

Fernando Ottoboni Pinho

Engenheiro Consultor da Gerdau Açominas

A pergunta "Quando construir em aço?" é frequentemente repetida. E as respostas estão quase sempre apoiadas em uma extensa lista de vantagens do uso das estruturas de aço que não fornece informações suficientes para uma avaliação correta da influência de cada uma delas, e em estudos comparativos de custos, que nada mais são que casos particulares, que não podem ser aplicados como regra. Em alguns casos, a simples afirmação de que a estrutura em aço ficaria mais cara encerra uma análise sem maior aprofundamento. Em outras situações, a opção por sistemas ditos convencionais, pelos simples desconhecimento de outros sistemas, mesmo que o resultado seja de uma estrutura mais barata, não garante que a decisão tenha sido a mais adequada.

A escolha do sistema construtivo não deve ser uma competição entre os diferentes tipos de estrutura, mas uma decisão com base nas características de cada sistema. E a decisão de qual é o mais adequado, deve passar pela análise do maior número possível de aspectos representativos da obra, priorizando as características mandatórias e também as desejáveis.

Portanto, a pergunta que deve ser feita pelos profissionais, construtores ou investidores sem qualquer tendência ou preferência, preocupados com o melhor resultado para o conjunto da obra, é:

**"Que tipo de estrutura é mais adequado para a minha obra?"**

A maior dificuldade para identificar o tipo de estrutura mais adequado para uma obra é a falta de uma metodologia de avaliação mais abrangente do que o simples comparativo de custos. E que coloque também todos os fatores limitantes e condicionantes das alternativas em condições comparáveis, levando em conta aspectos importantes desde diferentes qualidades e desempenhos até a influência das estruturas nos demais serviços, incluindo as transferências de ganhos que podem beneficiar o custo total da obra. Uma metodologia de avaliação que identifica a alternativa de estrutura mais adequada, passará pelo conhecimento de todas as características de cada sistema estrutural, pelas experiências e culturas da própria construtora e é claro pelo tipo da obra em análise.

O método aqui proposto é baseado em uma grade que permite cruzar as características mais importantes para a obra com os diversos sistemas estruturais. A idéia é hierarquizar essas características, definindo um peso para cada uma delas, de acordo com a sua importância para a obra em questão, e, em seguida, estabelecer notas para os diversos

sistemas estruturais que correspondam à sua influência na obra para a característica analisada.

Muitas das características podem ser de difícil interpretação e quantificação, e, muitas vezes, vão existir itens conflitantes (casos em que uma característica favorável de um item implica em uma situação desfavorável para outro). Mas a análise Característica x Sistema será sempre melhor do que a simples intuição.

Ao final, calculam-se as médias aritméticas ponderadas para cada sistema e as maiores médias devem indicar os sistemas mais adequados para a obra. Com base nestes resultados, torna-se mais fácil a decisão de qual sistema estrutural deve ser adotado. A otimização de uma escolha bem estruturada agrega valor ao processo e, certamente, conduz a uma decisão final mais acertada.

Essa metodologia deve ser desenvolvida pela própria empresa, ser a mais impessoal possível e aperfeiçoada continuamente pelo exercício de identificação das características mais importantes para a obra e sua ordenação e pontuação, baseando-se sempre que possível em experiências anteriores.

De forma a ajudar nesta decisão, apresentamos a seguir, uma lista das principais características das estruturas de aço que devem ser analisadas e ponderadas, isoladamente e em conjunto.

Presupõe-se, obviamente, o conhecimento das características semelhantes para os outros tipos de estruturas. Não é aceitável uma escolha errada do sistema estrutural pela não avaliação de todos os tipos de estruturas ou pela avaliação com parâmetros errados, incompletos e/ou desatualizados.

Principais características das estruturas de aço que devem ser consideradas nas avaliações para a escolha do sistema estrutural mais adequado:

### 1. FUNDAÇÕES

A influência da redução das cargas devido ao menor peso das estruturas de aço nas fundações de uma pequena estrutura, em um solo muito resistente, pode ser pequena. Entretanto a redução das cargas em uma grande estrutura, em um solo muito ruim, pode viabilizar a própria construção. Portanto o custo das fundações em alguns casos será um importante fator de decisão sobre o tipo de estrutura a ser usada em uma obra.

As estruturas de aço pesam de 6 a 10 vezes menos que as estruturas de concreto (sem as lajes), mas como as estruturas de concreto representam em média 40% do peso próprio e o peso próprio representa aproximadamente

70% da carga total (incluindo as cargas acidentais ou sobrecarga), podemos esperar reduções nas cargas verticais da ordem de 20%. Essa diferença pode representar, por exemplo, uma estaca a menos por base e reduzir significativamente os custos das fundações. Em algumas bases a influência das ações horizontais (ventos, etc) é tão grande que leva a vantagem da carga final a valores bem menores. Em casos raros onde existe carga de arrancamento, a redução pode ser até desfavorável.

Devemos ainda examinar os custos das fundações profundas com as estacas metálicas que, junto com as estruturas de aço ou mesmo com as estruturas de concreto, representam uma alternativa interessante quando comparadas com as estacas de trilhos ou as de pré-moldados de concreto. Principalmente quando a estaca tem grande comprimento, ou se querem minimizar as dificuldades com o transporte e manuseio das estacas no canteiro e também reduzir as indesejáveis vibrações para as edificações vizinhas.

**Peso:** Maior para solos com pouco suporte, com subsolos e edificações vizinhas; e menor para solos com muito suporte, cargas baixas, sem subsolo e sem vizinhos.

**Nota:** Maior para o sistema que gera as menores cargas e/ou a menor quantidade de pontos de fundação; e menor para o sistema que gera as maiores cargas e/ou maior número de pontos de fundação.

### 2. TEMPO DE CONSTRUÇÃO

Em princípio, quanto menor for o tempo de construção melhor. Entretanto, para algumas obras, como os condomínios residenciais, o tempo de construção deve estar compatibilizado com a capacidade de desembolso dos condôminos e não seria interessante atropelar este ritmo. Já para uma obra comercial, qualquer antecipação representa redução do tempo de amortização do investimento e é bem vinda. Existe ainda a obra política ou estratégica, onde o tempo de construção é determinado por um evento fixo, independente de eventuais custos adicionais que uma obra mais rápida possa representar.

Sem dúvida a mais forte característica das estruturas de aço é a rapidez, diferentemente da construção convencional que normalmente tem o caminho crítico na fase da estrutura e acaba por limitar a velocidade da obra. Se a decisão é por estrutura de aço podem-se executar as fundações enquanto as estruturas estão sendo fabricadas. E a possibilidade de abertura de diversas frentes de serviço simultâneas (lajes, paredes, instalações, etc) pode, em um cronograma bem elaborado, reduzir o tempo de obra em até 40%, se comparado com os sistemas convencionais.

**Peso:** Maior quando o prazo da obra é pequeno e crítico; e menor quando o prazo não é relevante ou pode até atropelar a entrada dos recursos.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural mais rápido e que possibilita várias frentes de serviço na obra; e menor para o sistema mais lento e caminho crítico na obra.

### 3. TIPO DE OCUPAÇÃO

Dependendo do tipo de ocupação e de algumas características da obra, como o sistema de comercialização, um determinado sistema estrutural pode ser mais ou menos adequado. Portanto, é importante conhecer bem a localização, a arquitetura e a utilização prevista para a edificação.

Descrevemos a seguir algumas características gerais dos diversos tipos de ocupação das edificações:

- **Edifícios Comerciais:** Terreno caro, pouco canteiro de obra, modulação fácil, estacionamento nos andares inferiores, instalações de arranjo simples, fachadas simples. A rapidez da obra significa o retorno mais rápido do investimento e pode ser decisiva.

- **Edifícios Residenciais:** Pavimento tipo, estacionamento nos andares inferiores, modulação difícil, pequenos vãos, muitas instalações e fachadas mais elaboradas (varandas, etc.). A rapidez significa possibilidade de venda mais rápida, mas pode não interessar, caso envolva financiamento.

- **Edifícios Sede e Agências:** Terreno muito caro, nenhum canteiro de obra, arquitetura original e atraente. A rapidez significa o retorno mais rápido do investimento.

- **Hotéis:** Grande modulação (apartamentos), alta densidade de instalações, grandes vãos livres nas áreas comuns, fachadas simples ou elaboradas e repetitivas. A rapidez significa o retorno mais rápido do investimento e pode ser decisiva.

- **Hospitais:** Modulação parcial (apartamentos), instalações complexas, fachadas simples ou elaboradas e repetitivas, necessidade de ampliações e adaptações constantes sem interferência com as áreas já construídas. A “rapidez” significa, além do retorno mais rápido do investimento, um tempo menor de interferência no funcionamento e nas edificações existentes.

- **Shoppings:** Datas de entrega rígidas, construção mais horizontal, grandes vãos, terreno caro, pouco canteiro de obra, modulação fácil, instalações concentradas nas áreas de circulação, fachadas simples e coberturas elaboradas. A rapidez significa o retorno imediato do investimento, principalmente se otimizada com o calendário do comércio.

- **Edifícios Garagem:** Possibilidade de desmontagem, bastante modulado, grandes vãos, pavimentos tipo, rampas, poucas instalações, fachadas simples ou inexistentes. A rapidez significa o retorno imediato do investimento.

- **Universidades e Escolas:** Datas de entrega rígidas, construção mais horizontal, boa modulação, poucas instalações, fachadas padronizadas. A rapidez significa o retorno imediato do investimento.

A estrutura de aço tem muitas características que são favoráveis para alguns tipos de edificações tais como, facilidade para construções mais altas, melhor aproveitamento do terreno, maior área útil, menor necessidade de canteiro, liberação de muitos andares simultaneamente, modulação com melhor desempenho na fabricação e montagem, precisão favorecendo a utilização de outros componentes industrializados de vedação e fachadas. A facilidade de executar vãos maiores e ocupar menos espaço estrutural são fatores que explicam, por exemplo, porque nos edifícios comerciais e nas universidades a solução com estruturas de aço se encaixa mais naturalmente do que nos edifícios residenciais.

**Peso:** Maior para as estruturas comerciais ou escolas, onde o tipo da estrutura pode ser decisivo para o andamento previsto para a obra; e menor para as edificações residenciais, onde o tipo de estrutura não é tão importante e não favorece a modulação.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que atende melhor ao maior número de características do tipo de estrutura; e menor quando a estrutura não contribui e até prejudica algumas necessidades do tipo de obra.

### 4. DISPONIBILIDADE E CUSTO DOS MATERIAIS

É importante acompanhar sempre a disponibilidade e o custo dos materiais básicos usados para as estruturas e para os sistemas complementares, porque mudanças ocorrem constantemente e podem alterar a situação da oferta de um determinado material e sua competitividade. Algumas regiões oferecem determinados materiais de forma abundante, e outras, por dificuldade de transporte e/ou processamento, praticamente inviabilizam a utilização de alguns materiais. No caso de existirem sucedâneos, verificar sempre a relação custo x benefício dos substitutos.

Principais materiais das estruturas de aço e suas disponibilidades/ características:

- **Perfis Compostos Soldados:** Custo elevado de produção, em função das diversas etapas do processo, como o corte das chapas, a montagem e as soldas de composição, com diferentes qualidades de execução das soldas, possuem tensões residuais altas na região da solda. São sempre encontrados sob encomenda, com prazos de entrega entre 30 e 60 dias, e exigem estocagem de chapas. Por outro lado, têm grande versatilidade para execução de dimensões variadas, adequando-se muito bem a projetos especiais com grandes vãos ou limitações de altura.

- **Perfis Compostos Eletrosoldados:** Custo elevado de produção, limitado número de bitolas, tensões altas provenientes da eletrofusão. O processo de solda produz irregularidades na qualidade visual (splash). São encontrados para pronta entrega, e podem ser produzidos com abas desiguais e comprimentos customizados.

- **Perfis Laminados de Abas Paralelas:** Os Perfis Gerdau Açominas são os únicos produzidos no Brasil, em aço de alta resistência, numa ampla variedade de bitolas, com qualidade certificada e, encontram-se disponíveis para pronta entrega. Oferecem

excelente relação preço/peso, são fornecidos em comprimentos de 6 m (bitolas de 150 mm a 310 mm) e 12 m (todas as bitolas) ou em comprimentos especiais sob encomenda.

- **Perfis Laminados Importados:** Os perfis laminados importados têm preço sujeitos à variação cambial, resistência e qualidade dependente da procedência, a entrega é sujeita a confirmação do estoque, e o número de bitolas disponíveis não é constante.

- **Perfis Laminados de Abas Inclínadas:** Maior massa linear do que os perfis laminados de abas paralelas de mesma resistência, em função das características de distribuição de massa dos laminadores antigos, abas inclinadas que exigem calços e arruelas especiais, poucas bitolas variando de 75 mm até 150 mm.

- **Perfis Formados a Frio:** Conformados a partir de chapas finas, têm limitações dimensionais em função da esbelteza da chapa, e são indicados para elementos secundários ou de pequenas dimensões. Existem muitos fornecedores, o controle dimensional é difícil e podem ser encontrados em diversas especificações de aço, inclusive aço não estrutural ou de qualidade desconhecida.

- **Parafusos:** Os parafusos estruturais são encontrados facilmente para pronta entrega nos diâmetros e comprimentos usuais e com acabamento preto ou galvanizado. Para trabalhar junto com estruturas de aços patináveis (resistentes à corrosão), são indicados os parafusos compatíveis que podem não ser encontrados para pronta entrega e, em alguns casos, dependendo do fornecedor, podem estar sujeitos a quantidades mínimas.

**Peso:** Maior para os materiais com ampla oferta, pronta entrega, qualidade garantida e com a melhor relação custo/benefício; e menor para os materiais de qualidade variável, maiores prazos de entrega e custos mais altos.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que dispõe de oferta de materiais com a melhor relação qualidade/custo e com o menor número de itens para controlar; e menor para o sistema que não dispõe de oferta garantida de alguns materiais que atendam as condições e os prazos do projeto e que tenha um grande número de itens para controlar.

### 5. RECURSOS DO CONSTRUTOR

Muitas vezes os equipamentos e outros recursos do construtor podem influenciar na escolha do sistema estrutural para uma obra. Se o construtor possui alguns equipamentos já amortizados, há uma tendência de utilizá-los para reduzir custos, assim como poderia utilizar sua mão de obra já treinada para a construção.

Os recursos do construtor podem ajudar a definir o sistema estrutural, mas não devem inibir a utilização de novas tecnologias, com o risco de deixar a construtora pouco competitiva para alguns tipos de obra. Existe, portanto, o momento certo para testar o desempenho e investir em novos equipamentos.

**Peso:** Maior quando o construtor possui algum equipamento ou mão de obra decisiva para a escolha do sistema estrutural; e menor quando existe pouca influência dos recursos do construtor na escolha.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que se adapta melhor aos equipamentos do construtor; e menor para o sistema estrutural que não teria bom rendimento ou não se adapta aos equipamentos do construtor.

## 6. LOCAL DA OBRA E ACESSOS

É sempre muito importante conhecer bem o local da obra e seus acessos. As condições das estradas de acesso, as distâncias a serem vencidas, os materiais disponíveis na região, as condições topográficas do terreno e seu entorno, a disponibilidade de energia para a obra, e outras interferências, podem definir o sistema estrutural.

A simples falta de observação de uma linha aérea eletrificada na entrada de uma obra, por exemplo, pode exigir o desligamento temporário ou a remoção/deslocamento da linha, demandando em aumento de prazos e custos, além de em alguns casos inviabilizar a entrada ou a operação de um determinado equipamento e vir a exigir outro bem mais caro.

**Peso:** Maior para os locais distantes e de difícil acesso; e menor para os locais próximos da base da construtora e sem problemas de acesso e de fornecimento dos materiais e energia.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que melhor se ajusta as condições verificadas no local da obra; e menor para o sistema que pode vir a ter sérios problemas no local da obra.

## 7. POSSIBILIDADE DE ADAPTAÇÕES E AMPLIAÇÕES

Identificar se uma obra tem ou não possibilidade de vir a necessitar em curto ou médio prazo de adaptações, ampliações e até de desmontagem, pode ser importante para a definição de um sistema estrutural que acompanhe essas modificações com poucos transtornos operacionais e menores custos a longo prazo.

Isto ocorre principalmente com as edificações industriais, onde são muito frequentes as mudanças, tais como o aumento das cargas de projeto, retirada de elementos estruturais que passam a interferir com novos equipamentos e ainda modificações mais drásticas, como a colocação de um novo nível de piso.

**Peso:** Maior quando existe a real possibilidade de modificações de uma obra; e menor quando não existe nenhuma previsão de alterações para a obra.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que melhor se adapta a modificações, garantindo menos transtornos e um menor custo para as mudanças; e menor para o sistema que teria grandes dificuldades e ocasionaria muitos transtornos durante as modificações.

## 8. COMPATIBILIDADE COM SISTEMAS COMPLEMENTARES

A maior precisão das estruturas de aço, com tolerâncias em milímetros, associada à característica de quase sempre conduzir para estruturas mais moduladas, tem viabilizado cada vez mais a indústria dos sistemas complementares que necessitam de padronização, como as lajes pré-fabricadas e as vedações internas e externas.

Observa-se também que a industrialização da construção é um processo que não tem volta e quem se adaptar primeiro terá todas as vantagens de quem sai na frente.

**Peso:** Maior quando a obra utiliza componentes industrializados; e menor quando todos os sistemas complementares são artesanais.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que favorece a interface dos sistemas complementares industrializados pela precisão e modulação; e menor para o sistema que não tem exigência de precisão dimensional e não favorece a modulação.

## 9. MANUTENÇÃO E REPAROS

A vida útil das estruturas envolve uma análise abrangente de todas as etapas do processo construtivo e os engenheiros hoje, que já pensam normalmente no ciclo de vida das estruturas, estão cada vez mais conscientes da necessidade de manutenção e se preparando para fazer o monitoramento e a manutenção preventiva e corretiva das estruturas.

Tem sido constatado nos últimos anos, que o concreto armado, embora sendo um material de construção muito versátil, não é eterno e exige cuidados no projeto, na execução e uma manutenção programada para que seja durável e atenda as necessidades de resistência durante a vida útil prevista para a obra. E a constatação de que as patologias em estruturas de concreto têm custos dos reparos sempre muito altos, principalmente devido a dificuldades de acesso, equilibrou os sistemas de construção do ponto de vista da manutenção e reparos.

Hoje, se sabe que cada sistema tem suas características e seus cuidados específicos. A durabilidade das estruturas depende basicamente do cuidado com os detalhes no projeto, do nível de exposição da estrutura e de uma proteção adequada à agressividade do ambiente. Os problemas com as estruturas de aço são mais facilmente identificáveis e têm, normalmente, baixo custo de reparo.

**Peso:** Maior quando as condições de exposição da estrutura são mais críticas ou quando se necessita de uma vida útil maior; e menor quando o ambiente não é agressivo e o monitoramento é mais fácil.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que, em função das condições de exposição e pela facilidade de inspeção, atende as expectativas de vida útil com o menor custo de manutenção; e menor para o sistema com a menor vida útil e/ou maior custo de manutenção.

## 10. VÃOS LIVRES E ALTURA DA EDIFICAÇÃO

Projetos podem exigir grandes vãos livres e/ou grandes alturas e, portanto, conduzir para um sistema estrutural com componentes mais leves e mais resistentes. O sistema mais adequado deve vencer os grandes vãos e as grandes alturas ocupando o menor espaço estrutural e liberando áreas para a ocupação útil da edificação.

As vigas de aço, quando travadas lateralmente pelo sistema de lajes, trabalhando isoladamente ou como viga mista em conjunto com a própria laje (sistema muito

eficiente que utiliza as melhores características do aço e do concreto), podem alcançar grandes vãos livres, sempre com as menores alturas finais. Observa-se que alguns tipos de lajes pré-fabricadas não permitem ou não podem contribuir adequadamente com as vigas de aço.

**Peso:** Maior quando a arquitetura exige grandes vãos livres e/ou grandes alturas livres; e menor para os projetos com vãos pequenos e médios.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que vence com mais facilidade os grandes vãos, ocupando o menor espaço estrutural; e menor para o sistema que exige grandes dimensões de vigas e pilares.

## 11. PROTEÇÃO

Hoje, se entende que todos os sistemas estruturais necessitam de proteção para garantir um desempenho adequado durante a vida útil prevista para a obra. Esta proteção pode ser intrínseca do próprio material e/ou obtida através de revestimentos protetores, como a pintura e os revestimentos metálicos. É aceito também que toda a proteção precisa de manutenção periódica que demanda eventuais interrupções para os usuários e envolve custos.

Portanto, um cuidado especial deve ser dado na escolha dos materiais e seus respectivos sistemas de proteção. Se os tipos de patologias conhecidas exigirem altos custos de reparos durante a vida da obra, deve-se analisar se um material que requeira uma proteção inicial maior pode representar uma escolha de menor custo a longo prazo, levando-se em conta os reflexos das interrupções necessárias e os custos de execução dos reparos.

**Peso:** Maior quando o material e as condições de exposição exigem proteção pesada; e menor quando as condições de exposição não exigem proteção.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural com resistência intrínseca ou menor custo de proteção; e menor para o sistema que exige alto custo de proteção.

## 12. DURABILIDADE

A durabilidade das estruturas é a sua capacidade de manter ao longo do tempo um desempenho compatível com a utilização prevista e depende do projeto, da qualidade da execução e do controle dos mecanismos de deterioração que podem gerar patologias a médio e longo prazo.

As estruturas de aço, produzido em usinas, com qualidade garantida, tem um número muito pequeno de variáveis a controlar (basicamente o tipo de aço e o sistema de proteção), fazendo com que as estimativas da durabilidade sejam muito mais fáceis e confiáveis que de outros sistemas mais complexos e com um maior número de mecanismos de deterioração.

**Peso:** Maior quando o ambiente é mais agressivo e a manutenção preventiva não está prevista ou é de difícil execução; e menor quando o ambiente é menos agressivo e a manutenção prevista é de fácil execução.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que tem resistência intrínseca e garantida aos mecanismos de deterioração ou resistência

baseada em um sistema de proteção garantido; e menor para o sistema que não pode apresentar garantia efetiva de durabilidade.

### 13. ESTÉTICA

A estética de uma obra é sempre importante, mas para alguns tipos de edificações ela pode ser um dos aspectos primordiais, como nos edifícios sede e alguns tipos de obras públicas.

A estética das estruturas de aço inspira normalmente uma característica de modernidade nas obras e por isto mesmo existe uma tendência de expor a estrutura como parte principal da arquitetura, com seus elementos retílineos, inclinados, grandes vãos, balanços, etc. Mas é importante lembrar que estrutura exposta é estrutura com maiores custos de proteção e manutenção. Portanto, deve-se dosar o nível de exposição ao mínimo necessário para garantir uma estética compatível com cada tipo de edificação. Na arquitetura do aço, quando se tira partido estético de elementos estruturais, tudo parece bem, mas se os elementos estéticos são apenas adereços, sem função estrutural, o resultado estético quase sempre não é bom.

**Peso:** Maior quando a estética comanda o partido arquitetônico; e menor quando a estética não é relevante para o resultado da obra.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que atende as exigências estéticas da arquitetura com melhores resultados e menores custos; e menor para o sistema que não atende ao partido arquitetônico ou só consegue com altos custos.

### 14. DESPÉRCIO DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA

Sabe-se que é muito grande o desperdício de materiais e de mão de obra na construção convencional artesanal e que a solução para reduzir este desperdício nas obras aponta para a racionalização da estrutura e o emprego de materiais pré-fabricados, conseguindo assim otimizar todo o processo de produção, fazendo um melhor aproveitamento dos materiais e serviços e reduzindo os índices de desperdícios a praticamente zero.

A construção em aço é industrializada por natureza, o que garante níveis mínimos de perdas. Entretanto a chave para uma obra sem desperdícios é o planejamento, otimizando cada material e suas interfaces, de forma a garantir o melhor resultado para o conjunto da obra.

Uma estrutura mais padronizada pode não ser a solução isolada mais econômica. Entretanto, se a padronização da estrutura ajuda a otimizar outros subsistemas, o resultado final pode ser muito compensador.

**Peso:** Maior quando se busca reduzir os desperdícios por razões econômicas e/ou de consciência ecológica.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que consegue os mais baixos índices de desperdício.

### 15. SEGURANÇA DO TRABALHADOR

As estruturas em aço, assim como toda construção industrializada, incorporaram nos

últimos anos muitas das conquistas da indústria e talvez a mais importante seja a redução dos índices de acidentes nas obras pelos esforços de conscientização associados à utilização de equipamentos modernos de proteção individual.

Como o processo de construção das estruturas de aço é totalmente controlado, desde a fabricação até a montagem final, atinge-se para o trabalhador níveis de segurança semelhantes aos alcançados pela indústria, tanto para o ambiente de fábrica como para os canteiros de obra.

**Peso:** Maior quando se valoriza a segurança do trabalhador, mesmo com algum custo adicional.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que dá a maior garantia de segurança para o trabalhador, comprovada através de observações e índices estatísticos.

### 16. CUSTOS FINANCEIROS

Conhecer os custos financeiros de qualquer empreendimento pode ser a chave de uma escolha. Por exemplo, os ganhos financeiros com a antecipação do cronograma de um edifício comercial podem ser de mesma grandeza que o custo das próprias estruturas. O que importa é constatar que, independentemente da estrutura ter custos mais altos, ela pode estar viabilizando o melhor resultado para o empreendimento. Outro custo financeiro que deve ser levado em conta é o valor presente dos diversos sistemas estruturais, considerando os custos previstos de manutenção e reparos.

Cada empreendimento tem uma equação financeira a ser resolvida, e a análise da taxa de retorno poderá conduzir para um sistema estrutural mais rápido como as estruturas de aço.

**Peso:** Maior quando se trata de um empreendimento onde os ganhos financeiros com a redução do prazo da obra podem ser contabilizados e avaliados junto com os custos de construção; e menor quando não existe ganho financeiro ou este não pode ser avaliado corretamente.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que consegue a maior redução no cronograma da obra, pela rapidez da própria estrutura e/ou pela possibilidade da execução paralela dos diversos subsistemas.

### 17. ADEQUAÇÃO AMBIENTAL

A construção em aço é o método de construção mais rápido e limpo. Racionalidade no uso dos materiais e baixo nível de desperdícios (a precisão é milimétrica), são características que favorecem o aço quanto ao impacto no meio ambiente.

Esgotada a vida útil da edificação, o aço pode retornar sob forma de sucata aos fornos das usinas siderúrgicas para ser reprocessado, sem perda de qualidade. O aço é o material mais reciclado no mundo (40% da produção mundial é a partir de sucata ferrosa).

**Peso:** Maior quando a adequação ambiental é considerada importante para o empreendedor ou para atender legislação ambiental.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que melhor atende a legislação ambiental.

### 18. QUALIDADE

Na comparação entre sistemas, não devemos levar em conta apenas os custos relativos, mas também a qualidade de cada um deles. Sistemas mais caros podem apresentar melhor qualidade e agregar algumas características importantes, mesmo que a diferença só apareça a médio ou longo prazo. A construção em aço nasce nas usinas e é quase totalmente executada em fábricas sob condições controladas, garantindo assim as especificações e a qualidade de seus componentes.

**Peso:** Maior quando a qualidade é importante e pode até aceitar eventuais custos maiores; e menor quando somente os custos iniciais importam.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que agrega um melhor controle com menor número de variáveis críticas para a qualidade.

### 19. DESEMPENHO

Os sistemas estruturais podem ter diferentes desempenhos em função dos requisitos específicos para cada obra. As estruturas de aço, por exemplo, tem comportamento constante, mas podem apresentar maiores deformações e são sempre mais elásticas para responder às ações dinâmicas. Já as estruturas de concreto podem apresentar mudanças de comportamento ao longo do tempo, são mais rígidas e por isso podem não responder bem quando submetidas às ações dinâmicas.

O importante é dimensionar corretamente cada sistema, dentro dos limites das normas e observando as características de cada um. Em alguns casos o desempenho de um sistema em relação a algum requisito pode influenciar a escolha, como já acontece nas obras industriais e outras edificações.

**Peso:** Maior quando algum requisito de desempenho pode influenciar na escolha do sistema estrutural; e menor quando qualquer sistema, desde que dimensionado corretamente pode atender a todas as exigências da obra.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que melhor atende a requisitos de desempenho importantes; e menor quando o sistema não consegue responder adequadamente ao desempenho previsto.

### 20. INCÔMODOS PARA AS ÁREAS PRÓXIMAS

A construção em aço pode reduzir dramaticamente o impacto das atividades da obra nas áreas vizinhas, principalmente nos locais próximos a áreas residenciais, hospitais e escolas. A construção em aço, além do menor prazo, produz muito menos ruídos e poeira, além de quase não gerar lixo e entulhos. A montagem pode ser programada para os horários mais favoráveis de tráfego, minimizando as interferências nas vias de acesso e mantendo em níveis mínimos os incômodos para as áreas vizinhas comuns a toda obra.

**Peso:** Maior quando a obra está próxima de áreas residenciais, hospitais ou escolas; e menor quando não existam edificações vizinhas sensíveis aos incômodos da obra.

**Nota:** Maior para o sistema estrutural que consegue incomodar menos as áreas próximas da obra.

## Como usar a tabela

O quadro abaixo destaca um exemplo (hipotético) da aplicação prática do método proposto para organizar o processo de escolha do sistema estrutural mais adequado, tendo como base um edifício comercial de múltiplos andares. Foi estabelecido para cada característica um peso (entre 1 e 5) em função da sua importância para a obra e, para cada sistema estrutural, uma nota (entre 1 e 10), baseada nas análises de custos e todas as demais influências. O resultado está representado pelas médias aritméticas ponderadas de cada sistema. A maior média indica o sistema mais adequado para a obra.

Item	Característica	Peso	Sistema todo em Aço	Notas	
				Sistema todo em Concreto	Sistema Híbrido Aço e Concreto
1	Fundações	3	9	7	7
2	Tempo de Construção	5	10	8	9
3	Tipo de Ocupação	5	10	7	9
4	Disponibilidade e custo Materiais	4	8	9	7
5	Recursos do Construtor	3	8	7	8
6	Local da Obra e acessos	3	8	9	6
7	Possibilidade de adaptações e ampliações	4	10	7	6
8	Compatibilidade com sistemas complementares	4	10	8	9
9	Manutenção e reparos	3	8	7	9
10	Vãos livres e altura da edificação	4	9	7	8
11	Proteção	3	7	9	10
12	Durabilidade	5	9	9	9
13	Estética	5	9	8	6
14	Desperdício de materiais e mão de obra	4	10	7	9
15	Segurança do trabalhador	5	9	6	8
16	Custos financeiros	3	9	7	9
17	Adequação ambiental	3	9	7	8
18	Qualidade	5	9	7	8
19	Desempenho	5	8	8	8
20	Incômodos para as áreas próximas	4	9	6	7
Média = (peso x nota) / peso		80	8,98	7,50	8,00

