

# MONITORAÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS PARA AÇÕES DINÂMICAS DO VENTO.

Carlos Vitor da Silva Sarmiento\*

## RESUMO

Com o aumento na construção de edifícios altos e tendo esses prédios esbeltez cada vez maior, há a necessidade de acompanhar o comportamento estrutural para garantir que as condições de projeto estão sendo atendidas. Para efeitos dinâmicos do vento não há nas normas vigentes procedimentos para monitoramento dos deslocamentos. Na literatura há uma forte escassez de trabalhos referentes a este tema. A maioria das publicações se referem a monitoramento em barragens, pontes, viadutos, passarelas e peças pré-moldadas. Vários equipamentos e métodos são usados na medição de deslocamentos, entre eles: Extensômetros, acelerômetros, GPS, etc. O objetivo geral deste trabalho é elaborar um referencial bibliográfico de monitoração de edifícios altos para ações dinâmicas do vento. Frente ao estudo de teses, dissertações, artigos, normas e livros foi verificado que o sistema GPS é bastante promissor e apresenta uma confiabilidade frente aos demais sistemas, acrescentando de suas vantagens de velocidade de processamento dos dados e facilidade em instalação. Entretanto é necessária a criação de métodos para reduzir e medir os erros. Diante do sistema mais indicado, foi feita uma análise sobre a deslocabilidade dos prédios devido à ação do vento para edifícios entre 10 e 50 pavimentos. Com isto foi mostrado que os prédios, dimensionados de acordo com as normas vigentes, apresentam deslocamentos da ordem de décimos de milímetros para os ventos diários. Com os dados requeridos foram expostos neste trabalho equipamentos disponíveis no mercado nacional. Concluindo-se que não possuem precisão suficiente para tal monitoramento do vento médio. Portanto há a necessidade de métodos mais eficientes e instrumentos mais precisos.

Palavras-chaves: Edifícios altos, ações do vento, Medição de deslocamento.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de edifícios altos em todo o mundo tem sofrido grande aumento, fato que ocorre devido ao crescimento populacional, urbanização de grandes centros, redução de áreas úteis à construção, entre outros, Nahum e Oliveira (2010) apontam a escassez e os altos custos dos espaços como a principal razão do aumento de construção desses edifícios.

\*Doutorando em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Mestre em engenharia civil pela UFPE, professor/tutor EAD do Instituto Federal de Pernambuco-IFPE, Servidor técnico da UFPE, email: Engenheirovitor@hotmail.com

Segundo Borges et al (2009) “Os grandes centros urbanos têm apresentado nas três últimas décadas um expressivo aumento na construção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos. Neste período, observou-se a evolução dessas edificações que passaram de 20 pavimentos em 1970 para 50 pavimentos nos dias atuais”. Outro dado que conjugado com essas informações deve ter atenção é o crescimento da esbeltez dos prédios construídos no Recife. Estes fatores, quando somados a ação do vento, dilatação térmica, retração, sismos, recalques, ações dinâmicas de agentes externos entre outros, requerem cuidados. Para conhecer os efeitos dessas ações é necessário acompanhar seus deslocamentos, encontrando também direta ou indiretamente as frequências naturais das estruturas. Para o controle estrutural é importante monitorar a edificação. Antunes (2007) aponta que a monitoração deve possuir acompanhamento dinâmico dos edifícios, com a função de evitar desastres (Acidentes e incidentes) e também garantir conforto e segurança ao usuário. A monitoração necessita de alguns requisitos para sua eficiência, tais como:

- Acompanhamento instantâneo;
- Monitoração remota;
- Precisão e acurácia;
- Não interferência devido a ondas eletromagnéticas;
- Alta sensibilidade;
- Familiaridade entre os fabricantes dos sensores (Interligação);
- Sensores bem pequenos;
- Baixo custo;
- Preocupação quanto à segurança dos usuários;
- Possibilidade de medições de recalques (Variação de cota);
- Medição da frequência natural da estrutura.

Conforme cita Figueiredo et al (2011, p.1237) “A monitoração das estruturas é essencial para uma avaliação estrutural quando se necessita determinar as características e as propriedades do sistema estrutural”. Entretanto essas características devem ser durante toda a vida útil da edificação conforme cita Palazzo (2005) “A garantia da vida útil é dada pelo acompanhamento e monitoramento ao longo do tempo”.

A comunidade acadêmica tem se mostrado bastante incentivadora de métodos e procedimentos de monitoramento. Entretanto até o momento não há procedimentos normatizados de elaboração de monitoração de estruturas, principalmente em edifícios altos. Encontra-se artigo em anais e revistas, teses, dissertações, entre outros meios, trabalhos sobre monitoramento em estruturas de obras de arte, principalmente viadutos, passarelas e pontes. Este fato ocorre devido à preocupação de ações dinâmicas de efeito das cargas. Os experimentos nessas construções são mais abrangidos, devido a efeitos de carregamento e facilidade de medição com vários outros instrumentos.

Os instrumentos que mais são usados na monitoração de estruturas para medida de deslocamentos são:

- Extensômetros (Piezoelétricos, Piezorresistivo, capacitivos e conjugados);
- Sensores ópticos;
- Métodos geodésicos: Nível e estações totais;
- Sistemas de Posicionamento por satélites.

De posse dos dados do monitoramento, deve-se comparar com os valores de projeto, podendo ser recalculado para verificar as cargas atuantes.

## **2 METODOLOGIA**

O presente trabalho tem como motivação verificar possibilidades de monitorar os deslocamentos de edifícios para as ações dinâmicas do vento utilizando diversos tipos de equipamentos, utilizando um banco de dados *à priori* para prever a deslocabilidade máxima de uma edificação para estes esforços.

## **3 CONCEITOS PRELIMINARES**

Os principais equipamentos usados para a medição de deslocamentos em estruturas são:

- Extensômetros (Piezoelétricos, Piezorresistivo, capacitivos e conjugados);
- Sensores ópticos;
- Métodos geodésicos: Nível e estações totais;
- Sistemas de posicionamento por satélites.

### 3.1 Extensômetros

Os autores Andolfato, Camacho e Brito (2004) descrevem no artigo Extensometria Básica que os dispositivos de medida chamados de extensômetros variam sua resistência elétrica com a variação do comprimento (deformação). Os autores apontam uma grande aplicabilidade na medida de estruturas, isso devido à precisão, facilidade na manipulação e capacidade de monitorar deformações. Os pesquisadores apontam a realização da aplicação através da aderência do extensômetro na estrutura. Com o deformar da estrutura, o dispositivo também terá suas dimensões variadas e conseqüentemente este uma variação na tensão elétrica.

Segundo Andolfato, Camacho e Brito (2004), as características dos extensômetros são:

- Alta precisão de medição;
- Pequeno tamanho e pouco peso;
- Excelentes respostas aos fenômenos dinâmicos;
- Fácil utilização desde que conhecida a boa técnica;
- Excelente linearidade;
- Medições possíveis dentro de uma ampla faixa de temperatura;
- Aplicável submerso em água ou atmosfera de gás corrosivo desde que utilizado tratamento apropriado;
- Usados como elementos transdutores para medidas de várias quantidades físicas (força, precisão, torque, aceleração, deslocamento);
- Possibilidade a medida em locais remotos;
- A saída (sinal analógico, ou após transformação em sinal digital) pode ser aplicada à engenharia de controle.

### 3.2 Sensores ópticos

Segundo Cunha (2007), os sensores a fibra óptica permitem a medida direta de: Pressão, deformação e temperatura, fornecendo grande precisão e permitindo também usar um grande número de sensores na mesma fibra, utilizando técnicas de multiplexação. O autor aponta um grande crescimento no uso de sensores ópticos e principalmente com redes de Bragg na medição de pequenos deslocamentos. O pesquisador aponta a facilidade de não sofrer interferência eletromagnética nos sensores ópticos. Cunha aponta que existem sensores se baseiam na modulação periódica do índice de refração ao longo do núcleo da fibra.

### ***3.3 Nível e estação total***

Segundo apostilas disponíveis na internet do curso de Geomensura do Centro Federal de Educação Tecnológica – SC, os níveis são equipamentos que permitem definir com precisão um plano ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do equipamento. Ainda há descrito que os níveis podem ser: Ópticos, digitais e a laser, sendo o último o mais comum. Os níveis ópticos se baseiam na visada do operador, indicando esta medida, para os digitais a leitura é feita automaticamente, empregando em miras com códigos de barra expressos, para o laser é utilizado um fecho de laser visível ou não e este é incidido em uma mira, máquina ou equipamento.

Segundo informações contidas no site MUNDO TOP a estação total é um equipamento óptico e eletrônico com o qual são feitas as medições topográficas, tanto em áreas quanto em alturas, simultaneamente. Para a estação realizar suas medições, são necessários prismas refletivos das ondas. A estação foi uma evolução no teodolito, equipamento que chegava a ter precisões de 3 segundos.

### ***3.4 Sistema de posicionamento por satélites***

O autor João Francisco Monico em seu livro Posicionamento pelo GNSS aponta que os sistemas de posicionamento por satélite foram implantados em 1970 com o precursor NAVSTAR-GPS, em seguida vários outros surgiram. O autor cita que em 1991 durante a 10ª Conferência de Navegação Aérea foi concebida o nome de GNSS (*Global Navigation Satellite System*), nesta mesma conferência foi reconhecido o GNSS como fonte primária para a navegação aérea.

Segundo Larocca (2004) aponta em sua tese que em 1983 o GPS já conseguia indicar a posição de um veículo com precisão de 10,0m. Hoje em dia há uma grande precisão nesses equipamentos.

Os sistemas atualmente disponíveis, segundo Mônico (2007) são:

GPS (Global Positions System) – Sistema desenvolvido pelos Estados Unidos da América, seu princípio básico consiste na medida de distância entre o usuário (Por meio de uma antena receptora) e quatro satélites. Ainda segundo Monico para delimitar um plano seria necessário apenas três satélites, entretanto é necessário outro a mais para eliminar o erro de sincronismo entre os relógios dos satélites e o do receptor. Usa-se três segmentos neste sistema: Espacial, controle e de usuários.

GLONASS – Sistema Russo, concebido para determinar posicionamento global em 3D, velocidade e tempo, cujo objetivo era uma ferramenta militar. Essas informações independem de condições climáticas em nível local, regional e global. Este sistema foi iniciado em 1995 com uma constelação de 24 satélites. Este sistema também se baseia nos mesmos três segmentos que o GPS.

GALILEO – Sistema desenvolvido pelos Europeus para dispor de um sistema aberto, uma vez que o GPS não tinha essa possibilidade. Foi lançado em dezembro de 2005 o primeiro satélite e com uma previsão de que até 2013 tenha 30 satélites em órbita.

BEIDOU/COMPASS – Sistema Chinês em desenvolvimento desde 2000 (Data do lançamento do primeiro satélite), almejando lançar 5 em órbita geoestacionária e os demais (cerca de 30) em órbita similares às dos GNSS.

#### **4 ESTADO DA ARTE**

Em seu trabalho escrito em 2000, ÇELEBI conclui apontando a possibilidade de monitoramento de edifícios altos com o uso da tecnologia GPS. Ressalta também as vantagens deste sistema frente ao acelerômetro, tais como precisão e resposta em tempo real. Este autor realizou ensaios em duas barras metálicas, simbolizando edifícios de 40 pavimentos.

Já o autor CHAVES (2001) em sua tese de doutorado, conclui indicando resultados satisfatórios para o sistema de medição, apontando a necessidade da repetibilidade como principal responsável pela eficácia e precisão do monitoramento. O autor ainda ressalta que as medições cinemáticas causam um desvio de até 20 mm nos resultados. Outra proposta feita pelo autor é a de utilizar antenas sem bases, pois segundo ele, o uso deste referencial ocasionou erros. Chaves realizou também experimentos com um viaduto encontrando pontos de deslocamentos iguais ao longo do vão. Em seu último experimento, Chaves concluiu que para intervalos de 5min era possível atingir precisões menores que 1 cm.

FAZAN et al(2002) concluem apontando a necessidade de adoção de padrões, rigores e precisões iniciais ao monitoramento, assim como técnicas de centragem dos instrumentos, realização de campanha sempre nos mesmos meses, uso do GPS no período noturno, utilização de aparelhos mais precisos e interação com os fatores externos (Temperatura, pressão, nível d'água etc.).

Os pesquisadores NETTO et al (2002) fizeram o monitoramento de pilares e vigas de um determinado prédio com instrumento óptico (nível digital) onde foi possível medir recalques da ordem de 1,4mm. O autor também fez a monitoração em um viaduto, usando equipamentos de GPS e nivelamento geométrico, encontrando valores muito próximos do real, havendo uma diferença entre o GPS e o nivelamento de 7,1mm. O autor relata outro monitoramento em ponte,sem, entretanto, apontar os resultados.

CHAVES et al (2003) em experimento em um prédio de 18 pavimentos obtiveram medições de deslocamentos. Ressaltam que uma discrepância ocorrida em determinada época pode ter sido ocasionada pela ação do vento, e apontam a possibilidade de correlação entre mudança nas coordenadas geodésicas e efeitos da velocidade do vento.

Larocca (2004) em sua tese de doutorado propõe um método de medição com o uso do GPS. Aponta também as vantagens desta tecnologia, entre elas sua precisão, que permitiu medir deslocamentos de 2,0mm com confiabilidade de 0,5mm. LAROCCA ressalta ainda a possibilidade de medir amplitudes e frequências frente ao comportamento dinâmico vertical e transversal em tabuleiro de pontes. Conclui que a geometria dos satélites traz uma maior precisão e confiabilidade dos resultados. Ressalta ainda a eficiência do uso de um calibrador eletromecânico em medições de pequenos deslocamentos. Os valores do GPS e do transdutor de deslocamentos se mostraram bastante próximos, entretanto, o

primeiro tem maior facilidade de instalação. Quando comparado ao acelerômetro, o GPS possui grande exatidão para a medição de frequências e maior confiabilidade, pois é orientado pelo relógio atômico. A pesquisadora aponta ainda para os cuidados com os ambientes mais ruidosos, para os quais devem ser usadas antenas específicas. Larocca mostra que as frequências menores que 0,07Hz podem ser impedidas pelo multicaminhamento. A autora salienta que o método mostrou ser o mais prático e confiável.

Os autores PALAZZO, SANTOS FILHO e MOREIRA em 2005 realizaram o monitoramento em três pontes com o uso de nivelamento geométrico e trigonométrico, conseguindo valores de erros sistemáticos próximos de 0,016mm para a maior distância medida. Desta forma indicam o uso da estação total no monitoramento estático de estruturas pré moldadas.

Os autores M. Kochly e T. Kijewski (2005) concluem seu artigo indicando que o objetivo do trabalho foi alcançado, ou seja uma completa análise e procedimentos para medição de deslocamentos em edifícios altos devido à ação do vento, demonstrando que o GPS é uma ferramenta bastante indicada para monitoração na ordem de fração de centímetros. Kochly e Kijewski apontam o GPS como uma ferramenta bastante promissora. Para os pesquisadores se faz necessário elaborar estratégias para mitigação dos erros. Os dados de “ Full Scale” demonstram impacto devido a fonte de erro e viabilidade de uma filtragem de Fourier com base no esquema da remoção. Após a remoção dos resíduos do multicaminhamento. As respostas do túnel de vento foram usadas para comparar com as respostas reais. Há a necessidade de verificar cuidadosamente os pontos a serem filtrados devido à possibilidade de eliminar algum ponto ponderante na medição. Segundo os autores quando comparado com o acelerômetro, o GPS se mostrou bastante eficaz e exato. Apontam ainda que estudos futuros serão realizados com o intuito de elaborar um planejamento de calibração dos dispositivos

O professor Paulo Cruz (2006) em seu artigo mostrou um experimento realizado em uma obra real durante a fase de concretagem, fazendo o uso de sensores imersos no concreto ainda fresco. Nesta obra foram usados sensores ópticos. CRUZ não cita os resultados obtidos neste trabalho.

Paulo Antunes (2007) conclui sua dissertação apontando a criação de um acelerômetro, para medição de vibração em estruturas, com rede de Braggs. Segundo o autor, foi possível uma frequência de ressonância de 50Hz. Em ensaios em uma ponte pedonal, valores de frequência alcançaram um erro máximo de 0,6%. O autor ressalta a não aplicação deste equipamento para medidas de amplitude de aceleração, pois o valor da frequência de ressonância é baixo. O pesquisador mostra que a equação encontrada obteve um coeficiente de correlação de 0,99548, que se aproxima bastante da curva real. Conclui seu trabalho enfatizando que o acelerômetro óptico usando rede de Bragg é capaz de fazer medições de frequência de oscilação, frequência natural de estruturas e aceleração (Entretanto limitado). Indica que o atrativo do dispositivo é o baixo custo e capacidade de medir vibrações nas estruturas através de testes dinâmicos, resultando na frequência e vibração.

Antunes et al concluem seu artigo escrito em 2009 ressaltando que o acelerômetro com rede de Bragg se mostrou bastante eficiente em sua medição numa ponte pedonal do Campus Universitário de Aveiro, aonde para medição de frequências naturais chegou a um erro máximo de 0,025%, e que os desvios médios quadráticos dos dados de aceleração apresentaram um valor máximo de  $4,27 \times 10^{-3}$  G comparado com o acelerômetro de referência.

SHAAL e LAROCCA (2009) realizaram o monitoramento em uma passarela com o sistema GPS e com um transdutor de deslocamentos, encontrando precisões da ordem de 2,0mm para o GPS e 5mm para o transdutor. Ressaltam que o GPS possui vantagens como: Não necessidade de calibração inicial e do estabelecimento de um índice de referência na estrutura. Entretanto apontam que o ambiente em torno do equipamento e obra devem ser favoráveis.

NAHUM e OLIVEIRA (2010) mostram resultados do monitoramento de um edifício de 41 pavimentos situado em Belém. Apontam que a deformação média indicada pelo monitoramento foi de 0,5 ‰ que corresponde a 25% da deformação limite de 2‰ para a compressão e 15% limite de 3,5‰ para a flexo compressão. Os autores indicam como responsável pela discrepância: Ação do vento, distribuição do carregamento, recalques diferenciais, interferência eletrônica.

SHAAL, LAROCCA e GUIMARÃES (2012) concluem seu trabalho de monitoramento em uma ponte apontando a possibilidade de monitorar grandes pontes e edifícios para

pequenos deslocamentos com o uso do GPS. Indicam ainda o uso do Sistema Mundial de Navegação por Satélite (GNSS) com taxas de 100Hz para monitoramento eficiente. Também apontam a possibilidade de conseguir precisões da ordem de 3mm usando períodos de dezenas de segundos. Lembram ainda, que os deslocamentos precisos na direção horizontal são mais difíceis de ser alcançados devido a erros introduzidos e efeitos atmosféricos. Ressaltam também a conquista em um monitoramento real de um ponte, usando os métodos descritos teoricamente.

## 5 ESTIMATIVA DA DESLOCABILIDADE LATERAL

Foi realizada uma a estimativa da deslocabilidade de edifícios de múltiplos andares para o carregamento do vento. De posse dos dados de ação do vento (Direção e velocidade) disponíveis no Site do INMET para consulta pública, foram verificadas as velocidades máxima e média para o período entre 01/01/1970 e 09/10/2012, os valores estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1 - Vento máximo e médio Recife (Estação Curado)**

<b>Vento máximo(m/s)=</b>	<b>13,100</b>
<b>Vento médio(m/s) =</b>	<b>2,806</b>

Entretanto para estimativa foram usados os três último anos ou seja foi verificado os ventos médios e máximos na cidade do Recife no período de 01/01/2010 à 09/10/2012 (Última data atualizada)

Dados da estação:

Estação : Recife – Curado –PE (OHM:82900)

Latitude (graus): -8,05

Longitude (graus) : -34,95

Altitude (metros): 10,00

Início da operação : 07/07/1961

Os valores encontrados foram transformados em gráficos com o auxílio do programa Microsoft Excel conforme Tabelas 2 a 6 :

Tabela 2 - Velocidade mensal do Vento no ano de 2010 na cidade do Recife - PE

2010	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
v(méd) m/s	1,82	2,15	1,89	1,77	1,59	1,70	1,90	2,06	2,67	2,48	2,56	2,44
v(Máx) m/s	4,70	5,00	4,30	4,50	4,20	5,00	4,70	5,00	5,00	5,00	4,20	4,70
Velocidade média no ano de 2010 (m/s) =							2,09					
Velocidade Máxima no ano de 2010 (m/s) =							5,00					

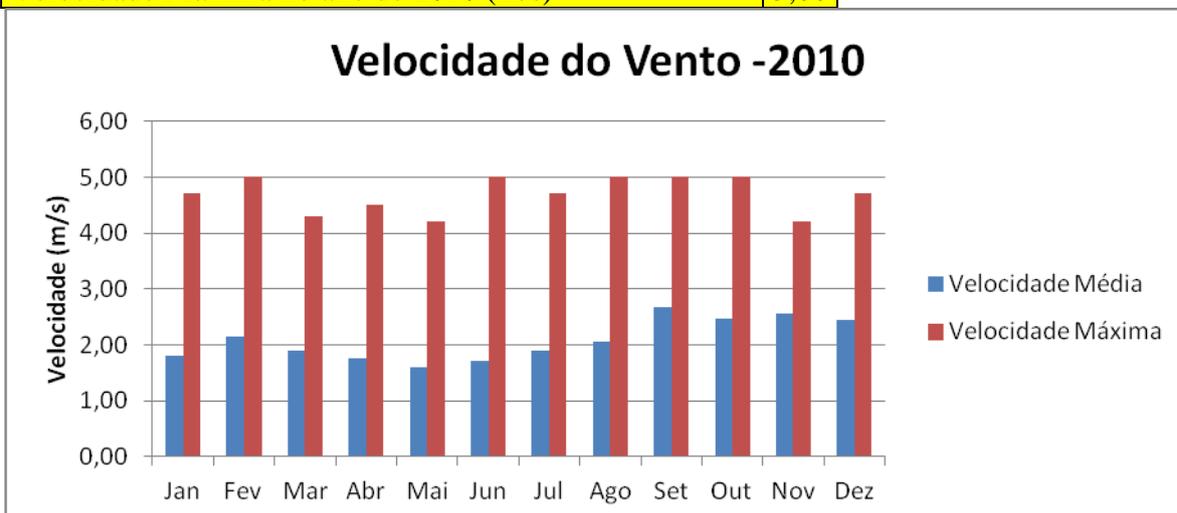


Figura 1- Velocidade do vento média e máxima 2010.

Tabela 3 - Velocidade mensal do Vento no ano de 2011 na cidade do Recife - PE

2011	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
v(méd) m/s	2,13	2,07	1,65	1,45	1,61	1,82	1,58	1,92	2,45	2,48	2,53	2,42
v(Máx) m/s	4,50	4,50	4,00	3,70	4,10	5,00	5,00	4,70	4,70	5,00	4,50	4,30
Velocidade média no ano de 2011 (m/s) =							2,01					
Velocidade Máxima no ano de 2011 (m/s) =							5,00					

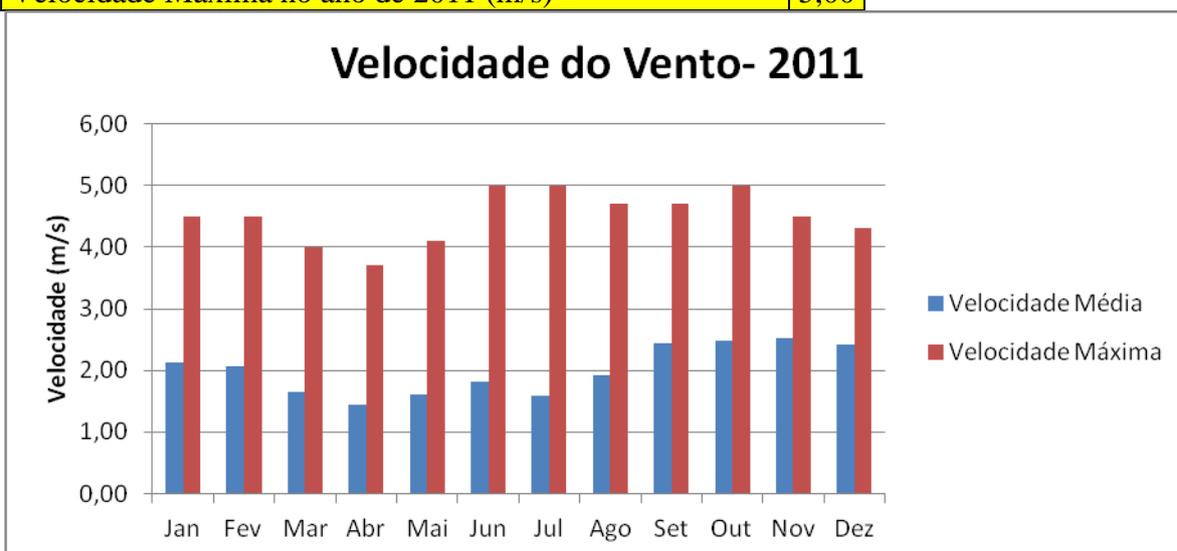


Figura 2- Velocidade do vento média e máxima 2011.

Tabela 4- Velocidade mensal do Vento no ano de 2012 na cidade do Recife - PE

2012	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
v(méd) m/s	2,09	2,49	2,18	2,06	1,76	1,50	1,85	2,31	2,53	Xxx	xxx	xxx
v(Máx) m/s	4,00	7,50	4,00	4,00	4,20	5,00	5,14	5,00	5,14	xxx	Xxx	xxx
Velocidade média no ano de 2012 (m/s) =							2,09					
Velocidade Máxima no ano de 2012 (m/s) =							7,50					

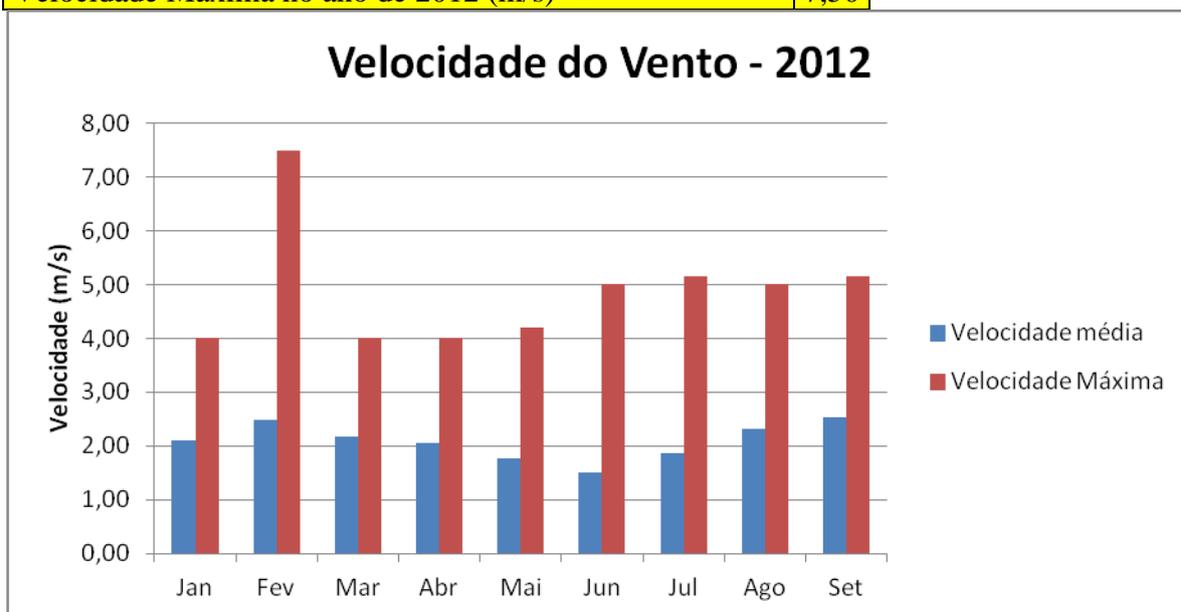


Figura 3- Velocidade do vento média e máxima 2010.

De posse desses dados foi construída a tabela para estimativa da ação do vento, adotando edificações com tamanhos usuais na região:

Tabela 5 - Estimativa da deslocabilidade de edifícios de múltiplos andares para o carregamento do vento.

Estimativa da Deslocabilidade de edifícios de múltiplos andares para o carregamento								
NA	H	dk	dfr	d	d [5m/s]	d [7,5m/s]	d [10m/s]	d [15m/s]
10	30	60	18	0,52	1,67	3,75	6,67	15,00
20	60	120	36	1,05	3,33	7,50	13,33	30,00
30	90	180	54	1,57	5,00	11,25	20,00	45,00
40	120	240	72	2,09	6,67	15,00	26,67	60,00
50	150	300	90	2,61	8,33	18,75	33,33	75,00

Sendo:

Vk: Velocidade do vento característico = 30m/s;

NA : Número de andares;

H: Altura total da edificação.

$$H = NA \times h_{andar}$$

$h_{andar}$ : Altura do andar considerada mais usual (3,00m);

dk: Deslocamento lateral admissível para ação do vento com valor característico.

$$dk = \frac{H(m) \times 1000}{500}$$

dfr : Deslocamento lateral admissível para ação do vento com valor frequente de acordo com a NBR6118/2004

$$dfr = 0,30 \times dk$$

d[velocidade] : Deslocamento lateral para valores reais medidos.

**Tabela 6 - Estimativa da deslocabilidade dos edifícios para a ação do vento, considerado o efeito das alvenarias:**

Estimativa da Deslocabilidade de edifícios de múltiplos andares para o carregamento do vento								
Considerando as alvenarias (40% do deslocamento)								
NA	H	dk	dfr	d [2,8m/s]	d [5m/s]	d [7,5m/s]	d [10m/s]	d [15m/s]
10	30	24	7,2	0,21	0,67	1,50	2,67	6,00
20	60	48	14,4	0,42	1,33	3,00	5,33	12,00
30	90	72	21,6	0,63	2,00	4,50	8,00	18,00
40	120	96	28,8	0,84	2,67	6,00	10,67	24,00
50	150	120	36	1,05	3,33	7,50	13,33	30,00

Esta amplitude de deslocamento resultará em uma frequência à edificação. Para análise da frequência natural de edificações podem ser usadas as equações propostas pela NBR 6123/1988 para cálculo do período fundamental, sendo apontada que a frequência é o inverso do período. Para calcular a frequência média das edificações é necessário conhecer seus métodos construtivos e tipo de estruturas.

Considerando um edifício com estrutura aperturada de concreto sem cortina teremos:

$$T_1 = \frac{1}{f_1} = 0,05 + 0,012h$$

$$f_1 = \frac{1}{0,05 + 0,012h}$$

Com h, a altura da edificação em metros. Desta forma foi criada a tabela abaixo para estimativa da frequência natural:

**Tabela 7 - Frequência Natural Estimada para edifícios de acordo com a NBR 6123/1988**

NA	h (m)	f1 (Hz)
10	30	2,0000
20	60	1,0526
30	90	0,7143
40	120	0,5405
50	150	0,4348

Como este trabalho não foi específico para um tipo de edificação e não se conhecia o sistema estrutural adotado. Segundo estimativas de CACHUÇO (2011, apud ELLIS 1980), que através de experimentos em modelos de edifícios pode apontar a frequência natural das edificações com valores de ordem:

$$f1 = \frac{46}{H(m)}$$

De posse disto foi montada a Tabela 1 abaixo:

**Tabela 8 - Frequência Natural estimada para edifícios**

NA	H (m)	f1 (Hz)
10	30	1,5333
20	60	0,7667
30	90	0,5111
40	120	0,3833
50	150	0,3067

## 6 RESULTADOS E REQUISITOS PARA UM SISTEMA DE MONITORAMENTO EM EDIFÍCIOS ALTOS

De posse dos levantamentos e estudos realizados neste trabalho, foi chegado à conclusão de que o sistema de monitoramento deve ter alguns requisitos gerais conforme relacionados abaixo:

- Precisão milimétrica a depender da altura da edificação, se o monitoramento for para a velocidade média, esta precisão será no mínimo de  $\pm 0,20\text{mm}$ ;
- Frequência de emissão da onda do equipamento deve ser maior que cinco vezes a frequência natural estimada da edificação para minimizar erros. Experimentos comprovam boas precisões para frequências maiores que 20Hz;
- Processador interligado de acordo com o instrumento usado, sendo necessário a compatibilidade entre dados de saída do GPS e frequência de processamento (Maior que 20Hz ;
- Alimentação elétrica constante com sistema “No Break”;
- Monitoramento remoto;
- Alto tempo de uso sem interrupção;
- Redução dos erros;
- Método para detecção e resolução do multicaminhamento.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante dessa abordagem teórica foi possível contribuir com os requisitos para a monitoração de estruturas devido a ações dinâmicas do vento, sendo necessário:

- Elaboração de uma metodologia para medição;
- Análise do entorno da obra para evitar interferências;
- Análise das ações do vento em uma estação de referência:
  - Antes do monitoramento – Prever quais os melhores meses para monitorar a estrutura de acordo com a série histórica;

- Durante – Correlacionar o vento com as deformações, eliminando ruídos;
  - Depois – Diante das etapas anteriores será possível correlacionar os efeitos dinâmicos com as ações do vento.
- 
- Determinação da taxa de coleta;
  - Monitoração remota;
  - Isenção nas interferências das ondas devido à sobreposição, reflexão, refração etc.;
  - Processador compatível;
  - Alimentação elétrica contínua;
  - Cuidados com o equipamento;
  - Instalação de anemômetros junto aos receptores.

Segundo os ventos analisados na região metropolitana do Recife, verifica-se que para o vento médio não há equipamentos de GPS disponíveis no mercado para realizar a medição dos deslocamentos. Considerando à situação mais real só é possível o monitoramento para edificações maiores que 30 pavimentos, sendo considerado os valores do vento máximo mensal (cerca de 5,0m/s).

## **REFERÊNCIAS**

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; BRITO, G. A. **Extensometria básica**. Ilha Soleira: Universidade Estadual Paulista, 2004.

ANTUNES, P. F. C. **Análise dinâmica de estruturas com sensores de Bragg**. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

ANTUNES, P.; LIMA, H.; PINTO, P.; VARUM, H. ANDRÉ, P. **Sensor óptico para monitorização do comportamento dinâmico de estruturas**. Aveiro: Universidade de Aveiro, [2009]

ARRAIS, G. P. **Pressões exercidas pelo vento em fachadas de edifícios altos**: estudo comparativo dos valores obtidos através de ensaios em túnel de vento e especificações

normativas. 2010. 79f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6118: **Projetos de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6123: **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988.

BLITZKOW, D. **Sistema de posicionamento por satélite GPS. Laboratório de Geodésia, departamento de engenharia de transporte**, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

BORGES et al. **Análise do comportamento estrutural de um edifício esbelto de 42 pavimentos**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51., 2009, Recife. Anais... Curitiba, 2009.

ÇELEBI, M.; SANLI, A. **GPS Successfully monitoring dynamic response of a tall building in San Francisco: Implications**. [2000];

ÇELEBI, M. **GPS in dynamic monitoring of long-period structures**. In 12WCEE 2000. USA 2000.

CHAVES, J. C. et al. **Monitoração de estrutura com o sistema GPS: estudo de caso dos efeitos do vento num edifício**. In: Simpósio Epusp sobre estruturas de concreto, 5., 2003, Presidente Prudente. Anais... Presidente Prudente: UNESP, [2003].

CHAVES, J. C. **Uso da Tecnologia GPS na monitoração de deformações: Sistemas, etapas e experimentos**. 2001, 155f. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

CRUZ, P. J. S. **Inspeção, diagnóstico, conservação e monitorização de pontes. Braga: Universidade do Minho**, [2006].

CUNHA, J. R. F. A. **Modelo teórico de sensores ópticos baseados em fibras com grade de Bragg**. 2007, 73f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciência exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

FAZAN, J. A. et al. **Análise de deslocamentos em barragens com GPS e levantamentos geodésicos**. Rio de Janeiro: Universidade Estadual Paulista, [20--]

FELIX, C. M. S. **Monitorização e análise do comportamento de obras de arte**. 2005. 339f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2004.

GOMES, T. T.; ARAÚJO, A.M. **Comparação de séries de médias mensais de ventos na região metropolitana do Recife**. Universidade Federal de Pernambuco- UFPE, Recife, 2006.

GRANEMANN, D. C. **Estabelecimento de uma rede geodésica para o monitoramento de estruturas: Estudo de caso na usina hidroelétrica Salto Caxias**. 2005. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. BDMEP- Banco de dados Meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 09 Out 2012.

INOCENTE JÚNIOR, N. R. **Estudo de métodos de identificação multivariável baseados em subespaços aplicados ao monitoramento da integridade de estruturas**. Campinas: Unicamp, 2009.

JAREK, A. et al. **Modelagem e Monitoramento de Deformações em Vigas de Concreto Biapoiadas com Sensores de Fibra Ótica** – Redes de Bragg e Método Distribuído. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 53. 2011. Florianópolis. Anais...Curitiba: UFPR, 2011.

KOCHLY, M. KIJEWski- CORREA, T. **Monitoring tall buildings under the action of wind: the role of GPS in urban zones**. In: The fourth European e African conference on wind Engineering. p. 246. July, Prague. 2005.

LAROCCA, A. P. C. **O uso do GPS como instrumento de controle de deslocamentos dinâmicos de obras civis**- Aplicação na área de transporte. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

LAROCCA, A. P. C. **Using high-rate GPS data to monitor the dynamic behavior of a cable-stayed bridge**. In: International technical meeting of the satellite division, p 21-24, sept, São Carlos Engineering School, University of São Paulo, 2004.

LONGO, S. GAMA, C. D. **Análise do riscos inerentes às vibrações transmitidas às estruturas**. Lisboa: Instituto superior técnico. [20--]

MACIEL, R. S. et al. **Sensores óticos na auscultação de barragens de concreto - instrumentação de um modelo do medidor triortogonal de junta**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 53. 2011. Florianópolis. Anais... UFPA, Belém, 2011.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

MOTA, M. M. C. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: Método numérico e resultados observados no campo**. 2009. 222f. Tese (Doutorado em Engenharia de estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

NAHUM, K. A. R.; OLIVEIRA, D. R. C. **Monitoramento de pilares em edifícios altos de concreto armado**. Revista Ibracon, Rio de Janeiro, V. 3, n. 2, jun. 2010.

NETTO, N.P. et al. **Monitoramento de deslocamento em estruturas com GPS**. In : Assembléia Luso-espanhola de Geodésia e Geofísica, 3. 2002. Valência. Anais... 2002

NEVES, R. V. **Processamento e análise de levantamento geodésico aplicado ao monitoramento de estruturas civis**. 2008. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de ciências da terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

PALAZZO, D. R.; SANTOS FILHO, M. L.; MOREIRA, A. R. **A Utilização de Técnicas Geodésicas no Monitoramento de Estruturas pré-moldadas**. In: Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Armado, 1. 2005. São Carlos. Resumo...Curitiba: UFPR, 2005.

SALES, F. M. **Identificação da RAA e monitoramento de estrutura afetada pela reação.** In: Congresso Brasileiro de Concreto, 52. 2010. Fortaleza. Anais... Cesp, Ilha Soleira, 2010.

SCHAAL, R. E.; LAROCCHA, A. P. C. **Measuring Dynamic Oscillations of a Small span cable-stayed footbridge:** case study using L1 GPS receivers. In: Journal of Surveying Engineering. Feb, P.37. Escola Politécnica, USP, 2009.

SCHAAL, R. E.; LAROCCHA, A. P. C.; GUIMARÃES, G. N. **Use of a single L1 GPS receiver for monitoring structure:** First results of the detection of millimetric dynamic oscillations. . In: Journal of Surveying Engineering. may, P.95. Escola Politécnica, USP, 2012.

SOARES, M. A. et al. **Evolução da auscultação geodésica no monitoramento das usinas:** Foz do Areia, Segredo e Salto Caxias. Espaço Energia, n. 11, out. 2009.

TEODOLITO e Estação Total – **Equipamentos de Agrimensura.** MUNDO TOP. Disponível em [<http://mundotop.com/teodolito-estacao-total-agrimensura/>] Acesso em 12 out. 2012.

VASQUES, C. M. **Modelização no controlo activo de vibrações de vigas com sensores e actuadores piezoeléctricos.** 2003. 236f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Departamento de engenharia mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2002.

WERLICH, R. M. C. et al. **Análise da precisão de equipamentos geodésicos na determinação de distâncias curtas.** IN: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, 6. 2012. Recife. **Anais...** p.001 – 007. UFPR, Curitiba, 2012.