

Engenharia estrutural prepara expansão industrial

Na ampliação da fábrica da Toyota em Sorocaba (SP), a estrutura deixou de ser apenas suporte para a cobertura e passou a integrar a estratégia produtiva da unidade. A combinação entre concreto pré-moldado, estruturas metálicas, modelagem BIM e planejamento industrializado permitiu criar grandes áreas livres, preparadas para futuras reconfigurações de linhas de produção, instalação de novos equipamentos e adaptação contínua da planta fabril. Ao todo, a intervenção utilizou cerca de 3.100 toneladas de aço em 56 mil m² de novas edificações. . Por Gustavo Curcio | Fotos Gui Uemura

"Em sistemas estruturais híbridos, o aço pode ser considerado o elemento organizador quando vigas e cobertura metálica assumem o papel principal na distribuição de cargas e na integração entre os sistemas."

Ricardo Pinho, Superintendente de Obras da Teixeira Duarte.

Historicamente, projetos industriais eram desenvolvidos para responder a uma determinada configuração produtiva. Linhas de montagem, equipamentos, pontes rolantes e sistemas de utilidades eram incorporados à estrutura de maneira praticamente definitiva. Com o avanço da automação, da manufatura enxuta e da Indústria 4.0, essa lógica tornou-se insuficiente.

Hoje, uma planta industrial precisa nascer preparada para mudanças constantes. Novos robôs, equipamentos automatizados, transportadores aéreos, sistemas de exaustão e processos fabris podem exigir reorganizações completas em intervalos relativamente curtos. A engenharia estrutural deixa, portanto, de atender apenas às cargas permanentes da edificação para incorporar um requisito adicional: flexibilidade operacional ao longo de décadas.

Essa premissa orientou a am-

pliação da fábrica da Toyota em Sorocaba, executada pela Teixeira Duarte Engenharia e Construções.

A intervenção integra um programa de expansão que elevou a área construída da unidade de aproximadamente 40 mil para cerca de 160 mil m². Dentro desse conjunto, a construtora foi responsável pela execução de aproximadamente 56 mil m² destinados aos edifícios de Pintura, Utilidades e Refeitório. O projeto arquitetônico ficou a cargo da Minerbo Fuchs, enquanto a estrutura metálica foi projetada e fabricada pela Alufer S.A. Segundo Ricardo Pinho, superintendente de obras da Teixeira Duarte, a estrutura foi concebida para desempenhar papel organizador da própria operação industrial. "Em sistemas estruturais híbridos, o aço pode ser considerado o elemento organizador quando vigas e cobertura metálica assumem o papel principal na distribuição de cargas e na integração entre os sistemas."



Estrutura híbrida distribui funções conforme a eficiência de cada material

Embora frequentemente classificados apenas como "sistemas híbridos", os edifícios da ampliação adotam uma lógica mais sofisticada do que a simples combinação entre concreto e aço. Cada material foi empregado segundo sua maior eficiência estrutural.

Os pilares pré-moldados concentram a transmissão das cargas verti-

cais para as fundações. As vigas metálicas constituem a malha resistente principal. Treliças metálicas vencem os maiores vãos da cobertura.

Nos mezaninos foram utilizados sistemas mistos aço-concreto, explorando simultaneamente a resistência do concreto à compressão e do aço à tração. Segundo a equipe da Minerbo Fuchs, esse arranjo foi desenvolvido somente após o posicionamento definitivo dos pilares, cuja localização foi condicionada

pelo fluxo produtivo da fábrica.

"Uma vez mapeadas as melhores posições para os pilares de concreto pré-moldado — visando a não interferência no fluxo fabril —, o sistema híbrido foi concebido sob uma lógica de máxima eficiência entre materiais e sistema construtivo", explica Guilherme Frank, coordenador de projeto da Minerbo Fuchs. Na prática, a estrutura deixa de organizar apenas o edifício. Ela passa a organizar a própria fábrica.

"Uma vez mapeadas as melhores posições para os pilares de concreto pré-moldado — visando a não interferência no fluxo fabril —, o sistema híbrido foi concebido sob uma lógica de máxima eficiência entre materiais e sistema construtivo."

Guilherme Frank,
coordenador de projeto da
Minerbo Fuchs.



A montagem dos pilares pré-moldados marcou uma das etapas centrais da ampliação da fábrica da Toyota em Sorocaba (SP). Produzidos em ambiente industrial e instalados com controle rigoroso de posicionamento e nivelamento, os elementos estruturais serviram de base para a montagem das vigas metálicas e das treliças de cobertura, permitindo a execução sequencial da estrutura híbrida e reduzindo interferências no cronograma da obra.



Grandes vãos reduzem restrições futuras

O principal benefício dessa solução aparece nas áreas produtivas. Ao substituir sucessões de pilares internos por treliças e vigas metálicas de grandes vãos, amplia-se a liberdade para reorganização do layout industrial.

- Transportadores aéreos.
- Pontes técnicas.
- Linhas robotizadas.
- Equipamentos de pintura.
- Sistemas de ventilação.

Todos passam a encontrar menos restrições estruturais. Segundo Edson Valandro, diretor de obra da Teixeira Duarte, "As vigas metálicas e treliças permitem vencer grandes vãos com menor peso próprio, reduzindo a quantidade de pilares internos e ampliando as áreas livres para instalação e reconfiguração de equipamentos."

Projeto estrutural nasceu integrado ao processo fabril

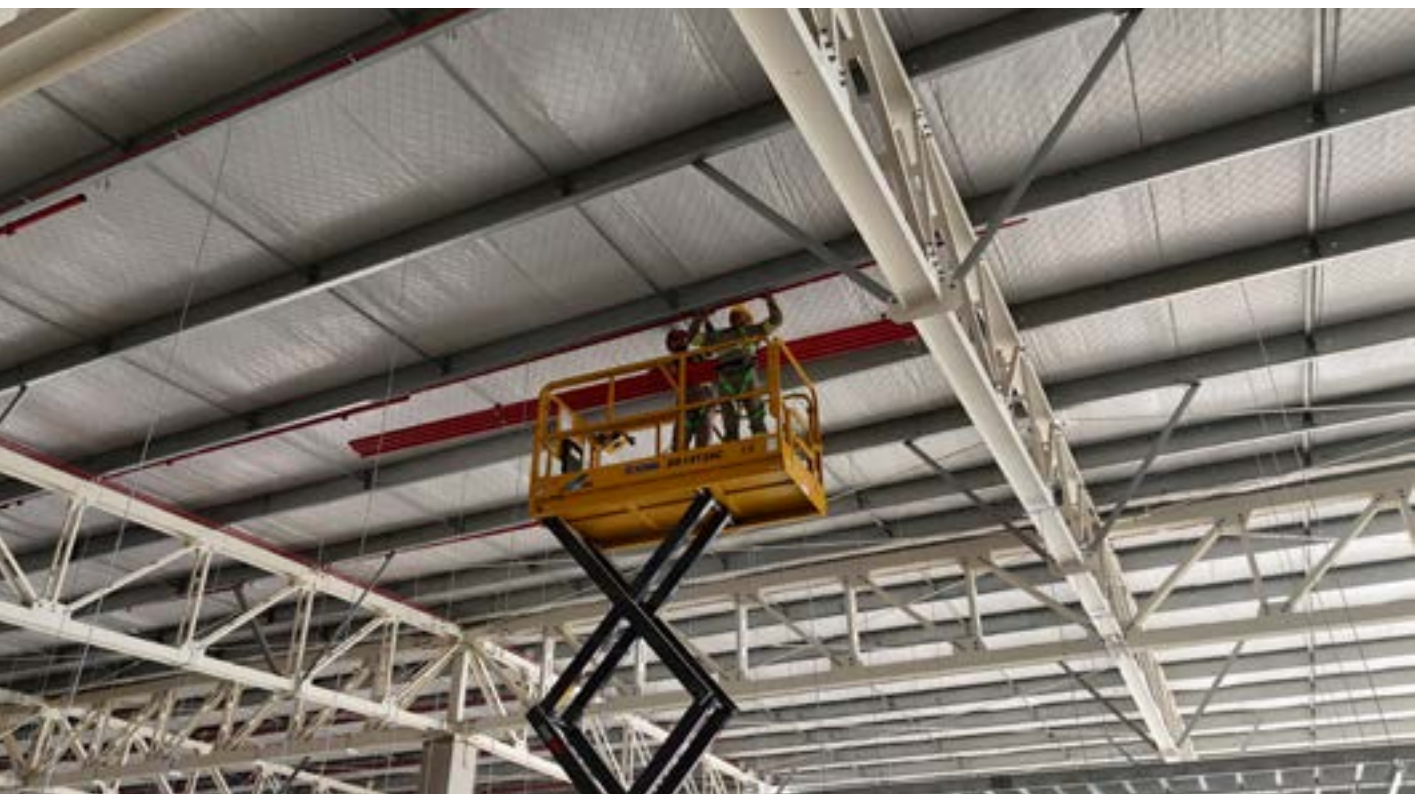
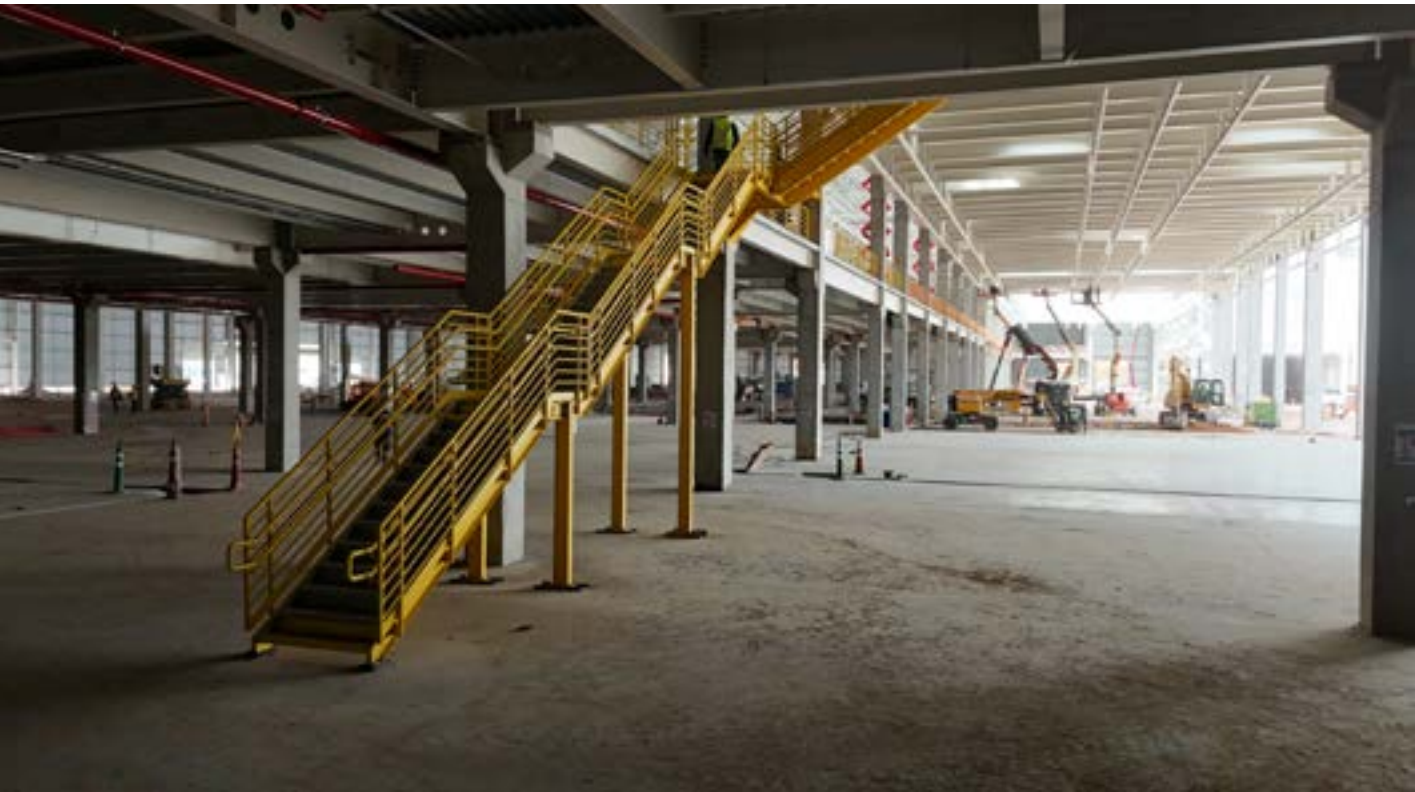
Outro aspecto pouco comum em empreendimentos convencionais foi a inversão da sequência tradicional de projeto. Em vez de desenvolver arquitetura e estrutura para, posteriormente, compatibilizar as instalações industriais, as chamadas "avenidas de utilidades" foram pré-dimensionadas antes mesmo do detalhamento completo dos sistemas industriais.

Segundo a Guilherme Frank, "partimos pelo pré-dimensionamento de avenidas de utilidades, em que os pesos foram estimados conforme pré-dimensionamentos e expertise interna." A estratégia permitiu reservar capacidade estrutural para futuras ampliações sem necessidade de reforços posteriores.



BIM reduz incertezas na montagem
A industrialização da ampliação da fábrica só foi viabilizada pelo emprego da modelagem da informação da construção (BIM) como plataforma de coordenação entre todas as disciplinas do projeto. Arquitetura, estrutura, instalações prediais, equipamentos industriais, sistemas de ventilação e automação foram desenvolvidos e compatibilizados em modelos tridimensionais integrados, permitindo antecipar a identificação de interferências antes do início da execução. Segundo a Teixeira Duarte, esse processo possibilitou corrigir incompatibilidades ainda nas fases de engenharia, reduzindo conflitos entre sistemas, retrabalhos e riscos durante a obra. Além de aprimorar a coordenação entre os projetos, o BIM foi utilizado no planejamento da sequência executiva e na logística de fabricação, transporte e montagem dos componentes industrializados, contribuindo para maior previsibilidade do cronograma e controle das atividades em campo.

Além de aprimorar a coordenação entre os projetos, o BIM foi utilizado no planejamento da sequência executiva e na logística de fabricação, transporte e montagem dos componentes industrializados, contribuindo para maior previsibilidade do cronograma e controle das atividades em campo.



“Grande parte dos componentes estruturais é fabricada previamente, com controle de qualidade e precisão dimensional. No canteiro, a execução passa a ter caráter predominantemente sequencial e de montagem” Edson Valandro, diretor de obra da Teixeira Duarte.

Precisão dimensional torna-se requisito industrial

Em edificações industriais de alta complexidade, o desempenho estrutural está diretamente relacionado à precisão necessária para a instalação e operação de equipamentos automatizados. Pequenas deformações ou desvios geométricos podem comprometer o alinhamento de linhas de produção, pontes técnicas e sistemas robotizados, exigindo um nível de controle superior ao normalmente adotado em obras convencionais. Na ampliação da fábrica da Toyota, o controle dimensional incluiu monitoramento topográfico contínuo, inspeções durante a fabricação dos componentes, auditorias dimensionais das estruturas metálicas e critérios específicos para limitar deslocamentos dos mezaninos. Segundo Guilherme Frank, coordenador de projetos da Minerbo Fuchs, "foram especificados limites especiais de deslocabilidade na deformação dos mezaninos para garantir a linearidade necessária à instalação dos equipamentos". Dessa forma, o controle geométrico deixou de ser apenas um procedimento de verificação executiva para tornar-se um requisito fundamental ao desempenho industrial da edificação.

Industrialização muda o canteiro

A adoção de sistemas industrializados também modificou significativamente a dinâmica de execução da obra. Em vez de concentrar a maior parte das atividades no canteiro, o empreendimento transferiu uma parcela importante da produção para o ambiente fabril, permitindo que diferentes etapas ocorressem simultaneamente. Enquanto as fundações eram executadas em Sorocaba, pilares pré-moldados, vigas e treliças metálicas eram fabricados sob condições controladas, com elevado rigor dimensional e tecnológico. Esse paralelismo reduziu interferências entre as frentes de trabalho e permitiu que a etapa de campo se concentrasse predominantemente na montagem dos componentes. Segundo Edson Valandro, diretor de obra da Teixeira Duarte, "grande parte dos componentes estruturais é fabricada previamente, com controle de qualidade e precisão dimensional. No canteiro, a execução passa a ter caráter predominantemente sequencial e de montagem". O resultado foi um processo construtivo mais previsível, com maior controle sobre prazos, qualidade e logística de execução.



A estrutura de cobertura (acima) é formada por treliças metálicas dimensionadas para vencer grandes vãos com elevada eficiência estrutural e baixo peso próprio. A solução reduz a necessidade de apoios intermediários, amplia as áreas livres para instalação de equipamentos industriais e facilita futuras adaptações das linhas de produção, um dos principais objetivos da ampliação da unidade da Toyota em Sorocaba.

As vigas metálicas modulares da cobertura (abaixo) foram dimensionadas para vencer grandes vãos e minimizar a presença de pilares nas áreas produtivas, ampliando a flexibilidade para futuras reconfigurações do layout industrial. Fabricadas em ambiente controlado, as peças chegaram prontas ao canteiro para montagem sequencial, contribuindo para maior precisão dimensional, redução de retrabalhos e agilidade na execução da estrutura híbrida.



Engenharia para os próximos 30 anos

O principal legado da ampliação da fábrica da Toyota em Sorocaba talvez não esteja apenas na adoção de estruturas metálicas, na industrialização do processo construtivo ou na velocidade de execução da obra, mas na mudança de paradigma que orientou seu desenvolvimento. Em vez de dimensionar a estrutura exclusivamente para resistir às cargas permanentes e às solicitações previstas para a operação atual, o projeto foi concebido para acomodar futuras transformações do processo produtivo, permitindo a incorporação de novas tecnologias, equipamentos e configurações fabris ao longo de sua vida útil. Para Ricardo Pinho, engenheiro da Teixeira Duarte, "a engenharia estrutural ultrapassa a função tradicional de suporte físico e passa a atuar como infraestrutura estratégica para a evolução da planta industrial". Essa abordagem reflete uma tendência crescente na engenharia industrial contemporânea, na qual a flexibilidade deixa de ser uma característica complementar para tornar-se um requisito de desempenho. Em um cenário de rápida evolução tecnológica, projetar edificações capazes de absorver sucessivas mudanças operacionais representa um diferencial tão importante quanto garantir resistência, estabilidade e durabilidade estrutural.

"A engenharia estrutural ultrapassa a função tradicional de suporte físico e passa a atuar como infraestrutura estratégica para a evolução da planta industrial."

Ricardo Pinho, da Teixeira Duarte.