UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Engenharia Civil

VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DAS ESTRUTURAS METÁLICAS SOLDADAS EM CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS: UM LEVANTAMENTO COMPARATIVO COM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Anderson Erivelton de Moraes da Silva

Prof. Dr. Emerson Alexandro Bolandim (orientador)

Ilha Solteira

2024

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia
Avenida Brasil Centro, 56 Caixa Postal 31 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ANDERSON ERIVELTON DE MORAES DA SILVA

VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DAS ESTRUTURAS METÁLICAS SOLDADAS EM CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS: UM LEVANTAMENTO COMPARATIVO COM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Ilha Solteira, como requisito para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil.

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Silva, Anderson Erivelton de Moraes da.
S586v Viabilidade econômica e ambiental das estruturas metálicas soldadas em construções residenciais: um levantamento comparativo com estruturas de madeira / Anderson Erivelton de Moraes da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
57 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Emerson Alexandro Bolandim

Inclui bibliografia

1. Estruturas metálicas. 2. Viabilidade econômica. 3. Sustentabilidade. 4. Soldagem.

Elaborado por Raiane da Silva Santos - CRB: 8/9999

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Anderson Erivelton de Moraes da Silva

Título: Viabilidade Econômica e Ambiental das Estruturas Metálicas Soldadas em Construções Residenciais: Um Levantamento Comparativo com Estruturas de Madeira

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
EMERSON ALEXANDRO BOLANDIM
Data: 22/11/2024 17:00:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Emerson Alexandro Bolandim

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)

gov.br Documento assinado digitalmente
ALEX MICAEL DANTAS DE SOUSA
Data: 22/11/2024 17:33:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa

UNESP – Campus de Ilha Solteira

gov.br Documento assinado digitalmente
VINICIUS BORGES DE MOURA AQUINO
Data: 22/11/2024 18:20:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Vinícius Borges de Moura Aquino

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira – SP

22 /11 / 2024

Ao Universo, minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, possibilitando que a vida seja uma oportunidade incrível e imensurável de alegrias e evolução.

AGRADECIMENTOS

Ao Universo, por me abençoar com a dádiva da existência e plenas capacidades.

À minha família, pelo amor e suporte incondicional, que tornaram possível a conclusão do meu curso, ajudando-me em todas as fases difíceis da minha vida. Em especial, agradeço à minha mãe, Adélia, por quem nutro profunda e sincera admiração.

Ao meu amigo, Vitor Déo, por todos os momentos de cumplicidade, aprendizados e oportunidades de crescimento.

À universidade e a todo o seu corpo de funcionários, por terem aberto para mim uma das maiores janelas para o sucesso.

A todos os amigos e às pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, minha sincera gratidão.

"A força não provém da capacidade física. Provém de uma vontade indomável." (Mahatma Gandhi).

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia
Avenida Brasil Centro, 56 Caixa Postal 31 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

RESUMO:

Este trabalho investiga a viabilidade econômica e ambiental do uso de estruturas metálicas em construções residenciais de pequeno porte, comparando-as com estruturas de madeira. Aborda os impactos ambientais gerais da construção civil, destacando a sustentabilidade das estruturas metálicas e a escassez de madeira em regiões de cerrado. Inclui uma análise detalhada das normas técnicas, como a NBR 8800:2008, que asseguram a qualidade e segurança das construções metálicas. A pesquisa também explora a prevalência da soldagem em estruturas pequenas devido às suas vantagens estruturais e econômicas sobre as conexões parafusadas. Além disso, o trabalho propõe uma planilha de Excel para automatizar o dimensionamento de ligações soldadas conforme as normas.

Palavras-chave: Estruturas metálicas. Viabilidade econômica. Sustentabilidade. Soldagem.

ABSTRACT:

This study investigates the economic and environmental viability of using steel structures in small residential buildings, comparing them with wooden structures. It addresses the general environmental impacts of civil construction, highlighting the sustainability of steel structures and the scarcity of wood in cerrado regions. It includes a detailed analysis of technical standards, such as NBR 8800:2008, ensuring the quality and safety of steel constructions. The research also explores the prevalence of welding in small structures due to its structural and economic advantages over bolted connections. Additionally, the study proposes an Excel spreadsheet for automating the sizing of welded joints according to standards.

Keywords: Steel structures. Economic viability. Sustainability. Welding.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ponte Metálica de São Fidélis, Rio de Janeiro..... 4
Figura 2: Resíduos de Construção Civil 8
Figura 3: Treliça de Madeira em Residência 9
Figura 4: Estrutura Metálica em Construção Residencial 15
Figura 5: Esquema de Processo de Solda..... 18
Figura 6: Solda Porosa e com Escória 24
Figura 7: Filete de Solda 32
Figura 8: Planilha de Cálculo de Ligação Soldada de Dupla Cantoneira e Perfil U com metal solda mais resistente que metal base..... 39
Figura 9: Planilha de Cálculo de Ligação Soldada de Dupla Cantoneira e Perfil U com metal solda menos resistente que metal base..... 40
Figura 10: Treliças Metálicas em Residência 44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resistência à Tração do Metal Solda 33
Tabela 2: Limite de escoamento e resistência à tração 34
Tabela 3: Valores dos coeficientes de ponderação das resistências 34
Tabela 4: Dimensões Mínimas de Filetes de Solda (dw) 35
Tabela 5: Dimensão Nominal Máxima da Perna de Filete de Solda (dw) 35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....1
2. OBJETIVOS.....2
3. HISTÓRICO DO USO DO AÇO NO BRASIL 3
4. HISTÓRICO DA SOLDA.....4
5. HISTÓRICO DO USO DA MADEIRA 6
6. CONSTRUÇÃO CIVIL E IMPACTOS AMBIENTAIS.....7
6.1. Impactos ambientais do uso da madeira na construção civil 9
6.2. Normas e Regulamentações.....10
7. VANTAGENS AMBIENTAIS DO USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM OBRAS PEQUENAS.....11
7.1. Emissões de CO2 12
7.2. Redução do desmatamento 12
7.3. Gestão de resíduos e reciclagem na construção civil 13
7.4. Contribuições das Normas Técnicas e Código de Obras.....13
8. VANTAGENS ECONÔMICAS REFENTES AO USO DO AÇO EM OBRAS RESIDENCIAIS PEQUENAS.....15
8.1. Redução do tempo de construção 15
8.2. Eficiência e racionalização de materiais 16
8.3. Custos de manutenção reduzidos.....16
8.4. Otimização do canteiro de obras.....16
8.5. Sustentabilidade e Incentivos Fiscais 16

9. PREDOMINÂNCIA DA SOLDA EM ESTRUTURAS DE OBRAS PEQUENAS 17
10. SOLDAS, ESPECIFICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS ... 18
10.1. Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW) 18
10.1.1. Princípios do Processo 18
10.1.2. Componentes do Processo 19
10.1.3. Vantagens da SMAW 19
10.1.4. Desvantagens da SMAW 19
10.1.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas 20
10.2. Soldagem MIG/MAG (GMAW) 20
10.2.1. Princípios do Processo 20
10.2.2. Componentes do Processo 21
10.2.3. Vantagens da GMAW 21
10.2.4. Desvantagens da GMAW 21
10.2.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas 22
10.3. Soldagem TIG (GTAW) 22
10.3.1. Princípios do Processo 22
10.3.2. Componentes do Processo 22
10.3.3. Vantagens da GTAW 23
10.3.4. Desvantagens da GTAW 23
10.3.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas 23
11. CUIDADOS E DICAS PRÁTICAS PARA EXECUÇÃO DE SOLDAS . 23
11.1. Limpeza das Superfícies 25
11.2. Seleção de Materiais 25
11.3. Ajuste de Parâmetros de Soldagem 25

11.4. Posicionamento e Alinhamento 25
11.5. Movimento Constante e Uniforme 25
11.6. Controle de Temperatura 26
11.7. Inspeção da Solda 26
11.8. Acabamento da Solda 26
11.9. Equipamento de Proteção Individual (EPI) 26
11.10. Proteção da Área Circundante 26
12. INSPEÇÃO 27
12.1. Inspeção de Solda por Ultrassom 27
12.2. Inspeção de Solda por Líquido Penetrante 28
12.3. Inspeção por Martelamento (Marteloscopia) 29
12.4. Inspeção por Radiografia 30
13. DIMENSIONAMENTO DE SOLDA EM FILETE PARA TRELIÇA RESIDENCIAL 31
13.1. Disposições Construtivas para Solda de Filete 34
13.1.1. Tamanho Mínimo da Perna 35
13.1.2. Tamanho Máximo da Perna 35
13.1.3. Comprimento Efetivo 35
13.1.4. Chapas Planas Tracionadas 36
13.1.5. Soldas Intermitentes 36
13.1.6. Ângulos de Fusão 36
13.1.7. Ligações por Superposição 37
13.1.8. Terminações de Soldas de Filete 37
13.2. Planilha de cálculo 38

13.3. Descrição dos Cálculos e Conclusões sobre o Dimensionamento de Soldas..... 40

13.3.1. Relação entre Resistência da Solda e Resistência do Metal Base.....41

13.3.2. Gráficos e Comparações 41

13.3.3. Conclusão (dimensionamento) 41

14. EXPERIÊNCIA PRÁTICA DE UM PROFISSIONAL SERRALHEIRO COMERCIANTE DE TRELIÇAS RESIDENCIAIS 41

15. EXEMPLO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DE TRELIÇA METÁLICA EM OBRA RESIDENCIAL 43

16. LIMITAÇOES DO ESTUDO 45

17. CONCLUSÃO.....47

18. REFERÊNCIAS.....48

1. INTRODUÇÃO

A escolha dos materiais de construção é um fator crucial que afeta não apenas a viabilidade econômica dos projetos, mas também o impacto ambiental e a durabilidade das edificações. Historicamente, a madeira tem sido o material preferido em muitas regiões devido à sua disponibilidade e às tradições de construção passadas de geração em geração. No entanto, com o avanço das tecnologias e a crescente preocupação com a sustentabilidade, as estruturas metálicas têm se destacado como uma alternativa viável, especialmente em obras de pequeno porte.

Este trabalho investiga a utilização de estruturas metálicas em obras pequenas, comparando suas vantagens com as de madeira. A análise abrange aspectos técnicos, econômicos e ambientais, com foco nas propriedades recicláveis do aço e sua menor pegada de carbono. O aço, sendo 100% reciclável, pode ser reutilizado indefinidamente sem perder suas propriedades, o que minimiza a necessidade de extração de novos recursos naturais e reduz significativamente os resíduos sólidos. Além disso, a produção de estruturas metálicas gera menos desperdício de materiais no canteiro de obras, contribuindo para um ambiente de construção mais limpo e organizado.

A questão ambiental é um dos principais motivadores para a adoção de estruturas metálicas. A reciclagem de aço requer menos energia do que a produção a partir de matérias-primas, resultando em uma menor pegada de carbono. Além disso, a utilização de perfis de aço em sistemas de construção, como o Light Steel Framing (LSF), permite a integração eficaz de materiais isolantes, melhorando o desempenho térmico das construções e reduzindo o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, sendo esse um sistema construtivo que utiliza perfis de aço galvanizado leves para a estruturação de edificações e conhecido por sua sustentabilidade, rapidez na execução e flexibilidade de design.

O estudo também discute a influência cultural na escolha dos materiais e os desafios na adoção do metal, incluindo a necessidade de qualificação da mão de obra local. Em muitas pequenas cidades, há uma preferência culturalmente enraizada pelo uso de madeira, e muitos construtores e pedreiros possuem mais experiência com este material. A falta de familiaridade com estruturas metálicas e a necessidade de treinamento adequado são barreiras significativas para a transição.

Para fornecer uma base prática para a implementação de estruturas metálicas, este trabalho inclui uma planilha em Excel para cálculos de ligações soldadas, oferecendo uma ferramenta útil para engenheiros e construtores. A planilha permite calcular de maneira eficiente e precisa as ligações soldadas, facilitando o planejamento e a execução de projetos que utilizem estruturas metálicas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade econômica e ambiental do uso de estruturas metálicas soldadas em obras de pequeno porte em comparação com estruturas de madeira por meio de levantamentos e análises de estudos, publicações e uma entrevista com um profissional serralheiro com um foco em coberturas. O trabalho examina a utilização e de manutenção de ambos os materiais, destaca as vantagens ambientais do aço, como sua capacidade de reciclagem e menor pegada de carbono, e explora barreiras culturais e técnicas que dificultam a adoção do aço em pequenas cidades. Além disso, propõe soluções aplicáveis por meio de uma planilha Excel para cálculos de ligações soldadas, promovendo práticas de construção mais sustentáveis e eficientes.

3. HISTÓRICO DO USO DO AÇO NO BRASIL

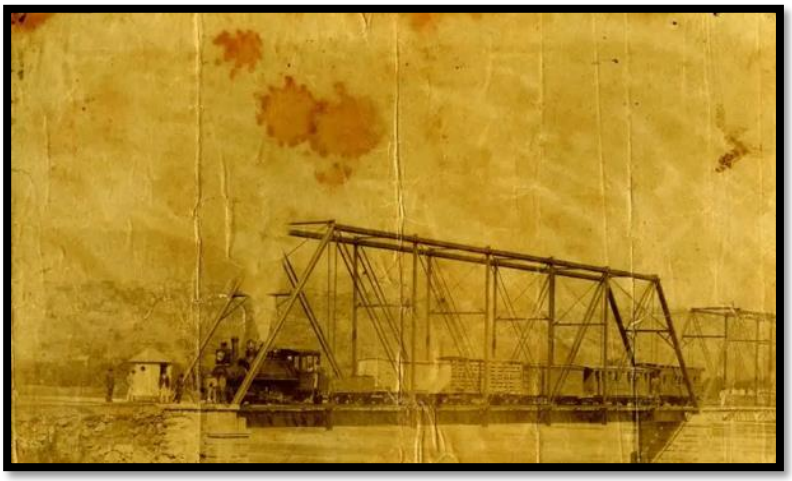
O uso do aço na construção civil no Brasil começou a ganhar destaque no início do século XX, impulsionado pela industrialização e pelo crescimento urbano. As primeiras aplicações se concentraram em estruturas de pontes e edifícios industriais, onde a necessidade de materiais resistentes e de rápida montagem era primordial. Com o avanço tecnológico e a maior disponibilidade de aço no mercado, o material começou a ser mais amplamente utilizado em diferentes tipos de construções. Nos anos 1960 e 1970, o Brasil começou a desenvolver normas técnicas para regular o uso do aço em construções, destacando-se a criação da ABNT NBR 8800:1986, que estabelece critérios para o projeto de estruturas de aço e mistas de aço e concreto, posteriormente substituída pela NBR 8800:2008.

Nas décadas seguintes, o setor de construção civil no Brasil passou por um processo de modernização. A introdução de novas tecnologias, como o aço galvanizado e os sistemas de Light Steel Framing (LSF), trouxe melhorias significativas em termos de durabilidade, sustentabilidade e eficiência na construção. O LSF, em particular, começou a ser adotado em obras residenciais e comerciais de pequeno porte, destacando-se por sua rapidez de montagem e baixo impacto ambiental (Rosa, 2021; Masuero, 2021). Atualmente, o uso do aço na construção civil é fortemente influenciado por questões ambientais. A reciclagem de aço, que consome menos energia do que a produção a partir de matérias-primas, contribui para a redução da pegada de carbono. Além disso, as estruturas metálicas permitem a integração eficiente de materiais isolantes, melhorando o desempenho térmico das edificações e promovendo a eficiência energética (E.P.I., 2020).

A primeira obra em aço no Brasil é amplamente reconhecida como a Ponte Metálica de São Fidélis, também conhecida como Ponte Walter Velasco, localizada em São Fidélis, no estado do Rio de Janeiro. Construída em 1889, a ponte foi projetada para atender o transporte ferroviário da região e posteriormente adaptada para o transporte rodoviário. A estrutura metálica é de origem inglesa e foi fundida

em estaleiro na Ponta de Areia, em Niterói, sob a supervisão do engenheiro inglês Dadgson. Esta obra é um marco na história das construções metálicas no Brasil e permanece em uso até hoje, demonstrando a durabilidade e a robustez das estruturas de aço (SF Notícias, 2020).

Figura 1: Ponte Metálica de São Fidélis, Rio de Janeiro



Fonte: (SF Notícias, 2020)

4. HISTÓRICO DA SOLDA

A soldagem remonta à Idade do Bronze, com evidências de caixas de ouro soldadas. Durante a Idade Média, os ferreiros utilizavam métodos de soldagem que permaneceram praticamente inalterados até o século XIX. No século XIX, grandes avanços foram feitos com a introdução de chamas abertas e eletrodos de carbono, culminando na soldagem a arco elétrico e na descoberta do acetileno (Aços Nobre, 2024).

No século XIX, grandes avanços foram feitos na soldagem com o uso de chamas abertas. O inglês Humphrey Davy, em 1800, inventou uma ferramenta operada por bateria capaz de produzir um arco entre eletrodos de carbono, uma técnica amplamente utilizada na soldagem de metais. Em 1836, Edmund Davy

descobriu o acetileno, que rapidamente se tornou um gás utilizado na indústria de soldagem (Aventa, 2024; Serrametal, 2024).

No início do século XX, novos processos de soldagem surgiram. O eletrodo de metal revestido foi introduzido em 1900 por Strohmenger, melhorando a estabilidade do arco. A resistência elétrica também emergiu como uma técnica importante, com Elihu Thompson desenvolvendo processos como a soldagem por pontos, costura e projeção. Em 1920, P.O. Nobel introduziu a soldagem automática, integrando a tensão do arco com fios de eletrodo nus, facilitando a reparação e moldagem de metais (Aventa, 2024; Serrametal, 2024).

Após a Segunda Guerra Mundial, a American Welding Society foi estabelecida para promover o avanço dos processos de soldagem. Nos anos 1950, a popularização do processo de soldagem a CO2 por Lyubavskii e Novoshilov permitiu a soldagem econômica de aços. Avanços como a soldagem a arco de plasma e a soldagem a feixe de elétrons foram desenvolvidos na segunda metade do século XX, sendo usados na construção de automóveis e fabricação de motores de aeronaves (Aventa, 2024; The Welding Pro, 2024).

Nos últimos anos, a evolução tecnológica trouxe a soldagem a laser e a soldagem por feixe de elétrons, que têm sido aplicadas na construção de automóveis e na fabricação de motores de aeronaves, devido à precisão e eficiência dessas técnicas (Aventa, 2024). Além disso, a soldagem por fricção com pino não consumível (Friction Stir Welding - FSW) tem se destacado pela sua aplicação em polímeros termoplásticos, permitindo a união sem a geração de fumos ou respingos (SciELO, 2021).

Outra área que aproveitou do crescimento e evolução da utilização de técnicas de soldagem foi a área de eletrônicos. A solda, para tal aplicação, consiste em uma liga feita a base de estanho (Sn), pois sua baixa temperatura de fusão (entre 180ºC à 230ºC) permite que seja aquecida rapidamente com um ferro de solda e

resfriada com apenas alguns segundos com a retirada da fonte de calor, além de ter boa ductibilidade e alta condutividade elétrica. Originalmente as ligas eram feitas com estanho e chumbo (Pb), responsável por diminuir a temperatura de fusão e aumentar a resistência mecânica da solda, em uma proporção de 60% e 40%, respectivamente, porém, preocupações com os impactos ambientais e de saúde incentivaram a troca desta substância por outras menos agressivas, como Prata (Ag) e Cobre (Cu). Tais ligas sem chumbo em sua composição são chamadas de “lead free solder” ou “solda sem chumbo”, compondo a maioria presente no mercado. Avanços na fabricação dessas ligas e a utilização de componentes SMD (“surface mount device”), componentes que podem ser soldados em apenas um lado da placa, permitiram a miniaturização de todo o campo industrial eletrônico e pode ser exemplificado pelo trabalho “Sistema de controle por navegador para quarto de hospital, 2023**”**, realizado por Matheus R. Silva, aluno formado pelo campus de Ilha Solteira.

5. HISTÓRICO DO USO DA MADEIRA

A madeira sempre teve um papel fundamental na construção civil ao redor do mundo, e no Brasil não foi diferente. Desde os tempos coloniais, a madeira era o principal material utilizado para a construção de casas e outras estruturas devido à sua abundância e facilidade de manejo (ResearchGate, 2021). No século XIX, com a chegada de imigrantes europeus, especialmente alemães, houve a introdução do sistema construtivo enxaimel, popular na região de Blumenau, Santa Catarina, que combinava madeira e alvenaria (Coisas da Roça, 2024).

Com o avanço da tecnologia e a preocupação crescente com a sustentabilidade, o uso da madeira na construção civil evoluiu significativamente. Hoje, materiais como a Madeira Laminada Colada (MLC) e a Madeira Laminada Cruzada (CLT) são amplamente utilizados devido à sua alta resistência mecânica e flexibilidade estrutural. Essas tecnologias permitem a construção de estruturas

complexas e duráveis, minimizando as vulnerabilidades naturais da madeira (EESC Jr, 2021).

Entre os últimos desenvolvimentos, a madeira engenheirada tem sido uma solução eficaz para minimizar os impactos ambientais, pois é um material renovável e possui um ciclo de produção com baixa emissão de carbono. Além disso, a madeira oferece excelente isolamento térmico e acústico, contribuindo para a eficiência energética das edificações. O sistema de construção Wood Frame, por exemplo, utiliza montantes e travessas de madeira preenchidos com isolantes termoacústicos, resultando em estruturas leves, resistentes e sustentáveis (ConstruindoDecor, 2024).

6. CONSTRUÇÃO CIVIL E IMPACTOS AMBIENTAIS

A construção civil é uma das atividades humanas que mais impactam o meio ambiente. Desde a extração de matérias-primas até a operação e demolição de edifícios, essa indústria gera uma série de consequências ambientais significativas. Entre os principais impactos, destacam-se o consumo intensivo de recursos naturais, a geração de resíduos, a emissão de poluentes e a alteração de ecossistemas.

Primeiramente, a construção civil é responsável por um alto consumo de recursos naturais, incluindo areia, pedra, ferro, aço, cimento, madeira e água. Estudos indicam que aproximadamente 40% dos recursos naturais extraídos globalmente são destinados à construção civil. Esse processo de extração de materiais muitas vezes resulta em degradação ambiental, perda de biodiversidade e alterações na paisagem, contribuindo significativamente para a deterioração dos ecossistemas naturais (Masuero, 2021; Rosa, 2021).

Além do consumo de recursos, a produção de materiais de construção, como cimento e aço, é uma das maiores fontes de emissões de dióxido de carbono (CO2), um dos principais gases de efeito estufa. A fabricação de cimento, por exemplo, é

responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO2 (Andrew, 2018). Essas emissões são agravadas pela operação de máquinas e veículos durante a construção, que também contribuem para a poluição do ar, afetando a qualidade do ar e a saúde pública nas áreas urbanas.

Outro impacto ambiental significativo é a geração de resíduos. A construção civil gera grandes quantidades de resíduos sólidos, e estima-se que os resíduos de construção e demolição representem até 40% do total de resíduos sólidos urbanos (Ekanayake & Ofori, 2000). Esses resíduos, se não forem adequadamente geridos, podem resultar em contaminação do solo e das águas, além de ocuparem espaço em aterros sanitários, representando um desafio crescente para a gestão de resíduos nas cidades.

Figura 2: Resíduos de Construção Civil

Fonte: (AECweb, 2018)

A expansão urbana e a construção de infraestruturas frequentemente resultam na destruição de habitats naturais e na fragmentação de ecossistemas. Isso pode levar à perda de biodiversidade e à degradação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do clima e a purificação da água (SciELO, 2021). A fragmentação de habitats naturais não só afeta as espécies locais, mas também altera os padrões ecológicos e climáticos em uma escala regional e global.

Em resposta a esses impactos, a construção civil tem buscado adotar práticas mais sustentáveis. O conceito de construção sustentável visa minimizar os impactos ambientais através do uso eficiente de recursos, redução de resíduos, e adoção de tecnologias limpas e materiais renováveis. A certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um exemplo de iniciativa que promove práticas de construção sustentável, avaliando edifícios em aspectos como eficiência energética, uso de água, e materiais sustentáveis (USGBC, 2024). Essa mudança para práticas mais sustentáveis é crucial para mitigar os impactos ambientais da construção civil e promover um desenvolvimento urbano mais responsável e resiliente.

6.1. IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A utilização de madeira na construção civil, apesar de suas vantagens estéticas e estruturais, conforme demonstrado na Figura 3, pode acarretar significativos prejuízos ambientais, especialmente quando não há manejo sustentável.

Figura 3: Treliça de Madeira em Residência

Fonte: (Fórum da Construção, 2024)

O setor da construção civil é um dos principais consumidores de madeira natural, representando cerca de 66,7% da madeira extraída no Brasil (Satiro, 2019). Esse consumo elevado pode levar ao desmatamento, contribuindo para a perda de biodiversidade e a degradação de ecossistemas florestais. O desmatamento não controlado também reduz a capacidade das florestas de sequestrar carbono, agravando as mudanças climáticas.

Ademais, embora a madeira seja um material renovável, a sua extração, processamento e transporte geram emissões significativas de CO2. O uso de madeira em construções temporárias, como fôrmas e andaimes, aumenta ainda mais esses impactos devido ao descarte inadequado e à necessidade frequente de substituição (Martins & Amorim, 2017).

A quantidade de resíduos gerada pela utilização de madeira é grande, especialmente em obras que utilizam elementos temporários como fôrmas e escoramentos. Esses resíduos, muitas vezes descartados de forma inadequada, podem representar até 42% do volume total de resíduos de uma obra residencial durante a fase de execução estrutural. Esses resíduos, se não reciclados ou reutilizados adequadamente, acabam em aterros, contribuindo para a poluição do solo e da água (Martins & Amorim, 2017).

6.2. NORMAS E REGULAMENTAÇÕES

No Brasil, a gestão de resíduos na construção civil ainda enfrenta significativas deficiências na aplicação das normas estabelecidas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). A Resolução CONAMA 307/2002 estabelece diretrizes para a gestão de resíduos da construção civil, incluindo a necessidade de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação final adequada dos resíduos. No entanto, estudos indicam que a implementação dessas normas é frequentemente inadequada.

De acordo com um relatório da revista Ângulos, apesar de existirem normas técnicas e regulamentações, a falta de políticas públicas eficazes, a insuficiência de fiscalização e a carência de compromisso por parte dos geradores de resíduos são obstáculos significativos para uma gestão eficaz dos resíduos da construção civil. Estes desafios resultam em práticas inadequadas de descarte, como o despejo irregular de resíduos em vias públicas e terrenos baldios, que podem causar degradação ambiental e impactos negativos na saúde pública e na paisagem urbana (Ângulos - A Revista do Crea Rio, 2022; CONAMA, 2002).

De acordo com um estudo publicado pela Universidade Federal de Goiás, a implementação da PNRS varia significativamente entre os municípios, com muitas localidades enfrentando dificuldades devido à falta de recursos e à ausência de priorização nas políticas públicas para a gestão integrada de resíduos sólidos. Isso resulta em práticas inadequadas de descarte, como o despejo irregular de resíduos em vias públicas e terrenos baldios, causando degradação ambiental e problemas de saúde pública (Ângulos - A Revista do Crea Rio, 2022; SILVA, 2017).

A implementação da PNRS enfrenta desafios significativos. Estudos indicam que a coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares é efetiva em apenas 36,3% dos municípios cadastrados. A erradicação dos lixões, prevista para 2014, ainda não foi plenamente alcançada. Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos de 2022 da ABRELPE, o Brasil produziu cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais 93% foram coletados, mas 39% ainda são destinados a lixões e aterros controlados, indicando a necessidade de melhorias na gestão de resíduos.

7. VANTAGENS AMBIENTAIS DO USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM OBRAS PEQUENAS

O uso de estruturas metálicas em obras pequenas apresenta várias vantagens ambientais em comparação ao uso de madeira. A principal vantagem está

relacionada à sustentabilidade e à capacidade de reciclagem do aço. O aço é 100% reciclável, podendo ser reutilizado infinitamente sem perder suas propriedades, o que reduz significativamente a necessidade de extração de novos recursos naturais e minimiza os resíduos sólidos (Estrutura Metálica PR, 2023; Grupo Br Aço, 2023).

Além disso, a produção de estruturas metálicas costuma gerar menos desperdício de materiais no canteiro de obras, pois as peças são pré-fabricadas e montadas no local, reduzindo a necessidade de cortes e ajustes adicionais. Isso contribui para um ambiente de construção mais limpo e organizado, diminuindo o impacto ambiental das atividades de construção (Benzor Engenharia, 2023).

As estruturas metálicas também oferecem alta eficiência energética. A produção de aço moderna utiliza tecnologia limpa, reduzindo as emissões de carbono. As estruturas de aço permitem a criação de telhados e fachadas que aproveitam melhor a luz natural, diminuindo o consumo de energia elétrica (Estrutura Metálica PR, 2023).

7.1. EMISSÕES DE CO2

O processo de fabricação do aço, embora intensivo em energia, tem se tornado cada vez mais eficiente com a implementação de tecnologias de redução de emissões. A reciclagem de aço requer significativamente menos energia do que a produção de aço a partir de matérias-primas, reduzindo assim a pegada de carbono das construções que utilizam estruturas metálicas (BARBOSA, 2022). Adicionalmente, o uso de aço reciclado nas construções contribui para a redução das emissões de CO2 associadas à extração e processamento de novos materiais.

7.2. REDUÇÃO DO DESMATAMENTO

O uso de estruturas metálicas ajuda a mitigar os impactos ambientais associados ao desmatamento, especialmente em regiões onde a madeira é extraída

de florestas não manejadas de forma sustentável. A redução da demanda por madeira em construção alivia a pressão sobre as florestas, contribuindo para a preservação da biodiversidade e a proteção dos ecossistemas (REVISTA FT, 2023).

7.3. GESTÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A gestão de resíduos na construção civil é uma questão crítica. O uso de estruturas metálicas facilita a triagem e reciclagem de materiais no canteiro de obras, promovendo a economia circular. A prática de reutilização de elementos metálicos, quando comparada ao descarte de materiais de construção tradicionais, resulta em uma menor quantidade de resíduos encaminhados para aterros sanitários (JOHN, 2000; SIENGE, 2022).

7.4. CONTRIBUIÇÕES DAS NORMAS TÉCNICAS E CÓDIGO DE OBRAS

As normas técnicas desempenham um papel fundamental na regulação e padronização do uso de materiais e métodos na construção civil, garantindo segurança, durabilidade e sustentabilidade. A NBR 15253:2014, por exemplo, regula o uso de perfis de aço formados a frio para painéis reticulados em edificações, assegurando que os componentes utilizados no Light Steel Framing (LSF) atendam a requisitos específicos de qualidade e desempenho. Isso garante que as construções sejam seguras, duráveis e alinhadas com os princípios de sustentabilidade (ABNT, 2014).

Outra norma importante é a NBR 14762:2010, que trata do dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Essa norma fornece diretrizes detalhadas para o cálculo e dimensionamento, garantindo que as estruturas de aço sejam projetadas de maneira segura e eficiente (ABNT, 2010). A adoção dessa norma é fundamental para assegurar a integridade estrutural e a longevidade das edificações.

A NBR 8800:2008 também é essencial, pois especifica os requisitos para o projeto e execução de estruturas de aço e mistas de aço e concreto de edifícios. Essa norma abrange todos os aspectos desde o projeto até a execução, incluindo cargas, métodos de cálculo e critérios de aceitação. Ao seguir as diretrizes da NBR 8800, os engenheiros e construtores garantem que as estruturas metálicas sejam projetadas e construídas com os mais altos padrões de segurança e desempenho (ABNT, 2008).

Além das normas específicas para materiais e métodos construtivos, é essencial considerar a NBR 15575:2021, que estabelece os requisitos de desempenho para edificações habitacionais. Essa norma abrange aspectos como segurança estrutural, durabilidade, sustentabilidade, conforto térmico e acústico, e eficiência energética. Ao seguir as diretrizes da NBR 15575, as construções com estruturas metálicas não só atendem aos padrões de qualidade, mas também contribuem para um ambiente construído mais sustentável (ABNT, 2021).

No âmbito legal, o Código de Obras e Edificações de diversas cidades brasileiras também incorpora requisitos que asseguram a qualidade e segurança das construções. Em São Paulo, por exemplo, o Código de Obras e Edificações (Lei nº 16.642/2017) estabelece diretrizes para a aprovação de projetos e execução de obras, incluindo requisitos para o uso de materiais e métodos construtivos inovadores.

Portanto, ao seguir essas normas e leis, os profissionais da construção civil garantem que as edificações sejam projetadas e executadas com alta qualidade, segurança e sustentabilidade, alinhando-se com as melhores práticas internacionais e promovendo um desenvolvimento urbano responsável.

8. VANTAGENS ECONÔMICAS REFENTES AO USO DO AÇO EM OBRAS RESIDENCIAIS PEQUENAS

O uso do aço em estruturas de obras residenciais pequenas oferece diversas vantagens econômicas, que tornam essa escolha altamente competitiva em comparação com outros materiais, como a madeira.

Figura 4: Estrutura Metálica em Construção Residencial

Fonte: (Estruturas Jaguarí, 2024)

8.1. REDUÇÃO DO TEMPO DE CONSTRUÇÃO

Uma das principais vantagens econômicas do uso de aço é a significativa redução no tempo de construção. Componentes metálicos são frequentemente pré-fabricados e padronizados, permitindo uma montagem rápida no local da obra. Estudos indicam que o uso de estruturas metálicas pode reduzir o tempo de execução em até 40% comparado aos métodos tradicionais (CBCA, 2014). Isso não só diminui os custos de mão de obra, mas também acelera o retorno sobre o investimento para os proprietários.

8.2. EFICIÊNCIA E RACIONALIZAÇÃO DE MATERIAIS

Estruturas de aço permitem uma maior precisão e menos desperdício de material durante a construção. Em projetos convencionais, o desperdício de material pode chegar a 25% do peso total, enquanto a construção com aço reduz significativamente esse desperdício através da utilização de sistemas industrializados (JOHN, 2000; CBCA, 2014). Além disso, a capacidade de reciclar o aço ao fim de sua vida útil torna este material uma escolha sustentável e econômica a longo prazo.

8.3. CUSTOS DE MANUTENÇÃO REDUZIDOS

O aço é altamente durável e resistente a diversas condições ambientais adversas, como umidade e pragas, que frequentemente afetam a madeira. Isso resulta em menores custos de manutenção ao longo do tempo. Estruturas de aço, quando devidamente tratadas, podem durar décadas com pouca necessidade de reparos ou substituições (ABNT, 2008).

8.4. OTIMIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS

A utilização de aço pré-fabricado contribui para um canteiro de obras mais organizado e seguro. A redução na quantidade de materiais soltos, como areia e brita, diminui a produção de entulhos e o risco de acidentes, além de simplificar a logística de armazenamento e transporte no local da construção (Ekanayake & Ofori, 2000).

8.5. SUSTENTABILIDADE E INCENTIVOS FISCAIS

O aço é um material 100% reciclável e sua produção moderna tende a ser mais sustentável, com menor impacto ambiental em comparação com outros

materiais. Além disso, políticas públicas e incentivos fiscais para construções sustentáveis podem reduzir ainda mais os custos e tornar o uso do aço uma escolha economicamente vantajosa (USGBC, 2024).

9. PREDOMINÂNCIA DA SOLDA EM ESTRUTURAS DE OBRAS PEQUENAS

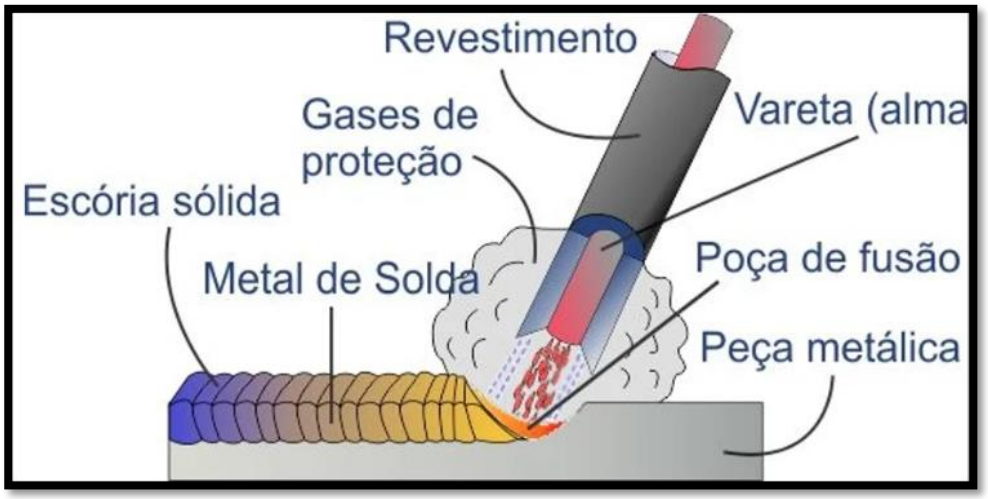
O uso de solda em estruturas metálicas pequenas é amplamente preferido no Brasil devido a várias vantagens técnicas e econômicas. De acordo com estudos acadêmicos, a soldagem oferece maior rigidez e integridade estrutural em comparação com conexões parafusadas, além de proporcionar uma distribuição uniforme de cargas, eliminando pontos fracos frequentemente associados aos parafusos. Isso torna a solda uma escolha mais segura e econômica para pequenas construções metálicas.

A soldagem é preferida em estruturas pequenas porque proporciona maior rigidez e integridade estrutural. A distribuição uniforme de cargas através da soldagem elimina os pontos fracos comuns em conexões parafusadas, aumentando a segurança e eficiência das construções. Estudos realizados por fontes especializadas confirmam que a soldagem é amplamente utilizada devido a essas vantagens técnicas e econômicas. O artigo 'Tudo o que você precisa saber sobre soldagem de filete', publicado pela Compraco, enfatiza que as soldas de filete são amplamente utilizadas em estruturas pequenas, garantindo segurança e eficiência superiores às conexões parafusadas (COMPRACO, 2023). Além disso, o documento 'Ligações Soldadas em Estruturas Metálicas' da UFPR destaca a prevalência da soldagem em construções metálicas pequenas, reforçando suas vantagens sobre os parafusos (UFPR, 2013). O estudo 'Análise e Dimensionamento de Ligações Soldadas em Cobertura Metálica', publicado pela ABCEM, também corrobora essas vantagens (ABCEM, 2015).

10. SOLDAS, ESPECIFICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Os tipos de solda mais usados em treliças de obras pequenas incluem: Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW), Soldagem MIG/MAG (GMAW) e Soldagem TIG (GTAW), detalhadas a seguir.

Figura 5: Esquema de Processo de Solda



Fonte: (blog Abicor Binzel, 2019)

10.1. SOLDAGEM A ARCO COM ELETRODO REVESTIDO (SMAW)

A soldagem a arco com eletrodo revestido, também conhecida como Soldagem Manual com Eletrodo Revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), é um dos processos de soldagem mais tradicionais e amplamente utilizados no mundo. Este método utiliza um eletrodo revestido para gerar um arco elétrico que funde o metal base e o material de enchimento, formando uma junta soldada.

10.1.1. Princípios do Processo

No processo de SMAW, um arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo revestido e o metal de base. O calor gerado pelo arco funde ambos, o metal de base e o eletrodo, criando uma poça de fusão. O revestimento do eletrodo se decompõe,

produzindo uma escória que cobre a poça de fusão e protegendo-a da contaminação atmosférica.

10.1.2. Componentes do Processo

- Fonte de Energia: Fornece a corrente necessária para manter o arco elétrico. Pode ser de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA).
- Eletrodo Revestido: Consiste em um núcleo metálico revestido por um material que fornece a proteção gasosa e a escória necessária para a solda.
- Equipamento de Soldagem: Inclui o porta-eletrodo, cabos de soldagem e a fonte de energia.

10.1.3. Vantagens da SMAW

- Versatilidade: Pode ser utilizado em diversas posições de soldagem (horizontal, vertical, sobrecabeça).
- Custo Relativamente Baixo: Equipamentos e consumíveis são mais acessíveis comparados a outros processos de soldagem.
- Adequado para Reparos: É ideal para trabalhos de manutenção e reparo devido à sua portabilidade e simplicidade.

10.1.4. Desvantagens da SMAW

- Taxa de Deposição: Menor taxa de deposição em comparação com processos automáticos.
- Resíduos de Escória: A necessidade de remover a escória após a soldagem pode aumentar o tempo de trabalho.
- Habilidade do Soldador: Requer um alto nível de habilidade e treinamento do soldador para obter soldas de qualidade.

10.1.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas

A SMAW é amplamente utilizada em treliças de obras pequenas devido à sua flexibilidade e capacidade de adaptação a diversas condições de trabalho. É particularmente útil em situações onde a portabilidade e a simplicidade do equipamento são essenciais.

10.2. SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)

A soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), também conhecida como GMAW (Gas Metal Arc Welding), é um processo de soldagem a arco que utiliza um arame consumível e uma proteção gasosa para fundir o metal de base. Este método é amplamente utilizado devido à sua eficiência e capacidade de produzir soldas de alta qualidade.

10.2.1. Princípios do Processo

No processo GMAW, um arco elétrico é formado entre um arame consumível contínuo e o metal de base. O arame é alimentado automaticamente por um alimentador de arame, e um gás de proteção é fornecido para proteger a poça de fusão da contaminação atmosférica. Em função da proteção gasosa, esse processo não é recomendado para serviços de campo (CBCA, 2017). Existem dois tipos principais de gases de proteção usados:

- MIG (Metal Inert Gas): Utiliza gases inertes, como argônio ou hélio, que não reagem com o material de base.
- MAG (Metal Active Gas): Utiliza gases ativos, como dióxido de carbono ou misturas de argônio e CO2, que podem reagir com o material de base para melhorar a estabilidade do arco e a penetração da solda.

10.2.2. Componentes do Processo

- Fonte de Energia: Fornece a corrente contínua necessária para manter o arco elétrico.
- Arame Consumível: Serve como eletrodo e material de enchimento.
- Gás de Proteção: Protege a poça de fusão contra a contaminação atmosférica.
- Equipamento de Soldagem: Inclui a tocha de soldagem, o alimentador de arame, cabos de soldagem e a fonte de energia.

10.2.3. Vantagens da GMAW

- Alta Eficiência: Taxa de deposição elevada e maior produtividade em comparação com outros processos de soldagem.
- Versatilidade: Pode ser usado em uma ampla gama de metais e espessuras.
- Facilidade de Automação: O processo é facilmente automatizável, o que o torna ideal para aplicações industriais em larga escala.

10.2.4. Desvantagens da GMAW

- Custo do Equipamento: Equipamentos e gases de proteção podem ser mais caros.
- Sensibilidade ao Vento: O processo é sensível a correntes de ar, o que pode dificultar seu uso em ambientes externos.
- Habilidade do Operador: Requer treinamento e habilidade do operador para ajustar corretamente os parâmetros de soldagem.

10.2.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas

A GMAW é amplamente utilizada na fabricação de treliças para obras pequenas devido à sua capacidade de produzir soldas limpas e de alta qualidade com eficiência. É especialmente útil em ambientes controlados, como oficinas e fábricas.

10.3. SOLDAGEM TIG (GTAW)

A soldagem TIG (Tungsten Inert Gas), também conhecida como GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), é um processo de soldagem a arco que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível para produzir a solda. É amplamente reconhecida por sua capacidade de produzir soldas de alta qualidade e precisão.

10.3.1. Princípios do Processo

No processo GTAW, um arco elétrico é formado entre um eletrodo de tungstênio não consumível e o metal de base. O calor do arco funde o metal de base e o material de enchimento (se utilizado), enquanto um gás inerte, como argônio ou hélio, protege a poça de fusão da contaminação atmosférica.

10.3.2. Componentes do Processo

- Fonte de Energia: Fornece a corrente contínua necessária para manter o arco elétrico.
- Eletrodo de Tungstênio: Não se consome durante o processo e mantém o arco estável.
- Gás de Proteção: Protege a poça de fusão contra a contaminação atmosférica.
- Equipamento de Soldagem: Inclui a tocha de soldagem, o pedal de controle de corrente, cabos de soldagem e a fonte de energia.

10.3.3. Vantagens da GTAW

- Alta Qualidade da Solda: Produz soldas limpas e de alta precisão, com excelente controle sobre a poça de fusão.
- Versatilidade: Pode ser usado em uma ampla variedade de metais, incluindo aço inoxidável, alumínio, magnésio e metais não ferrosos.
- Sem Resíduos de Escória: Não há formação de escória, resultando em uma solda mais limpa.

10.3.4. Desvantagens da GTAW

- Velocidade de Soldagem: A velocidade de soldagem é relativamente baixa, o que pode aumentar o tempo de trabalho.
- Custo do Equipamento: Equipamentos e gases de proteção são geralmente mais caros.
- Habilidade do Operador: Requer um alto nível de habilidade e treinamento do soldador.

10.3.5. Aplicações em Treliças de Obras Pequenas

A GTAW é ideal para aplicações que exigem alta precisão e qualidade, como a soldagem de componentes delicados ou materiais que são suscetíveis à contaminação. Em treliças de obras pequenas, é particularmente útil apenas para soldas de acabamento e reparos.

11. CUIDADOS E DICAS PRÁTICAS PARA EXECUÇÃO DE SOLDAS

A precisão e a qualidade das soldas são essenciais para garantir que as estruturas possam suportar cargas, resistir a condições ambientais adversas e manter a segurança ao longo de sua vida útil. Pequenos defeitos ou falhas na

execução das soldas, como os demonstrados na Figura 6, podem comprometer significativamente a resistência da estrutura, levando a problemas graves, como colapsos estruturais ou a necessidade de reparos frequentes e dispendiosos.

Figura 6: Solda Porosa e com Escória

Fonte: Próprio Autor

Para atingir a excelência na soldagem, é imperativo que os profissionais da área sigam rigorosamente as recomendações técnicas e mantenham um alto padrão de controle de qualidade. Isso inclui a preparação adequada das superfícies, a seleção correta dos materiais, o ajuste preciso dos parâmetros de soldagem, e a aplicação de técnicas apropriadas. Além disso, a inspeção minuciosa das soldas e o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) são práticas indispensáveis para assegurar tanto a qualidade do trabalho quanto a segurança dos trabalhadores.

O controle de qualidade na soldagem não se limita apenas ao processo em si, mas também envolve um planejamento detalhado e uma execução cuidadosa. A limpeza das superfícies antes da soldagem, a escolha correta dos eletrodos ou arames de solda, e a manutenção dos equipamentos são aspectos fundamentais que influenciam diretamente o resultado final. Da mesma forma, a habilidade e o treinamento contínuo dos soldadores são fatores decisivos para a obtenção de soldas de alta qualidade.

11.1. LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES

Antes de iniciar a soldagem, é crucial limpar as superfícies das peças que serão soldadas. A presença de sujeira, óleo, ferrugem ou tinta pode comprometer a qualidade da solda. Utilize uma escova de arame, lixas ou solventes específicos para desengordurar e limpar a superfície (METALUXGROUP, 2023).

11.2. SELEÇÃO DE MATERIAIS

Certifique-se de que as peças a serem soldadas são compatíveis em termos de tipo e espessura de metal. A escolha adequada do eletrodo ou arame de solda é fundamental para garantir uma solda de qualidade (METALUXGROUP, 2023).

11.3. AJUSTE DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Ajuste a corrente de soldagem e a tensão de acordo com o tipo e a espessura do metal. Um ajuste correto é essencial para evitar problemas como porosidade e queimaduras (NOVA NEWS, 2024).

11.4. POSICIONAMENTO E ALINHAMENTO

Alinhe as peças corretamente antes de iniciar a solda. Use grampos ou ímãs para manter as peças na posição desejada, garantindo uma união precisa (METALUXGROUP, 2023).

11.5. MOVIMENTO CONSTANTE E UNIFORME

Durante a soldagem, mantenha um movimento constante e uniforme da tocha de solda. Isso ajuda a evitar a acumulação de calor em uma área específica e garante uma solda uniforme (NOVA NEWS, 2024).

11.6. CONTROLE DE TEMPERATURA

É importante controlar adequadamente a temperatura durante a soldagem. Excesso de calor pode enfraquecer a união, enquanto calor insuficiente pode resultar em uma solda fraca e defeituosa (METALUXGROUP, 2023).

11.7. INSPEÇÃO DA SOLDA

Após concluir a soldagem, inspecione a união em busca de defeitos. Procure por descontinuidades, porosidade e outros problemas que possam comprometer a integridade da solda (AVENTA, 2024).

11.8. ACABAMENTO DA SOLDA

Se necessário, lixe ou pule a solda para obter um acabamento suave e profissional. Isso não só melhora a aparência, mas também pode ajudar a identificar e corrigir quaisquer imperfeições (AVENTA, 2024).

11.9. EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Use sempre equipamentos de proteção, como máscara de solda, luvas, avental de couro e proteção auditiva. Trabalhe em uma área bem ventilada para evitar a inalação de fumos tóxicos (METALUXGROUP, 2023).

11.10. PROTEÇÃO DA ÁREA CIRCUNDANTE

Utilize cortinas ou telas de soldagem para evitar a projeção de faíscas e respingos em áreas sensíveis. Afaste materiais inflamáveis e tenha extintores de incêndio à mão (METALUXGROUP, 2023).

12. INSPEÇÃO

A soldagem é um processo crítico na construção de estruturas metálicas, desempenhando um papel fundamental na integridade e durabilidade das obras. A precisão e a qualidade das soldas são essenciais para garantir que as estruturas possam suportar cargas, resistir a condições ambientais adversas e manter a segurança ao longo de sua vida útil. Pequenos defeitos ou falhas na execução das soldas podem comprometer significativamente a resistência da estrutura, levando a problemas graves, como colapsos estruturais ou a necessidade de reparos frequentes e dispendiosos.

Para atingir a excelência na soldagem, é imperativo que os profissionais da área sigam rigorosamente as recomendações técnicas e mantenham um alto padrão de controle de qualidade. Isso inclui a preparação adequada das superfícies, a seleção correta dos materiais, o ajuste preciso dos parâmetros de soldagem, e a aplicação de técnicas apropriadas. Além disso, a inspeção minuciosa das soldas e o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) são práticas indispensáveis para assegurar tanto a qualidade do trabalho quanto a segurança dos trabalhadores.

O controle de qualidade na soldagem não se limita apenas ao processo em si, mas também envolve um planejamento detalhado e uma execução cuidadosa. A limpeza das superfícies antes da soldagem, a escolha correta dos eletrodos ou arames de solda, e a manutenção dos equipamentos são aspectos fundamentais que influenciam diretamente o resultado final. Da mesma forma, a habilidade e o treinamento contínuo dos soldadores são fatores decisivos para a obtenção de soldas de alta qualidade.

12.1. INSPEÇÃO DE SOLDA POR ULTRASSOM

A inspeção por ultrassom utiliza ondas sonoras de alta frequência para detectar descontinuidades dentro do material. As ondas são emitidas por um

transdutor e refletem ao encontrar um defeito, retornando ao transdutor e criando um sinal que pode ser analisado.

O equipamento necessário inclui um transdutor de ultrassom, gerador de pulsos, osciloscópio ou equipamento de leitura digital e acoplante, podendo ser gel ou outro liquido para melhorar a transmissão das ondas sonoras.

Para a inspeção por ultrassom de solda, a preparação da superfície é fundamental. A superfície da solda deve ser lisa, limpa e seca, sendo necessário remover revestimentos ou oxidação, se presentes. Em seguida, aplica-se o acoplante entre o transdutor e a superfície da solda para garantir uma boa transmissão das ondas sonoras. O próximo passo é o escaneamento, onde o transdutor é movido ao longo da solda, enviando ondas sonoras e recebendo os ecos de retorno. Por fim, ocorre a interpretação dos resultados, na qual as reflexões são analisadas para identificar a presença, localização e tamanho de descontinuidades. Defeitos como porosidade, inclusões de escória, trincas e falta de fusão podem ser detectados nesse processo (CBCA, 2017; INSPESOLDA, 2024)

A alta sensibilidade e precisão desse processo fornece uma avaliação confiável, no entanto, pode apresentar erros em superfícies irregulares ou em falhas próximas à superfície.

12.2. INSPEÇÃO DE SOLDA POR LÍQUIDO PENETRANTE

A inspeção por líquido penetrante é uma técnica não destrutiva usada para detectar descontinuidades abertas à superfície, como trincas e porosidade. O método baseia-se na capilaridade de um líquido para penetrar em defeitos superficiais.

Nessa inspeção utiliza-se limpador de superfície, liquido penetrante fluorescente ou visível, revelador e luz, podendo ser UV para liquido fluorescente ou visível.

Para a inspeção por líquido penetrante, a preparação da superfície é crucial. A superfície deve estar limpa e seca, sem óleo, graxa ou qualquer contaminação que possa impedir a penetração do líquido. Em seguida, o líquido penetrante é aplicado sobre a superfície da solda e deixado por um período especificado para penetrar nas descontinuidades. Após o tempo de penetração, o excesso de líquido é removido da superfície, tomando cuidado para não remover o penetrante das descontinuidades. Posteriormente, o revelador é aplicado para absorver o penetrante que saiu das descontinuidades, tornando os defeitos visíveis. Finalmente, a superfície é inspecionada visualmente, com luz UV (para penetrante fluorescente) ou luz visível, e as descontinuidades aparecem como indicações claras no revelador. (MAGNAFLUX, 2023).

Trata-se de um processo simples e de baixo custo que oferece alta sensibilidade para defeitos superficiais, no entanto, detecta apenas defeitos abertos à superfície, podendo ser difícil aplicar em materiais porosos, necessitando de uma devida e completa limpeza após a inspeção para evitar contaminação.

12.3. INSPEÇÃO POR MARTELAMENTO (MARTELOSCOPIA)

A inspeção por martelamento envolve a aplicação de golpes leves com um martelo em diferentes partes da solda ou estrutura. O som produzido pelas pancadas pode revelar informações sobre a integridade do material. Um som claro e nítido geralmente indica uma solda de boa qualidade, enquanto um som abafado ou metálico pode indicar a presença de descontinuidades ou defeitos, como trincas, porosidade ou falta de fusão.

Para a inspeção por martelamento, são utilizados um martelo de inspeção, geralmente de aço ou com ponta de bronze, e equipamentos de proteção individual (EPI) como óculos de segurança e protetores auriculares. O procedimento começa com a preparação da superfície, que deve estar acessível e preferencialmente limpa de sujeira e detritos. Em seguida, o inspetor aplica golpes leves e controlados com o

martelo ao longo da solda, ouvindo atentamente os sons produzidos. A interpretação dos resultados baseia-se na clareza e consistência dos sons: sons claros indicam uma solda sem defeitos significativos, enquanto sons abafados, metálicos ou inconsistentes podem sugerir a presença de defeitos (QUALYSOLDA, 2024; INSPESOLDA, 2024).

Entre as vantagens desta técnica estão a simplicidade e baixo custo, pois não requer equipamentos sofisticados e pode ser realizada rapidamente; a imediaticidade e intuição dos resultados, que podem ser interpretados rapidamente por inspetores experientes; e a versatilidade, podendo ser usada em campo e em diversas condições ambientais sem necessidade de preparação complexa. No entanto, a técnica apresenta desvantagens, como a subjetividade na interpretação dos sons, que depende da experiência do inspetor; limitações na detecção, sendo menos adequada para detectar defeitos internos ou profundos e mais eficaz para descontinuidades superficiais; e a dificuldade de documentar os resultados, diferente de técnicas como ultrassom ou radiografia, que permitem documentação e quantificação dos resultados.

A inspeção por martelamento é frequentemente utilizada como uma primeira etapa de avaliação ou em conjunto com outras técnicas de inspeção não destrutiva (END) para fornecer uma visão inicial sobre a qualidade da solda. É particularmente útil em ambientes industriais onde a rapidez e a simplicidade são cruciais.

12.4. INSPEÇÃO POR RADIOGRAFIA

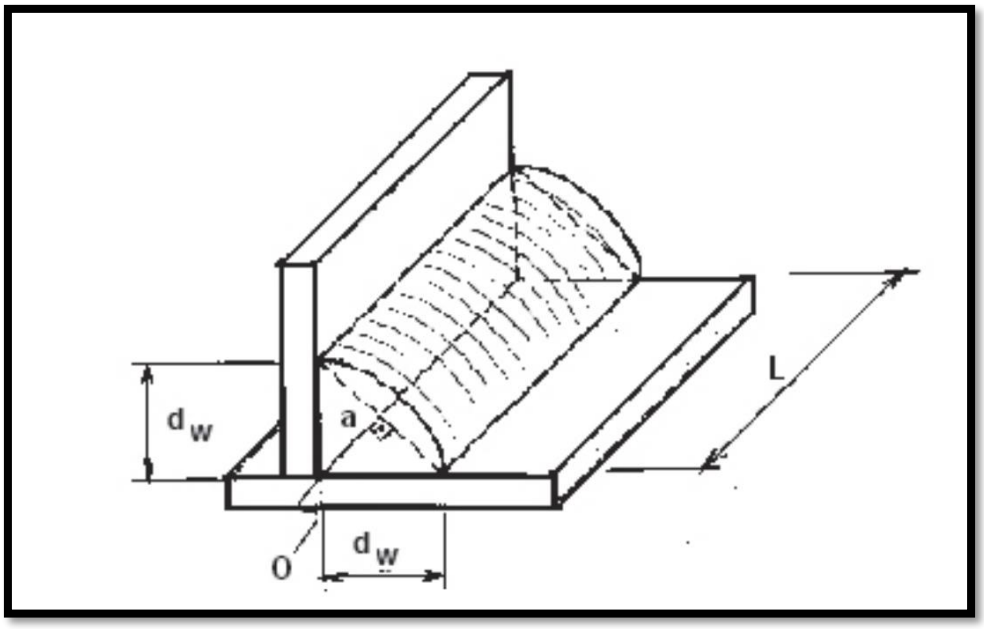
A radiografia é um método de inspeção que utiliza raios X ou raios gama para detectar defeitos internos e superficiais em soldas. Este método pode ser usado em qualquer tipo de superfície e é eficaz para visualizar a estrutura interna da solda, identificando defeitos como porosidade interna, inclusões e falta de fusão. A ABNT NBR 8800:2008 menciona a radiografia como um método preciso para a inspeção

de soldas. Contudo, o equipamento necessário é caro e complexo, além de requerer proteção contra radiação e operadores qualificados (CBCA, 2018).

13. DIMENSIONAMENTO DE SOLDA EM FILETE PARA TRELIÇA RESIDENCIAL

Neste capítulo, aborda-se o dimensionamento de soldas de filete em treliças residenciais, fundamentado na norma NBR 8800 e na literatura especializada, como "Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800, 2008, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2009" e “Ligações em Estruturas Metálicas**.** Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2017”. As soldas de filete são amplamente utilizadas em treliças pela sua simplicidade e eficácia. Estudos como os de Dias e Vaz (2021) destacam a eficiência e confiabilidade dessas soldas em estruturas metálicas. Além disso, Marcelo F. de Paula (2020) enfatiza a importância das soldas de filete na integridade estrutural das treliças residenciais, justificando sua escolha e detalhamento neste trabalho.

Figura 7: Filete de Solda



Fonte: Manual de Ligações em Estruturas Metálicas. Instituto CBCA, 2017

Fundamentalmente, a resistência de solda em filete é calculada de acordo com a área efetiva de solda:

$$A_w = 0{,}7.dw.L$$

onde:

- dw é a perna da solda
- l é o comprimento do filete de solda

De acordo com a literatura, o cálculo da resistência do filete leva em consideração apenas os esforços cisalhantes entre as chapas envolvidas na solda, logo, não sendo necessário considerar os esforços de tração e compressão. A resistência de cálculo para ruptura da solda pode ser obtida utilizando a equação:

$$R_{w,d} = \frac{A_w.(0{,}6.f_w)}{\gamma_{w_2}}$$

onde:

- f_w é a tensão resistente do metal da solda, dado na Tabela 1
- γ_{w_2} é o coeficiente de segurança para a solda, dado na Tabela 3

Tabela 1: Resistência à Tração do Metal Solda

Metal da Solda	f_w (MPa)
Classe 6 ou 60 (AWS)	415
Classe 7 ou 70 (AWS)	485
Classe 8 ou 80	550

Fonte: Manual de Ligações em Estruturas Metálicas. Instituto CBCA 2017

O Manual CBCA – Ligações em Estruturas Metálicas, 2017, recomenda que se leve em consideração também o escoamento do metal base, tomando como referência de cálculo o menor valor entre este e a resistência do metal de solda. Para tanto, a resistência do metal base será:

$$R_{M,d} = \frac{A_{MB}.(0{,}6.f_{yb})}{\gamma_{a_1}}$$

onde:

- γ_{a_1} é o coeficiente de ponderação das resistências para o estado limite último de ruptura da seção líquida dado na Tabela 3.
- f_{yb} é a resistência ao escoamento do metal base dado na Tabela 2
- A_{MB} é a área liquida do elemento sujeita a cisalhamento, sendo o produto do comprimento de solda e o lado menos espesso da perna do filete.

Tabela 2: Limite de escoamento e resistência à tração

Especificação	f_{yb} (MPa)	f_{ub} (MPa)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)
ASTM A325a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$½ \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 \leq d_b \leq 36$	$1 \leq d_b \leq 1\ ½$
ASTM A490b	895	1.035	$16 \leq d_b \leq 36$	$½ \leq d_b \leq 1\ ½$
ASTM A307	-	415	-	$½ \leq d_b \leq 4$
ISO 898–1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 10.9	900	1.000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

Fonte: Manual de Ligações em Estruturas Metálicas. Instituto CBCA, 2017

Tabela 3: Valores dos coeficientes de ponderação das resistências

Combinações	γ_{a1}	γ_{a2}	γ_e	γ_{w1}	γ_{w2}
Normais	1,10	1,35	1,20	1,25	1,35
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,25	1,35
Excepcionais	1,00	1,15	1,00	1,05	1,15

Fonte: Manual de Ligações em Estruturas Metálicas. Instituto CBCA, 2017

Para tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, a resistência de cálculo da solda é admitida como sendo a mesma do metal base. Ou seja, a solda de filete não precisa ser verificada desde que seja usado metal de solda compatível com o metal base (Instituto Aço Brasil, 2017)

13.1. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS PARA SOLDA DE FILETE

Além da verificação dos estados limites últimos, a NBR 8800:2008 estabelece algumas disposições construtivas relativas à solda de filete.

13.1.1. Tamanho Mínimo da Perna

O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete em função da parte menos espessa soldada é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Dimensões Mínimas de Filetes de Solda (dw)

Menor espessura do metal base na junta t (mm)	d_w (mm)
≤ 6,35	3
6,35 < t ≤ 12,5	5
12,5 < t ≤ 19	6
> 19	8

Fonte: NBR 8800:2008

13.1.2. Tamanho Máximo da Perna

A dimensão nominal máxima da perna de uma solda de filete que pode ser executado ao longo de bordas de partes soldadas é dada na Tabela 5.

Tabela 5: Dimensão Nominal Máxima da Perna de Filete de Solda (dw)

Espessura do material da borda t (mm)	d_w (mm)
< 6,35	t
≥ 6,35	$t - 1,5$

Fonte: NBR 8800:2008

13.1.3. Comprimento Efetivo

O comprimento efetivo das soldas de filete dimensionadas para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e nem inferior a 40 mm ou então, esse tamanho não pode ser considerado maior que 25% do comprimento efetivo da solda.

13.1.4. Chapas Planas Tracionadas

Em chapas planas tracionadas, se forem usadas apenas filetes longitudinais nas ligações extremas, o comprimento de cada filete não pode ser inferior à distância transversal entre eles.

13.1.5. Soldas Intermitentes

As soldas intermitentes podem ser executadas desde que cuidados especiais com flambagens locais e corrosão sejam tomados. Devem ser dimensionadas para transmitir as solicitações de cálculo, quando a resistência de cálculo exigida for inferior à de uma solda contínua do menor tamanho da perna permitido. Também podem ser empregadas nas ligações de elementos de barras compostas. O comprimento efetivo de qualquer segmento de solda intermitente de filete não pode ser inferior a 4 vezes o tamanho da perna, nem menor do que 40 mm.

13.1.6. Ângulos de Fusão

As soldas de filete com faces de fusão não ortogonais são permitidas para ângulos entre faces de fusão compreendidos entre 60° e 120°, desde que haja contato entre as partes soldadas através de superfície plana e não apenas uma aresta. Para outros ângulos não se pode considerar tal solda como estrutural, pois esta não é adequada para transmissão de esforços.

13.1.7. Ligações por Superposição

Em ligações por superposição, o cobrimento mínimo deve ser igual a 5 vezes a espessura da parte ligada menos espessa e nunca inferior a 25 mm. Em chapas ou barras ligadas por superposição apenas com filetes transversais e sujeitas a solicitação axial, as soldas de filete devem ser executadas ao longo de ambas as extremidades, exceto quando a deformação das partes sobrepostas for convenientemente contida evitando a abertura da ligação pelo efeito das solicitações de cálculo.

13.1.8. Terminações de Soldas de Filete

As terminações de soldas de filete podem se estender até a extremidade, até as bordas das partes ligadas, ser interrompidas próximo desses locais ou formar um contorno fechado, exceto como limitado a seguir:

- Para juntas por superposição nas quais uma das partes se estende além de uma borda sujeita a tensões de tração longitudinais, os filetes devem ser interrompidos a uma distância dessa borda não inferior ao tamanho da perna do filete (dw)
- Para ligações de elementos estruturais com forças cíclicas normais a elementos em projeção, de frequência e magnitude que tenderiam a causar fadiga progressiva a partir de um ponto na extremidade da solda, os filetes de solda devem contornar os cantos, estendendo-se por uma distância não inferior a duas vezes a dimensão da perna ou à largura da parte ligada, a que for menor.
- Para ligações cujo projeto requer flexibilidade de elementos em projeção, se forem usados retornos nas extremidades dos filetes, o comprimento dos retornos não deve ex2ceder 4 vezes a dimensão da perna.
- Soldas de filete em lados opostos de um plano comum devem ser interrompidas no canto comum a ambas as soldas.

13.2. PLANILHA DE CÁLCULO

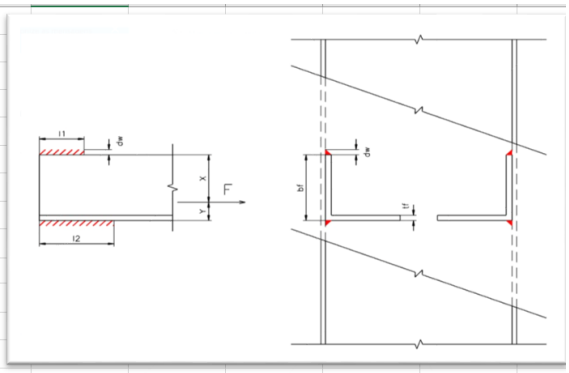
Para facilitar o dimensionamento prático, foi desenvolvida uma planilha de cálculo que permite determinar o tamanho mínimo da solda de acordo com o esforço solicitante inserido pelo usuário. Esta planilha automatiza os cálculos, proporcionando rapidez e precisão na obtenção dos resultados. A planilha leva em consideração diferentes dimensões de um perfil de catálogo comercial, garantindo que a solda projetada atenda aos requisitos de segurança e desempenho estrutural.

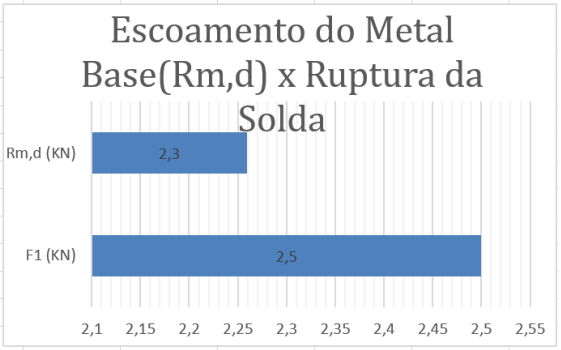
A planilha, detalhada na Figuras 8 e na Figura 9, aborda uma situação de cálculo de um elemento em dupla cantoneira soldadas em um perfil U para formação de estrutura treliçada.

Figura 8: Planilha de Cálculo de Ligação Soldada de Dupla Cantoneira e Perfil U com Metal Solda Mais Resistente que o Metal Base

Amarelo: dados alimentados pelo usuário

Dados de entrada			
Perfil		L 2x1/8	
Aço do perfil		Solicitações	
fy (KN/cm²)	25	F(kN) 2L	5
		F(KN) 1 L	2,5
Dados do perfil		Posição do carregamento	
tf(mm)	3,17	x(mm)	25,4
bf(mm)	50,8	y(mm)	25,4
rx = ry (mm)	16		
Área do perf.	310		
Solda			
dw(mm)	3	fw (kN/cm2)	48,5



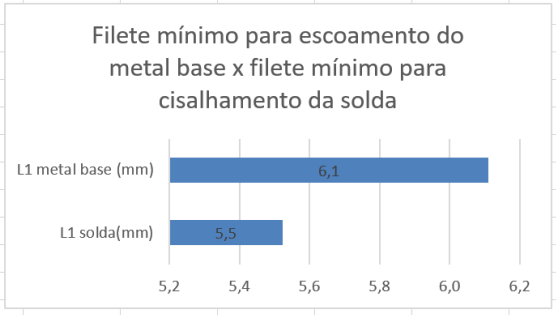


Comprimento mínimo necessário de soldas (mm)
ref: NBR8800 Item 6.2.5

F1 (KN)	2,5
F2 (KN)	2,5
L1 solda(mm)	5,5
L2 solda(mm)	5,5

Resistência do Metal Base (KN)

Rm,d (KN)	2,3
L1 metal base (mm)	6,1

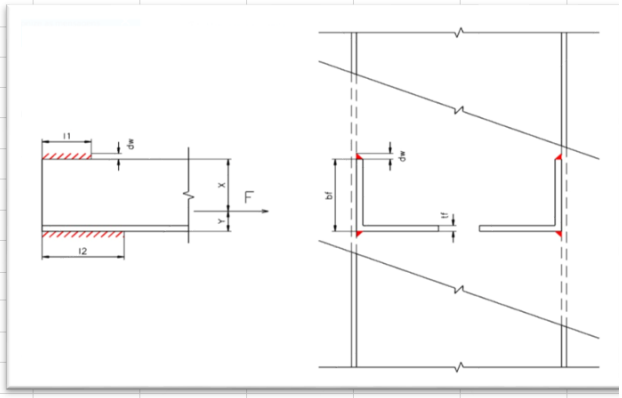


Fonte: Próprio Autor

Figura 9: Planilha de Cálculo de Ligação Soldada de Dupla Cantoneira e Perfil U com metal solda menos resistente que metal base

Amarelo: dados alimentados pelo usuário

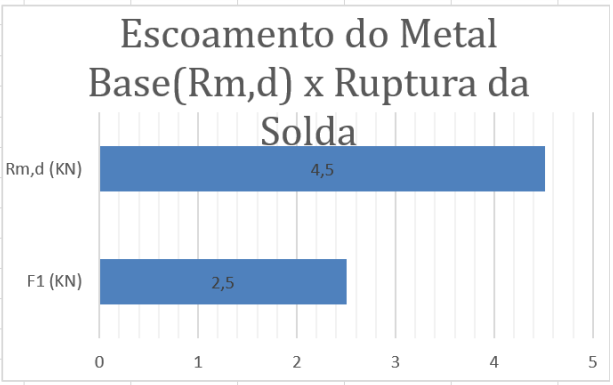
Dados de entrada			
Perfil		L 2x1/8	
Aço do perfil		Solicitações	
fy (KN/cm²)	50	F(kN) 2L	5
		F(KN) 1 L	2,5
Dados do perfil		Posição do carregamento	
tf(mm)	3,17	x(mm)	25,4
bf(mm)	50,8	y(mm)	25,4
rx = ry (mm)	16		
Área do perf.	310		
Solda			
dw(mm)	3	fw (kN/cm2)	48,5



Comprimento mínimo necessário de soldas (mm)

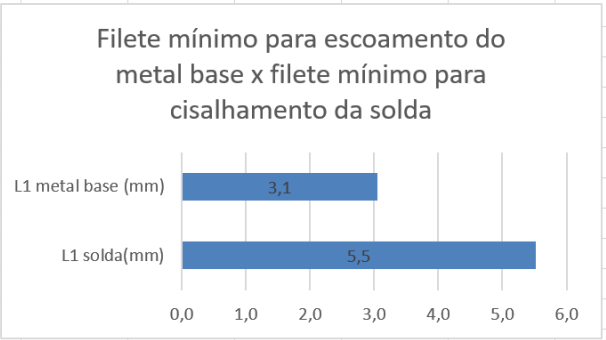
ref: NBR8800 Item 6.2.5

F1 (KN)	2,5
F2 (KN)	2,5
L1 solda(mm)	5,5
L2 solda(mm)	5,5



Resistência do Metal Base (KN)

Rm,d (KN)	4,5
L1 metal base (mm)	3,1



Fonte: Próprio Autor

13.3. DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS E CONCLUSÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE SOLDAS

O dimensionamento proposto traz as seguintes reflexões importantes sobre a segurança das ligações em solda:

13.3.1. Relação entre Resistência da Solda e Resistência do Metal Base

A comparação entre a resistência ao escoamento do metal base e a resistência do metal de solda confirma que o de menor valor estará, possivelmente, sendo o fator limitante no dimensionamento da solda.

13.3.2. Gráficos e Comparações

Os gráficos apresentados demonstram a comparação entre a resistência de projeto do metal base ao escoamento e a resistência da solda, bem como entre os comprimentos de solda necessários para o escoamento do metal base e para o cisalhamento da solda, conforme recomendado para dimensionamento pela literatura mencionada no início do item 13.

13.3.3. Conclusão (dimensionamento)

A análise detalhada dos dados e dos cálculos aponta para um caminho lógico, onde a comparação entre a resistência ao escoamento do metal base e a resistência do metal de solda pode trazer estimativas quanto ao fator limitante de projeto, garantindo segurança no projeto.

14. EXPERIÊNCIA PRÁTICA DE UM PROFISSIONAL SERRALHEIRO COMERCIANTE DE TRELIÇAS RESIDENCIAIS

Para enriquecer a compreensão sobre a utilização de soldas de filete em treliças residenciais, foi realizada uma entrevista com Hélio Ramos, um serralheiro experiente da empresa HR Serralheria, experiente fornecedor de madeira e aço para estruturas na cidade de Pereira Barreto, interior de São Paulo. A seguir, apresenta-se um resumo das informações fornecidas, que destacam aspectos práticos e

econômicos relacionados ao uso de estruturas metálicas e soldas de filete em treliças.

Hélio Ramos enfatiza que a escolha pelo uso de estruturas metálicas em São Paulo é influenciada por diversos fatores econômicos e ambientais. Segundo ele, o custo da madeira em São Paulo sempre foi alto devido à escassez de produção local e à necessidade de importar a matéria-prima. Esse cenário torna o uso do ferro uma alternativa economicamente viável, especialmente considerando a durabilidade e a resistência do material. Ele menciona que as treliças metálicas são preferíveis em várias aplicações devido à sua resistência ao apodrecimento e à infestação por cupins, problemas comuns nas estruturas de madeira. Além disso, Hélio ressalta que a demanda por ferragens tem aumentado, o que reflete uma tendência crescente na construção civil de São Paulo.

No contexto econômico e ambiental, Hélio observa que, historicamente, o custo de vida em São Paulo e a falta de conhecimento sobre as vantagens das estruturas metálicas mantiveram a madeira como material predominante. No entanto, com a conscientização ambiental e a regulamentação mais rígida sobre a exploração de madeira, o uso de ferro tem se tornado cada vez mais atrativo. Ele afirma que, em termos ambientais, o ferro apresenta uma vantagem significativa por não depender do desmatamento de áreas de Mata Atlântica. Acrescenta ainda acreditar em um momento futuro onde a ferragem será totalmente mais barata que a madeira e também, ainda mais futuramente, onde não será mais possível a extração de madeira diante de regulamentações e leis específicas para proteção ambiental, além de observar uma notável diminuição da utilização de madeira nas construções.

No entanto, a pandemia de COVID-19 trouxe desafios adicionais, incluindo interrupções no fornecimento de materiais e aumentos de preço. Hélio relata que a demanda por ferragens experimentou uma parada brusca durante a pandemia, devido a esses fatores, o que afetou a disponibilidade e o custo dos materiais. Apesar

disso, a empresa dele conseguiu manter a produção e atender à demanda do mercado local.

Ao comparar a madeira com o ferro, Hélio destaca que, além da durabilidade superior, as estruturas metálicas proporcionam um nível de segurança maior para os clientes. Ele afirma que a ferragem permite a garantia de um produto final de qualidade superior, com menor necessidade de manutenção ao longo do tempo.

Hélio também discute a questão da distribuição de carga entre madeira e ferro. Ele explica que a ferragem, ao contrário da madeira, não sofre com infiltração de água ou infestação por cupins, proporcionando uma solução mais duradoura e eficiente. Além disso, a ferragem permite uma distribuição de carga mais uniforme e eficiente, o que pode resultar em estruturas mais leves e econômicas. Ele relata um exemplo específico de vãos maiores, onde a ferragem permite o uso de menos material em comparação com a madeira, resultando em um custo total mais baixo. Para esse contexto, citou outra obra em que ele forneceu as treliças metálicas de uma garagem e destacou uma economia de R$6.000 em comparação com a utilização de madeira.

15. EXEMPLO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DE TRELIÇA METÁLICA EM OBRA RESIDENCIAL

Durante a elaboração deste estudo, foi observada uma aplicação prática significativa do uso de treliças metálicas em uma construção residencial próxima, ilustrando as vantagens econômicas e estruturais dessa escolha.

Em um projeto recente, uma casa de pequenas dimensões, com uma área coberta externa de 6 metros de largura por 6 metros de comprimento, foi construída utilizando treliças metálicas em vez de madeira. Devido às especificidades do projeto e às dimensões da casa, foi constatado que a utilização de peças de madeira

resultaria em um custo total mais elevado comparado ao uso de componentes metálicos. O custo total das treliças de madeira, desconsiderando o pilar central que seria necessário, somaria aproximadamente R$ 3.150. Em contraste, o custo total das treliças metálicas foi de R$ 1.950. A construção está ilustrada na Figura 10.

Figura 10: Treliças Metálicas em Residência

Fonte: Próprio Autor.

Essa diferença de custo se deve a diversos fatores, incluindo a durabilidade superior das treliças metálicas, a redução dos custos de manutenção ao longo do tempo e a eficiência na instalação, que pode ser acelerada devido à precisão e consistência das peças metálicas fabricadas.

Adicionalmente, o uso de madeira exigiria a inclusão de um pilar central para suportar o peso e as dimensões do cômodo exterior. Este pilar, além de aumentar os custos de material e construção, limitaria significativamente o espaço interno disponível, prejudicando a funcionalidade e a flexibilidade do ambiente. Por outro lado, as treliças metálicas permitiram a construção de um espaço livre de suportes centrais, maximizando o aproveitamento da área útil e oferecendo maior liberdade de design.

A escolha das treliças metálicas, além de ser mais econômica, proporcionou maior segurança e resistência estrutural à construção, alinhando-se com as práticas modernas de construção sustentável. Essa decisão foi fundamentada na análise comparativa dos custos e benefícios das duas opções de material, demonstrando que, mesmo em construções de pequeno porte, o uso de estruturas metálicas pode ser vantajoso tanto economicamente quanto em termos de desempenho estrutural.

Este exemplo destaca a relevância da aplicação de soldas em estruturas metálicas em obras pequenas, reforçando a tese de que a adoção de soluções metálicas é uma prática viável e eficiente para diferentes tipos de projetos residenciais.

16. LIMITAÇOES DO ESTUDO

Este estudo apresenta uma análise abrangente da viabilidade econômica e ambiental do uso de estruturas metálicas em construções residenciais de pequeno porte em comparação com estruturas de madeira. No entanto, algumas limitações devem ser reconhecidas para fornecer um contexto completo e identificar áreas para futuras pesquisas. O estudo se concentra em uma região de cerrado no estado de São Paulo. Embora essa área ofereça um contexto relevante devido à escassez de madeira, os resultados podem não ser generalizáveis para outras regiões do Brasil com diferentes disponibilidades de recursos e condições econômicas. Além disso, os custos associados a materiais e mão de obra variam significativamente entre diferentes regiões e ao longo do tempo, necessitando de constantes atualizações e análises de mercado.

Embora o estudo aborde os impactos ambientais gerais da construção civil, algumas variáveis ambientais, como a biodiversidade e os efeitos indiretos do desmatamento, não foram quantificadas detalhadamente. Uma análise mais profunda poderia incluir uma avaliação de ciclo de vida (LCA), um método

normatizado que possibilita o registro, a quantificação e a análise integrada dos impactos ambientais associados a um produto, processo ou serviço dentro de um contexto específico.

A aplicação prática e a eficácia das normas técnicas dependem da conformidade e fiscalização efetiva. A implementação desigual dessas normas em diferentes regiões pode afetar os resultados projetados em termos de segurança e sustentabilidade das construções. Pesquisas adicionais poderiam expandir a análise para outras regiões do Brasil, comparando os resultados obtidos em áreas com diferentes disponibilidades de recursos naturais e práticas culturais. Isso ajudaria a generalizar os resultados e oferecer recomendações mais amplas.

Em complemento, realização de estudos longitudinais que acompanhem os custos de construção e manutenção de estruturas de aço e madeira ao longo de vários anos ajudaria a entender melhor as economias de longo prazo associadas a cada tipo de material.

Cabe acrescentar que investigar programas de qualificação e capacitação da mão de obra para o uso de estruturas metálicas em regiões onde a madeira é predominantemente usada, avaliando a eficácia de diferentes abordagens de treinamento e seu impacto na adoção de novas tecnologias de construção, também seria benéfico. Explorar o impacto de tecnologias inovadoras na produção e reciclagem de aço, como a utilização de energias renováveis na siderurgia e novas técnicas de soldagem que aumentem a eficiência e reduzam os impactos ambientais, pode fornecer perspectivas valiosas para o setor.

Ainda que este estudo forneça uma base sólida para a comparação entre estruturas metálicas e de madeira, as limitações destacadas e as áreas sugeridas para futuras pesquisas mostram a necessidade contínua de aprofundamento e atualização dos dados. A incorporação dessas sugestões pode enriquecer a

compreensão dos impactos econômicos e ambientais e promover práticas de construção mais sustentáveis e eficientes.

17. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a viabilidade econômica e ambiental da utilização de estruturas metálicas em obras pequenas, comparando-as com o uso de madeira. Concluiu-se que as estruturas metálicas apresentam diversas vantagens, incluindo maior durabilidade, reciclabilidade e menor impacto ambiental devido à sua capacidade de reutilização e menor pegada de carbono. As normas técnicas, como a NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010, garantem a qualidade e segurança das soldas, destacando a importância do cumprimento rigoroso desses padrões. Além disso, a análise cultural revelou desafios na adoção de estruturas metálicas, devido à tradição e à falta de qualificação da mão de obra. No entanto, a implementação de programas de treinamento e a conscientização sobre os benefícios ambientais podem facilitar essa transição. A planilha de cálculo em Excel desenvolvida para ligações soldadas proporciona uma ferramenta prática para engenheiros e construtores, promovendo a eficiência e a precisão nos projetos de construção. Portanto, o uso de estruturas metálicas é uma alternativa sustentável e economicamente viável para obras pequenas, contribuindo para práticas de construção mais responsáveis e eficientes.

18. REFERÊNCIAS

1. ABCEM. Análise e Dimensionamento de Ligações Soldadas em Cobertura Metálica. 2015. Disponível em: https://www.abcem.org.br/construmetal/downloads/sessao-poster/6_Analise-e-Dimensionamento-de-Ligacoes-Soldadas-em-Cobertura-Metalica.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.

2. ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2022**. Disponível em: https://portalsustentabilidade.com/2022/12/29/abrelpe-lanca-a-nova-edicao-do-panorama-de-residuos-solidos-no-brasil/. Acesso em: 22 fev. 2024.

3. AÇOS NOBRE. **História da Soldagem: da origem até sua evolução**! Disponível em: https://www.acosnobre.com.br/historia-da-soldagem/ Acesso em: 10 jun. 2024.

4. ÂNGULOS. Revista do CREA RIO. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Impactos, redução, reutilização e descarte**. 2022. Disponível em: https://angulos.crea-rj.org.br/gestaoderesiduos/. Acesso em: 21 fev, 2024.

5. AVENTA. **Dicas de Limpeza para Soldagem Bem Sucedida**. 2024. Disponível em: https://www.aventa.com.br. Acesso em: 30 mar. 2024.

6. AVENTA. Infográfico - **A História da Soldagem.** Disponível em: https://www.aventa.com.br/historia-da-soldagem/. Acesso em: 05 jun. 2024.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15253: Perfis de aço formados a frio para painéis reticulados em edificações**. Rio de Janeiro, 2014.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

11. BARBOSA, M.O. **Aço verde e a sustentabilidade na produção de ferro-gusa**. MDPI AG, 2022. Disponível em: https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/article. Acesso em: 21 jun. 2024. Acesso em: 15 mar. 2024

12. BATISTELA, Hélio. **Máquinas de Solda e Tipos de Processo: Entenda a soldagem com Eletrodo Revestido**. 2019. Disponível em: https://blog.binzel-abicor.com/pt/entenda-a-soldagem-com-eletrodo-revestido. Acesso em: 20 fev. 2024.

13. BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1998.

14. BENZOR ENGENHARIA. **Estruturas Metálicas: seus impactos no desenvolvimento sustentável**. Disponível em: https://blog.benzor.com.br. Acesso em: 10 mar. 2024.

15. CAL LEVE. **Gestão de resíduos na construção civil**. Disponível em: https://www.calleve.com.br/gestao-de-residuos-na-construcao-civil. Acesso em: 15 mar. 2024.

16. CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Dimensionamento de ligações soldadas**. 2017.

17. CBCA – Centro Brasileiro da Contrução em Aço. **Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%**. 2014. Disponível em: https://cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/estruturas-metalicas-reduzem-o-tempo-de-construcao-em-ate-40. Acesso em: 30 mar. 2024.

18. COELHO, Antônio. **Análise da gestão de resíduos na construção civil**. 2018.

19. COELHO, Fernando. **Reciclagem de resíduos da construção civil**. São Paulo: Edusp, 2018.

20. COISAS DA ROÇA. **Enxaimel, técnica de construção que remonta a antiguidade.** Disponível em: https://www.coisasdaroca.com/tradicao/enxaimel.html#google_vignette. Acesso em: 21 fev. 2024.

21. COMPRACO. **Tudo o que você precisa saber sobre soldagem de filete.** 2023. Disponível em: https://compraco.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-soldagem-de-filete/. Acesso em: 30 mar. 2024

22. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=91329. Acesso em: 21 fev, 2024.

23. CONSTRUINDODECOR. **Wood Frame: O que é, Benefícios, Fotos, Preços.** Disponível em: https://construindodecor.com.br/wood-frame/ Acesso em: 20 fev. 2024.

24. DECSSON WELDING. **Técnicas de limpeza e preparação de superfícies para soldagem**. 2024. Disponível em: https://www.decssonwelding.com.br/limpeza-e-preparacao-para-soldagem. Acesso em: 20 fev. 2024.

25. DIAS, Paulo; VAZ, Ricardo. **Estudo sobre a eficiência das soldas em estruturas metálicas**. Revista de Engenharia Estrutural, 2021.

26. EESC JR. **Madeira engenheirada na construção civil**. 2021. Disponível em https://eescjr.com.br/blog/o-uso-da-madeira-na-construcao-civil-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-tema/. Acesso em: 20 fev. 2024.

27. EESC Jr. **O uso da madeira na Construção Civil: no Brasil e no mundo**. Disponível em: EESC Jr. Acesso em: 20 fev. 2024.

28. EISEN METAL. **Vantagens ambientais do uso de estruturas metálicas**. Disponível em: https://www.eisenmetal.com.br/vantagens-ambientais-do-uso-de-estruturas-metalicas. Acesso em: 20 fev. 2024.

29. EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. **Building Waste Assessment Score: Design-based Tool**. 2000. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132304000046. Acesso em 20 fev. 2024

30. E.P.I. (2020). **Estruturas em LSF—Aço Galvanizado**. E.P.I. Engenharia e Construções. Disponível em: https://www.epi-engenharia.pt/estruturas-em-lsf-aco-galvanizado/

31. ESAB. **Técnicas de soldagem**. 2024. Disponível em: https://www.esab.com.br/tecnicas-de-soldagem. Acesso em: 20 fev. 2024.

32. ESTRUTURA METÁLICA PR. **Sustentabilidade do Aço**. Disponível em: https://estruturametalicapr.com.br. Acesso em: 10 mar. 2024.

33. GOWELDING. **História da Soldagem**. Disponível em: https://www.gowelding.org/history. Acesso em: 20 fev. 2024.

34. GRUPO BR AÇO. **Sustentabilidade do aço na construção civil**. Disponível em: https://grupobraco.com.br/sustentabilidade-do-aco-na-construcao-civil/. Acesso em: 10 mar. 2024.

35. Ramos, Hélio. **Entrevista concedida a Anderson Erivelton de Moraes da Silva. Pereira Barreto, SP: HR Serralheria**, 01 de junho de 2024.

36. INSPESOLDA. **Ensaio de Inspeção de Soldagem.** Disponível em: https://www.inspesolda.com.br/. Acesso em: 30 mar. 2024.

37. ISPESOLDA. **Inspeção de Solda por Ultrassom (US).** Disponível em https://inspesolda.com/servicos/inspecao-de-solda-por-ultrassom/. Acesso em: 30 mar. 2024.

38. INSTITUTO AÇO BRASIL. **Ligações em estruturas metálicas**. 2017. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/produtos/livros/ligacoes-em-estruturas-metalicas.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

39. INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Ligações em estruturas metálicas**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ICS/CBCA, 2004.

40. JAGUARI ESTRUTURAS METÁLICAS. **Estrutura Metálica para Casas. Disponível** em: https://estruturasjaguari.com.br/estrutura-metalica-para-casas. Acesso em: 30 mar. 2024.

41. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-27072022-082553/pt-br.php. Acesso em: 21 mar. 2024.

42. MAGNAFLUX. **O guia definitivo para ensaio por líquido penetrante visível**. Disponível em: https://www.magnaflux.com.br/br/blog/guia-definitivo-para-ensaio-por-liquido-penetrante-visivel/. Acesso em: 30 mar. 2024.

43. Masuero, A. B. (2021). **Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental**. SciELO. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/GDN9wNDzpwYVRntQYk73z7S/?format=pdf&lang=pt

44. MARTINS, Dayse Braga; AMORIM, Rosendo Freitas de. A construção do debate ambientalista numa perspectiva do direito constitucional: da demanda global à efetivação nacional e local. Disponível em: http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/bh/dayse_braga_martins.pdf. Acesso em: 21 fev, 2024.

45. MARTINS, F. et al. **Avaliação da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2022.

46. MARTINS, José et al. **Impactos ambientais do uso da madeira na construção civil**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, 2022.

47. MASCARA DE SOLDAR. **Guia de soldagem**. 2024. Disponível em: https://www.mascaradesoldar.com.br/guia-de-soldagem. Acesso em: 20 fev. 2024.

48. METALUXGROUP. **Soldagem e cuidados necessários na hora da manutenção**. 2023. Disponível em: https://www.metaluxgroup.com.br. Acesso em: 30 mar. 2024

49. NOVA NEWS. **Principais cuidados na soldagem capacitiva para garantir a qualidade.** 2024. Disponível em: https://www.novanews.com.br/noticias/vc-reporter/principais-cuidados-na-soldagem-capacitiva-para-garantir-a-qualidade-do-processo. Acesso em: 30 mar. 2024.

50. PARSONS, Paul. **Forum da Construção**. 2024. Disponível em: http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=1602. Acesso em: 10 fev. 2024.

51. PEREIRA, Luiz. **Gestão de resíduos na construção civil no Brasil**. Revista de Engenharia Ambiental, 2013.

52. PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

53. QUALYSOLDA. **Inspeção de Solda: Métodos e Aplicações**. Disponível em: https://qualysolda.com.br/. Acesso em: 30 mar. 2024.

54. RESEARCHGATE. **Uso da madeira na construção civil**. 2021. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/332309181_USO_DA_MADEIRA_NA_CONSTRUCAO_CIVIL Acesso em: 20 fev. 2024.

55. REVISTA FT. **Comparação sustentável entre estruturas de madeira e estruturas metálicas na construção civil: uma breve revisão**. Disponível em: https://revistaft.com.br/comparacao-sustentavel-entre-estruturas-de-madeira-e-estruturas-metalicas-na-construcao-civil-uma-breve-revisao/. Acesso em: 20 mar. 2024.

56. ROSA, F. (2021). **Impactos e soluções da construção civil no meio ambiente.** CirculAct. Disponível em https://www.circulact.org/post/impactos-e-solu%C3%A7%C3%B5es-da-constru%C3%A7%C3%A3o-civil

57. SATIRO, Ranailsa de Souza et al. **Consequências do uso da madeira na construção civil e alternativas de substituição**. CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE, 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63380. Acesso em 21 fev. 2024.

58. SciELO. **Effects of habitat fragmentation on the persistence of medium and large mammal species in the Brazilian Savanna of Goiás State**. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bn/a/yssf8f4xj4fcRBkBXVjp55Q/. Acesso em: 20 fev. 2024.

59. SCIELO. **Soldagem por fricção com pino não consumível**. 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/si/a/FZ3gc6hxjr3XQGVphGNt7gS/ Acesso em: 20 fev. 2024.

60. SERRAMETAL. **Tipos de Solda: História, Técnicas e Materiais Compatíveis**. Disponível em: https://www.serrametal.com.br/tipos-de-solda-historia-tecnicas-materiais-compatíveis/. Acesso em: 05 jun. 2024.

61. SF NOTÍCIAS. Ponte Metálica de São Fidélis, considerada a primeira de aço do Brasil, completa 131 anos. Disponível em: https://www.sfnoticias.com.br/ponte-metalica-de-sao-fidelis-considerada-a-primeira-de-aco-do-brasil-completa-131-anos.

62. SIENGE. **Construção Circular: entenda o que é e qual sua importância**. Disponível em: https://www.sienge.com.br/blog/construcao-circular/. Acesso em: 30 mar. 2024.

63. SILVA, A. C. B. **Avaliação da implementação da política nacional de resíduos sólidos em municípios goianos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/c9459ee2-b204-4148-8529-6873e4c39db2. Acesso em 22 Fev, 2024.

64. SILVA, Carlos. **Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em https://saneamentobasico.com.br/residuos-solidos/lancamento-panorama-residuos-solidos/. Acesso em: 20 abr. 2024

65. SILVA, R. Matheus. **Sistema de controle por navegador para quarto de hospital**, 2023**,** Ilha Solteira, SP. Trabalho de Conclusão de Curso, UNESP.

66. SINIR. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: https://www.sinir.gov.br/pnrs. Acesso em: 20 fev. 2024.

67. SOLDADURA PARA TODOS. **Equipamentos de Proteção Individual na Soldagem**. 2024. Disponível em: https://www.soldaduraparatodos.com.br/epi-na-soldagem. Acesso em: 20 fev. 2024.

68. SUTEVA. **Inspeção de soldas**. 2024. Disponível em: https://www.suteva.com.br/inspecao-de-soldas. Acesso em: 20 fev. 2024.

69. THE WELDING PRO. **The History of Welding: From the early days to present.** Disponível em: https://www.theweldingpro.com/history-of-welding/. Acesso em: 05 jun. 2024.

70. UFPR. **Ligações Soldadas em Estruturas Metálicas.** 2013. Disponível em: https://estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/05/Cap2-LigacoesSoldadas-1.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.

71. USGBC. **LEED-certified green buildings are better buildings**. 2024. Disponível em: https://www.usgbc.org/leed. Acesso em: 20 fev. 2024