

VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA E EFICIÊNCIA CONSTRUTIVA DAS ESTRUTURAS MISTAS EM AÇO E CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

NONLINEAR ANALYSIS OF TRUSSES WITH THE CO-ROTATIONAL FORMULATION OF FINITE ELEMENTS AND DIFFERENT STRAIN MEASURES

*José Aroldo Menezes Costa*¹

Resumo: Na construção civil, as estruturas mistas de aço e concreto representam uma sinergia harmoniosa que conferem resistência, durabilidade e uma distribuição eficiente de cargas. Seu desempenho estrutural assegura estabilidade construtiva, ao mesmo tempo em que possibilita a redução de custos e do tempo de construção, com uma economia significativa de materiais se revelando uma escolha econômica e inovadora para uma variedade de projetos arquitetônicos e de engenharia. Além disso, a eficiência construtiva dessas estruturas promove uma execução rápida, minimizando o desperdício de materiais e garantindo a qualidade das construções, representando um avanço tecnológico significativo no cenário da construção civil.

Palavras-chaves: Construção civil, Economia, Estruturas mistas, Inovação, Resistência.

Abstract: *In civil engineering, steel and concrete composite structures represent a harmonious synergy that provides strength, durability, and efficient load distribution. Their structural performance ensures construction stability while enabling cost and time reduction, with significant material savings, making them an economical and innovative choice for various architectural and engineering projects. Additionally, the construction efficiency of these structures facilitates rapid execution, minimizing material waste and ensuring construction quality, representing a significant technological advancement in the civil engineering sector.*

Keywords: *Civil construction, Economy, Composite structures, Innovation, Resistance.*

¹ Universidade Norte do Paraná – Brasil, e-mail: aroldojmc@gmail.com.br

1 Introdução

As estruturas mistas na construção civil têm despertado interesse devido aos seus benefícios técnicos e construtivos. Ao combinar materiais como concreto e aço, proporcionam vantagens, como a redução de custos e otimização do tempo de execução. Sua utilização atende aos requisitos de resistência, durabilidade e flexibilidade no projeto. Para Niespodzinski e Metzger (2011) os sistemas mistos de aço-concreto favorecem a rapidez e facilidade de execução, sem causar grandes acréscimos no custo final da edificação.

Alva e Malite (2005) destacam a vantagem das estruturas mistas em vencer grandes vãos devido à combinação da rigidez do concreto na resistência aos carregamentos laterais e, o menor peso do aço. Por sua vez, Pinho (2008) ressalta a flexibilidade inerente a esse tipo de sistema, ampliando as possibilidades arquitetônicas e aprimorando as disposições construtivas. Peixoto e Rodrigues (2016), por fim, enfatizam que a interação entre o aço e o concreto possibilita a deformação conjunta dos materiais, reduzindo as dimensões da seção transversal, gerando mais espaço livre e diminuindo as cargas verticais sobre as fundações.

As estruturas mistas na engenharia civil representam uma evolução, unindo a resistência do aço à versatilidade do concreto, resultando em soluções que otimizam processos construtivos, minimizam impactos financeiros e aceleram projetos. Portanto, o objetivo desse trabalho é explorar os benefícios, os desafios e o potencial dessas estruturas, sendo tema relevante para os profissionais que buscam harmonizar aspectos técnicos e econômicos sem comprometer a viabilidade orçamentária dos projetos.

A metodologia adotada compreendeu critérios estritos de inclusão, priorizando publicações científicas, livros acadêmicos, teses, artigos e dissertações que se concentrassem diretamente nessa temática. A seleção criteriosa dessas fontes contribuiu para assegurar a qualidade e a relevância dos dados coletados. Isso, por sua vez, possibilitou sua organização e categorização em temas específicos, fornecendo assim a base essencial para a estruturação da narrativa deste estudo.

A pesquisa abrange as características técnicas, financeiras e construtivas das estruturas mistas. Analisando a literatura especializada, buscou-se compreender as características projetuais e de desempenho dessas estruturas. A Tabela 1 sintetiza os autores e suas principais contribuições sobre o estudo das estruturas mistas, enfatizando sua performance estrutural e a otimização das obras de construção, abordagens que são fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Tabela 1: Contribuições literárias sobre o estudo das estruturas mistas.

Autor / Ano	Principais Contribuições
Alva e Malite (2015), Alva (2000)	Comportamento estrutural dos elementos mistos e a distribuição eficiente de esforços, destacando a adesão crescente no Brasil às estruturas mistas aço-concreto.
Corrêa e Dauzacker (2015), Niespodzinski e Metzger (2011), Vasconcelos (2019).	Vantagens econômicas das estruturas mistas, como a redução nos custos de construção e no consumo de concreto, além da racionalização dos materiais, da execução e dos prazos de entrega das obras.
Alva e Malite (2015),	Desempenho estrutural, agilidade construtiva e flexibilidade dos

Corrêa e Dauzacker (2015), Pinho (2008), Peixoto e Rodrigues (2016)	sistemas mistos com economia decorrente da redução de seções e peso, além da capacidade de vencer grandes vãos.
---	---

Fonte: Autoria própria (2024)

2. VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA

As propriedades de aderência entre o concreto e o aço são fundamentais para garantir a transferência eficiente de cargas garantindo a estabilidade estrutural da construção. A análise das tensões e deformações nos elementos mistos é realizada considerando os diferentes comportamentos dos materiais sob diferentes condições de carga, permitindo a determinação precisa das dimensões e seções transversais. Essas premissas não apenas contribuem para o desempenho estrutural, mas também para o planejamento técnico e financeiro das construções mistas, garantindo a eficiência e a viabilidade econômica dos projetos.

2.1 Características comportamentais das estruturas mistas

As estruturas mistas de aço e concreto são conhecidas por aumentar a rigidez das construções devido à conexão sólida entre os materiais, formando uma ligação monolítica. Essa combinação permite que o aço, com sua deformação mais elástica, e o concreto, mais rígido, trabalhem em conjunto, absorvendo cargas sem comprometer a integridade estrutural. Para formar essas estruturas, são necessários quatro elementos principais: vigas mistas, pilares mistos, lajes mistas e conectores.

Nos estudos de Alva e Malite (2015) sobre o comportamento estrutural dos elementos mistos, o dimensionamento de vigas mistas sob flexão é influenciado pela ligação aço-concreto, com duas situações distintas: interação completa e parcial. Já as lajes mistas consideram-se a resistência do concreto, as características da fôrma de aço e ancoragem, abordando estados limites como: flexão, cisalhamento, punção e fissuração. No cálculo para o estado limite último, são avaliadas a resistência ao momento e cisalhamento.

Os pilares mistos são analisados em três aspectos estruturais: efeito de confinamento, retração e fluência, e conexão aço-concreto. No efeito de confinamento, o concreto gera pressões radiais na interface aço-concreto, com deformações transferidas ao perfil de aço após o endurecimento, exibindo menores efeitos de retração nos pilares mistos. Os conectores de cisalhamento têm seu desempenho estrutural na relação entre a força transmitida e o escorregamento relativo na interface aço-concreto, garantindo seu comportamento "dúctil".

Alva (2000) divide as estruturas mistas em sistemas horizontais e verticais. No sistema horizontal, a ligação do aço à laje de concreto é feita por conectores de cisalhamento, como pinos, perfis laminados e barras redondas. Também podem ser utilizadas vigas de aço contidas lateralmente, eliminando o estado limite de flambagem lateral com torção após o endurecimento do concreto. No sistema vertical, os elementos têm a função de transmitir as ações gravitacionais e horizontais às fundações, conferindo estabilidade global e resistência ao vento.

2.2 Relação custo-benefício

Os altos custos das obras levam muitos empresários a optarem o sistema construtivo tradicional, evitando investir em novas tecnologias. No entanto, os elementos mistos, como o

aço-concreto, oferecem vantagens em durabilidade, agilidade na execução e racionalização dos materiais, resultando em economias a médio e longo prazo. Isso contrasta com o sistema convencional, que, apesar de inicialmente mais barato, pode gerar problemas construtivos e desperdícios, aumentando os gastos futuros com manutenção.

No artigo sobre a viabilidade financeira de estruturas mistas e híbridas de aço/concreto pré-fabricadas, Vasconcelos (2019) destaca que os custos associados a esses elementos tendem a ser inferiores aos métodos convencionais. A análise de risco em projetos com prazos reduzidos mostra uma tendência à redução dos custos de mão de obra e materiais estruturais, sugerindo que as estruturas mistas podem ser até 1,3% mais econômicas do que as tradicionais. Entre outras vantagens, o autor também menciona o aumento da precisão dimensional com redução no uso de materiais de acabamento e, menor necessidade de guindastes e guias quando comparadas às estruturas de concreto pré-moldado.

Corrêa e Dausacker (2015) concluíram em sua pesquisa que as estruturas mistas proporcionam uma economia significativa de 21,66% no consumo de concreto em comparação com o sistema convencional. Além disso, no sistema misto de laje steel deck, o consumo de concreto é baixo para uma laje de 16 cm de altura, em comparação com as lajes convencionais, que têm uma altura entre 7 a 11 cm e consomem mais concreto. Os autores ainda destacam que o desperdício no sistema convencional de lajes maciças e outros elementos de concreto armado podem chegar a exceder 25% em comparação com o misto.

O estudo de Niespodzinski e Metzger (2011) investigou a viabilidade de edificações unifamiliares de até 200 m² em estrutura mista - aço/concreto, concluindo que os custos totais entre os modelos de construção mista e convencional são próximos, conforme Gráfico 01. As autoras ressaltam que a construção com estrutura mista racionaliza a execução dos serviços e reduz o desperdício de materiais, além de resultar em prazos menores de entrega da obra, mitigando escassez de mão de obra e atrasos.

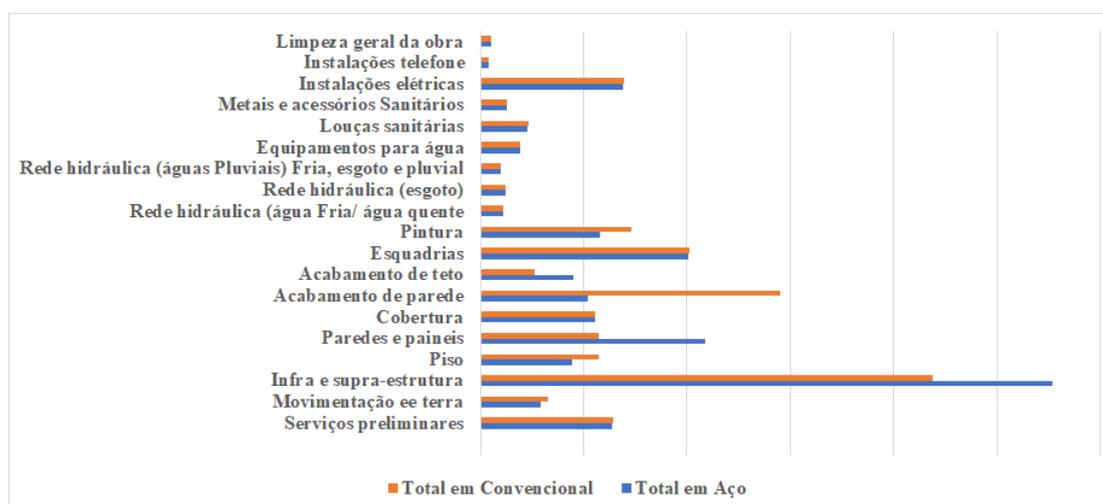


Gráfico 1: Comparativo de preços de execução entre estrutura de Aço e Convencional, adaptado de Niespodzinski e Metzger (2011)

3 2.2. EFICIÊNCIA CONSTRUTIVA

As estruturas mistas em aço-concreto oferecem uma montagem em loco semelhante à das estruturas metálicas, aumentando a praticidade na execução. Embora exijam mão-de-obra mais qualificada, contribuem para um canteiro de obras mais limpo. Além disso, a utilização

de elementos mistos busca a industrialização na produção de edifícios, seguindo princípios de gestão da qualidade e racionalização, visando melhores produtos finais e economia.

3.1 Desempenho tecnológico e construtivo

Os sistemas mistos integram elementos de alta resistência, combinando a capacidade do aço à tração com a resistência à compressão do concreto para suportar cargas significativas e resistir a forças externas como ventos e sismos. Isso garante segurança e durabilidade às edificações. Além disso, características como a proteção contra a corrosão do aço, resistência ao fogo e redução da necessidade de manutenção contribuem para prolongar a vida útil da construção.

Corrêa e Dauzacker (2015) destaca que o aço utilizado em estruturas mistas é fabricado em siderúrgicas que seguem as especificações normativas, passando por rigorosa inspeção de qualidade. Cada tipo apresenta uma determinada resistência ao fogo. Além disso, o revestimento de concreto cria uma barreira resistente às chamas, limitando a transferência de calor para o aço estrutural promovendo uma camada protetora contra fogo e corrosão.

Segundo Pinho (2008) o aço utilizado em sistemas estruturais mistos aumenta a resistência em 90% em comparação com o concreto armado, que tem um aumento de 40%, reduzindo assim o consumo de aço. Além disso, o aço em estruturas mistas oferece maior controle de qualidade, minimizando o acúmulo de resíduos e os gastos com sua remoção. De acordo com o autor, o concreto tem seu volume de uso reduzido devido à diminuição das seções proporcionada pela resistência superior dos perfis de aço, resultando em uma estrutura mais leve. Isso implica em uma necessidade menor de estacas por base nas fundações.

Os autores Corrêa e Dauzacker (2015) enfatizam que a execução da estrutura mista possibilita mais frentes de trabalho simultâneas, com a possibilidade de outras atividades serem desenvolvidas em conjunto. O processo de trabalho requer mão de obra especializada que atenda à racionalização estrutural com materiais pré-fabricados, propiciado pelo conhecimento técnico operacional exigido pelo modelo construtivo.

Para Alva (2000) as estruturas mistas, além de acelerarem a execução da obra, demandam menos escoramentos, pois o aço dispensa tempo de cura e pode em alguns casos ser usado como forma, eliminando a necessidade de formas adicionais. Corrêa e Dauzacker (2015) destacam que ao vincular vigas e lajes aos pilares, é possível superar grandes vãos, otimizando o espaço estrutural, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Estrutura mista para residência com vão livre de 20 metros, Terrabase (2019).

4 Resultados e discussões

Com base na interpretação das informações apresentadas, o sistema construtivo misto de aço e concreto demonstra diversas vantagens em relação ao sistema construtivo convencional, evidenciando sua eficiência e viabilidade. Suas características técnicas possibilitam edificações mais duráveis e de alta qualidade, permitindo reduções de custos a médio e longo prazo com manutenções decorrentes de patologias construtivas comuns na construção tradicional.

Outro destaque importante é a resposta tecnológica às propostas arquitetônicas e de engenharia, cujas facilidades são evidenciadas pela versatilidade dos materiais que compõem o sistema. Isso amplia as possibilidades estruturais e os espaços físicos das edificações, além de reduzir os custos operacionais com concreto, remoção de resíduos de obra e a necessidade de fundações mais robustas, devido à diminuição do peso do aço utilizado. Essa redução promove uma diminuição na altura total do edifício e no consumo de aço na estrutura, aumentando a economia na construção.

Na concepção de construções mais ágeis, o sistema misto promove maior rapidez no cumprimento do cronograma de obra, sendo este um dos aspectos de grande relevância no planejamento e no custo final de um empreendimento. Devido à utilização de sistemas tecnicamente pré-fabricados e mão de obra especializada, a prática construtiva torna-se mais dinâmica, permitindo maior fluidez nas etapas de construção e redução do tempo gasto na execução de uma obra. De acordo com Afonso (2014), nos sistemas estruturais mistos de aço e concreto, apenas a montagem da estrutura é realizada no canteiro de obras, o que resulta em uma significativa redução do tempo de execução em comparação ao sistema construtivo em concreto armado.

O uso de sistemas mistos expande consideravelmente as possibilidades de soluções tanto em concreto armado quanto em aço. Nas lajes mistas, a etapa de desfôrma é dispensada e a quantidade de armadura é reduzida, apresentando benefícios notáveis, como a eliminação do escoramento e a facilidade para a passagem de dutos de eletricidade, comunicação, ar condicionado e outros sistemas. Para Cichinelli (2014), as lajes steel deck podem reduzir em até 40% os custos com mão de obra. Além disso, em certos casos, o uso de escoramento pode ser completamente dispensado.

Segundo Alva (2000), os pilares mistos apresentam grandes vantagens construtivas, frequentemente dispensando o uso de formas. Ao utilizar perfis de aço, esses pilares oferecem alta resistência imediatamente após a instalação, não sendo necessário aguardar a cura completa do concreto para suportar cargas, o que facilita a construção de pavimentos sucessivos. A redução na manipulação do concreto também contribui para uma obra mais limpa, gerando menos resíduos.

Embora várias pesquisas demonstrem que o uso de estruturas mistas de aço e concreto é eficiente e viável, a sua aplicação ainda é pouco difundida no Brasil. Isso se deve, em grande parte, à cultura enraizada de utilizar sistemas construtivos convencionais, que têm sido predominantes ao longo dos anos. Além disso, a preferência por sistemas construtivos populares em obras de pequeno porte contribui para essa resistência à adoção de novas tecnologias.

A utilização de sistemas construtivos tradicionais é amplamente aceita e praticada, principalmente devido à familiaridade dos profissionais da construção civil com esses métodos. Há uma percepção generalizada de que as técnicas convencionais são mais seguras e confiáveis, uma vez que têm sido usadas por décadas. No entanto, essa visão conservadora muitas vezes impede a inovação e a implementação de métodos mais modernos e eficientes.

As estruturas mistas de aço e concreto oferecem uma série de vantagens, como maior resistência, flexibilidade no design e redução do tempo de construção. Esses benefícios são particularmente importantes em projetos de grande escala e em situações onde a rapidez e a eficiência são fundamentais. Mesmo assim, a falta de familiaridade e a relutância em abandonar métodos tradicionais limitam a adoção dessas tecnologias.

Além disso, a carência de pesquisas específicas sobre sistemas construtivos mistos no Brasil contribui para a sua lenta aceitação. A ausência de estudos aprofundados e de casos práticos documentados torna difícil para os profissionais avaliarem os reais benefícios e a viabilidade dessas estruturas. Isso, por sua vez, interfere na popularização e na confiabilidade dos sistemas mistos, criando um ciclo de desinformação e resistência à mudança.

Portanto, é fundamental promover mais pesquisas e estudos de caso que demonstrem a eficácia das estruturas mistas de aço e concreto. Instituições acadêmicas, empresas de construção e órgãos governamentais precisam colaborar para desenvolver e disseminar conhecimento sobre essas tecnologias. Somente com uma base sólida de evidências e exemplos práticos será possível superar a resistência cultural e promover a adoção de métodos construtivos mais avançados e eficientes no Brasil.

5 Conclusões

Apesar das vantagens evidentes das estruturas mistas de aço-concreto, seu crescimento no Brasil ocorre de forma gradual, influenciado por diversos fatores. Entre estes, destacam-se o desconhecimento técnico, evidenciado pela falta de profissionais qualificados e de mão-de-obra especializada. Ademais, há uma falta de conscientização sobre os benefícios e a adoção desse método, aliado ao tradicionalismo enraizado no uso exclusivo do concreto armado. A compreensão do custo-benefício também se mostra como um desafio, impedindo uma aceitação mais ampla dessas tecnologias.

Este estudo demonstrou que a construção com estrutura mista de aço-concreto otimiza a execução dos serviços, minimizando desperdício de materiais e assegurando precisão industrial. Suas vantagens técnicas resultam em prazos de entrega mais curtos, especialmente em um mercado com alta demanda e escassez de mão de obra. Além disso, o custo dessa construção pode ser próximo ao da construção convencional, o que viabiliza a adesão a novos projetos e impulsiona a industrialização do setor. Isso pode resultar em um mercado de produtos e serviços inovadores voltados para este método construtivo.

Conclui-se, portanto, que a construção com estrutura mista de aço-concreto, ao ser viável, tem o potencial de impulsionar o crescimento do setor de construção civil. Isso se daria através do aumento da capacidade de construção, ajustada aos prazos ideais para atender à demanda. Além disso, estimularia a indústria nacional a desenvolver novos materiais, simplificaria a execução das obras e proporcionaria uma nova oportunidade de capacitação para os profissionais do mercado, incluindo operários, engenheiros e arquitetos.

Referências

AFONSO, G. H. B. **Análise e considerações dos sistemas estruturais mistos aço-concreto**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 2014.

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. 297 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto**. Publicação Interna: Cadernos de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, vol. 7, n. 25, 2005.

CICHINELLI, G. **Lajes em steel deck**. Revista Técnica, São Paulo. Out. 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/lajes-em-steel-deck> >. Acesso em: 16 jul. 2024.

CORREA, A. F.; DAUZACKER, L. A.V. J. **Estruturas mistas - aço concreto: vantagens da utilização**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Capixaba da Serra - Multivix Serra, Serra, 2015. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/estruturas-mistas-aco-concretovantagens-da-utilizacao.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

NIESPODZINSKI, J.; METZGER, V. M. **Análise de viabilidade da construção de uma edificação unifamiliar de até 200 m² em estrutura mista – aço/concreto**. Trabalho de conclusão de curso - IDD Educação Avançada. Curitiba. 2011.

PINHO, F.O. **Viabilidade econômica** / Fernando Ottoni Pinho, Fernando Penna. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

RODRIGUES, A. C. A.; PEIXOTO, L. J. **Estabilidade Global De Estruturas Mistas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

TERRABASE. Terrabase: **Execução de estrutura mista para residência**, c2019. Disponível em: <http://terrabase.eng.br/2019/03/22/execucao-de-estrutura-mista-para-residencia>. Acesso em: 25 fev., 2024.

VASCONCELOS, A. **As surpreendentes vantagens que as estruturas mistas e híbridas proporcionam à sua obra**. 2015. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/surpreendentes-vantagens-que-estruturas-mistas-e-%C3%A0-sua-vasconcellos/?originalSubdomain=pt>. Acesso em 19 fev. 2024.