



ANÁLISE NUMÉRICA DE UM EDIFÍCIO DE CINCO PAVIMENTOS ESTRUTURADO EM STEEL FRAME SUBMETIDO À AÇÃO DO VENTO

Divino Willian de Sousa Reis

divinowillian@gmail.com

Instituto Nacional de Cursos

Ewerton de Castro Fleury Curado

e-cfc@hotmail.com

Instituto Nacional de Cursos

Gabriel Santana de Oliveira

gsantanaoliveira@gmail.com

Instituto Nacional de Cursos

Ricardo Alves de Lima

cmtelima21@gmail.com

Instituto Nacional de Cursos

Valter Divino Borges Junior

valter.junior.eng@gmail.com

Instituto Nacional de Cursos

Resumo. O sistema Light Steel Frame (LSF), consiste em um sistema construtivo racional e industrial, com uma proposta de construção que alia rapidez e qualidade construtiva com sustentabilidade. Objetivou-se com este trabalho, incentivar a construção civil a utilizar novos sistemas construtivos que garantam a qualidade estrutural, segurança e durabilidade da edificação como produto final. O estudo foi desenvolvido durante o ano de 2015, na cidade de Goiânia/GO. Por hipótese, foi considerada a estrutura de um edifício fictício, modelado conforme o programa SAP2000® v.15 e, para sua análise dinâmica foi submetido ao carregamento do vento sintético de dois ângulos de vento (0° e 90°). Com base neste estudo, obtivemos as frequências fundamentais, os deslocamentos máximos e a aceleração no topo do edifício, realizando assim, a comparação com os limites estabelecidos pelas normas vigentes. Concluiu-se que a estrutura é viável do ponto de vista técnico, apresentando deslocamentos e frequências de acordo com as normas vigentes, porém, a aceleração não apresentou resultados satisfatórios, podendo ocasionar desconforto aos usuários.

Palavras-chave: Ação do vento; Análise dinâmica; Light Steel Framing; Vento Sintético.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, internacionalmente, tem buscado formas mais eficientes de construção, com o objetivo de aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e atender à uma demanda crescente (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Logo, um dos sistemas que visa atender às características mais sustentáveis é o *Light Steel Frame* (LSF), ou simplesmente *Steel Frame*. Trata-se de um sistema estrutural, racional e industrial. Uma proposta de construção que alia rapidez, qualidade construtiva e habitacional com a sustentabilidade.

O sistema LSF consiste em uma estrutura formada por perfis leves de aço galvanizado, formados a frio. Para a construção dos pisos dos pavimentos nesse tipo de edificação, pode-se apresentar múltiplas soluções, uma delas são os painéis estruturais compostos de tiras de madeiras, que são prensadas sob altas temperaturas e pressão, as chamadas placas de OSB (*Oriented Strand Board*). Para os ambientes que podem ser laváveis, utilizam-se as placas cimentícias. A divisão dos ambientes, é realizada através de placas de gesso acartonado e/ou cimentícias, estas divisões podem receber qualquer tipo de revestimento ou acabamento, feitos nos sistemas construtivos de alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, as **Figuras 1 e 2** ilustram o método construtivo LSF (PENNA, F., 2009).



Figura 1: Sistema Light Steel Framing

Fonte: Portal da Arquitetura, Engenharia e Construção¹



Figura 2: Edificação multi - pavimentos em Light Steel Framing

Fonte: Light Steel Framing Openings²

¹ Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/img-2-50855129.jpg> Acesso em: 5 ago. 2015.

² Disponível em: <http://www.steelnetwork.com/Content/Res/PDF/Catalogs/TSN_Curtain_Wall_Members_Tech_Catalog.pdf> Acesso em: 5 ago. 2015.

Para Santiago, Freitas e Crasto (2012), apesar de ser considerada uma nova tecnologia, o princípio da utilização do LSF se deu no início do século XIX, oriundo das construções em madeira (“wood frame”), tradicionalmente empregadas nos Estados Unidos.

Com o grande desenvolvimento da indústria de aço nos Estados Unidos no período pós Segunda Guerra Mundial, Vivan (2011) diz que, diversas pesquisas sobre os perfis formados a frio, foram desenvolvidas sob a coordenação do *American Iron and Steel Institute* (AISI), publicando a primeira edição das especificações para projetos do AISI, estimulando o uso dos perfis de aço no mercado da construção civil naquele país.

Neste sentido, com a verticalização das construções e a busca por estruturas mais racionalizadas e leves, Vanin (2011) lembra que a ação dos ventos passou a ser o objetivo de diversos estudos, tendo em vista ser uma das mais importantes solicitações numa edificação.

As ações que se tornaram objeto de estudo devido a industrialização da construção civil são descritas por Soriano (2014), como ações dinâmicas. As características dessas ações, usualmente variam com o tempo, quer seja em magnitude, posição, direção e/ou sentido. Tais ações decorrem de forma mais comum, das atividades humanas (correr, pular e dançar); da utilização de equipamentos móveis (como veículos e pontes rolantes); das partes móveis (como vibradores, compactadores, turbinas, centrífugas e peneiras giratórias) e ainda ações provenientes de vento, explosões, ondas marítimas e sismos. Todas as ações citadas causam vibrações nas estruturas, capazes de provocar danos e também fadiga, em seus materiais, afetando a utilidade das mesmas. Enfim, para que haja um correto dimensionamento dos componentes estruturais, conscientiza-se sobre a importância de um estudo profundo sobre as ações dinâmicas, pois são elas que, sobretudo, irão determinar os efeitos e a relevância das consequentes oscilações, que poderão prejudicar a conclusão da obra.

Ainda, de acordo com Soriano (2014), é denominada análise dinâmica de estrutura, a construção e resolução de equações que representam as ações externas, as quais provocam movimentos na estrutura, através de métodos matriciais e técnicas numéricas programadas em computador, bem como a interpretação dos correspondentes resultados.

Esse tipo de análise realizada em estruturas, foi notada já a algum tempo, mostrando sua importância ao se dimensionar estruturas na engenharia, e a fundamental necessidade para engenheiros calculistas de estruturas. Soriano (2014) discorre que, o desenvolvimento da dinâmica na engenharia, se deu a partir do início do século XX, com o estudo do comportamento de equipamentos mecânicos através de modelos simples.

Contribuições importantes para este tipo de estudo na engenharia, deve-se ao croata Stephen Prokofyevich Timoshenko (1878 – 1972) e ao holandês Jacob Pieter Den Hartog (1901 – 1989). Com o passar do tempo, esse estudo estendeu-se às demais áreas que lidam com o projeto de estruturas e, com a disponibilidade e o aumento da capacidade de processamento dos computadores, os modelos e métodos utilizados para a análise dinâmica foram aprimorados de maneira a possibilitar a simulação, com grande precisão, do comportamento das mais sofisticadas estruturas (SORIANO, 2014).

Segundo Beviláqua (2005), o déficit habitacional brasileiro é um problema social que demanda soluções rápidas e eficientes. A maioria dos órgãos públicos e empresas privadas têm buscado incessantemente informações e tecnologias que possam unir os conceitos de modernidade e qualidade ao baixo custo e dinamismo de seus empreendimentos.

Este déficit se formou ao longo de toda a história do país, cuja política urbana sempre proporcionou melhores condições de vida nos grandes centros, atraindo a população para as capitais sem a efetivação de programas habitacionais que resolvessem esse problema (PENNA, 2009).

Novaes, Paliari e Vivan (2010) afirma que o déficit habitacional no Brasil tem fomentado uma série de iniciativas para melhoramento e modernização do setor. A necessidade de construção, em números da ordem de milhões de residências, incentiva a construção civil a desenvolver e a utilizar novos sistemas construtivos e princípios de gestão que garantam a qualidade dos serviços e da edificação como produto final.

Apesar do Brasil ser um dos maiores produtores mundiais de aço, o emprego desse material em estruturas de edificações tem sido pouco expressivo (CRASTO, FREITAS e SANTIAGO, 2012).

No Brasil não existe uma norma específica que trate de análise e projeto de estruturas no sistema *Light Steel Frame* (LSF). Considera-se, portanto, sem perdas, que o material estrutural utilizado para o método, objeto deste estudo, é descrito e prescrito pela NBR 14762/2010, dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

A modulação de estruturas LSF deve ser totalmente associada à compatibilização com todos os projetos envolvidos (arquitetura, estrutura, hidrossanitário, elétrica, etc). Embora ser ainda pouco difundido no Brasil, as vantagens que este sistema possui, como rapidez de execução, limpeza do canteiro de obra, leveza estrutural, fácil modulação e montagem são pontos muito favoráveis, tornando-o bastante competitivo tecnicamente com outros sistemas estruturais já consolidados em nosso país.

Com a necessidade de apresentar um método construtivo, que foge dos padrões da alvenaria convencional, e de se aprofundar no assunto de análise dinâmica das estruturas, face à baixa difusão desse tipo de consideração para estruturas leves no Brasil, foi escolhido para este estudo o sistema *Light Steel Frame* (LSF).

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi verificar uma estrutura em ***Light Steel Frame***, de finalidade residencial, com cinco pavimentos, sob a análise dinâmica da estrutura submetida à ação do vento e, por fim, obter os deslocamentos máximos para esse tipo de ação.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido durante o ano de 2015, na cidade de Goiânia / GO, e a arquitetura do edifício, objeto do trabalho, foi concebida pelos autores. O mesmo foi projetado com cinco pavimentos, com quatro apartamentos idênticos, caixa de escada e elevador. O resultado foi uma arquitetura simétrica, o que pode ser observado nas **Figuras 3 e 4**. O sistema construtivo escolhido para o estudo foi o *Light Steel Frame*. Para a realização do projeto, foi utilizado o método de análise do vento, conhecido como Método do Vento Sintético, mesmo sabendo que existem outros com a mesma finalidade.

Li *et al.* (2010)³ *apud* Cunha Jr. (2012) diz que, existem basicamente três métodos para estudar o efeito do vento em edificações altas: ensaios em túnel de vento; análise de dados da estrutura e do vento coletados em campo; e a utilização de métodos numéricos para a simulação computacional do comportamento destas estruturas.

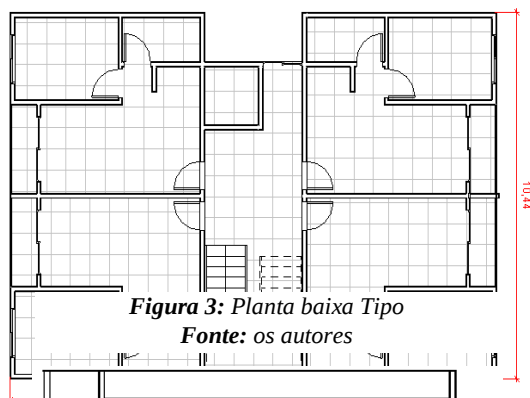


Figura 3: Planta baixa Tipo

Fonte: os autores

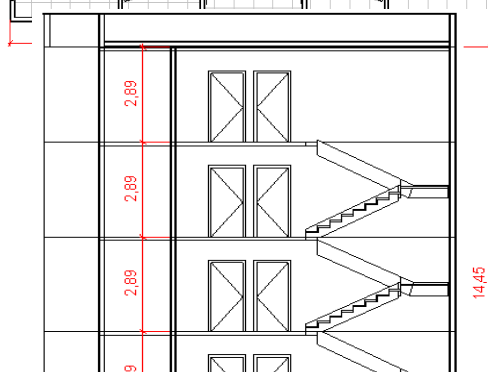


Figura 4: Corte genérico do edifício estudado.

Fonte: os autores

Neste estudo foi considerado um edifício fictício, cuja estrutura foi modelada utilizando o programa SAP2000® v.15 e, sua análise realizada através do método de elementos finitos. A seguir foi submetida ao carregamento do vento sintético, considerando dois ângulos de incidência do vento (0° e 90°), a fim de se obter os valores para os deslocamentos máximos no topo do edifício, as frequências fundamentais e a aceleração do nó mais desfavorável, para realizar a comparação com os limites estabelecidos pela norma vigente (NBR 14762/2010).

De acordo com Cunha Jr. (2012), o método do vento sintético tem como premissa os conceitos estáticos e as simulações numéricas, o que representa uma elevada semelhança com o vento real, sendo assim bastante utilizado nos dias atuais, explica ainda que:

Esta metodologia, que foi proposta por Franco (1993) *apud* Carril Jr (2000), admite que a resposta da estrutura ao carregamento aleatório do vento pode ser considerada como uma superposição de uma resposta média e de uma resposta flutuante sendo a

³ LI, Q.S., Wu, J.R., W., FU, J.Y, LI, Z.N., XIAO, Y.Q. Wind effects on the world's tallest reinforced concrete building, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp.97 – 110, 2010.

parcela média calculada pelo mesmo procedimento descrito na NBR6123/1988 (CUNHA Jr., 2012, p. 70).

Porém, neste trabalho, foi adotada a modificação proposta por Carril Jr. (2000)⁴ *apud* Cunha Jr. (2012), no qual a velocidade básica do vento depende da altura e a relação de parcela média do carregamento total de vento, e a parcela flutuante não apresentam valores constantes como o modelo originalmente proposto, veja:

$$V_3(z) = bV_0 \left(\frac{Z}{10} \right)^p \quad (1)$$

onde V_3 é a velocidade da rajada válida para a categoria utilizada de acordo com a NBR6123/1988 a uma altitude de 10 metros que ocorre em um intervalo de tempo de 3 segundos, V_0 é a velocidade básica do vento, b e p são parâmetros definidos na NBR6123/1988 de acordo com a categoria do terreno e Z a altura do elemento.

Para Cunha Jr (2012) no processo de obtenção da resposta flutuante foi utilizado o espectro de Davenport, o qual foi adotado o mesmo método para este trabalho, representado pela equação:

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

$$X_1 = \frac{1200f}{\bar{V}(10)} \quad (3)$$

O valor f é a frequência das rajadas, V_{10} é a velocidade média do vento medida em um intervalo do tempo de 10 minutos e σ é a velocidade de cisalhamento do vento.

Como é utilizado o espectro de Davenport, sugere a faixa de frequências de 0,0017 Hz até 2,5 Hz para decomposição do espectro de potência, assim o carregamento de vento na direção do fluxo deve ser decomposto em harmônicos de acordo com o espectro de potência, utilizado de forma a abranger pelo menos o primeiro modo de vibração da estrutura. Desta forma, segundo Carril Jr (2000), tem-se a pressão flutuante do vento, segundo as equações:

$$p'(t) \cong \sum_{k=1}^m C_k \cos\left(\frac{2\pi}{T_r r_k} t - \theta_k\right) \quad (4)$$

$$C_k = \sqrt{2 \int_{f_{pk}}^{f_{ak}} S_p(f) df} \quad (5)$$

⁴ CARRIL JR., C.F. **Análise numérica e experimental do efeito dinâmico do vento em torres metálicas treliçadas para telecomunicações**. 2000. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

$$r_k = 2^{k-r} \quad (6)$$

Nas **Equações 4, 5 e 6**, k é o número de harmônicos, $S_p(f)$ é o espectro de potência do vento, R é o número do harmônico escolhido que tem a frequência ressonante com a frequência da estrutura, T_r é o período relacionado ao harmônico ressonante, r_k é a razão entre o período do harmônico k e o período do harmônico ressonante e θ_k é o ângulo fase do harmônico k . Para os coeficientes f_{ak} e f_{pk} temos as **Equações 7 e 8**.

$$f_{ak} = \frac{r}{2^{(k-0,5-R)}} \quad (7)$$

$$f_{pk} = \frac{r}{2^{(k+0,5-R)}} \quad (8)$$

O cálculo das frequências e dos períodos de cada harmônico é realizado conforme as **Equações 9 e 10**.

$$f_k = \frac{r}{2^{(k-R)}} \quad (9)$$

$$T_k = \frac{1}{f_k} \quad (10)$$

Assim, nota-se que r é a frequência fundamental da estrutura e as funções harmônicas são dadas pela **Equação 11**.

$$P = \cos\left(\frac{2\pi}{T_R 2^{k-R}} t - \theta_k\right) \quad (11)$$

Calcula-se na sequência a pressão flutuante devida a ação do vento q_f :

$$q_f = 0,613(V_{pico})^2 - 0,613(V_{media})^2 \quad (12)$$

Os itens V_{pico} e V_{media} , são os valores da velocidade de pico e da velocidade média, que são calculadas com as seguintes relações:

$$V_{pico} = 0,94V_0 \left(\frac{z}{10}\right)^{0,185} \quad (13)$$

$$V_{media} = 0,5934V_0 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,185} \quad (14)$$

Assim, consegue-se chegar aos harmônicos de força Q e nas forças flutuantes F_{flut} :

$$Q = q_f P \quad (15)$$

$$F_{flut} = C_a QA \quad (16)$$

Na formulação proposta, A é a área de influência correspondente a cada pavimento da estrutura que representa a área de incidência do vento. Essa área é calculada como a distância entre os pontos médios de dois pés-direitos consecutivos para pavimentos intermediários.

Após a definição dos harmônicos de forças e das forças flutuantes, a construção das séries temporais de carregamento é realizada através do somatório das forças flutuantes.

Um conceito importante desse método de cálculo, segundo Cunha Jr (2012), é o conceito do tamanho da rajada, que é a dimensão de uma rajada perfeitamente correlacionada e como serão analisados pórticos tridimensionais predominantemente verticais, será utilizada apenas a correlação vertical de velocidades:

$$coh(\Delta z, f_k) = \exp \left(\frac{-7 \Delta z f_k}{\bar{V}(10)} \right) \quad (17)$$

Sendo coh a função de correlação espacial de velocidades, Δz é o comprimento de rajada e f_k é a frequência da rajada k em estudo. Neste contexto, o comprimento de rajada para cada harmônico é dado por:

$$\Delta z_k = \frac{\bar{V}_p}{7 f_k} \quad (18)$$

Para a utilização desse conceito, Franco (1993)⁵ *apud* Cunha Jr (2012) recomenda que, o centro de rajada seja localizado no ponto mais desfavorável da estrutura, de modo a obter a resposta máxima.

Após a geração das séries temporais de carregamento e definição do comprimento de rajada, a estrutura é excitada por cada série individualmente, obtendo-se o valor da resposta máxima, compondo o espectro da resposta.

No caso de edificações destinadas à ocupação humana, que é o caso deste trabalho, as oscilações induzidas pelas forças flutuantes podem provocar desconforto nos ocupantes e como indicação geral, segundo a norma NBR 6123/1988, a amplitude máxima não deve exercer 0,1 m/s².

⁵ FRANCO, M., Direct Along-wind Dynamic Analysis of Tall Structures. **Boletim Técnico PEF/EPUSP**, BT/PEF/9303,1993.

Cunha Jr (2012) diz que na formulação do Método do Vento Sintético de Franco (1993), algumas condições devem ser atendidas como: a geração de no mínimo 20 séries de carregamento, sendo cada série composta por no mínimo 11 funções harmônicas; o período de um dos harmônicos deve coincidir com o período fundamental da estrutura e os períodos das funções restantes devem ser múltiplos de T_r por um fator de 2.

Por fim, adota-se como a parcela flutuante da pressão do vento a série temporal de carregamento que produziu o valor da resposta na estrutura mais próximo do valor característico. Assim, de acordo com Carril Jr (2000) tem-se uma boa representação real do vento em estudo.

3. METODOLOGIA NUMÉRICA ADOTADA

Para o desenvolvimento deste estudo seguiu-se alguns passos, que serão descritos a seguir.

Inicialmente, a estrutura foi concebida no programa AutoCAD®, dispondo os perfis de montante e vigas de piso com espaçamentos de no máximo 50 cm entre si, onde o valor usual está entre 40 e 60 cm, conforme sugestão de Crasto, Freitas e Santiago (2012).

Em seguida, importou-se o arquivo de desenho do AutoCAD® para o SAP2000® v.15 e nele a estrutura foi modelada e devidamente carregada (peso próprio, cargas acidentais e cargas permanentes), para a determinação dos esforços atuantes na estrutura e a análise dinâmica devido à ação do vento. As **Figuras 5** e **6** mostram a maquete 3D do edifício proposto e a modelagem da estrutura também em 3D.



Figura 5: Maquete 3D do edifício em estudo
Fonte: os autores

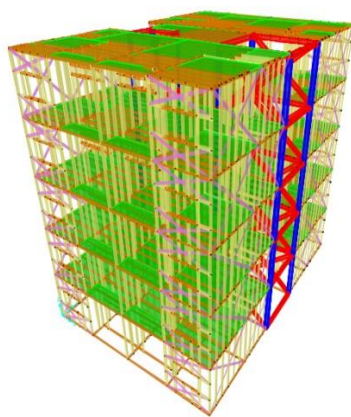


Figura 6: Modelagem da estrutura estudada no
SAP 2000 v15
Fonte: os autores

As peças estruturais (montantes, vigas de piso e contraventamentos) adotadas, foram perfis galvanizados formados a frio, usualmente encontrados no comércio para o método construtivo *Light Steel Frame*. Para os pisos, foram considerados painéis estruturais OSB. Com o intuito de combater os deslocamentos no edifício oriundos da ação vento, foram inseridos núcleos rígidos metálicos com perfis soldados de seção “I” contraventados na caixa da escada e no elevador.

No ambiente do SAP2000®, definiu-se um elemento frame para criar a seção dos perfis de montante e, para as vigas de piso, com seção perfil U enrijecido 40 x 140 x 12,5 x 1,25 mm. Para contraventar a estrutura de Steel Frame, foram utilizadas fitas de aço galvanizado, com dimensões 3x140mm. A definição do piso em OSB se deu por elementos Shell com espessura de 15 mm e para os núcleos rígidos da escada e do elevador, foram definidos elementos frame com perfil CVS 200 x 21 para os pilares e vigas.

Estas seções, descritas anteriormente, foram consideradas apenas para fins de processamento e análise global dentro do programa utilizado para este estudo, pois o mesmo não tem como objetivo realizar a análise local e o dimensionamento dos elementos estruturais. Após a modelagem do edifício, passou-se ao processamento da estrutura para obtenção dos valores da frequência fundamental e deslocamentos horizontais no caso Modal.

Definidos a arquitetura, materiais e seções, passou-se então, para a etapa de levantamento de dados necessários e alimentação do programa. Os dados relacionados à ação do vento na edificação, foram obtidos em acordo com a norma NBR 6123/1988, obtendo como velocidade básica do vento (V_0) um valor igual a 35 m/s, contemplando fator topográfico S_1 igual a 1,0, S_2 para a rugosidade do terreno categoria III e fator estatístico S_3 considerado igual a 1,0.

Os valores dos coeficientes de arrasto para os ventos incidentes nas fachadas da edificação, foram determinados através do ábaco da figura 4 do item 6.3.6 da NBR 6123/1988 para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência, encontrando valores de 1,05 para vento 0°, ou seja, incidindo na menor fachada e 1,22 para vento 90°, que incide na maior fachada.

Após esta etapa, passou-se à definição da função Time History no programa SAP2000® e para isso foi definida a função Time History, utilizando o programa “Geração de Cargas”, desenvolvido por Cunha Jr. (2012), no software Mathcad®, para obtenção das séries temporais.

Os dados inseridos no programa “Geração de Cargas”, foram a velocidade básica V_0 , o coeficiente de arrasto para a direção estudada, e os fatores p_3 , b_3 , p_{600} e b_{600} retirados da tabela 21 da norma NBR 6123/1988. Com isso foram gerados 5 arquivos para cada pavimento relacionados às 20 séries temporais a serem utilizadas no programa SAP2000®.

No SAP2000®, definiu-se a função Time History com os arquivos gerados pelo programa disponibilizado por Cunha Jr. (2012), como visto na **Figura 7**.

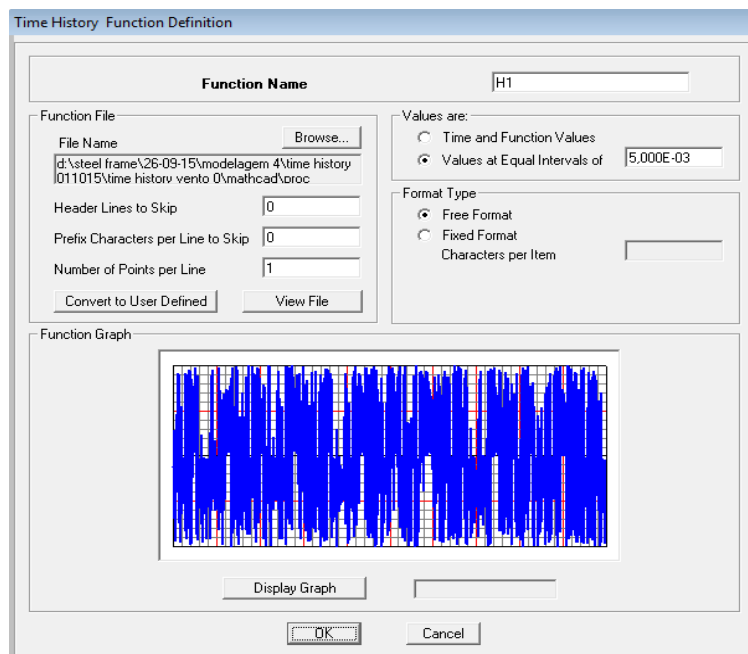


Figura 7: Definição do TimeHistory no SAP2000® v.15

Fonte: os autores

Na sequência, aplicou-se uma carga unitária dividida pela quantidade de nós, em cada nó da face a ser estudada, com o objetivo de incitar a estrutura e obter os deslocamentos, fez-se o tratamento estatístico dos deslocamentos relacionados às 20 séries temporais e foi escolhida a série que mais se aproximou do valor característico.

A série escolhida refere-se à parcela flutuante do carregamento do vento sintético. Retornando ao ambiente SAP2000®, foram inseridos os arquivos do programa “Geração de Carga” na função Time History, em seguida foi realizada a definição dos casos de carregamento (**Figura 8**).

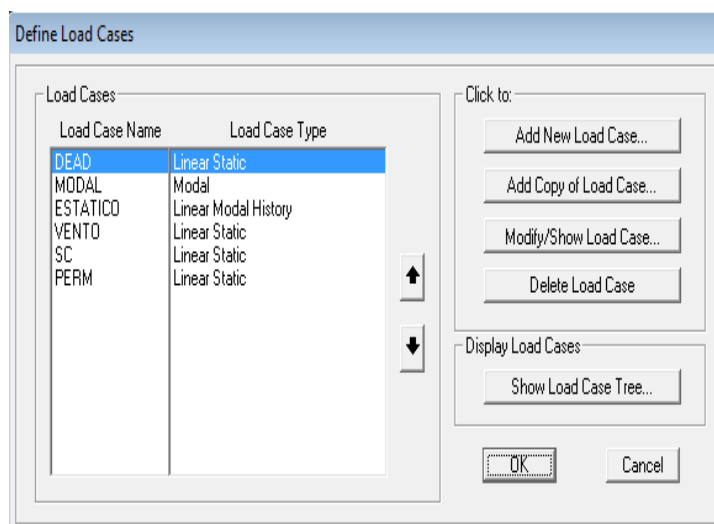


Figura 8: Definição dos casos de carregamento no SAP 2000®
Fonte: os autores

Para os casos de carregamento, considerou-se cargas permanentes, sobrecargas e cargas de paredes conforme as **Tabelas 1 e 2**.

Tabela 1: Cargas de utilização nos pisos

CARGAS DE UTILIZAÇÃO NOS PISOS		
AMBIENTES	PERMANENTES	ACIDENTAL
	Kgf/m ²	Kgf/m ²
SALA, COZINHA, DORMITÓRIO, VARANDA E BANHEIRO	9	150
ÁREA DE SERVIÇO	9	200

Fonte: Brasilit Saint - Gobain⁶

Tabela 2: Cargas de parede

CARGAS DE PAREDE	
AMBIENTES	CARGAS Kgf/m ²
EXTERNA	144,5
INTERNA	173,4

Fontes: Brasilit Saint – Gobain⁷ e Gypsum Drywall⁸

⁶ Disponível em: < <http://www.brasilit.com.br/produtos/construcao-industrializada/placa-cimenticia;NBR 6120>> Acesso em: 15 set. 2015.

⁷ Disponível em: < <http://www.brasilit.com.br/produtos/construcao-industrializada/placa-cimenticia;NBR 6120>> Acesso em: 15 set. 2015.

⁸ Disponível em: < <http://www.gypsum.com.br/web/pt/distribuidores/sistemas.htm>.> Acesso em: 15 set. 2015.

A consideração do Vento Sintético foi realizada através da combinação do carregamento da parcela média do vento, obtida através de formulações da NBR 6123/1988 com a função Time History (parcela flutuante), na opção *Load Combination Data* do programa utilizado na pesquisa (**Figura 9**), e então realizou-se um novo processamento da estrutura com todos os carregamentos descritos anteriormente, a fim de definir os novos deslocamentos da estrutura.

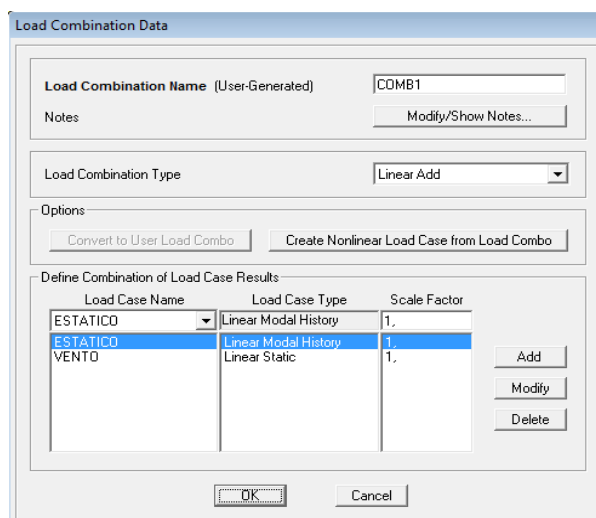


Figura 9: Combinação das parcelas do Vento Sintético no SAP 2000®.

Fonte: os autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **Tabela 3**, foram delineados os resultados das frequências e períodos fundamentais do modelo estrutural, onde se verificou que o menor valor foi 5,49 Hz, adotando – o como frequência fundamental e atendendo ao mínimo da norma NBR 6123/ 1988, que estabelece análise dinâmica para situações onde a frequência fundamental seja < 1 Hz. Portanto, por critério da NBR 6123 e a critério do projetista uma análise dinâmica nesta situação seria dispensável, podendo conduzir o estudo com uma análise estática tradicional. Porém, o estudo utilizando a análise dinâmica prosseguiu-se com a finalidade, de estudar a metodologia do vento sintético, objeto de estudo desta pesquisa.

Tabela 3: Frequências e Períodos do caso MODAL

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,182115	5,491	34,501	1190,3
MODAL	Mode	2	0,181288	5,5161	34,659	1201,2
MODAL	Mode	3	0,181165	5,5198	34,682	1202,8
MODAL	Mode	4	0,18113	5,5209	34,689	1203,3
MODAL	Mode	5	0,181121	5,5212	34,69	1203,4
MODAL	Mode	6	0,170826	5,8539	36,781	1352,9
MODAL	Mode	7	0,170131	5,8778	36,931	1363,9
MODAL	Mode	8	0,169717	5,8922	37,022	1370,6
MODAL	Mode	9	0,169638	5,8949	37,039	1371,9
MODAL	Mode	10	0,169179	5,9109	37,139	1379,3
MODAL	Mode	11	0,169099	5,9137	37,157	1380,6
MODAL	Mode	12	0,169079	5,9144	37,161	1381

Fonte: os autores

Os deslocamentos apresentados na **Tabela 4a** e **4b**, foram obtidos através do processamento global no nó mais desfavorável, no topo do edifício, devido a posição do centro de rajada, considerando todos os carregamentos (permanente, sobrecarga) e também a combinação referente às parcelas de vento médio e parcela flutuante denominada de COMB1 no programa, que diz respeito ao método do vento sintético.

Tabela 4a: Deslocamentos devido ao vento 90°

DESLOCAMENTOS PARA VENTO 90°			
TIPO DE CARREGAMENTO	DESLOCAMENTO SAP2000®	DESLOCAMENTO NORMA ⁹	VERIFICAÇÃO
PERMANENTE	0,01 cm	3,61 cm	OK
SOBRECARGA	0,03 cm	3,61 cm	OK
COMBINAÇÃO VENTO	0,01 cm	3,61 cm	OK

Fonte: os autores

⁹ Deslocamento máximo horizontal, sugerido pela Tabela A.1 do Anexo A da norma ABNT NBR 14762/2010.

Tabela 4b: Deslocamentos devido ao vento 0°

DESLOCAMENTOS PARA VENTO 0°			
TIPO DE CARREGAMENTO	DESLOCAMENTO SAP2000®	DESLOCAMENTO NORMA ¹⁰	VERIFICAÇÃO
PERMANENTE	0,01 cm	3,61 cm	OK
SOBRECARGA	0,02 cm	3,61 cm	OK
COMBINAÇÃO VENTO	0,01 cm	3,61 cm	OK

Fonte: os autores

Os valores de deslocamentos obtidos se mostraram satisfatórios, uma vez que atenderam os limites estabelecidos pela norma NBR 14762/2010, apresentados na **Figura 10**.

Tabela 5: Deslocamentos Máximos

Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	H/400
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	H/500

Fonte: ABNT NBR 14762/2010

A aceleração máxima constatada no programa de análise, considerando os carregamentos utilizados, foi igual a 3,80 m/s². Esse valor de aceleração ficou acima do limite sugerido de 0,1 m/s² pela norma NBR 6123/ 1988, apesar de ter atendido aos deslocamentos estabelecidos por norma e a estrutura apresentar uma rigidez elevada devido aos seus núcleos e contraventamentos, esta poderá apresentar desconforto ao usuário durante sua utilização devido ao valor apresentado.

5. CONCLUSÃO

Observando o método construtivo estudado, conclui-se que a edificação modelada é viável do ponto de vista técnico, uma vez que a mesma submetida à análise global atendeu aos valores de deslocamentos e frequências estabelecidos por norma. Contudo, a aceleração não apresentou condição satisfatória para a norma NBR 6123/1988, mesmo a estrutura possuindo considerável rigidez devido aos seus núcleos e contraventamentos. Essa aceleração interfere no conforto da utilização da estrutura, pois com esse valor o usuário poderá sentir a vibração da estrutura causando sensações desagradáveis.

¹⁰ Deslocamento máximo horizontal, sugerido pela Tabela A.1 do Anexo A da norma ABNT NBR 14762/2010.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR6123: *Forças devido aos ventos*. Rio de Janeiro, 1988.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR6120: *Cargas para o cálculo de estrutura de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14762. *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. p.87.

BEVILAQUA, R. *Estudo comparativo de desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo o sistema aporticado e "Light Steel Framing"*. Belo Horizonte, 2005, Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas). Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

CARRIL JR, C. F. *Análise numérica e experimental do efeito dinâmico do vento em torres metálicas treliçadas para telecomunicações*. 2000. Tese – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CUNHA JR, B. F. R. *Contribuição ao estudo dos efeitos de vento em edifícios altos: estudo de caso na cidade de Goiânia*. 2012. Dissertação – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

NOVAES, C; PALIARI J; VIVIAN, A. *Vantagem produtiva do sistema Light Steel Framing: da construção enxuta à racionalização construtiva*. Canela: 13º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

PENNA, F.C.F. *Análise da viabilidade econômica do sistema Light Steel Framing na execução de habitações de interesse social: Uma abordagem pragmática*. Belo Horizonte, 2009, Dissertação (Mestre em Construção Civil). Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais.

SANTIAGO, A.K; FREITAS, A.M.S; CRASTO, R.C.M. *Steel Framing: Arquitetura*. Rio de Janeiro, Instituto Aço Brasil, 2012.

SORIANO, H.L. *Introdução à Dinâmica das Estruturas*. 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

VANIN, D.D. *Resposta dinâmica de edifícios altos frente à ação do vento: Comparação de técnicas experimentais em túnel de vento*. Porto Alegre, 2011, p. 12, Dissertação (Mestre em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIVAN, A.L. *Projetos para produção de residências unifamiliares em Light Steel Framing*. São Carlos, 2011, p. 6, Dissertação (Mestre em Construção Civil). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos.