



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Hizuru Obata, Sasquia

Vento sintético e a simulação de Monte Carlo - uma forma de considerar a característica aleatória e  
instável do carregamento dos ventos em estruturas

Exacta, vol. 7, núm. 1, enero-marzo, 2009, pp. 77-85

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81012760008>

- ▶ [Como citar este artigo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Mais artigos](#)
- ▶ [Home da revista no Redalyc](#)

 redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Vento sintético e a simulação de Monte Carlo – uma forma de considerar a característica aleatória e instável do carregamento dos ventos em estruturas

Sasquia Hizuru Obata

Mestre em Engenharia Civil – Escola Politécnica – USP;  
Doutoranda em Arquitetura – Mackenzie;  
Professora de Estruturas de Concreto e Tecnologias Construtivas – FAAP.  
São Paulo – SP [Brasil]  
sasquia@terra.com.br

Neste artigo, apresenta-se uma forma de considerar a característica aleatória e instável do carregamento dos ventos, estudo de muita importância para torres, estruturas leves, construções de grande altura, estruturas em membranas, tensões estruturais e arquiteturas têxteis. Demonstra-se, com base em uma revisão bibliográfica, a sequência de aplicação do Método do Vento Sintético, como uma rotina de procedimentos a ser aplicada no desenvolvimento de projetos, tendo como referência a proposta do reconhecido do projetista estrutural Eng. Dr. Mario Franco, para a análise e carregamentos aleatórios e instáveis dos ventos nas estruturas, e como forma de simulação por meio do Método de Monte Carlo. Focando-se simplesmente no fato e na intenção de entendimento mais didático do que na apresentação de roteiro de procedimentos de análise, este estudo pode proporcionar o que se entende como facilitação aos estudantes de engenharia, permitindo uma leitura simplificada aos iniciantes em projetos quanto à obtenção de resultados dos esforços e ou deslocamentos quando se considera o vento em sua condição de carregamento aleatório e instável.

**Palavras-chave:** Carregamento aleatório. Monte Carlo. Procedimento. Vento. Vento Sintético.



## Lista de Símbolos

- $S(f)$  – espectro natural de potência do vento.
- $X_1$  – frequência adimensional.
- $f$  – frequência em Hertz.
- $\bar{V}$  – velocidade média do vento.
- $v_3$  – rajadas de ventos como medições de velocidades durante três segundos.
- $v_{600}$  – rajadas de ventos como medições de velocidades durante 600 segundos.
- $z$  – cota ou altura de medições das velocidades dos ventos.
- $v_0$  –  $v_0$  é a velocidade básica do vento.
- $b$  e  $p$  – parâmetros da norma NBR6123.
- $q_p$  – pressão de vento de máxima amplitude ou pressão de vento de pico.
- $\bar{p}$  – pressão média de vento ou pressão estática de vento.
- $F_e$  – força estática do vento.
- $C_a$  – coeficiente de arrasto.
- $A$  – área da projeção vertical da estrutura que contribui para geração da força no ponto considerado
- $P_{ef}$  – pressão efetiva do vento.
- $CP_i$  – coeficientes de pressão interna.
- $CP_e$  – coeficientes de pressão externa.
- $P_f$  – pressão flutuante do vento.
- $d_f$  – diferencial da flutuante.
- $C(f)$ ,  $\varphi(f)$ ,  $A(f)$ ,  $B(f)$  – componentes adequadas para o vento da integral de Fourier.
- $E[x^2]$  – valor quadrático médio ou valor médio ou esperado de  $x^2$ .
- $\sigma^2$  – variância do valor do vento.
- $R_x(\tau=0)$  – área sob a curva espectral.
- $\frac{fS(f)}{\sigma^2}$  – espectro reduzido associado à escala logarítmica.
- $c$  – coeficiente de amplitude.
- $m$  – componentes harmônicos de fases aleatórias.

## 1 Introdução

A análise de estruturas submetidas ao vento é determinante tanto para as estruturas de grande altura quanto para as leves, como é o caso das membranas e cabos.

Para isso hão de se compatibilizar as análises estruturais às características aleatórias e propriedades instáveis que o vento possui como carregamento. Essa compatibilização pode ser representada pelo Método do Vento Sintético, proposto por Franco (1993), por meio da geração de séries históricas de carregamentos, de considerações estatísticas e do Método de Monte Carlo, para simulações numéricas e valores aleatórios, esse processo será descrito no desenvolvimento deste artigo.

## 2 O método do vento sintético

O Método do Vento Sintético tem como premissa os conceitos fundamentais estatísticos e as simulações numéricas, o que lhe confere elevado grau de semelhança ao vento real, sendo, portanto, utilizado como referência em diversos trabalhos acadêmicos como os de Leite (1998), de Carril Junior (2000), de Menin (2002), de Lazanha (2003) e de outros de ordem projetual como a própria aplicação de Franco para o edifício Centro Empresarial Nações Unidas, na Marginal do Rio Pinheiros, em São Paulo.

A simulação de Monte Carlo no Método do Vento Sintético utiliza-se de uma série de dados aleatórios. Para as pressões flutuantes, executam-se transformadas apropriadas, como as de Fourier, para gerar amostras representativas com as propriedades estatísticas do vento. Esse procedimento tem como ponto de partida um espectro de potência, em que pode ser aplicado o de Davenport, indicado para essa sequência, da qual se estabelece um espectro reduzido e, consequentemente, a divisão entre a pressão média e a flutuante.

A parcela flutuante é então decomposta em um número finito de funções harmônicas proporcionais à frequência ressonante da estrutura, com os ângulos de fase variando aleatoriamente.

Em cada uma das parcelas de pressões flutuantes é aplicado o esforço do vento, tendo como base o conceito de correlação espacial, como se elas fossem transformadas em rajadas equivalentes, isto é, essa aplicação será realizada ao longo do tempo de duração da rajada e em um ponto desfavorável da estrutura. Os outros pontos da estrutura são obtidos pelas funções de correlação horizontal e vertical. Essa lógica parte da não incidência do vento em um determinado instante em vários pontos com amplitudes máximas.

Dessas aplicações, obtém-se o espectro de resposta em que se determinam os valores de esforços ou deslocamentos máximos de cada aplicação, sendo o valor característico da resposta determinado estatisticamente pelo Teorema de Gumbel.

Como último passo, a estrutura deve ser solicitada novamente e dessa vez, com a combinação que gerou a resposta mais próxima ao valor característico, em que se identificam os valores de esforços ou deslocamentos característicos da estrutura em estudo.

### 3 O Método de Monte Carlo

O Método de Monte Carlo baseia-se na simulação de variáveis aleatórias para resolução de problemas diversos na engenharia, como os citados, e alguns descritos a seguir, porém, quanto à previsão de investimentos e prefixações, a maioria das publicações é das áreas econômica e financeira.

- Talavera et al. (2000) citam que a avaliação do espectro de potência de raios gamas pelo Método de Monte Carlo tem sido um meio prático ante a evolução da ciência, em que

já se notam cerca de 10% de eficiência entre os valores simulados e os obtidos experimentalmente dos aparelhos eletrônicos de espectros. Por outro lado, nota-se a redução dos erros em 3%; assim, justificam que, não obstante a precisão de tais técnicas de simulação, deve ser avaliada antes de se incorporar à rotina na qual a precisão e a alta resolução são preponderantes.

- Shapiro (2001) apresenta o Método de Monte Carlo como o único modo razoável de calcular a função de expectativa por meio da simulação, com o objetivo de convergir para as propriedades da amostra, de caráter estocástico, utilizando o Teorema do Limite Central, relativo aos estudos de distribuições normais.
- Kramer (2000) diz que o foco principal de seus estudos é expor que a simulação de Monte Carlo se aproxima dos sistemas fluidos turbulentos e complexos e se trata de uma técnica moderna.

O Método de Monte Carlo é considerado muito simples e flexível para ser aplicado em problemas de uma ou de diversas variáveis. No entanto, como depende do número de simulações<sup>1</sup> para reduzir o erro da estimativa da solução procurada, pode tender, na prática, a um processo muito lento, mesmo em face dos procedimentos computacionais.

O uso desse método de simulações foi empregado, primeiro em 1942, no desenvolvimento da bomba atômica, em razão da grande complexidade do problema. No entanto, foi batizado de Monte Carlo por ser a cidade mais famosa pelos seus cassinos e jogos de roleta, dispositivos que produzem números aleatórios.

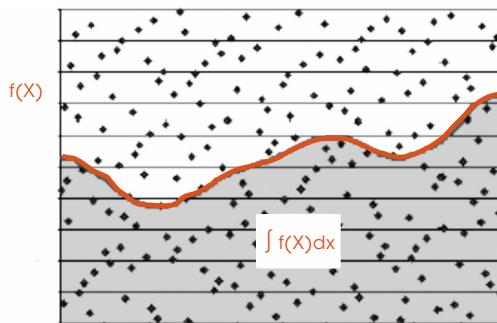
Embora existam muitas aplicações para o método de Monte Carlo, uma das mais intuitivas – e que o ilustra – é o cálculo da área sob uma fun-



ção não negativa, como apresentado em Thomas Jr. et al. (2002), na Equação 1 e na Figura 1:

$$\frac{\text{Área sob a curva}}{\text{Área de retângulo}} \approx \frac{\text{Número de pontos contados sob a curva}}{\text{Número de pontos aleatórios}}$$

(1)



**Figura 1:** Pontos aleatórios sob e sobre a curva

Fonte: A autora.

Portanto, quanto mais pontos forem estudados, melhor será a estimativa, mas é preciso salientar algumas desvantagens no caso de áreas sob curvas, como a falta de um limite de erro e a própria dificuldade de definir a coordenada máxima (altura do retângulo), mesmo que se tenha definido o intervalo das abscissas. No entanto, pode se tornar uma estimativa muito prática para funções de muitas variáveis ou variáveis complexas (THOMAS JR. et al., 2002).

## 4 Espectro do vento

Conforme descrito no Método do Vento Sintético, o espectro natural de potência do vento,  $S(f)$ , a ser utilizado será o de Davenport, descrito pela seguinte expressão:

$$\frac{fS(f)}{\sigma^2} = \frac{2X_1^2}{3(1+X_1^2)^{\frac{4}{3}}}$$

(2)

Em que o valor a ser adotado de  $X_1$  será:

$$X_1 = \frac{1220f}{\bar{V}}$$

(3)

O valor de  $X_1$  é o proposto por Franco (1993) e também citado por Zhou et al. (2002) como sendo o valor adotado pela norma canadense NBC-1995, em que se consideraram a facilidade e a segurança, mas ligeiramente diferente do valor original que tem seu melhor ajuste experimental na escala de comprimento L igual a 1200, segundo Davenport apud Blessmann (1998).

Em relação à velocidade,  $\bar{V}$ , Franco (1993) estabeleceu uma simplificação<sup>2</sup>, mas nessa descrição se aplica o procedimento desenvolvido por Carril Junior (2000), em que a velocidade média do vento varia com a altitude e a categoria do terreno, conforme método descrito da NBR6123 para cálculo da resposta dinâmica na direção do vento.

Nesse caso, a norma estabelece as pressões flutuantes correspondentes às rajadas derivadas de medições de velocidades  $v_3$ , em três segundos e em uma cota  $z$ ; já a velocidade média corresponde a medições em 600 segundos,  $v_{600}$ .

$$v_{600}(z) = 0,69bV_0 \left( \frac{z}{10} \right)^p$$

(4)

$$v_3(z) = bV_0 \left( \frac{z}{10} \right)^p$$

(5)

A velocidade  $V_0$  é básica do vento, em três segundos, para a cota igual a  $z=10m$  em terreno aberto de categoria II, assim como os valores de  $b$  e  $p$  são fornecidos pela norma brasileira, e é dada pela Tabela 1:

**Tabela 1: Valores dos parâmetros  $b$  e  $p$** 

Categoria	I	II	III	IV	V
$P$	0,095	0,15	0,185	0,23	0,31
$P$	1,23	1,00	0,86	0,71	0,50

Fonte: NBR6123.

A pressão de máxima amplitude, ou de pico,  $q_p$  define-se por:

$$q_p = 0,613 v_3^2 \quad (6)$$

A pressão média, ou estática,  $\bar{p}$  é obtida por:

$$\bar{p} = 0,613 v_{600}^2 \quad (7)$$

Do valor da pressão média, calcula-se a força estática,  $F_e$ , atuante em um ponto da estrutura pela Equação 8, a seguir:

$$F_e = C_a A(\bar{p}) = C_a A(0,613 v_{600}^2) \quad (8)$$

Em que:

$C_a$ : Coeficiente de arrasto,

$A$ : Área da projeção vertical que contribui para geração da força no ponto considerado.

Como alternativa que se pode utilizar nas estruturas em membranas, considerando a conveniência de aplicar a carga sobre a área de um elemento de membrana, cita-se a adoção de uma pressão efetiva, que não envolve o coeficiente de arrasto, mas os de pressão interna e externa, respectivamente  $Cp_e$  e  $Cp_i$  (OBATA, 2004).

Nesse caso, a pressão efetiva do vento, segundo a NBR6123, será correspondente ao valor da expressão 9:

$$p_{ef} = (Cp_e - Cp_i) \bar{p} \quad (9)$$

A pressão flutuante, então, pode ser calculada como segue em 10, para uma pressão máxima, e, como expresso em 11, para uma pressão efetiva:

$$p_f = q_p - \bar{p} = 0,613(v_3^2 - v_{600}^2) \quad (10)$$

$$p_f = q_p - p_{ef} = 0,613(v_3^2 - v_{600}^2) \quad (11)$$

A força da parte flutuante, em razão das rajadas, é decomposta em funções harmônicas conforme o espectro de potência das rajadas.

## 5 Decomposição da pressão flutuante

A parcela flutuante do vento deve ser considerada justamente como um processo estocástico, ergódico, de média zero, podendo ser adequada à representação por uma integral de Fourier e ainda de modo discreto, a saber:

$$p_f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(f) \cos[2\pi f t - \varphi(f)] df \quad (12)$$

Em que:

$$C(f) = \sqrt{A^2(f) + B^2(f)} \quad (13)$$

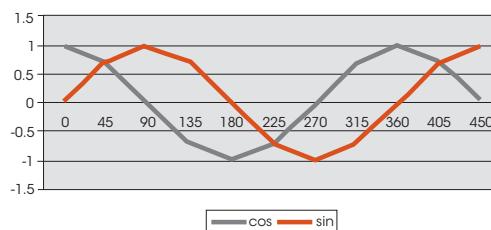
$$\varphi(f) = \arctan \frac{B(f)}{A(f)} \quad (14)$$

$$A(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_f(t) \cos 2\pi f t dt \quad (15)$$

$$B(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_f(t) \sin 2\pi f t dt \quad (16)$$



No caso deste artigo, a transformada de Fourier, representada pela Equação 12, está discretamente composta somente pela função cosseno<sup>3</sup> de forma correspondente ao coeficiente de correlação e função de autocorrelação. Ainda pode ser visto pelo gráfico das funções seno e cosseno, na Figura 2, que o máximo do cosseno é igual ao valor 1 em zero e a  $2\pi$  radianos ou  $360^\circ$ , diferentemente do seno que em zero é mínimo e igual a zero. Salienta-se, ainda, que o valor da média da função é obviamente igual a zero para ambas as funções trigonométricas.



**Figura 2: Gráfico das funções seno e cosseno**

Fonte: A autora.

Como se utilizam funções harmônicas e, no caso do vento sintético, em que é preciso transladar uma função harmônica lateralmente em relação à outra, a função cosseno é mais conveniente, pois permite, nesse tipo de processo, a adequação dos máximos e mínimos das séries de dados, isso porque esta função possui máximo valor quando o ângulo em que opera é zero.

Mudar a função cosseno para a direita ou esquerda por um ângulo  $\varphi(t)$  resulta em uma nova função harmônica que será maximizada em um período  $\omega(t)$  de valor igual  $\omega(t) = \frac{2\pi}{\varphi(t)}$ , em que  $\varphi(t)$  é denominado ângulo de fase. Essa mudança do ângulo de fase da função harmônica, de modo aleatório, é a razão da compatibilidade desse procedimento de simulação com a aleatoriedade de fato das ações dos ventos.

Para tornar prático o processo do vento sintético, utiliza-se a propriedade de equivalência apresentada na Equação 17, em que o valor quadrático médio é o valor médio ou esperado de  $x^2$  e pode ser calculado como valor médio. Também para a determinação da pressão flutuante, aplica-se o conceito no qual a variância resulta igual ao valor quadrático médio, tendo-se a média nula. Se o valor médio for nulo, a variância será igual ao valor quadrático médio.

$$E[x^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 p_x(x) dx \quad (17)$$

$$\sigma^2 = E[x^2] - (E[x])^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 p_x(x) dx + 0$$

$$\therefore \sigma^2 = \overline{p_f}^2(t) \quad (18)$$

$$R_x(\tau = 0) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) d\omega = E[x^2] \quad (19)$$

Da Equação 19 apresentada, pode-se, então, dizer que a área sob a curva espectral corresponde ao valor quadrático médio e, consequentemente, à variância.

$$\sigma^2 = \overline{p_f}^2(t) = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (20)$$

Admite-se ainda o fato da componente flutuante poder ser representada por um número finito  $m$  de funções harmônicas, sendo recomendado por Franco (1993) que seja, no mínimo, igual a 11, escolhidas no intervalo de tempo de interesse que vai de 0,5 segundo a 600 segundos.

Portanto, após essas considerações, a Equação 12 é adequadamente representada por:

$$p_f(t) \approx \sum_{k=1}^m C_k \cos\left(\frac{2\pi}{T_r r_k} t - \phi_k\right) \quad (21)$$

Em que:

$$C_k = \sqrt{2 \int_{(k)} S(f) df} \quad (22)$$

$$r_k = 2^{k-r} \quad (23)$$

Sendo o valor  $r$  o número do harmônico coincidente com a frequência ressonante, e  $T_r$  o período associado.

Para os cálculos de  $C_k$ , Franco (1993) propõe uma importante propriedade e simplificação, ou seja, que sejam calculados pelo espectro reduzido, em razão da proporcionalidade entre o espectro natural de potência  $S(f)$ , e o reduzido associado à escala logarítmica, representada por  $\frac{fS(f)}{\sigma^2}$ , de tal forma que a amplitude de cada uma das funções harmônicas fique representada por 24:

$$p_{f_k} = \frac{C_k}{\sum_{k=1}^m p_f} = c_k p_f \quad (24)$$

Para a definição dos valores de cada  $C_k$ , Franco (1996) atribui como o quarto harmônico o da ressonância da estrutura conforme Figuras 3 e 4 a seguir, visando a englobar os outros modos de frequência.

Em razão de uma série de estudos sobre estruturas de aço e de concreto na região de ressonância, Franco (1996) também sugere que seja realizada uma correção de redução igual a dois da amplitude ressonante. Para que a soma dos coeficientes permaneça igual à unidade, os coeficientes imediatamente superior e inferior são também corrigidos, como segue:

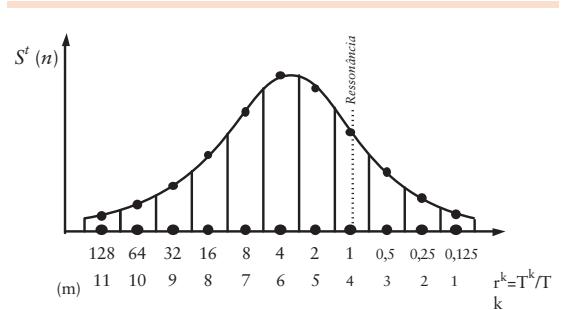


Figura 3: Decomposição da pressão flutuante em  $k=11$  harmônicos

Fonte: Franco, 1996

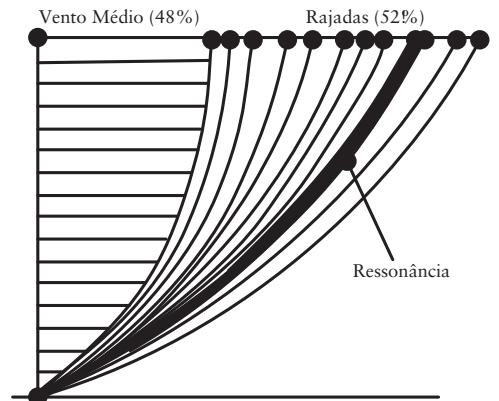


Figura 4: Perfil de pressões sugerido por Franco (1996), apresentando o harmônico correspondente à ressonância

Fonte: Franco, 1996

$$c_{r^*} = \frac{c_r}{2} \quad (25)$$

$$c_{(r-1)^*} = c_{(r-1)} + \frac{c_r}{4} \quad (26)$$

$$c_{(r+1)^*} = c_{(r+1)} + \frac{c_r}{4} \quad (27)$$

Portanto, para a análise por meio da metodologia do vento sintético, criam-se séries de car-



regamentos, sendo que cada uma delas composta pelo carregamento estático e  $m$  componentes harmônicos de fases aleatórias determinadas como a da estrutura.

Das respostas estruturais para cada carregamento, obtém-se o valor máximo para cada série. Dessas respostas, realizam-se análises estatísticas como se fossem uma distribuição normal em que se determina o valor de resposta característico máximo, com incerteza de 5%, como expresso na Equação a seguir:

$$\text{Resposta}_{95\%} = 1,65\sigma + m \quad (28)$$

## 6 Considerações finais

Dada a apresentação deste assunto, cita-se que a Metodologia do Vento Sintético, para o estudo e aplicação de carregamentos de características aleatórias, como no caso de ventos, primeiro passa pelo pleno entendimento da metodologia, razão principal da descrição básica, papel deste artigo.

Portanto, o correto entendimento da metodologia faz com que a aplicação não se limite a uma simples ferramenta de decomposição de carregamentos em partes médias e flutuantes ou aleatórias, mas como um avanço nas análises possíveis das estruturas. Do mesmo modo, a possibilidade do desprendimento do conhecimento básico passa pelo entendimento das informações que pretendamente este artigo buscava encontrar.

### Synthetic Wind and Monte Carlo simulation – A way to consider the aleatory and instable characteristic of wind action in structures

In this article, it is presented a possibility to consider the random and unstable characteristic of

the loads of winds, which is an important study for towers, light structures, high constructions, membranes structures, tensor-structures and textile architectures. The sequence of application of the Method of the Synthetic Wind is made from a bibliographical revision to demonstrate as a routine of procedures to be applied in the development of projects using as reference the proposal of recognized structural planner Dr. Mario Franco, for the analysis random and unstable actions of the winds in the structures, and also a simulation form through Method of Monte Carlo. Focusing this article and its intention more in didactic understanding than in the presentation of an possibility of analysis procedures, this study allows a simplified reading to the engineering students and beginners in projects related to the obtaining of results of the efforts and or displacements, when the wind is considered with random and unstable conditions.

**Key words:** Monte Carlo. Procedure. Random loads. Synthetic Wind. Wind

## Notas

1 O número de simulações para o Método de Monte Carlo apresentado como adequado é de cerca de  $N=10.000$ , segundo Rochman (2004). Para a área financeira no mínimo  $N=100$  é o valor aplicado aos diversos estudos estatísticos, segundo Breidt (2004).

2 A cota foi 10m e categoria II segundo a NBR6123/88, de onde se obteve a seguinte razão:

$$\frac{p_{600}}{p_3} = \left( \frac{v_{600}}{v_3} \right)^2 = 0,69^2 = 0,48$$

ou seja, 48% da força do vento corresponde ao valor médio e 52% das rajadas, sua parte flutuante; assim Franco pode definir as relações entre essas ações distintas e tendo realizada a generalização para as demais categorias e altitudes.

3 A função de Fourier é dada por:

$$x(t) = 2 \int_0^{\infty} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cos \omega t dt \right] \cos \omega t d\omega + 2 \int_0^{\infty} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \sin \omega t dt \right] \sin \omega t d\omega,$$

normalmente apresentada como:

$$x(t) = 2 \int_0^{\infty} [A(\omega)] \cos \omega t d\omega + 2 \int_0^{\infty} [B(\omega)] \sin \omega t d\omega$$

e matematicamente em correlação a função espectral a componente  $B(\omega)$  é nula.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Forças devidas ao vento em edificações – NBR-6123*. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 80p.
- BLESSMANN, J. *Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento*. 1. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- BREIDT, F. J. Simulation estimation of quintiles from a distribution with known mean. American Statistical Association, Institute of Mathematical Statistics and Interface Foundation of North America. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. v 13, n. 2, p. 487-498, 2004.
- CARRIL JUNIOR, C. F. *Análise numérica e experimental do efeito dinâmico do vento em torres metálicas treliçadas para telecomunicações*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FRANCO, M. Direct Along-wind Dynamic Analysis of Tall Structures. *Boletim Técnico da Escola Politécnica*, Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP, 1993. 22p.
- \_\_\_\_\_. Apostila xerocopiada *Edifícios Altos de Concreto Armado*. v. 1, disciplina PEF 717. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.
- KRAMER, P. R. *A review of some Monte Carlo Simulation Methods for Turbulent Systems*. Department of Mathematical Sciences Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, 2000. Disponível em: <<http://www.rpi.edu/~kramep/Public/mcpaper.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2004.
- LAZANHA, E. C. *Análise dinâmica elasto-plástica de estruturas metálicas sob excitação aleatória de vento*. Dissertação (Mestrado)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- LEITE, W. C. *Análise dinâmica estocástica de estruturas de cabos de comportamento não linear sob vibrações aleatórias devidas ao vento*. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- MENIN, R. C. G. *Análise estática e dinâmica de torres metálicas estaiadas*. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.
- OBATA, S. H. *Análise dinâmica de membranas pré-tensionadas de comportamento não linear sob excitação aleatória do vento*. Qualificação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, out. 2004.
- ROCHMAN, R. R. *Análise de métodos numéricos para precificação de opções*. Dissertação (Mestrado). Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas. Disponível em: <<http://www.fgvsp.br/academico/producao>>. Acesso em: 29 set. 2004.
- SHAPIRO, A. *Monte Carlo Simulation Approach to Stochastic Programming*. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. School of Industrial & Systems Engineering, Georgia Institute of Technology Atlanta, B. A. Peters; J. S. Smith; D. J. Medeiros; M. W. Rohrer (Ed.), 2001.
- TALAVERA, M. G.; NEDER, H.; DAZA, M. J.; QUINTANA, B. *Towards a proper modeling of detector and source characteristics in Monte Carlo simulations*. Applied Radiation and Isotopes. Pergamon, Elsevier Science, 2000.
- THOMAS Jr., G. B.; FINNEY, R. L.; WEIR, M.D., GIORDANO, F. R. Cálculo de George B. Thomas Jr., V.1. Tradução de Paulo Boschcov. Pearson Education do Brasil. Addison Wesley, 2002.
- ZHOU, Y.; KIJEWSKI, T.; KAREEM, A. Along-Wind Load Effects on Tall Buildings: Comparative Study of Major International Codes and Standards. 788, *Journal of Structural Engineering*, June 2002.

Recebido em 28 nov. 2008 / aprovado em 8 jan. 2009

### Para referenciar este texto

OBATA, S. H. Vento sintético e a simulação de Monte Carlo – uma forma de considerar a característica aleatória e instável do carregamento dos ventos em estruturas . *Exacta*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 77-85, jan./mar. 2009.