

## REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES ESTRUTURAIS EM EDIFÍCIOS ATRAVÉS DE UM CONTROLADOR MASSA ATIVA MÓVEL

Liang Jiebang, [lk1998@gmail.com](mailto:lk1998@gmail.com), Samuel da Silva, [samuel.silva@unioeste.br](mailto:samuel.silva@unioeste.br)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro de Engenharias e Ciências Exatas (CECE), Av. Tarquínio Joslin dos Santos, n.º. 1300, CEP 85870-900, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

**RESUMO:** Atualmente, o desenvolvimento de técnicas para o controle de vibrações pode ser associado a diversos benefícios, tanto na área de aeronáutica, quando na área de construção civil. Neste sentido, este trabalho propõe o controle de uma bancada estrutural em escala utilizada para simular um prédio flexível de um andar sujeito à excitação externa. A vibração do pavimento é controlada através de um sistema amortecedor de massa ativa (*Active Mass Damper – AMD*) localizado no topo da estrutura. Considerou-se três controladores, todos baseados no método de realimentação de estados com alocação dos pólos. Os resultados experimentais alcançados permitiram analisar a eficiência de cada controlador em relação a localização dos pólos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de vibração, Realimentação de estados, Alocação de pólos.

**ABSTRACT:** Currently the development of techniques for vibration control can be associated with several benefits, such in the aeronautic area as in the civil construction area. In this work a bench-scale structure is used to simulate a flexible one-floor building under an external excitation. The vibration of the “roof” is controlled by an active mass damper system located at the top of the structure. We considered three controllers that are all based on the state feedback method by poles allocation. The results allow us to analyze the efficiency of each controller in relation to the location of poles.

**KEYWORDS:** Vibration control, State feedback, poles allocation.

### INTRODUÇÃO

Técnicas de controle de vibrações são de grande importância em aplicações de engenharia, pois podem permitir a construção de estruturas leves e flexíveis, garantindo bom desempenho (Shiba et al., 1998). Neste sentido, este trabalho tem como principal objetivo projetar um controlador com realimentação de estados para um sistema amortecedor de massa ativa (*Active Mass Damper – AMD*) localizado no topo de uma bancada, amortecendo as vibrações causadas por perturbações externas. Estruturas diferentes de controladores serão testadas para avaliação de desempenho.

### METODOLOGIA

Foi utilizada uma bancada AMD da Quanser Consulting Inc., que simula um edifício de um andar, conforme mostrado na Figura 1(a). Uma força externa é aplicada sobre a bancada, a fim de se realizar uma análise do comportamento dinâmico da estrutura e determinar a eficiência dos controladores projetados.

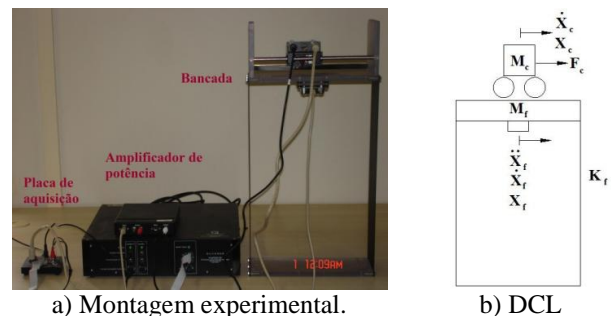
#### Procedimento experimental

Três controladores com diferentes pólos no plano complexo são alocados usando o método de realimentação de estados. A força de excitação (perturbação) considerada, consistiu de um sinal senoidal aplicado no tempo 1,2 s com período de 0,4 s e amplitude de deslocamento do “carrinho”,  $x_c$ , de 25 mm. O controlador implementado foi ativado após 2,5 s, sendo o tempo total do experimento de 10 s. Ressalta-se que a excitação e o controle são implementados no mesmo

atuador “carrinho”. Todos os passos descritos foram implementados utilizando-se o Simulink®, sendo que o diagrama de blocos utilizado foi disponibilizado pela Quanser Consulting Inc.

#### Equações governantes

A Figura 1(b) mostra o diagrama de corpo livre (DCL) esquemático da bancada com as variáveis consideradas.



**Figura 1.** Bancada AMD

Na Figura 1(b) tem-se que  $\dot{x}_c$  a velocidade do “carrinho”,  $x_c$  o deslocamento do “carrinho”,  $F_c$  a força exercida pelo “carrinho”,  $M_f$  a massa do pavimento,  $\ddot{x}_f$  a aceleração do pavimento,  $\dot{x}_f$  a velocidade do pavimento,  $x_f$  o deslocamento do pavimento e  $K_f$  a rigidez equivalente da estrutura. Utilizando-se a equação de Lagrange (Barcelos Neto, 2004), é possível obter a equação que descreve a dinâmica do sistema. Para aplicação da técnica de controle com realimentação de estados, o primeiro passo foi representar as equações na forma de espaço de estados. Com as equações no espaço

de estados utilizou-se o método de realimentação de estados por alocação de pólos, (Ogata, 2000):

$$U = -KX \quad (1)$$

$$\dot{X} = (A - BK)X \quad (2)$$

$$Y = (C - DK)X \quad (3)$$

Sendo  $A$  a matriz dinâmica,  $B$  a matriz de entrada,  $C$  a matriz de saída,  $D$  a matriz de transmissão direta,  $X$  o vetor de estados,  $K$  a matriz de ganho de realimentação,  $U$  o vetor de entrada e  $Y$  o vetor de saída. A Figura 2 mostra um diagrama de blocos com o controlador utilizado neste trabalho.

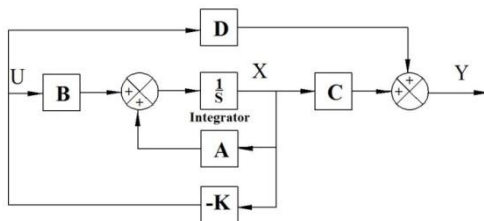


Figura 2. Diagrama de blocos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, um experimento sem controle é realizado para verificar a resposta natural do sistema. Observou-se que o sistema é altamente flexível e a sua frequência natural é aproximadamente 2,5 Hz. Baseado em (Quanser Inc., s. d.), os pólos do sistema sem controle são  $P = [-1,4 + 17j, -1,4 - 17j, 0, -15,8]$ . O primeiro controlador considerado tem pólos  $P = [-3 + 15j, -3 - 15j, -8, -16]$  e é aplicado no tempo de 2,5 s, Figura 3. Já o segundo controlador, também atuando após 2,5 s, apresenta pólos  $P = [-6 + 15j, -6 - 15j, -8, -16]$ , Figura 4. E, finalmente, o terceiro controlador com pólos  $P = [-1 + 15j, -1 - 15j, -8, -16]$ , também atuando após 2,5 s de experimento é apresentado na Figura 5. Nota-se nas Figuras 3 e 4 a atenuação do deslocamento provocado pela atuação do controlador, 24,33 e 52,3 dB, respectivamente. Já na Figura 5 torna-se evidente a instabilidade causada pela utilização de polos próximos da origem do sistema de coordenadas.

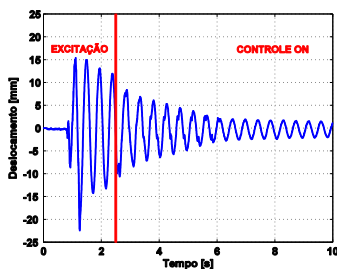


Figura 3. Resposta do sistema com o controlador 1  
 $P = [-3 + 15j, -3 - 15j, -8, -16]$

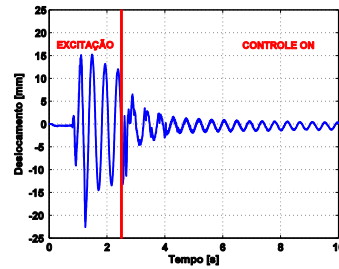


Figura 4. Resposta do sistema com o controlador 2  
 $P = [-6 + 15j, -6 - 15j, -8, -16]$

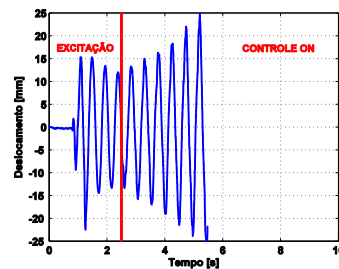


Figura 5. Resposta do sistema com o controlador 3  
 $P = [-1 + 15j, -1 - 15j, -8, -16]$

## CONCLUSÃO

Os testes experimentais comprovam a eficiência dos controladores de vibração, entretanto, nota-se uma grande dependência da escolha dos pólos do controlador, visto que, a proximidade destes da origem do sistema de coordenadas causa instabilidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e da Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Paraná (SETI-PR) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Barcelo Neto, J., 2004, "Mecânica newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana", Ed. Livraria da Física, São Paulo, Brasil.
- Ogata, K., 2000, "Engenharia de controle moderno", Ed. LTC, 3 ed., Rio Janeiro, Brasil.
- Quanser Consulting Inc., "AMD-1 User manual. Revision: 2.1".
- Shiba, K., Mase, S., Yabe, Y. and Tamura, K., 1998, "Active/passive vibration control systems for tall buildings". Smart Materials and Structures, Vol. 7, n. 5 pp. 588-598.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.