

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas dos grandes centros urbanos é a rápida obsolescência da infraestrutura viária. Mesmo que bem planejadas, as ruas e as avenidas acabam, em algum momento, tornando-se estreitas, incapazes de acompanhar e absorver o exponencial aumento do número de veículos por habitante. Faltam cada vez mais áreas e locais adequados para estacionamento. Veículos estacionados nas ruas são um problema comum nas grandes cidades. Estudos mostram que a maioria das pessoas utiliza o carro apenas três horas por dia. No restante do tempo o veículo fica estacionado em casa ou no trabalho. Além disso, os edifícios residenciais mais antigos não têm vagas suficientes para todos os moradores e existem ainda muitos edifícios comerciais cujas áreas de garagem não comportam os veículos dos condôminos, tampouco os dos visitantes.

São várias as alternativas para aumentar a disponibilidade de áreas de estacionamento. Os edifícios-garagem são uma delas. Estacionamentos verticais são amplamente utilizados em todo o mundo, para atender à crescente escassez de vagas.

Este artigo tem por objetivo fornecer informações a construtores e investidores interessados em utilizar edifícios-garagem estruturados em aço como alternativa para ampliar a utilização de espaços horizontais. Uma solução que atende a demanda por mais vagas e propicia rápido retorno para o investimento.

São apresentadas neste material as principais tipologias existentes para edifícios-garagem, bem como os componentes básicos de um empreendimento destinado ao estacionamento de veículos. Identificamos também as principais exigências dos órgãos públicos relacionadas a esse tipo de obra.

Para a avaliação do custo e da viabilidade de um estacionamento de veículos, foram elaborados diversos módulos típicos, com arranjos estruturais diferentes, de forma que seja possível obter as informações básicas para as análises preliminares dos investimentos.

Como exemplo prático da aplicação de estruturas de aço em edifícios-garagem, é apresentado um estudo de caso real de um edifício-garagem metálico, com as principais informações sobre a estrutura e a arquitetura do prédio.

2. HISTÓRICO

No início do século XX já era possível observar a necessidade da construção de edifícios-garagem, dada a falta de espaço nas cidades para abrigar os veículos dos habitantes. Em 1925 surge o primeiro edifício-garagem, na cidade de Berlim, Alemanha, onde os veículos eram transportados para os pisos superiores por meio de elevadores. Entretanto, somente depois da Segunda Guerra Mundial, nos anos 1950, iniciou-se a construção sistemática de edifícios-garagem na Europa.

No Brasil, o primeiro edifício-garagem foi construído em 1954, na cidade de São Paulo. O Edifício Garagem América possui 15 andares e capacidade para 500 automóveis e está em operação até hoje.

Atualmente, as empresas de estacionamento exploram os últimos espaços nas áreas centrais das cidades. Essas áreas são, em sua maioria, subaproveitadas com estacionamentos térreos. A utilização

de edifícios-garagem permite o aumento do número de vagas e do faturamento, que pode chegar a três vezes ou mais.

3. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS-GARAGEM EM AÇO

Uma obra estruturada em aço possui diversas características que devem ser consideradas no momento da escolha do sistema estrutural. Essas vantagens resultam em melhor desempenho do empreendimento e podem ser fator decisivo na opção pelo sistema metálico.

- Edifícios-garagem com vigas e pilares de aço podem ser montados, desmontados e remontados com agilidade e sem perda de material. Os terrenos frequentemente são locados, e, por isso, não se justificam altos investimentos imobilizados. Com a possibilidade de uma estrutura desmontável, o investimento feito na estrutura não é perdido, podendo ser deslocado para outro terreno quando necessário;
- A utilização de edifícios-garagem permite maior aproveitamento das áreas dos terrenos, já que a cada pavimento adicional pode-se dobrar o número de veículos estacionados. Isso resulta em maior rendimento para o empreendedor;
- Estacionamentos cobertos oferecem segurança aos veículos, já que ficam abrigados em vagas delimitadas, evitando acidentes e perdas financeiras por intempéries e assaltos;
- A estrutura metálica é uma opção com baixo custo de manutenção da estrutura, além de oferecer flexibilidade para ampliações;
- Um edifício-garagem em aço necessita de um prazo de obra muito curto, já que a fabricação das peças ocorre fora do canteiro de obras, ao mesmo tempo em que a fundação é executada. A montagem é rápida, e não há necessidade de espaço para armazenamento das peças;
- As fundações de obras em aço são mais econômicas em virtude do alívio de cargas, proporcionado pelo baixo peso da estrutura metálica;
- O aço proporciona maior aproveitamento da área interna da edificação em virtude do maior espaçamento entre colunas da menor seção transversal delas.

4. TIPOS DE EDIFÍCIOS-GARAGEM

Os edifícios-garagem podem ser divididos em três grandes grupos: edifícios com rampas de acesso aos veículos, edifícios com elevadores que movimentam os veículos entre os pavimentos e edifícios-garagem automatizados, nos quais não há a necessidade de corredores de acesso e a movimentação dos veículos é feita por dispositivos hidráulicos.

4.1 Edifícios-garagem em rampas

Nesse tipo de configuração, a movimentação dos veículos entre os pavimentos é dada por rampas de acesso, que podem ser retas ou helicoidais. A escolha do tipo de rampa depende das características do terreno e da disponibilidade de espaço para as manobras. Em ambos os casos, para garantir uma operação mais segura no acesso dos veículos, as rampas de subida e descida devem ser separadas. A declividade máxima delas não deve ultrapassar os 20%.

4.1.1 Garagem com rampas retas entre dois pavimentos: as rampas são posicionadas no perímetro da garagem, situadas entre dois pavimentos, e vencem um lance completo de piso (figura 4.1). Rampas com apenas uma mão devem ter, no mínimo, 3,0 m de largura livre, com 25 cm de cada lado para proteção. Rampas de mão dupla obedecem ao mesmo princípio, porém devem ter, no mínimo, 7,0 m de largura total.

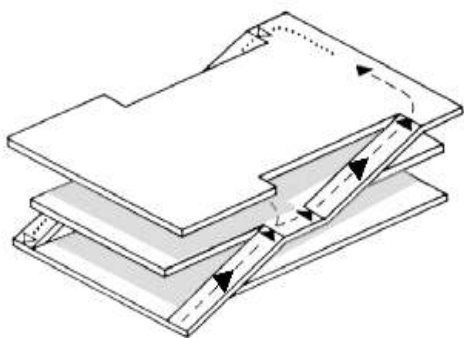


Figura 4.1 – Rampa reta de pista simples com subida e descida (adaptado de Klose, Dietrich – Parkhäuser und Tiefgaragen)

4.1.2 Garagem com rampas retas entre meios-pisos alternados: uma solução para evitar o uso de grandes rampas é o emprego de meio-pisos alternados – uma opção que torna-se bastante econômica quando o terreno possui desníveis que permitem a adoção do desalinhamento vertical dos meio-pisos, conforme mostram as figuras 4.2 (a), (b) e (c).

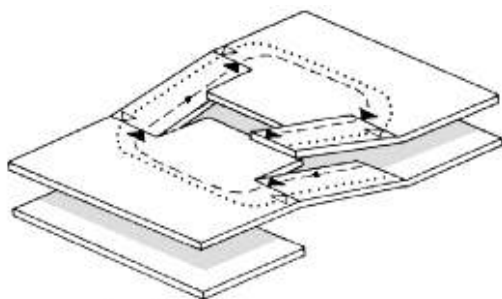


Figura 4.2 (a) – Rampa reta entre meios-pisos, com rampas separadas para subida e descida, mão dupla (adaptado de Klose, Dietrich – Parkhäuser und Tiefgaragen)

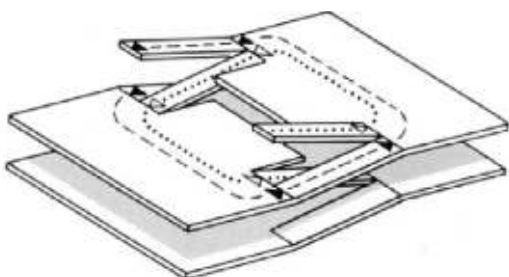


Figura 4.2 (b) – Rampa reta entre meios-pisos, com rampas separadas para subida e descida, mão única (adaptado de Klose, Dietrich – Parkhäuser und Tiefgaragen)

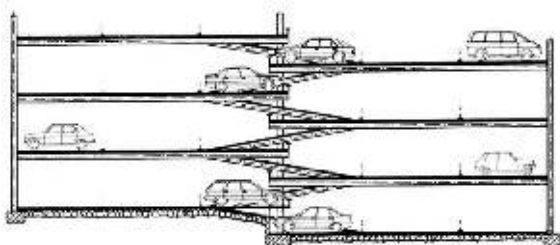
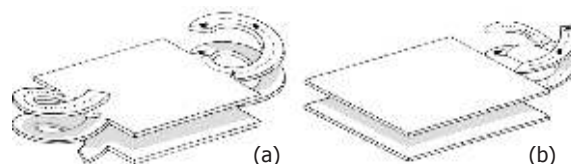


Figura 4.2 (c) – Corte de um edifício-garagem com rampas entre meios-pisos alternados (adaptado de Klose, Dietrich – Parkhäuser und Tiefgaragen)

4.1.3 Garagem com rampas helicoidais: as rampas helicoidais são uma solução utilizada com frequência em edifícios-garagem, por permitir fácil acesso aos pavimentos em uma área reduzida. Nesse tipo de construção deve-se observar o raio mínimo das rampas, que não deve ser inferior a 9,5 m, na borda externa. O fluxo no sentido anti-horário facilita o tráfego, pois as curvas são mais visíveis aos motoristas. Com esse tipo de solução de rampa, o número de pavimentos deverá ser limitado para evitar desconforto aos motoristas.



4.3 (a) – Rampas helicoidais de mão única independentes (b) Rampas helicoidais para subida e descida – arcos de 180°

4.2 Edifícios-garagem automatizados

Com esse tipo de solução modular é possível obter maior aproveitamento dos espaços, já que esse sistema elimina a necessidade de lajes para estacionamento e movimentação de veículos. Existem desde projetos para estacionamentos residenciais, de pequeno porte (figura 4.4), até estruturas utilizadas para o armazenamento de grandes quantidades de veículos.

Os sistemas metálicos modulados permitem que a estrutura de suporte aos veículos seja facilmente montada e desmontada, possibilitando que o número de vagas em estacionamentos seja sensivelmente aumentado. A movimentação dos veículos normalmente é feita por sistemas hidráulicos e elétricos.

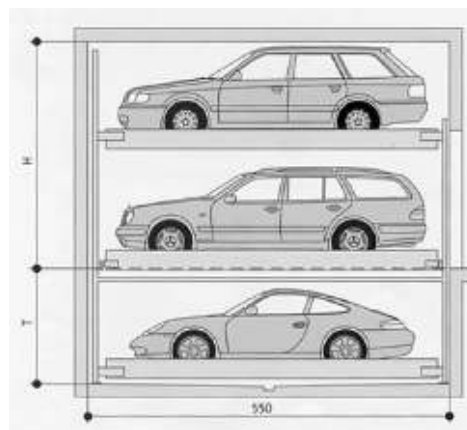


Figura 4.4 – Sistema Automatizado Harding Steel (www.hardingsteel.com)

5. ARRANJO DAS VAGAS

Há várias possibilidades de arranjos para a locação das vagas de estacionamento dentro de um edifício-garagem. Estatisticamente, é possível determinar os espaços para as vagas a partir das dimensões dos veículos. O Código de Obras da cidade de São Paulo determina as dimensões mínimas para as vagas de estacionamento:

- Vagas grandes: 2,50 x 5,50 m
- Vagas médias: 2,10 x 4,70 m
- Vagas pequenas: 2,00 x 4,20 m

Além das dimensões mínimas para as vagas, o Código de Obras determina as larguras mínimas dos corredores para circulação e manobras dos veículos. Para as áreas de estacionamento, pode-se utilizar ângulos de 45° e 60°. As dimensões mínimas especificadas para os corredores são de 3,50 m para ângulos de 45° (figura 5 a) e 4,5 m para ângulos de 60° (figura 5 b).

Quando a opção for por vagas formando ângulos de 90° com os corredores (figura 5 c), deve-se considerar, no mínimo, 5,50 m de corredor.

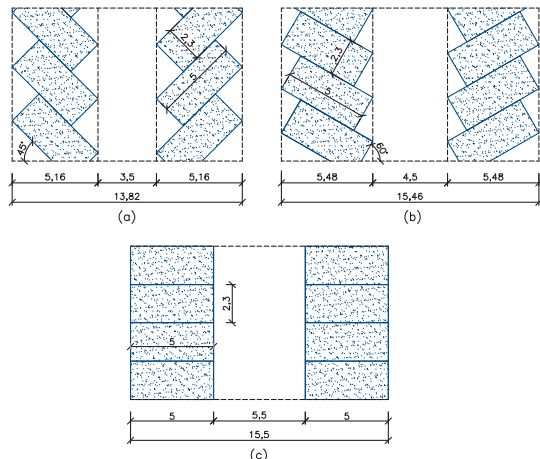


Figura 5 – Arranjos de vagas (a) ângulo de 45°, (b) ângulo de 60° e (c) ângulo de 90°

A tabela 5.1 apresenta as áreas requeridas por vaga para cada uma das configurações.

Estacionamentos a 90° apresentam a menor área por vaga, porém o terreno necessita ter, pelo menos, 15,50 m de largura.

Tabela 5.1 – Arranjos de vagas x áreas projetadas

Tipologia	Ângulo entre vagas/corredores (°)	Largura do prédio (m)	Área requerida por vaga	
			m ²	%
A	45°	13,82	19,83	110
B	60°	15,46	18,98	106
C	90°	15,50	17,83	100

6. COMPONENTES ESTRUTURAIS DOS EDIFÍCIOS-GARAGEM

A estrutura de um edifício-garagem é bastante simples, composta de vigas, pilares, lajes e fachadas, também chamadas de fechamentos laterais. A figura 6.1 apresenta os principais componentes de um edifício-garagem.

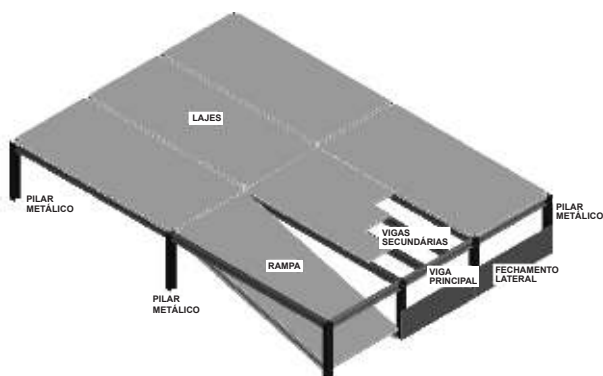


Figura 6.1 – Estrutura básica de um edifício-garagem

6.1 Vigas/Pilares

O correto posicionamento de vigas e pilares dentro da estrutura de um edifício-garagem é determinante para que o empreendimento alcance a máxima performance com o mínimo custo.

O posicionamento de pilares afeta diretamente a quantidade de manobras que os motoristas terão de executar. Porém, quanto maior o espaçamento entre os pilares, maior será o consumo de aço para os vigamentos. Assim, o projetista deverá analisar cuidadosamente as possibilidades e optar pela que ofereça melhor relação custo-benefício.

A figura 6.2 apresenta duas possíveis configurações de vigas e pilares. Na opção (a), os pilares localizam-se apenas nas extremidades do prédio, deixando o fluxo de veículos livre. As vigas vencem comprimentos maiores e possuem espaçamento menor entre si. Na opção (b), os pilares foram distribuídos nas faces externas do prédio e também nas áreas internas. As vigas vencem vãos menores e possuem espaçamentos maiores. Observa-se que um número maior de colunas dificulta as manobras dos veículos.

Preferencialmente, as colunas devem coincidir com as delimitações das vagas, de forma a obter o máximo aproveitamento dos espaços.

Os pilares podem ser fabricados totalmente em aço ou utilizar o sistema de construção misto. Os pilares mistos são peças compostas de maneira a utilizar as qualidades do concreto para a compressão associadas à esbelteza dos perfis metálicos. A coluna metálica pode ficar totalmente enclausurada no concreto ou servir como fôrma para o pilar, ficando aparente.

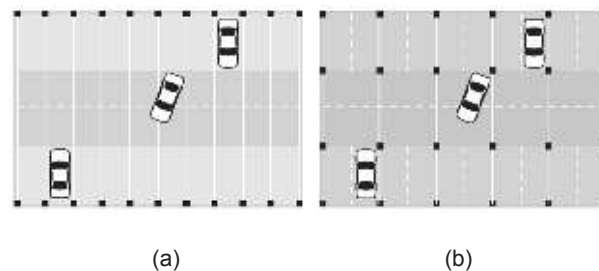


Figura 6.2 – Arranjo de vigas e pilares em edifícios-garagem (adaptado de Steel Framed Car Parks – Corus)

As vigas, por sua vez, terão seus comprimentos determinados pelo espaçamento entre pilares. O espaçamento entre vigas dependerá, basicamente, do tipo de laje escolhido para o prédio. Podem-se utilizar vigas do tipo “I”, vigas casteladas ou treliças metálicas.

As vigas casteladas são formadas pelo corte e pela posterior união dos perfis, possibilitando a obtenção de vigas com altura até 50% maior que as vigas originais, sem acréscimo de massa, conforme apresentado na figura 6.3.

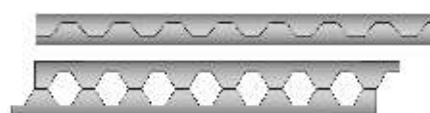


Figura 6.3 – Composição de vigas casteladas a partir do corte de perfis I laminados

As vigas em treliças têm menor consumo de aço, porém apresentam maiores alturas e necessitam de mais serviços de beneficiamento.

6.2 Lajes

As lajes, com as vigas metálicas, compõem o sistema de piso de um prédio. Existem vários tipos de lajes, que se adaptam às diferentes necessidades de cada projeto, podendo configurar um sistema estrutural misto ou isolado.

Independentemente da escolha do tipo de laje a ser utilizada na obra, deve-se atentar aos seguintes cuidados:

- Por ser uma edificação aberta, as lajes estarão expostas às intempéries e deverão ser tratadas com o maior cuidado;
- A drenagem é fator importante para garantir a durabilidade da obra;
- O caimento evitará o empoçamento da água, que será devidamente encaminhada à rede pluvial por canaletas;
- A impermeabilização de todos os pavimentos é essencial.

6.2.1 Steel deck: o sistema consiste na utilização de uma fôrma permanente de aço galvanizado, perfilada e formada a frio, com nervuras (mossas). Antes da cura do concreto, essa chapa metálica atua como plataforma de serviço e suporte para o concreto. Depois, os dois materiais (aço e concreto) solidarizam-se, formando o sistema misto que atua como armadura positiva. Esse sistema promove uma alta produtividade no canteiro de obras e dispensa o uso de escoramentos. Os vãos mais indicados para este tipo de laje estão entre 2 m e 4 m.

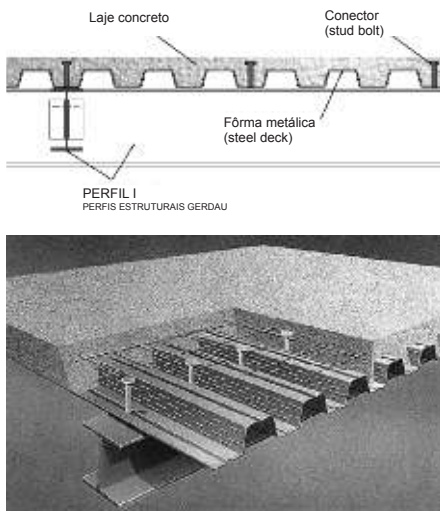


Figura 6.4 – Laje com steel deck

6.2.2 Lajes com painéis treliçados: são formadas por placas de concreto, pré-fabricadas, com armadura treliçada. Na base concretada, já vem embutida a armadura adicional (quando necessária), além da treliça já mencionada. As placas são montadas justapostas, formando uma pré-laje que, durante a montagem na obra, recebe uma capa de concreto e se torna uma laje maciça, comportando-se estruturalmente como tal. Os vãos mais indicados para este tipo de laje vão de 3,5 m a 5,5 m.

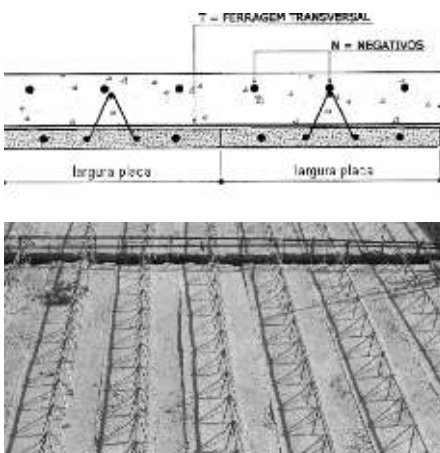


Figura 6.5 – Laje com painéis treliçados

6.2.3 Lajes treliçadas com elementos de vedação: são compostas de elementos pré-fabricados, com armadura treliçada, que, em conjunto com elementos intermediários inertes de cerâmica ou EPS (isopor), mais a concretagem da capa, resultam em lajes nervuradas. Os vãos mais indicados para esse tipo de laje são de 3,5 m a 5,5 m.



Figura 6.6 – Laje pré-fabricada treliçada

6.2.4 Lajes maciças moldadas in loco: são lajes maciças de concreto armado montadas sobre as vigas metálicas. Necessitam de fôrmas e escoramentos para sua execução e podem contar com conectores de cisalhamento para atuar no sistema de vigas mistas, fig. 6.7. O vão máximo é limitado a 5,0 m.

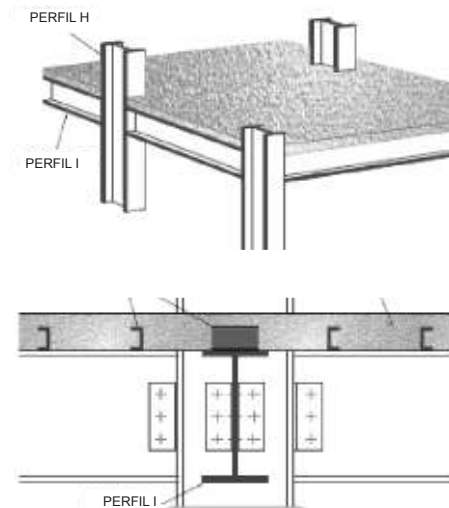


Figura 6.7 – Laje de concreto armado moldada in loco e detalhe dos conectores de cisalhamento

6.2.5 Lajes alveolares: são lajes constituídas de painéis de concreto protendido com espessuras variáveis. Essas lajes vencem grandes vãos sem a necessidade de escoramentos. Podem ser dimensionadas com armaduras adicionais e detalhes de execução para atuar no sistema de vigas mistas em conjunto com os perfis metálicos. As lajes protendidas podem vencer vãos acima dos 8,0 m.

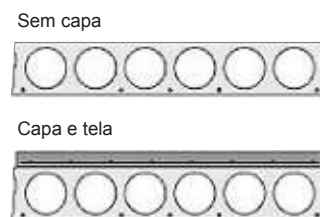


Figura 6.8 – Laje alveolar protendida

6.3 Fachadas

Os edifícios-garagem necessitam de áreas abertas em suas fachadas para promover uma ventilação adequada no prédio. De acordo com o Código de Obras de São Paulo, 1/3 da área de fachadas poderá ser fechada, de forma a permitir a ventilação e a dissipação de gases tóxicos em caso de incêndios.

Existem diversos tipos de elemento de fachada que podem ser utilizados nos edifícios-garagem. A escolha do sistema a ser adotado dependerá de fatores como segurança, estética e custo. Além disso, as fachadas podem exercer função estrutural.

Os principais tipos de fachada são apresentados a seguir; os detalhes de interfaces entre os diversos tipos de fachada com a estrutura metálica são apresentados no manual de Interfaces de Perfis Estruturais Gerdau.

6.3.1 Alvenarias: é o sistema mais comumente utilizado para prover o fechamento lateral das construções; sua execução é simples, porém não apresenta rapidez e representa maiores cargas sobre a estrutura do edifício.

6.3.2 Painéis pré-moldados: são paredes inteiras, industrializadas, posicionadas externamente à estrutura. Quando fixados diretamente nos pilares, reduzem significativamente o peso das vigas externas, pois não transferem cargas para elas. É o sistema com maior grau de industrialização no processo construtivo e, quando necessário, pode substituir os contraventamentos metálicos externos, bastando que seja corretamente projetado para tal situação. Esse tipo de material pode ser reaproveitado no caso de montagens/desmontagens sucessivas.

6.3.3 Telhas de fechamento lateral: o sistema com telhas metálicas de fechamento lateral é o que representa menor peso sobre a estrutura metálica, além de facilitar o reaproveitamento do material no caso de montagens e desmontagens. Podem conter isolamento termo-acústico, quando necessário. Para a execução dos fechamentos é necessária a instalação de terças para suporte das telhas.

7. PROJETO

No projeto de edifícios-garagem existem fatores que devem ser considerados para que se obtenha o melhor desempenho da estrutura e maior aproveitamento de área para estacionamento.

As exigências para estacionamentos coletivos foram consideradas conforme Código de Obras do Município de São Paulo – Lei nº 11.228/1992. Como essas exigências variam de cidade para cidade, sugerimos consultar o Código de Obras de cada município antes de iniciar o projeto.

7.1 Acessos

- O acesso de pedestres deverá ser independente da circulação de veículos;
- Quando a edificação tiver mais de 8 andares, deverá obrigatoriamente ser servida por elevador de veículos;
- Entradas e saídas devem estar localizadas de modo a não prejudicar o tráfego;
- Estacionamento a 90° – largura mínima do acesso às vagas é de 5,5 m;
- Estacionamento a 60° – largura mínima do acesso às vagas é de 4,5 m;
- Estacionamento a 45° – largura mínima do acesso às vagas é de 3,5 m;
- Vagas para motos em local fechado;
- Vagas para deficientes e idosos localizadas próximo aos elevadores e acessos.
- Entradas localizadas em ruas movimentadas;
- Saídas localizadas em ruas mais calmas;
- Escadas conforme recomendações do Corpo de Bombeiros;
- Elevadores para pessoas localizados próximos às escadas e em quantidade proporcional ao número de vagas.

7.2 Gabaritos

- Altura livre mínima da edificação de 2,30 m;
- Faixas de circulação em reta de 2,75 m de largura e em curva de

- acordo com tabela específica;
- Rampas com inclinação máxima de 20%.

7.3 Vagas

A quantidade de vagas será limitada a 70% da área do lote quando a atividade principal for o estacionamento.

Para melhor aproveitamento dos espaços, há a possibilidade de variar as dimensões das vagas na seguinte proporção:

- 5% das vagas deverão ser grandes, com 2,50 x 5,50 m;
- 45% das vagas deverão ser médias, com 2,10 x 4,70 m;
- 50% das vagas poderão ser pequenas, com 2,00 x 4,2 m.

Segundo a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, deverão ser previstas:

- 3% das vagas serão para deficientes, com 3,50 x 5,50 m;
- 5% das vagas serão reservadas para atendimento de pessoas idosas e deverão estar localizadas de modo a garantir a comodidade desse grupo.

7.4 Conforto

7.4.1 Iluminação

- Para conforto de pedestres e motoristas, a iluminação deverá ser adequada;
- A iluminação natural pode ser utilizada em sua plenitude através das aberturas na fachada;
- Entradas e saídas pedem atenção especial;
- Luzes de emergência são obrigatórias.

7.4.2 Ventilação

- Com a fachada aberta em 2/3 de sua área, a ventilação é muito boa, impedindo a concentração da fumaça proveniente dos motores dos veículos.

7.5 Barreiras de proteção

Os edifícios-garagem deverão ter seus pilares protegidos até uma determinada altura (prevista nas legislações municipais), de modo a evitar que algum veículo colida acidentalmente com a estrutura e cause danos a ela.

7.6 Sinalização e comunicação visual

Fazem com que os usuários utilizem amigavelmente as vias e identifiquem entradas, saídas e locais de circulação de pedestres.

- Deverão utilizar material reflexivo;
- Faixas definidas no piso fazem com que os motoristas otimizem a ocupação do edifício conforme projeto;
- Indicação de escadas e elevadores são obrigatórias.

7.7 Segurança

Dividida entre ativa e passiva.

- Ativa é a existência de ronda munida de rádios;
- Passiva inclui câmeras, sensores de presença, boa iluminação, paredes de vidro nas escadas e nos elevadores promovendo acesso visual;
- Controle de entrada e saída com câmeras.

7.8 Proteção contra fogo e proteção contra corrosão¹

A estrutura de aço necessita ser devidamente tratada para que não ocorram problemas durante a vida útil do empreendimento. Na maior parte dos casos de edifícios-garagem de pequeno e médio porte, a proteção contra corrosão corretamente especificada será suficiente para garantir o bom desempenho durante a vida útil do projeto.

7.8.1 Proteção contra fogo

A NBR 14432:2001, "Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento", em seu Anexo A, prescreve a isenção de resistência ao fogo, entre outros casos, para edificações pertencentes às divisões G-1 (garagens automáticas) e G-2 (garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento – exceto veículos de carga e coletivos) pertencentes às classes P1 a P3 (com altura ≤ 23 m), desde que sejam atendidos os seguintes critérios:

- *A edificação deve ser considerada aberta lateralmente:* deve haver ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, provida por aberturas que possam ser consideradas uniformemente distribuídas e que tenham comprimentos em planta que, somados, atinjam pelo menos 40% do perímetro e áreas que, somadas, correspondam a pelo menos 20% da superfície total das fachadas externas; *ou ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas,* provida por aberturas cujas áreas somadas correspondam a pelo menos 1/3 da superfície total das fachadas externas e pelo menos 50% dessas áreas abertas situadas em duas fachadas opostas.

Em qualquer caso, as áreas das aberturas nas fachadas externas somadas devem corresponder a, pelo menos, 5% da área do piso no pavimento, e as obstruções internas eventualmente existentes devem ter pelo menos 20% de suas áreas abertas, com as aberturas dispostas de forma a poder ser consideradas uniformemente distribuídas, para permitir ventilação.

A isenção contempla estruturas em concreto armado ou protendido, ou em aço, que atenda às condições construtivas existentes no Anexo D da referida Norma:

- Vigas principais e secundárias devem ser construídas como vigas mistas, utilizando-se necessariamente conectores de cisalhamento.
- Os elementos responsáveis pela estabilidade em situação de incêndio devem ser verificados nessa situação para um TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) de 30 minutos.
- No caso de ligação flexível entre viga e pilar, o momento fletor negativo próximo ao pilar deve ser absorvido por meio de armadura adicional na laje de concreto. Essa armadura deve ser de 0,2% da área da laje de concreto situada sobre a mesa superior do perfil metálico, segundo um corte perpendicular à viga.

7.8.2 Proteção contra Corrosão¹: estacionamentos estruturados em aço, isentos de proteção contra fogo, não necessitam de proteção especial além daquela para estruturas expostas em ambientes considerados como de média agressividade:

Agressividade do ambiente	Sistema de pintura aplicada	Preparo superficial mínimo (ISO 8501)	Tinta de fundo	Tinta intermediária	Tinta de acabamento	Espesura total seca (µm)	Durabilidade estimada (anos)
C3 média	Fabricante	Sa 2 ½	Epóxi tolerante à superfície/175 µm	-	-	175	5 - 15

- **Proteção por meio de pintura:** um sistema adequado pode ser encontrado no folder de pintura de Perfis Estruturais Gerdau. Ao término da montagem, utilizar, como acabamento, um poliuretano acrílico alifático, na coloração desejada e espessura de 50 µm, em uma única demão. Assim, a espessura total de tinta será de 200 µm, base seca.

Utilizar, em ligações, parafusos estruturais do tipo ASTM A325 Tipo 1, “pretos”.

- **Galvanização a quente:** os componentes estruturais deverão ser enviados à galvanizadora após sua confecção. A camada total galvanizada (intermetálicos + zinco) não deverá ser inferior a 100 µm. Utilizar, em ligações, parafusos estruturais do tipo ASTM A325 Tipo 1, galvanizados a quente.

¹ Contribuição do Engº Fabio Domingos Pannoni – Consultor Técnico da Gerdau.

8. DECISÃO E PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO EMPREENDIMENTO

A fase de concepção de um empreendimento é, antes de tudo, um plano de negócios. Essa etapa é estratégica para o resultado, pois nela são determinados os objetivos e as metas, bem como as características do produto a ser concebido. É nesta fase que as decisões de maior interferência no custo, no prazo, na qualidade e no atendimento às necessidades do mercado são tomadas.

Mesmo cientes do alto impacto que uma concepção ineficiente do projeto pode gerar, muitos empresários não utilizam qualquer

fundamentação científica para o estudo de viabilidade dos empreendimentos. Na rotina de desenvolvimento de um empreendimento, usualmente os empresários não consideram a análise sistemática dele como um todo. Geralmente o empreendimento é avaliado apenas com foco no menor custo, sem a análise correta de todos os fatores que influenciarão no resultado de lucratividade ou na margem.

O processo de concepção de um empreendimento deve contemplar as seguintes questões:

ASPECTO	COMO REALIZAR	RESULTADO
MERCADOLÓGICO	Pesquisa quantitativa e qualitativa, análise da demanda de mercado.	Avaliação e aceitação do empreendimento, oportunidades, grau de inovação.
ECONÔMICO-FINANCEIRO	Cálculo do valor presente líquido (VPL), Taxa interna de retorno (TIR).	Resultado financeiro, fluxo de caixa, modelo de negócio e financiamento.
URBANÍSTICO	Plano diretor, legislação do uso do solo, características viárias, infraestrutura existente, tipologias locais.	Diretrizes de implantação adequadas à região.
TECNOLÓGICO	Tecnologias construtivas disponíveis, ganhos em escala, produtividade, desempenho do empreendimento.	Inovação tecnológica, racionalização, aumento de eficiência e produtividade.
AMBIENTAL	Relatório de impacto ambiental (RIMA), análise dos recursos existentes.	Sustentabilidade ambiental, integração com a vizinhança.

Na análise da viabilidade de um empreendimento para estacionamento de veículos, a escolha do tipo de estrutura tem grande influência no custo final, já que a contribuição de paredes e acabamentos é pouco significativa nesse tipo de negócio.

Fatores como local escolhido, tempo de construção, tipo de fundação, possibilidade de adaptações, compatibilidade com lajes e sistemas de vedação, vãos livres, etc. podem ter grande influência na escolha do tipo de estrutura.

Existem diversas metodologias para a análise de viabilidade de empreendimentos. Entre eles, pode-se citar o “Manual de Viabilidade Econômica”, que contém planilhas interativas que possibilitam a fácil simulação dos resultados de um empreendimento com estruturas de aço, comparando-o com outras soluções estruturais. O Manual pode ser obtido gratuitamente pelo site do CBCA (www.cbca-iabr.org.br).

A determinação do prazo real da construção em aço pode ser feita por meio de um cronograma físico, no qual são detalhadas as fases do projeto e suas respectivas durações. Uma antecipação no prazo de entrega da obra implica também a antecipação das operações, fator que impacta diretamente na rentabilidade do investimento.

A redução nos prazos de obra leva também à redução de outros custos indiretos com ela, como tempo de manutenção de canteiro, menor consumo de água, redução do número de funcionários.

A adoção de maiores vãos representa melhor aproveitamento das áreas úteis para estacionamento. Além disso, a redução na quantidade de pilares implica número menor de bases, o que, somado ao menor peso próprio das estruturas de aço, pode resultar em considerável redução no custo das fundações.

A possibilidade de reaproveitamento das estruturas metálicas, no caso de terrenos locados, também se apresenta como fator importante a ser considerado nos estudos de viabilidade de empreendimentos para edifícios-garagem.

9. DURABILIDADE x MANUTENÇÃO¹

Durabilidade é a capacidade da estrutura de manter-se ao longo do tempo com o desempenho especificado (esperado, desejado), quando exposta às condições de uso, operação e manutenção definidas no projeto. Ela é o resultado da interação entre a estrutura, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção.

Uma elevação do desempenho estrutural pode ser obtida mediante intervenções programadas de manutenção, necessárias a todo tipo de estrutura.

Um programa de inspeção periódica e manutenção preventiva promove a redução dos custos de manutenção ao longo da vida útil da edificação, melhorando seu desempenho e permitindo uma longa vida total.

Contribuição do Engº Fabio Domingos Pannoni – Consultor Técnico da Gerdau.

10. CONSIDERAÇÕES PARA O PROJETO DE EDIFÍCIOS-GARAGEM

Para exemplificar de forma clara os conceitos e as exigências apresentados, foram elaboradas quatro tipologias de estrutura, com diferentes arranjos de vigas e pilares. Neste estudo foram considerados os tamanhos médios de terrenos dos grandes centros, bem como as distribuições de vagas, de forma a atender aos critérios da legislação vigente.

Os módulos consideram edifícios com pavimento térreo mais três pavimentos de estacionamento de veículos, sendo que no último os veículos ficam desabrigados. Esses módulos podem ser replicados na largura e no comprimento, de modo a melhor atender às características do terreno.

A estrutura de vigamentos adotada foi do tipo mista, com lajes em steel deck e aplicação de contraflecha nos perfis metálicos, quando necessário. As ligações foram concebidas totalmente parafusadas, de forma a proporcionar a desmontagem da estrutura metálica. A estabilização foi considerada por meio de contraventamentos verticais no contorno externo dos prédios.

Estudo de layout:

- Vários layouts foram estudados com o objetivo de otimizar o número de vagas;
 - Os modelos apresentados foram os que obtiveram melhor relação custo-benefício.
- A figura 10.1 apresenta um pavimento típico de um edifício-garagem, onde estão representadas as vagas, as rampas e os corredores de acesso dos veículos.

Modulação:

- Pé-direito de 3,0 m para respeitar a exigência normativa de altura livre mínima de 2,30 m da edificação;
- Edifícios-garagem com até quatro pavimentos ocupados (térreo + três pavimentos);
- Faixa de circulação de 5,50 m (mínimo).

Vagas:

- Vagas grandes, de 2,50 m x 5,00 m;
- Vagas médias, de 2,10 m x 4,70 m.

Normas utilizadas:

- NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- NBR 6120/80 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123/88 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações;
- AWS D 1.1-06 – American Welding Society.

Material:

- Perfis Estruturais Gerdau: Aço ASTM A572 Grau 50 – Limite de escoamento $f_y = 345$ MPa;
- Chapas de ligação: Aço ASTM A36 – Limite de escoamento $f_y = 250$ MPa;
- Parafusos: ASTM A325.

Ações permanentes:

- Peso próprio estrutural;
- Vedações externas: painel de fachada em concreto (100 kg/m²);
- Lajes tipo mistas com steel deck, com f_{ck} mínimo do concreto de 20 MPa;
- Piso cimentado nos estacionamentos: 80 kg/m².

Ações variáveis:

- Sobrecarga conforme NBR 6120/1980: 300 kgf/m²;
- Impacto do veículo → carga horizontal: 200 kgf/m a 50 cm acima do piso;
- Vento: NBR 6123/1988 – edificação em zona urbana, densamente ocupada, com poucos obstáculos altos.

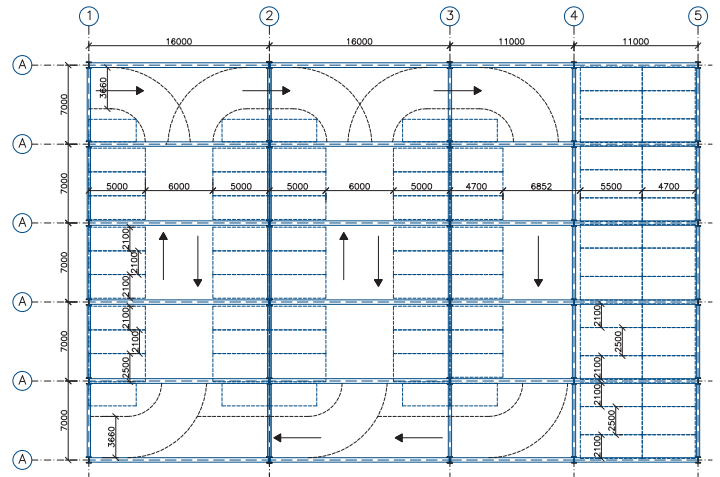


Figura 10.1 – Pavimento tipo

10.1 Módulo tipo 1

Módulos de 16,0 m x 7,5 m, permitindo o estacionamento de seis veículos por módulo, incluindo os espaços para manobra (corredores), conforme mostra a figura 10.2. Esses módulos podem ser replicados sem restrições.

Nesse tipo de configuração, as vigas secundárias (V1) estão espaçadas a cada 2,5 m. As lajes foram consideradas em steel deck, com altura de 100 mm (peso próprio de 190 kg/m²). Não há necessidade de escoramento das vigas e das lajes.

No dimensionamento, todas as vigas foram calculadas considerando-se a aplicação de contraflecha limitada à deformação provocada pelos carregamentos permanentes.

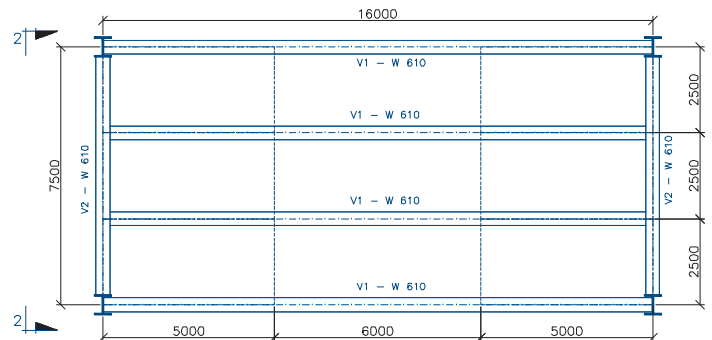


Figura 10.2 – Módulo tipo 1

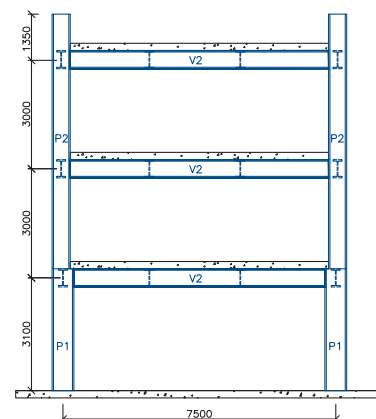


Figura 10.3 – Vista frontal do módulo tipo 1 – corte

Esse tipo de estrutura apresenta quantidade maior de vigas secundárias, o que implica a necessidade de maior beneficiamento do aço, com aumento de furos nas vigas principais e maior quantidade de ligações, porém o consumo médio de aço para a estrutura das vigas cai em relação ao consumo dos módulos com apenas uma viga secundária no centro do vão de 7,5 m.

O consumo médio de aço para essa configuração é apresentado na tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Consumo médio de aço para a estrutura metálica dos módulos tipo 1

TIPO DE ESTRUTURA	PERFIL	CONSUMO DE AÇO (kg/m ²)
Vigas – V1 (mista)	Laminado – W 610	39
Vigas V2 (mista)	Laminado – W 610	
Pilares – P1	Laminado – W 310	3,9
Pilares – P2	Laminado – W 250	
Ligações (5%)	Chapas e parafusos	2,3
Total		45,2

10.2. Módulo tipo 2

Essa consideração é uma variação do módulo tipo 1, levando em conta as vigas do tipo casteladas. O processo de confecção das vigas foi abordado no item 6.1.

Nesse tipo de configuração, as vigas secundárias (V1) estão espaçadas a cada 2,5 m. As lajes foram calculadas em steel deck, com altura de 100 mm (peso próprio de 190 kg/m²).

Tanto as vigas principais quanto as secundárias sofreram o processo de recorte e posterior composição, de forma a obter a seção indicada na figura 10.4. Com esse sistema, é possível obter vigas com maior altura sem aumento do peso. Aplicando-se essa técnica, não é necessária a execução de contraflecha nos vigamentos.

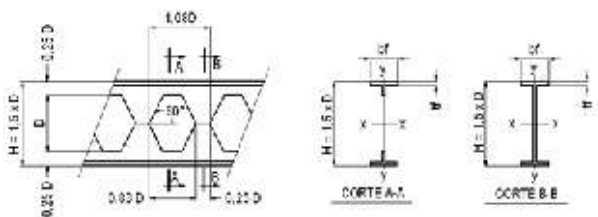


Figura 10.4 – Seção das vigas casteladas

Em virtude da maior altura das vigas, foi necessário aumentar a altura dos pilares para que a condição de pé-direito mínimo livre fosse respeitado, como mostra a figura 10.6.

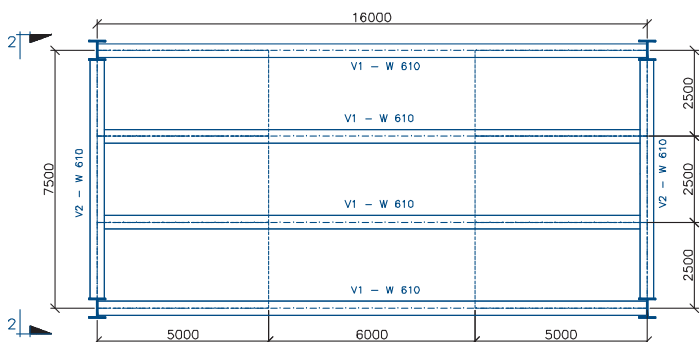


Figura 10.5 – Módulo tipo 2

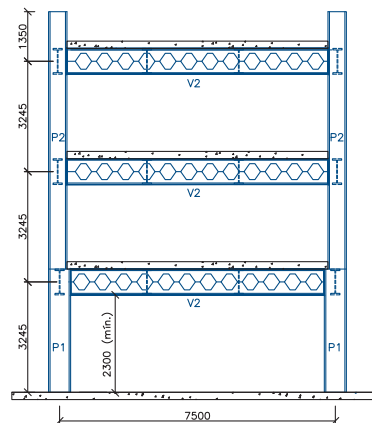


Figura 10.6 – Vista frontal do módulo tipo 2 – corte

O consumo médio de aço para essa configuração é apresentado na tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Consumo médio de aço para a estrutura metálica dos módulos tipo 2

TIPO DE ESTRUTURA	PERFIL	CONSUMO DE AÇO (kg/m ²)
Vigas – V1 (mista)	Castelada do perfil W 530 x 92	30,2
Vigas V2 (mista)	Castelada do perfil W 460 x 74	
Pilares – P1	Laminado – W 310	3,9
Pilares – P2	Laminado – W 250	
Ligações (5%)	Chapas e parafusos	1,7
Total		35,8

É importante salientar que esse tipo de estrutura apresenta menor consumo de aço, porém o custo de fabricação das vigas é maior em virtude do trabalho adicional de corte e composição das vigas casteladas a partir dos perfis laminados.

10.3 Módulo tipo 3

Módulos de 11 m x 7,0 m, permitindo o estacionamento de seis veículos por módulo, incluindo-se os espaços para manobra (corredor), conforme mostra a figura 10.7. Neste tipo de configuração, a cada dois módulos podem ser acomodadas nove veículos.

Foram consideradas vagas médias e grandes, distribuídas de forma a maximizar o aproveitamento dos espaços disponíveis.

Nesse tipo de configuração, as vigas secundárias (V1) estão espaçadas a cada 3,5 m. As lajes devem ser em steel deck, com altura de 140 mm (peso próprio de 255 kg/m²).

No dimensionamento, as vigas secundárias foram calculadas considerando-se o emprego de contraflecha.

O consumo médio de aço para essa configuração é apresentado na tabela 10.3.

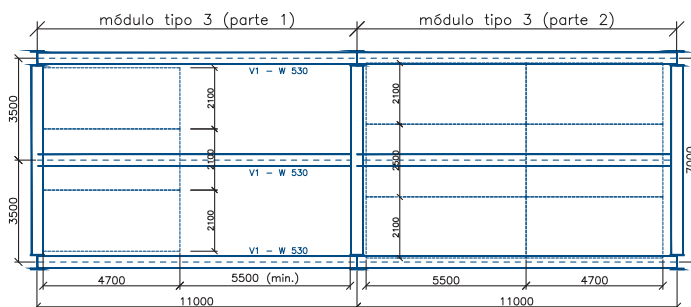


Figura 10.7 – Módulo tipo 3

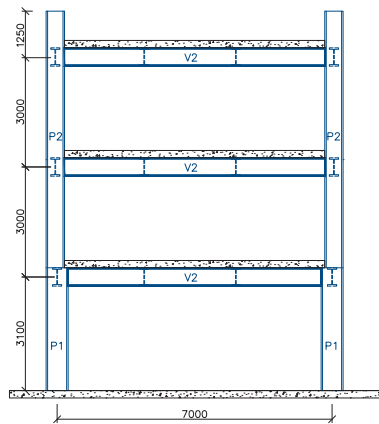


Figura 10.8 – Vista frontal do módulo tipo 3 – corte

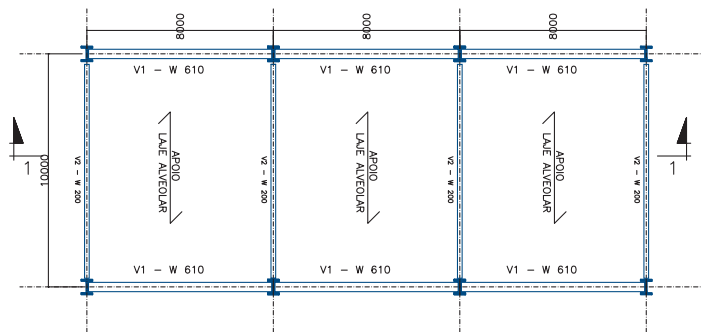


Figura 10.10 – Locação da estrutura – módulo tipo 4

Tabela 10.3 – Consumo médio de aço para a estrutura metálica dos módulos tipo 3

TIPO DE ESTRUTURA	PERFIL	CONSUMO DE AÇO (kg/m ²)
Vigas – V1 (mista)	Laminado – W 530	34
Vigas V2 (mista)	Laminado – W 530	
Pilares – P1	Laminado – W 310	4,8
Pilares – P2	Laminado – W 250	
Ligações (5%)	Chapas e parafusos	1,9
Total		40,7

10.4 Módulo tipo 4

Módulos de 10 m x 8,0 m, permitindo o estacionamento de 16 veículos a cada três módulos, incluindo-se os espaços para manobra (corredor), conforme mostra a figura 10.9.

Nesse tipo de configuração, as vigas principais (V1) vencem vãos de 10,0 m, enquanto as vigas secundárias (V2) funcionam apenas como travamento dos pórticos. As lajes são do tipo alveolar protendidas, com altura de 200 mm e 50 mm de capa.

No dimensionamento, as vigas principais foram dimensionadas pelo sistema misto, com aplicação de contraflecha. Nas lajes deverão ser tomados alguns cuidados especiais como a confecção das aberturas para acomodação das armaduras transversais (figura 10.12).

Foram previstos conectores de cisalhamento e armaduras adicionais na região dos apoios das lajes (armadura de suspensão).

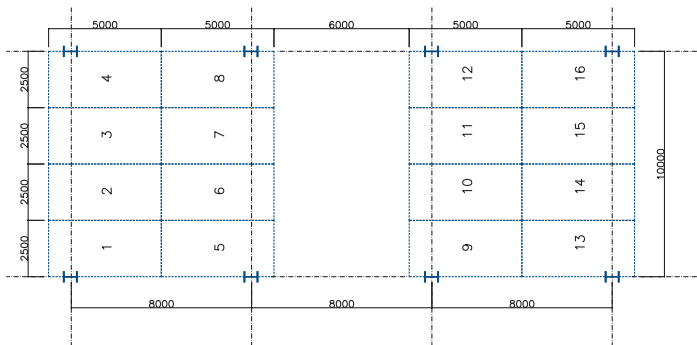


Figura 10.9 – Distribuição das vagas – módulo tipo 4

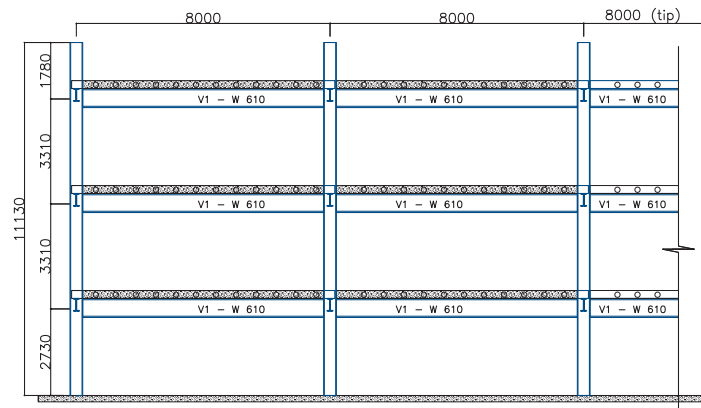


Figura 10.11 – Vista frontal do módulo tipo 4 – corte



Figura 10.12 – Detalhes da interface entre viga metálica e laje alveolar 2

Tabela 10.4 – Consumo médio de aço para a estrutura metálica dos módulos tipo 4

TIPO DE ESTRUTURA	PERFIL	CONSUMO DE AÇO (kg/m ²)
Vigas – V1 (mista)	Laminado – W 610	20
Vigas V2 (travamento)	Laminado – W 200	
Pilares – P1	Laminado – W 360	5,6
Pilares – P2	Laminado – W 310	
Ligações (5%)	Chapas e parafusos	1,4
Total		27

Em todos os casos podem ser avaliadas opções considerando-se os pilares em concreto pré-fabricado ou moldado *in loco*. Devem ser levados em consideração, nessas situações, o impacto sobre o prazo de execução da obra, bem como as interfaces entre os pilares em concreto e as vigas em aço.

11. ESTUDO DE CASO

Edifício-garagem

A agilidade na construção do edifício-garagem, que conta com dois pavimentos de estacionamento, área de 2.600 m² cada, com capacidade para 118 vagas por pavimento, ou 236 no total, possibilitou que o terreno fosse rapidamente ocupado, com menor incômodo à vizinhança e prazos muito reduzidos de obra.

O projeto foi concebido utilizando vigas e pilares metálicos, em perfis laminados W de Perfis Estruturais Gerdau, e teve consumo de 218 t de aço, ou 42 kg/m².

A estrutura foi concebida por módulos de 10,90 m x 7,07 m. As lajes utilizadas foram do tipo steel deck, que, por meio de conectores de cisalhamento, foram consideradas no dimensionamento das vigas mistas.

A figura 11.1 apresenta a distribuição das vagas em cada um dos pavimentos. A composição das vagas foi determinada respeitando-se o Código de Obras da cidade de São Paulo, com vagas pequenas, médias e grandes.

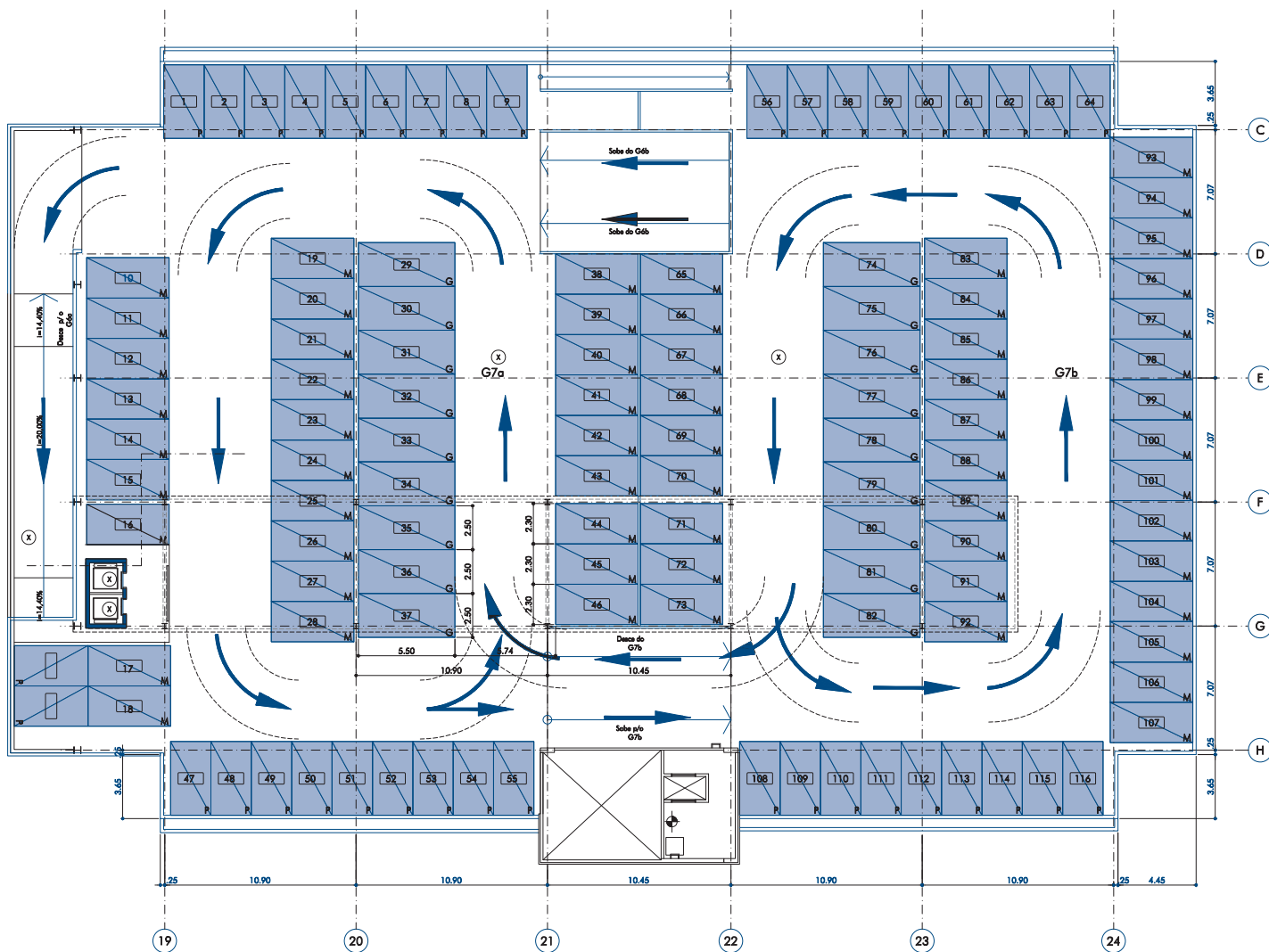


Figura 11.1 – Localização das vagas nos pavimentos tipo

A estrutura metálica acompanhou o layout das vagas, evitando que pilares e vigas pudessem impedir manobras ou mesmo eliminar vagas. As vigas e os pilares metálicos permitiram o máximo aproveitamento da área do estacionamento, além de proporcionar uma estrutura limpa e com possibilidades de expansões futuras.

A estrutura foi estabilizada verticalmente com contraventamentos metálicos, posicionados nas caixas de escada/elevadores e nas fachadas, conforme é apresentado no corte da figura 11.3.

A ficha técnica da obra é apresentada na tabela 11.1.

OBRA: EDIFÍCIO-GARAGEM	
LOCAL	São Paulo – SP
ÁREA DE ESTACIONAMENTO:	5.200 m ² , composta por dois pavimentos de 2.600 m ² cada
NÚMERO DE VAGAS:	118 por pavimento; 236 no total
PROJETO ARQUITETÔNICO:	Aflalo & Gasperini
PROJETO ESTRUTURAL:	Beltec Engenharia
FABRICANTE ESTRUTURAS:	Medabil Sistemas Construtivos
AÇO UTILIZADO:	Perfis Estruturais Gerdau, ASTM A572 gr 50
CONSUMO DE AÇO:	220 t
SISTEMA DE LAJES:	Steel deck
VIGAMENTOS METÁLICOS:	Vigas mistas em perfis laminados W 530, com conectores de cisalhamento
PILARES METÁLICOS:	Perfis laminados W 310
ESTABILIZAÇÃO LATERAL:	Por meio de contraventamentos

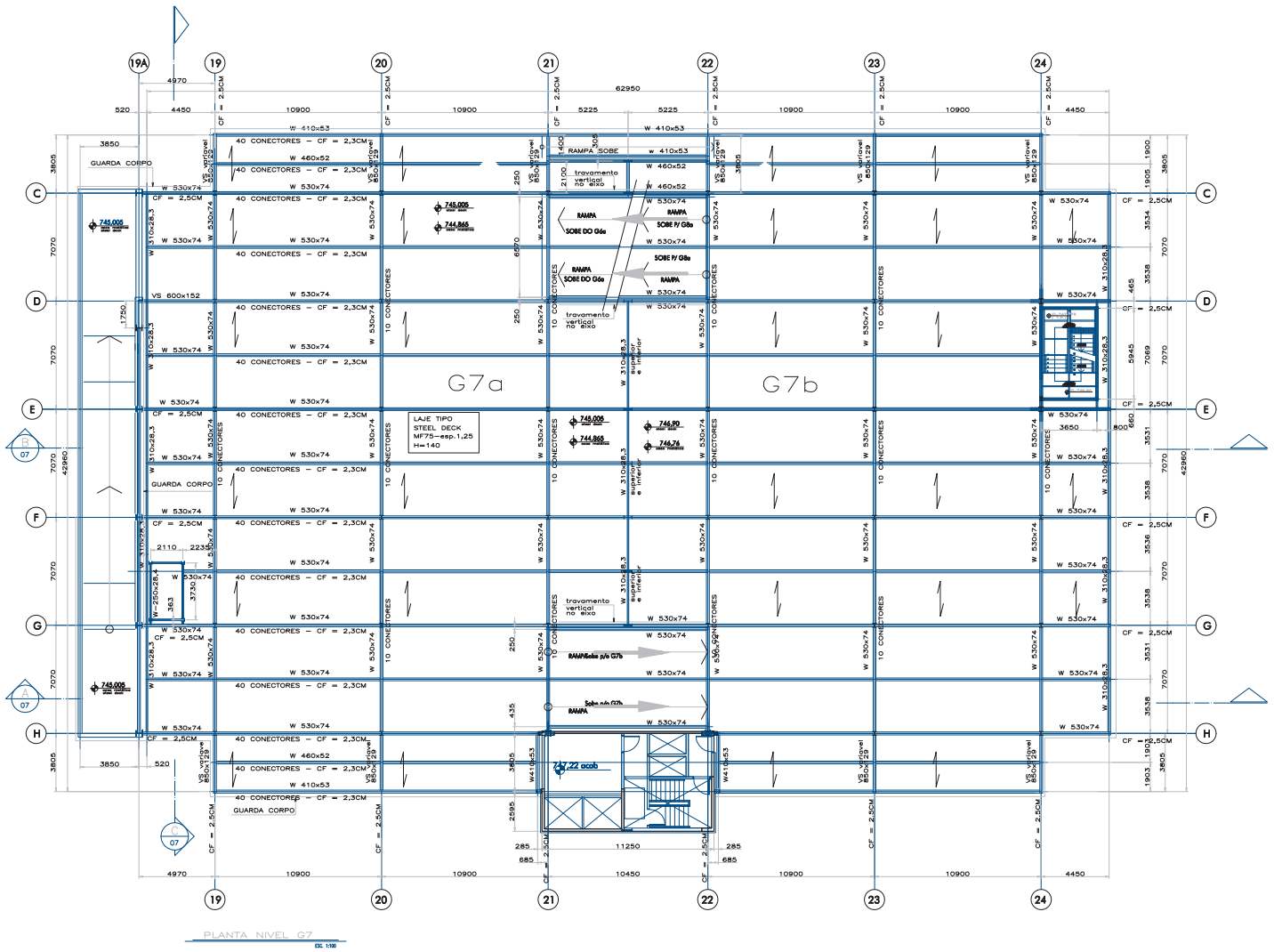


Figura 11.2 – Posicionamento de vigas e pilares da estrutura metálica

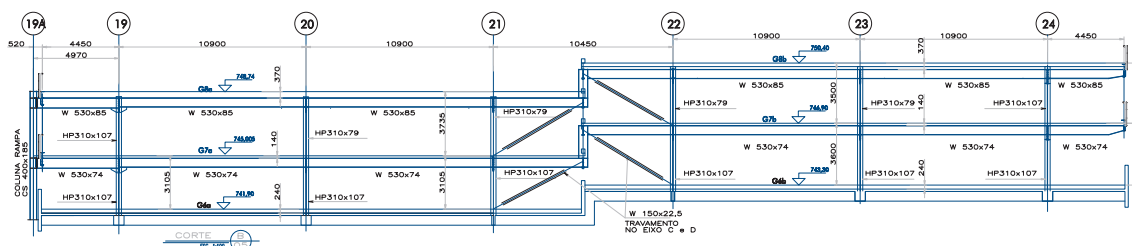


Figura 11.3 – Sistema de estabilização da estrutura por contraventamentos

12. BIBLIOGRAFIA

- ABNT NBR 8800: *Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios* – ABNT, 2008.
- *Código de Obras de São Paulo*, 1992.
- *Design Guide 18: Open Deck Parking Structures* – AISC.
- *Edificações de Aço no Brasil* – Luiz Andrade de Mattos Dias, 2002.
- *Edifícios-garagem* – Karl Fritz Meyer, 1994.
- *Sistemas de Estacionamento Vertical Modulado em Estrutura Metálica* – Ezequiel Mendonça Rezende, 2004.
- *Steel Framed Car Parks* – Corus Construction and Industrial, 2004.
- *Steel Framed Open Deck Parking Structures* – AISC Steel Design Guide, 2003.
- *Design of Composite Beams using Precast Concrete Slabs* – SCI publication P 287.

www.gerdau.com.br



Ao utilizar matéria-prima reciclada na confecção deste folder, contribuimos com o desenvolvimento sustentável da sociedade. "Reciclamos sem fim" é uma iniciativa que nos mobiliza e está presente em nosso dia a dia.