



## COMPARATIVO DE VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA ENTRE VIGA MISTA E VIGA METÁLICA UTILIZANDO O TQS

GUTERREZ, Pedro L. B.<sup>1</sup>

SILVA, Renata C.<sup>2</sup>

SIMÕES, Ricardo<sup>3</sup>

Universidade São Francisco

[pedro.gutierrez@outlook.com.br](mailto:pedro.gutierrez@outlook.com.br)

<sup>1</sup>Pedro Luiz Bais Gutierrez, Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Campus Bragança Paulista – SP;

<sup>2</sup>Renata Cristiane da Silva, Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Campus Bragança Paulista – SP;

<sup>3</sup>Professor Orientador Ricardo Simões, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Campus Bragança Paulista – SP.

**Resumo.** Este trabalho pretende comparar a viabilidade entre a viga de seção mista e a metálica, e as vantagens e desvantagens ao aplicá-las para eliminar um vão de aproximadamente 7 m de comprimento em um edifício, utilizando o software TQS para dimensionamento e análise. A pesquisa aborda aspectos técnicos e econômicos para os dois tipos de viga, com base nas normas brasileiras NBR 8800:2008 e NBR 6118:2023. Além disso, são discutidas as principais verificações realizadas em ambas, levando em consideração fatores como o desempenho estrutural e o custo. A conclusão indica qual das opções é mais vantajosa para os projetos de edificações, fundamentando-se nos resultados obtidos a partir das simulações realizadas no TQS.

**Palavras-chave:** estruturas metálicas; modelamento; TQS, Metal Check.

### Introdução

O dimensionamento da viga é fundamental no projeto da edificação, pois é um elemento que recebe as cargas oriundas dos pavimentos e realiza a distribuição delas para os pilares, possibilitando que haja estabilidade, segurança, aparência e funcionalidade da superestrutura. Nessa circunstância, a viga de seção mista e a metálica destacam-se como duas soluções utilizadas em projetos de engenharia estrutural, especialmente em edifícios de médio e grande porte.

A viga de seção mista composta pelo perfil metálico e laje colaborante apresenta uma combinação de materiais que oferece vantagens significativas em termos de desempenho estrutural, como maior rigidez e capacidade de carga, devido à interação eficiente entre o aço e o concreto. Conforme afirma Fakury (2016), a utilização de materiais distintos em uma única viga permite que o concreto suporte as cargas de compressão, enquanto o aço se encarrega das tensões de tração, resultando em um sistema mais eficiente. A norma NBR 8800:2008, que abrange o projeto de estruturas de aço e mistos de aço e concreto, orienta sobre os procedimentos adequados para garantir a integração entre os materiais e o desempenho seguro da viga mista.

A estrutura de perfil metálico, entretanto, predominantemente composta por aço, oferece vantagens em termos de rapidez na execução e simplicidade no processo de fabricação, pois é composta de elementos pré-fabricados. Essas vigas são, segundo Pfeil (2009), uma solução bastante empregada em projetos que requerem um tempo reduzido de construção e baixo custo inicial. Todavia, Dias (2011) alerta que, embora os suportes metálicos apresentem uma boa



relação entre resistência e peso, eles podem sofrer com maior deformação ao longo do tempo, especialmente em grandes vãos, o que pode comprometer a durabilidade e a necessidade de manutenção.

O avanço das ferramentas de análise estrutural, como ocorre com o software TQS, tem possibilitado simulações mais eficientes, permitindo aos engenheiros compararem diferentes soluções estruturais com maior precisão. A utilização de softwares especializados, afirmam Rodrigues e Peixoto (2016), facilita o processo de dimensionamento, proporcionando uma avaliação mais detalhada do comportamento das vigas sob diversas condições de carga, o que é crucial para a escolha da solução mais adequada para o projeto.

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo comparar o desempenho estrutural de vigas de seção mista e de perfil metálico, utilizando o software TQS para a análise de ambos os tipos sob condições similares. A pesquisa pretende identificar as vantagens e desvantagens de cada tipo de estrutura, levando em consideração aspectos como resistência, rigidez e custo, com base nas normas brasileiras e na literatura especializada.

## **Fundamentação Teórica**

### *Vigas*

De acordo com a NBR 6118 (2014), as vigas são definidas como elementos lineares nos quais a flexão é preponderante. Esses elementos, também chamados de barras, são caracterizados por terem um comprimento longitudinal que deve ser, no mínimo, três vezes superior do que a maior dimensão da sua seção transversal.

Conforme Bastos (2006), as vigas são projetadas para suportar principalmente esforços de flexão, sendo responsáveis por transmitir as cargas provenientes de outros componentes estruturais, como as lajes, para os pilares e, posteriormente, para as fundações.

Essas estruturas são amplamente utilizadas em vários tipos de construção, como edifícios, pontes e viadutos. Elas podem ser fabricadas com diferentes materiais, incluindo concreto armado ou protendido, alumínio, madeira e aço. As vigas de concreto armado e de aço, porém, são as mais comuns em projetos estruturais (Rodrigues e Souza, 2008). Desse modo, elas são projetadas para garantir a estabilidade e segurança da estrutura de um construção de forma completa.

### *Vigas de Seção Mista*

As vigas mistas, compostas de aço e concreto, são componentes estruturais resultantes da combinação de um perfil de aço laminado a frio ou soldado, com uma laje de concreto, que pode ser moldada no local, pré-fabricada ou ter forma de aço incorporada. A ligação entre as duas estruturas é feita por meio de conectores de cisalhamento. Essa combinação é bastante vantajosa, pois o aço possui alta resistência a esforços de tração, enquanto o concreto é eficiente em resistir aos de compressão.

De acordo com Malite (1990), os primeiros estudos sobre elementos mistos ocorreram na Inglaterra, em 1914, quando a empresa Redpath Brow realizou testes diversificados com sistemas compostos para pisos. Já Viest (1960) menciona que as pesquisas sobre vigas mistas começaram a ser conduzidas entre as décadas de 1920 e 1930, com o objetivo de estudar a aderência natural entre o aço e o concreto em estruturas total ou parcialmente embutidas no concreto.

Segundo Pfeil (2009), as vigas mistas começaram a ser utilizadas em maior escala após a 2ª Guerra Mundial:



As vigas mistas passaram a ter grande utilização após a 2ª Guerra Mundial. Anteriormente, empregavam-se vigas metálicas com lajes de concreto, sem considerar no cálculo a participação da laje no trabalho da viga. Esta participação já era, entretanto, conhecida e comprovada pelas medidas de flechas das vigas com lajes de concreto. A carência de aço após a guerra levou os engenheiros europeus a utilizarem laje de concreto como parte componente do vigaento, iniciando-se pesquisas sistemáticas que esclareceram o comportamento da viga mista para esforços estáticos e cíclicos. Pfeil e Pfeil (2009, p. 265)

Gradativamente, o interesse por sistemas estruturais mistos cresceu de forma significativa. O concreto da viga, gradualmente, foi substituído por lajes de concreto apoiadas sobre as vigas de aço, e novas técnicas de aderência mecânica foram desenvolvidas.

Para que os constituintes sejam classificados dessa forma, é essencial que ambos os materiais atuem em conjunto, como se fossem um único componente, e deformem-se de maneira integrada. Caso essa conexão não exista, cada material se modificará de forma independente.

### *Vigas de Perfil Metálico*

A NBR 8800 (2008) define as vigas metálicas como elementos estruturais lineares, fabricados a partir de perfis de aço, projetados para suportar esforços de flexão e, em alguns casos, de torção e cisalhamento. As vigas metálicas são caracterizadas por sua alta resistência à tração e compressão, tornando-as adequadas para suportar grandes cargas com uma seção transversal relativamente mais compacta em comparação a outros materiais, como o concreto.

Esses elementos podem ser fabricados em diferentes formas de seção transversal, como vigas **I**, **H**, **U**, ou **caixa**, sendo selecionadas de acordo com a aplicação e a exigência de resistência estrutural da obra. A NBR 8800 especifica os tipos de perfis que podem ser utilizados, os limites de dimensionamento e os parâmetros para a análise de sua resistência.

### *Software TQS*

As ferramentas computacionais estão em constante evolução, permitindo realizar análises e avaliações que, anteriormente, não eram viáveis. Assim, elas se aproximam cada vez mais da realidade do comportamento das estruturas. (KIMURA, 2007)

O **TQS**, por exemplo, é um software amplamente utilizado na engenharia estrutural para o projeto e análise de estruturas de concreto armado, aço e mistas. Ele oferece funcionalidades como modelagem tridimensional, dimensionamento de elementos estruturais, análise de esforços e verificação dos estados limites de resistência e serviço, conforme as normas técnicas brasileiras, como a **NBR 6118** e **NBR 8800**.

Entre suas principais vantagens estão a **eficiência** e **agilidade** no cálculo e análise de estruturas complexas, a **precisão** nos resultados por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF) e a **flexibilidade** para ser aplicado em diversos tipos de obras, como edificações, pontes e fundações. O TQS também é capaz de **integrar-se com outros softwares** de modelagem, como AutoCAD e Revit, facilitando o fluxo de trabalho entre as diferentes áreas de um projeto.

Com sua capacidade de gerar relatórios detalhados e automatizar cálculos, o software melhora a produtividade, reduz erros e garante conformidade com as normas, caracterizando-se como uma ferramenta essencial para engenheiros civis que buscam segurança e qualidade nos projetos estruturais.

## Material e Métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizou-se o software TQS para o cálculo estrutural, com auxílio do software Autocad para preparação do arquivo inicial que o TQS utiliza como referência.

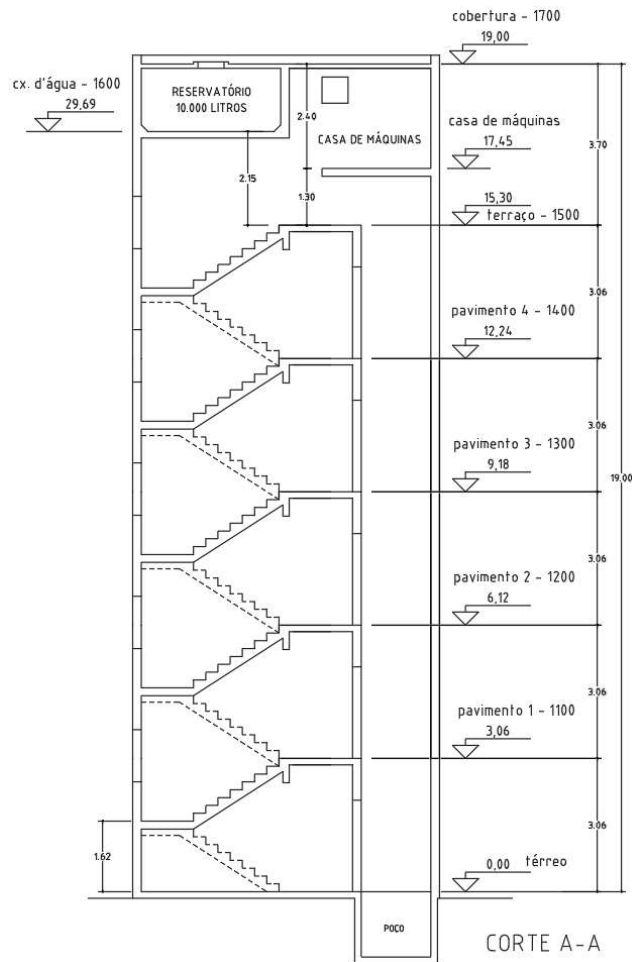
A versão do TQS utilizada foi a Epp+ V25, na qual está inclusa a calculadora “Metal Check” para dimensionamento de elementos metálicos. Essa versão, embora também seja do tipo estudantil, não está disponível livremente para download no site da empresa desenvolvedora, foi necessária uma negociação prévia com a mesma para cadastro junto a empresa, na qual um dos alunos editores desse artigo participa do programa de estágio, para liberação da licença e arquivo do software para download.

O experimento é composto por dois modelamentos, diferenciando-se apenas no modo construtivo do vigamento que suporta a carga dos pisos. A proposta é de se obter um comparativo de viabilidade técnica e econômica entre os métodos.

O projeto trata-se de um edifício com 4 pavimentos principais, destinados para área comercial, um pavimento para o terraço, um para casa de máquinas, um piso para estrutura da ex. d'água, e por último a laje da cobertura, conforme as figuras 1 e 2.

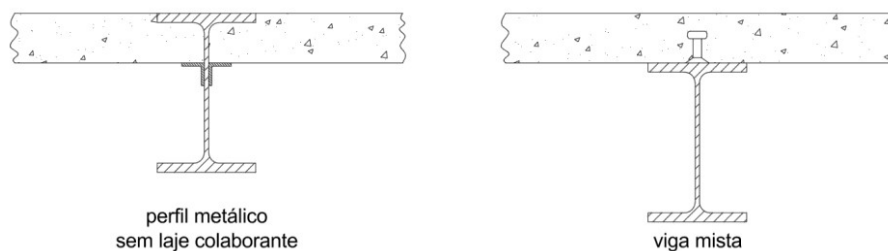


**Figura 1** – Arquitetura do edifício em perspectiva.



**Figura 2** – Essa imagem apresenta um corte transversal na estrutura, onde pode-se observar todos os níveis da edificação.

Os pisos referentes a área comercial e ao terraço, conforme o modelo, o vigamento respectivo possui seções transversais diferentes: temos “vigas em perfil metálico sem laje colaborante” e “vigas de seção mista” (figura 3).



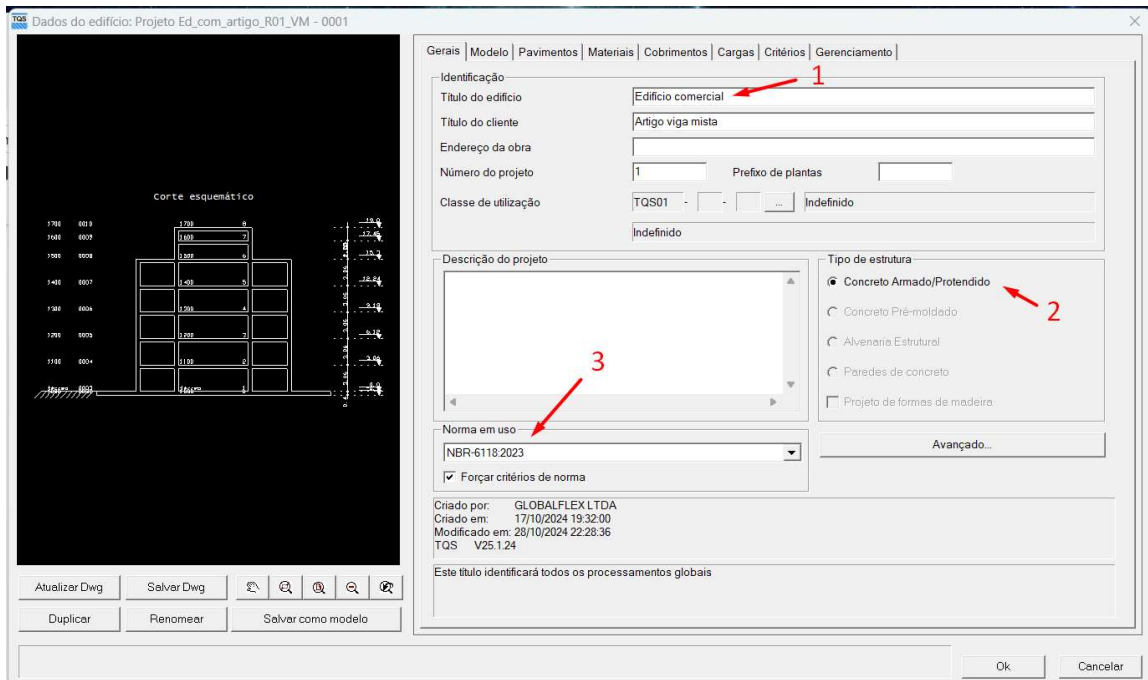
**Figura 3** – Comparativo entre os dois tipos de seções transversais considerados.

O TQS funciona de forma estruturada, foram realizados os seguintes passos para obtenção do dimensionamento e análise das vigas: configurações iniciais, lançamento dos elementos e das cargas, processamento e dimensionamento.

*Configurações iniciais*

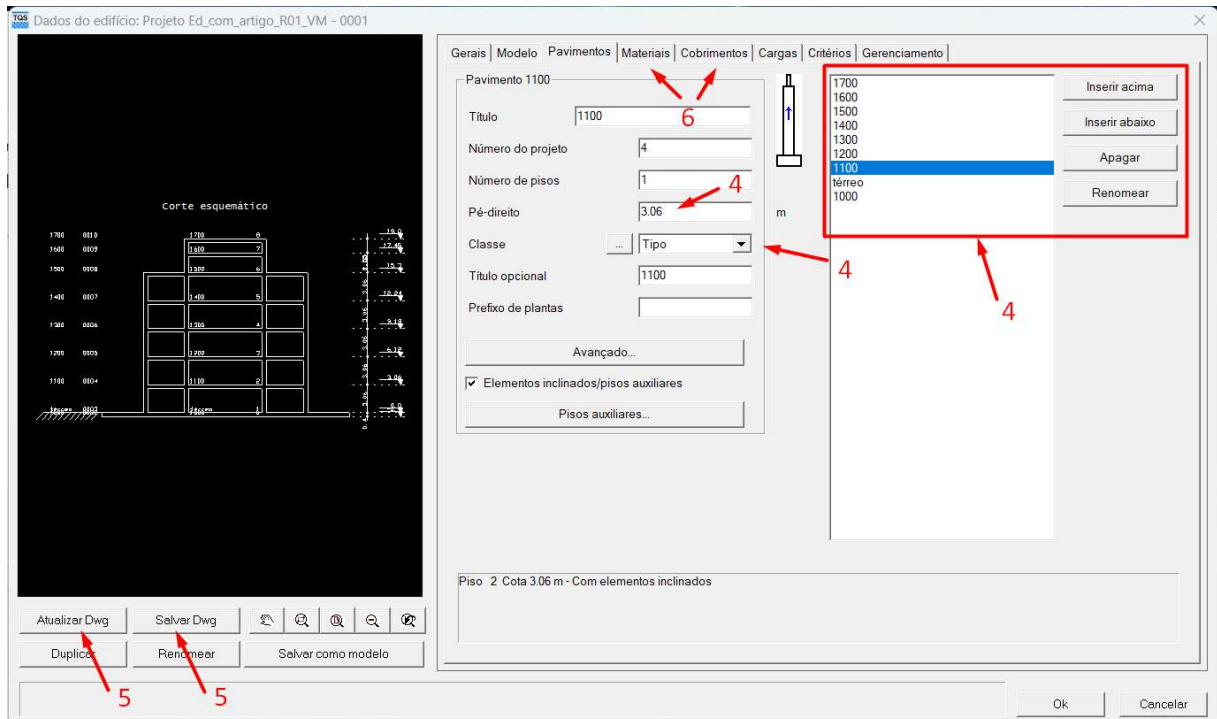
Ao iniciar um projeto no TQS, o arquivo carregado possui uma pré-configuração de acordo com as normas brasileiras e com o tipo de estrutura que se deseja obter, sendo necessário inserir ou modificar os dados pré-estabelecidos, adequando-os conforme as características do projeto.

Foram adicionados e checados os seguintes dados conforme as figuras 4, 5 e 6:



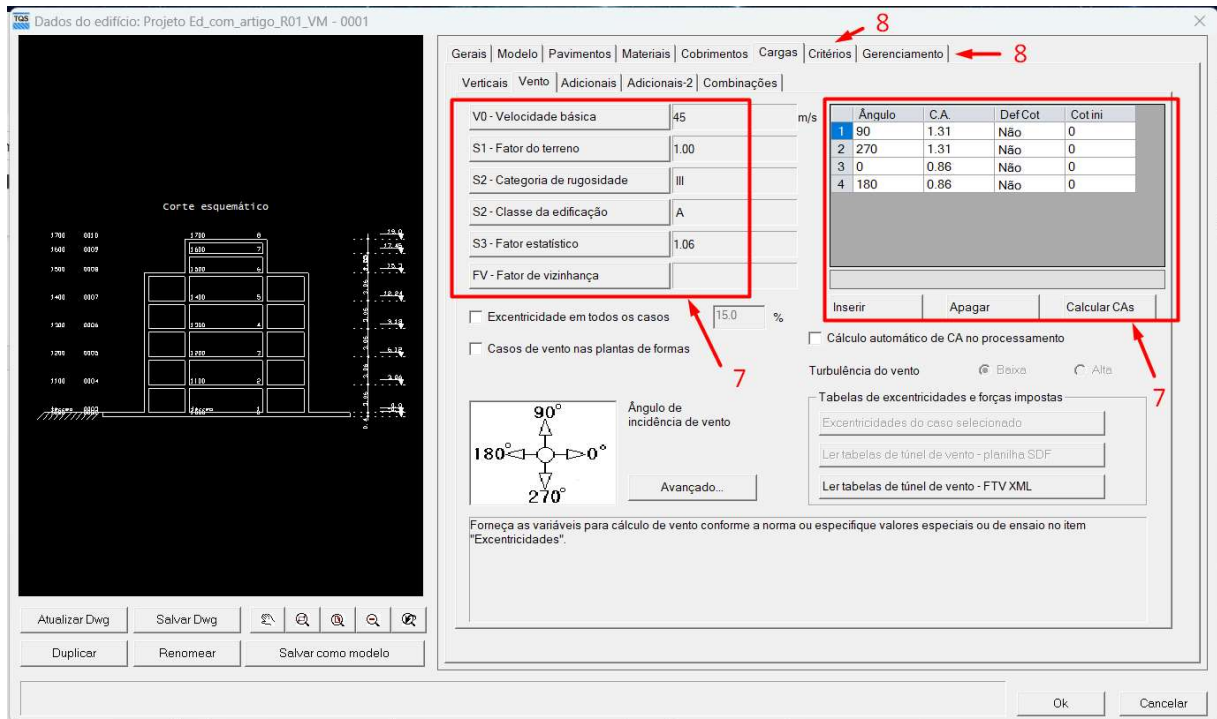
**Figura 4** – Interface do TQS para inserção dos dados de configuração iniciais.

- 1- Nome do projeto: esse dado é utilizado para preenchimento do carimbo no momento da plotagem das pranchas.
- 2- O tipo de estrutura utilizada, nessa versão foi disponibilizada a opção “concreto armado/protendido”.
- 3- Norma em uso: conforme a NBR 6118:2023 vigente.



**Figura 5** – Continuação da interface de configuração inicial, essa guia foi preenchida com os dados da edificação.

- 4- Alimentação do modelo com os “dados dos pavimentos”, como o seu tipo, no caso, sendo: térreo, pavimento tipo, cobertura e ático, “altura do pé-direito”, “inserção dos pisos, sua quantidade e nomenclatura”.
- 5- Corte esquemático do modelo a ser gerado para conferência, e para posterior consulta de documentação quando necessário.
- 6- Nas guias de “materiais” e “cobrimentos”, os dados foram apenas conferidos, como a classe de resistência do concreto, pré-definida em C25, e os valores dos cobrimentos conforme a classe de agressão II, moderada urbana. Não foi necessária a edição de demais dados, pois até o momento não havia a necessidade de alterações. Na medida em que o modelamento do projeto avança pode ser necessário voltar a esse menu, e redefinir os valores pré-configurados.



**Figura 6** – Término da configuração inicial do projeto, nesse experimento com a consideração das cargas de vento.

- 7- Na guia de “cargas” foram adicionados os dados referentes as forças dos ventos, e dimensões do edifício para cálculo do coeficiente de arrasto do vento.
- 8- Nas guias “critérios” e “gerenciamento” foram considerados os dados pré-estabelecidos, não sendo necessárias alterações até esse momento.

### Lançamento dos elementos e cargas

O lançamento dos elementos para gerar o modelo, dimensionamento e análise, é realizado no modelador estrutural do TQS, para tanto também temos uma sequência estruturada de trabalho conforme segue:

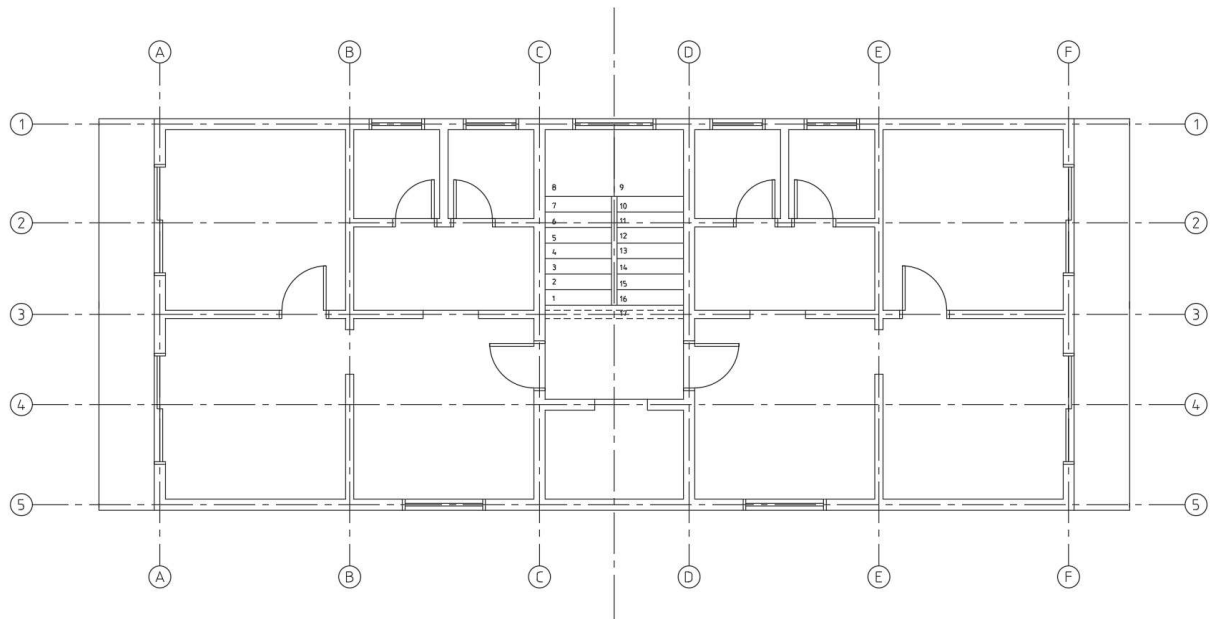
- 1- Preparação e inserção da “máscara” no modelador estrutural: com auxílio do Autocad é preparado um arquivo conhecido como “máscara”, que se trata de uma planta simplificada utilizando como base o desenho de arquitetura.

Para a elaboração da máscara, é feita uma análise de modo a entender o funcionamento da arquitetura como um todo, e ao mesmo identificando e demarcando o posicionamento dos pilares e das vigas que irão compor a estrutura (figuras 7 e 8).

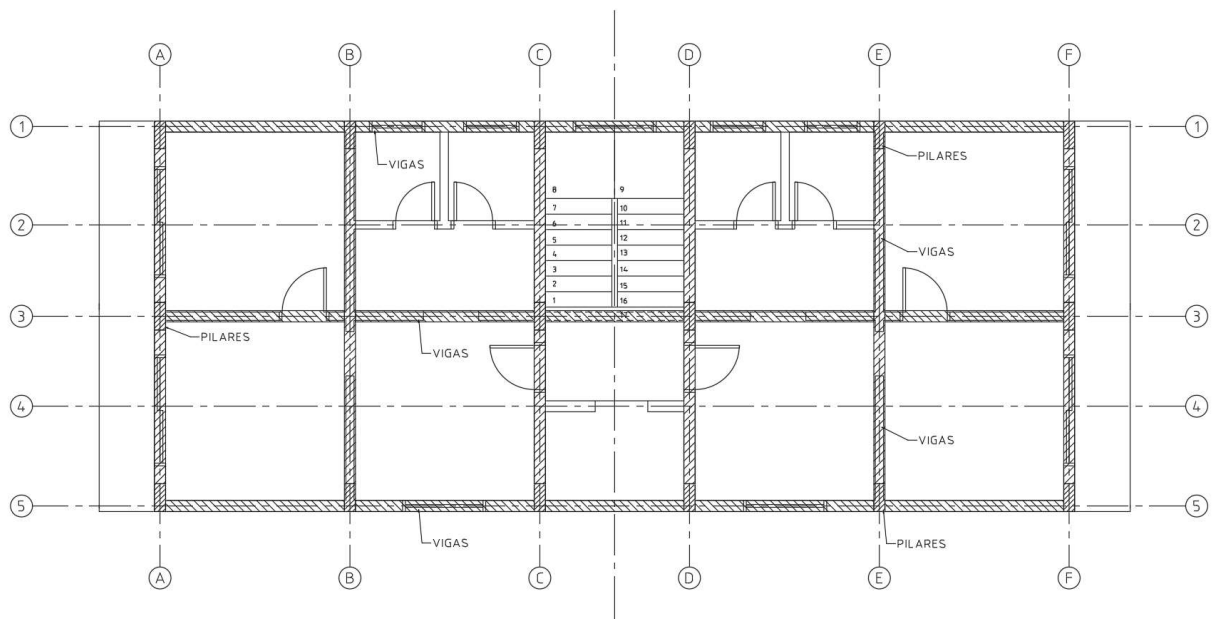
Esse processo de “entendimento” e posicionamento dos elementos irá compor a concepção estrutural, que é uma prévia de como será a estrutura do edifício, podendo ainda ser modificada de acordo com os resultados obtidos no modelamento, através da interação com os processamentos posteriores, e análise do engenheiro.

Faz parte ainda da elaboração da máscara, uma limpeza de todos os elementos arquitetônicos não necessários para auxílio dos elementos estruturais (pilares e vigas).

Finalmente a máscara foi inserida no modelador estrutural, com escala em centímetros.



**Figura 7** – Limpeza da planta de arquitetura, restando somente o desenho fundamental para referência no TQS.



**Figura 8** – Pré-concepção do projeto, posicionamento de pilares e vigas.

- 2- Os eixos auxiliares do TQS foram lançados tomando por base os eixos já definidos na preparação da máscara, analisando foi necessário lançamento de mais alguns devido ao posicionamento de paredes, podendo as cargas destas serem distribuídas em vigas ou diretamente na laje.
- 3- Para os elementos em concreto armado necessários para o modelamento do edifício, os quais não são a proposta de estudo desse relatório, foram adotadas referências para o pré-dimensionamento. No caso das vigas, adotou-se como referência dimensões utilizadas em residências de médio a alto padrão, conforme Merlim, em seu curso de projetos estruturais utilizando o TQS, seguem conforme a tabela 1.

Elemento construtivo:	Dimensões:
Viga baldrame	20 x 30cm
Vigas da laje do térreo e pavimento tipo	Largura da parede x 50cm de altura
Vigas da cobertura	Largura da parede x 40cm de altura
Cinta de fechamento	Largura da parede x 30cm de altura

**Tabela 1** – Referências estruturais propostas pelo Engenheiro Fernando Merlim em seu curso de projeto utilizando o TQS.

Para as vigas metálicas de sustentação dos pisos, as quais são o foco dessa pesquisa, adotou-se um perfil metálico pesado para um primeiro processamento, o perfil W460x52,0.

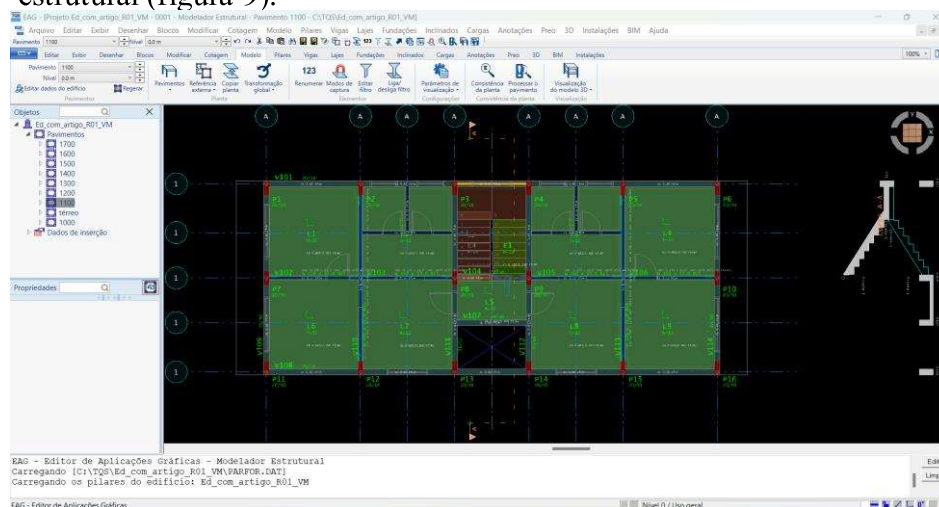
Para o pré-dimensionamento dos pilares, foi considerado a área mínima de 360cm<sup>2</sup>, conforme a NBR 6118:2023, mais a consideração da largura acabada da parede de 20cm, ficaríamos com pilares de 20x20cm, entretanto, foram adotados pilares com dimensões de 20x50cm.

Para a espessura da laje foi adotado 12cm de altura, embora na norma seja permitido iniciar o dimensionamento com espessuras menores.

Partindo dessas referências os pilares, vigas, lajes foram lançados no modelador estrutural.

- 4- Foi elaborado um descritivo com as cargas de projeto para o edifício em estudo, anexado como apêndice A, onde são detalhadas todas as cargas distribuídas e lineares consideradas, como por exemplo, as cargas oriundas das paredes, das lajes, da estrutura da cx. d'água, entre outras. O peso próprio dos elementos estruturais o TQS já considera automaticamente levando em consideração o peso específico e suas dimensões.

A partir desse descritivo todas as cargas foram lançadas também via modelador estrutural (figura 9).

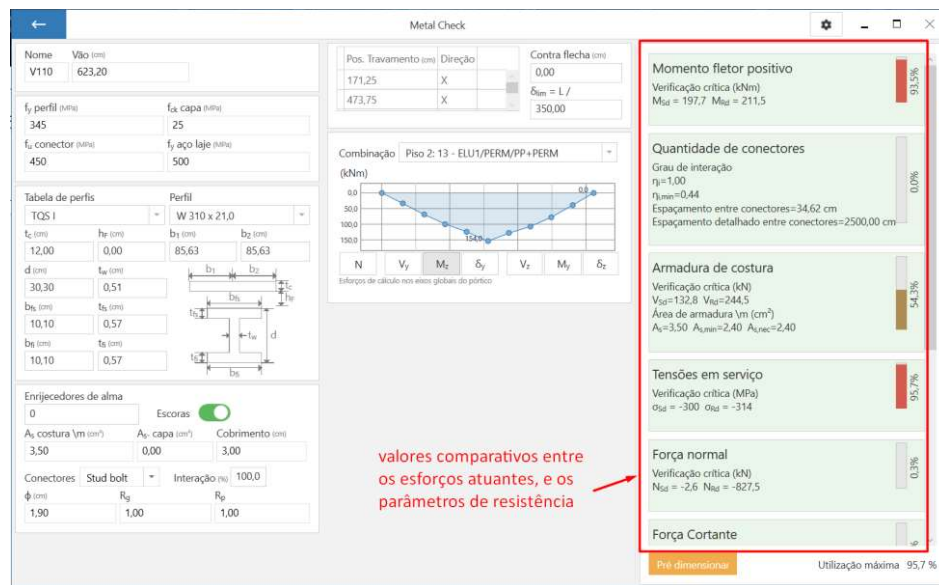


**Figura 9** – O modelador estrutural é a interface para inserção dos elementos que compõem a estrutura.

### Processamento e dimensionamento

Terminada a etapa de lançamento dos elementos que compõem a estrutura, e das cargas de projeto, foi realizado um primeiro ciclo de processamento – dimensionamento.

A calculadora Metal Check, trabalha de modo interativo com o TQS, ou seja, a cada processamento realizado, são feitas todas as verificações para os elementos metálicos lançados, tanto para o ELU (estado limite último), como para o ELS (estado limite de serviço), conforme a norma NBR 8800:2008. São obtidos basicamente os seguintes valores para: o momento fletor resistente, a força cortante resistente, e a deformação da estrutura, que nos fornece o valor da flecha. Esses parâmetros de resistência são comparados automaticamente com os valores dos esforços atuantes respectivos, e no painel do software são mostrados todos os comparativos, conforme a figura 10.



**Figura 10** – Interface da calculadora Metal Check.

Conforme avaliação dos parâmetros (destacados pelo retângulo em vermelho no canto direito da figura 10), dos gráficos dados também em função da combinação dos esforços (localizados no centro da figura N), e pelos parâmetros da seção da viga (localizados no canto esquerdo da figura N), pode-se optar por um perfil mais leve ou mais pesado, a serem definido pela avaliação do engenheiro.

Realizadas as alterações do perfil da seção transversal da viga, havendo necessidade ou não, é realizado novo ciclo de processamento interativo para confirmação dos parâmetros, esse processo interativo é realizado até que se chegue nos perfis que atendam a demanda de esforços atuantes, e de modo econômico, ou seja, perfis mais leves possíveis.

Para o experimento desse relatório foram necessárias a quantidade de 3 ciclos de processamento – dimensionamento para cada um dos dois modelos propostos. Nas tabelas 2 e 3, são apresentados os valores das verificações para o dimensionamento dos perfis metálicos obtidos para cada pavimento.

Modelo TQS para viga perfil metálico											
	Viga	Perfil	Peso (t/m)	Compr. (m)	Momento fletor		Força cortante		Deslocamento		
					Msd (kN.m)	Mrd (kN.m)	Vsd (kN)	Vrd (kN)	$\delta$ (cm)	$\delta_{lim}$ (cm)	$\delta_{lim\ par}$ (cm)
Pavimento 1500	V510	W410x53,0	0,053	6,292	184,8	322,7	118,2	568,8	0,7	1,8	1,5
	V513	W410x53,0	0,053	6,292	184,9	322,7	118,2	568,8	0,72	1,8	1,5
	V502	W150x18,0	0,018	3,371	9,6	41,9	58	167	0,67	0,96	1,5
	V505	W150x18,0	0,018	3,371	8,8	41,9	21,2	167	0,5	0,96	1,5
	V503	W150x18,0	0,018	3,371	8,8	41,9	21,2	167	0,5	0,96	1,5
	V506	W150x18,0	0,018	3,371	9,6	41,9	58	167	0,67	0,96	1,5
Pavimento 1400	V410	W410x53,0	0,053	6,292	241	322,7	148	568,8	0,61	1,8	1,5
	V413	W410x53,0	0,053	6,292	241	322,7	148	568,8	0,63	1,8	1,5
	V402	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
	V405	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V403	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V406	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
Pavimento 1300	V310	W410x53,0	0,053	6,292	241,1	322,7	148	568,8	0,49	1,8	1,5
	V313	W410x53,0	0,053	6,292	241	322,7	148	568,8	0,51	1,8	1,5
	V302	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
	V305	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V303	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V306	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
Pavimento 1200	V210	W410x53,0	0,053	6,292	241,1	322,7	148	568,8	0,35	1,8	1,5
	V213	W410x53,0	0,053	6,292	241	322,7	148	568,8	0,36	1,8	1,5
	V202	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
	V205	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V203	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V206	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
Pavimento 1100	V110	W410x53,0	0,053	6,292	241,1	322,7	148	568,8	0,17	1,8	1,5
	V113	W410x53,0	0,053	6,292	241	322,7	148	568,8	0,18	1,8	1,5
	V102	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5
	V105	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V103	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	29,3	167	0,68	0,96	1,5
	V106	W150x18,0	0,018	3,371	11,4	41,9	71	167	0,87	0,96	1,5

**Tabela 2** – Resultados obtidos no dimensionamento para as vigas em perfil metálico (sem laje colaborante).

Modelo TQS para viga mista											
Viga	Perfil	Peso (t/m)	Compr. (m)	Momento fletor		Força cortante		Deslocamento			
				Msd (kN.m)	Mrd (kN.m)	Vsd (kN)	Vrd (kN)	$\delta$ (cm)	$\delta_{lim}$ (cm)	$\delta_{lim\ par}$ (cm)	
Pavimento 1500	V510	W310x21,0	0,021	6,292	147	211,5	113,5	290,8	0,69	1,78	1,5
	V513	W310x21,0	0,021	6,292	147	211,5	113,5	290,8	0,71	1,78	1,5
	V502	W150x13,0	0,012	3,371	22,5	86,4	71,9	119,8	0,31	0,96	1,5
	V505	W150x13,0	0,012	3,371	20,8	86,4	43	119,8	0,26	0,96	1,5
	V503	W150x13,0	0,012	3,371	20,8	86,4	43	119,8	0,26	0,96	1,5
	V506	W150x13,0	0,012	3,371	22,5	86,4	71,9	119,8	0,31	0,96	1,5
Pavimento 1400	V410	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,7	290,8	0,61	1,78	1,5
	V413	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,8	290,8	0,62	1,78	1,5
	V402	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
	V405	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V403	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V406	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
Pavimento 1300	V310	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,7	290,8	0,49	1,78	1,5
	V313	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,8	290,8	0,51	1,78	1,5
	V302	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
	V305	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V303	W150x13,0	0,012	3,371	28,1	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V306	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
Pavimento 1200	V210	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,7	290,8	0,35	1,78	1,5
	V213	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,8	290,8	0,36	1,78	1,5
	V202	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
	V205	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V203	W150x13,0	0,012	3,371	28,1	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V206	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
Pavimento 1100	V110	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,7	290,8	0,17	1,78	1,5
	V113	W310x21,0	0,021	6,292	197,7	211,5	142,8	290,8	0,18	1,78	1,5
	V102	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5
	V105	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V103	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	58,6	119,8	0,36	0,96	1,5
	V106	W150x13,0	0,012	3,371	28	86,4	87,5	119,8	0,41	0,96	1,5

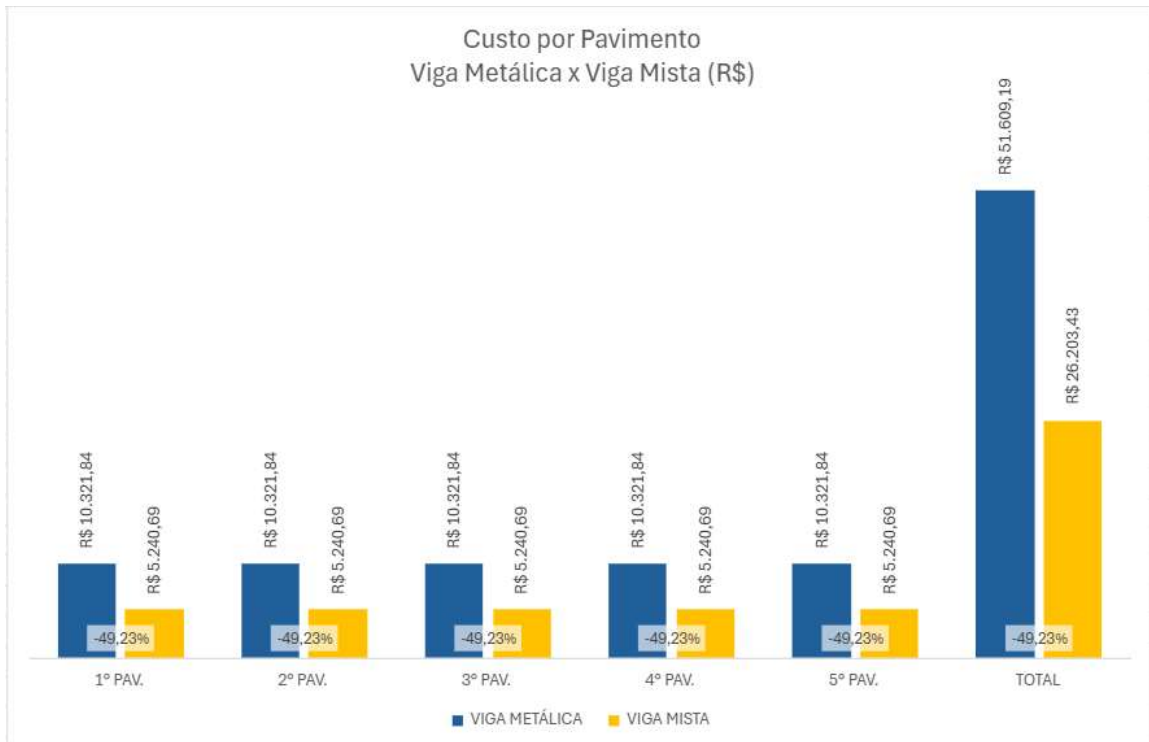
**Tabela 3** – Resultados obtidos no dimensionamento para as vigas de seção mista.

## Resultados e discussão

### *Análise econômica*

As vigas metálicas dos modelos, foram todas consideradas com seção transversal do formato tipo “I”, bi-apoiadas, com ligação rotulada nos apoios, de modo a obter somente momento positivo como atuante. Isso para impor a condição de que as vigas, tanto as de perfil metálico quanto as vigas de seção mista, trabalhem resistindo aos esforços em sua totalidade.

Analisando os dados obtidos em termos de quantidade de aço e o preço médio por kilo de R\$10,50, para os perfis dimensionados para compor as vigas metálicas da estrutura, obtivemos o seguinte comparativo, conforme a figura 11.

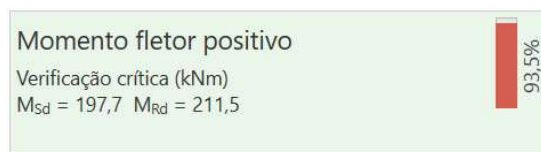


**Figura 11** – Comparativo do consumo de aço para compor o vigamento da edificação.

Observa-se que a quantidade de aço dos perfis para a viga mista, é aproximadamente a metade da quantidade necessária para composição de um vigamento, que fosse projetado sem a laje como elemento colaborante.

### Análise das verificações

Quanto aos resultados obtidos referentes ao dimensionamento, os dois métodos passaram nas verificações com folga, exceto algumas com aprovação do perfil metálico próximo do limite máximo. Na figura 12 é apresentado o indicador do TQS para o momento fletor. A barra do canto direito representa a porcentagem do momento resistente utilizada para vencer o momento atuante.



**Figura 12** – Indicador de aproveitamento da viga ao momento fletor.

No TQS há ainda uma tela do Metal Check, composta por todas as vigas metálicas de um determinado pavimento em análise, onde são apresentados os indicadores, porém considerando todas as verificações de um modo geral (figuras 13 e 14), nos dando uma idéia de aproveitamento da capacidade da viga analisada. Isso remete a viabilidade técnica econômica, uma vez que quanto melhor o material for empregado e aproveitado, mais leve será a estrutura, proporcionando economia, juntamente atendendo os requisitos das normas brasileiras vigentes.

### Vigas

Nome	Perfil	Vão (cm)	Utilização
V110	W 410 x 53,0	629,20	95,8 %
V113	W 410 x 53,0	629,20	95,8 %
V102	W 150 x 18,0	337,06	90,7 %
V105	W 150 x 18,0	337,06	70,7 %
V103	W 150 x 18,0	337,06	70,6 %
V106	W 150 x 18,0	337,06	90,8 %

**Figura 13** – Indicadores de aproveitamento da viga de modo geral, considerando todos os indicadores para as vigas de perfil metálico.

### Vigas mistas

Nome	Perfil	Vão (cm)	Utilização
V110	W 310 x 21,0	623,20	95,7 %
V113	W 310 x 21,0	623,20	95,7 %
V102	W 150 x 13,0	336,91	74,9 %
V105	W 150 x 13,0	336,91	74,9 %
V103	W 150 x 13,0	336,91	74,9 %
V106	W 150 x 13,0	336,91	74,9 %

**Figura 14** – Indicadores de aproveitamento da viga de modo geral, considerando todos os indicadores para as vigas mistas.

Dessa forma todas as vigas metálicas sendo mistas, ou somente de perfil metálico, passaram nas verificações para os dois modelos, entretanto, para as checagens quanto a flecha, o TQS utiliza como critério de aprovação o deslocamento máximo para pisos, conforme a tabela C1 da norma NBR 8800:2008 (figura 15).

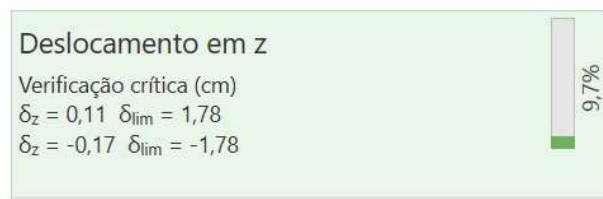
ABNT NBR 8800:2008

Tabela C.1 — Deslocamentos máximos

Descrição	$\delta^a$
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura <sup>g</sup>	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura <sup>g</sup>	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$

**Figura 15** – Trecho da tabela da norma para os deslocamentos máximos permitidos.

E para as vigas que suportam as paredes, o deslocamento vertical não deve exceder 15 mm conforme a nota “h” da norma. Esse adendo aparentemente não consta nessa checagem feita pelo TQS, é possível que esteja embutida em alguma opção de “critérios” por exemplo, porém não está explicitamente visível junto aos indicadores, mas é fácil de conferir, bastando o projetista analisar o indicador do deslocamento (figura 16).



**Figura 16** – Indicador para da viga em análise para deslocamento vertical obtido.

O deslocamento limite é de 1,78 cm, o descolamento vertical ocorrendo na estrutura é referente a parcela da esquerda igual a 0,17 cm, estando aprovada também conforme o adendo da norma, máximo 15 mm, ou 1,5 cm. Nessa última checagem todas as vigas passaram também.

Levando em conta os aspectos analisados nessa pesquisa, a viga mista seria uma opção viável para redução do custo do vigamento de sustentação do piso da edificação.

Neste trabalho não foram abordadas as checagens para as armaduras complementares, como armadura de retração, armadura de costura, e armadura de continuidade. Ficando essa etapa para pesquisas futuras.

### Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. NBR 8800. Rio de Janeiro: ABNT, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto. NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Vigas de concreto armado: Estruturas de concreto. Universidade Estadual Paulista, Notas de Aula, Bauru/sp, p.1-60, 2017. Disponível em: . Acesso em: 04 nov. 2018.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. Estrutura de Aço: conceitos, técnicas e linguagem. Zigurate: São Paulo, v. 1, p.1-204, 2011. PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. Estruturas de Aço: dimensionamento prático da Norma NBR8800. Ltc 8ª Edição: LTC, Rio de Janeiro, p.1-382, 2009.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. Estruturas de Aço: dimensionamento prático da Norma NBR8800. Ltc 8ª Edição: LTC, Rio de Janeiro, p.1-382, 2009.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexandre Galvão. Estruturas Mistas. Instituto Aço Brasil: Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, v. 1, p.1-69, 2012.

RODRIGUES, Ana Carolina Albermaz; PEIXOTO, Lucas Jaime. Estabilidade Global de Estruturas Mistas. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso, Goiânia, p.1-95, 2016

FAKURY, R. H. Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2016.

### Apêndice A – folha de cargas

Data: 28 - 10 - 24

Cargas consideradas

Projeto: Edifício Comercial

Carga no pavimento tipo

Permanente:  $p_{plaje} := 0,40 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{contrapiso} := 0,11 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{revestinf} := 0,04 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{piso} := 0,14 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{lajetotal} := p_{plaje} + g_{contrapiso} + g_{revestinf} + g_{piso} = 0,69 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 0,30 \frac{tf}{m^2}$

Carga de parede

Permanente:  $g_{par15} := 0,21 \frac{tf}{m^2}$  alvenaria de vedação, bloco cerâmico vazado 9cm, 3cm camada por face  
 $g_{par20} := 0,23 \frac{tf}{m^2}$  alvenaria de vedação, bloco cerâmico vazado 14cm, 3cm camada por face

Carga na escada

Permanente:  $p_{pescada} := 0,38 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{contrapiso} := 0,11 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{revestinf} := 0,04 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{piso} := 0,14 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{pescadatotal} := p_{pescada} + g_{contrapiso} + g_{revestinf} + g_{piso} = 0,67 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 0,30 \frac{tf}{m^2}$

Carga no terraço

Permanente:  $p_{plaje} := 0,30 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{contrapiso} := 0,11 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{revestinf} := 0,04 \frac{tf}{m^2}$   
 $g_{piso} := 0,14 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{terracototal} := p_{plaje} + g_{contrapiso} + g_{revestinf} + g_{piso} = 0,59 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 0,30 \frac{tf}{m^2}$

Carga na estrutura da cx. d'água

Permanente:  $p_{plaje} := 0,30 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{estrutura} := 0,10 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{pcoxagua} := 1,25 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{aticototal} := p_{plaje} + p_{estrutura} + p_{pcoxagua} = 1,65 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 0,10 \frac{tf}{m^2}$

Carga na cobertura do ático

Permanente:  $p_{plaje} := 0,25 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{estrutura} := 0,10 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{telhamet} := 0,45 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{atico2total} := p_{plaje} + p_{estrutura} + p_{telhamet} = 0,8 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 0,10 \frac{tf}{m^2}$

Carga do guarda-corpo

Permanente:  $g_{gc} := 0,10 \frac{tf}{m}$

Carga casa de máquinas elevador

Permanente:  $p_{plaje} := 0,30 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{estrutura} := 0,50 \frac{tf}{m^2}$   
 $p_{casamaq} := p_{plaje} + p_{estrutura} = 0,8 \frac{tf}{m^2}$   
 Acidental:  $g_a := 3,00 \frac{tf}{m^2}$