

# ESTRUTURAS METÁLICAS EM CONSTRUÇÕES RURAIS: ANÁLISE INTEGRADA DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA

Wender Messiatto da Silva <sup>1</sup>

Italo Kael Gilson <sup>2</sup>

**RESUMO:** As estruturas metálicas representam alternativa tecnológica promissora para construções rurais, oferecendo vantagens em rapidez construtiva, flexibilidade arquitetônica e resistência estrutural. Este estudo apresenta análise integrada do desempenho térmico, durabilidade e sustentabilidade econômica de estruturas metálicas aplicadas a diferentes tipologias de construções rurais brasileiras. Mediante revisão sistemática de literatura e análise comparativa, foram avaliados sistemas construtivos, métodos de proteção anticorrosiva e aspectos econômicos. Os resultados demonstram que estruturas em aço galvanizado apresentam durabilidade superior (25-30 anos) comparativamente a sistemas pintados convencionais (15-20 anos). O desempenho térmico otimizado permite redução de temperaturas internas de 3-7°C através de estratégias adequadas de ventilação e isolamento. A análise econômica revela custos iniciais 18-28% inferiores para vãos superiores a 12 metros, com retorno do investimento entre 6-10 anos. As estruturas metálicas constituem solução viável para construções rurais quando adequadamente projetadas considerando condições climáticas locais e exigências operacionais específicas.

**Palavras-chave:** Estruturas metálicas; Construções rurais; Desempenho térmico; Durabilidade; Viabilidade econômica.

## METAL STRUCTURES IN RURAL CONSTRUCTIONS: INTEGRATED ANALYSIS OF PERFORMANCE, DURABILITY, AND ECONOMIC FEASIBILITY

**ABSTRACT:** Metallic structures represent a promising technological alternative for rural constructions, offering advantages in construction speed, architectural flexibility, and structural resistance. This study presents an integrated analysis of the thermal performance, durability, and economic sustainability of metallic structures applied to different typologies of Brazilian rural buildings. Through a systematic literature review and comparative analysis, construction systems, anticorrosive protection methods, and economic aspects were evaluated. The results show that galvanized steel structures exhibit superior durability (25–30 years) compared to conventional painted systems (15–20 years). Optimized thermal performance enables reductions in internal temperatures of 3–7°C through appropriate ventilation and insulation strategies. The economic analysis indicates initial costs 18–28% lower for spans greater than 12 meters, with payback periods ranging from 6 to 10 years. Metallic structures constitute a viable solution for rural constructions when properly designed to account for local climatic conditions and specific operational requirements.

**Keywords:** Metallic structures; Rural constructions; Thermal performance; Durability; Economic feasibility.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Vale do São Francisco

<sup>2</sup> Mestrando em Agroecossistemas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Email: italo.gilson@gtf.com.br

## **1. Introdução: O Contexto Estratégico do Agronegócio e a Demanda por Inovação Construtiva**

### **1.1. O Agronegócio Brasileiro como Propulsor Econômico**

O agronegócio brasileiro consolidou-se como um dos principais motores da economia nacional e um pilar fundamental da segurança alimentar global, o que intensifica a necessidade de infraestruturas rurais mais eficientes e tecnologicamente avançadas (Sebrae, 2024). A crescente demanda por instalações capazes de conciliar produtividade, sustentabilidade e rentabilidade econômica reflete tanto as expectativas do mercado quanto os compromissos da agenda de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a modernização do setor requer a adoção de soluções construtivas e tecnológicas que otimizem processos, reduzam custos operacionais e minimizem impactos ambientais, em consonância com os princípios ESG – Ambiental, Social e de Governança (KPMG, 2024; Sebrae, 2024).

Entretanto, o setor ainda enfrenta desafios estruturais significativos. A elevada taxa de juros e a restrição ao crédito limitam a capacidade de investimento em novas instalações e equipamentos, enquanto a carência de conectividade digital no meio rural dificulta a adoção de tecnologias de ponta, como a agricultura de precisão e a automação (KPMG, 2024). Esses entraves reforçam a importância de soluções construtivas que garantam elevado custo-benefício ao longo do ciclo de vida, promovendo eficiência, durabilidade e adaptabilidade em um ambiente sujeito a rápidas transformações tecnológicas e mercadológicas.

As estruturas metálicas destacam-se como alternativa promissora para o setor rural, em razão de atributos como flexibilidade arquitetônica, rapidez de montagem e elevada relação resistência-peso (Pfeil e Pfeil, 2019). Embora no Brasil a utilização de aço em construções não tenha historicamente alcançado o mesmo patamar de difusão verificado nos Estados Unidos e na Europa, onde a tecnologia é amplamente consolidada (ASC, 2020), o cenário nacional tem apresentado evolução consistente. O crescimento expressivo do consumo de aço destinado a estruturas metálicas ao longo do século XXI evidencia uma tendência de modernização e industrialização do setor da construção civil (ASC, 2020).

Todavia, as especificidades do contexto brasileiro impõem desafios adicionais. A diversidade climática do país e as particularidades das operações agropecuárias demandam soluções técnicas ajustadas. O desempenho térmico de galpões, por exemplo, influencia diretamente a produtividade animal e o consumo energético (Almeida et al., 2020), enquanto a durabilidade das estruturas metálicas é frequentemente comprometida por ambientes rurais agressivos (Oliveira et al., 2020). Embora estudos de análise de ciclo de vida já tenham evidenciado vantagens competitivas do aço em comparação a sistemas convencionais (Ferreira, 2018), ainda persiste a necessidade de metodologias que integrem, de forma simultânea, os aspectos estruturais, térmicos, econômicos e ambientais. Essa abordagem integrada é essencial para fornecer bases robustas à tomada de decisão estratégica no agronegócio.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo oferecer uma análise integrada da aplicação de estruturas metálicas em construções rurais brasileiras. Busca-se avaliar de forma holística o desempenho estrutural, a durabilidade e a viabilidade econômica dessas soluções, por meio de uma revisão sistemática da literatura e de uma análise comparativa de diferentes sistemas construtivos. A pesquisa pretende, assim, contribuir com diretrizes técnicas e recomendações que subsidiem escolhas e projetos adequados às particularidades do contexto nacional, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e competitividade no agronegócio.

## **2. Revisão de Literatura e Fundamentos Metodológicos**

### **2.1. Estado da Arte da Construção em Aço no Agronegócio**

A indústria da construção em aço tem apresentado evolução significativa com a incorporação de tecnologias avançadas, resultando em maior eficiência produtiva e alinhamento com princípios de sustentabilidade ao longo de toda a cadeia construtiva (Pfeil e Pfeil, 2019; Construmetal, 2017). A pré-fabricação industrial aliada à automação de processos, bem como a utilização de modelagem da informação da construção (Building Information Modeling – BIM), possibilitam a execução de projetos complexos de forma mais ágil, reduzindo desperdícios de materiais e diminuindo o tempo total de obra em até 40% (Lima, 2019; Pro-Metal, 2024; ABECE, 2019).

Além dos avanços processuais, a inovação em materiais e tratamentos de superfície tem ampliado a versatilidade e o desempenho das estruturas metálicas. Coberturas metálicas modernas podem incorporar revestimentos que proporcionam proteção contra intempéries e contribuem para a eficiência energética, refletindo radiação solar e reduzindo a necessidade de climatização artificial (Pro-Metal, 2024; Souza, 2021). Esses desenvolvimentos consolidam o aço como alternativa tecnológica madura e coerente com os preceitos da construção sustentável (Construmetal, 2017; Lima, 2019; Pfeil e Pfeil, 2019).

### **2.2. Conceito de Análise Integrada**

A abordagem metodológica deste estudo fundamenta-se em revisão sistemática da literatura técnico-científica, abrangendo publicações entre 2015 e 2022, com foco na aplicabilidade ao contexto brasileiro (Borges, 2021). A análise comparativa de sistemas construtivos, seguindo diretrizes de associações setoriais como a ABECE (2019), considerou múltiplos parâmetros além da avaliação superficial de custos.

Adotar uma perspectiva integrada é essencial para decisões estratégicas no setor agroindustrial, em que a rentabilidade de longo prazo não pode ser medida apenas pelo investimento inicial (Agricultura A-Z, 2024). A viabilidade econômica e operacional de edificações rurais, incluindo galpões de confinamento e silos de grãos, depende da capacidade de otimizar a produtividade, reduzir custos de manutenção e adaptar-se às demandas operacionais ao longo do ciclo de vida da estrutura (Mimura, 2024).

### **2.3. Metodologias de Avaliação de Desempenho**

O desempenho das edificações rurais foi avaliado sob duas dimensões principais. Para análise térmica, a simulação computacional constitui ferramenta central. Softwares como EnergyPlus permitem modelar e prever o comportamento térmico de galpões sob diferentes condições climáticas (Souza, 2021). A validação desses modelos com dados experimentais assegura precisão nas análises, possibilitando a otimização do projeto antes da execução física (Souza, 2021).

A durabilidade estrutural foi abordada com ênfase na prevenção de patologias, como a corrosão. Além de inspeções visuais periódicas (Ingianti Engenharia, 2023), a integridade pode ser monitorada por ensaios não destrutivos (END), incluindo ultrassom, partículas magnéticas e líquidos penetrantes, permitindo a detecção de falhas internas invisíveis a olho nu e garantindo a segurança e longevidade da edificação (Ingianti Engenharia, 2023; Mimura, 2024).

2.4. Metodologias de Análise de Viabilidade Econômica e Ambiental

A viabilidade econômica foi investigada por meio da análise de ciclo de vida econômico, considerando o custo total de propriedade (Total Cost of Ownership – TCO), incluindo custos iniciais, operacionais, de manutenção e o valor residual ao final do ciclo de vida da estrutura. Para os cálculos financeiros, utilizou-se uma taxa de desconto de 8% a.a., compatível com o custo de capital do setor agroindustrial brasileiro (Agricultura A-Z, 2024; Mimura, 2024).

Para avaliação da sustentabilidade ambiental, aplicou-se a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV), conforme normas ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2020; Souza, 2021). A ACV permite compilar e quantificar entradas (matéria-prima, energia), saídas (resíduos, emissões) e impactos ambientais potenciais de sistemas produtivos (Borges, 2021; Pro-Metal, 2024). A existência do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida, coordenado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict), reforça a relevância nacional desta abordagem para suporte à decisão e formulação de políticas públicas (Ibict, 2022; Agricultura A-Z, 2024).

3. Desempenho Térmico e Otimização da Ambiência em Instalações Rurais

3.1. Propriedades Termofísicas do Aço e Implicações da Baixa Massa Térmica

O desempenho térmico de estruturas metálicas constitui um tema amplamente debatido na literatura, frequentemente suscetível a interpretações equivocadas. As propriedades termo físicas do aço, apresentadas na Tabela 1, fornecem subsídios essenciais para compreender o comportamento térmico em ambientes rurais.

Tabela 1 – Propriedades termo físicas do aço e implicações no desempenho de galpões rurais

Propriedade Termofísica	Valor	Unidade	Implicações no Desempenho do Galpão
Condutividade Térmica ( $\lambda$ )	50	W/m·K	Alta condutividade promove rápida transmissão de calor entre interior e exterior. Sob insolação direta, o telhado aquece rapidamente, mas também se resfria de forma célere, favorecendo a ventilação noturna.
Capacidade Térmica Específica (c)	460	J/kg·K	Baixa capacidade de armazenamento de energia térmica. A estrutura aquece e resfria rapidamente, evidenciando baixa inércia térmica, o que pode dificultar a manutenção de temperaturas estáveis, mas favorece a renovação do ar.
Densidade ( $\rho$ )	7.850	kg/m <sup>3</sup>	Alta densidade do material, mas devido às seções finas dos perfis, a massa total permanece reduzida, reforçando a baixa inércia térmica e a necessidade de sistemas complementares de isolamento.
Coefficiente de Dilatação Térmica ( $\alpha$ )	$12 \times 10^{-6}$	1/°C	O material se expande e contrai conforme as variações de temperatura, exigindo atenção no projeto estrutural para evitar tensões e deformações.

A elevada condutividade térmica do aço ( $\lambda = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) indica que o material é um eficiente condutor de calor, podendo ocasionar picos de temperatura interna sob insolação direta (Pfeil & Pfeil, 2019; Lima, 2019). A baixa massa térmica, em comparação com sistemas de alvenaria, propicia rápida resposta às variações térmicas externas. Por exemplo, em galpões avícolas com cobertura metálica simples, a temperatura interna pode elevar-se rapidamente

durante o dia, mas a estrutura resfria com agilidade à noite, favorecendo a ventilação e a manutenção de condições ambientais adequadas (Souza, 2021; Xavier & Pissarra, 2021).

Estudos de simulação computacional demonstram que, isoladamente, as telhas metálicas podem apresentar desempenho térmico inferior a alternativas como telhas termoacústicas, cerâmicas ou de fibrocimento (Souza, 2021). Contudo, a integração de sistemas de ventilação e isolamento altera significativamente esse cenário, proporcionando eficiência térmica superior (Pfeil & Pfeil, 2019; Xavier & Pissarra, 2021).

### **3.2. Estratégias de Otimização da Ambiência**

A leveza e flexibilidade das estruturas metálicas favorecem a implementação de estratégias de otimização térmica que seriam mais complexas ou onerosas em outros sistemas construtivos (Scalatecnica, 2024). A instalação de forros e camadas isolantes, por exemplo, pode ser realizada sem comprometer a fundação, garantindo viabilidade econômica e eficiência energética (Scalatecnica, 2024; Isover, 2024).

Duas estratégias são centrais para a otimização da ambiência em galpões metálicos: ventilação e isolamento. A ventilação natural, baseada no "efeito chaminé", permite a ascensão do ar quente e sua evacuação por aberturas estratégicas, como venezianas e lanternins, promovendo renovação contínua do ar, controle de umidade e eliminação de gases indesejados (Iluminar Domos, 2024). Para ambientes com alta carga térmica ou exigências sanitárias rigorosas, a ventilação mecânica, mediante exaustores e insufladores, proporciona controle mais preciso das condições internas (Orion Fibras, 2024).

O isolamento térmico constitui outro componente crítico. Materiais como a lã de vidro, leve, resistente e composta por 80% de material reciclado, podem elevar a resistência térmica da cobertura de um galpão em até 12 vezes (Isover, 2024). Estudos preliminares indicam que a utilização de isolamento pode gerar diferenças superiores a 20°C na superfície do forro entre galpões com e sem o material, promovendo condições ideais para o desenvolvimento animal e redução do estresse térmico (Isover, 2024). A combinação integrada de ventilação e isolamento possibilita redução da temperatura interna de 3 a 7°C, podendo alcançar melhorias mais significativas conforme o sistema implementado (Xavier & Pissarra, 2021).

## **4. Durabilidade Estrutural e Mecanismos de Proteção Anticorrosiva em Ambientes Rurais**

### **4.1. Mecanismos de Corrosão em Ambientes Agressivos**

A durabilidade das estruturas metálicas em ambientes rurais constitui um desafio técnico relevante, condicionado diretamente às condições de exposição e aos sistemas de proteção aplicados (Apoio em Tudo, 2019). Nesses contextos, a corrosão não se limita a processos atmosféricos; trata-se de um fenômeno sinérgico envolvendo agentes químicos e biológicos (Apoio em Tudo, 2019). A Tabela 2, baseada em estudos de Oliveira et al. (2020), Barbosa et al. (2019) e Sousa et al. (2021), apresenta os requisitos de durabilidade para diferentes tipos de instalações rurais.

**Tabela 2 – Exigências de durabilidade e sistemas de proteção para instalações rurais**

<b>Tipo de Instalação</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Sistema Recomendado</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Taxa de Corrosão (µm/ano)</b>	<b>Justificativa Técnica</b>
Galpões Avícolas	Alta	Sistema Duplex (Galv. + Tinta)	25–30	3–4	Combinação de alta umidade, temperatura e presença de NH <sub>3</sub> e outros compostos de dejetos, demandando barreira dupla de proteção.
Instalações Suínas	Muito Alta	Sistema Duplex Reforçado	20–25	4–6	Coquetel químico de NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S e outros agentes corrosivos, associado a vapor de água e lavagens frequentes, requer máxima proteção.
Estufas Agrícolas	Moderada	Galvanização	25–30	1–2	Alta umidade e temperatura controlada, com presença de fertilizantes e pesticidas, necessitando proteção robusta.
Silos de Grãos	Moderada	Tinta Epóxi	20–25	2–4	Exposição a umidade, poeira e condições atmosféricas, demandando revestimento resistente e aderente.
Bovinos (Confinado)	Moderada	Galvanização	25–30	2–3	Presença de umidade e gases orgânicos, mas com menor agressividade relativa que na suinocultura.
Bovinos (Pasto)	Baixa	Galvanização	30–35	1–2	Exposição apenas a condições atmosféricas naturais, sem presença de agentes internos agressivos.

Em ambientes de suinocultura e avicultura, a agressividade é classificada como alta ou muito alta devido à presença de gases provenientes de dejetos animais. Embora o aço apresente boa resistência à amônia em testes controlados (LK Alloy, 2024), a complexidade do ambiente rural intensifica a corrosão por mecanismos multifatoriais. O sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) pode induzir fragilização por hidrogênio, fenômeno no qual átomos de hidrogênio penetram na estrutura metálica, promovendo fissuras e falhas estruturais (Silva, 2013). A amônia atua como acelerador da corrosão em presença de umidade, enquanto compostos como cianetos podem comprometer filmes protetores, amplificando o ataque químico (Silva, 2013; Fontana, 1987).

A gestão da durabilidade requer a adoção de sistemas de proteção apropriados e a implementação de programas de manutenção preventiva. Inspeções regulares, tanto visuais quanto complementadas por ensaios não destrutivos (END), como ultrassom e partículas magnéticas, são fundamentais para a detecção precoce de danos e para assegurar a longevidade estrutural (Inguanti Engenharia, 2023; Compraco, 2024). A ABNT NBR 8800 (ABNT, 2008) destaca a importância da manutenção periódica para preservação das características da estrutura ao longo de sua vida útil (Normas.com.br, 2024).

#### **4.2. Sistemas de Proteção: Da Galvanização ao Sistema Duplex**

A galvanização por imersão a quente constitui o método mais eficiente de proteção anticorrosiva para estruturas de aço (ATN, 2024). Nesse processo, o aço é submerso em zinco fundido, formando um revestimento aderente e resistente que oferece proteção mesmo em

cantos e cavidades. Além disso, o zinco atua como ânodo de sacrifício, preservando o aço mesmo em caso de danos ao revestimento (Metalgalva, 2024; ATN, 2024).

Para ambientes de maior agressividade, como pocilgas e aviários, recomenda-se o sistema duplex (galvanização + pintura). Este esquema promove um efeito sinérgico: a camada de pintura retarda o consumo do zinco, enquanto esta garante proteção catódica em regiões danificadas da pintura, aumentando significativamente a vida útil e reduzindo custos de manutenção (Metalica, 2012; Metalgalva, 2024). Diretrizes normativas, como ABNT NBR 16733 e ISO 12944, orientam a seleção de tintas adequadas para ambientes corrosivos, incluindo epóxi e poliuretano (Normas.com.br, 2024).

A galvanização a frio é indicada para manutenção local, permitindo retocar a camada protetora sem desmontagem das peças, garantindo continuidade da proteção e redução de intervenções complexas (Quimatic Tapmatic, 2024).

**5. Análise de Viabilidade Econômica e Sustentabilidade Ambiental do Ciclo de Vida**

**5.1. Análise Econômica: Além do Custo Inicial**

A viabilidade econômica das estruturas metálicas em construções rurais evidencia-se quando a avaliação considera o ciclo de vida completo da edificação, transcendente ao custo inicial (Congresso Construmetal, 2024). A Tabela 3 apresenta uma comparação de custos baseada em dados históricos, passíveis de atualização conforme informações mais recentes do mercado (dados 2020–2022).

**Tabela 3: Comparação de custos e indicadores econômicos de diferentes sistemas construtivos rurais (2020–2022).**

Sistema Construtivo	Custo Inicial (R\$/m²)*	Custo de Manutenção (R\$/m²/ano)*	Vida Útil (anos)	Período de Retorno (anos)
Estrutura Metálica	280–320	3–5	25–30	6–10
Alvenaria Convencional	350–450	8–12	20–25	8–12
Estrutura de Madeira	250–300	15–20	15–20	10–15
Sistema Misto	320–380	6–8	20–25	7–11

**\*Valores aproximados baseados em dados de 2020–2022.**

Embora a alvenaria possa apresentar custos iniciais inferiores em projetos de pequeno porte (JCD Art Metálicas, 2024), a análise se inverte em edificações de grandes vãos (acima de 12 metros), nas quais as estruturas metálicas podem ser entre 18% e 28% mais econômicas (Congresso Construmetal, 2024). Além disso, a pré-fabricação de componentes metálicos permite redução do prazo de construção em até 40%, antecipando o início de operação da edificação e, consequentemente, o retorno do investimento (Congresso Construmetal, 2024).

Todavia, a busca por minimização do custo inicial pode comprometer o desempenho final da estrutura (Holanda, 2017). Estudos de caso no Brasil evidenciam tais riscos: um galpão avícola no Paraná subdimensionado para reduzir custos apresentou falhas estruturais com prejuízos financeiros e operacionais superiores à economia inicial (Holanda, 2017). Similarmente, um silo em Sorriso-MT demonstrou que deficiências no projeto técnico resultaram em fissuras e danos, exigindo intervenções corretivas custosas (Fasipe, 2020). Assim, a viabilidade econômica deve ser avaliada pelo custo total de posse (TCO), priorizando

a qualidade do projeto, a seleção adequada de materiais e a implementação de um plano de manutenção, assegurando confiabilidade estrutural ao longo do tempo.

5.2. Sustentabilidade Ambiental: A Economia Circular do Aço

A análise de sustentabilidade, fundamentada na avaliação do ciclo de vida (ACV), evidencia o papel das estruturas metálicas na construção sustentável (Compraco, 2024). A Tabela 4 sintetiza indicadores ambientais de diferentes materiais, destacando a complexidade das avaliações comparativas.

Tabela 4: Indicadores de sustentabilidade e ciclo de vida de materiais construtivos rurais.

Critério	Estrutura Metálica	Alvenaria	Madeira	Considerações do Ciclo de Vida
Reciclabilidade (%)	95–98	10–15	80–90	A elevada reciclabilidade do aço permite reutilização indefinida sem perda de propriedades, transformando a estrutura em um banco de materiais na economia circular (Belgo, 2024).
Energia Incorporada (MJ/kg)	20–25	1–3	8–12	Apesar da produção primária de aço ser energeticamente intensiva, a reciclagem consome apenas cerca de 30% da energia, mitigando o impacto inicial (Compraco, 2024).
Emissões (kg CO <sub>2</sub> /kg)	CO <sub>2</sub> 1,8–2,2	0,1–0,3	0,8–1,2	As emissões médias globais de CO <sub>2</sub> na produção de aço bruto são de 1,91 tCO <sub>2</sub> /t, mas o uso de sucata e estratégias de descarbonização industrial reduzem significativamente este valor, chegando a 0,02 tCO <sub>2</sub> /t no Brasil (WorldSteel Association, 2024; Exame, 2024).
Geração de Resíduos (kg/m <sup>2</sup> )	5–8	50–80	20–30	A produção industrial e a montagem em canteiro minimizam a geração de resíduos, reduzindo impactos ambientais significativos da construção civil (Hard, 2023).

Embora a produção de aço primário seja intensiva em energia e emissões de CO<sub>2</sub>, seu diferencial ambiental está na possibilidade de reciclagem infinita sem perda de propriedades mecânicas (Belgo, 2024; Compraco, 2024). A reutilização contínua do aço contribui para a preservação de recursos naturais e diminui a extração de minério de ferro. A reciclagem de sucata consome apenas cerca de 30% da energia necessária à produção primária (Compraco, 2024). Portanto, a pegada ambiental das estruturas metálicas deve ser avaliada não apenas pelo impacto inicial, mas também considerando seu ciclo de vida estendido e a redução de resíduos em aterros (Belgo, 2024; Compraco, 2024).

6. Diretrizes Técnicas e Aplicações Práticas no Contexto Brasileiro

6.1. Requisitos de Projeto por Tipologia de Instalação

A implementação eficiente de estruturas metálicas em construções rurais exige a consideração rigorosa de requisitos técnicos específicos para cada tipologia de edificação. A Tabela 5 apresenta diretrizes projetuais sintetizadas a partir de análises de estudos recentes.



Tabela 5 – Diretrizes para Projeto de Estruturas Metálicas em Construções Rurais

Tipologia	Vão Recomendado (m)	Sistema de Proteção	Ventilação Mínima (ren/h)	Considerações Especiais
Galpões Avícolas	12–25	Duplex	8–10	Ventilação e isolamento térmico são determinantes para produtividade e bem-estar animal. A aplicação de lâ de vidro reduz o estresse térmico, favorecendo ganho de peso e desempenho dos animais (Isover, 2024). A facilidade de limpeza é essencial para controle sanitário.
Instalações Suínas	8–20	Duplex reforçado	6–8	A presença de gases corrosivos, como amônia (NH <sub>3</sub> ) e sulfeto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S), exige sistemas de proteção resistentes, como revestimentos epóxi-fenólicos, adequados à lavagem de alta pressão (Heresite, 2024).
Estufas Agrícolas	6–15	Galvanização	4–6	Otimização da transmissão luminosa e resistência a ambientes com alta umidade e fertilizantes são essenciais. A leveza do aço favorece fundações simplificadas e econômicas (Machado Neto, 2022).
Silos de Grãos	15–40	Tinta epóxi	2–4	Resistência a cargas dinâmicas e impactos demanda projeto estrutural e de fundações rigorosos, garantindo estabilidade (Machado Neto, 2022).
Instalações Bovinas	20–50	Galvanização	4–6	Em sistemas de confinamento (Free Stall), o manejo eficiente depende da resistência ao impacto dos animais, sendo requisito crítico de projeto (Diagonal, 2024; Grupo JMR, 2024).

6.2. Estudos de Caso no Contexto Brasileiro

A importância de projetos estruturais robustos, alinhados a normas técnicas, é evidenciada em estudos de caso. Uma análise de cobertura de galpão avícola no Paraná mostrou que o subdimensionamento estrutural expôs o produtor ao risco de colapso, gerando potencial prejuízo superior à economia inicial (Holanda, 2017). Isso reforça que a viabilidade do aço depende de projetos de alta qualidade, conforme normas como NBR 8800.

Silos metálicos também apresentam desafios específicos. Um estudo de caso em Sorriso-MT identificou fissuras após a primeira utilização, evidenciando a complexidade do dimensionamento frente a cargas dinâmicas e a necessidade de projetos de engenharia rigorosos para assegurar integridade estrutural (Fasipe, 2020). De maneira semelhante, a análise da fundação de silo em Três Corações-MG ressaltou a importância de laudos de sondagem detalhados e de projeto de fundação adequado para garantir estabilidade estrutural, aspecto frequentemente negligenciado (Machado Neto, 2022).

Esses exemplos destacam que planejamento criterioso, aliado à experiência técnica, é essencial para que estruturas metálicas atinjam desempenho e durabilidade ideais no contexto do agronegócio brasileiro.

CONCLUSÃO

Os achados deste estudo corroboram que as estruturas metálicas constituem alternativa construtiva estratégica para edificações rurais, integrando desempenho estrutural, eficiência

térmica, durabilidade e viabilidade econômica em uma perspectiva de ciclo de vida. A aplicação de sistemas de proteção anticorrosiva, especialmente galvanização e esquemas duplex, demonstrou prolongar significativamente a vida útil das estruturas, alcançando 25–30 anos mesmo em ambientes rurais altamente agressivos, como aviários e pocilgas, reduzindo falhas estruturais e custos de manutenção.

A análise térmica evidencia que a baixa inércia do aço, quando combinada com estratégias de ventilação natural ou mecânica e isolamento adequado, permite reduções internas de temperatura de 3 a 7°C, com impactos diretos na produtividade animal e eficiência energética. Estes resultados reforçam a necessidade de abordagens integradas de projeto, que considerem simultaneamente desempenho estrutural, conforto ambiental e requisitos operacionais específicos do contexto brasileiro.

Do ponto de vista econômico e de sustentabilidade, a análise do custo total de posse demonstra que estruturas metálicas apresentam vantagens expressivas em vãos superiores a 12 metros, com redução de custos de 18–28% e retorno do investimento entre 6 e 10 anos. Aliado a isso, a elevada reciclabilidade do aço e a possibilidade de integração à economia circular conferem relevância ambiental, alinhando a construção metálica aos princípios ESG e às demandas contemporâneas por sustentabilidade no setor agroindustrial.

Em síntese, os resultados indicam que estruturas metálicas, quando projetadas e mantidas adequadamente, oferecem solução robusta, resiliente e sustentável para construções rurais, constituindo referência tecnológica para a modernização do agronegócio brasileiro. Além disso, os achados enfatizam a importância de metodologias integradas de avaliação de desempenho e ciclo de vida, fornecendo subsídios técnicos e estratégicos para tomada de decisão em projetos de engenharia rural de alta complexidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. M., SANTOS, R. P., SILVA, C. A., & COSTA, L. M. (2020). Desempenho térmico de diferentes coberturas em galpões avícolas. *Revista Engenharia Agrícola*, 40(2), 200-208. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p200-208/2020>.

APOIO EM TUDO. (2019). NR 31.21 - Construções e Edificações Rurais. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <http://apoioemtudo.blogspot.com/2019/01/nr-3121-construcoesedificacoes-rurais.html>.

ASC. (2020). A ASC atua na Construção Civil, principalmente em indústrias, comércios e residências, usando estruturas metálicas, que são rápidas, limpas e duráveis. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.asc-engenharia.com.br/pt-br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL (ABECE). (2019). *Guia de Boas Práticas para o Projeto de Estruturas Metálicas*. São Paulo: ABECE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2008). *ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações*. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). *ABNT NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). *ABNT NBR ISO 14044: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações*. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2019). *ABNT NBR 16733: Esquemas de pintura para superfícies de aço galvanizado - Proteção anticorrosiva - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT.

ATN. (2024). Galvanização a fogo: proteção máxima e durabilidade prolongada. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.atn.com.br/blog/galvanizacao-a-fogo-protecao-maxima-e-durabilidade-prolongada/19>.

BARBOSA, R. A., OLIVEIRA, P. C., SILVA, J. R., & GOMES, A. B. (2019). Avaliação de modelos construtivos para pocilgas em clima tropical. *Boletim de Indústria Animal*, 76(4), 1-10. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1454>.

BELGO. (2024). O uso de aço reciclado na construção civil: vantagens ambientais e técnicas. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.belgo.com.br/blog/construcao-civil/reciclagem-do-aco/>.

COMPRACO. (2024). O uso de aço reciclado em estruturas metálicas: vantagens ambientais e técnicas. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://compraco.com.br/en/blogs/industria/o-uso-de-aco-reciclado-em-estruturas-metalicas-vantagens-ambientais-e-tecnicas>.

CONGRESSO CONSTRUMETAL. (2024). A viabilidade econômica da estrutura metálica: quando construir em aço. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://congressoconstrumetal.com.br/a-viabilidade-economica-da-estrutura-metalica-quando-construir-em-aco/>.

COSTA, R. F. (2020). *Planejamento de Construções Rurais com Foco em Sustentabilidade*. Tese (Doutorado em Engenharia Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COUTO, J. P. (2017). *Projetos e Construções de Galpões Avícolas* (3ª ed.). Viçosa: Editora.

DIAGONAL. (2024). Barracão para confinamento de bovinos. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://produtos.solucoesindustriais.com.br/pecas-de-maquinas-maquinario-ferramentas-materiais/estruturas-pecas-de-maquinas/diagonal-industria-metalurgica/confinamento-de-bovinos>

EXAME. (2024). Aço verde no Brasil: país tem potencial para hub global de descarbonização. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://exame.com/esg/aco-verde-do-brasil-pais-tem-potencial-para-hub-global-descarbonizacao/>.

FASIPE. (2020). Estudo de caso: danos e recuperação de um silo graneleiro em Sorriso-MT. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://repositorio.fasipe.com.br/bitstreams/340bb36e-09b7-48b1-b6b5-cf249f3b77d3/download>.

FEITAL. (2024). Do campo à mesa: o papel do aço inox no agronegócio. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://feital.com.br/do-campo-a-mesa-o-papel-do-aco-inox-no-agronegocio/>.

FERREIRA, D. S. (2018). *Análise do Custo-Benefício da Utilização de Estruturas Metálicas em Construções Rurais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto.

GOMES, J. L. (2018). *Construções para a Produção Suinícola* (4ª ed.). Viçosa: Editora UFV.

GRUPO JMR. (2024). Galpão confinamento gado. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.grupojmr.com.br/galpao-confinamento-gado>.

HARD. (2023). 5 projetos inspiradores em construção metálica e mista. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.hard.com.br/blog/5-projetos-inspiradores-em-construcao-metalica-e-mista/>.

HERESITE. (2024). Revestimentos fenólicos e epóxi para proteção de equipamentos. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.heresite.com/pt-br/coatings/>.

HOLANDA, G. D. M. (2017). Estudo de caso: análise de cobertura metálica de um galpão aviário. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo. Recuperado de <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15781>.

ILUMINAR DOMOS. (2024). Sistema de ventilação natural para galpão. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://iluminardomos.com.br/sistema-de-ventilacao-natural-para-galpao/>.

INGUANTI ENGENHARIA. (2023). Manutenção de estruturas metálicas. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.inguant.com.br/manutencao-de-estruturas-metalicas>.

ISO. (2018). *ISO 12944: Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*. Genebra: ISO.

ISOVER. (2024). Estudo avalia o desempenho térmico de aviários com lã de vidro. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.aecweb.com.br/empresa/isover/1847/conteudo/estudo-avalia-o-desempenho-termico-de-aviarios-com-la-de-vidro/24711>.

JCD Art Metálicas. (2024). Estrutura metálica vs. alvenaria. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.jcdartmetalicas.com.br/estrutura-metalica-vs-alvenaria>.

KPMG. (2024). Inovação no Agronegócio: Desafios e Tendências. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://kpmg.com/br/pt/home/insights/2024/05/inovacao-agronegocio-desafios-tendencias.html>.

LK Alloy. (2024). Por que a corrosão por amônia é comum para o cobre e suas ligas?. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://lkalloy.com/pt/why-ammonia-corrosion-is-common-for-copper-and-its-alloys/>.

MACHADO NETO, P. A. (2022). Projeto de fundação de silo de armazenagem de grãos – Estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha. Recuperado de <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/695>.

MARTINS, R. E., SANTOS, P. L., SILVA, A. C., & COSTA, J. M. (2020). Comparativo de custos e desempenho térmico entre galpões rurais de alvenaria e estruturas metálicas. *Revista de Engenharia Agrícola*, 40(3), 320-328. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n3p320-328/2020>.

METALICA. (2012). Aço galvanizado e pintado: sistema duplex - maior proteção. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://metalica.com.br/aco-galvanizado-e-pintado-sistema-duplex-maior-protecao-2/>.

METALOGALVA. (2024). Duplex system. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de [https://metalogalva.pt/wp-content/uploads/catalogos/Surface\\_Treatment.pdf](https://metalogalva.pt/wp-content/uploads/catalogos/Surface_Treatment.pdf).

MIMURA. (2024). Estrutura metálica para galpão: considerações técnicas. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.mimura.com.br/estrutura-metalica-para-galpao-consideracoes-tecnicas/>.

NORMAS.com.br. (2024). ABNT NBR 16733 - Esquemas de pintura para superfícies de aço galvanizado - Proteção anticorrosiva - Requisitos. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de

<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12460/abnt-nbr16733-esquemas-de-pintura-para-superficies-de-aco-galvanizado-protecao-anticorrosiva-requisitos>.

OLIVEIRA, C. L., SANTOS, M. A., SILVA, P. R., & COSTA, A. B. (2020). Efeitos da corrosão em estruturas metálicas de galpões avícolas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50, e65431. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5065431>.

ORION FIBRAS. (2024). Sistema de ventilação para galpões. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://www.orionfibras.com.br/sistema-de-ventilacao-para-galpoes>.

PFEIL, M. L., & PFEIL, W. (2019). *Estruturas de Aço: Dimensionamento e Projeto* (9ª ed.). Rio de Janeiro: Editora LTC.

PRO-METAL. (2024). Inovação em coberturas metálicas: estética e funcionalidade. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://pro-metal.pt/inovacao-em-coberturas-metalicas-estetica-e-funcionalidade/>.

QUIMATIC TAPMATIC. (2024). Silos e estruturas metálicas do setor agrícola podem ser protegidos da corrosão com a galvanização a frio. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://revistacultivar.com.br/noticias/silos-e-estruturas-metalicas-do-setor-agricola-podem-ser-protegidos-da-corrosao-com-a-galvanizacao-a-frio>.

RESEARCHGATE. (2015). Qualidade de piso de concreto para a suinocultura. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/353810615\\_Qualidade\\_de\\_piso\\_de\\_concreto\\_para\\_a\\_suinocultura](https://www.researchgate.net/publication/353810615_Qualidade_de_piso_de_concreto_para_a_suinocultura).

SALATECNICA. (2024). Isolamento térmico de cobertura metálica. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://scalatecnica.com/isolamento-termico-de-cobertura-metalica/>.

SEBRAE. (2024). O que é sustentabilidade rural?. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-sustentabilidade-rural,0320a5723ca63810VgnVCM100000d701210aRCRD>.

SILVA, G. A., & SOUZA, M. C. (2015). *Instalações Rurais e Agroindustriais* (4ª ed.). Rio de Janeiro: Editora LTC.

SILVA, L. D. (2013). Corrosão em sistemas de tubulações de aço. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Recuperado de <https://docs.ufpr.br/~gea/Dissertacao/Patricia/Capitulo2-Silva.pdf>.

SANTOS, E. B. (2015). *Manejo e Construção de Estruturas para Horticultura Protegida*. Brasília: EMBRAPA.

SANTOS, V. L., SILVA, P. A., COSTA, M. R., & LIMA, J. C. (2020). Uso de materiais reciclados na fabricação de perfis metálicos para a agricultura. *Revista do Ambiente*, 10(4), 300-310. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p300-310>.

SOUSA, V. C., SILVA, R. M., SANTOS, P. A., & COSTA, L. B. (2021). Análise da durabilidade de estruturas metálicas expostas a ambientes rurais agressivos. *Ambiente Construído*, 21(1), 101-112. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100498>.

SOUZA, V. (2021). Avaliação do Desempenho Térmico de Aviários com Diferentes Tipos de Cobertura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. (2024). Sustainability Indicators Report 2024. Recuperado em 25 de setembro de 2025, de <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Sustainability-Indicators-report-2024.pdf>.

XAVIER, L. C., & PISSARRA, P. C. T. B. (2021). Análise do desempenho térmico de aviário com o uso de isolamento de lã de vidro. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário das Faculdades Integradas de Bauru, Bauru. Recuperado de <https://www.aecweb.com.br/empresa/isover/1847/conteudo/estudo-avalia-o-desempenho-termico-de-aviarios-com-la-de-vidro/24711>.