



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA SEGUNDO O SISTEMA CONSTRUTIVO A SECO *LIGHT STEEL FRAMING*

Rafael Cavicchioli Batista, cavicchioli.rafaelb@gmail.com¹
Herbert Martins Gomes, herbert@mecanica.ufrgs¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, R. Sarmiento Leite, 425, 90050-170, Porto Alegre, RS, Brazil.

Resumo: O mercado da construção civil no Brasil ainda é marcado pela predominância de métodos construtivos bastante artesanais, caracterizados pelo grande desperdício de matéria prima e também pela baixa eficiência construtiva. Visando solucionar estes problemas, foram propostos o uso de novos métodos construtivos, de concepção racional e que sejam facilmente industrializados. Neste sentido, o presente trabalho avalia o projeto e o comportamento estrutural de uma estrutura residencial constituída segundo um método construtivo de concepção racional mundialmente reconhecido, o *Light Steel Framing*. Para isso, foi utilizado o novo método adotado pela norma brasileira de estruturas constituídas de perfis de aço formados a frio (NBR 14762, 2010), o Método da Resistência Direta. O estudo conclui que o comportamento e desempenho da estrutura em análise serão aprovados segundo os procedimentos verificados da norma brasileira vigente quando pré-dimensionados usando indicações do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), e também alerta para a tomada de cuidados no uso da verificação via Método da Resistência Direta em situações específicas, devido às limitações do mesmo.

Palavras-chave: análise estrutural, *Light Steel Framing*, perfil de chapa dobrada, flambagem.

1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil no Brasil ainda é caracterizado pela predominância do uso de sistemas construtivos praticamente artesanais. Por se tratar de um método praticamente artesanal, este setor é caracterizado pela baixa produtividade, baixa eficiência, e principalmente pelo grande desperdício de matéria prima. Estas características causam problemas como o atual déficit habitacional, a grande quantidade de resíduos e também o alto consumo energético. Visando alterar esta situação, o uso de novos métodos construtivos juntamente com o uso de novas tecnologias que permitam a industrialização e a racionalização dos processos construtivos mostra-se a melhor solução. Fez-se então uma pesquisa de mercado, onde foram verificados vários métodos construtivos, chegando-se então a um método construtivo existente há mais de 50 anos no mercado, e também bastante consolidado em países de primeiro mundo, caracterizado pelo alto nível de industrialização dos seus setores, o *Light Steel Framing* (LSF). O *Light Steel Framing* (LSF), assim conhecido mundialmente, é um sistema construtivo industrializado de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis de aço galvanizado de pequena espessura formados a frio, conforme a Fig.1, possibilitando uma construção a seco de grande rapidez de execução, além de estruturas mais leves e da fácil obtenção dos materiais. Por ser um sistema construtivo baseado em uma estrutura constituída por perfis de aço de pequena espessura e grande comprimento, ou seja, constituída por perfis de alto índice de esbeltez, esta estrutura estará sujeita ao colapso pelos diversos modos de flambagem. Por apresentarem tais formas de colapso, os perfis de aço de pequena espessura formados a frio, possuem diversos métodos de análise, que comparados aos métodos de análise de perfis “comuns” de aço (NBR 8800:2008), são bastante trabalhosos e também complexos.

Dentre os diversos métodos de análise deste tipo de perfil descritos pela norma NBR 14762:2010, optou-se pelo Método da Resistência Direta (MRD), contido no anexo C desta norma. Comparados aos outros métodos, como o Método das Larguras Efetivas (MLE) e Método da Seção Efetiva (MSE), o MRD é menos trabalhoso e mais simples de ser aplicado, além de ser o mais recentemente desenvolvido também. Sua simplicidade se deve pelo fato de possuir uma menor quantidade de cálculos a serem realizados, devido à utilização em seus cálculos das propriedades geométricas da seção bruta, ou seja, as propriedades geométricas da seção transversal real do perfil, e não as propriedades geométricas da seção efetiva, utilizadas por outros métodos em seus cálculos.



Figura 1. Exemplo de edificação utilizando o sistema *Light Steel Framing*.

2. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Princípios do comportamento de barras com elementos esbeltos

De acordo com Silva et al. 2008, os estados limites últimos das barras de seção transversal aberta, formadas por chapas de aço, a serem considerados no dimensionamento, frequentemente estão associados à instabilidade local, distorcional ou global. Rodrigues, 2006 indica que elementos individuais de perfis formados a frio têm usualmente espessuras tão pequenas com relação à sua largura, que estes elementos esbeltos podem flambar em níveis de tensões menores que aquele correspondente à resistência ao escoamento do material, quando sujeitos a compressão, cisalhamento, flexão ou uma interação entre os mesmos. A flambagem local de cada elemento é, portanto, uma das mais importantes considerações de projeto com os perfis formados a frio. Ainda Rodrigues, 2006 indica que além dos efeitos devidos aos modos de flambagem local de chapa ou de flambagem por distorção, descritos na Fig. 2, nos perfis formados a frio pode ainda ocorrer a interação entre um desses modos e um dos modos globais de uma barra comprimida (flambagem por flexão, torção ou flexo-torção). Esta interação conduz a uma redução da capacidade portante da barra, podendo ocorrer a ruína por colapso súbito da peça, indicando um comportamento pós-crítico instável que é sempre não desejável num projeto.

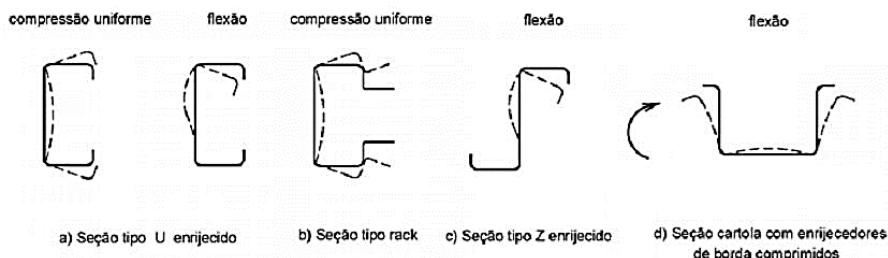


Figura 2. Flambagem Local e Distorcional de uma seção do tipo U enrijecido.

No caso do comportamento pós-crítico dos perfis esbeltos (perfis fabricados com chapas de aço de pequena espessura), este é estável, permanecendo tais elementos com a capacidade portante mesmo após ser atingida sua carga crítica, caracterizando uma reserva de resistência pós-flambagem. O tratamento matemático deste fenômeno é muito trabalhoso, devido à complexidade do problema. Uma previsão teórica do comportamento pós-crítico pode ser encontrada a partir do critério das larguras efetivas, em vez de se utilizar as soluções obtidas por métodos numéricos, tais como o método dos elementos finitos (MEF) e o método das faixas finitas (MFF). No entanto, devem ser tomadas as devidas precauções quanto a utilização do critério das larguras efetivas, devido às limitações do método.

2.2. O método da resistência direta

Os métodos convencionais de análise de perfis esbeltos de aço formados a frio, o Método da Largura Efetiva (MLE) e o Método da Seção Efetiva (MSE), consistem basicamente em diminuir as larguras dos elementos que compõem os perfis, para o cálculo das propriedades geométricas, procedimento este que pode gerar cálculos trabalhosos e tediosos.

Para contornar esses problemas pode ser usado então o método da resistência direta. Segundo Grigoletti, et al. (2006) este método consiste, basicamente, em utilizar curvas de resistência ajustadas experimentalmente para calcular as cargas de colapso a partir da carga de flambagem elástica do perfil utilizado, e não de seus elementos isoladamente.

Vantagens do Método da Resistência direta (MRD) foram listadas por Grigoletti apud Schafer (2006), sendo algumas delas: não necessidade da determinação das propriedades geométricas efetivas; cálculos não precisam ser feitos individualmente para todos os elementos dos perfis (Alma, Mesas, e ou Enrijecedores); não há cálculos iterativos; nos

cálculos das resistências são utilizadas as propriedades geométricas da seção bruta; é aplicável a um grupo maior de geometria de seções transversais;

Juntamente com o MRD, foi desenvolvido também um software, denominado CU-FSM (*Cornell University Finite Strip Method*), para a análise da flambagem elástica dos perfis formados a frio, ou seja, determinar os modos de flambagem. Este programa permite a análise da estabilidade elástica de perfis submetidos a qualquer distribuição de tensões normais nas extremidades, assim como a restrições dos graus de liberdade nos extremos e também ao empenamento da seção. A Fig. 3 e 4, exemplificam os resultados fornecidos pelo CU-FSM para duas cargas distintas, bem como os modos de flambagem.

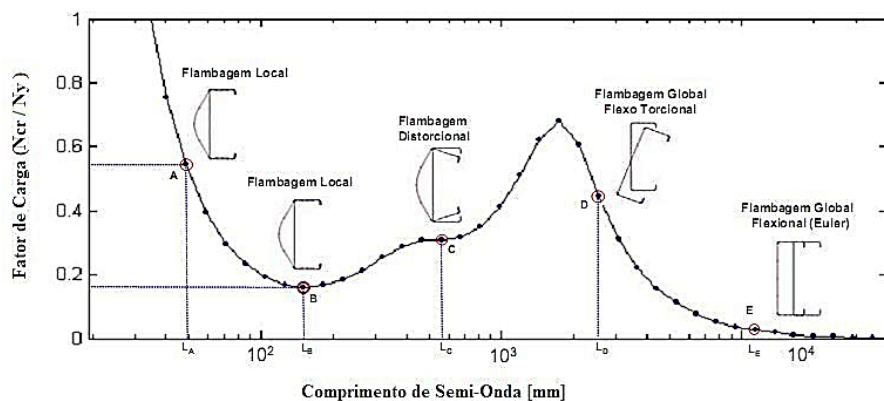


Figura 3. Gráfico Fator de Carga x Comprimento de Semi-onda para uma barra com compressão centrada.

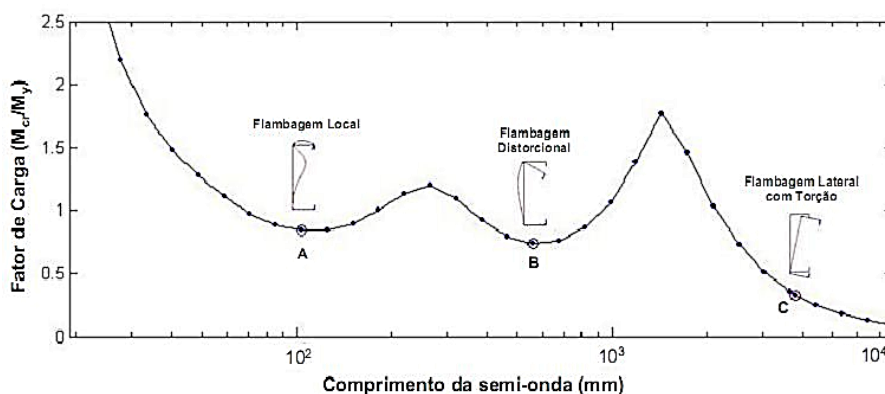


Figura 4. Gráfico Fator de Carga x Comprimento de semionda para uma barra sob flexão simples.

É importante ressaltar que o CU-FSM é um programa computacional baseado no método das faixas finitas (MFF), e que, por se basear neste método, está também restrito as limitações dele. Algumas destas limitações são: o método utiliza somente condições de contorno com apoios simples; as barras que possuam variação de cargas axiais e de momento ao longo do comprimento da barra não podem ser consideradas; não pode haver variação da seção transversal ao longo do comprimento da barra; a seção transversal da barra deve ser contínua, ou seja, não pode haver furos ao longo da barra.

3. LIGHT STEEL FRAMING (LSF)

Light Steel Framing, “Estrutura Leve de Aço” traduzido do inglês, é também conhecido como Sistema Autoportante de construção a seco. Este sistema é uma evolução do sistema construtivo americano “Wood Framing”, aonde ao invés da utilização da madeira para a concepção dos perfis, usa-se perfis de aço galvanizado. Ele é caracterizado por possuir um esqueleto estrutural feito com aço, formado por diversos elementos individuais (perfis de aço galvanizado formados a frio) ligados entre si, que em conjunto resistem às cargas de solicitação. Não se resumindo a apenas a estrutura de aço, o sistema LSF é composto por vários outros subsistemas, que além de estrutural, é também de fundação, de contraventamento, de isolamento térmico e acústico, de fechamento interno e externo e de instalações elétricas e hidráulicas. Na Fig. 1 é possível visualizar esquematicamente, a estrutura de aço e outros subsistemas de uma edificação em LSF.

Para que o sistema cumpra com as funções para o qual foi projetado e construído é necessário que o projeto siga algumas diretrizes construtivas, para que seja possível o inter-relacionamento entre sistemas (LSF e Subsistemas). Além de garantir a alta velocidade de execução e também o correto desempenho do sistema. O sistema construtivo LSF, comparado ao sistema convencional de construção no Brasil, apresenta diversas vantagens e benefícios. Algumas delas

são: (a) produtos que constituem o sistema são produtos padronizados, produzidos industrialmente, onde passa por rigorosos controles de qualidade; (b) a estrutura é toda constituída de aço galvanizado, o que garante o desempenho estrutural, a durabilidade e longevidade da estrutura; (c) é um processo construtivo a seco, o que minimiza o uso de recursos naturais e o desperdício; (d) rapidez de construção, pois trabalha com peças previamente montadas e de baixo peso; (e) usa-se materiais recicláveis e incombustíveis em sua concepção, como o aço da estrutura por exemplo. Comparado com o sistema convencional, a alvenaria, o sistema LSF possui uma grande quantidade de detalhes construtivos, que pode gerar algumas desvantagens, como a necessidade de profissionais altamente qualificados.

A concepção do projeto da estrutura baseou-se em um projeto arquitetônico de uma residência uni familiar de dois pavimentos, onde no pavimento superior estão localizados três suítes (banheiros e quartos) e no pavimento inferior os demais cômodos, conforme mostra a Fig. 5.

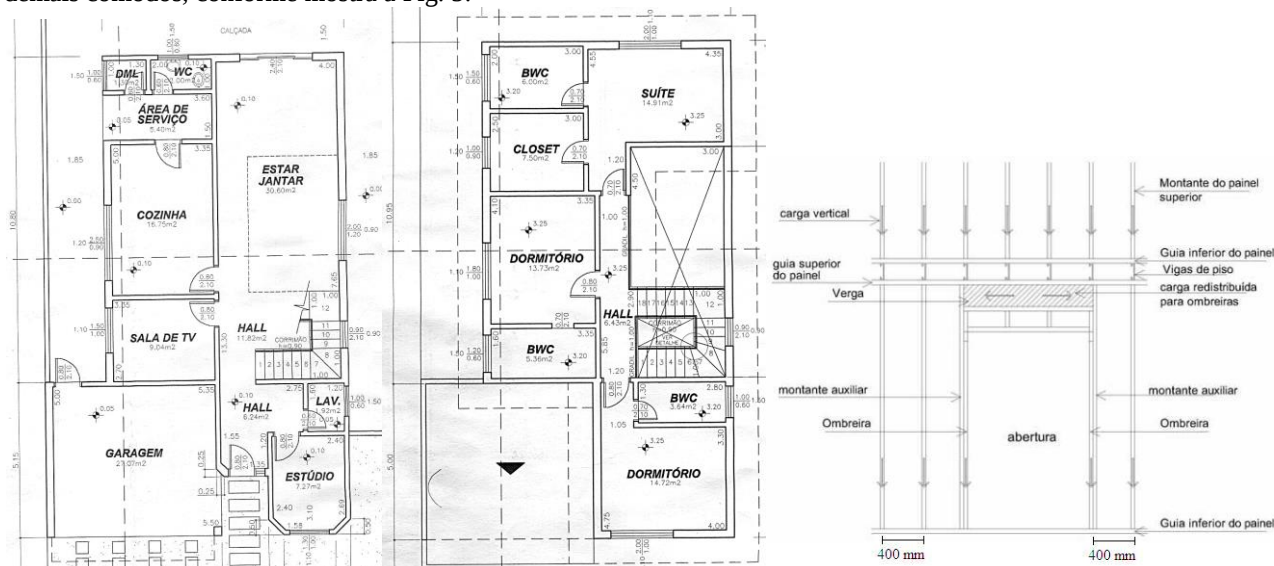


Figura 5. Planta Arquitetônica do Primeiro e segundo Pavimento e diretriz in-line Framing com espaçamento de 400 mm

Através de procedimentos e detalhes construtivos, descritos pelo manual *Steel Framing: Engenharia* [Freitas, 2006], fez-se o modelo da estrutural da residência, onde foi adotado a metodologia de montagem por painéis. A estrutura foi modelada de modo que fosse utilizado somente aço em sua concepção, onde adota-se a utilização de contraventamento com fitas de aço cruzadas (contraventamento em X) ao invés de painéis estruturais de madeira (Placa OSB), conforme a Fig. 5. A Fig. 6 mostra quais os tipos de perfis formados a frio foram usados no projeto da estrutura, assim como a função que desempenhará. A designação dos perfis usados é dada da seguinte maneira, Ue (Tipo de perfil) x bw (Alma) x bf (Mesas ou abas) x D (Enrijecedores) x t (Espessura), todas dadas em milímetros.

Seção Transversal	Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples (U)	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido (Ue)	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola (Cr)	Ripa

Figura 6. Tipos de Perfis formados a frio utilizados.

Para a composição dos painéis estruturais, fez-se o uso de parafusos estruturais para a união de seus componentes, onde para a seleção dos perfis dos painéis de cada pavimento (Paredes, segundo piso e aberturas), utilizou-se tabelas de elementos pré-dimensionados descritas no manual *Steel Framing: Engenharia* [Rodrigues, 2006]. Além dos perfis descritos acima, fez-se o uso de chapas de aço galvanizadas de 0,95 mm de espessura por 100 mm de largura e também de fitas de aço de 0,95 mm de espessura por 50 mm de largura, onde estão empregadas no contraventamento em “X” em ambos os lados dos painéis da estrutura, e no travamento dos perfis, respectivamente. Para o travamento dos perfis dos painéis fez-se o uso de bloqueadores nas extremidades e de fitas de aço, espaçadas a cada 1000 mm. Este é um detalhe construtivo importante, pois os trava contra possíveis torções, empenamento e flambagem global dos elementos,

diminuindo-se então os comprimentos efetivos de flambagem dos perfis. Excluindo a fundação usada, que neste caso é uma laje tipo *Radier*, o projeto foi montando de maneira que possibilitasse uma perfeita construção a seco, ou seja, não necessitando de água em sua concepção. Um exemplo de processo construtivo adotado foi o projeto de piso seco do segundo pavimento. Neste projeto foram selecionados componentes fabricados a partir do aço ZAR 250, com galvanização tipo B (275 g/m²) e excelentes propriedades mecânicas. De acordo com a NBR 14762, 2010, o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações na estrutura, visando efetuar verificações de estados-limites últimos e de serviço.

Neste trabalho, fez-se o uso da análise estrutural para encontrar os perfis mais solicitados da estrutura, para que posteriormente sejam verificados segundo os procedimentos da norma vigente (NBR 14762:2010). Para a análise e obtenção dos esforços da estrutura metálica resultante de toda a residência, fez-se o uso de um software de análise de estrutura de barras, o *Metálicas 3D*, software desenvolvido pela *Cype Ingenieros*. Procede-se à discretização da estrutura metálica em barras a partir do projeto, totalizando por volta de 2500 elementos e 4400 nós, em sequência à descrição das cargas e das condições de vinculação da residência, assim como as combinações de carregamentos desejadas, descrição dos perfis e dos materiais utilizados. Tudo é feito de maneira a tornar o mais próximo do projeto real, conforme a Fig.7.

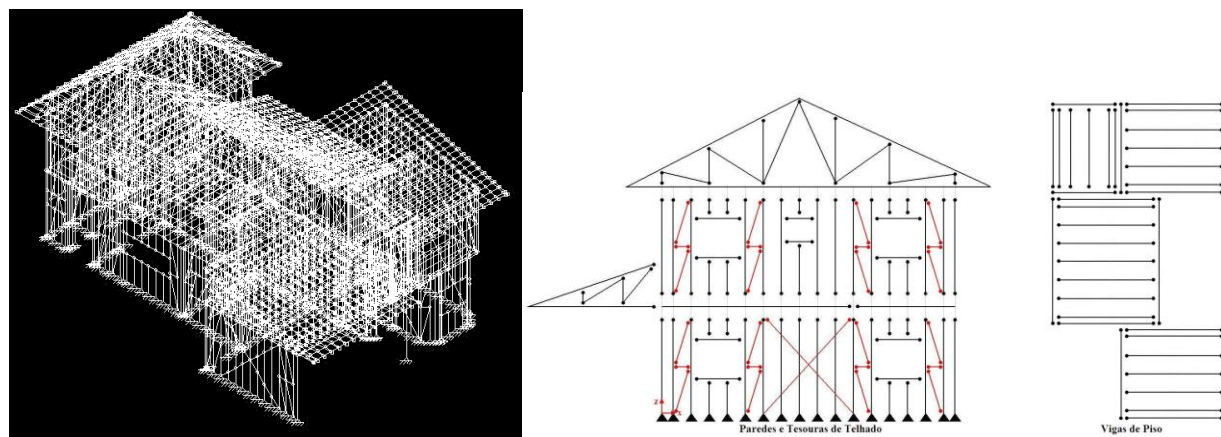


Figura 7. Estrutura de Barra utilizada na análise e esquema demonstrativo das rotulações do modelo.

Por se tratar de uma estrutura baixa, com aproximadamente 8 metros de altura, optou-se pelo uso método de análise global elástica de primeira ordem para o cálculo das solicitações e deslocamentos da estrutura. No modelo em análise, foram feitas algumas simplificações, devido a não possibilidade de representação de todos os componentes existentes na estrutura, conforme instruções contidas no manual *Steel Framing: Engenharia* [Rodrigues, 2006]. Segundo o manual *Steel Framing: Engenharia* [Rodrigues, 2006], a estrutura deve ser modelada, de maneira que haja somente transferência de cargas axiais entre os perfis. Para isso, esta referência recomenda que a vinculação entre os componentes seja do tipo rotulado, ou seja, liberando as rotações em torno dos eixos principais, conforme demonstrado na Fig. 7, e restringindo-se também a rotação dos perfis em torno do eixo de menor inércia, de maneira a impedir a instabilidade estrutural e numérica. Os carregamentos utilizados para o cálculo da análise estrutural foram retirados de normas específicas de carregamentos para edificações. Como os carregamentos são calculados, ou fornecidos, pelas normas, estes são em sua maioria dados por unidades de área, no caso N/m², fez-se necessário a transformação destes carregamentos para unidades lineares (N/m) através do espaçamento adotado pela diretriz de projeto (400 mm). Este tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos fixos e instalações permanentes. Através da Tab. 1, podemos chegar as cargas permanentes aplicadas em cada um dos tipos de perfis.

Conforme foram descritos os materiais no projeto e dados os valores das cargas destes elementos, chegamos então nas seguintes cargas permanentes: Piso - 0,220 kN/m (Piso/Laje Seca); Forro - 0,080 kN/m (Placa de Gesso Acartonado e Isolantes); Telhado - 0,200 kN/m (Telhado Cerâmico e Isolantes); Paredes - 0,200 kN/m (Fechamento com Textura).

A sobrecarga é toda aquela carga que pode atuar eventualmente sobre a estrutura em função do seu uso, como por exemplo, pessoas e móveis. A norma brasileira NBR 6120:1980 descreve quais as cargas a serem utilizados no dimensionamento da edificação. Neste trabalho foram adotados desta norma os seguintes carregamentos: Piso: 1,5 kN/m² (quartos e banheiros); Forro: 0,5 kN/m² (sem acesso a pessoas). Para o telhado, foi adotado como sobrecarga, o carregamento de 0,75 kN/m², representando uma pessoa de 75 kg por metro quadrado de telhado, carga possivelmente utilizada na montagem do telhado. A carga de vento é usada para o dimensionamento das cargas de vento. Fez-se uso dos procedimentos da norma NBR 6123, 1988, onde foram calculados carregamentos para duas direções principais de vento, sendo elas as mais críticas, o carregamento devido ao vento frontal e também ao vento lateral. Os carregamentos foram dimensionados para uma velocidade básica de vento de 45 m/s ($V_0=45$ m/s), onde a estrutura residencial está situada dentro de um condomínio residencial, distante do centro urbano (subúrbio), e sobre um terreno levemente ondulado. Os esforços e deslocamentos dos componentes utilizados na composição da estrutura residencial foram obtidos segundo procedimentos descritos pela norma NBR 14762:2010. Segundo a norma NBR 14762:2010, os esforços devem ser obtidos a partir de combinações dos carregamentos para os Estados Limites Últimos (ELU). Onde estes estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou em situações especiais ou excepcionais. Ainda segunda a norma NBR 14762:2010, os deslocamentos

devem ser obtidos segundo o critério dos Estados Limites de Serviço (ELS), os quais estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização. Os esforços da estrutura foram obtidos a partir do carregamento normal referentes aos Estados Limites Últimos. Onde foi obtida a carga máxima compressiva dos montantes internos conforme a equação 1, e para os demais componentes utilizou-se a equação 2.

$$F_d = PP + 1,5 SB_1 + 1,5 SB_2 \quad (1)$$

$$F_d = PP + 1,5 SB_1 + 1,4 V_{90} \quad (2)$$

onde: F_d é a força máxima resultante do ELU; PP é o somatório de todas as cargas permanentes; SB_1 é o somatório das sobrecargas de piso e forro; SB_2 é a sobrecarga de telhado; V_{90} é a carga de vento, neste caso o vento lateral. Já os deslocamentos máximos, foram obtidos a partir dos carregamentos referentes ao Estado Limite raras de serviço, conforme a equação 3, ou foram obtidos segundo critérios descritos pelo anexo A da norma NBR 14762:2010.

$$F_{serv} = PP + 0,4 SB_1 + V_{90} \quad (3)$$

A Tab. 1 descreve os dados de propriedades dos materiais, necessários para a verificação de cada componente usado na residência.

Tabela 1. Materiais Utilizados no Projeto.

Material	Espessura [mm]	Cargas [kN/m ²]
Placa de Gesso Acartonado	12,50	0,120
Placa Cimentícia	10,00	0,130
Placa OSB	15,00	0,100
Lã de Vidro (Isolante)	100,00	0,040
Revestimento Cerâmico	10,00	0,150
Telhas Cerâmica	50,00	0,450
ZAR250 - Ue 200x40x12	1,25	0,030
ZAR250 - Ue 90x40x12	0,95	0,014
ZAR250 - Ue 140x40x12	0,95	0,018
ZAR250 - Cr 20x30x12	0,95	0,007

4. VERIFICAÇÃO

Este trabalho ficou restrito apenas à verificação das cargas críticas de flambagem dos perfis mais solicitados de cada painel estrutural, faltando então o dimensionamento das ligações destes elementos. A verificação das cargas críticas de flambagem dos perfis, foi baseada nos procedimentos descritos pela norma brasileira vigente para a verificação deste tipo de elementos, a NBR 14762:2010. Onde foram adotados os procedimentos do Método da Resistência Direta, por se tratar do mais novo procedimento adotado pela norma e também pelas suas vantagens em relação aos outros métodos descritos. De maneira a aumentar a segurança no projeto, não foi considerado o aumento da resistência dos perfis, causado pelo trabalho de formação a frio (Encruamento) dos mesmos. Este procedimento é descrito pela norma, e descreve também que imperfeições associadas aos componentes já estão incorporadas às expressões de dimensionamento, garantindo eficiência e segurança ao MRD. A Tab. 2 indica os deslocamentos e esforços obtidos na análise estrutural.

Tabela 2. Deslocamentos e Esforços obtidos na análise estrutural.

<i>Viga de Piso (Ue 200x40x12x1,25 mm)</i>		
Normal (Compressão)	$N_{C,SD}$	4,130 kN
Momento	M_{SD}	3,081 kNm
Flecha máxima de serviço (YZ)	$v_{yz,serv}$	4,864 mm
<i>Montante (Pilar) externo (Ue 140x40x12x0,95 mm)</i>		
Normal (Compressão)	$N_{C,SD}$	5,840 kN
Momento	M_{SD}	0,696 kNm
Flecha máxima de serviço (XY)	$v_{xy,serv}$	5,880 mm
<i>Montante (Pilar) interno (Ue 90x40x12x0,95 mm)</i>		
Normal (Compressão)	$N_{C,SD}$	11,410 kN
<i>Viga de Telhado (Caibro) (Ue 90x40x12x0,95 mm)</i>		
Momento	M_{SD}	1,098 kNm
Flecha máxima de serviço (YZ)	$v_{yz,serv}$	5,044 mm
<i>Viga de Forro (Ue 90x40x12x0,95 mm)</i>		
Normal (Compressão)	$N_{C,SD}$	1,678 kN
Momento	M_{SD}	0,816 kNm

Flecha máxima de serviço (YZ)	$v_{yz, serv}$	11,675 Mm
<i>Terça de Telhado (Ripa) (Cr 20x30x12x0,95 mm)</i>		
Força Cortante	$V_{z, SD}$	0,296 kN
Momento	M_{SD}	0,047 kNm
Flecha máxima de serviço (YZ)	$v_{yz, serv}$	29,631 mm

4.1. Carga máxima resistente

Os procedimentos para o cálculo das cargas máximas resistentes (cargas críticas) dos perfis mais solicitados de cada painel, são descritas nas respectivas normas. Seguindo estes procedimentos, foi possível obter as seguintes cargas crítica indicadas na Tab. 3.

Tabela 3. Cargas Máximas Resistentes.

Perfis	Compressão centrada [kN]				Flexão Simples [kNm]			
	$N_{C, Re}$	$N_{C, l}$	$N_{C, Rdist}$	$N_{C, Rd}$	M_{Re}	M_{Rl}	M_{Rdist}	M_{Rd}
Ue 200x40x12x1,25	68,5	33,3	35,8	27,7	4,992	3,988	4,065	3,625
Ue 140x40x12x0,95	43,7	21,8	29,5	18,2	2,302	1,899	1,953	1,726
Ue 90x40x12x0,95	32,1	22,1	32,0	18,4	1,299	1,274	1,183	1,076
Cr 20x30x12x0,95	5,1	5,1	19,4	4,2	0,155	0,155	0,155	0,140

Por questão de simplificação, foram verificados apenas os perfis mais solicitados de cada tipo de painel usado na estrutura. Desta maneira, analogamente, estará se verificando todos os outros perfis indiretamente, devido à similaridade entre componentes.

4.2. Viga de Piso (Ue 200x40x12x1,25 mm)

A viga de piso escolhida para análise está situada no piso da suíte dos fundos, e é também a região que apresenta o maior vão livre da estrutura ($L = 4115$ mm), fato que explica por que é a mais solicitada. Devido a ações de cargas combinadas, como por exemplo, cargas de vento e sobrecargas, agindo simultaneamente. Esta viga foi verificada segundo critérios de flexão composta, como segue abaixo.

Força axial compressiva e Flexão combinados $(4,130/27,750) + (3,081/3,625) = 0,99 \leq 1,0$ (Aprovado). Onde as forças axiais compressivas são devidas as ações das cargas de vento. Para a aprovação, o perfil deve atender também, além dos critérios de resistência, os critérios de deslocamentos. Onde o deslocamento máximo, deve ser obtido a partir das solicitações decorrentes do E.L.S. (v_{serv}), e devem ser menores que os deslocamentos obtidos a partir da seguinte equação: $v_{serv} \leq \frac{L}{350}$, $v_{max} = 4,864$ mm $\leq \frac{L}{350} = \frac{4115}{350} = 11,757$ mm (Aprovado) onde: v_{serv} é o deslocamento máximo permitido para o componente; L é o vão livre do componente. Neste caso, como o momento de inércia efetivo (I_{ef}) é igual ao momento da seção bruta (I_g), podemos então considerar o deslocamento obtido na análise estrutural. Montantes (Pilares) externos (Ue 140x40x12x0,95 mm): Segundo o manual *Steel Framing: Engenharia* [Rodrigues, 2006], os montantes (Pilares) externos da estrutura, por se tratarem de vigas-colunas, devem ser verificados segundo o critério de flexo-compressão (Compressão e flexão combinado).

Força axial compressiva e momento fletor combinados (flexo-compressão): $(5,840/18,230) + (0,696/1,726) = 0,73 \leq 1,0$ (Aprovado). O deslocamento horizontal verificado a seguir, é o máximo deslocamento horizontal que ocorre em toda a estrutura. Este deslocamento ocorre na extremidade de um montante do primeiro pavimento ($H = 3000$ mm), por este motivo, não foi descrito a análise dos montantes internos quanto ao critério de deslocamento horizontal: $v_{serv} \leq \frac{L}{400}$, $v_{max} = 5,880$ mm $\leq \frac{L}{400} = \frac{3000}{400} = 7,5$ mm (Aprovado). Montantes (Pilares) internos (Ue 90x40x12x0,95 mm): Segundo o manual *Steel Framing: Engenharia* [Rodrigues, 2006], os montantes (Pilares) internos da estrutura deve ser verificado segundo o critério de compressão ou tração agindo isoladamente. Neste trabalho, fez-se a verificação destes perfis segundo o critério de compressão, pois, neste caso, é o mais crítico. Força axial compressiva: $N_{C, RD} \geq N_{C, SD}$, $N_{C, RD} = 27,750$ kN $> N_{C, SD} = 4,130$ kN (Aprovado). Onde: $N_{C, RD}$ é a carga de resistência máxima a compressão do componente; $N_{C, SD}$ é a carga compressiva máxima, obtida na análise estrutural. Viga de Telhado (Caibro) (Ue 90x40x12x0,95 mm): A viga (caibro) de telhado a ser analisado, encontra-se situado no telhado lateral da residência. Por possuir o maior vão livre ($L=3350$ mm), este telhado está sujeito as maiores solicitações por esforços de flexão. Por este motivo, fez-se a verificação deste componente segundo o critério de flexão simples: $M_{RD} \geq M_{SD}$, $M_{RD} = 0,977$ kNm $> M_{SD} = 1,098$ kNm (Aprovado). Onde: M_{RD} é o momento de resistência máximo do componente; M_{SD} é o momento de solicitação máximo obtida na análise estrutural. Verificou-se também a flecha máxima possível para o componente: $v_{serv} \leq \frac{L}{250}$, $v_{max} = 10,191$ mm $\leq \frac{L}{250} = \frac{3350}{250} = 13,2$ mm (Aprovado). Sobre a verificação deste tipo de componente,

é importante citar que a carga máxima de momento, geralmente encontra-se próximos aos apoios, e que, segundo instruções construtivas, contidas no manual *Steel Framing: Engenharia* [Freitas, 2006], esta região deve ser reforçada.

Viga de Forro (Ue 90x40x12x0,95 mm): A viga de forro a ser analisada, pertence a um painel estrutura de forro, e não de uma tesoura de telhado. Por este motivo, este componente apresenta o maior vão livre ($L=4115$ mm) assim como as maiores solicitações de flexão e também a maior flecha de deslocamento. Por se tratar de um forro estrutural, que visa o enrijecimento da estrutura residencial, assim como o piso do segundo pavimento, este componente também estará sujeito a ação de cargas compostas. Por este motivo, fez-se a verificação deste componente segundo o critério de flexo-compressão. Força axial compressiva e Flexão combinados: $(1,678/18,48) + (0,816/1,076) = 0,85 \leq 1,0$ (Aprovado). A equação retirada da norma NBR 14762, 2010 para a verificação deste componente segundo o critério de deslocamento máximo é: $v_{serv} \leq \frac{L}{120}$, $v_{max} = 11,675$ mm $\leq \frac{L}{120} = \frac{4000}{120} = 34,291$ mm (Aprovado). Também neste caso, como o momento de inércia efetivo (I_{ef}) é igual ao momento da seção bruta (I_g), podemos então considerar o deslocamento obtido na análise estrutural. Terças de telhado (Ripas) (Cr 20x30x12x0,95 mm): A terça (ripa) de telhado mais solicitado, encontra-se no telhado principal, onde também possui o maior vão entre os apoios ($L=800$ mm) sobre os caibros. Este tipo de elemento, por possuir diversos apoios intermediários, deve ser verificado segundo o critério de flexão composta, onde atuam principalmente as cargas de flexão e força cortantes combinados. Força cortante + Flexão combinados: $(0,047/0,141)^2 + (0,296/4,909)^2 = 0,12 < 1,0$ (Aprovado). Fez-se a verificação das flechas de deslocamentos das terças de duas maneiras. A primeira foi a verificação da flecha máxima obtida entre os apoios intermediários (caibros) $v_{serv} \leq \frac{L}{180}$, $v_{max} = 0,278$ mm $\leq \frac{L}{180} = \frac{800}{180} = 4,444$ mm (Aprovado). Na segunda maneira, verificou-se o deslocamento máximo obtido entre os apoios das extremidades, ou seja, verificou-se o deslocamento máximo sofrido pela verga. Conforme descrito abaixo, verificou-se este critério para o telhado com a maior flecha de deslocamento, o telhado lateral. $v_{max} = 29,631$ mm $\leq \frac{L}{180} = \frac{7200}{180} = 40,00$ mm (Aprovado).

5. CONCLUSÕES

As verificações realizadas neste trabalho mostraram que a estrutura da residência é aprovada pela norma NBR 14762:2010, segundo os critérios de flambagem elástica. Faltando então a verificação das ligações dos perfis, que também é descrito por esta norma. É possível notar também que muitos dos perfis, utilizados na composição da estrutura, encontram-se superdimensionados, sendo possível então uma otimização do projeto através do redimensionamento de seus componentes. Ainda sobre otimização do projeto, Souza, 2005, comenta que o simples uso de perfis com enrijecedores na alma e nas mesas, em vez de perfis com almas e mesas “lisas”, aumenta a sua capacidade de resistência a flambagem. É importante salientar também que, apesar da estrutura de aço ser dimensionado para suportar todas as cargas de edificação, o fechamento da estrutura por placas (cimentícias, OSB e gesso acartonado), ocasiona o efeito de diafragma rígido na estrutura, aumentando assim ainda mais a segurança na estrutura. Quanto ao método da resistência direta, mostrou-se ser um método prático, rápido e de fácil aplicação. Porém, vale lembrar que este possui restrições e que estas devem ser respeitadas. Alguns componentes (perfis) do sistema LSF, para que seja possível a passagem das tubulações de serviço, possuem furos em sua alma. Por este motivo, estes componentes não se enquadram dentro das limitações do Método da Resistência Direta e, portanto, devem ser analisados seguindo outro critério. Para contornar este problema, a norma NBR 15253:2005, descreve alguns procedimentos práticos, que são aceitos no projeto estrutural, que devem ser realizados para a aprovação do perfil.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o CNPq e CAPES pelo apoio a este trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio”, Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 15253:2005 - Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações – Requisitos gerais”, Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”, Rio de Janeiro, 1980.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações”, Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 6355:2003 – Perfis de aço formados a frio - Padronização”, Rio de Janeiro, 2003.
- Corrêa, M. R., S., 1983 “Aplicação do Método das Faixas Finitas na Análise de Estruturas Prismáticas”, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Estruturas – USP, São Carlos.
- Freitas, A. S., Castro, R. M., 2006, “*Steel Framing: Arquitetura*”, CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço), Rio de Janeiro.
- Grigoletti, G., Iturrioz, I., Carvalho, P. R., Tamagna, A., 2006 “Curso Básico de perfis de Aço formados a Frio”, 2ª Edição.

- Inoue, H., Batista, E., Ribeiro, F., 2010. “Análise da Estabilidade de Perfis de Paredes Finas”, UFRJ, Rio de Janeiro
- Rodrigues, F.C., 2008, “*Steel Framing: Engenharia*”, CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço), Rio de Janeiro, 2006.
- Silva, E. L., Pignatta e Silva, V., “Dimensionamento de Perfis Formados a Frio Conforme NBR 14762 e NBR 6355”, CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço), Rio de Janeiro.
- Souza, D. A., 2005, “Análise Numérica de Colunas com Seções Enrijecidas e Não-Enrijecidas em Perfis Formados a Frio”, Dissertação de Mestrado, PPGECC – UFOP, Ouro Preto,

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STRUCTURAL ANALYSIS OF A RESIDENCE MADE WITH THIN WALLED COLD FORMED STEEL GALVANIZED MEMBERS UNDER PROCEDURES OF DRY CONSTRUCTION METHOD – *LIGHT STEEL FRAMING (LSF)*

Abstract. *The Brazilian market of civil construction is still characterized by the predominance of handmade construction method, marked by the lower efficiency and a large waste of materials. In order to solve these problems, one proposes the use of new constructions methods, design to avoid waste and to be easily industrialized. In this sense, this present work will check and verify the behavior and performance of a structural design made under procedures of dry construction method, the Light Steel Framing Method. In this sense, it will be used the new approved verification method adopted by the Brazilian Standard of thin walled cold formed steel structure (NBR 14762, 2010), the Direct Strength Method. The study concludes that the designed and analyzed structure will be approved by the Brazilian standard procedures if designed in accordance with the CBCA (Brazilian Center of Steel Construction) reports and warns to take care on the use of Direct Strength Method on specific situations, because of its limitations.*

Keywords: *structural analysis, Light Steel Framing, cold formed sheet, buckling.*