

Caracterização de Oscilações Dinâmicas de Estruturas com o GPS utilizando o Método dos Resíduos de Fase

Dra. Ana Paula C. Larocca ¹
Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal ²
Prof. Dr. Marcelo C. Santos ³

^{1,2} EESC-USP Departamento de Transportes
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400,
13566-590 São Carlos SP
apclarocca@superig.com.br¹
schaal@sc.usp.br²

³ UNB - Dept. of Geodesy and Geomatics Engineering
P.O. Box 4400, Fredericton, NB, Canadá, E3B 5A3
msantos@unb.ca³

Resumo: O estudo e aplicação do monitoramento do comportamento dinâmico de estruturas têm mostrado ser fundamental para o auxílio à obtenção de informações para a manutenção da vida útil das estruturas. Este trabalho apresenta os valores de medidas que caracterizam o comportamento dinâmico de grandes estruturas através da aplicação do Método dos Resíduos de Fase (MRF). O MRF envolve a utilização de um calibrador eletro-mecânico que aplica na antena GPS instalada na estrutura, uma oscilação de amplitude bem conhecida, permitindo determinar com precisão milimétrica a amplitude das oscilações das estruturas ensaiadas. A primeira estrutura submetida a ensaio com carga dinâmica foi a Passarela de Madeira Estaiada da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com pedestres caminhando sobre o tabuleiro; a segunda estrutura ensaia foi a Hawkshaw Cable-Stayed Bridge, em New Brunswick, Canadá, com trem-tipo de sessenta toneladas. Os resultados mostraram a determinação da amplitude das oscilações com desvio padrão de menor que 1 milímetro.

Palavras chaves: calibração GPS, oscilações, pontes.

Abstract: The study and application of the monitoring of dynamic behavior of structures has been showed to be important for helping the acquisition of information on the healthy of structures. This paper shows the measure values which characterize the dynamic behavior of large structures using the Phase Residual Method (PRM). The PRM uses an electro-mechanical calibrator which is applied on the GPS antenna known oscillations. It permits to determine with millimetric precision the amplitude of the structure's oscillations. The first structure subject of a dynamic load trial was a cable-stayed wood footbridge at the Sao Carlos Engineering School from the University of Sao Paulo with people walking over the deck; the second structure tested was the Hawkshaw Cable-Stayed Bridge in New Brunswick, Canada, with sixty ton design-trucks. Results from both tests showed the calculation of the amplitude oscillations with standard deviation less than 1 millimeter.

Keywords: GPS, oscillations, bridges.

1 Introdução

O mundo contemporâneo tem se deparado com a possibilidade de concretizar a edificação de estruturas com dimensões gigantescas, apoiado em conceitos teóricos aprimorados ao longo dos anos e possibilitado pelo desenvolvimento dos computadores modernos; em novas tecnologias de tratamento dos diversos tipos de materiais (aço, concreto, madeira ou mesmo combinados). E assim, em poucos anos, a engenharia pode apresentar ao mundo, grandiosas estruturas como, por exemplo, a ponte suspensa *Akashi-Kaikyo Bridge* (Japão), inaugurada em 1998, com o maior vão central do mundo, 1.991 metros. Como exemplo de edifícios, pode-se citar o mais alto do mundo, o *Taipei Financial Center*, em *Taiwan*, com 508 m de altura. Ainda, como exemplo de torres de transmissão menciona-se a *Warsaw TV Mast*, na Polônia, com 646 m de altura.

Do ponto de vista estrutural, as obras civis estão sujeitas às ações de forças estáticas e dinâmicas. Estas podem causar deslocamentos dinâmicos que se caracterizam por sua amplitude, direção do movimento e comportamento ao longo do tempo.

Para a realização de medidas das ações dinâmicas, a Engenharia de Estruturas se vale de instrumentos como acelerômetros, sismômetros, juntamente com instrumentos para medir a temperatura, velocidade e direção do vento. A utilização destes instrumentos na estrutura requer cuidadosa e laboriosa etapa de fixação e proteção dos mesmos, bem como manutenção e calibração freqüentes para produzirem resultados confiáveis.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) passou a ser pesquisado por diversos pesquisadores como ferramenta para análise de deslocamentos estáticos de estruturas. O pioneirismo da aplicação do GPS na tentativa de monitorar deslocamentos estáticos é atribuído a Goad (1989). Ele realizou experimentos para monitorar a crista da barragem de Lawrence, Kansas, EUA. Já, Lovse et al. (1995) realizaram ensaios para medir a freqüência de vibração da Calgary Tower, em Alberta, Canadá. E desta última data até os dias atuais, diversos grupos de pesquisa nesta área estão se consolidando por meio de ensaios práticos e com resultados práticos excelentes para a Engenharia Civil.

E nesta linha de pesquisa, estamos aprimorando uma metodologia de medição com GPS, desde 2001, cujo método desenvolvido foi denominado de Método do Resíduo de Fase (MRF) e o atual objetivo do desenvolvimento é a qualidade das medidas, freqüências e amplitude de deslocamentos.

2 Descrição da Metodologia de Coleta e Análise dos Dados GPS

O método utilizado neste trabalho, batizado de Método de Resíduo da Fase (MRF) (Schaal/Larocca, 2001,2002a) faz uso dos dados GPS apoiando-se no princípio do interferômetro de fase (Figura 01). Assim, a interferometria (do inglês, *interferometry*: *interfere* + *measure* = *interfer-o-metry*) é o uso do fenômeno da interferência em sinais, para efetuar, por exemplo, medidas de distância através da mudança de fase provocada em um dos sinais (Kaplan, 1996).

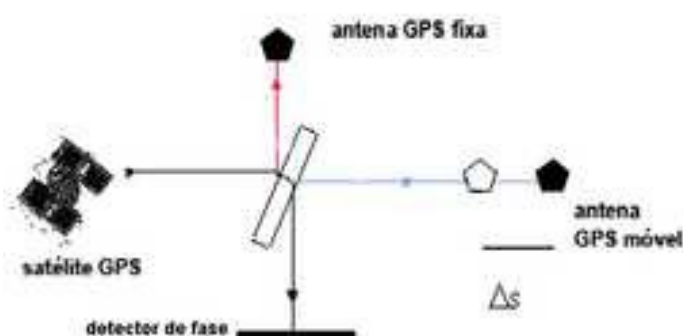


Figura 1: Relação do princípio do interferômetro de fase com os sinais e antenas GPS

Considerando-se o feixe de luz como a onda eletromagnética emitida pela antena de um satélite GPS e os espelhos com as antenas GPS, os movimentos senoidais, verticais ou horizontais, sofridos pela antena móvel provocarão alteração na fase do sinal coletado pelo receptor ligado a esta antena. Isto altera as relações de fase entre o sinal GPS captado pelas duas antenas (estática e móvel). E esta mudança de

fase causada pelos movimentos periódicos sofridos pela antena pode ter sua amplitude e frequência calculada. A antena GPS móvel, por exemplo, pode estar presa em uma estrutura sob ação de carga dinâmica.

Matematicamente a interferometria pode ser expressa por meio de uma dupla diferença envolvendo os dados de fase dos dois satélites coletados simultaneamente pelos dois receptores, (Dupla Diferença de Fase – DDF).

Como todas as perturbações de fase que não são comuns aos respectivos dados coletados nos dois receptores ficam contidas nos resíduos do ajustamento da DDF. Neste caso pode-se relacionar os movimentos da antena fixa a estrutura, contribuições locais devido o multicaminhamento e ruídos de fase não correlacionados, causados pela eletrônica dos receptores, troposfera e ionosfera.

O método embasado no princípio do interferômetro de fase requer apenas coleta de dados de dois satélites espaçados com ângulo próximo a 90° . Desta forma, para se medir um deslocamento vertical, por exemplo, é necessário que um satélite esteja com elevação próxima a 90° e outro com elevação próxima à linha do horizonte. Neste caso o satélite mais baixo é considerado como o satélite de referência e o satélite mais alto como 'satélite de medida'. Com esta configuração, haverá uma grande contribuição no resíduo devido às alterações de fase do sinal do satélite próximo ao zênite, em relação ao satélite próximo ao horizonte, o qual praticamente não "vê" os movimentos verticais da antena.

Este método requer apenas a presença de dois satélites em quadratura no espaço durante as medidas e se distingue dos métodos convencionais, pois não se baseia na determinação de coordenadas. De acordo com Meng et al. (2003), a precisão de coordenadas tridimensionais dos movimentos reais de uma estrutura depende da distribuição dos satélites na abóbada celeste.

Para efetuar a calibração das medições de deslocamento vertical, se faz uso de um oscilador eletro-mecânico que aplica movimentos senoidais na antena fixa na estrutura. Este procedimento permite comparar a oscilação a ser medida com a oscilação conhecida, aumentando a acurácia dos resultados.

A seguir, estão apresentadas as estruturas ensaiadas e os resultados obtidos.

3 - Passarela Estaiada de Madeira – Instrumentação e Análises

A passarela estaiada de madeira (Figura 02) construída na Escola de Engenharia de São Carlos foi a primeira estrutura viária onde se aplicou o método de coleta de dados com o GPS (Larocca, 2004a,b). A passarela possui tabuleiro com 35 metros de comprimento, em madeira *Pinus Taeda* e a madeira usada para a torre e para as duas primeiras lâminas laterais dos módulos do tabuleiro foi o *Eucalipto Citriodora*. A torre é constituída por um poste com treze metros de comprimento, 55 cm de diâmetro na base e 45 cm no topo. A passarela foi subdividida em sete módulos com dimensões nominais de 5 m de comprimento, 2 m de largura, 20 cm de altura; cada um deles constituído de 37 lâminas que medem 5 cm de largura por 20 cm de altura e 5 m de comprimento (Pletz, 2003).



Figura 2: Passarela Estaiada de Madeira construída na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP)

A instrumentação constituiu de um par de receptores GPS TOPCON-JAVAD, modelo LEGACY, com taxa de coleta de 20 Hz, equipado com antenas do tipo Choke-Ring, modelo JPS REGANT_SD_E e de um transdutor de deslocamento KIOWA DT 100, com sistema de aquisição de dados VISHAY de 20 canais e taxa de 10 Hz, modelo 5100B Scanner. A Figura 03 ilustra a disposição dos instrumentos utilizados em relação à passarela (Larocca, 2004a,b).

Um receptor GPS foi locado no meio da seção do tramo 2, tendo o centro da antena na mesma direção do transdutor de deslocamento. O outro receptor foi instalado no topo do talude fora da passarela. A antena deste receptor foi fixada no oscilador eletro-mecânico para se ter um pico no espectro de frequência e amplitude conhecidas, e então, servir de calibrador para o pico devido ao deslocamento da passarela. O oscilador foi ajustado para aplicar movimentos de amplitude de 12 mm, com frequência de 1,1 Hz na antena.

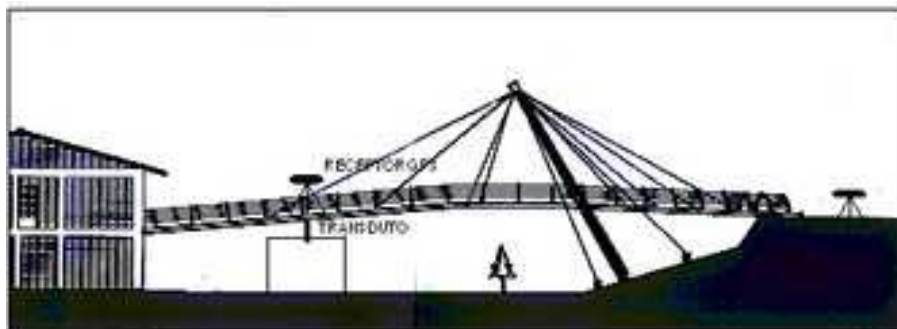


Figura 3: Disposição dos receptores GPS e do transdutor de deslocamento em relação à passarela

Fonte: Pletz (2003), modificado pelos autores.

Os ensaios de vibração forçada foram realizados com 15 pedestres caminhando de forma ordenada sobre o tabuleiro (Figura 04). O ensaio teve duração aproximada de 10 minutos.



Figura 4: Vista lateral dos pedestres caminhando sobre a passarela

3.1 Análise dos Resultados dos Ensaios

Na Figura 05 se ilustram os dados obtidos com o transdutor de deslocamento. Por meio dos valores máximos e mínimos registrados, determinou-se o valor da amplitude do deslocamento, resultando em 13 mm. Aplicando-se a FFT, se pode ver claramente na Figura 06 o pico na frequência de 2,0 Hz correspondente aos movimentos periódicos registrados pelo transdutor de deslocamento, valor que concorda com o teórico proposto por Pretlove/Rainer (1991).

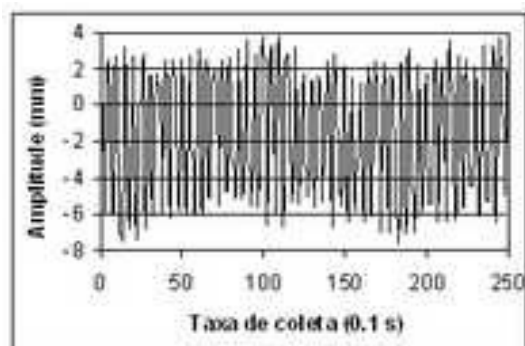


Figura 6: Dados obtidos com o transdutor de deslocamento

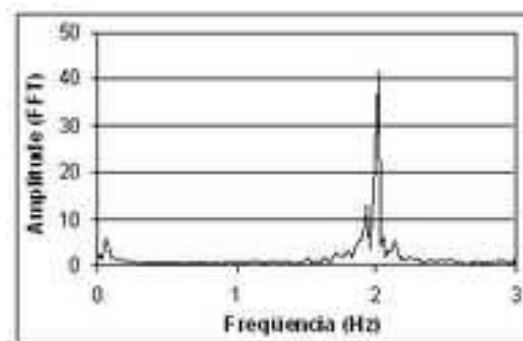


Figura 5: Espectro dos dados registrados pelo transdutor de deslocamento

Durante o experimento, os satélites de medida e de referência estavam próximos a 74° (PRN 28) e 05° PRN (26), respectivamente. A Figura 07 ilustra os resíduos da dupla diferença de fase entre estes satélites. A análise espectral destes resíduos (Figura 08) permite extrair o valor da frequência da máquina, 1,1 Hz e o valor da frequência de resposta da passarela, 2,1 Hz, com relação à ação dos pedestres.

Na Figura 08, pode-se observar, também, que o pico correspondente ao deslocamento aplicado pelo oscilador na antena é perfeito, pois os movimentos são aplicados com determinada frequência constante. Já, o pico correspondente ao deslocamento provocado pela ação de caminhar dos pedestres, embora ordenado, não é perfeito, porque cada pessoa possui um comprimento de passo e um determinado peso.

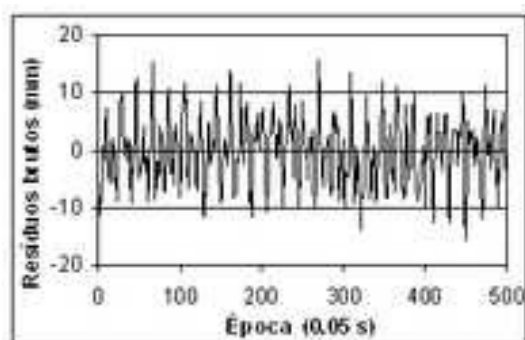


Figura 7: Resíduos brutos dos deslocamentos verticais da passarela e do dispositivo

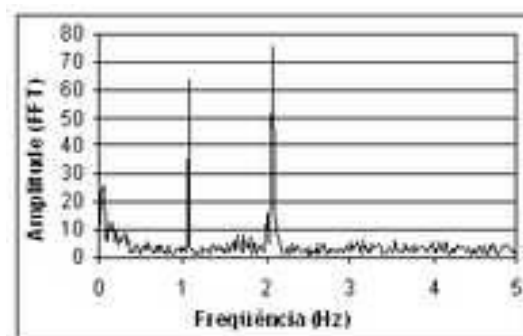


Figura 8: Espectro com o pico correspondente aos deslocamentos periódicos do oscilador e da passarela

Através da comparação direta da amplitude dos picos ilustrados na Figura 08, se determinou o valor da amplitude do deslocamento da passarela, pois se sabe que o valor correspondente à amplitude do deslocamento aplicado pelo dispositivo é 12 mm. O valor obtido foi de 13 mm com desvio padrão de 0,5 mm.

A Tabela 1, abaixo, apresenta os valores obtidos com o GPS e com o transdutor, que também concordam com o valor teórico apresentado por Pretlove et al. (in CEB, 1991), onde mencionam que a resposta de uma passarela a ação de pedestres apresenta frequência média de 2 Hz com desvio padrão de 0,175 Hz.

O valor de frequência registrado com GPS é considerado com desvio padrão igual a zero pelo fato de os relógios dos satélites possuírem padrão atômico que é mais estável que os sensores de acelerômetros e de transdutores de deslocamento.

Tabela 1 – Valores de frequência e amplitude de deslocamento da passarela, sob a ação de pedestres obtido com o GPS e com o transdutor de deslocamento

Equipamento	Frequência de resposta ao caminhar de pedestres (Hz)	Amplitude do deslocamento vertical (mm)
GPS – 20 Hz e antena Choke-Ring	2,1	13 ± 0,5
Transdutor de deslocamento-100 mm	2,0	13 ± 1,0

4 - Ponte Estaiada Hawkshaw Bridge – Instrumentação e Análises

A ponte Hawkshaw (Figura 09) se localiza na província de New Brunswick, no Canadá, a 40 km da capital, Fredericton, onde está um dos Campus da University of New Brunswick.



Figura 9: Vista da Hawkshaw Cable – Stayed Bridge, em New Brunswick, Canadá

A Hawkshaw Bridge é composta por um tabuleiro em viga de aço I, com três vãos constituindo um tabuleiro em rampa. Inaugurada em 1967, a ponte tem seu eixo longitudinal predominantemente na direção norte-sul. O vão central possui 217 m de comprimento, o vão voltado para a direção norte possui 29,44 m e vão sul possui 54,44 m, num total de 301,20 m. O tabuleiro é suportado por duas torres de aço em seção caixão, com 36 m de altura onde se fixam seis cabos de aço de cada lado, em disposição tipo harpa. O tabuleiro tem largura de 7,92 m, com duas faixas de tráfego em sentidos opostos, sem acostamentos, com passeio de largura de 0,60 m e guarda-corpo com 1,10 m de altura, em aço galvanizado.

Os seguintes equipamentos foram utilizados para instrumentar a ponte, ilustrada na Figura 10 (Larocca, 2004a,b):

- Um par de receptores GPS Novatel OEM4-DL4 (de propriedade do CCGE¹), equipados com antenas Pinwheel;
- Três receptores GPS TRIMBLE 5700 (de propriedade do GGE²), sendo dois equipados com antenas ZephyrTM Geodetic e uma antena TRIMBLE SealthTM groundplane;
- Um acelerômetro triaxial da marca ENTRAN EGA3, com sistema de aquisição de dados (de propriedade do Civil Engineering Laboratory da UNB);

1 CCGE: Canadian Center for Geotechnical Engineering

2 GGE: Department of Geodesy and Geomatics Engineering da University of New Brunswick

- Uma Estação Total TRIMBLE 5605;
- Definição do trem-tipo: o tráfego local de caminhões, conforme mencionado anteriormente, é constituído por 90% de caminhões em trânsito de saída ou chegada em uma indústria de extração de árvores e em uma indústria de fabricação de papel. O trem-tipo utilizado pela indústria de extração de árvores se constitui por uma carreta com três eixos traseiros, pesando, 60 toneladas em média, quando carregada.

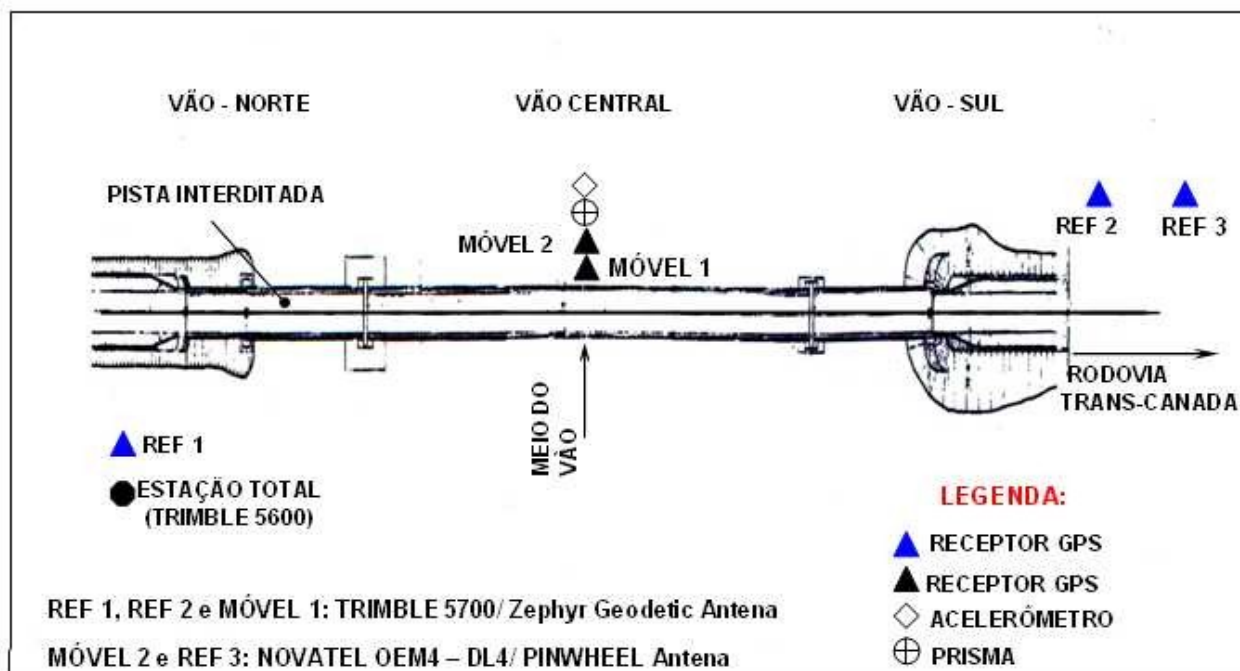


Figura 10: Localização dos instrumentos utilizados no monitoramento da ponte

As Figuras abaixo ilustram o local onde cada equipamento foi instalado. Dois receptores GPS que constituíram as estações fixas foram instalados no topo de uma montanha de cascalho, a 30 m do final do vão sul da ponte, sendo este o local mais alto nas proximidades da ponte. Outros dois receptores foram instalados do guarda-corpo da pista leste, conforme ilustram as Figuras 13 e 14. Todos os receptores foram programados para coletar dados com taxa de 5 Hz.



Figura 11: Montanha de cascalho próxima ao vão sul da ponte



Figura 12: Detalhe dos receptores GPS - REF 2 e REF 3



Figura 13: Suporte de madeira com oscilador, prisma e antenas GPS fixados no guarda-corpo



Figura 14: Vista do acelerômetro fixado no suporte de madeira

Durante o decorrer deste ensaio, os satélites de referência e de medida estavam próximos a 80° (PRN 02) e 06° (PRN 31), respectivamente. A Figura 15 ilustra os resíduos da dupla diferença de fase de todos os satélites em relação ao PRN 02, uma vez que se busca, neste momento, verificar o comportamento dinâmico transversal do vão central. E na própria Figura 16 é possível observar claramente a ‘descrição gráfica’ do deslocamento transversal do ponto instrumentado no meio do vão central, quando um trem-tipo carregado, de 60 toneladas, atravessou a ponte e também a amplitude dos deslocamentos dinâmicos transversais. A travessia durou aproximadamente 45 s.

Pode-se observar que o multicaminhamento se apresenta de forma quase linear nos resíduos, em virtude do satélite mais alto ter sido tomado para referência, logo o satélite cujo sinal apresenta menos interferências de reflexões. A Figura 16 ilustra apenas os resíduos do satélite mais baixo (PRN 31), para melhor visualização do deslocamento dinâmico transversal causado pela carga móvel de 60 toneladas.

A análise espectral destes resíduos (Figura 17) permite extrair o valor da frequência de vibração transversal do tabuleiro quando submetido às vibrações causadas pela carga móvel. O valor da frequência de oscilação lateral do tabuleiro foi de 0,58 Hz e concorda com o teórico proposto por Hirsh/Bachmann (1991). E também, o pico correspondente à frequência de 0,60 Hz aplicada pelo oscilador eletro-mecânico (EMO) na antena GPS, que estava aplicando deslocamento de 12 mm na antena.

A amplitude do deslocamento dinâmico transversal do meio do vão central apresenta valor médio de 13 mm, pela comparação com o pico do oscilador. O máximo deslocamento transversal do tabuleiro, que ocorre quando o caminhão atinge o meio do vão central tem amplitude média de 45 mm. E isto se deve ao fato de o motorista do trem-tipo mudar para a pista oeste, quando se inicia a interdição da pista leste.

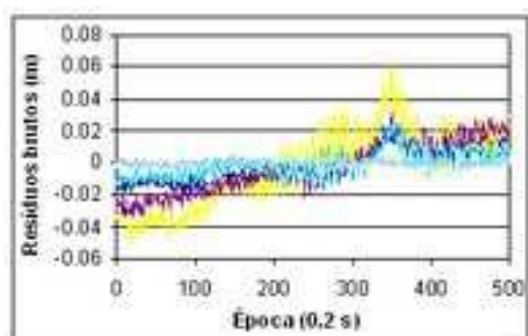


Figura 15: Resíduos brutos dos deslocamentos dinâmicos transversais do vão central – trem-tipo carregado

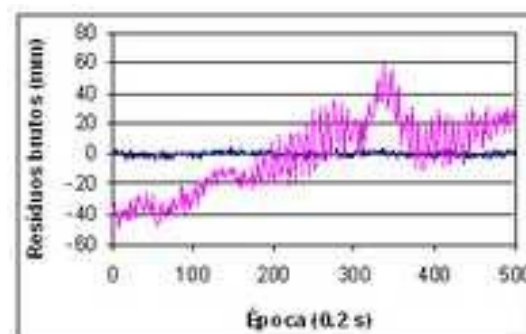


Figura 16: Resíduos brutos do PRN 02 e PRN 20 – deslocamentos dinâmicos transversais do tabuleiro

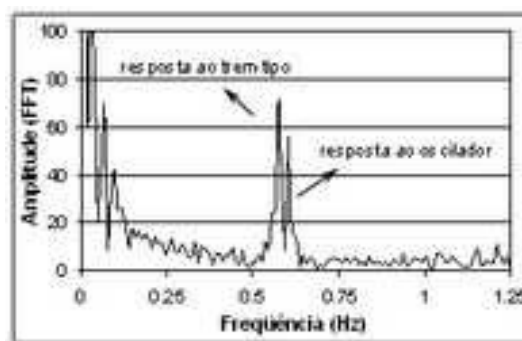


Figura 17: Espectro dos resíduos com picos correspondentes à frequência de oscilação lateral do vão central e do oscilador

5 Conclusão

Os resultados obtidos com o GPS e com o transdutor de deslocamento estão compatíveis com os valores teóricos, realizados nessas duas estruturas, permitindo confirmar a fidelidade dos resultados obtidos pelo GPS na caracterização do comportamento dinâmico de estruturas. Conseqüentemente, os resultados comprovam a eficiência e a potencialidade do método de coleta e análise dos dados GPS, na obtenção dos valores das frequências e da amplitude dos deslocamentos dinâmicos, mostrando que a limitação imposta pela necessidade de uma configuração geométrica especial, requerida pelo MRF não prejudicou em nenhum momento a programação e realização dos ensaios.

O oscilador eletro-mecânico como calibrador, conjuntamente o método de coleta e análise de dados, MRF, é uma solução que permite definir a medida da amplitude do deslocamento da estrutura com uma exatidão milimétrica, que não é facilmente obtida por outros métodos. A exatidão da frequência da oscilação da estrutura é garantida pela estabilidade dos padrões atômicos da base de tempo do GPS. No caso do sensor de deslocamento, a exatidão da frequência depende do oscilador interno do sistema de aquisição de dados e a sua precisão na medida de deslocamento depende de qualidades construtivas.

Diante do exposto, concluiu-se que o GPS pode ser utilizado como instrumento confiável e acurado para a medida da amplitude e da frequência, sugerindo a sua incorporação como instrumento de controle e monitoramento de estruturas.

6 Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP pelo empréstimo dos receptores GPS TOPCON-JAVAD; ao Laboratório de Madeiras, LaMEM, da Escola de Engenharia de São Carlos pela permissão e auxílio na execução da instrumentação da passarela de madeiras estaiada, ao técnicos do LaMEM e aos alunos da pós-graduação do Departamento de Transportes e do Laboratório de Madeiras da Escola de Engenharia de São Carlos por 'servirem' como carga móvel durante os ensaios realizados; ao New Brunswick Department of Transportation (NBTD) pela permissão e ajuda na realização dos ensaios na ponte Hawkshaw Bridge e ao Canadian Center for Geodetic Engineering (CCGE) da University of New Brunswick pelo empréstimo de receptores NOVATEL e a CAPES, pela concessão da bolsa PRODOC para a autora.

7 Referências Bibliográficas

- Goad, C.C. (1989). *Kinematic Survey of Clinton lake dam*. **Journal of Surveying Engineering**. v.115, n.1, p. 67-77, Feb.
- Hirsh, G.; Bachmann, H. (1991). *Bulletin d' Information no. 209 – Vibration Problems in Structures*. In: CEB Suspension and Cable-Stayed Bridges. Chapter. 3.6, p. 109-114.

- Holmes, J.B.** (1998). <http://www.cbu.edu/~jholmes/P252/Light21n/sld040.htm> (20/09/2003).
- Kaplan, E.D.** (1996). *Understanding GPS – Principles and Applications*. Artech House – Boston, London. ISBN:0-89006-793-7.
- Langley, R.B.** (1997). *GPS Receiver System Noise*. **GPS WORLD** – Innovation. June 1997.
- Larocca, A.P.C.** (2004a). *O Uso do GPS como Instrumento de Controle de Deslocamentos Dinâmicos de Obras Civis – Aplicação na Área de Transportes*. São Carlos, 2004. 203p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Larocca, A.P.C.** (2004b). *Using High-rate GPS Data to Monitor the Dynamic Behavior of a Cable-stayed Bridge*. ION GNSS 2004 - The 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of Navigation. September 21-24, 2004, Long Beach, CA, USA.
- Larocca, A.P.C.; Schaal, R.E.; Santos, M.C.; Langley, R.B.** (2005). *Monitoring the Deflection of the Pierre-Laporte Suspension Bridge with the Phase Residual Method*. 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation – ION GNSS 2005. Sept. 13-16, 2005, Long Beach, Convention Center, CA, U.S.A. Proceeding in CD-ROOM.
- Lovse, J.W.; Teskey, W.F.; Lachapelle, G.; Cannon, M.E.** (1995). *Deformation Monitoring of Tall Structure Using GPS Technology*. **Journal of Surveying Engineering**, Vol. 121, No. 1, pp.35-40.
- Meng, X.; Roberts, G.W.; Cosser, E.; Dodson, A.H.** (2003). *Real-Time Bridge Deflection and Vibration Monitoring Using an Integrated GPS/Accelerometer/Pseudolite System*. Proceedings, 11th FIG symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 2003.
- Pletz, E.** (2003). *Passarela Estaiada com Tabuleiro de Madeira Laminada Protendida em Módulos Curvos*. São Carlos, 2003. 164p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- Pretlove, A.J.; Rainer, H.** (1991). *Vibrations Induced By People*. Bulletin d' Information no. 209. In: CEB, 1991. Lausanne. Cap. 1, p. 1-10.
- Santerre, R.; Lamoureux, L.** (1997). *Modified GPS-OTF algorithms for bridge monitoring: Application to the Pierre-Laporte suspension bridge in Quebec City*. Proceedings of the International Association of Geodesy Scientific Assembly, IAG Symposium Vol. 118, Springer-Verlag, Rio de Janeiro, Brazil, 3-9 September, pp.381-386.
- Schaal, R.E.; Larocca, A.P.C.** (2001). *A Methodology to Use the GPS for Monitoring Vertical Dynamic Subcentimeter Displacement*. Digital Earth 2001 - Fredericton, New Brunswick – Canadá – 24-28, Junho.
- Schaal, R.E.; Larocca, A.P.C.** (2002a). *A Methodology for Monitoring Vertical Dynamic Sub-Centimeter Displacements with GPS*. **GPS Solutions**, v.5, n.3, p.15-18, Winter, ISSN:1080-5370

Os Autores:

Ana Paula C. Larocca é graduada em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Recebeu o título de Doutor em 2004, pelo Departamento de Transportes da EESC-USP. Realizou estágio no Department of Geodesy and Geomatics Engineering da University of New Brunswick, Canadá, em 2003. Teve um artigo selecionado pelo Institute of Navigation (ION), como vencedor da competição internacional de estudantes, em setembro de 2004, em Long Beach, Califórnia, EUA. Desde maio de 2005 é Pós-Doutoranda pela CAPES, no Departamento de Transportes da EESC-USP.

Ricardo Ernesto Schaal é graduado em Engenharia Eletrônica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Desenvolveu atividades no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Desde 1998 é Professor Doutor no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, onde desenvolve pesquisas com aplicações do GPS no controle dinâmico de estruturas; no desenvolvimento de método de medida para a emissão de gases no meio urbano; no auxílio a projetos de infra-estrutura de estradas e no cadastro urbano e rural.

Marcelo C. Santos é professor associado do Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canadá. Possui o grau de M.Sc. em Geofísica pelo Observatório Nacional e Ph.D. em Geodésia pela University of New Brunswick. Marcelo atua em pesquisa e ensino na área de Geodésia, Sistemas de Posicionamento Global por Satélite e ajustamento e estimação.