos.

Aos professores, Carlos Francisco Pecapedra Souza e Gustavo de Miranda Saleme Gidrão, por me ajudarem e orientarem no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à professora Bianca, por ter me auxiliado na correção do meu trabalho e ao Otávio, por ter me ajudado no manuseio da estação total.

Serei eternamente grato a todos que, de certa forma, apesar dos altos e baixos, me ajudaram e estiveram comigo até o final.

Toda ação humana, quer se torne positiva ou negativa, precisa depender de motivação.
Daila Lama.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a validação do uso da Estação para fins de monitoramento estrutural, criando, assim, uma nova metodologia para análise estrutural de edificações altas. Para isso, foi realizado um estudo teórico a respeito das normas brasileiras que tratam de estruturas de concreto armado e da ação do vento em edificações, tais como ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 6123:1988, além da busca por bibliografias que tratem do uso da estação total em diversas áreas, bem como a busca por diferentes metodologias de monitoramento estrutural. Em seguida, foi conduzido um monitoramento dinâmico, com o equipamento citado anteriormente, do edifício Residencial Cidade dos Lagos, situado na cidade de Guarapuava-PR. Por meio da análise dinâmica, foi encontrada uma relação de deslocamento por tempo para cada coordenada, e posteriormente calculado sua resultante, obtendo, assim, um deslocamento lateral máximo de 4,15 milímetros, o qual está contido nos valores limites permitidos pela norma pertinente, que é de 41,6 milímetros. Por fim, a realização deste trabalho permitiu validar o uso da Estação Total para fins de monitoramento estrutural, devido a sua alta precisão, alta versatilidade e praticidade.

Palavras-chave: análise dinâmica; deslocamento; estação total; monitoramento estrutural.

ABSTRACT

This work aims to validate the use of the Total Station for structural monitoring purposes, thus creating a new methodology for the structural analysis of tall buildings. For this, a theoretical study was carried out regarding the Brazilian standards that deal with reinforced concrete structures and the action of wind in buildings, such as ABNT NBR 6118:2014 and ABNT NBR 6123:1988, in addition to the search for bibliographies that deal with the use of the total station in several areas, as well as the search for different structural monitoring methodologies. Then, a dynamic monitoring was carried out, with the previously mentioned equipment, of the Residencial Cidade dos Lagos building, located in the city of Guarapuava-PR. Through dynamic analysis, a displacement ratio per time was found for each coordinate, and its resultant was subsequently calculated, thus obtaining a maximum lateral displacement of 4.15 millimeters, which is contained within the limit values allowed by the relevant standard, which is 41.6 millimeters. Finally, carrying out this work allowed validating the use of the Total Station for structural monitoring purposes, due to its high precision, high versatility and practicality.

Keywords: dynamic analysis; displacement; total station; structural monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Análise da ação do vento através do túnel de vento.	16
Figura 2 - Estação total com acessórios.....	24
Figura 3 - Bairro Cidade dos Lagos.....	26
Figura 4 - Posicionamento da estação total para leitura.	27
Figura 5 - Posicionamento do norte de referência da estação total.	28
Figura 6 - Fixação do prisma no topo do edifício.....	28
Figura 7 - Norte de referência em relação ao prédio.....	30
Figura 8 - Norte geográfico em relação ao prédio.....	30
Figura 9 - Localização do edifício nos eixos de coordenadas.	31
Gráfico 1 – Comportamento estrutural do prédio no eixo X (Smoothing).....	33
Gráfico 2 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo X.	34
Gráfico 3 - Características dos deslocamentos no eixo X.....	35
Gráfico 4 - Comportamento estrutural do prédio no eixo Y (Smoothing).	36
Gráfico 5 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo Y.	36
Gráfico 6 - Características dos deslocamentos no eixo Y.....	38
Gráfico 7 - Comportamento estrutural do prédio no eixo Z (Smoothing).....	39
Gráfico 8 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo Z.....	39
Gráfico 9 - Características dos deslocamentos no eixo Z.....	40
Gráfico 10 - Comportamento estrutural resultante do prédio (Smoothing).	42
Gráfico 11 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural resultante do prédio.....	42
Gráfico 12 - Características dos deslocamentos resultantes.....	43
Quadro 1 - Limite para deslocamento.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características climáticas no dia da medição (01/09/2022).	30
Tabela 2 - Coordenadas do prédio.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
m/s	Metros por segundo

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Altura do Residencial Cidade dos Lagos
D_i	Deslocamentos
C_i	Coordenadas
Δ_c	Média das coordenadas
D_{ri}	Deslocamentos resultants
D_{ix}	Deslocamentos no eixo X
D_{iy}	Deslocamentos no eixo Y
D_{iz}	Deslocamentos no eixo Z

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Ação do Vento	15
2.1.1	Vento Estático	16
<u>2.1.1.1</u>	<u>Determinação dos efeitos de vizinhança</u>	<u>16</u>
2.1.1.1.1	<i>Desprendimento cadenciado de vórtices</i>	17
2.1.1.1.2	<i>Efeitos de golpe</i>	17
2.1.1.1.3	<i>Galope</i>	17
2.1.1.1.4	<i>Drapejamento</i>	18
2.1.1.1.5	<i>Energia contida na turbulência atmosférica</i>	18
2.1.2	Vento Dinâmico	18
2.2	Monitoramento	19
2.2.1	Duração	19
2.2.2	Instrumentação	20
2.2.3	Principais grandezas	21
<u>2.2.3.1</u>	<u>Deslocamentos</u>	<u>21</u>
<u>2.2.3.2</u>	<u>Deformações específicas</u>	<u>21</u>
<u>2.2.3.3</u>	<u>Carregamentos</u>	<u>22</u>
<u>2.2.3.4</u>	<u>Parâmetros dinâmicos</u>	<u>22</u>
<u>2.2.3.5</u>	<u>Medidas de ambiente</u>	<u>22</u>
2.2.4	Sistema de aquisição de dados	23
2.3	Funcionamento da Estação Total	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Revisão de artigos	25
3.2	Proposta para o trabalho experimental	25
3.3	Sistema estrutural	25
3.4	Ensaio preliminar	26
3.5	Ensaio na estrutura real	27
3.6	Estudo de caso	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33

5	CONCLUSÃO	45
5.1	Recomendações para trabalhos futuros	45
6	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Guarapuava, localizada no centro-sul do estado do Paraná, possui uma área de 168,087 km² e uma população de 183.755 habitantes, de acordo com os dados do IBGE (2021). De acordo com os dados da ACIG (2022), a cidade teve um aumento de quase 90% de todo o seu PIB nos últimos 5 anos. Além disso, segundo Uedes Motta (2020), no cenário atual, Guarapuava se destaca com um crescimento significativo de produção e comercialização, ocupando o 10º lugar no ranking de economias paranaenses, o que ocasionou um aumento do número de edificações, tanto comerciais quanto residenciais. Com isso, a procura pela otimização orçamentária durante a fase de execução de uma obra faz com que seja cada vez mais comum a construção de edifícios altos. A fim de valorizar o preço do metro quadrado da terra, o surgimento de cidades com grande número de prédios de vários pavimentos se torna-se uma solução contemporânea difundida como características do próprio capital imobiliário.

Por estar situada a 1.120 metros acima do nível do mar, os ventos na cidade de Guarapuava, localizada no terceiro planalto do estado do Paraná, se tornaram componentes importantes na caracterização da cidade. Portanto, devido ao aumento do número de edificações altas somadas às grandes intensidades de ventos no município, as ações horizontais atuantes nessas estruturas começam a se tornar um problema estrutural que necessitam do devido monitoramento e análise.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas de concreto armado devem oferecer segurança, estabilidade e aptidão às solicitações que elas são impostas durante toda a sua vida útil. Porém, todo tipo de estrutura, sejam pontes, casas, prédios ou até mesmo monumentos, estão sujeitos a ações que podem vir a lhe causar danos a curto ou a longo prazo. Como forma de evitar e prevenir que tais falhas possam acontecer, o monitoramento do comportamento estrutural é necessário, justificando a importância deste estudo. “Sempre que ocorrer algum evento inesperado, como acidentes e vendavais, a estrutura deverá passar por uma inspeção extraordinária para verificar possíveis danos”, Luís (2022). O constante acompanhamento dessas edificações garante a possibilidade de aplicação de reforços na estrutura (se necessário), detecção de falhas no estágio inicial e economia de tempo e dinheiro.

O edifício Residencial Cidade dos Lagos, localizado na cidade de Guarapuava, foi escolhido para análise e monitoramento dos deslocamentos devido à ação do vento, em virtude da sua posição geográfica. O edifício é composto por 21 pavimentos e situa-se em uma região que compreende intensos ventos na maior parte do ano. O trabalho buscou, então, analisar a viabilidade da utilização do equipamento Estação Total disponível na UTFPR, como instrumento que permite realizar os monitoramentos dinâmicos de edifícios altos.

Assim, este trabalho apresenta como escopo a necessidade de explorar diferentes metodologias voltadas ao monitoramento estrutural, a fim de melhorar a precisão nas análises estruturais, além de aumentar a gama de ferramentas utilizadas para essa finalidade.

1.1 Objetivos

Os objetivos geral e específico deste trabalho estão apresentados nos próximos itens.

1.1.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade do uso da Estação Total para fins de monitoramentos estruturais de edifícios altos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Computar o deslocamento horizontal do Residencial Cidade dos Lagos utilizando a Estação Total;
- Comparar os resultados obtidos com aos valores limites estabelecidos pela NBR 6118:2014;
- Ampliar metodologias para monitoramentos estruturais;
- Verificar a precisão da Estação Total para fins de monitoramento dinâmico em edifícios altos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ação do Vento

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), as ações são descritas como “causas que provocam esforços ou deformações em estruturas [...]”. Segundo Park (2008), as solicitações laterais em edifícios podem ser causadas por ventos, sismos, desaprumo de pilares ou irregularidades nas fundações. No presente trabalho, o agente a ser estudado será a atuação do vento, a qual se dá de forma aleatória, incidindo em todas as direções horizontais da estrutura, perpendicularmente ao plano vertical (SILVA, 2015).

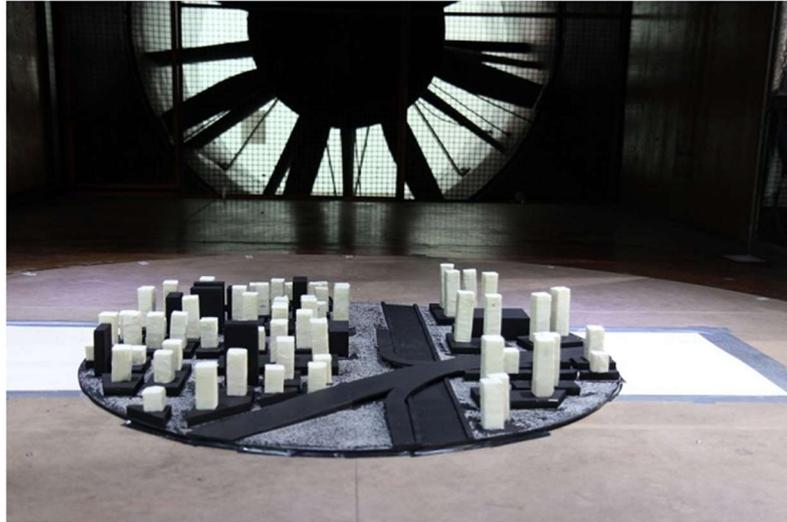
Estas ações provocam instabilidade lateral em edificações altas (construções com vários andares, construção verticalizada), para as quais sua estabilidade é julgada pelo seu deslocamento horizontal e o nível de aceleração horizontal.

O excesso de deslocamentos horizontais é responsável por danos estruturais e não estruturais nos prédios, já o excessivo nível de aceleração horizontal pode causar desconfortos de formas visíveis aos ocupantes. Paiva et al (2015) afirmam em seus estudos que os carregamentos do vento são responsáveis por inúmeros acidentes estruturais, devido à grande dificuldade em determinar essas solicitações naturais que incidem nas edificações. Por esses motivos, foram feitos diversos estudos introduzindo métodos que facilitam e viabilizam o monitoramento dinâmico de prédios.

Na execução de um projeto estrutural, o vento é analisado como um perfil de velocidade que atinge um edifício. Suas características e efeitos são caracterizados pela sua velocidade, geometria da construção e pelas proteções causadas pelo terreno ao redor. O ambiente é um grande influenciador sobre a intensidade da carga do vento sobre a edificação, e sua precisão só poderá ser considerada se houver dados experimentais de testes em túneis de movimentação de ar (ABNT, NBR 6123:1988). Também, de acordo com Elsharawy et al. (2012), os edifícios pequenos,

(construções horizontais) também podem sofrer influências significativas da ação do vento, por causa de sua geometria plana e posicionamento de suas colunas, podendo causar forças de torção na estrutura espacial.

Figura 1 - Análise da ação do vento através do túnel de vento.



Fonte: Ebanataw (2020)

2.1.1 Vento Estático

Quando o tempo de duração da rajada for muito maior que o período de duração da estrutura, o vento pode ser considerado uma carga estática. A NBR 6123:1988 (ABNT, p. 4) define que a força que o vento efetua sobre um edifício parcialmente executado depende do método e da sequência construtiva do próprio edifício. Devido a esse fator, a velocidade característica máxima do vento não ocorrerá em um curto período de tempo, e por isso, recomenda-se a verificação de segurança da estrutura parcialmente executada. Portanto, a verificação poderá ser feita utilizando uma velocidade característica menor.

2.1.1.1 Determinação dos efeitos de vizinhança

A vizinhança e o ambiente no entorno da edificação são fatores que influenciam na ação do vento incidente no edifício. A NBR 6123:1988 (ABNT, p. 58) afirma que não é possível indicar valores numéricos para os efeitos de vizinhança de forma genérica e normativa.

Devido a isso, a NBR 6123:1988 afirma que estes efeitos podem ser determinados através de ensaios em túnel de vento (Figura 1), em que se reproduz

as condições de vizinhança e as características do vento natural que possam influenciar nos resultados.

No geral, as vibrações podem ser geradas pelas seguintes causas abordadas abaixo, relacionadas às condições do entorno.

2.1.1.1.1 Desprendimento cadenciado de vórtices

“A energia dos vórtices e a correlação espacial de seus desprendimentos são influenciadas, entre outros fatores, pela oscilação da estrutura ou elemento estrutural e pelas características da turbulência do vento.”. (ABNT, NBR 6123:1988, p. 59).

Ainda de acordo com a NBR 6123:1988 (ABNT, p. 59), tanto os efeitos da estrutura quanto do elemento estrutural aumentam com a diminuição da turbulência do vento e amortecimento estrutural. Além disso, a velocidade crítica do vento é a velocidade necessária para que a frequência de desprendimento de um par de vórtices possa coincidir com as frequências naturais da estrutura ou elemento estrutural.

2.1.1.1.2 Efeitos de golpe

“Estes efeitos podem ser consideráveis, tanto em edificações leves e esbeltas, como em edifícios de grande altura e esbeltez” (ABNT, NBR 6123:1988, p. 59). De acordo com Blessmann (1998, p. 129), uma estrutura que esteja situada a sota-vento, ou seja, lado contrário de onde incide o vento, de diversos obstáculos, tanto naturais como artificiais, se encontrará imersa na esteira gerada por elas, podendo sofrer efeitos dinâmicos causados pelas turbulências. As turbulências situadas nesta região são semelhantes às existentes em vento natural, porém com um conjunto bastante grande de frequências e dimensões de redemoinhos.

2.1.1.1.3 Galope

“O efeito denominado galope é devido a forças determinadas pelo movimento da edificação e por sua forma.”. (ABNT, NBR 6123:1988, p. 59). Ainda de acordo com a NBR 6123:1988 (ABNT, p. 59), ao ser excedida uma certa velocidade do vento é que aparece o galope, produzindo com isso oscilações transversais à direção do vento. As oscilações aumentam conforme a velocidade do vento. Edificações esbeltas, leves e flexíveis estão dispostas ao efeito galope.

2.1.1.1.4 *Drapejamento*

De acordo com a NBR 6123:1988 (ABNT, p. 59), o drapejamento é comum em estruturas esbeltas, tais como um prédio alto e esbelto. O efeito dinâmico envolve dois ou mais graus de liberdade da estrutura. Segundo Blessmann (1998, p. 214), o drapejamento é produzido pela interação de um modo de torção com uma de flexão.

2.1.1.1.5 *Energia contida na turbulência atmosférica*

Como citado na NBR 6123:1988 (ABNT, p. 59), as características de admitância mecânica, ou seja, a medida que representa a facilidade com que um meio conduz corrente alternada, da estrutura fazem com que a energia cinética contida nas rajadas de vento origine uma oscilação não desprezível da edificação, mesmo que as rajadas de vento se constituam como um fenômeno aleatório.

2.1.2 Vento Dinâmico

O Anexo H da NBR 6123:1988 (ABNT, p. 59) relata que certas edificações esbeltas e flexíveis podem apresentar comportamento profundamente dinâmico, ao serem expostas à ventos. Este comportamento nem sempre depende apenas das dimensões ou formas das construções, mas também do tipo de material empregado na estrutura. Ainda de acordo com o mesmo anexo, a velocidade do vento mais desfavorável à edificação nem sempre é a velocidade máxima prevista para o vento. Torna-se então necessário estudar a estabilidade, por via matemática e/ou experimental, de um conjunto bastante extenso de velocidades do vento.

Devido a esse fator, Blessmann (1998, p. 114) afirma que é impossível encontrar uma condição explícita a respeito das considerações dos efeitos dinâmicos do vento. Ainda alega que, uma maneira aceitável é efetuar o cálculo dos esforços do vento considerando e desconsiderando os efeitos dinâmicos e, através disso, verificar a diferença percentual entre os resultados obtidos. Na prática, o engenheiro estrutural considera uma margem de erro para saber se a estrutura pode ser dimensionada apenas com as cargas estáticas do vento ou se também deve leva-las em consideração pela abordagem dinâmica.

Em seu livro, Blessman (1998, p. 114) recomendada que seja feito ensaios em túnel de vento para os casos em que há perturbações importantes no escoamento, causadas pelas dimensões e/ou forma da estrutura, e também quando há

perturbações notáveis causadas pelos obstáculos vizinhos. O ensaio no túnel de vento permite determinar desde cargas de vento nas edificações até dar apoio na elaboração de planos diretores e planejamento de uma cidade. Nestes ensaios são simuladas as principais características do vento natural nos locais da construção. O modelo em escala reduzida deverá apresentar características elásticas, permitindo a determinação da resposta dinâmica da estrutura às rajadas. Também deverá reproduzir os obstáculos vizinhos existentes.

2.2 Monitoramento

O monitoramento estrutural surgiu com o propósito de compreender e ajustar os resultados e saídas de dados de modelos analíticos e numéricos desenvolvidos. (ANDRADE, 2012). Andrade (2012) citou em seu trabalho algumas justificativas que levam à necessidade do monitoramento estrutural, dentre eles se destacam:

- **Desenvolvimento tecnológico:** Segundo Assis (2007), sempre que surgem possibilidades de aperfeiçoamento e melhorias nos critérios e técnicas de execução, há a necessidade do monitoramento estrutural.
- **Desgaste:** De acordo com Andrade (2012), quando há risco de segurança aos usuários, se faz necessário o monitoramento do ponto crítico da estrutura, além da avaliação de suas condições.
- **Manutenção e Acompanhamento:** Para que se possa detectar anomalias a tempo de repará-las, permitindo implementações de ações mais eficientes de manutenção e reparo, garantir a integridade da estrutura e manutenção de sua vida útil, além da economia em relação à recuperação estrutural desnecessária, deve ser realizado o monitoramento estrutural. (ANDRADE, 2012).

Andrade (2012) dissertou, também, sobre as etapas e as distinções entre os tipos de monitoramento, que seguem até a obtenção, análise e tratamento dos dados finais, as quais serão tratadas a seguir.

2.2.1 Duração

Durante as medições das deformações, rotações e translações de uma estrutura, as técnicas de medições devem ser diferenciadas entre longa e curta duração. Monitoramento de curta duração, é aquele no qual as alterações na

geometria estrutural podem ser monitoradas num período de horas e dias; além disso, as transformações estruturais de curta duração geralmente são causadas por mudanças nas cargas permanentes da estrutura, cargas acidentais e carregamentos do vento. Já a de longa duração pode ser monitorada num período de meses e anos, além disso, suas transformações estruturais são causadas por mudanças de temperatura, efeitos de influência e retração, ou até mesmo interação solo-estrutura. (ASSIS, 2007).

2.2.2 Instrumentação

Farley (2005) relata que a credibilidade de um monitoramento não depende somente de seu planejamento como um todo, mas também da contribuição individual de cada sensor de medição. Apesar de toda a etapa envolvendo a instrumentação ser instruída pelos fabricantes dos equipamentos, vale-se considerar os seguintes aspectos:

- Faixa de medição: O conjunto de valores da variável medida deve ser pré-determinada de acordo com a análise estrutural, considerando as cargas que atuam na estrutura.
- Comprimento de medição: Para obter uma média confiável de deformação específica em regiões onde se concentra as tensões, deve-se determinar o comprimento a ser medido com base na distribuição dos esforços locais. É recomendado, para concretos armado e protendido, valores na ordem de 20 cm.
- Rigidez: É necessário considerar se a rigidez da estrutura monitorada é maior ou menor do que a rigidez do sensor utilizado. Caso a estrutura possua uma rigidez maior que a do sensor, a obtenção dos dados pode ser afetada.
- Acoplamento: A precisão e qualidade da medição dependem de como o equipamento será posicionado em relação à estrutura.
- Instalação interna: A instalação interna será necessária para medições de longa duração, na qual o sensor deverá ser inserido dentro da estrutura analisada.

- Defeito de fabricação: É necessário considerar a possibilidade, ao instalar os medidores, do mau-funcionamento e falha de leitura, derivados de defeitos na fabricação do equipamento.
- Recalibração: Para que o processo de aquisição de sinais não seja afetado pela possível retirada de um sensor para calibração, é importante se ater que muitos equipamentos precisam ser recalibrados periodicamente, geralmente anualmente.
- Desempenho a longo prazo: É recomendado que seja feita a validação, junto aos fornecedores dos equipamentos, a respeito do tempo de vida útil de cada componente a ser usado no plano de monitoramento.

2.2.3 Principais grandezas

As grandezas a serem monitoradas dependerão diretamente dos objetivos da medição, podendo ser a análise de um problema existente, levantamento do comportamento estrutural ou um monitoramento a fim de evitar problemas futuros. (ANDRADE, 2012).

2.2.3.1 Deslocamentos

Bergmeister e Rostam (2003) definem duas abordagens a serem feitas em uma medição, sendo elas a abordagem do material que compõe a estrutura e a abordagem a partir do próprio ponto de vista estrutural. Na abordagem do material estrutural, o monitoramento é direcionado às propriedades locais do material utilizado, quando submetidos a carregamento diretos e indiretos. Já na abordagem sob o ponto de vista estrutural, a estrutura é analisada a partir de sua geometria.

Assis (2007) define que o deslocamento nada mais é do que a transformação da geometria de uma estrutura, que geralmente ocorre por incidência de cargas, resultando na mudança de posição, medida a partir de um referencial fixo.

2.2.3.2 Deformações específicas

Segundo Bergmeister e Santa (2001), ao sofrer mudanças em sua forma devido à ação de agentes diretos (ventos e tráfegos) ou indiretos (fissurações e variação de temperatura), uma estrutura é considerada deformada. Tem-se na deformação uma variação relativa de comprimento em uma dada direção da

superfície, ou no interior da peça. É atribuída à deformação o estado interno de tração ou compressão do material, conferindo uma resposta ao carregamento sofrido em um ponto.

2.2.3.3 Carregamentos

Como citado anteriormente, o vento é um dos maiores contribuintes para as solicitações laterais em prédios altos. (PARK, 2008). Com isso, devido ao caráter basicamente aleatório, as ações do vento impõem ciclos de variações de tensão em estruturas esbeltas. Dependendo da geometria da estrutura adotada, estas variações cíclicas de variação de tensão fazem com que se desencadeiem fadigas estruturais. (PAULI, 2016).

Dessa maneira, é necessário que se tenha o conhecimento dos diferentes tipos de escoamentos atmosféricos predominantes na região, e o estudo do comportamento estrutural diante dessas situações. Com vistas a esse fim, existem *softwares* de cálculos e simulações de escoamentos atmosféricos pertinentes, os quais permitem fazer uma estimativa das características do vento na região de estudo. Porém, em territórios com uma natureza complexa, o escoamento atmosférico existente possui características divergentes com as obtidas através dos *softwares*. (JERVELL, 2008), necessitando de um estudo específico.

2.2.3.4 Parâmetros dinâmicos

Segundo Andrade (2012), as respostas dinâmicas de uma estrutura submetida a vibrações do ambiente podem ser avaliadas por diferentes métodos, podendo ser medidas deformações, forças em ponto de interesse ou movimentos. O equipamento mais usual para esse tipo de monitoramento é o acelerômetro, dispositivo transdutor constituído de massa, mola e amortecedor, o qual produz sinais proporcionais à sua aceleração.

2.2.3.5 Medidas de ambiente

A variação de temperatura estimula esforços de retração estrutural e dilatação estrutural, provenientes das propriedades dos componentes do material, podendo acelerar o processo de dano e comprometimento do seu comportamento, reduzindo sua vida útil (NORRIS, SAAFI e ROMINE, 2008).

Devido a isso, o monitoramento desses esforços se faz necessário, visando um melhor conhecimento do comportamento estrutural diante das ações ambientais. (DEL GROSSO, INAUDI, *et al.*, 2001).

2.2.4 Sistema de aquisição de dados

Andrade (2012) cita que compreender um sistema que engloba o processo de coleta de dados de vários sensores, sua conversão e transferência, garante um eficiente programa de monitoramento estrutural.

2.3 Funcionamento da Estação Total

A área da topografia conta com tecnologias de alta precisão e eficiência, a fim de otimizar tarefas. Devido a isso, a estação total se tornou uma de suas bases de serviços. (CPE Tecnologia, 2018).

Ainda de acordo com CPE Tecnologia (2018), a estação total é um equipamento eletrônico capaz de medir ângulos verticais e horizontais, além de distâncias lineares, oferecendo medidas altimétricas e planimétricas do terreno. Ou seja, foi criada com o intuito de automatizar o processo de medições topográficas.

Além de otimizar o trabalho e aumentar a qualidade do serviço, a estação total gera redução de custos no processo, devido à sua precisão, à sua capacidade de poder ser usada tanto em lugares abertos quanto em lugares fechados, não sendo necessário investir em ferramentas para cada local, e também pelo seu processamento de dados ser reduzido, uma quando comparado com os modelos de receptores de GNSS. (CPE Tecnologia, 2018).

Segundo Oliveira Saraiva (2016), a estação total pode ser definida como um equipamento topográfico que tem como finalidade mensurar as distâncias lineares, além dos ângulos verticais e horizontais. Sua precisão angular é de 2 a 5 segundos de arco e de 0,1 mm a cada 100 m. Devido a isso, é bastante utilizada em diversas áreas, tais como: dimensionamento e estudos de terrenos, coleta de dados para elaboração de mapas de declividade, perfis longitudinais e curvas níveis.

Ainda de acordo com Oliveira Saraiva (2016), para que possa ser feita uma leitura com a Estação Total, é preciso ajustar o foco da luneta e mirar no prisma, a estação dispara um *laser*, o qual irá realizar a leitura das distâncias e ângulos necessários. Além disso, a própria estação faz o armazenamento destes dados.

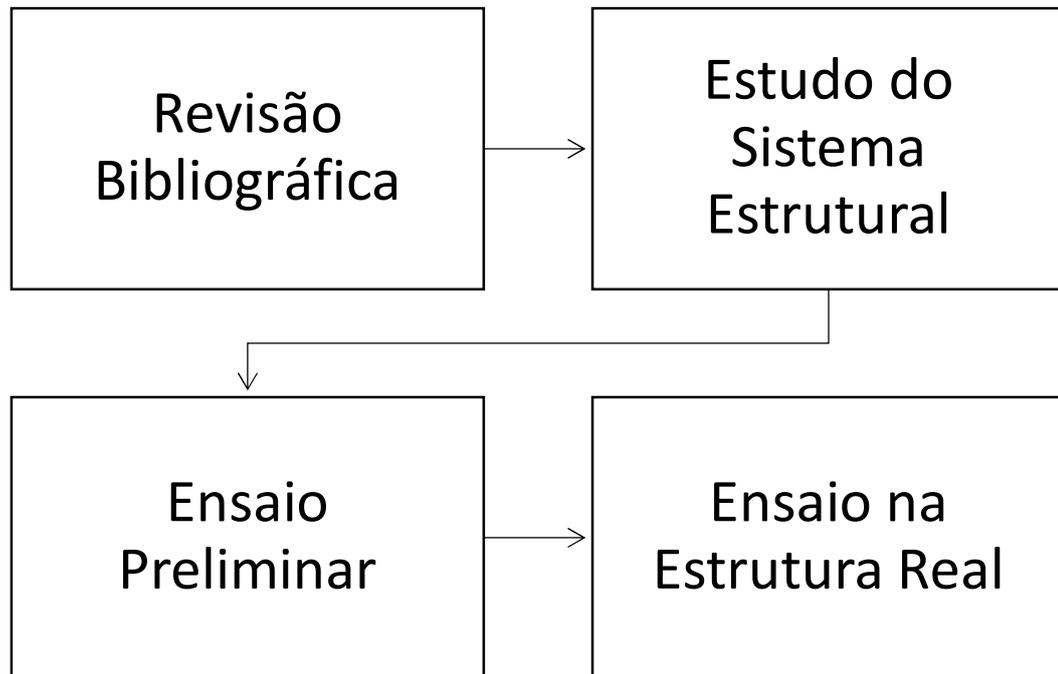
A estação total, além de proporcionar medições precisas, realizar cálculos em campo, possibilitar a implantação dos projetos elaborados em escritórios, ela também permite gerar mapas de área, se tornando um equipamento essencial na Topografia. Para a realização de medidas em campo, é necessário a instalação do tripé sob um ponto de coordenadas conhecidas, nivelada e orientada. Em seguida, é feita a pontaria até os pontos de interesse, não podendo haver nenhuma obstrução entre o trajeto da estação até o prisma de leitura. Para que haja o retorno do sinal é necessário que a superfície do ponto de interesse seja refletiva ou é necessário a instalação dos chamados prismas topográficos (Santiago e Cintra, 2022).

Figura 2 - Estação total com acessórios.



Fonte: Allcomp (2022)

3 METODOLOGIA



O esquema acima representa as etapas desenvolvidas no trabalho, as quais serão descritas adiante.

3.1 Revisão de artigos

Inicialmente foram feitos estudos com fins de embasamento teórico, através de pesquisa em artigos científicos a respeito do uso da Estação Total para monitoramento estrutural.

3.2 Proposta para o trabalho experimental

Este trabalho propõe-se a avaliar o estudo de viabilidade sobre o processo de monitoramento dinâmico do prédio Residencial Cidade dos Lagos, utilizando o aparelho de medição Estação Total existente na UTFPR - campus de Guarapuava.

3.3 Sistema estrutural

O Residencial Cidade do Lagos foi construído com lajes protendidas e concretadas in loco, suas vigas e pilares são pré-moldadas e suportam um total de 21 pavimentos com 4 apartamentos por andar. O bairro em que se situa é conhecido pelo alto padrão das edificações e das pessoas que nele residem, além de receber a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o único shopping da cidade, o

Shopping Cidade dos Lagos. Também se caracteriza pelas fortes rajadas de vento que envolvem o bairro na maior parte do ano.

Figura 3 - Bairro Cidade dos Lagos.



Fonte: Escalada Imobiliária (2022)

3.4 Ensaio preliminar

Foi realizado um teste inicial com a Estação Total a fim de verificar seu funcionamento e também averiguar sua possível utilização no monitoramento estrutural do prédio, sendo realizadas leituras de ensaio no campus para que se pudesse compreender o uso e as funções do equipamento no modo dinâmico (*i.e.*, *tracking*), seguindo os seguintes passos:

- 1) Posicionamento do tripé onde será instalada a estação total;
- 2) Encaixe da estação total no tripé;
- 3) Nivelamento do tripé e da estação;
- 4) Configuração do equipamento com os dados de referência;
- 5) Posicionamento do prisma de leitura.

A Estação Total foi instalada em um ponto onde era conhecido suas coordenadas geográficas. Após seguido os passos descritos anteriormente, o equipamento foi ligado e com isso deu-se início às leituras. Durante o processo foram aplicados movimentos manuais, dinâmicos e aleatórios ao prisma, fazendo com que

houvessem pequenos deslocamentos horizontais, e, através disso, observou-se as mudanças nas coordenadas à medida que o prisma se deslocava. Através deste ensaio pôde-se constatar, a priori, que seria possível medir o deslocamento dinâmico do prisma em relação à Estação Total.

3.5 Ensaio na estrutura real

Inicialmente a estação total foi posicionada dentro das instalações da UTFPR, faceando a lateral do Bloco R. Utilizando como referência o local onde foi instalada a estação, o prisma foi fixado, com o auxílio de fios de aço, no topo do edifício, a uma altura de 2,40 metros do terraço do Residencial Cidade dos Lagos. Antes de começar a leitura dos pontos, além de seguir os passos descritos no item anterior, foi obtido o norte de referência para configuração dos dados e, após encontrado, e feita a configuração do equipamento, deu-se início ao monitoramento.

Foram feitos monitoramentos em intervalos de 15 minutos. Devido à falta de um sistema da própria Estação Total capaz de armazenar os dados obtidos pelas medições, foi utilizada uma câmera fotográfica, disponibilizada pela própria universidade, a qual ficou posicionada de forma que conseguisse registrar todas as leituras feitas.

Após o término do experimento, os dados registrados pela câmera foram digitizados, manualmente no *software Excel*, após assistir a gravação, da medição, feita pela câmera e ordenados para análise e conclusão.

Figura 4 - Posicionamento da estação total para leitura.



Fonte: O autor (2022)

Figura 5 - Posicionamento do norte de referência da estação total.



Fonte: O autor (2022)

Figura 6 - Fixação do prisma no topo do edifício.



Fonte: O autor (2022)

3.6 Estudo de caso

A NBR 6118:2014 estabelece requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, estabelecendo que todo produto

da obra siga parâmetros específicos. Devido a isso, a norma define o limite do deslocamento lateral, para estruturas de concreto armado, sendo definido pela fórmula $H/1700$, medida no topo do prédio, como demonstrado no Quadro 2.

Quadro 1 - Limite para deslocamento.

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	$l/250$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com 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
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400$ e 15 mm

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

O Residencial Cidade dos Lagos possui um total de 70,80 metros de altura, com isso, de acordo com o estabelecido pela NBR, o limite de deslocamento lateral no topo do edifício é de 0,0416 m, ou 4,16 cm. Como demonstrado na equação 1.

O monitoramento foi realizado em três dias diferentes, 31/08/2022, 01/09/2022 e 02/09/2022. Em cada um dos dias foi realizado uma leitura com duração de 15 minutos, ou seja, 900 segundos. Porém, a medição realizada no dia primeiro de setembro, quinta-feira, foi utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho, o parâmetro de escolha da medição foi a intensidade média do vento no momento do

ensaio, o qual foi de 4,6 m/s, a qual foi superior à velocidade média do vento ocorrido nos outros dois dias de medição.

Tabela 1 - Características climáticas no dia da medição (01/09/2022).

Características	Valores
Temperatura mínima	7°C
Temperatura máxima	28°C
Temperatura atual	15,1°C
Umidade mínima	30%
Umidade máxima	100%
Umidade atual	62%
Sentido do vento	E-NE
Intensidade do vento	4,6 m/s

Fonte: INMET (2022)

Todos os resultados encontrados através da estação total estão referenciados de acordo com o norte parametrizado no início da medição, segundo mostra a Figura 8, diferentemente do sentido em que o vento atua, a qual é em relação ao norte geográfico, demonstrado pela Figura 9.

Figura 7 - Norte de referência em relação ao prédio.



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 8 - Norte geográfico em relação ao prédio.



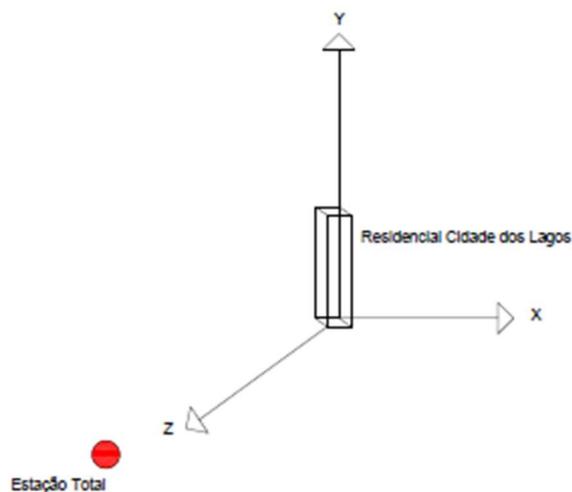
Fonte: Google Earth (2022)

Com isso, ressalta-se, também, as coordenadas cartesianas do edifício no plano 3D, em relação ao norte de referência, Tabela 2.

Planos	Pontos
X	140,170 m
Y	72,003 m
Z	70,107 m

Fonte: O autor (2022)

Figura 9 - Localização do edifício nos eixos de coordenadas.



Fonte: O autor (2022)

Diante ao estudo de viabilidade proposto, alguns obstáculos foram identificados ao longo do processo. O primeiro desafio foi a compreensão do funcionamento da Estação Total. E para isso, realizou-se um estudo teórico e experimental do equipamento para melhor compreensão e operação do mesmo.

Além disso, o entendimento de programação do Acelerômetro baseado em Arduino também foi um obstáculo, visto que o equipamento não se encontrava na universidade quando do momento da realização do experimento.

Outro desafio foi armazenar os dados das leituras feitas, visto que a Estação Total não possui um sistema de armazenamento interno. Sendo assim, foi necessário um meio externo para retenção dos dados.

Por fim, pelo fato do vento ser uma ação variável de grande incerteza quanto a sua intensidade, e pela realização do experimento em parte depender dos

parâmetros climáticos favoráveis ao monitoramento, tais fatores formaram um dos maiores entraves durante a execução do presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O edifício Residencial Cidade dos Lagos apresentou algumas movimentações em sua estrutura no decorrer do monitoramento. Em razão disso, serão demonstrados e discutidos, a seguir, os valores encontrados para os deslocamentos em cada eixo (X;Y;Z) além do deslocamento resultante da edificação, em acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014.

Inicialmente, foi necessário encontrar os valores de todos os deslocamentos registrados, visto que a estação total capta apenas as coordenadas referentes ao prédio. Para isso, foi utilizada a Equação 1.

$$D_i = C_i - \Delta_c \quad (1)$$

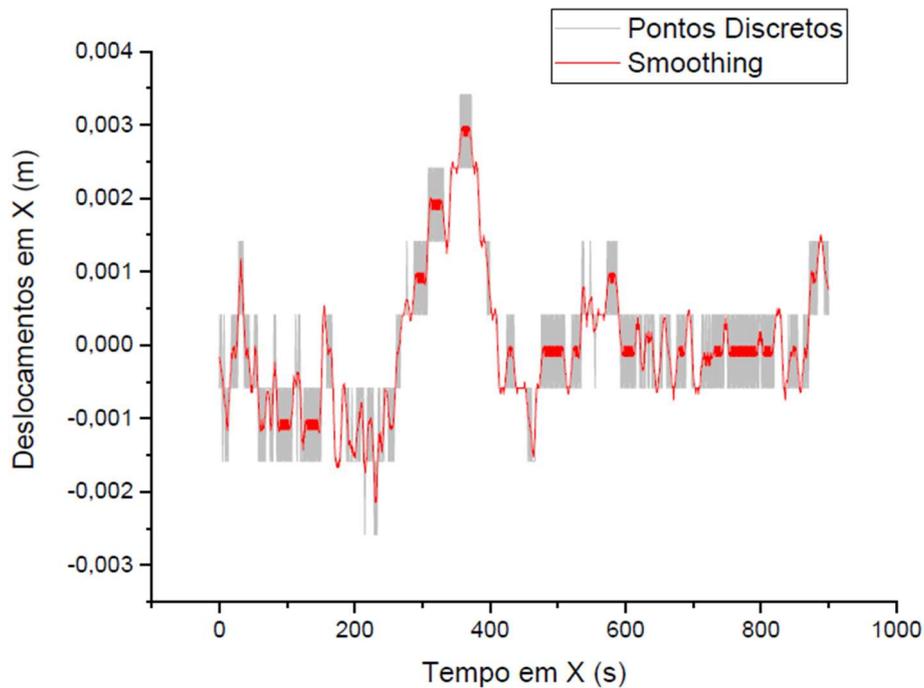
D_i = Deslocamentos (m);

C_i = Coordenadas (m);

Δ_c = Média das coordenadas (m).

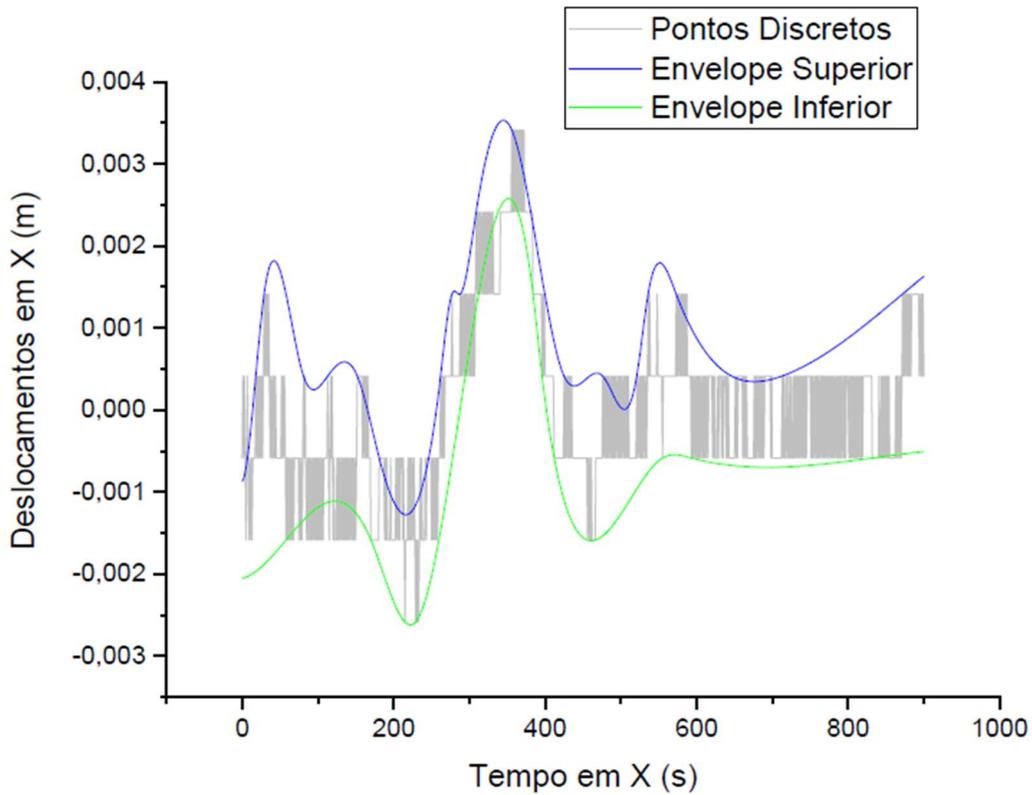
Os deslocamentos encontrados, para todos os eixos, foram digitalizados em intervalos de 1 segundo durante os 15 minutos de medição, totalizando 900 deslocamentos consignados, como demonstrado nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Comportamento estrutural do prédio no eixo X (Smoothing).



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 2 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo X.



Fonte: O autor (2022)

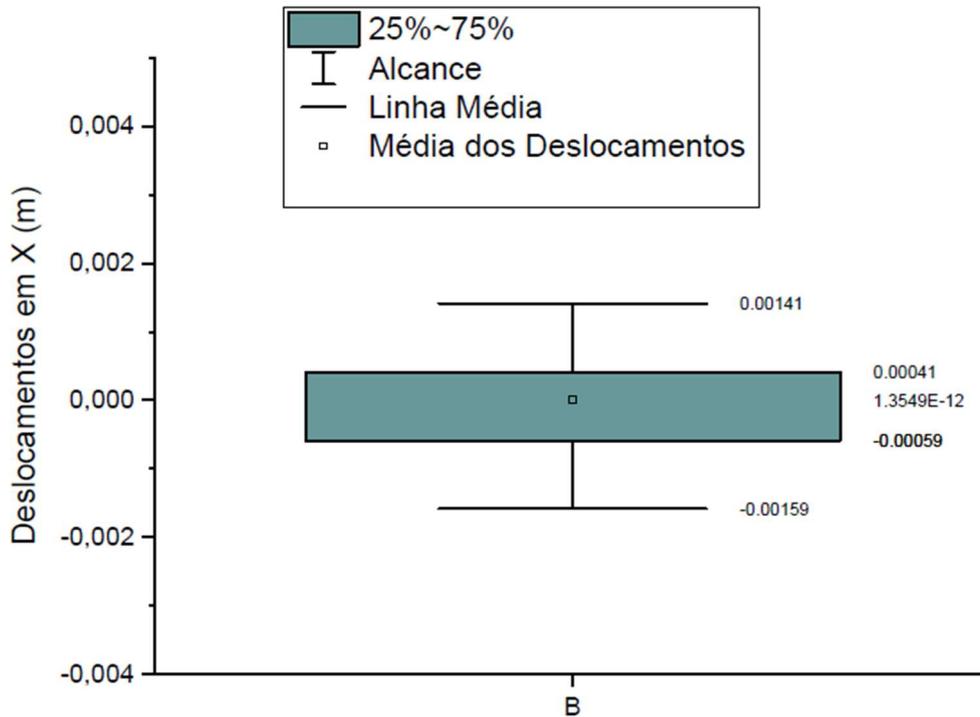
De acordo com o gráfico, pode-se perceber que o vento, por ser excêntrico, apresentou um comportamento variado quanto à sua intensidade e sentido. Também, vale ressaltar que nos intervalos de 200 a 400 segundos houve uma forte rajada, a qual ocasionou em uma maior variação de sua força, resultando em um maior deslocamento lateral do edifício.

Outro fator que também pode ser observado é a variação do sentido do próprio vento, a qual ocorre durante todo período de medição, ficando mais evidente nos momentos anterior e posterior à rajada.

Através da análise dos Gráficos 1 e 2, é possível observar que o prédio sofreu deslocamentos positivos e negativos. Ou seja, vale-se dizer que essas variações ocorreram devido à mudança do sentido do vento, a qual oscilou em decorrência de sua excentricidade.

No entanto, devido ao sentido e à intensidade do vento na estrutura do prédio, a edificação não sofreu deslocamentos consideráveis em relação ao eixo da coordenada X, como é representado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Características dos deslocamentos no eixo X.

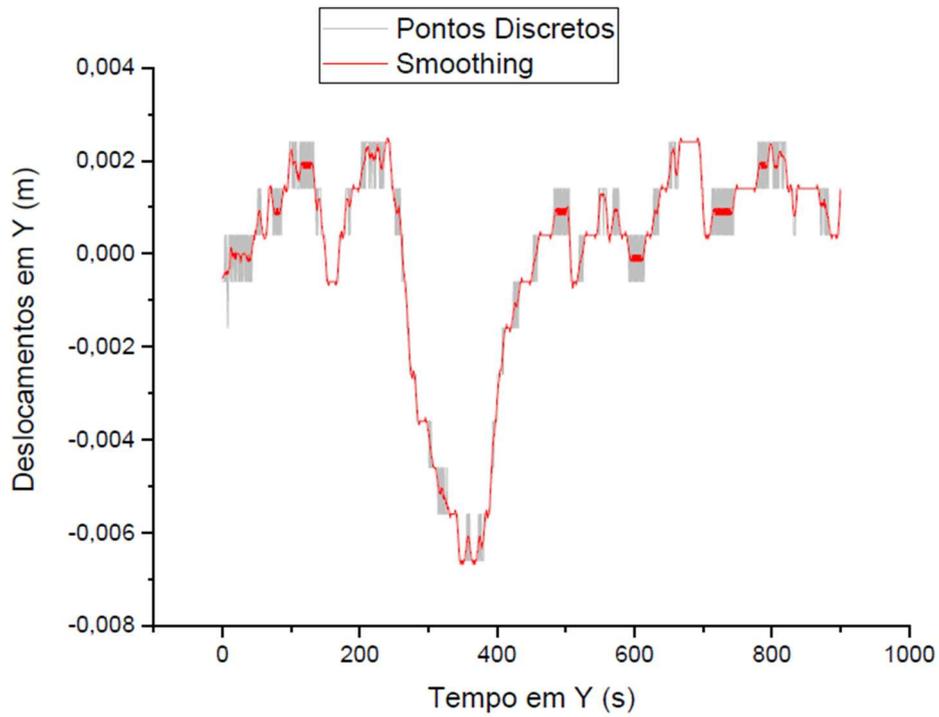


Fonte: O autor (2022)

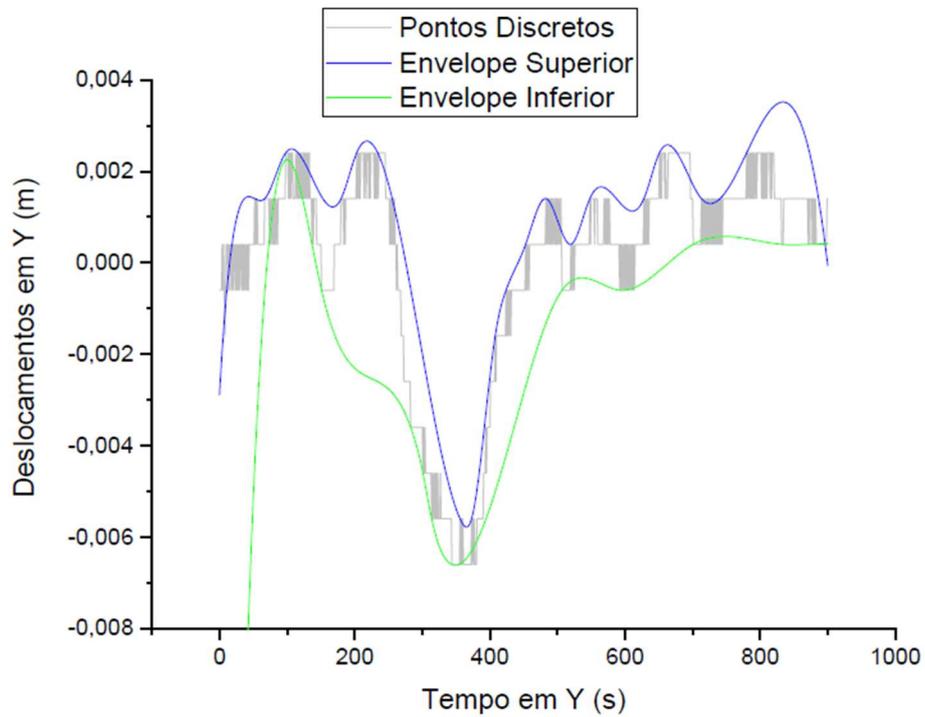
O gráfico *Box Plot*, representado acima, traz alguns dados a respeito das leituras feitas.

O sinal negativo indica que o edifício está se deslocando no sentido contrário ao seu eixo de referência, Figura 8, devido à mudança de sentido do vento que sobre ele incide. Com isso, como demonstrado pelos gráficos e tabela, é possível concluir que o Residencial Cidade dos Lagos sofreu um deslocamento máximo de 0,159 centímetro em relação ao seu centro de gravidade para o eixo de coordenada X.

De modo análogo aos deslocamentos calculados anteriormente, os registrados no eixo Y pela estação total, também foram digitalizados em intervalos de 1 segundo durante os 15 minutos de medição, como demonstrado no gráfico 5.

Gráfico 4 - Comportamento estrutural do prédio no eixo Y (Smoothing).

Fonte: O autor (2022)

Gráfico 5 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo Y.

Fonte: O autor (2022)

Os deslocamentos registrados do prédio também têm como referência o norte parametrizado. De acordo com os Gráficos 4 e 5, pode-se perceber que o vento, devido à sua excentricidade, apresentou um comportamento com bastante variações de intensidade e sentido. Além disso, vale ressaltar que nos intervalos de 200 a 500 segundos houve uma forte rajada, a qual ocasionou um maior deslocamento do edifício.

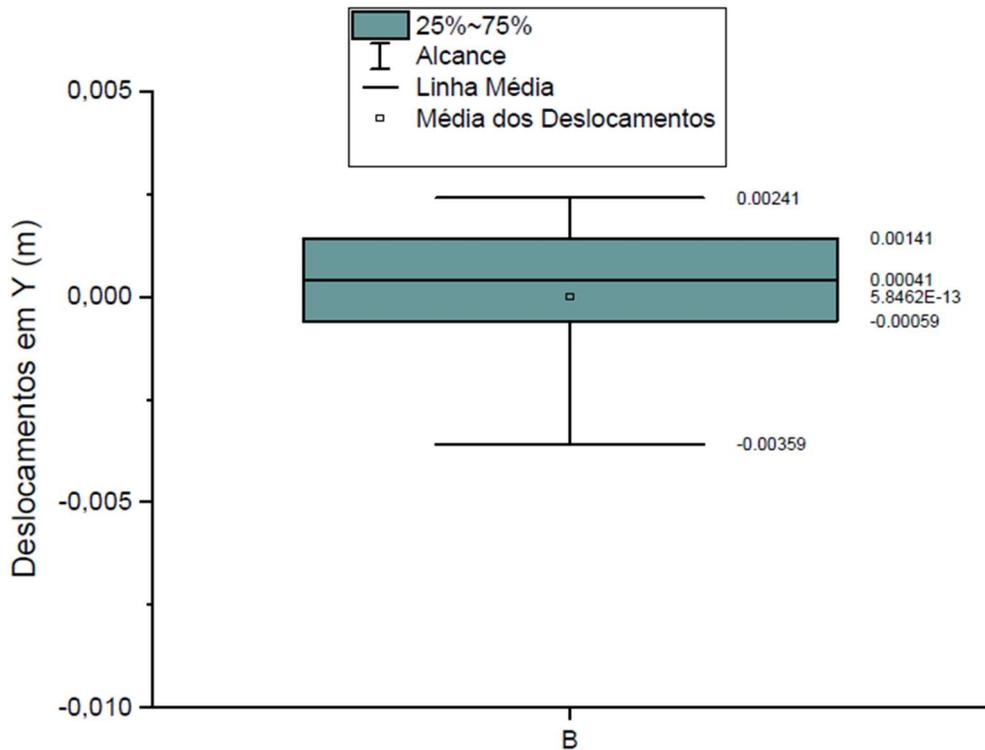
Outro fator que também pode ser observado é a variação do sentido do próprio vento, a qual ocorre durante todo período de medição.

Através da análise dos gráficos é possível observar que o prédio sofreu deslocamentos positivos e negativos. Ou seja, vale-se dizer que essas variações ocorreram devido a mudança do sentido do vento, a qual oscilou em decorrência de sua excentricidade.

Contudo, nota-se que as variações de intensidade e sentido permanecem de maneira aleatória tanto antes quanto após a rajada, diferentemente do que ocorre com o eixo X, no qual se observou a mudança do sentido do vento posteriormente ao pico de força.

No entanto, devido ao sentido e intensidade do vento na estrutura do prédio, a edificação também não sofreu deslocamentos consideráveis em relação ao eixo da coordenada Y, como é representado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Características dos deslocamentos no eixo Y.

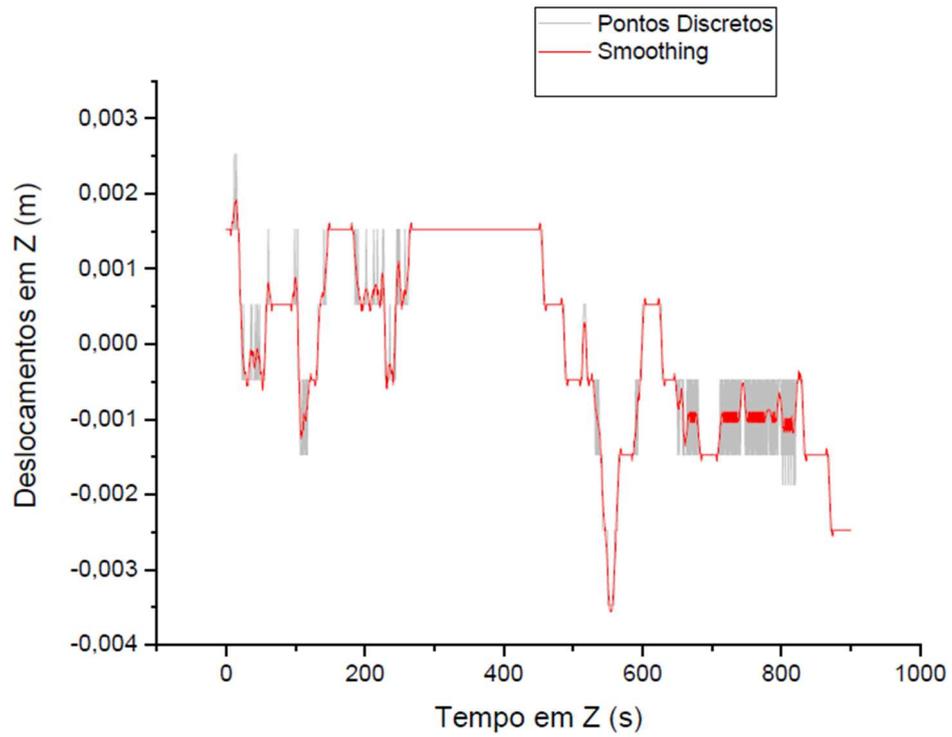


Fonte: O autor (2022)

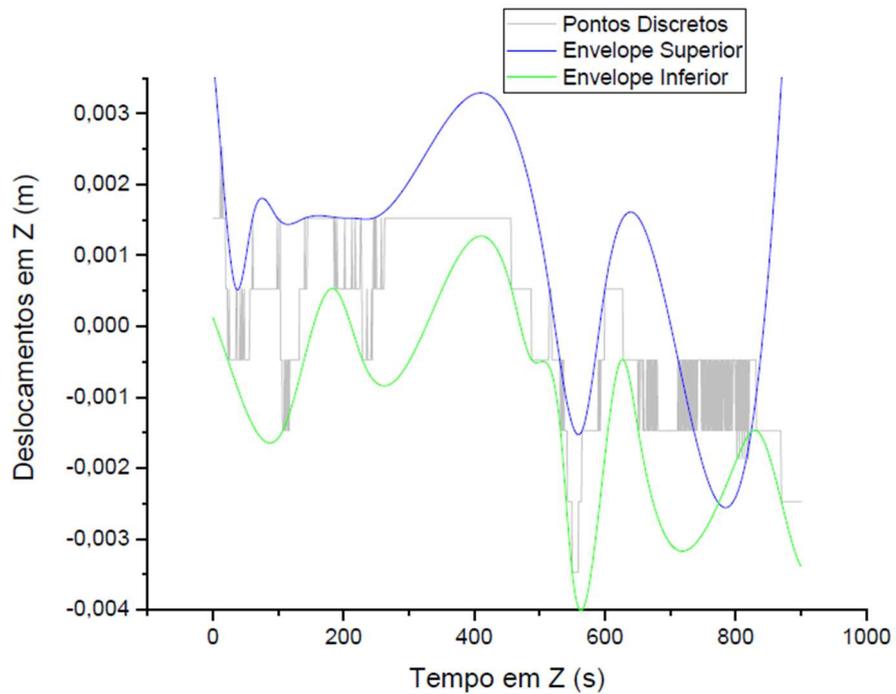
O gráfico *Box Plot*, representado acima, apresenta alguns dados a respeito das leituras feita.

Através dos dados Gráficos e tabela, é possível concluir que o Residencial Cidade dos Lagos sofreu um deslocamento máximo de 0,359 centímetro em relação ao seu centro de gravidade para o eixo de coordenada Y.

De modo igual aos deslocamentos anteriores, as variações registradas no eixo Z pela estação total também foram digitalizadas em intervalos de 1 segundo durante os 15 minutos de medição, também totalizando um total de 900 coordenadas consignadas, como demonstrado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Comportamento estrutural do prédio no eixo Z (Smoothing).

Fonte: O autor (2022)

Gráfico 8 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural do prédio no eixo Z.

Fonte: O autor (2022)

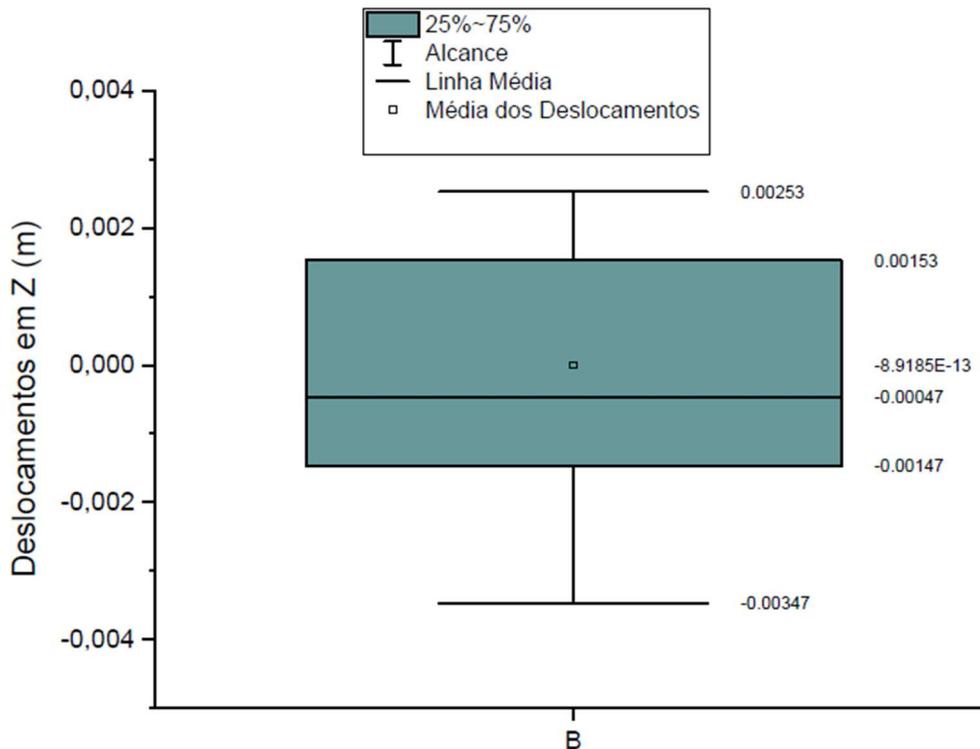
Os deslocamentos registrados do prédio também têm como referência o norte parametrizado. De acordo com os Gráficos 7 e 8, pode-se perceber que o vento, devido à sua excentricidade, apresentou um comportamento com bastante variação quanto a sua intensidade e sentido. Além disso, vale ressaltar que nos intervalos de 450 a 600 segundos houve uma forte rajada, a qual ocasionou em uma maior variação de sua força, resultando em seu maior deslocamento.

Outro fator que também pode ser observado é a variação de sentido do próprio vento, a qual ocorre durante todo período de medição.

Através da análise dos gráficos é possível observar que o prédio sofreu deslocamentos positivos e negativos, em relação ao seu eixo, o qual é ocasionado devido a mudança de sentido do vento.

No entanto, devido ao sentido e intensidade do vento na estrutura do prédio, a edificação também não sofreu deslocamentos consideráveis em relação ao eixo da coordenada Z, como é representado no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Características dos deslocamentos no eixo Z.



Fonte: O autor (2022)

O gráfico *Box Plot*, representado acima, traz alguns dados a respeito das leituras feitas.

Através dos dados demonstrados pelos Gráficos 7, 8 e 9, é possível concluir que o Residencial Cidade dos Lagos sofreu um deslocamento máximo de 0,347 centímetro em relação ao seu centro de gravidade para o eixo de coordenada Z.

Utilizando da equação 2, foi possível destingir a angulação de deslocamento sofrido pelo Residencial Cidade dos Lagos em relação aos eixos X e Y do plano cartesiano.

$$\theta = \left(\text{arctng} \left(\frac{D_{iy}}{D_{ix}} \right) \right) * \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

θ = Ângulo de deslocamento (°);

D_{ix} = Deslocamentos no eixo X (m);

D_{iy} = Deslocamentos no eixo Y (m).

Com isso, obtivemos que o deslocamento sofrido pelo edifício, em relação aos eixos X e Y foi de 207,69°.

A análise completa do comportamento estrutural da edificação dever ser feita através dos deslocamentos resultantes dos eixos verificados. Para isso, foi calculado esses valores por meio da equação 3.

$$D_{Ri} = \sqrt{D_{ix}^2 + D_{iy}^2 + D_{iz}^2} \quad (3)$$

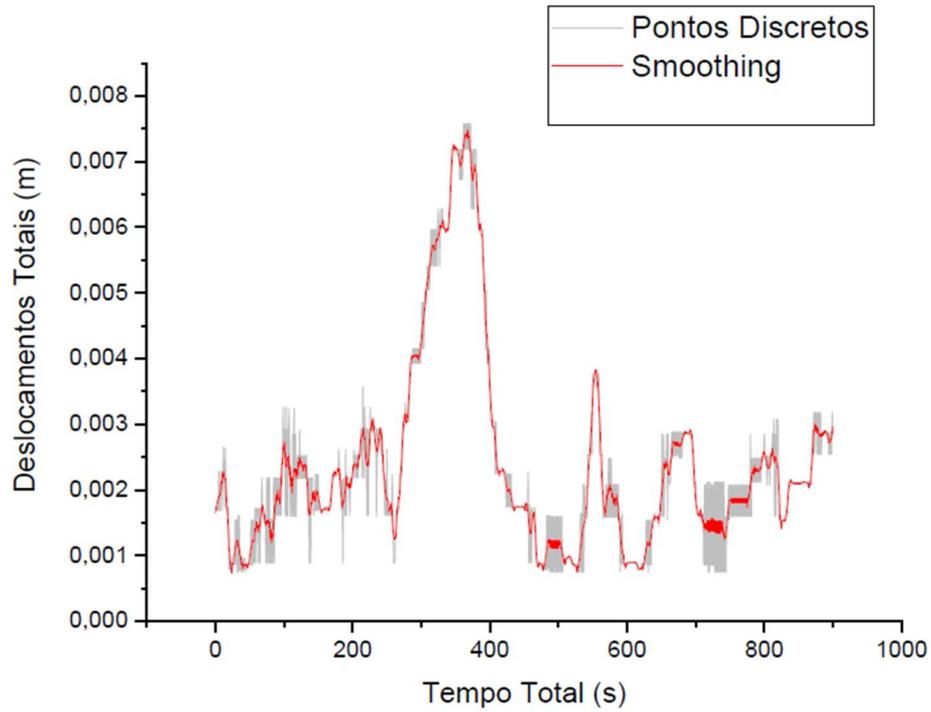
D_{Ri} = Deslocamentos resultantes (m);

D_{ix} = Deslocamentos no eixo X (m);

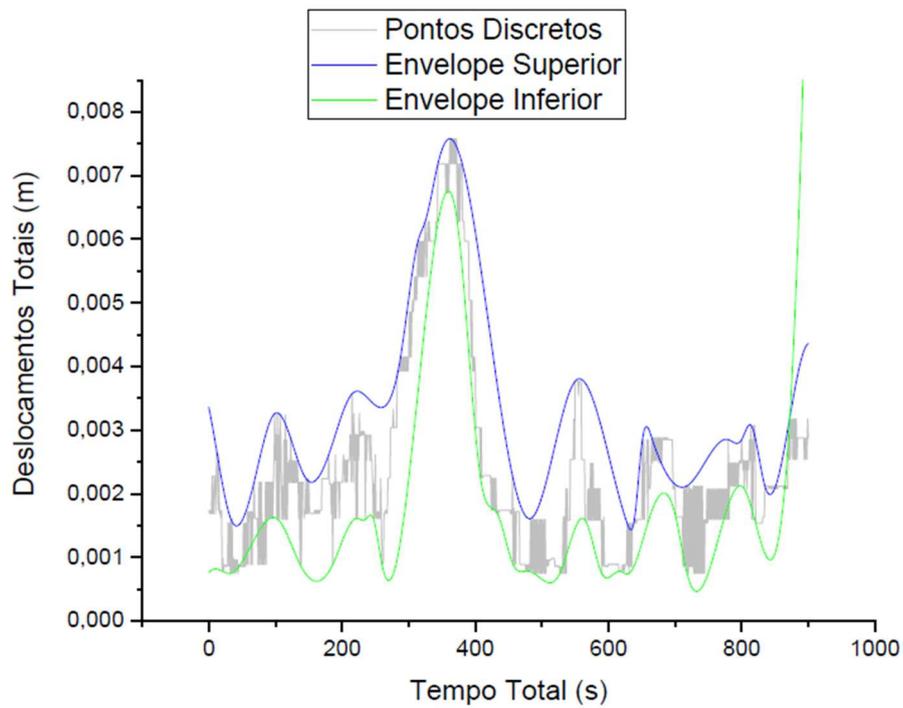
D_{iy} = Deslocamentos no eixo Y (m);

D_{iz} = Deslocamentos no eixo Z (m).

Seguindo os mesmos procedimentos e descritos para os eixos anteriores. Os deslocamentos resultantes do edifício, no intervalo de 15 minutos de medição, estão representados nos Gráficos 10 e 11.

Gráfico 10 - Comportamento estrutural resultante do prédio (Smoothing).

Fonte: O autor (2022)

Gráfico 11 - Envelope Superior e Inferior do comportamento estrutural resultante do prédio.

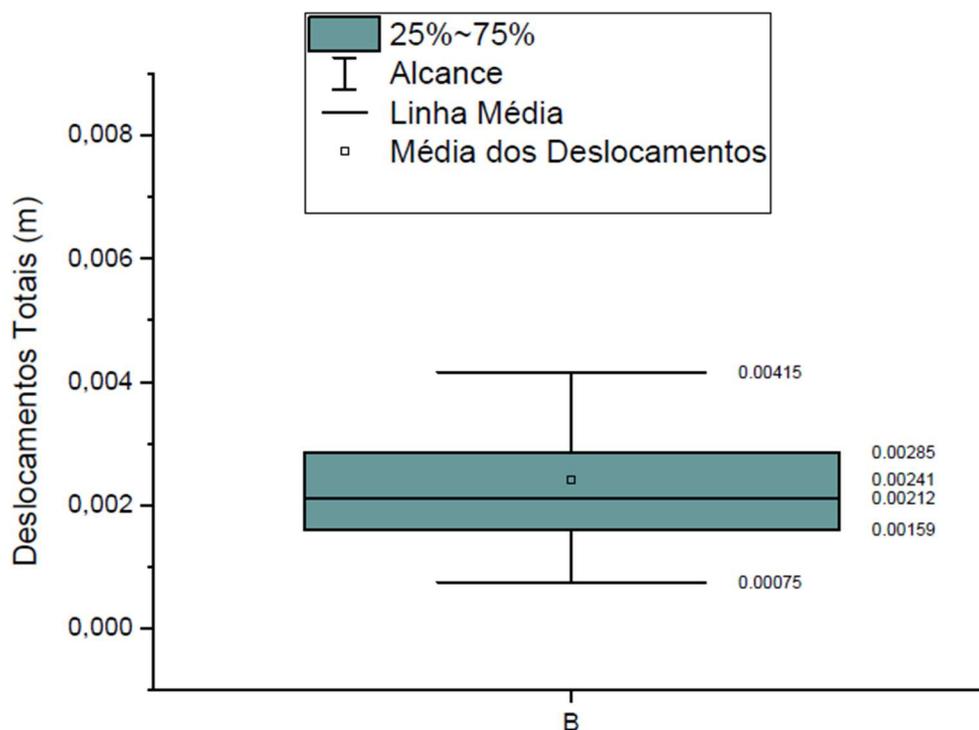
Fonte: O autor (2022)

Assim como na análise isolada dos eixos, os deslocamentos resultantes seguem o referencial do norte parametrizado no início do estudo. De acordo com o gráfico, pode-se perceber que o vento, devido à sua excentricidade, apresentou um comportamento com bastante variação quanto à sua intensidade. Além disso, vale ressaltar que nos intervalos de 250 a 450 segundos houve uma forte rajada, a qual ocasionou em uma maior variação de sua força, resultando em seu maior deslocamento.

Nota-se que, apesar de ter sofrido deslocamentos contrários ao ponto de referência para cada coordenada, não houve deslocamentos negativos em sua resultante. Isso não implica dizer que não houve mudança no sentido atuante do vento na estrutura, mas que este não ocorreu numa intensidade forte o suficiente para que houvesse um desvio contrário ao centro de gravidade do edifício.

No entanto, devido à intensidade do vento na estrutura do prédio, a edificação também não sofreu deslocamentos consideráveis num aspecto global, como é representado no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Características dos deslocamentos resultantes.



Fonte: O autor (2022)

O gráfico *Box Plot*, representado acima, traz alguns dados a respeito das leituras feitas.

Através dos dados demonstrados pelos Gráficos 10, 11 e 12, é possível concluir que o Residencial Cidade dos Lagos sofreu um deslocamento máximo de 0,415 centímetro em relação ao seu centro de gravidade para toda a estrutura.

5 CONCLUSÃO

O presente artigo contou com a realização do monitoramento dinâmico estrutural do edifício Residencial Cidade dos Lagos, verificando seu deslocamento lateral quanto às ações do vento. A análise em campo possibilitou observar diversos deslocamentos ocorridos durante o período registrado. A priori, foi averiguado que o deslocamento do prédio, apontado em campo, está compreendido dentro da limitação de segurança exigida pela ABNT 6123:2014.

Além disso, foi possível validar o uso da Estação Total como uma nova metodologia para fins de monitoramentos estruturais, visto que, foi possível registrar os deslocamentos laterais do edifício através de sua função *tracking*, indicando um deslocamento global de 4,15 mm.

Por fim, vale reafirmar que a Estação Total é um equipamento viável ao se tratar de monitoramento estrutural, possuindo uma boa precisão e um fácil manuseio. Além disso, a fim de otimizar ainda mais a análise estrutural, pode ser utilizada a sua versão mais atual, a Estação Total Robótica.

Porém, é necessário um estudo dinâmico ainda mais aprofundado, utilizando equipamentos usuais para a análise estrutural, como o acelerômetro, a fim de que possa ser feita a comparação dos resultados.

Vale ressaltar que, este trabalho focou no monitoramento de um edifício de concreto protendido, e por isso utilizou-se o deslocamento limite indicado pela NBR 6118:1988. Para a realização do monitoramento de construções compostas por outros materiais, é necessário utilizar a o deslocamento limite da NBR que corresponda ao tipo de construção.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se que, para futuras pesquisas baseadas no presente trabalho, se faz necessário abordar e demonstrar um comparativo referente ao comportamento estrutural do edifício em relação à velocidade do vento para cada momento. Além disso, recomenda-se também que faça um teste com a estação total em um ponto em que as coordenadas sejam reconhecidas, a fim de verificar a veracidade da leitura feita.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rodolfo Giacomim Mendes de. Monitoramento de curta duração de uma ponte curva em concreto armado: um estudo de caso. **Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo**. 2012.

ASSIS, Wayne Santos de. Sistemas computacionais de apoio à monitoração de estruturas de engenharia civil. **Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo**. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. **Rio de Janeiro**, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças derivadas ao vento em edificações. **Rio de Janeiro**, 1988/Er2:2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. **Rio de Janeiro**, 2003.

BERGMEISTER, K.; ROSTAM, S. Monitoring and Safety Evaluation of Existing Structures. **Switzerland: Fédération Internationale du Béton (fib)**, 2003.

BERGMEISTER, K.; SANTA, U. Global monitoring concepts for bridges. **Structural Concrete**, v. 2, n. 1, p. 29-39, 2001.

BLESSMANN, J. Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento. **Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 1998. 288p.

DE OLIVEIRA SARAIVA, David Harley et al. Uso da estação total robótica como geotecnologia aplicada no monitoramento de barra-gens de rejeito.

DEL GROSSO, Andrea et al. Monitoring of bridges and concrete structures with fibre optic sensors in Europe. **IABSE REPORTS**, p. 238-239, 2001.

Disponível em <https://acig.com.br/pib-de-guarapuava-cresce-quase-90-em-cinco-anos/#:~:text=Um%20n%C3%BAmero%20representativo%20para%20a,4%25%20entre%202010%20e%202015>> Data de acesso: 16/12/2022.

Disponível em [https: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-evitar-patologias-que-acometem-estruturas-de-concreto/18609>](https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-evitar-patologias-que-acometem-estruturas-de-concreto/18609) Data de acesso: 24/11/2022.

Disponível em [https: <https://loja.allcomp.com.br/produto/estacao-total-kolida-cts-632r10-c-acessorios.html>](https://loja.allcomp.com.br/produto/estacao-total-kolida-cts-632r10-c-acessorios.html) Data de acesso: 24/11/2022.

Disponível em [https: <https://blog.cpetecnologia.com.br/conheca-a-estacao-total/>](https://blog.cpetecnologia.com.br/conheca-a-estacao-total/) Data de acesso: 24/11/2022.

Disponível em [https: <https://blog.cpetecnologia.com.br/conheca-a-estacao-total/>](https://blog.cpetecnologia.com.br/conheca-a-estacao-total/) Data de acesso: 24/11/2022.

Disponível em [https: <https://santiagoocintra.com.br/blog/estacao-total-como-utilizar-na-topografia/#:~:text=A%20esta%C3%A7%C3%A3o%20total%20%C3%A9%20um,da%20%C3%A1rea%20de%20interesse%20medida>](https://santiagoocintra.com.br/blog/estacao-total-como-utilizar-na-topografia/#:~:text=A%20esta%C3%A7%C3%A3o%20total%20%C3%A9%20um,da%20%C3%A1rea%20de%20interesse%20medida) Data de acesso: 13/05/2022.

Disponível em [https: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/guarapuava.html>](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/guarapuava.html) Data de acesso: 07/05/2022.

Disponível em [https: <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/accelerometros-uso-em-celulares-e-deteccao-de-velocidade-parte-1/>](http://www2.decom.ufop.br/imobilis/accelerometros-uso-em-celulares-e-deteccao-de-velocidade-parte-1/) Data de acesso: 24/11/2022.

Disponível em [https: <https://www.guarapuava.pr.gov.br/noticias/guarapuava-registra-crescimento-do-setor-primario-e-da-industria-em-2020/>](https://www.guarapuava.pr.gov.br/noticias/guarapuava-registra-crescimento-do-setor-primario-e-da-industria-em-2020/) Data de acesso: 16/12/2022.

ELSHARAWY, M.; STATHOPOULOS, T.; GALAL, K. **Wind-Induced torsional loads on low buildings. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, v. 104, p. 40-48, 2012.**

FARLEY, D.N. Bridge Instrumentation and Monitoring, **Dayton, v. 4, 2005.**

JERVELL, José Tor et al. Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores. 2008.

MORAIS, Vinicius Souza; CUNHA, E. F.; MACIEL, G. F. Medição, Previsão e Análise Numérica dos Mecanismos de Geração de Ondas a Partir da Cinética de Ventos e

Dissipação de Ondas na Presença de Fundos com Vegetação, em Lagos de Barragens. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande-Mato Grosso do Sul-Brasil: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.**

NORRIS, Ashley; SAAFI, Mohamed; ROMINE, Peter. Temperature and moisture monitoring in concrete structures using embedded nanotechnology/microelectromechanical systems (MEMS) sensors. **Construction and building materials, v. 22, n. 2, p. 111-120, 2008.**

PARK, Hyo Seon et al. Application of GPS to monitoring of wind-induced responses of high-rise buildings. **The Structural Design of Tall and Special Buildings, v. 17, n. 1, p. 117-132, 2008.**

PAULI, Rafael Augusto de. Avaliação experimental dos efeitos dinâmicos da ação do vento na torre de telecomunicações do Monte da Virgem. **Tese de Doutorado. 2016.**

SILVA, André Nicholas de Castro. A ação dos ventos em estruturas de concreto armado: uma análise em edifícios de diferentes alturas. 2015.

TEIXEIRA, Fabio Paiva et al. Modelagem do comportamento estrutural estático e dinâmico e avaliação de conforto humano de edifícios de concreto armado. 2015.