

COMPORTAMENTO DINÂMICO DE GRANDES BARRAS DE PULVERIZAÇÃO EM PISTA DE PROVA¹



Cristiano Okada da Pontelli¹

PONTELLI, C. O., *Comportamento dinâmico de grandes barras de pulverização em pista de prova*. Revista Assentamentos Humanos, Marília, v8, n^o1, p77-86, 2008

RESUMO

Neste trabalho foram feitas algumas análises do comportamento dinâmico de dois tipos de suspensões passivas de barras dos pulverizadores tracionados. Estas análises foram conduzidas em condições de pista de prova normalizada ISO 5008, com velocidade de deslocamento do pulverizador de 5 km/h e em dois perfis de pista existentes na norma (acidentada e suavizada). Foram utilizados nas simulações os softwares MATLAB®, SIMULINK® e Visual Nastran®. Os resultados mostram que a suspensão do pendulo longo foi que apresentou melhor desempenho, seguida da suspensão pendulo curto, suspensão trapezoidal com formação A e suspensão trapezoidal com formação V.

PALAVRAS-CHAVE - Suspensão passiva de barra. Suspensão pendular simples. Suspensão trapezoidal. Pista de Prova.

-
1. Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.
 2. Eng^o Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica, Professor Assistente Mestre, Departamento de Engenharia de Produção Mecânica, UNIMAR, Marília – SP. engcristiano@ig.com.br



ABSTRACT

In this work, it was looked to observe the dynamic behavior of boom sprayers supported by two more common types of suspension, being that it analyzes it was based on bump track test. The method was been used with condition of bump track test standard ISO 5008, was used travel velocity of 5 km/h, with smooth and rough bump track. The softwares used for simulation was MATLAB®, SIMULINK® e Visual Nastran®.

The best performance for both situations (smooth and rough bump track) was of long pendulum suspension, following of short pendulum, twin-link formation A and twin-link formation V.

KEYWORDS - *Passive Boom Suspension. Simple Pendulum Suspension. Twin-Link Suspension, Bump Track Test.*

1. INTRODUÇÃO

Os pulverizadores de barras são equipamentos responsáveis pela aplicação de produtos químicos sobre a cultura com o objetivo de maximizar a produção agrícola. A pulverização é basicamente o fracionamento do líquido em pequenas gotas com o objetivo de distribuir de forma homogênea sobre o alvo. Quanto menor o volume de líquido a distribuir por hectare, menor é o diâmetro das gotas requerido. Os pulverizadores se destinam a fazer exatamente isso: gerar gotas e lança-las sobre o alvo com a uniformidade requerida.

A uniformidade de distribuição da calda pela barra é dada pelas condições de montagem e de operação: espaçamento entre bicos, altura da barra, ângulo de abertura dos bicos, pressão de

trabalho e estabilidade dinâmica da barra. O volume de defensivo aplicado ao longo da barra segundo Sinfort (1992) deve ser o mais constante possível.

As oscilações verticais da barra, causadas por irregularidades no terreno, alteram a distância de cada bico ao alvo e distorcem a distribuição. Além disso, quando as oscilações são excessivas, fazem com que as pontas da barra toquem o solo, causando eventuais danos nas à mesma. Estas oscilações segundo MUSILLAMI (1977), aumentam com a velocidade de caminhamento do trator. As oscilações horizontais da barra também alteram a uniformidade, mas numa proporção bem menor.

Um outro problema bastante comum e que também altera a uniformidade de aplicação é o erro na justaposição das faixas tratadas. Espaçamentos insuficientes ou excessivos entre as passadas causam variações no volume de aplicação de até 100%.

São conhecidos vários métodos para estimar a qualidade da distribuição dinâmica de pulverização.

Estes métodos diferem na maneira de excitar o pulverizador ou a barra do pulverizador. Uma das possibilidades é transladar sobre uma pista artificial ou natural (Pochi et al., 1998; Miller et al., 1989), ou transladar por uma pista ajustada com obstáculos artificiais (Chaplin and Wu, 1989). Outros grupos de pesquisadores utilizam um excitador para reproduzir uma pista de obstáculos (Sinfort et al., 1998).

Herbst e Wolf (2001) desenvolveram um servo mecanismo para excitações em pulverizadores e mediram vários equipamentos dentre pulverizadores tracionados e pulverizadores montados e encontraram coeficientes de variação na ordem de 5 a 22% dependendo do comprimento de barra utilizado, velocidade de caminhamento



e da excitação utilizada. Segundo Herbst e Wolf (2001) um coeficiente de variação na ordem de 15% seria um valor aceitável em virtude das condições encontradas em campo.

Uma das maneiras de minimizar os coeficientes de variação de distribuição de pulverização é a instalação de mecanismos para estabilizar a barra da maneira desejável. Estes mecanismos são conhecidos como suspensões de barras para pulverizadores.

Dentro dos mecanismos citados por NATION(1980), os que mais comumente são encontrados comercialmente são os mecanismos pendulares e o mecanismo "Twin-Link".

No sistema pendular o ponto de articulação costuma ficar acima do centro de gravidade da barra e experimentos mostraram que tal configuração reduz muito pouco a oscilação da barra devido ao movimento de oscilação no sentido roll excitar rapidamente o centro de massa da barra de um lado para o outro. Este fenômeno faz com que a barra rotacione muito mais sobre o centro de massa do que transladar lateralmente.

Em alguns casos este tipos de mecanismo de suspensão estão sendo utilizados para equipamentos com barras compridas. Como a inércia rotacional de barras compridas sobre o centro de gravidade é muito maior em relação ao peso quando comparado com barras curtas, este método de suspensão é mais efetivo. Enquanto a massa da barra cresce proporcional ao comprimento da mesma o momento de inércia polar aumenta ao quadrado do comprimento. Talvez, também se considerarmos que barras maiores são montadas em equipamentos tracionados de maior porte a oscilação no ponto de giro da suspensão se torna mais lenta quando comparada a barras de comprimento pequeno.

Porém existe uma desvantagem fundamental na utilização da suspensão pendular simples que é quando o pulverizador translada sob terrenos inclinados. Naturalmente se deseja que a barra permaneça paralela ao solo quando se está aplicando defensivos químicos nas culturas, porém este tipo de suspensão faz com que a barra permaneça na horizontal o que provoca desigualdade de altura entre uma extremidade e outra da barra ocasionando aplicação desuniforme de defensivos químicos na lavoura.

Existem algumas soluções para este problema, a primeira solução consiste em acoplar um atuador na barra com o objetivo de deslocar o ponto de giro da barra de tal maneira que o centro de massa da barra fique abaixo do centro de giro proporcionando equilíbrio do sistema e conseqüentemente manter a barra paralela ao terreno.

Outra solução é a colocação de pesos na barra sendo um peso de cada lado da barra e com a possibilidade de deslocamento para direita ou esquerda com o mesmo objetivo citado acima.

Em todos os métodos citados acima possuem o inconveniente de que cada mudança de inclinação do terreno o operador do equipamento tem que alterar o processo sendo assim gastando tempo com a regulagem do equipamento. Atualmente existem métodos automáticos de correção de inclinação da barra através de medidores de altura instalados em pontos convenientes da barra.

No caso de barras compridas temos o problema do deslocamento de peso em função do comprimento e nestes casos é comum deixar somente a parte central do quadro do equipamento ser ajustado pela suspensão e cada lado da barra é controlado por atuadores hidráulicos.



Outro mecanismo de suspensão de barra bastante utilizado comercialmente é o chamado "Twin-Link" este mecanismo pode tomar algumas formas, porém as mais conhecidas são a formação em "A" e a formação em "V".

A formação em "A" os braços são dispostos de maneira simétrica um de cada lado do centro da barra e são inclinados de maneira que o ponto de projeção de intersecção se encontre de 0,5 a 2,0 metros acima do centro da barra. O sistema que utiliza o mecanismo de suspensão na formação "A" possui similar desvantagem a de um pendulo simples sendo que a inclinação da barra fica entre uma posição horizontal e paralela a superfície do solo. Desta maneira se necessitarmos de trabalhar em terrenos inclinados haverá necessidade de instalação de alguns dos métodos de controle discutidos anteriormente.

A formação em "V", os braços são dispostos de maneira simétrica um de cada lado do centro da barra e são inclinados de maneira que o ponto de projeção da intersecção seja abaixo do centro de gravidade da barra sendo que este tipo de formação tem a vantagem de retornar rapidamente para a posição de descanso em função de que quando a barra é excitada o movimento do centro de gravidade se encontra no ápice da projeção das intersecções da formação e isso faz com que surja uma força de restauração do movimento muito forte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta etapa serão ilustrados os esquemas e as simplificações adotadas durante o processo de modelamento dos mecanismos de suspensão de barra.

Segundo FROST (1987) o modelo de suspensão do tipo "Twin-Link"

pode ser ilustrado na Figura 1 sendo que a barra é fixada no pulverizador pelos braços S_1B_1 , S_2B_2 de tal maneira que o comprimento do braço S_1B_1 é igual ao braço S_2B_2 . Os pontos S_1 , S_2 , B_1 , B_2 são juntas universais sobre o quadro e a barra respectivamente. O centro de massa da barra está no ponto Q. O movimento do quadro do pulverizador pode ser considerado como uma rotação sobre um eixo que passa através do ponto O, centro instantâneo de rotação roll, perpendicular ao plano da folha. No caso de tratores sem suspensão, por exemplo, o movimento roll do quadro do pulverizador é causado pela rotação do eixo traseiro, quando uma roda traseira eleva-se mais que a outra.

Desta maneira tem sido mostrado por NATION (1980) que a função de transferência relacionando a resposta β da barra ao movimento roll e sendo α o ângulo do quadro do pulverizador, ou seja, o ângulo de entrada do sistema temos a seguinte função:

1)

$$\frac{\beta}{\alpha}(s) = \frac{As^2 + \mu_R s + B}{Cs^2 + \mu_R s + D}$$

2)

$$A = M_B \left[L_0 + \frac{L_3}{2 \tan \bar{\epsilon}} - L_2 \cos \bar{\epsilon} \right] \cdot \left[L_3 + \frac{L_3}{2 \tan \bar{\epsilon}} \right]$$

3)

$$B = M_B g \left[\frac{\left(\frac{L_3}{2} \right) \left(\left(\frac{L_3}{2} \right) - L_2 \sin^3 \bar{\epsilon} \right)}{L_2 \cos \bar{\epsilon} \cdot \sin^2 \bar{\epsilon}} - \frac{L_3}{2 \tan \bar{\epsilon}} \right]$$

4)

$$C = I_B + M_B \left[L_3 + \frac{L_3}{2 \tan \bar{\epsilon}} \right]^2$$



5)

$$D = M_B \left[L_5 + \frac{(L_3/2)(L_3/2) - L_2 \sin^3 \bar{\epsilon}}{L_3 \cos \bar{\epsilon} \sin^2 \bar{\epsilon}} \right]$$

6)

$$\bar{\epsilon} = \sin^{-1} \left[\frac{(L_3 - L_1)}{L_2} \right]$$

Onde μ_R é o coeficiente de amortecimento angular da barra [N.m.s.rad⁻¹].

Segundo SULLIVAN (1986) o modelo de suspensão do tipo pendulo simples pode ser ilustrado na Figura 2 sendo que a barra é fixada no pulveri-

zador pelo braço S3B3. Os pontos S₃, B₃ são juntas universais sobre o quadro e a barra respectivamente. O centro de massa da barra está no ponto Q. O movimento do quadro do pulverizador pode ser considerado como uma rotação sobre um eixo que passa através do ponto O, centro instantâneo de rotação roll, perpendicular ao plano da folha. No caso de tratores sem suspensão, por exemplo, o movimento roll do quadro do pulverizador é causado pela rotação do eixo traseiro, quando uma roda traseira eleva-se mais que a outra.

Desta maneira tem sido mostrado por SULLIVAN (1986) que a função de transferência relacionando a resposta β da barra ao movimento roll e sendo α o ângulo do quadro do pulverizador, ou

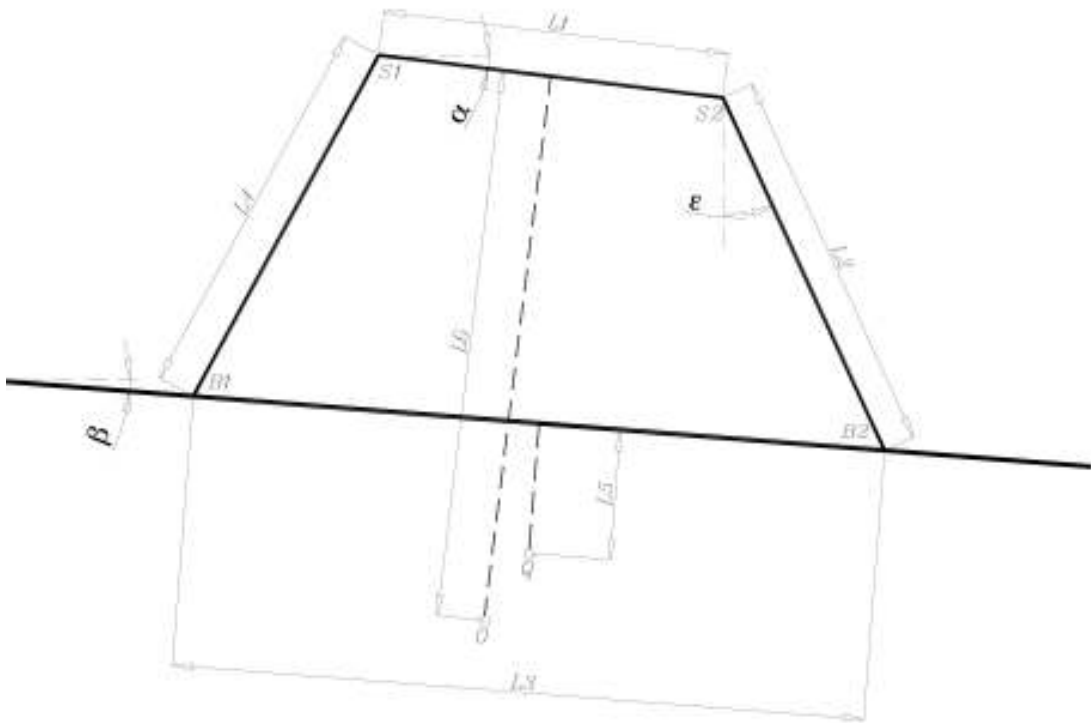


Figura 1

Representação esquemática de uma suspensão "Twin-Link" com formação "A".

seja, o ângulo de entrada do sistema 9)
 temos a seguinte função:

$$F = I_B + M_B L_1^2$$

7)

$$\frac{\beta}{\alpha}(s) = \frac{Es^2 + \mu_R s}{Fs^2 + \mu_R s + G} \quad 10)$$

$$G = M_B g L_1$$

8)

$$E = M_B L_2 L_1$$

Onde μ_R é o coeficiente de amortecimento angular da barra [N.m.s.rad⁻¹].



Figura 2

Representação esquemática de uma suspensão tipo Pendulo Simples.

Type of Suspension	L1 [m]	L2 [m]	L3 [m]	L4 [m]	ξ	μ_R [Nms/rad]
Pendulo Curto	-	0,5	-	1,8	0,8	30.450
Pendulo Longo	-	1,0	-	2,3	0,8	43.200
Trapezoidal Formação A	1,0	0,5	1,5	1,8	0,8	94.500
Trapezoidal Formação V	1,5	0,5	1,0	1,8	0,8	69.500

Tabela 1

Parâmetros da simulação.

Comprimento da Barra [m]	Massa da Barra [Kg]	Momento de Inércia [Kg.m ²]	Material
50	732	98.000	Aço

Tabela 2
Características Físicas da Barra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 mostra os principais parâmetros utilizados na simulação dos modelos matemáticos propostos acima.

A tabela 2 mostra as principais características da estrutura em análise.

A figura 1 mostra a simulação realizada com velocidade de caminhada de 5 km/h em pista de prova normalizada ISO 5008, padrão suavizada, para dois tipos de suspensão pendular. Nota-se que de maneira geral a suspensão pendular longa foi a que melhor pois apresentou resultados em função de uma menor variação em relação à média.

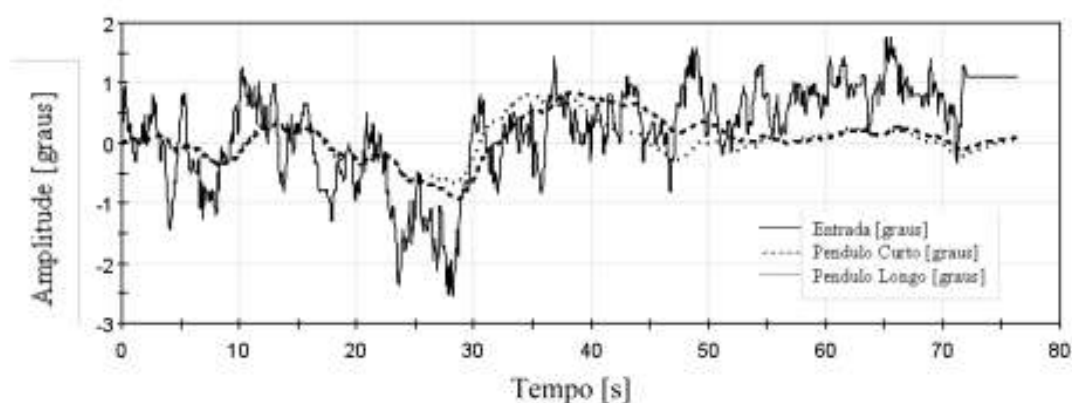


Figura 1

Mostra o desempenho de duas suspensões pendulares quando solicitadas através de pista de prova normalizada, padrão suave, com velocidade de 5km/h.

A figura 2 mostra a simulação realizada com velocidade de caminhada de 5 km/h em pista de prova normalizada ISO 5008, padrão acidentada, para dois tipos de suspensão pendular. Nota-se que de maneira geral a suspensão pendular longa foi a que melhor pois apresentou resultados em função de uma menor variação em relação à média.



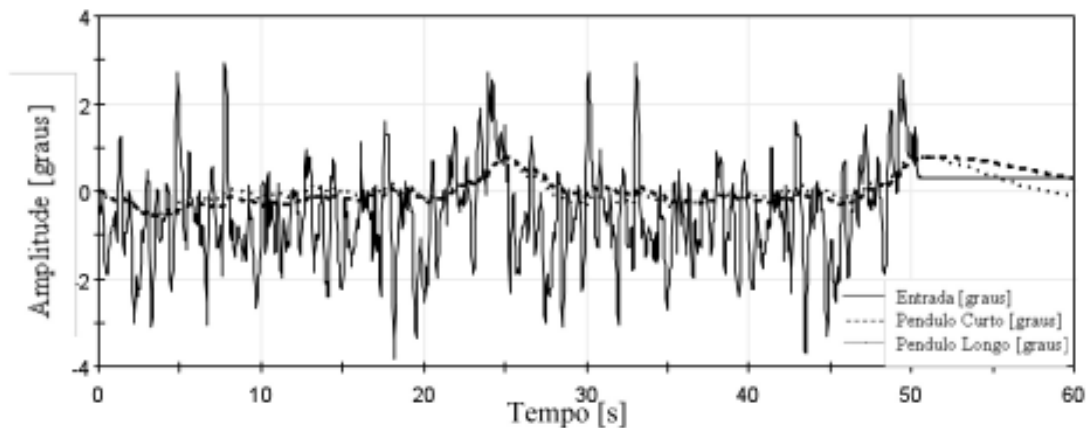


Figura 2

Mostra o desempenho de duas suspensões pendulares quando solicitadas através de pista de prova normalizada, padrão acidentada, com velocidade de 5km/h.

A figura 3 mostra a simulação realizada com velocidade de caminhada de 5 km/h em pista de prova normalizada ISO 5008, padrão suavizada, para dois tipos de suspensão trapezoidal. Nota-se que de maneira geral a suspensão trapezoidal com formação A foi a que melhor, pois apresentou resultados em função de uma menor variação em relação à média.

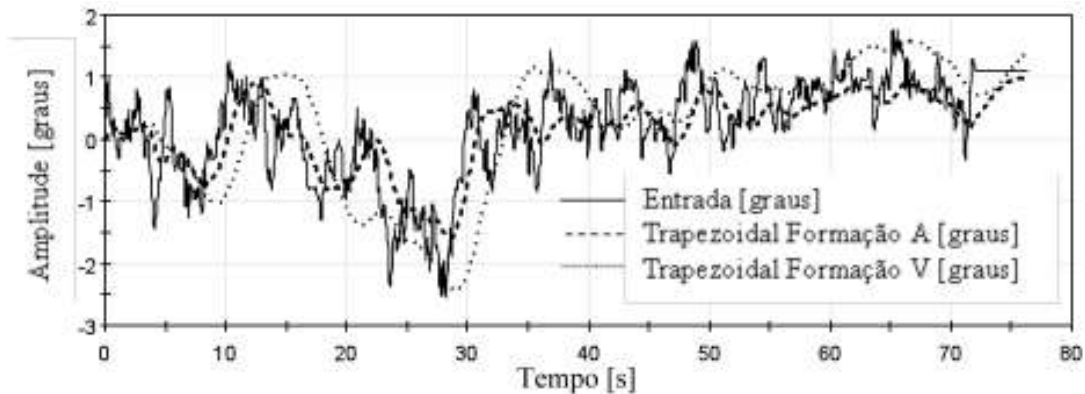


Figura 3

Mostra o desempenho de duas suspensões trapezoidais quando solicitadas através de pista de prova normalizada, padrão suave, com velocidade de 5km/h.

A figura 4 mostra a simulação realizada com velocidade de caminhada de 5 km/h em pista de prova normalizada ISO 5008, padrão acidentado, para dois tipos de suspensão trapezoidal. Nota-se que de maneira geral a suspensão trapezoidal com formação A foi a que melhor, pois apresentou resultados em função de uma menor variação em relação à média.

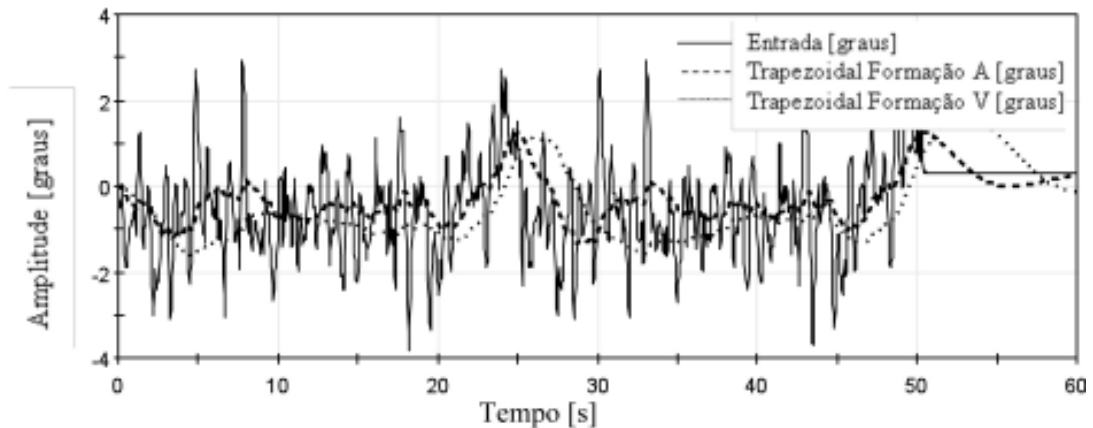


Figura 4

Mostra o desempenho de duas suspensões trapezoidais quando solicitadas através de pista de prova normalizada, padrão acidentada, com velocidade de 5km/h.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, procurou-se observar o comportamento dinâmico de barras de pulverização agrícolas suportadas por dois tipos mais comuns de suspensão, sendo que a análise foi baseada sobre os critérios de desempenhos pré-estabelecidos.

Para a mesma razão de amortecimento, a suspensão do tipo pendulo curto necessita menor valor de amortecimento viscoso do que os demais tipos de suspensão, o que significa menores amortecedores e custos mais baixos.

O melhor desempenho para ambas as solicitações de pista (suave ou acidentada) foi para a suspensão pendular longa, seguida da suspensão pendular curta, em seguida suspensão trapezoidal com formação A e por ultimo a suspensão trapezoidal com formação V.

5. REFERÊNCIAS

- Chaplin, J. and C. Wu. 1989. **Dynamic modeling of field sprayers**, Trans. ASAE (36): 1857-1863.
- Frost, A. R. 1987. **A design procedure for twin universal link spray boom suspensions**. Journal of agricultural engineering research (37): 179-189.
- Herbst, A. and WOLF P. 2001. **Spray deposit distribution from agricultural boom sprayers in dynamic conditions**. Annual International Meeting ASAE, California.
- Miller, P. and C. Mawer. 1989. **Effect of roll angle and nozzle spray pattern on the uniformity of spray volume distribution below a boom**, Crop Protection (8): 217-222.
- Musillami, S. 1977. **Les mouvements des rampes de pulverization pour culture basses, a fixation classique, étudiés a travers les reparti-**



tions au banc a gouttieres. CNEEMA. 160-178.

Nation, H.J. 1978. **Developments in Sprayer boom design.** British Crop Protection Conference – Weeds, 649-656.

Nation, H.J. 1984. **The design and performance of a universal links spray boom suspension II. A model for vertical boom tip behaviour.** Private communication of a paper in preparation.

O’Sullivan, J.A. 1986. **Simulation of the behaviour of a spray boom with an active and passive pendulum suspension.** Journal of Agricultural Engineering Research (35): 157-173.

Pochi, D., and D. Vannucci I. 1998. **Functionality of boom sprayers: elaboration of a system simulating the variations of pesticides distribution at ground level determined by boom oscillations and experimental validation of the results,** International Conference On Agricultural Engineering (AgEng’98), Oslo.

Sinfort,C.,A. Mirrales, F. Sevilla and G. Maniere. 1992. **Influence of boom suspensions on spray distribution,** International Conference On Agricultural Engineering (AgEng’92),Uppsala.

Sinfort,C., K. Schmidt, G. Rabatel, Y. Lardoux and B. Bonicelli. 1998. **Test method for field sprayer inspection at farm level,** international Conference on Agricultural Engineering (AgEng’98), Oslo.

