

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia de Estruturas

Curso de Especialização em Estruturas

Taynara Gonçalves Nonato

**ANÁLISE COMPARATIVA DA DISTRIBUIÇÃO MAIS ECONÔMICA DE
VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO, CONSIDERANDO A
VIBRAÇÃO DEVIDO AO CAMINHAR DE PESSOAS E ALTURA
MÍNIMA DE LAJE PARA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

BELO HORIZONTE

2022

Taynara Gonçalves Nonato

**ANÁLISE COMPARATIVA DA DISTRIBUIÇÃO MAIS ECONÔMICA DE
VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO, CONSIDERANDO A
VIBRAÇÃO DEVIDO AO CAMINHAR DE PESSOAS E ALTURA
MÍNIMA DE LAJE PARA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Especialista em Estruturas”.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas

BELO HORIZONTE

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **treze** dias do mês de **dezembro** de **2022**, às 08h, a estudante **Taynara Gonçalves Nonato**, matrícula 2020675336, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise Comparativa da Distribuição mais Econômica de Vigas Mistas de Aço e Concreto, Considerando a Vibração Devido ao Caminhar de Pessoas e Altura Mínima de Laje para Segurança Contra Incêndio**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 85 (oitenta e cinco pontos)

Orientador(a): Prof. Rodrigo Barreto Caldas

Nota: 85(oitenta e cinco pontos)

Examinador(a): Dr. Alexander Galvão Martins



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 20/06/2023, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexander Galvão Martins, Usuário Externo**, em 26/06/2023, às 17:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1946880** e o código CRC **126C3DF2**.

RESUMO

As estruturas mistas de aço e concreto apresentam grandes vantagens de utilização em relação a outros sistemas construtivos. Um dos pontos mais decisivos para a utilização deste tipo de sistema misto de aço e concreto é a possibilidade de pavimentos com grandes vãos sem escoramento e maior rapidez na execução da construção, porém o custo de aplicação deste modelo construtivo ainda limita a utilização em obras de menor porte. A proposta desse trabalho é dimensionar a estrutura mais econômica possível, por meio de análise e tratamento dos resultados de dimensionamento de pavimentos típicos de lojas e escritórios apresentados na literatura, a fim de comparar e avaliar se atendem aos critérios de vibração do piso ao caminhar de pessoas e aos critérios de dimensionamento de lajes mistas em situação de incêndio. Além disso, propor e validar dois métodos de dimensionamento que atendam aos critérios supracitados e resulte em uma estrutura o mais leve possível e, conseqüentemente mais econômica. Com auxílio de planilha automatizada para dimensionamento da estrutura, os pavimentos típicos apresentados em trabalhos anteriores foram redimensionados e foram propostos dois métodos de cálculo, A e B, que consistem em verificar o comportamento das estruturas quando se calcula as vibrações das vigas principais e secundárias em configurações diferentes, nas situações em que os perfis considerados são os mais leves possíveis. Os resultados demonstraram que os métodos propostos resultaram em estruturas mais econômicas do que as apresentadas em trabalhos anteriores. Para os pavimentos típicos de escritório, entre os métodos A e B, o método B se mostrou mais econômico na maioria dos casos dimensionados, mas o método A apresentou melhor relação entre vão e altura das vigas e pouca diferença em relação ao peso final obtido com o método B. Já para os pavimentos típicos de loja, não teve nenhuma diferença de dimensionamentos entre os métodos. Também, para todos os casos em ambos os tipos de pavimentos típicos foram determinados os tempos de resistência ao fogo em situação de incêndio.

Palavras-chave: *sistema misto de aço-concreto; vibração nas estruturas; dimensionamento estrutural; estruturas econômicas.*

ABSTRACT

The composite steel-concrete system presents great advantages of use compared to other construction systems. One of the most decisive points for using this type of constructive system is the possibility of floors with large spans without shoring and great speed in the execution of the construction, however the cost of application of this constructive model still limits the use in small buildings. The purpose of this work is to design the most economical structure possible by the analysis and treatment of the design results of typical shop and office floors presented in the literature, in order to compare and evaluate if they meet the floor vibration criteria for walking excitations and the design criteria for composite slabs in fire situation. In addition, two design methods that meet the aforementioned criteria are proposed and validated, resulting in a lighter structure possible and, consequently, more economical. With the help of calculation worksheet, the typical floors presented by previous works were redesigned and two calculation methods were proposed, A and B, which consist of verifying the behavior of the structures when the vibrations of the main and secondary beams in different configurations and situations where the considered profiles are as light as possible. The results demonstrated that the proposed methods resulted in more economical structures than those presented by previous works. For typical office floors, between methods A and B, method B demonstrated to be more economical in most dimensioned cases, but method A had a better relationship between span and height of the beams and little percentage difference between the final weight of the method B. As for the typical shop floors, there was no difference in dimensioning between the methods.

Keywords: *composite steel-concrete system; vibrations of structural systems; structural design; economic structures.*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	OBJETIVO	6
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1.	LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO	7
3.1.1	Fôrmas da Metform	8
3.1.2	Dimensionamento da laje mista.....	9
3.2.	VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO	10
3.2.1	Largura efetiva da laje	10
3.2.2	Interação do perfil de aço com a laje de concreto	11
3.2.3	Dimensionamento ao momento fletor	12
3.2.4	Determinação do momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd})	12
3.2.5	Dimensionamento à força cortante	13
3.2.6	Estados-limites de serviço – Flecha.....	14
3.3.	DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	14
3.4.	VIBRAÇÃO DO PISO AO CAMINHAR DE PESSOAS	15
4.	DESENVOLVIMENTO	16
4.1.	DISTRIBUIÇÃO ECONÔMICA DAS VIGAS MISTAS	16
4.2.	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	17
4.2.1	Considerações e carregamentos.....	18
4.2.2	Dimensionamento das lajes e vigas mistas	18
4.2.3	Dimensionamento da viga mista considerando o critério de vibração da estrutura	23
4.3.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
4.3.1	Validação de resultados encontrados por COSTA (2021).....	25
4.3.2	Redimensionamento dos casos apresentados por Costa (2021) sem considerar critério de vibração	27
4.3.3	Análise dos dimensionamentos das estruturas considerando as vibrações pelo MÉTODO A e MÉTODO B.....	29
4.3.4	Análise comparativa entre todos os métodos estudados para escolha da estrutura mais econômica	32

5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
Especificações técnicas das formas MF-50 e MF-75 da Metform	37
A .1. MF-50	37
A.2. MF-75	38

1. INTRODUÇÃO

Os materiais utilizados na construção civil ao longo da história, trouxeram inúmeras vantagens e diferentes possibilidades de utilizações construtivas. A combinação destes elementos, por exemplo, gerou sistemas construtivos eficientes para atendimento às mais diversas demandas do mercado da engenharia civil, como os sistemas constituídos por elementos estruturais mistos de aço e concreto.

A amplitude de aplicação proporcionada pelo aço, permite que sejam alcançados grandes vãos e com menor peso final da estrutura. Já o concreto, além de excelentes propriedades de resistência à compressão, tem ótima compatibilidade com elementos metálicos, fazendo com que a estrutura trabalhe em conjunto para suporte dos esforços solicitantes da estrutura, resultantes de cargas permanentes e variáveis e vibração dos elementos.

Para o dimensionamento da estrutura, é necessário considerar as situações de incêndio, a fim de que se atendam os requisitos de segurança estrutural normatizados. Além disso, deve-se levar em conta a frequência natural da estrutura e a vibração oriunda do caminhar de pessoas ou de equipamentos, uma vez que cada elemento será dimensionado visando sua resistência e o conforto dos usuários de acordo com a finalidade da edificação.

Assim, para que se tenha uma estrutura econômica e que satisfaça aos critérios de dimensionamento, propõe-se estudar procedimentos de cálculo e rotinas de análises, por meio da comparação de estudos de caso, para que se alcancem resultados que permitam uma discussão enriquecedora dos valores apresentados.

2. OBJETIVO

A proposta desse trabalho é dimensionar a estrutura mais econômica possível, por meio de análise e tratativa dos resultados de dimensionamento de pavimentos típicos apresentados pelo autor Costa (2021), que avaliou o critério de dimensionamento estrutural de vigas mistas de aço e concreto proposto pelo livro *Dimensionamento dos elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto* (FAKURY et. al., 2016) para distribuição mais econômica de vigas secundárias em um piso típico, a fim de comparar e avaliar se atendem aos critérios de vibração do piso ao caminhar de pessoas e se atendem aos critérios de dimensionamento de lajes mistas em situação de incêndio. Também objetiva-se propor e validar dois

métodos de dimensionamento que atendam aos critérios supracitados e resulte em uma estrutura o mais leve possível e, conseqüentemente mais econômica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Conforme definição da NBR 8800 (2008), laje mista de aço e concreto é aquela que apresenta, em seu estado final, o concreto atuando conjuntamente com a fôrma de aço funcionando como armadura de tração da estrutura. Na fase inicial, ou de construção, a fôrma de aço é responsável por suportar isoladamente as ações permanentes e sobrecarga de construção.

FAKURY *et al.*, 2016 acrescentam ainda que, usualmente, próximo a face superior do concreto, coloca-se uma armadura em tela soldada de aço para evitar fissuras oriundas de retração ou variações de temperatura.

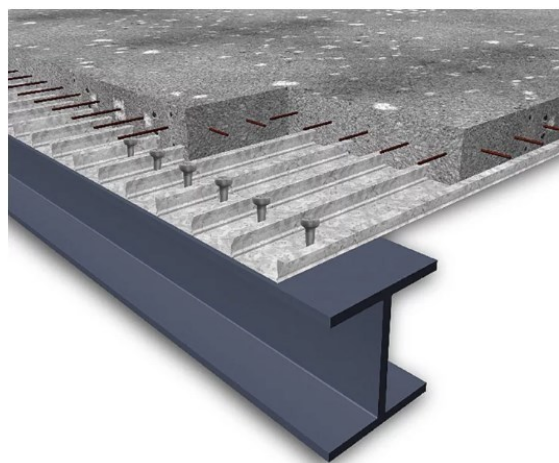


Figura 3.1 - Laje mista de aço e concreto

Fonte: SIENGE (2022).¹

Dentre as vantagens apresentadas pela laje mista, destaca-se a facilidade de instalação, a dispensa de escoramento e de desforma, conseqüentemente acelerando o processo construtivo e a possibilidade de a fôrma funcionar como plataforma de serviço para os operários. Em contrapartida, há uma eventual

¹ Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/steel-deck/>> Acesso em: 18 jul. 2022

necessidade de maior quantidade de vigas secundárias para suporte da laje mista (FAKURY *et al.*, 2016).

3.1.1 Fôrmas da Metform

Para FAKURY *et al.*, 2016 um dos fabricantes de fôrmas de aço trapezoidal mais presentes do mercado no Brasil é a Metform, com altura das nervuras variando entre 50 e 75 mm.

Conforme o catálogo da Metform (2019), o steel deck é fabricado com aço especial galvanizado ASTM A 653 Grau 40, podendo ser encontrado nas espessuras de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm com comprimento de até 12 metros.

A Metform disponibiliza o steel deck nos modelos MF 75, com largura útil de 820 mm, e no modelo MF 50, com largura útil de 915 mm. Atualmente, o MF 75 é o mais utilizado em todos os seguimentos de edificação, como hospitais, escritórios, edifícios, etc.

As tabelas com as cargas e vãos máximos de cada fôrma estão referenciadas no Anexo A deste trabalho. Nas Figuras 3.2 e 3.3 abaixo estão representadas as dimensões das fôrmas MF 50 e MF 75, respectivamente.

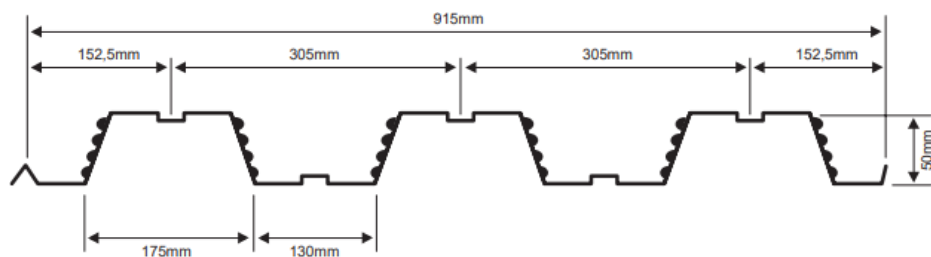


Figura 3.2 – Dimensões da fôrma MF-50 da Metform
Fonte: Catálogo Steel Deck METFORM (2019)

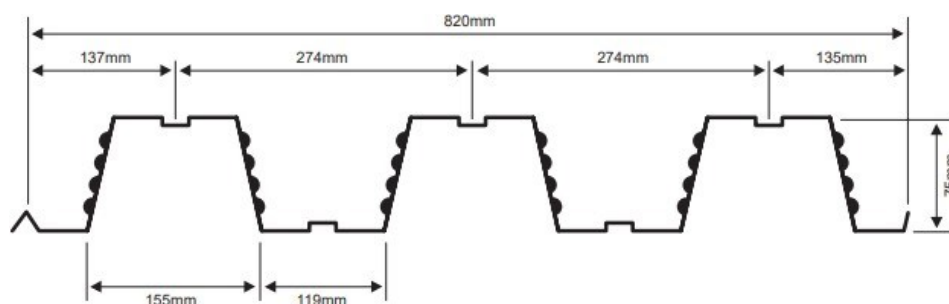


Figura 3.3 – Dimensões da fôrma MF-75 da Metform
Fonte: Catálogo Steel Deck METFORM (2019)

3.1.2 Dimensionamento da laje mista

Para o dimensionamento da laje mista aos estados-limites últimos, segundo FAKURY *et al.*, 2016, na fase inicial as fôrmas de aço devem suportar as ações de: pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço, da tela soldada e eventuais armaduras adicionais; sobrecarga de construção; e efeito de empoçamento. Na fase final, todo o carregamento é sustentado pela fôrma de aço trabalhando em conjunto com o concreto, aplicando-se os estados-limites últimos de: plastificação de uma linha da laje na direção perpendicular às nervuras pela ação do momento fletor; colapso por cisalhamento vertical; e colapso por cisalhamento longitudinal.

Já para o dimensionamento da laje mista aos estados-limites de serviço, FAKURY *et al.*, 2016 apresentam que, na fase inicial, a fôrma de aço não é escorada durante a concretagem e a verificação consiste em obter o vão máximo sem escoramento, podendo ele ser simples, duplo, triplo ou até mesmo um balanço. Caso o vão seja superior ao vão máximo sem escoramento indicado pelas tabelas de dimensionamento do fabricante das fôrmas de aço, como a Metform por exemplo, a fôrma deverá ser escorada durante a fase de construção. A verificação da fase final se resume na obtenção da máxima carga uniformemente distribuída sobreposta que pode atuar em determinado vão, entre as vigas de suporte. Durante essa fase, a laje será considerada como simplesmente apoiada (caso das tabelas das fôrmas da Metform).

Quanto aos estados-limites de serviço as tabelas da Metform já atendem os deslocamentos máximos permitidos.

3.2. VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

De acordo com definições da NBR 8800 (2008) caracteriza-se como viga mista, um componente de aço simétrico em relação ao plano de flexão com uma laje de concreto acima de sua face superior. Deve haver ligação mecânica por meio de conectores de cisalhamento, que são soldados na mesa superior da viga e embutidos na laje, de tal forma que ambos funcionem como um conjunto para resistir à flexão.

Conforme FAKURY *et al.*, 2016, os perfis de aço das vigas devem ser simétricos em relação ao eixo Y-Y (paralelo à alma). Já em relação ao eixo X-X (perpendicular à alma) podem ser utilizados perfis simétricos ou assimétricos. Outro ponto de verificação é que, uma viga birrotulada com perfil I duplamente simétrico ou monossimétrico, fletido em relação ao eixo de maior inércia (eixo X-X), que representa a situação mais comum na prática, tem altura da seção transversal (d) variando usualmente entre 1/15 e 1/30 do vão L .

3.2.1 Largura efetiva da laje

Para FAKURY *et al.*, 2016 a tensão de compressão é máxima sobre a mesa superior do perfil e decresce de forma não-linear à medida que se afasta dessa mesa. Para fins práticos é usual substituir o diagrama de tensão não uniforme por um diagrama com tensão constante $\sigma_{c,máx}$. A largura b assim obtida é considerada como a largura de faixa de laje que trabalha em conjunto com o perfil de aço que é a chamada largura efetiva. A Figura 3.4 abaixo demonstra a largura efetiva:

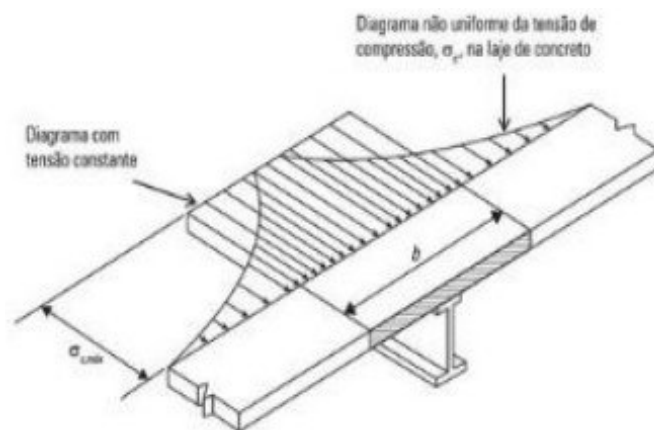


Figura 3.4 – Largura efetiva da laje em conjunto com perfil de aço

Fonte: FAKURY *et.al* (2016)

A NBR 8800:2008 admite tomar a largura efetiva da laje, de cada lado da linha de centro da viga, como igual ao menor dos seguintes valores:

- 1/8 do vão da viga mista, considerado entre linhas de centros dos apoios;
- Metade da distância entre a linha de centro da viga analisada e a linha de centro da viga adjacente ou a distância da linha de centro da viga à borda de uma laje em balanço.

3.2.2 Interação do perfil de aço com a laje de concreto

Segundo FAKURY *et al.* (2016), os conectores de cisalhamento são os elementos que asseguram o funcionamento da viga mista. Caso não se utilizem os conectores, não haverá ligação mecânica entre a laje de concreto e o perfil de aço, fazendo com que ambos fletam isoladamente. Com a utilização dos conectores, surgirá uma força horizontal que impossibilita ou reduz consideravelmente o deslizamento relativo na superfície de contato entre o perfil e o concreto, garantindo o trabalho conjunto da seção.

Quando não existe interação entre a laje e o perfil de aço, existe um elevado deslizamento relativo. A laje e o perfil se comportando independentes, faz com que existam duas linhas neutras, uma no centro geométrico da laje e outra no centro geométrico do perfil.

Se o número de conectores for suficiente para impedir integralmente o deslizamento na superfície de contato, a laje e a viga deformam-se como um só elemento, o que caracteriza uma viga mista com interação completa (FAKURY *et al.*, 2016).

Quando ocorre um deslizamento relativo ao nível da ligação aço-concreto, ou seja, os conectores não são capazes de transmitir todo o fluxo de cisalhamento, diz-se que a viga mista possui interação parcial.

De acordo com FAKURY *et al.* (2016) as vigas mistas com interação parcial costumam ser mais econômicas, já que permitem diminuir significativamente o número de conectores. Para que haja interação completa entre laje e perfil, o número de conectores deve ser suficiente para resistir a força de deslizamento horizontal, F_{hd} . Caso contrário, a interação será parcial.

O grau de interação entre o perfil e a laje, fator α , calculado pela seguinte equação:

$$\alpha = \frac{nQ_{Rd}}{F_{hd}} \quad (3.1)$$

Na qual n é o número de conectores de cisalhamento, Q_{Rd} é a força resistente de cálculo de um conector e F_{hd} é o esforço horizontal de cálculo. Se:

- $\alpha \geq 1$, viga mista com interação completa.
- $\alpha_{min} \leq \alpha < 1$, viga mista com interação parcial.
- $\alpha < \alpha_{min}$, interação inexistente. Não deve ser dimensionada como viga mista (FAKURY *et al.*,2016).

3.2.3 Dimensionamento ao momento fletor

FAKURY *et al.* (2016) traz que como as vigas de aço estão agindo em conjunto com a laje através dos conectores, não ocorre flambagem lateral com torção (FLT). Apesar da mesa estar comprimida, o estado limite último de flambagem lateral da mesa (FLM) também não ocorre, uma vez que a laje de concreto é a principal responsável pela resistência às tensões de compressão.

A ocorrência ou não da flambagem local da alma (FLA) está associada à relação da altura h com a espessura t_w da própria alma do perfil. Logo, se:

$$\bullet \quad \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \frac{\sqrt{E_a}}{\sqrt{f_y}},$$

não ocorre FLA e o colapso da viga se dá por plastificação total da seção transversal, ou

$$\bullet \quad 3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \frac{\sqrt{E_a}}{\sqrt{f_y}},$$

em que pode ocorrer FLA e considera-se como estado limite último o início do escoamento por tração da face inferior do perfil de aço ou o esmagamento da face superior da laje de concreto por compressão.

3.2.4 Determinação do momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd})

Conforme roteiro de cálculo desenvolvido por FAKURY *et al.* (2016), para o dimensionamento de uma viga mista o momento fletor solicitante de cálculo M_{Sd} deve ser menor ou igual ao momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} . Logo, resumidamente:

Para uma viga mista com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$, o momento fletor resistente se dá pela

plastificação total da seção transversal. Se o grau de interação for maior ou igual a 1 (interação completa), a força máxima de plastificação que poderá atuar na laje

de concreto é $0,85f_{cd}bt_c$ (compressão) e no perfil de aço é $A_a f_{yd}$ (tração). Tais forças irão definir a posição da linha neutra plástica na estrutura.

Se $0,85f_{cd}bt_c \geq A_a f_{yd}$ a linha neutra plástica (LNP) passa pela laje de concreto e o momento fletor resistente é calculado pela equação (3.2):

$$M_{Rd} = T_{ad} \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (3.2)$$

Na qual T_{ad} é a força resistente de cálculo do perfil de aço tracionado, d_1 é a distância do centro geométrico do perfil de aço até sua face superior, a é a espessura comprimida da laje, t_c é a altura de concreto da laje e h_F é a altura das nervuras. Caso a laje seja maciça, h_F é igual a zero.

Se $A_a f_{yd} > 0,85f_{cd}bt_c$ a linha neutra plástica (LNP) passa pela alma ou pela mesa superior do perfil de aço e o momento fletor resistente é determinado por meio da equação abaixo:

$$M_{Rd} = C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right) \quad (3.3)$$

Na qual C_{ad} e C_{cd} são as forças resistentes de cálculo das regiões comprimidas do perfil de aço e da laje de concreto, respectivamente. d é a altura total do perfil de aço, y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até sua face inferior e y_c distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior.

Caso a viga mista em estudo, com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \frac{E_a}{\sqrt{f_y}}$, possua interação parcial, ou

seja, $\alpha_{min} \leq \alpha < 1$, existirão duas linhas neutras plásticas, uma na laje e outra no perfil de aço, podendo ser tanto na alma quanto na mesa do perfil, e o seu momento fletor resistente será calculado por:

$$M_{Rd} = C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right) \quad (3.4)$$

3.2.5 Dimensionamento à força cortante

Conforme a FAKURY et. al., 2016, o esforço cortante resistente de uma seção mista deve ser determinado considerando apenas a resistência do perfil metálico, desprezando a participação da laje de concreto. A força cortante resistente de cálculo é dada por:

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_{a1}}$$

A força cortante resistente nominal de cálculo, V_{Rk} , é dada por:

(3.5)

- Para $\lambda \leq \lambda_P$: $V_{Rk} = V_{pl} = A_w \times 0,6 \times f_y$ (3.6)

$$\bullet \quad \text{Para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r : V_{Rk} = V_{pl} = \lambda_p \times V_{pl} \quad (3.7)$$

$$\bullet \quad \text{Para } \lambda > \lambda_r : V_{Rk} = V_{cr} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \times V_{pl} \quad (3.8)$$

γ_{a1} é o coeficiente de ponderação da resistência do aço igual a 1,10.

3.2.6 Estados-limites de serviço – Flecha

Os deslocamentos das vigas mistas devem respeitar os limites de flecha indicados na NBR 8800:2008. Assim, para as vigas mistas de piso adota-se $L_e/350$ como valor de flecha máxima permitida, em que L_e é o vão teórico entre os apoios. No cálculo de flecha, utiliza-se a combinação rara de ações de serviço. Nas vigas não escoradas, determina-se a flecha máxima por meio da expressão abaixo:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{p,pa} + \delta_{p,ld} + \delta_{v,cd} + \delta_{v,ld} - \delta_c \quad (3.9)$$

Na qual:

- $\delta_{p,pa}$ é flecha do perfil metálico causada pelas ações permanentes que atuam antes da cura do concreto;
- $\delta_{p,ld}$ é a flecha da viga mista causada pelas ações permanentes que atuam após a cura do concreto;
- $\delta_{v,cd}$ é a flecha causada pelas ações variáveis de curta duração;
- $\delta_{v,ld}$ é a flecha causada pelas ações variáveis de longa duração;
- δ_c é a contraflecha da viga (não pode ser maior que a soma $\delta_{p,pa} + \delta_{p,ld}$).

3.3.DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

De acordo com o anexo C da NBR 14323:2013, quando se utiliza laje mista, o critério de estanqueidade já é satisfeito apenas pela presença da fôrma de aço. A resistência ao fogo de estruturas de laje mista, com ou sem armadura adicional, pode ser considerada de no mínimo 30 minutos, desde que seja verificado o critério de isolamento térmico.

Para atender ao critério de isolamento térmico, segundo a NBR 14323:2013, deve-se calcular a espessura efetiva da laje, h_{ef} , segundo as seguintes fórmulas:

$$h_{ef} = h_1 + \frac{h_2}{l_1 + l_3} (l_1 + l_2), \text{ para } \frac{h_2}{h_1} \leq 1,5 \text{ e } h_1 > 40 \text{ mm} \quad (3.11)$$

$$h_{ef} = h_1 (1 + 0,75 \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3}), \text{ para } \frac{h_2}{h_1} > 1,5 \text{ e } h_1 > 40 \text{ mm} \quad (3.12)$$

As variáveis são as dimensões da laje mista, definidas conforme a figura:

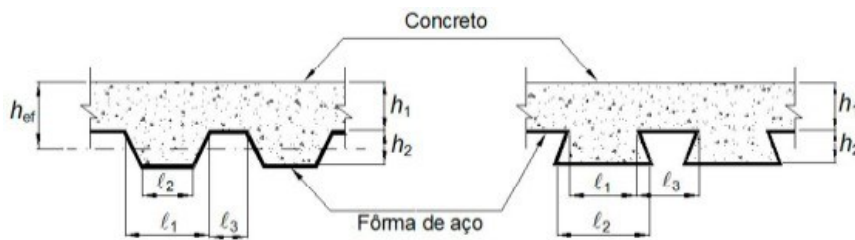


Figura 3.5 – Dimensões da seção transversal da laje

Fonte: NBR 14323 (2013)

Após efetuado o cálculo, a espessura efetiva deve ser maior ou igual ao valor dado na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Espessura efetiva mínima da laje em função do TRRF

TRRF min	Espessura efetiva mínima (h_{ef}) mm
30	60
60	80
90	100
120	120
180	150

Fonte: NBR 14323 (2013)

3.4. VIBRAÇÃO DO PISO AO CAMINHAR DE PESSOAS

Segundo Murray *et.al.* 2016 no guia do instituto AISC, atividades humanas causam ações dinâmicas na estrutura. Além das vibrações internas dos elementos estruturais que compõem uma edificação, as ações humanas também causam excitações na estrutura que precisam ser verificadas em método de cálculo, para atender aos critérios de conforto humano de utilização da edificação e de suporte das ações variáveis causadas pela atividade humana.

Os autores ainda trazem que, para fins de análise, a vibração é resultante de uma

combinação de frequências da estrutura, sendo considerada em toda a massa que

compõe o conjunto estrutural e que a frequência é inversamente proporcional a esta massa, o que pode ser demonstrado a partir da fórmula a seguir:

$$f_n = \frac{\pi}{2} \left(\frac{gE_s I_t}{wL^4} \right)^{1/2};$$

em que o w é o peso efetivo suportado pelo conjunto estrutural misto, o f_n é a frequência natural do piso considerado no dimensionamento, o E_s é o módulo de elasticidade do aço, o I_t é o momento de inércia, o L é o vão do membro analisado e o g a aceleração da gravidade.

Esta mesma relação inversa se dá entre o limite de aceleração e a massa, trazida na fórmula abaixo:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 e^{-0.35 f_n}}{\beta W};$$

em que P_0 é a amplitude da força considerada, β é a taxa de amortecimento, W é o peso efetivo suportado pelo conjunto estrutural misto e o f_n é a frequência natural do piso considerado no dimensionamento.

Logo, segundo o AISC, base para o cálculo de vibração utilizado neste estudo, quanto menor a massa, maior será a frequência e a aceleração da estrutura.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. DISTRIBUIÇÃO ECONÔMICA DAS VIGAS MISTAS

Costa (2021) propôs a validação do método apresentado no livro *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto* (FAKURY *et al.*, 2016) em que os autores indicam, de forma simplificada, em qual direção as vigas mistas secundárias devem ser projetadas para se obter uma solução mais econômica, isto é, para que se utilize uma menor quantidade de aço. O método propõe adotar a menor espessura possível da fôrma de aço incorporado, 0,8mm, e seguir alguns critérios como menor comprimento total de vigas secundárias e menor peso próprio da laje mista.

Entretanto, não é levado em conta o critério de vibração do piso em função do caminhar de pessoas e nem a verificação da altura mínima de laje mista para atender aos critérios de verificação da estrutura para situações de incêndio.

4.2. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Com o intuito de validar os resultados apresentados por Costa (2021) propõe-se verificar se os perfis encontrados pelo autor para o dimensionamento dos elementos do pavimento típico atendem aos critérios de vibração do piso devido ao caminhar de pessoas e se as lajes mistas escolhidas atendem ao critério de dimensionamento em situação de incêndio.

Adicionalmente, serão apresentados dois métodos de dimensionamento que consistem em variar as verificações da vibração da estrutura da seguinte forma:

Primeiro, todos os pavimentos típicos considerados por Costa (2021) serão redimensionados, utilizando uma planilha em *Excel* automatizada que escolhe, de acordo com os dados inseridos, o perfil mais leve (com a menor área de aço) e com o menor grau de interação possível, sem que seja verificado nenhum critério de vibração.

No MÉTODO A, a planilha irá escolher um perfil para a viga principal que passe no critério da vibração da viga principal e, para a viga secundária, um perfil que atenda à vibração da viga secundária, do piso e ao critério de aceleração.

Já no MÉTODO B, se inverterá a ordem, propondo escolher um perfil para a viga secundária que passe no critério de vibração para a viga secundária e, para a viga principal, um perfil que atenda à vibração da viga principal, do piso e ao critério de aceleração.

A intenção com o uso dos dois métodos é verificar se terá diferença no dimensionamento dos perfis de viga mista devido a alteração na ordem de verificação dos critérios de vibração da estrutura.

Em todos os métodos, serão verificados qual o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) terá a laje mista escolhida no início do processo.

4.2.1 Considerações e carregamentos

A representação esquemática do módulo típico do pavimento avaliado neste estudo é apresentada pela Figura 4.1:

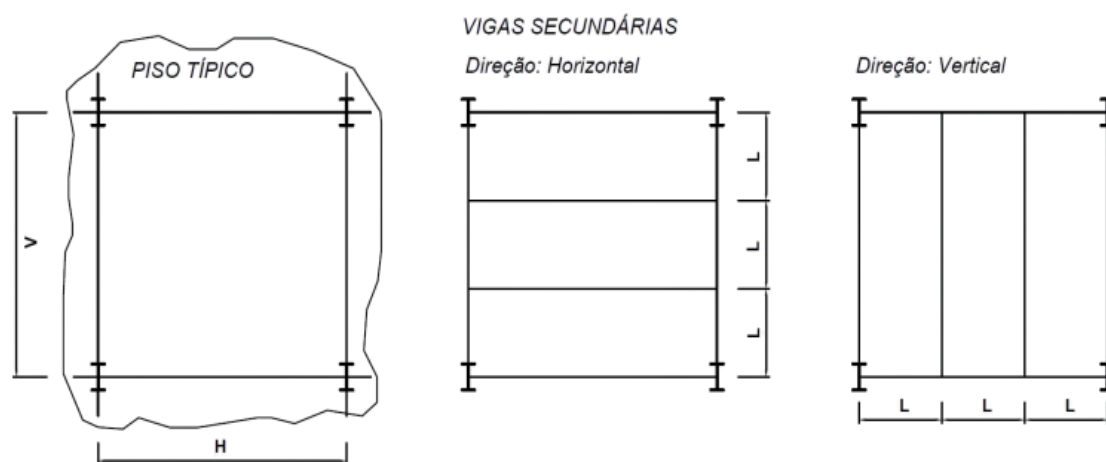


Figura 4.1 - Representação do piso típico avaliado

Serão analisados sete casos com dimensões variadas para um piso típico de escritório e sete casos para um piso típico de loja, também com variações das suas dimensões, todos foram verificados por Costa (2021). Na Tabela 2, a seguir, estão listados os carregamentos e as dimensões do piso adotados para cada caso:

Tabela 2 – Dimensões e carregamentos do pavimento típico considerado

Caso	Pavimento VxH (m)	Carregamento (kN/m ²)			
		Revestimento e forro	Peso da estrutura de aço	Sobrecarga* (Escritório)	Sobrecarga* (Loja)
1	6 x 8	1,5	0,25	2,0	4,0
2	6 x 10	1,5	0,25	2,0	4,0
3	6 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0
4	6 x 15	1,5	0,25	2,0	4,0
5	8 x 10	1,5	0,25	2,0	4,0
6	8 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0
7	10 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0

*Valores da NBR 6120:1980.

4.2.2 Dimensionamento das lajes e vigas mistas

Com o auxílio do *software* Excel foram elaboradas planilhas de cálculo para que o dimensionamento das lajes e vigas mistas fosse otimizado.

No dimensionamento da laje mista, primeiramente deve-se entrar com os valores das ações permanentes e variáveis, com as dimensões do piso e escolher a espessura da forma de aço, que nesse trabalho para todos os casos será 0,8mm (menor espessura possível). Após a inserção desses dados, utilizou-se das tabelas de cargas e vãos máximos das fôrmas MF-50 e MF-75 (vide Anexo A) para escolher a fôrma que tivesse a carga sobreposta máxima imediatamente superior à dos casos, com o maior vão possível sem escoramento, pois quanto maior o vão sem escoramento, menor o número de vigas secundárias.

Como as vigas mistas serão dimensionadas nas direções de menor e maior vão (vertical e horizontal), na planilha é possível escolher a direção das vigas secundárias para o cálculo. A Figura 4.2 a seguir mostra uma parte da interface da planilha para a entrada de dados de geometria e carregamentos dos pavimentos típicos para a escolha da laje mista:

Geometria:

H = 12,00 m

V = 8,00 m

Direção V.S = Horizontal

L = 3,00 m

Carregamentos:

sobrecarga = 2,00 kN/m²

peso próprio da laje = 2,50 kN/m²

peso próprio da estrutura das vigas de aço = 0,25 kN/m²

peso próprio das divisórias = 0,00 kN/m²

peso próprio do revestimento do piso = 1,50 kN/m²

sobrecarga de construção = 1,00 kN/m²

peso próprio dos pilares = 0

Carga para escolha da laje mista = 3,50 kN/m²

Figura 4.2 - Parte da interface da planilha de entrada de dados para o dimensionamento das lajes mistas

Após escolha da laje mista, foi elaborado um quadro para inserir a altura total da laje mista escolhida, utilizando a fôrma MF-50 ou MF-75, para conhecer o TRRF daquela laje, em qual limite se enquadraria dentro dos valores normativos. É possível observar este campo da planilha na Figura 4.3 abaixo:

MF 50		MF 75	
Htotal laje =	110 mm	Htotal laje =	140 mm
h1 (mín)	60 mm	h1 (mín)	65 mm
L1=	175 mm	L1=	155 mm
L2=	130 mm	L2=	119 mm
L3=	130 mm	L3=	119 mm
H2=	50 mm	H2=	75 mm
hef=	85 mm	hef=	103 mm
TRRF=	60 min	TRRF=	90 min

Figura 4.3 – Interface da planilha em que é verificado o TRRF da laje mista escolhida

A partir dos dados e resultados definidos para a laje mista e definição da direção da viga mista secundária, a planilha já calcula os valores dos esforços solicitantes nas vigas, calculados para as fases de utilização e construção, e os esforços solicitantes que serão utilizados para o cálculo de limitação de tensão. Esses valores encontrados servirão de base para o dimensionamento das vigas mistas principais e secundárias. Na Figura 4.4 é possível verificar como são apresentados os resultados dos esforços das vigas:

Coeficientes de ponderação das cargas, comb. construção:					
permanente = 1,3					
sobrecarga = 1,2					
Coeficientes de ponderação das cargas, comb. normal:					
permanente = 1,4					
sobrecarga = 1,4					
fator de combinação $\Psi_2 = 0,4$					
carga distribuída no piso (q) = 6,25 kN/m ²					
carga distribuída no piso de cálculo (q _d) = 8,75 kN/m ²					
Viga secundária:					
Número de secundárias = 2,0 secundárias					
vão da viga secundária = 12,00 m					
carga de cálculo (q _d) = 26,25 kN/m					
reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V _{m,S_d}) = 157,50 kN	VG _{a,Sk} = 49,50 kN	VG _{a,Sd} = 69,30 kN	V _{pa,Sk} = 67,50 kN	V _{p,pa,Sn} = 49,50 kN.m	M _{p,pa,Sn} = 148,50 kN.m
momento solicitante de cálculo (M _{vm,Sd}) = 472,50 kN.m	VL _{Sk} = 63,00 kN	VL _{Sd} = 88,20 kN	V _{pa,Sd} = 85,95 kN	V _{p,ld,Sn} = 27,00 kN.m	M _{p,ld,Sn} = 81,00 kN.m
	MG _{a,Sk} = 148,50 kN.m	MG _{a,Sd} = 207,90 kN.m	M _{pa,Sd} = 257,85 kN.m	V _{v,cd,Sn} = 21,60 kN.m	M _{v,cd,Sn} = 64,80 kN.m
	ML _{Sk} = 189,00 kN.m	ML _{Sd} = 264,60 kN.m		V _{v,ld,Sn} = 14,40 kN.m	M _{v,ld,Sn} = 43,20 kN.m
Viga principal:					
vão da viga principal = 8,00 m					
reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V _{m,S_d}) = 315,00 kN	VG _{a,Sk} = 99,00 kN	VG _{a,Sd} = 138,60 kN	V _{pa,Sk} = 135,00 kN	V _{p,pa,Sn} = 99,00 kN.m	M _{p,pa,Sn} = 247,50 kN.m
momento solicitante de cálculo (M _{vm,Sd}) = 787,50 kN.m	VL _{Sk} = 126,00 kN	VL _{Sd} = 176,40 kN	V _{pa,Sd} = 171,90 kN	V _{p,ld,Sn} = 54,00 kN.m	M _{p,ld,Sn} = 135,00 kN.m
	MG _{a,Sk} = 247,50 kN.m	MG _{a,Sd} = 346,50 kN.m	M _{pa,Sd} = 429,75 kN.m	V _{v,cd,Sn} = 43,20 kN.m	M _{v,cd,Sn} = 108,00 kN.m
	ML _{Sk} = 315,00 kN.m	ML _{Sd} = 441,00 kN.m		V _{v,ld,Sn} = 28,80 kN.m	M _{v,ld,Sn} = 72,00 kN.m

Figura 4.4 - Apresentação na planilha dos esforços solicitantes calculados

Definida a laje mista e tendo os esforços solicitantes calculados, seguiu-se para a determinação do perfil de aço que será utilizado para a viga mista. Além dos dados da laje mista e dos esforços calculados anteriormente, foram usados os seguintes dados de entrada para escolha do perfil de aço:

- **Aço:** ASTM A572 Grau 50
- **Resistência do Aço (f_y):** 34,5 kN/cm²
- **Resistência do Concreto (f_{ck}):** 3,0 kN/cm²
- **Tipo de Brita:** Granito ou Gnaiss

- **Conector:** Pino com cabeça, diâmetro de 19 mm.
- **Rg e Rp** iguais a 1,00.

Todos estes dados foram inseridos em uma segunda planilha em *Excel* (vide Figura 4.5) que define automaticamente, com base nestes dados, o perfil mais leve e com o menor grau de interação possível para a viga mista.

<p>Editar somente as células em azul!</p>	Dados: Perfil, conector e laje	
	Aço ASTM A572 Gr 50	
	$f_y = 34,50 \text{ kN/cm}^2$	30 MPa
	$f_{ck} = 3,0 \text{ kN/cm}^2$	
	Brita = granito ou gnaiss	
	Perfil VS 550 x 75	
	Laje MF 75 - 140x0,8	
	$h_F = 75 \text{ mm}$	7,50 cm
	$t_c = 65 \text{ mm}$	6,50 cm
	Conector Pino com cabeça	
d_{cs} , diâmetro = 19 mm	1,90 cm	
$R_g = 1,00$		
$R_p = 1,00$		
Le, vão da viga = 8,00 m		
Lado 1 = viga adjacente		
distância entre a viga e a viga adjacente no lado 1 = 12,00 m		
Lado 2 = viga adjacente		
distância entre a viga e a viga adjacente no lado 2 = 12,00 m		

Figura 4.5 – Interface da planilha de dados de entrada para cálculo do perfil de aço da viga mista

Após inserir os dados de entrada, bem como os esforços, a planilha é solicitada para procurar, dentre os perfis do catálogo da Gerdau inseridos, qual é o mais leve e com o menor grau de interação possível. Este campo da planilha em que é solicitado a execução do código para escolha automatizada é demonstrado na figura 4.6:

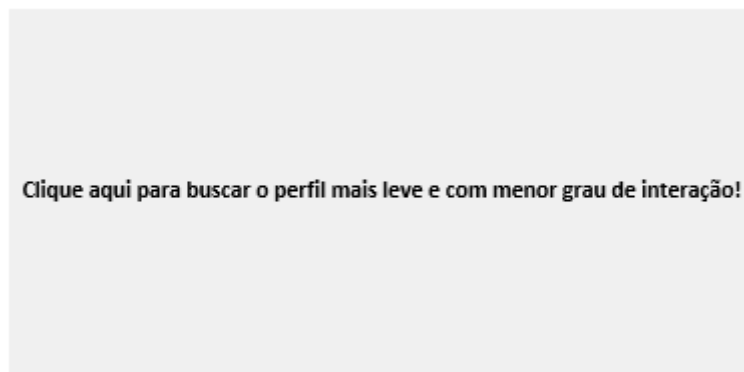


Figura 4.6 – Solicitação à planilha automatizada para buscar o perfil mais leve com o menor grau de interação

Ao realizar a busca automatizada, a planilha verifica cada perfil se atende aos critérios de cálculo demonstrados na Figura 4.7 e 4.8 abaixo:

Esluzetza da alma e regime de cálculo:	$h/t_w = 83,33$		
	$3,76 \text{ raiz}(E/f_y) = 90,53$		
	$5,70 \text{ raiz}(E/f_y) = 137,24$	Atende!	0,607
Cálculo do momento resistente da viga mista no regime PLÁSTICO!			
α , grau de interação =	0,836	Atende!	0,010
α_{min} , grau de interação mínimo =	0,488	Atende!	0,010
n, número de conectores =	22		
Estado limite último: Verificação da viga de aço antes da cura do concreto			
$L_b =$	3,00 m		
$C_b =$	1,00		
$M_{pa,Sd} =$	42975 kN.cm	$\leq M_{pa,Rd} =$	63118 kN.cm Atende! 0,681
Estado limite último: Cálculo do momento resistente da viga mista no regime PLÁSTICO!			
LNPs no concreto e no perfil			
$M_{vm,Sd} =$	78750 kN.cm	$\leq M_{vm,Rd} =$	104438 kN.cm Atende! 0,754
Estado limite último: Verificação da força cortante			
Viga com enrijecedores transversais =	NÃO		
Distância entre enrijecedores transversais, a =	0 mm	0,00 cm	
$V_{vm,Sd} =$	315 kN	$\leq V_{Rd} =$	408,35 kN Atende! 0,771

Figura 4.7 – Critérios de verificação do dimensionamento do perfil de aço para a viga mista (parte 01)

Tensão de cálculo f_{yd} na face inferior do perfil: Deve ser verificado para vigas mista sem escoramento, calculadas no regime elástico			
$M_{Ga,Sd} =$	34650 kN.cm		
$M_{L,Sd} =$	44100 kN.cm		
$M_{Ga,Sd}/W_{xi} + M_{L,Sd}/W_{ef,i} =$	43,53 kN/cm ²	Atende!	0,010
Tensão nominal f_y na face inferior do perfil: Deve ser verificado para vigas mista calculadas no regime elástico ou plástico			
$M_{Ga,Sk} =$	24750 kN.cm		
$M_{L,Sk} =$	31500 kN.cm		
$M_{Ga,Sk}/W_{xi} + M_{L,Sk}/W_{ef,i} =$	31,09 kN/cm ²	Atende!	0,901
Flechas: Calculadas com base em um diagrama de momento fletor parabólico			
$M_{p,pa,Sn} =$	24750 kN.cm	1,94 cm	
$M_{p,ld,Sn} =$	13500 kN.cm	0,58 cm	
$M_{v,cd,Sn} =$	10800 kN.cm	0,36 cm	
$M_{v,ld,Sn} =$	7200 kN.cm	0,31 cm	
$M_{p,te,Sn} =$	0 kN.cm	0,00 cm	
Contraflecha =	25 mm	-2,52 cm	Atende!
Total =		0,67 cm	
Limite ($L_e/350$) =		2,29 cm	Atende! 0,294
Não tem alvenaria.			Atende! 0,010

Resumo de todas as verificações:	0,953	Atende todos os critérios de verificação!
---	-------	--

Figura 4.8 - Critérios de verificação do dimensionamento do perfil de aço para a viga mista (parte 02)

O perfil da viga mista é definido quando é encontrado o perfil de aço com a menor área de aço para atender às solicitações, inicialmente com interação completa e, posteriormente, o grau de interação é otimizado para ser igual ou próximo ao α_{min} , atendendo às verificações dos estados limites do perfil escolhido.

Todos estes passos até aqui descritos foram seguidos para verificação e redimensionamento dos casos propostos por Costa (2021), para efeito de comparação, a fim de encontrar perfis para vigas mistas principais e secundárias mais leves, sem considerar verificação de critério de vibração do piso.

4.2.3 Dimensionamento da viga mista considerando o critério de vibração da estrutura

Para o MÉTODO A e MÉTODO B propostos para estudo neste trabalho, foi utilizada uma terceira planilha que leva em consideração a vibração da estrutura devido ao caminhar de pessoas. Após a definição dos perfis para as vigas principal e secundária, os dados são levados à planilha de vibração para verificação. A interface da planilha de vibração para entrada de dados das vigas, laje e piso pode ser observada na Figura 4.9 a seguir:

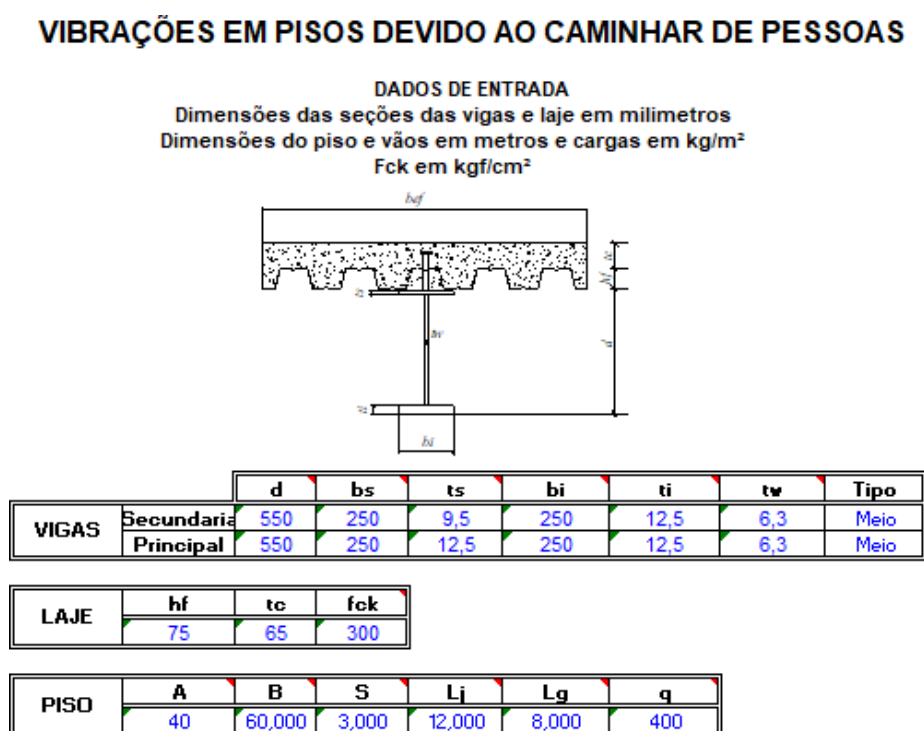


Figura 4.9 – Interface da planilha de vibração para entrada de dados das vigas mistas, laje e piso escolhidos

Após inserir os dados, é também escolhido qual o caso da edificação em análise, se é shopping, igreja, escritório, residência ou passarela. Então, é verificado se a estrutura está dentro dos limites de vibração pré-estabelecidos, conforme é mostrado na Figura 4.10:

CASO	4
------	---

CASOS PREVISTOS - PREMISSAS PARA CADA CASO

	SC	β	Po	ao/g
CASO 1 - IGREJAS	0	0,02	29	0,50%
CASO 2 - SHOPPINGS	0	0,02	29	1,50%
CASO 3 - ESCRITÓRIOS C/ DIVISÓRIAS BAIXAS	50	0,03	29	0,50%
CASO 4 - ESCRITÓRIOS C/ DIVISÓRIAS ATÉ TETO	50	0,05	29	0,50%
CASO 5 - RESIDÊNCIAS	25	0,05	29	0,50%
CASO 6 - PASSARELAS	25	0,01	41	1,50%

RESULTADOS

FREQÜÊNCIA PRÓPRIA -VIGA SECUNDÁRIA	5,08 Hz	OK
FREQÜÊNCIA PRÓPRIA -VIGA PRINCIPAL	6,09 Hz	OK
FREQÜÊNCIA PRÓPRIA -PISO	3,90 Hz	OK
ACELERAÇÃO	0,19 % g	OK

Figura 4.10 – Interface da planilha em que são verificados os critérios de vibração da estrutura

Através de uma interconexão entre a planilha de escolha do perfil de viga mista e a planilha de vibração, foi possível buscar um perfil que atendesse às condições pré-estabelecidas de vibração.

Para o MÉTODO A, na escolha da viga principal, calculada primeiro, a planilha só aceitava como perfil mais leve aquele que passasse no critério de vibração da viga principal. Para isso, foi inserido um campo de cálculo da frequência (vibração) da viga principal como critério de verificação do perfil, como mostra a figura 4.11:

Frequência da viga principal: 6,09 Hz Atende! 0,050

Resumo de todas as verificações: 0,771 Atende todos os critérios de verificação!

Figura 4.11 – Inserção do cálculo da frequência da viga principal como critério para escolha do perfil de viga mista mais leve

Já para a viga secundária no MÉTODO A, a planilha só aceitava como perfil mais leve aquele que passasse no critério de vibração da própria viga secundária, juntamente com a vibração do piso e a aceleração. Assim, estes três campos de cálculo foram inseridos na planilha de viga mista como critério de escolha do perfil mais leve, como ilustrado na Figura 4.12:

Frequência da viga secundária: 5,08 Hz	Atende!	0,050
Frequência do piso: 3,90 Hz	Atende!	0,050
Aceleração: 0,19 % g	Atende!	0,050
Resumo de todas as verificações:	0,611	Atende todos os critérios de verificação!

Figura 4.12 – Inserção do cálculo da frequência da viga secundária, do piso e da aceleração como critério para escolha do perfil de viga mista mais leve

Como resultado, a planilha já retornava os perfis que passassem nestes critérios inseridos.

Assim, do mesmo modo foi feito para o MÉTODO B, invertendo-se a ordem do dimensionamento. Isto é, na escolha da viga secundária, calculada primeiro, a planilha só aceitava como perfil mais leve aquele que passasse no critério de vibração da viga secundária somente. Já para a viga principal, a planilha só aceitava como perfil mais leve aquele que passasse no critério de vibração da própria viga principal, juntamente com a vibração do piso e a aceleração. A inserção de campos na planilha de escolha da viga mista seguiu o mesmo padrão demonstrado na Figura 4.11 e 4.12 anteriormente.

Para cada caso da Tabela 2 foi realizado o dimensionamento da laje mista e das vigas mistas principais e secundárias tanto na direção horizontal, quanto na direção vertical, em todos os métodos, considerando um piso típico de escritório e um piso típico de loja.

4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.3.1 Validação de resultados encontrados por COSTA (2021)

No primeiro momento, a primeira verificação foi a validação dos resultados apresentados por Costa (2021), para análise dos perfis encontrados para vigas mistas principais e secundárias se atendiam aos critérios de vibração da estrutura e para análise da laje mista utilizada se atendia ao critério de altura mínima de laje em situação de incêndio. A tabela 3 a seguir mostra os resultados encontrados para as verificações feitas para o método validado por Costa (2021) para o tipo loja e na tabela 4 os resultados para escritório:

Tabela 3 – Verificação dos resultados de Costa (2021) aos critérios de vibração e TRRF para o pavimento tipo loja

Caso	Pavimento (m)	Direção (Viga sec.)	Vão entre V.S	LAJE	TRF	Perfis		Vibração			Aceleração
						Viga Principal	Viga Secundária	VMP1	VMP2 e VMS	PISO	
1	6x8	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	W 410 x 60	W 360 x 44	10,68 Hz	6,48 Hz	5,54 Hz	0,37 % g
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	W 460 x 60	W 310 x 23,8	6,13 Hz	8,18 Hz	4,90 Hz	0,62 % g
2	6x10	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	VS 500 x 61	W 410 x 60	11,95 Hz	5,14 Hz	4,72 Hz	0,34 % g
2	6x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	W 530 x 92	W 310 x 23,8	5,40 Hz	8,44 Hz	4,55 Hz	0,53 % g
3	6x12	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	W 460 x 82	W 530 x 74	11,63 Hz	4,65 Hz	4,32 Hz	0,31 % g
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	VS 650 x 114	W 310 x 28,3	4,94 Hz	8,57 Hz	4,28 Hz	0,39 % g
4	6x15	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	W 530 x 92	VS 600 x 95	12,77 Hz	3,70 Hz	3,56 Hz	0,28 % g
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	VS 800 x 143	W 310 x 28,3	4,19 Hz	8,57 Hz	3,76 Hz	0,34 % g
5	8x10	Horizontal*	2,67 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	W 530 x 92	W 460 x 52	6,65 Hz	5,40 Hz	4,19 Hz	0,52 % g
5	8x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	VS 600 x 111	W 310 x 38,7	5,65 Hz	6,00 Hz	4,12 Hz	0,56 % g
6	8x12	Horizontal*	2,67 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	VS 600 x 95	VS 500 x 61	7,21 Hz	4,43 Hz	3,77 Hz	0,48 % g
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	VS 800 x 129	W 360 x 44	5,30 Hz	6,48 Hz	4,11 Hz	0,38 % g
7	10x12	Horizontal	2,50 m	MF 75 - 140 x 0,80	90 min	VS 800 x 129	VS 500 x 61	6,18 Hz	4,54 Hz	3,66 Hz	0,46 % g
7	10x12	Vertical*	3,00 m	MF 75 - 170 x 0,80	120 min	VS 1100 x 219	W 410 x 60	7,74 Hz	5,14 Hz	4,28 Hz	0,35 % g

Tabela 4 - Verificação dos resultados de Costa (2021) aos critérios de vibração e TRRF para o pavimento tipo escritório

Caso	Pavimento (m)	Direção (Viga sec.)	Vão entre V.S	LAJE	TRF	Perfis		Vibração			Aceleração
						Viga Principal	Viga Secundária	VMP1	VMP2 e VMS	PISO	
1	6x8	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	W 410 x 46,1	W 360 x 32,9	8,67 Hz	5,28 Hz	4,51 Hz	0,24 % g
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	W 460 x 52	W 310 x 21	5,46 Hz	7,34 Hz	4,38 Hz	0,27 % g
2	6x10	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	W 460 x 52	W 410 x 46,1	9,21 Hz	4,33 Hz	3,92 Hz	0,21 % g
2	6x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180 x 0,8	120 min	W 460 x 82	W 310 x 28,3	4,44 Hz	7,87 Hz	3,87 Hz	0,19 % g
3	6x12	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	VS 500 x 61	W 460 x 60	10,34 Hz	3,64 Hz	3,44 Hz	0,18 % g
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	VS 600 x 95	W 310 x 23,8	4,12 Hz	7,35 Hz	3,59 Hz	0,21 % g
4	6x15	Horizontal*	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	VS 550 x 64	W 530 x 82	10,57 Hz	2,96 Hz	2,85 Hz	0,16 % g
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	VS 700 x 122	W 310 x 23,8	3,40 Hz	7,35 Hz	3,08 Hz	0,18 % g
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	W 530 x 72	W 360 x 44	5,98 Hz	4,10 Hz	3,38 Hz	0,24 % g
5	8x10	Vertical*	3,33 m	MF 75 - 180 x 0,8	120 min	VS 600 x 95	W 410 x 38,8	4,67 Hz	5,50 Hz	3,56 Hz	0,20 % g
6	8x12	Horizontal*	2,67 m	MF 50 - 120 x 0,8	60 min	W 530 x 85	W 410 x 60	5,90 Hz	3,44 Hz	2,97 Hz	0,23 % g
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 50 - 160 x 0,8	120 min	VS 700 x 122	W 310 x 38,7	4,41 Hz	5,27 Hz	3,38 Hz	0,18 % g
7	10x12	Horizontal*	3,33 m	MF 75 - 180 x 0,8	120 min	VS 700 x 122	VS 550 x 64	5,64 Hz	4,22 Hz	3,38 Hz	0,14 % g
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140 x 0,8	90 min	VS 750 x 125	W 410 x 46,1	4,31 Hz	4,33 Hz	3,06 Hz	0,20 % g

Como se observa, as lajes mistas, tanto para lojas quanto para escritórios, apresentam valores mínimos de TRF de 90 minutos em, praticamente, todos os casos, o menor TRF é o de 60 minutos no caso 6 da Tabela 4.

Em relação ao dimensionamento, a viga principal no caso 6 da Tabela 3 (Loja), em que as vigas secundárias foram posicionadas na direção vertical, apresentou falha na verificação da tensão de cálculo na face inferior do perfil, o que faz com que o perfil não atenda às solicitações da estrutura, exigindo que o mesmo fosse trocado por um perfil mais robusto para passar nesta verificação.

Quanto à verificação relacionada à vibração da estrutura ao caminhar de pessoas, a frequência, em todos os casos, deve estar acima de 3 Hz, o que não ocorre nos casos 4 e 6 referentes aos pisos de escritório (Tabela 4). Isso significa que, nesses

casos, se o engenheiro quiser permanecer com os perfis dimensionados, deve-se verificar a estrutura com o 1º harmônico. Vale ressaltar, que em ambos os casos, os problemas com a frequência ocorreram na situação em que a viga secundária foi posicionada na direção horizontal, que era a de maior vão. Nestes casos, as vigas tem maior massa e menor inércia, o que faz com que sua frequência natural já seja baixa e, nos casos citados, não atendendo às especificações de cálculo.

Já em relação à aceleração verificada, os limites de até 1,5 % g para edificação tipo Loja e 0,5 % g para Escritório em todos os casos foram satisfeitos, pois permaneceram abaixo destes limites pré-estabelecidos.

4.3.2 Redimensionamento dos casos apresentados por Costa (2021) sem considerar critério de vibração

Os casos apresentados por Costa (2021) foram recalculados, inicialmente, sem verificar nenhuma vibração, tanto para escritório quanto para loja. Na tabela 5, abaixo, são apresentados os resultados de dimensionamento para os casos de loja, sem vibração.

Tabela 5 – Dimensionamento de edificação do tipo loja sem vibração

Loja (sobrecarga de 4,0 kN/m ²) - Viga principal com freq. única e secundária com todas as outras															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 400 x 40	W 250 x 17,9	20,00	322,40 kg	23,90	108,60 kg	23,90	217,28 kg	648,28 kg	94,06%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 400 x 39	VS 400 x 28	15,00	236,40 kg	20,00	226,40 kg	20,00	226,40 kg	689,20 kg	
2	6x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 600 x 81	VSM 250 x 20	16,67	812,00 kg	24,00	120,00 kg	24,00	360,00 kg	1292,00 kg	123,66%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 450 x 49	VSM 400 x 38	13,33	292,80 kg	25,00	376,00 kg	25,00	376,00 kg	1044,80 kg	
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 550 x 84	VSM 250 x 21	21,82	1008,00 kg	24,00	126,60 kg	24,00	379,80 kg	1514,40 kg	92,73%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 500 x 58	VSM 450 x 53	12,00	349,20 kg	26,67	642,00 kg	26,67	642,00 kg	1633,20 kg	
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 650 x 106	VSM 250 x 21	23,08	1591,50 kg	24,00	126,60 kg	24,00	506,40 kg	2224,50 kg	90,96%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 500 x 61	VSM 550 x 69	12,00	366,60 kg	27,27	1039,50 kg	27,27	1039,50 kg	2445,60 kg	
5	8x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 76	VSM 300 x 25	18,18	760,00 kg	26,67	202,40 kg	26,67	607,20 kg	1569,60 kg	105,37%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 61	VS 400 x 33	16,00	488,80 kg	25,00	334,00 kg	25,00	666,75 kg	1489,55 kg	
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 600 x 103	VS 400 x 28	20,00	1236,00 kg	20,00	226,40 kg	20,00	679,20 kg	2141,60 kg	104,65%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 69	VSM 400 x 42	14,55	554,40 kg	30,00	498,00 kg	30,00	994,13 kg	2046,53 kg	
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 700 x 122	VSM 400 x 38	17,14	1467,60 kg	25,00	376,00 kg	25,00	1128,00 kg	2971,60 kg	97,62%
7	10x12	Horizontal	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 700 x 105	VSM 400 x 42	14,29	1052,00 kg	30,00	498,00 kg	30,00	1494,00 kg	3044,00 kg	

Os resultados para o dimensionamento dos escritórios, sem considerar a vibração do piso, são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Dimensionamento de edificação do tipo escritório sem vibração

Escritório (sobrecarga de 2,0 kN/m ²) - sem considerar vibração do piso															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 400 x 37	W 250 x 17,9	20,00	295,20 kg	23,90	108,60 kg	23,90	217,28 kg	621,08 kg	98,18%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 37	VS 300 x 26	15,00	221,40 kg	26,67	205,60 kg	26,67	205,60 kg	632,60 kg	
2	6x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 61	W 310 x 21	20,00	611,00 kg	19,80	128,40 kg	19,80	257,19 kg	996,59 kg	114,21%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 39	VS 400 x 32	15,00	234,60 kg	25,00	319,00 kg	25,00	319,00 kg	872,60 kg	
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 73	W 250 x 17,9	24,00	871,20 kg	23,90	108,60 kg	23,90	325,80 kg	1305,60 kg	102,06%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 450 x 49	VS 400 x 41	13,33	292,80 kg	30,00	493,20 kg	30,00	493,20 kg	1279,20 kg	
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 600 x 95	W 250 x 17,9	25,00	1425,00 kg	23,90	108,60 kg	23,90	434,40 kg	1968,00 kg	92,47%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 53	VS 450 x 60	15,00	319,20 kg	33,33	904,50 kg	33,33	904,50 kg	2128,20 kg	
5	8x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 73	VS 350 x 30	20,00	726,00 kg	22,86	243,20 kg	22,86	487,13 kg	1456,33 kg	108,97%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 400 x 53	VS 350 x 30	20,00	425,60 kg	28,57	304,00 kg	28,57	606,86 kg	1336,46 kg	
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 84	VS 300 x 26	21,82	1008,00 kg	26,67	205,60 kg	26,67	616,80 kg	1830,40 kg	99,79%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 450 x 60	VSM 400 x 38	17,78	482,40 kg	30,00	451,20 kg	30,00	900,71 kg	1834,31 kg	
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 650 x 98	VS 400 x 32	18,46	1177,20 kg	25,00	319,00 kg	25,00	957,00 kg	2453,20 kg	79,01%
7	10x12	Horizontal	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 600 x 95	W 410 x 60	16,67	950,00 kg	29,48	717,60 kg	29,48	1437,35 kg	3104,95 kg	

Nos casos dos pavimentos típicos sem vibração considerada, observa-se que o dimensionamento da loja apresenta um peso (quantidade de aço) maior para todos os casos comparados ao escritório, o que pode ter sido causado pela diferença na sobrecarga dos dois tipos de edificação.

Quanto ao TRF, todos os casos apresentaram um tempo mínimo de resistência de 60 minutos, mas nos casos em que se utilizaram a laje MF 50, deve-se ter o cuidado em edificações mais altas. Nestes casos, a MF 75 se torna uma opção mais satisfatória para atender o TRRF.

Pode-se observar também que para as vigas principais e secundárias em todos os casos dimensionados para o escritório, a relação entre o vão da viga e sua altura do perfil de aço convergem para os limites praticados, que são entre 15 e 30. Assim, infere-se que uma menor sobrecarga contribui para alturas de vigas mais controladas e peso final da estrutura menor.

Já para o dimensionamento da loja, nos casos em que as vigas principais estão na posição do maior vão do módulo considerado, como nos casos 2, 3 e 4, por exemplo, a relação vão/altura da viga também fica mais alta. Este fato permite concluir que vãos muito grandes para módulos de pisos típicos, implicam numa verificação mais criteriosa quanto ao tipo de edificação analisada, no que se refere à sua sobrecarga, pois influencia diretamente no peso da estrutura final e inviabilidade de transporte, manuseio e fabricação de vigas nestes tamanhos.

Vale ressaltar ainda que, nos casos destacados em amarelo, tanto para loja quanto para escritório, foram os casos que o menor peso final da estrutura foi quando a viga principal estava na posição de maior vão. Isso vai de encontro com os resultados encontrados por Costa (2021) que conclui que, nem sempre, a situação

mais econômica será quando a viga principal estiver na posição do menor vão do pavimento.

4.3.3 Análise dos dimensionamentos das estruturas considerando as vibrações pelo MÉTODO A e MÉTODO B

Neste tópico, loja e escritório serão avaliados separadamente para ambos os métodos.

Nas tabelas 7 e 8 a seguir, apresentam-se os resultados do dimensionamento para o tipo loja nos métodos A e B, respectivamente:

Tabela 7 – Dimensionamento dos pisos de loja para o MÉTODO A

Loja (sobrecarga de 4,0 kN/m ²) - Viga principal com freq. única e secundária com todas as outras															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 400 x 40	W 250 x 17,9	20,00	322,40 kg	23,90	108,60 kg	23,90	217,28 kg	648,28 kg	94,06%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 400 x 39	VS 400 x 28	15,00	236,40 kg	20,00	226,40 kg	20,00	226,40 kg	689,20 kg	
2	6x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 600 x 81	VSM 250 x 20	16,67	812,00 kg	24,00	120,00 kg	24,00	360,00 kg	1292,00 kg	123,66%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 450 x 49	VSM 400 x 38	13,33	292,80 kg	25,00	376,00 kg	25,00	376,00 kg	1044,80 kg	
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 550 x 84	VSM 250 x 21	21,82	1008,00 kg	24,00	126,60 kg	24,00	379,80 kg	1514,40 kg	92,73%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 500 x 58	VSM 450 x 53	12,00	349,20 kg	26,67	642,00 kg	26,67	642,00 kg	1633,20 kg	
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 650 x 106	VSM 250 x 21	23,08	1591,50 kg	24,00	126,60 kg	24,00	506,40 kg	2224,50 kg	90,96%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 500 x 61	VSM 550 x 69	12,00	366,60 kg	27,27	1039,50 kg	27,27	1039,50 kg	2445,60 kg	
5	8x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 76	VSM 300 x 25	18,18	760,00 kg	26,67	202,40 kg	26,67	607,20 kg	1569,60 kg	105,37%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 61	VS 400 x 33	16,00	488,80 kg	25,00	334,00 kg	25,00	666,75 kg	1489,55 kg	
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 600 x 103	VS 400 x 28	20,00	1236,00 kg	20,00	226,40 kg	20,00	679,20 kg	2141,60 kg	104,65%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 69	VSM 400 x 42	14,55	554,40 kg	30,00	498,00 kg	30,00	994,13 kg	2046,53 kg	
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 700 x 122	VSM 400 x 38	17,14	1467,60 kg	25,00	376,00 kg	25,00	1128,00 kg	2971,60 kg	97,62%
7	10x12	Horizontal	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 700 x 105	VSM 400 x 42	14,29	1052,00 kg	30,00	498,00 kg	30,00	1494,00 kg	3044,00 kg	

Tabela 8 – Dimensionamento dos pisos de loja para o MÉTODO B

Loja (sobrecarga de 4,0 kN/m ²) - Viga principal com freq. única e secundária com todas as outras															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 400 x 40	W 250 x 17,9	20,00	322,40 kg	23,90	108,60 kg	23,90	217,28 kg	648,28 kg	94,06%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 400 x 39	VS 400 x 28	15,00	236,40 kg	20,00	226,40 kg	20,00	226,40 kg	689,20 kg	
2	6x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 600 x 81	VSM 250 x 20	16,67	812,00 kg	24,00	120,00 kg	24,00	360,00 kg	1292,00 kg	123,66%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 450 x 49	VSM 400 x 38	13,33	292,80 kg	25,00	376,00 kg	25,00	376,00 kg	1044,80 kg	
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 550 x 84	VSM 250 x 21	21,82	1008,00 kg	24,00	126,60 kg	24,00	379,80 kg	1514,40 kg	92,73%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 500 x 58	VSM 450 x 53	12,00	349,20 kg	26,67	642,00 kg	26,67	642,00 kg	1633,20 kg	
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 650 x 106	VSM 250 x 21	23,08	1591,50 kg	24,00	126,60 kg	24,00	506,40 kg	2224,50 kg	90,96%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 500 x 61	VSM 550 x 69	12,00	366,60 kg	27,27	1039,50 kg	27,27	1039,50 kg	2445,60 kg	
5	8x10	Vertical	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 76	VSM 300 x 25	18,18	760,00 kg	26,67	202,40 kg	26,67	607,20 kg	1569,60 kg	105,37%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 61	VS 400 x 33	16,00	488,80 kg	25,00	334,00 kg	25,00	666,75 kg	1489,55 kg	
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VSM 600 x 103	VS 400 x 28	20,00	1236,00 kg	20,00	226,40 kg	20,00	679,20 kg	2141,60 kg	104,65%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 69	VSM 400 x 42	14,55	554,40 kg	30,00	498,00 kg	30,00	994,13 kg	2046,53 kg	
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 170x0,8	120 min	VS 700 x 122	VSM 400 x 38	17,14	1467,60 kg	25,00	376,00 kg	25,00	1128,00 kg	2971,60 kg	97,62%
7	10x12	Horizontal	2,50 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 700 x 105	VSM 400 x 42	14,29	1052,00 kg	30,00	498,00 kg	30,00	1494,00 kg	3044,00 kg	

Conforme resultados apresentados, os pisos para loja não sofreram diferenças em seus dimensionamentos em nenhum dos métodos, comparados ao dimensionamento sem frequência. Isto é explicado pelo fato de que, no cálculo de verificação da vibração do piso, a sobrecarga atribuída para o caso de “shoppings”, que foi utilizado para lojas, é igual a zero, como destacado na Figura 4.13 a seguir:

CASOS PREVISTOS - PREMISSAS PARA CADA CASO

	SC	β	Po	ao/g
CASO 1 - IGREJAS	0	0,02	29	0,50%
CASO 2 - SHOPPINGS	0	0,02	29	1,50%
CASO 3 - ESCRITÓRIOS C/ DIVISÓRIAS BAIXAS	50	0,03	29	0,50%
CASO 4 - ESCRITÓRIOS C/ DIVISÓRIAS ATÉ TETO	50	0,05	29	0,50%
CASO 5 - RESIDÊNCIAS	25	0,05	29	0,50%
CASO 6 - PASSARELAS	25	0,01	41	1,50%

Figura 4.13 – Sobrecarga de vibração para shoppings

Fonte: Murray et. al. (2016) – grifos meus

Além disso, o fator de aceleração tem um limite 3 vezes maior para shoppings em relação ao escritório.

Deste modo, os resultados encontrados estão de acordo com a premissa de considerações de cálculo para vibração da estrutura para lojas. O mesmo não acontece para o caso de escritórios como será mostrado a seguir.

Para o escritório, os resultados de dimensionamento para o MÉTODO A e MÉTODO B seguem apresentados, respectivamente, nas tabelas 9 e 10 a seguir:

Tabela 9 – Dimensionamento dos pisos de escritório para o MÉTODO A

Escritório (sobrecarga de 2,0 kN/m ²) - Viga principal com freq única e secundária com todas as outras															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 400 x 37	VS 350 x 26	20,00	295,20 kg	17,14	158,40 kg	17,14	316,92 kg	770,52 kg	121,80%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 37	VS 300 x 26	15,00	221,40 kg	26,67	205,60 kg	26,67	205,60 kg	632,60 kg	114,21%
2	6x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 61	W 310 x 21	20,00	611,00 kg	19,80	128,40 kg	19,80	257,19 kg	996,59 kg	96,80%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 39	VS 400 x 32	15,00	234,60 kg	25,00	319,00 kg	25,00	319,00 kg	872,60 kg	96,80%
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 73	W 250 x 17,9	24,00	871,20 kg	23,90	108,60 kg	23,90	325,80 kg	1305,60 kg	113,27%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 450 x 49	VS 400 x 44	13,33	292,80 kg	30,00	528,00 kg	30,00	528,00 kg	1348,80 kg	95,11%
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 650 x 98	VSM 400 x 42	23,08	1471,50 kg	15,00	249,00 kg	15,00	996,00 kg	2716,50 kg	85,54%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 53	VSM 550 x 69	15,00	319,20 kg	27,27	1039,50 kg	27,27	1039,50 kg	2398,20 kg	100,20%
5	8x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 73	VS 350 x 30	20,00	726,00 kg	22,86	243,20 kg	22,86	487,13 kg	1456,33 kg	85,54%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 400 x 53	VS 400 x 37	20,00	425,60 kg	25,00	369,00 kg	25,00	736,62 kg	1531,22 kg	85,54%
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 84	VS 400 x 28	21,82	1008,00 kg	20,00	226,40 kg	20,00	679,20 kg	1913,60 kg	100,20%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 450 x 60	VSM 450 x 49	17,78	482,40 kg	26,67	585,60 kg	26,67	1169,01 kg	2237,01 kg	100,20%
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 650 x 98	VSM 450 x 49	18,46	1177,20 kg	22,22	488,00 kg	22,22	1464,00 kg	3129,20 kg	100,20%
7	10x12	Horizontal	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 600 x 95	VS 450 x 60	16,67	950,00 kg	26,67	723,60 kg	26,67	1449,37 kg	3122,97 kg	100,20%

Tabela 10 – Dimensionamento dos pisos de escritório para o MÉTODO B

Escritório (sobrecarga de 2,0 kN/m ²) - Viga secundária com freq única e principal com todas as outras															
Caso	Pavimento (m)			Laje mista escolhida	TRF	Perfis		Relação L/h (VMP1)	Peso total (VMP1)	Relação L/h (VMP2)	Peso total (VMP2)	Relação L/h (VMS)	Peso total (VMS)	QTD. Total de aço (kg)	Relação entre a QTD total de aço vertical/horizontal
	VxH (m)	Posição V.S	Vão entre V.S			Viga Principal	Viga secundária								
1	6x8	Vertical	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 400 x 37	W 250 x 17,9	20,00	295,20 kg	23,90	108,60 kg	23,90	217,28 kg	621,08 kg	98,18%
1	6x8	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 37	VS 300 x 26	15,00	221,40 kg	26,67	205,60 kg	26,67	205,60 kg	632,60 kg	
2	6x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 61	W 310 x 21	20,00	611,00 kg	19,80	128,40 kg	19,80	257,19 kg	996,59 kg	114,21%
2	6x10	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 400 x 39	VS 400 x 32	15,00	234,60 kg	25,00	319,00 kg	25,00	319,00 kg	872,60 kg	
3	6x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 500 x 73	W 250 x 17,9	24,00	871,20 kg	23,90	108,60 kg	23,90	325,80 kg	1305,60 kg	99,86%
3	6x12	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 450 x 53	VS 400 x 41	13,33	321,00 kg	30,00	493,20 kg	30,00	493,20 kg	1307,40 kg	
4	6x15	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 800 x 111	W 250 x 17,9	18,75	1672,50 kg	23,90	108,60 kg	23,90	434,40 kg	2215,50 kg	80,68%
4	6x15	Horizontal	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 1000 x 140	VS 550 x 64	6,00	838,20 kg	27,27	954,00 kg	27,27	954,00 kg	2746,20 kg	
5	8x10	Vertical	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 500 x 73	VS 350 x 30	20,00	726,00 kg	22,86	243,20 kg	22,86	487,13 kg	1456,33 kg	102,58%
5	8x10	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 550 x 64	VS 350 x 30	14,55	508,80 kg	28,57	304,00 kg	28,57	606,86 kg	1419,66 kg	
6	8x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VSM 550 x 84	VS 300 x 26	21,82	1008,00 kg	26,67	205,60 kg	26,67	616,80 kg	1830,40 kg	81,57%
6	8x12	Horizontal	2,67 m	MF 50 - 120x0,8	60 min	VS 800 x 111	VSM 400 x 38	10,00	892,00 kg	30,00	451,20 kg	30,00	900,71 kg	2243,91 kg	
7	10x12	Vertical	3,00 m	MF 75 - 140x0,8	90 min	VS 850 x 120	VS 400 x 32	14,12	1446,00 kg	25,00	319,00 kg	25,00	957,00 kg	2722,00 kg	84,88%
7	10x12	Horizontal	3,33 m	MF 75 - 180x0,8	120 min	VS 700 x 105	W 410 x 60	14,29	1052,00 kg	29,48	717,60 kg	29,48	1437,35 kg	3206,95 kg	

Observa-se que para os pisos de escritório a situação é diferente comparada à loja. O principal fator é que nas considerações de premissas de cálculo para verificação da vibração nas estruturas, utilizando o caso 3 (de escritórios com baixas divisórias) é acrescentada uma sobrecarga de 50 kN/m para a construção do tipo escritório e o limite de aceleração é 0,5%, bem menor que o limite permitido para lojas.

Outro ponto a ser observado é que no método B, na maioria dos casos as vigas principais apresentaram relação vão/altura da viga baixa. O que significa que os perfis escolhidos tem alturas elevadas, podendo prejudicar o pé direito da edificação. Neste aspecto, o método A apresentou relações mais satisfatórias quanto aos perfis utilizados, resultando em alturas mais controladas das vigas principais e secundárias.

Além disso, para pisos típicos com dimensões mais controladas como no caso 2, não interfere a escolha de um dos métodos utilizados, uma vez que o dimensionamento final ficou igual para ambos.

O que também chama a atenção para os resultados encontrados é que no método B, em quase todos os casos, a situação mais econômica de dimensionamento é quando a viga principal está na posição de maior vão, contrariando o descrito por FAKURI *et al.* (2016) e convergindo para a conclusão de Costa (2021). Isso também acontece nos casos 3, 5 e 6 do método A.

4.3.4 Análise comparativa entre todos os métodos estudados para escolha da estrutura mais econômica

Após verificações dos vários métodos apresentados, a quantidade de aço calculada para cada estrutura em cada método foi comparada para se encontrar o método que apresentaria a estrutura mais econômica.

Para o piso de escritório, a análise comparativa será apresentada na tabela 11 e para o piso de loja será apresentado na tabela 12, a seguir:

Tabela 11 – Análise comparativa do peso final das estruturas de todos os métodos para pisos de escritório

Caso	Pavimento (m)		MÉTODO COSTA	SEM FREQUENCIA	MAIS ECONÔMICA (MET. C X SEM FREQ.)	DIFERENÇA PERCENTUAL	MÉTODO A	MÉTODO B	MAIS ECONÔMICA (MET. A X MET. B)	DIFERENÇA PERCENTUAL
	VxH (m)	Posição V.S								
1	6x8	Vertical	794,00 kg	621,08 kg	SEM FREQUÊNCIA	-22%	770,52 kg	621,08 kg	MÉTODO B	-19,39%
1	6x8	Horizontal	803,00 kg	632,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-21%	632,60 kg	632,60 kg	IGUAL	0,00%
2	6x10	Vertical	1329,40 kg	996,59 kg	SEM FREQUÊNCIA	-25%	996,59 kg	996,59 kg	IGUAL	0,00%
2	6x10	Horizontal	1234,00 kg	872,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-29%	872,60 kg	872,60 kg	IGUAL	0,00%
3	6x12	Vertical	1711,20 kg	1305,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-24%	1305,60 kg	1305,60 kg	IGUAL	0,00%
3	6x12	Horizontal	1806,00 kg	1279,20 kg	SEM FREQUÊNCIA	-29%	1348,80 kg	1307,40 kg	MÉTODO B	-3,07%
4	6x15	Vertical	2544,00 kg	1968,00 kg	SEM FREQUÊNCIA	-23%	2716,50 kg	2215,50 kg	MÉTODO B	-18,44%
4	6x15	Horizontal	2844,00 kg	2128,20 kg	SEM FREQUÊNCIA	-25%	2398,20 kg	2746,20 kg	MÉTODO A	-12,67%
5	8x10	Vertical	1881,20 kg	1456,33 kg	SEM FREQUÊNCIA	-23%	1456,33 kg	1456,33 kg	IGUAL	0,00%
5	8x10	Horizontal	1896,00 kg	1336,46 kg	SEM FREQUÊNCIA	-30%	1531,22 kg	1419,66 kg	MÉTODO B	-7,29%
6	8x12	Vertical	2702,40 kg	1830,40 kg	SEM FREQUÊNCIA	-32%	1913,60 kg	1830,40 kg	MÉTODO B	-4,35%
6	8x12	Horizontal	2840,00 kg	1834,31 kg	SEM FREQUÊNCIA	-35%	2237,01 kg	2243,91 kg	MÉTODO A	-0,31%
7	10x12	Vertical	3344,00 kg	2453,20 kg	SEM FREQUÊNCIA	-27%	3129,20 kg	2722,00 kg	MÉTODO B	-13,01%
7	10x12	Horizontal	3524,00 kg	3104,95 kg	SEM FREQUÊNCIA	-12%	3122,97 kg	3206,95 kg	MÉTODO A	-2,62%

Tabela 12 - Análise comparativa do peso final das estruturas de todos os métodos para pisos de loja

Caso	Pavimento (m)		MÉTODO COSTA	SEM FREQUENCIA	MAIS ECONÔMICA (MET. C X SEM FREQ.)	DIFERENÇA PERCENTUAL	MÉTODO A	MÉTODO B	MAIS ECONÔMICA (MET. A X MET. B)	DIFERENÇA PERCENTUAL
	VxH (m)	Posição V.S								
1	6x8	Vertical	908,40 kg	648,28 kg	SEM FREQUÊNCIA	-29%	648,28 kg	648,28 kg	IGUAL	0%
1	6x8	Horizontal	1064,00 kg	689,20 kg	SEM FREQUÊNCIA	-35%	689,20 kg	689,20 kg	IGUAL	0%
2	6x10	Vertical	1521,20 kg	1292,00 kg	SEM FREQUÊNCIA	-15%	1292,00 kg	1292,00 kg	IGUAL	0%
2	6x10	Horizontal	1566,00 kg	1044,80 kg	SEM FREQUÊNCIA	-33%	1044,80 kg	1044,80 kg	IGUAL	0%
3	6x12	Vertical	2047,20 kg	1514,40 kg	SEM FREQUÊNCIA	-26%	1514,40 kg	1514,40 kg	IGUAL	0%
3	6x12	Horizontal	2268,00 kg	1633,20 kg	SEM FREQUÊNCIA	-28%	1633,20 kg	1633,20 kg	IGUAL	0%
4	6x15	Vertical	2994,00 kg	2224,50 kg	SEM FREQUÊNCIA	-26%	2224,50 kg	2224,50 kg	IGUAL	0%
4	6x15	Horizontal	3402,00 kg	2445,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-28%	2445,60 kg	2445,60 kg	IGUAL	0%
5	8x10	Vertical	2348,40 kg	1569,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-33%	1569,60 kg	1569,60 kg	IGUAL	0%
5	8x10	Horizontal	2296,00 kg	1489,55 kg	SEM FREQUÊNCIA	-35%	1489,55 kg	1489,55 kg	IGUAL	0%
6	8x12	Vertical	2956,00 kg	2141,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-28%	2141,60 kg	2141,60 kg	IGUAL	0%
6	8x12	Horizontal	2956,00 kg	2046,53 kg	SEM FREQUÊNCIA	-31%	2046,53 kg	2046,53 kg	IGUAL	0%
7	10x12	Vertical	5028,00 kg	2971,60 kg	SEM FREQUÊNCIA	-41%	2971,60 kg	2971,60 kg	IGUAL	0%
7	10x12	Horizontal	4218,00 kg	3044,00 kg	SEM FREQUÊNCIA	-28%	3044,00 kg	3044,00 kg	IGUAL	0%

De acordo com os dados resultantes, infere-se que, os resultados apresentados por Costa (2021) não atendem aos critérios de dimensionamento e vibração em alguns

casos e não foi o dimensionamento mais econômico quando comparado ao dimensionamento recalculado com auxílio da planilha automatizada, mesmo sem consideração da vibração. As diferenças percentuais entre as quantidades de aço dos dois dimensionamentos, em todos os casos, são bastante consideráveis, tanto para a edificação tipo loja quanto para escritório.

Já entre os métodos A e B, as diferenças de quantidade de aço apresentadas entre os dimensionamentos para o escritório não são tão significativas, permitindo que seja utilizado qualquer um dos métodos para escolha de perfis de vigas mistas que atendam ao critério de vibração do piso. Na maioria dos casos, o método B apresentou um resultado mais econômico, porém a relação L/h das vigas principais ficaram ruins, o que faz com que o método A tenha a vantagem de se ter perfis com alturas mais controladas. Deste modo, cabe uma avaliação do engenheiro para a escolha do método a ser utilizado para o dimensionamento para que não haja prejuízo no pé direito considerado da edificação.

No que se refere a loja, não há diferença entre os métodos devido à sobrecarga, como citado anteriormente, podendo ser escolhido qualquer um dos métodos propostos para o dimensionamento.

5. CONCLUSÃO

Conforme resultados apresentados, este estudo permite concluir que, nas estruturas em que são utilizadas as lajes mistas, devido às alturas mínimas exigidas de laje, o critério de TRRF é normalmente atendido em, no mínimo, 60 minutos.

Conclui-se também que independentemente do tipo de edificação analisada sem consideração da vibração do piso, em relação ao peso final da estrutura, o fator mais preponderante é a sobrecarga de cálculo considerada para dimensionamento da estrutura, ou seja, quanto maior a sobrecarga, maior tende a ser o peso final da estrutura.

No que se refere ao dimensionamento da estrutura considerando a vibração, é observada uma sobrecarga para cada tipo de edificação, para fins de verificação da aceleração do piso. Deste modo, a sobrecarga só interfere no peso final da edificação do tipo escritório, uma vez que a sobrecarga acrescentada para o dimensionamento à vibração para a edificação do tipo loja é igual a 0 (zero).

Assim, para análise da edificação do tipo escritório, no método A em que a viga principal está com frequência própria e a secundária está combinada com as demais frequências, tem-se um melhor resultado quanto aos perfis utilizados, tendo alturas mais controladas das vigas principais e secundárias, enquanto no método B, apesar de ter demonstrado ser mais econômico na maioria dos casos, devido ao resultado das relações entre vão/altura da viga, tende-se a ter mais problemas com o pé direito da edificação, por apresentar perfis com alturas maiores.

Em referência à comparação de pesos finais entre os métodos A e B para o escritório, não se tem diferenças significativas. Já em relação aos resultados apresentados por Costa (2021), mesmo sem considerar a vibração para dimensionamento, as estruturas dimensionadas em um caso não atendem às solicitações de cálculo e em outros não atende aos critérios de vibração da estrutura, e além disso não são as estruturas mais econômicas comparadas aos métodos validados neste estudo, que alcançaram resultados satisfatórios de perfis com menores áreas de seção transversal.

Em relação ao critério de vibração da estrutura, foi visto que a massa e a frequência apresentam uma relação inversamente proporcional, isto é, quanto maior a massa mobilizada da estrutura, menor é a sua frequência e menor a sua aceleração. Logo, estruturas com o peso (massa) final muito alto, conseqüentemente terá frequências menores, o que acarretará problemas com a estrutura, necessitando de tratativas estruturais mais criteriosas. Este aspecto faz com que obrigatoriamente se tenha atenção quanto aos módulos e vãos escolhidos para dimensionamento, pois, mesmo que a estrutura mista apresente grande vantagem de utilização em grandes vãos, os limites de transporte, fabricação das peças, logística de canteiro de obra e peso final da estrutura, que influencia diretamente em sua vibração, são aspectos que precisam ser levados em consideração ao se definir e dimensionar as estruturas mistas.

Para futuros estudos, recomenda-se que sejam testados algoritmos de otimização para buscar perfis que sejam mais leves, por exemplo entre as soluções alcançadas pelos métodos A e B, capazes de se ter um peso adequado frente a parâmetros com a relação vão e altura dos perfis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situações de incêndio**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situações de incêndio**. Rio de Janeiro, 2013

COSTA, Maxwell Sousa. **Análise da distribuição das vigas mistas de aço e concreto em um pavimento típico**. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2021.

DIETRICH, Mateus Zimmer *et al.* **Vibrações em pisos de estruturas de aço devido à atividade humana**. 2013. 20 f. CILAMCE, Pirenópolis, GO, Brasil. 2013. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/sitecilamce2013/cd/PDFS/CILAMCE2013-0538.PDF>>. Acesso em: jul. 2022.

FAKURY R.H.; SILVA A.L.C.; CALDAS R.B.; **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

METFORM S.A. **Catálogo Técnico Steel Deck**. Betim/MG, 2019. Disponível em: <http://www.metform.com.br/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

Murray, T. M., Allen, D. E., Ungar, E. E., Davis, D. B. 2016. **Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity**, American Institute of Steel Construction, United States of America, 2016.

Anexo A

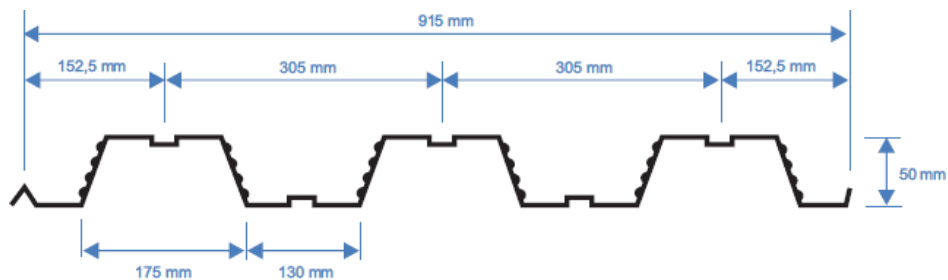
Especificações técnicas das formas MF-50 e MF-75 da Metform

A.1. MF-50

- Tabela de cargas e vãos máximos:

Altura da Laje (mm)	Espessura Teia-forma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)																
		Simples (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)																
								1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200	
Laje de Teto	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
	1,25	2.500	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16	
	1,50	3.200	3.800	3.900	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,19	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38	
	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,86	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76	
	0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,82	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46	
	1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85	
Laje de Piso	100	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
	0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76	
	1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,34	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32	
	0,80	1.400	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19	
	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06	
	1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,08	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79	
	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41	
	0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36	
	1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26	
	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63	
	0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66	
	1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72		
	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,89	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,63	13,03	11,69	11,06	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19		
	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06	
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		

- Dimensões:



- Consumo de concreto – Armadura para retração:

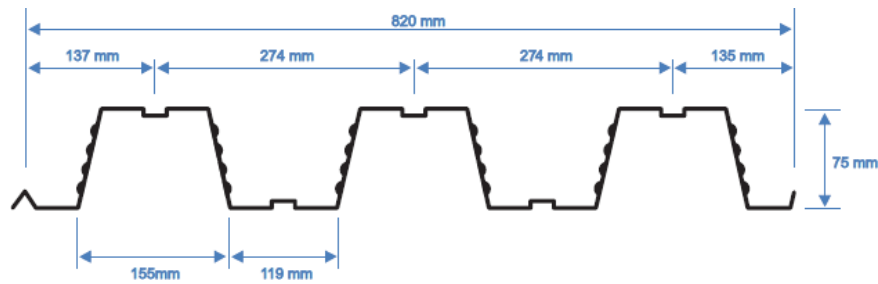
Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em te la soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m ²)
100	0,0750	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
110	0,0850	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
120	0,0950	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
130	0,1050	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
140	0,1150	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
150	0,1250	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
160	0,1350	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
170	0,1450	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20

A.2. MF-75

- Tabela de cargas e vãos máximos:

Altura da Laje (mm)	Espessura Tabela-forma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)															
		Simples (mm)	Duplo (mm)	Tripo (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
								2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000
130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,86	11,87	10,56	9,42	8,43	7,58	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
	0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,28	2,56	2,00
	1,25	3.850	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,94	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
140	0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
	1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,38	6,53	5,59	4,61	3,81
	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,46	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,58
	0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
150	1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73
	0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,63	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68
	1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58	
160	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88
	0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91
	1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	18,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	
	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03
170	0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14
	1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35	
	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	18,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18
	0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36
180	1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	
	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59
	1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,98	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12

- Dimensões:



- Consumo de concreto – Armadura para retração:

Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em te la soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m ²)
130	0,0925	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
140	0,1025	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
150	0,1125	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
160	0,1225	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
170	0,1325	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
180	0,1425	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
190	0,1525	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20
200	0,1625	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20