

**ETEC ITAQUERA II
CENTRO PAULA SOUZA**

**LAURA ROQUE FRAGOSO
PEDRO AUGUSTO CUNHA DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE
ESTRUTURA METALICA E ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO**

**SÃO PAULO
2023**

**ETEC ITAQUERA II
CENTRO PAULA SOUZA**

**ANALÍSE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE
ESTRUTURA METALICA E ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de técnico em Edificações pela instituição ETEC Centro Paula Souza.

Autores: Laura Roque Fragoso e Pedro Augusto Cunha da Silva

Orientador(a): Aparecida Massako Tomioka

SÃO PAULO

RESUMO

A partir da problemática que será apresentada em função da utilização do concreto, proporemos uma comparação entre dois materiais afim de entender se a utilização do aço como uma alternativa sustentável seria viável. A comparação levará em conta a viabilidade tanto em razão da sustentabilidade de ambos materiais quanto em função do custo, já que ao final da obra este poderá ser um limitador. Ao longo do embasamento teórico será apresentado ao leitor a conceituação de ambos materiais, suas propriedades, vantagens e desvantagens, além da problemática gerada por estes.

Com o objetivo de analisar a utilização dos materiais em obra, propomos duas plantas protótipo contendo tipos de estruturas distintas, uma de concreto armado e outra de aço. Será então, a partir dessas plantas que faremos o levantamento de dados visando a proposta de viabilidade descrita inicialmente. Por fim, analisaremos qual das duas estruturas foi mais eficaz em tal proposta construtiva; sua viabilidade financeira, geração de CO₂, além do ciclo de vida de ambas estruturas.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil; concreto armado; estruturas metálicas; aço; sustentabilidade; CO₂; custos.

ABSTRACT

Based on the problem that will be presented due to the use of concrete, we will propose a comparison between two materials in order to understand whether the use of steel as a sustainable alternative would be viable. The comparison will take into account the viability both due to the sustainability of both materials and due to cost, as at the end of the work this could be a limiting factor. Throughout the theoretical basis, the reader will be presented with the conceptualization of both materials, their properties, advantages and disadvantages, in addition to the problems generated by these. With the aim of analyzing the use of materials on site, we propose two prototype plants containing different types of structures, one made of reinforced concrete and the other made of steel. It will then be based on these plans that we will collect data aiming at the feasibility proposal described initially. Finally, we will analyze which of the two structures was more effective in such a constructive proposal; its financial viability, CO₂ generation, in addition to the life cycle of both structures.

KEYWORDS: Construction; reinforced concrete; metallic structures; steel; sustainability; CO₂; expenditure.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	
2.1 O CONCRETO ARMADO	
2.2 HISTÓRIA DO CONCRETO ARMADO	
2.2.1 No Brasil	
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO	
2.4 IMPACTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE	
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO	
2.5.1 Cimento Portland	
2.5.2 Agregados	
2.5.3 Água	
2.5.4 Aço	
2.5.5 Madeira para formas	
2.6 O AÇO	
2.6.1 Tipos de aço	
2.6.2 Tratamentos	
2.6.3 Propriedades	
2.7 ESTRUTURAS METÁLICAS	
2.7.1 Estruturas metálicas e steel frame	
2.7.2 Montagem das estruturas	
2.7.2.1 Estruturas metálicas pré-fabricadas e fabricadas “in loco”	
2.7.2.2 Estruturas mistas de aço e concreto	
2.7.3 Perfis metálicos	
2.8 VANTAGENS E DESVANTAGENS	
2.9 CONSTRUÇÕES METÁLICAS PELO MUNDO	
2.10 SUSTENTABILIDADE E CUSTOS	
3 METODOLOGIA	
4 PROPOSTA DE PLANTAS ESTRUTURAIS	
4.1 ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO	
4.2 ESTRUTURA METÁLICA	
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS
REFERÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

Para a construção civil há diversos materiais que podem ser usados nas edificações e projetos. Dois dos materiais mais utilizados são o concreto e o aço que em muitas vezes se complementam mas em outras, competem entre si. Estruturas de um mesmo tipo e para uma mesma função podem ser construídas com qualquer um desses materiais.

O concreto é um dos materiais mais utilizados no setor construtivo brasileiro devido a suas características: boa durabilidade, compatibilidade com outros materiais, capacidade de ser moldado em qualquer formato, custo acessível, etc. características essas que o fazem ocupar o segundo lugar como material mais consumido no mundo. Apresentando também problemas, tanto ambientais quanto no custo benefício final para a obra: baixo potencial reciclável, grande consumo de matéria prima na fabricação do cimento assim como grande emissão de CO², um prazo mais longo para a entrega da obra, maior potencial de desperdício e a necessidade de fundações mais robustas.

Seus problemas fazem com que o mercado repense seu uso e busque por novos procedimentos construtivos. Uma alternativa seria o uso de estruturas metálicas utilizando o aço.

O aço foi introduzido nas obras como forma de reduzir o custo benefício, justamente devido a suas propriedades e características: resiste a altas cargas, um material de fácil produção assim como a fabricação em massa, redução no tempo de obra, resíduos de obras tem alto potencial de reuso e/ou reciclagem. Apresentando também suas desvantagens: grande emissão de CO² em sua fabricação se esta não for feita com energia limpa ou compensação de carbono; custo elevado; patologias na edificação como corrosão e a preocupação quando o material é exposto ao fogo devida a dilatação térmica, reduzindo a resistência; necessidade de mão de obra especializada para o manuseio do material.

O presente trabalho visa analisar a viabilidade de uma construção com a aplicação de ambos os materiais nas estruturas, desconsiderando a etapa de vedação já que os dois materiais apresentam boa compatibilidade com diversos tipos de sistemas de vedação. Através de revisão bibliográfica para o embasamento teórico e na apresentação de uma planta protótipo onde se baseara os dois sistemas estruturais, buscamos analisar qual terá o maior custo benefício e o menor impacto ambiental seguindo os seguintes parâmetros: ACV (avaliação do ciclo de vida): danos causados ao meio ambiente pela fabricação dos materiais; valor a ser desembolsado nos dois sistemas estruturais.

Com a finalidade de esclarecer se há um tipo de estrutura melhor que o outro, ao final do trabalho conterà uma comparação de ambos os sistemas elencando os parâmetros analisados e esclarecendo qual dos projetos apresentou um melhor desempenho.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo será conceituado para o leitor as definições de aço e concreto armado, assim como a história dos materiais e seu uso para a construção civil. De acordo com (APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO, 2004), um material de construção deve apresentar duas qualidades principais: resistência e durabilidade. Qualidades essas que ambos os materiais possuem.

2.1 O Concreto Armado

O concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico (cimento) com materiais inertes (brita e areia) que são hidratados pela água resultando em um material plástico que pode ser moldado de acordo com as formas pré-definidas em uma edificação. Adquirindo função estrutural para a obra quando este passa pelo processo de cura. (APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO, 2004)

Apresentando alta resistência a compressão, é um excelente material para elementos estruturais submetidos a esses esforços, como exemplo os pilares. Mas também apresentando baixa resistência a esforços de tração, restringindo seu uso em elementos estruturais que são submetidos a esses esforços, como vigas e lajes (NILSON, et al., 2010). Para suprir essa limitação, o aço é empregado em conjunto com o concreto, cuidadosamente posicionado nas peças, resistindo a tensões de tração. “Associando o aço a essa pedra artificial, aproveitasse a alta resistência deste material, ao mesmo tempo que, protegendo-o, aumentasse a durabilidade”. Nessa junção dos materiais temos o chamado concreto armado.

O Concreto armado alia as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água) com as do aço (ductilidade e excelente resistência à tração e à compressão), o que permite construir elementos com as mais variadas formas e volumes, com relativa rapidez e facilidade, para os mais variados tipos de obra. (Prof. Dr. PAULO SÉRGIO BASTOS, 2023)

2.2 História do Concreto Armado

A criação do concreto armado foi atribuída ao francês Joseph Lambot, que em 1849 construiu um pequeno barco de concreto com rede metálica, apresentando sua invenção em uma feira de exposição em Paris em 1855. (CAMACHO, 2008)

Figura 1 – Barco de concreto armado de Joseph Lambot



Fonte: Escales Maritimes (2017) apud Nakahara (2017)

Porém, de acordo com KAEFER (1998, p.24), apesar de ser considerado por muitos como o pai do concreto armado, as invenções de Lambot não tiveram muita repercussão, entretanto serviram de inspiração para Joseph Monier difundir seu uso.

Monier foi o primeiro a aplicar o concreto armado em um sistema de uso prático, em 1867. Inicialmente usado para a criação de vasos jardinagem e floricultura, posteriormente para tubos e elementos de construção como passarelas e pontes e vigas (CAMACHO, 2008). Em 1875, na França, Monier construiu a primeira ponte de concreto armado do mundo, ainda existente, se tornando um grande divulgador do modelo construtivo.

Figura 2 – Primeira Ponte de Concreto Armado



Fonte: Jardin Secrets (2017) apud Nakahara (2017)

A firma de arquitetura Elzner & Anderson construiu, em 1901, Ohio, Estados Unidos, o primeiro edifício em concreto armado do mundo, gerando desconfiança sobre a construção na época. A edificação foi um sucesso, contribuindo para maior aceitação dos projetos dos grandes edifícios de concreto armado no país.

Figura 3 – Ingalls Building atualmente



Fonte: Wikipedia (2023)

2.2.1 No Brasil

Segundo Clímaco (2016), o uso do concreto armado para projetos e edifícios no Brasil evoluiu de forma rápida no século XX, valendo destacar (APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO, 2004):

- Em 1908 foi construída a primeira ponte em concreto armado no Rio de Janeiro, por Hennebique;
- Em 1928, Baumgart planejou o viaduto de Santa Tereza, o maior vão de concreto armado da América do Sul, em Belo Horizonte;
- Em 1929 foi projetado o edifício Martinelli, o mais alto da América Latina até 1947, em São Paulo;
- Em 1955 a 1960, Brasília foi construída, com projetos dos arquitetos Oscar Niemeyer e Lucio Costa.

Com o concreto armado, foi possível construir edifícios mais altos, pontes, viadutos e outras estruturas de grande porte. Além disso, o concreto armado permitiu a execução de formas arquitetônicas mais ousadas, já que é um material versátil e moldável.

O concreto armado ganhou força no Brasil por causa das ferrovias. Nesse aspecto, a estrada de ferro Mairinque-Santos foi um marco na história nacional. Surgiu graças ao engenheiro Humberto da Fonseca, que lutou diante de todas as injunções impostas pelos ingleses, que queriam vender aço para o Brasil. Muita gente importante dizia que era um absurdo utilizar concreto armado em estruturas sujeitas a vibrações, como ferrovias. Ele enfrentou todos esses desafios e insistiu no uso do concreto armado. Depois disso, o material ganhou espaço. Na verdade, isso acabou mostrando a capacidade brasileira de buscar soluções diferentes e próprias da nossa realidade (LEAL, 2004).

2.3 Vantagens e Desvantagens do Uso de Estruturas em Concreto Armado

Analisando de maneira geral as vantagens do uso do concreto armado são:

- Fácil modelagem quando fresco, adaptando-se a qualquer tipo de forma;
- Boa durabilidade, quando bem executado tem alta resistência a intempéries;
- Pouco permeável, qualificando – o para obras hidráulicas;
- Resistência ao fogo, suportando a penetração da chamas e a transferência de calor;
- Economia de construção, os materiais facilmente disponibilizados e a mão de obra em abundancia e pouco especializada;
- Fácil manutenção e conservação.

Já em suas desvantagens podemos citar:

- Peso próprio elevado;
- Transmissão de som e calor;
- Maior tempo de execução devido a cura do concreto que pode paralisar algumas etapas da obra;
- Dificuldade de reformas e adaptações;
- Facilidade de fissuração aparente, sem prejuízo estrutural, porem podendo comprometer a estética;

- Necessidade de vários profissionais na obra para as diferentes etapas construtivas.

2.4 Impacto Ambiental e Sustentabilidade

De acordo com (Brasileiro e Matos, 2015), o setor da construção civil gera relevantes impactos ambientais, desde a extração de matérias primas e fabricação de produtos, durante a execução de obras, até a destinação final dos resíduos gerados. Segundo Karpinsk (2009) a construção civil consome de 20% a 50% dos recursos naturais, se caracterizando como um dos setores que mais se utiliza desses recursos. Gera 51% a 70% de resíduos sólidos urbanos, produzindo aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção civil e demolição por ano (ABRECON) e é responsável por emitir 39% das emissões de Gases do efeito estufa, segundo Agência Internacional de Energia (IEA), o que evidencia os altos índices problemáticos do setor.

Como reflexos temos a degradação de áreas vegetais, contaminação de solos e águas subterrâneas, poluição atmosférica, aquecimento global, sendo estes apenas alguns dos impactos gerados pela construção civil.

Para estimar o impacto que determinado material gera é preciso, de acordo com STRUBLE e GODFREY (2004), considerar todos os estágios da vida desse material.

Sendo que, cada material de construção produzido utiliza de certa quantidade de matéria prima, gasta energia e gera resíduos. Por isso algumas questões devem ser levantadas para avaliar o impacto ambiental destes materiais: Quanto de energia é necessária para a fabricação? As matérias primas utilizadas são renováveis? Quanto de resíduo é gerado no processo de fabricação? São resíduos que agredem de alguma forma o meio ambiente? (STRUBLE e GODFREY, 2004).

Referente a edificação, seu tempo de vida possui impacto direto na sustentabilidade. Entende-se por sustentabilidade "[...] a capacidade de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades" (CMMAD, 1988, p. 9).

Em caso de deterioração, a estrutura deve ser destruída ou reformada tornando importante a atenção quanto aos materiais utilizados para a construção da estrutura. Em caso de demolição, quanto dos materiais podem ser reutilizados ou reciclados? Qual impacto ambiental dos resíduos gerados? Quanto da estrutura pode ser aproveitada para empreendimentos futuros? (STRUBLE e GODFREY, 2004).

2.5 Impactos Ambientais da Estrutura de Concreto Armado

Segundo Bento (2016) o concreto armado consome grandes quantidades de matérias primas, muitas não renováveis, além de grandes quantidades de água e energia para sua fabricação. Há, inclusive, a emissão de gases e de produção de resíduos perigosos.

Considerado o concreto em composição ordinária (cimento, agregados, água), serão citados os principais impactos ambientais dos elementos que compõem as estruturas de concreto armado.

2.5.1 Cimento Portland

Sendo o aglomerante essencial para a fabricação do concreto, o cimento Portland tem seus possíveis impactos ambientais relacionados a sua fabricação na seguinte forma (KARSTENSEN, 2006 apud BENTO, 2016):

- a) Emissões atmosféricas dos gases NO_x, SO₂, CO₂, nocivos ao sistema respiratório e potencializadores do efeito estufa, assim como compostos orgânicos voláteis (VOCs). (BENTO, 2016)

- b) Outras emissões como ruído e vibrações, odores e geração de resíduos. (BENTO, 2016)

- c) Consumo de recursos naturais como energia e matérias-primas que, de acordo com HOOTON e BICKLEY (2014 apud BENTO, 2016) 90% da energia associada ao concreto é atribuída ao cimento.

Para cada tonelada de cimento produzida, são liberados cerca de 1,0 tonelada de CO₂ para a atmosfera, sendo sua fabricação responsável por, aproximadamente, 5% das emissões globais de CO₂ (HOOTON;BICKLEY, 2014 apud BENTO, 2016); (MEHTA; MONTEIRO, 2008 apud BENTO, 2016).

2.5.2 Agregados

Os agregados para o setor da construção civil são os recursos minerais mais consumidos no mundo (VALVERDE, 2001), representando no concreto aproximadamente 80% em massa (BENTO, 2016).

De acordo com o Panorama e Perspectivas para o Setor de Agregados para Construção (ANEPAC, 2015), no Brasil, o consumo de agregados no ano de 2014 foi de 741 milhões de toneladas e, globalmente, para a fabricação do concreto é estimado o consumo de 10 a 11 bilhões de toneladas por ano (BENTO, 2016).

Devido à grande quantidade de agregados, a extração assim como operações de transporte e o processamento dessas matérias primas consomem enormes quantidades de energia, impactando desfavoravelmente o ambiente de áreas florestais e leitos de rios onde se encontram as jazidas e/ou áreas de extração. (MEHTA, 2001 apud BENTO, 2016)

2.5.3 Água

A indústria do concreto utiliza grandes quantidades de água fresca sendo que, sozinha, a água utilizada na mistura é responsável pelo consumo de 1 trilhão de litros por ano, (MEHTA, 2001). Utilizada também no processo de cura do concreto assim como no serviço de limpeza e serviços gerais em canteiros de obras.

Em média, cada caminhão-betoneira de concreto retorna com meio metro cúbico de concreto e depois que este é descarregado permanecem ao redor de 300kg de sólidos, sendo lavados com aproximadamente 1000 litros de água (BREMNER, 2001). Água essa que, na maioria das centrais, vai para tanques de sedimentação para receber tratamento e corrigir seu pH. Porém a formação de resíduos sólidos, neste caso a lama, é inevitável. (NAKAHARA, 2017)

2.5.4 Aço

A indústria de siderurgia, responsável pela produção de aço, também é grande geradora de dióxido de carbono. A média mundial de liberações de CO₂ é de 1,9 toneladas para cada tonelada de aço produzido. “O ferro e o aço produzidos pela indústria contribuem com aproximadamente 4% a 5% do total de emissões de CO₂. Mais de 1,3 bilhões de toneladas de aço são fabricadas todo ano.” (BENTO, 2016).

2.5.5 Madeira Para Formas

Matéria prima para as formas, a madeira é o molde provisório que serve para dar ao concreto fresco a geometria e textura desejada. Em obra seu uso está em cimbramento, conjunto dos elementos que sustentarão o peso da estrutura até que atinja o ponto de cura e o concreto possa atuar sozinho (LAHR, 2007 apud BENTO, 2016).

Entre os impactos ambientais quanto a seu uso podemos citar a emissão de CO₂, levando em consideração que o principal modal de transporte é o rodoviário (BENTO, 2016) e; a exploração ilegal do recurso, “Estima-se que 80% da extração anual de madeira da região seja de origem ilegal. O Estado de São Paulo consome cerca de 25% da madeira extraída da Amazônia, e destes, 70% é consumido pelo setor da construção civil” (SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA – GOVERNO DE SP).

3. O aço

Segundo Antônio D. de Figueiredo (Aula [...], 2022), aço é uma liga metálica composta por Fe+(C<2%). Em sua composição podem ser encontrados elementos de liga como cromo, níquel, manganês, entre outros e alguns elementos contaminantes como o enxofre, fósforo e o silício que alteram seu comportamento. Durante a fabricação do aço, seu elemento primário ferro (Fe), quando transformado em ferro gusa apresenta em sua composição altos índices de carbono (C>2%); como o aço apresenta em sua composição índices menores que 2%, esse ferro gusa é encaminhado a aciaria, onde seu teor de carbono será reduzido, para dar origem ao aço. Logo após algum tempo, quando esse aço produzido é descartado, pode-se reutilizá-lo novamente, reciclando-o. Esta reciclagem pode ser feita infinitamente, sem a perda de suas qualidades.

3.1 Tipos de aço

Existem aproximadamente 5000 tipos diferentes de aço. Sobre sua classificação, há diversos parâmetros que devem ser considerados como sua composição, microestrutura, processo de acabamento, propriedades, tratamento, aplicações entre outros. Quanto a sua composição, podemos classificá-los em aço-carbono e aço de liga.

O aço carbono é a união entre o ferro e o carbono durante sua produção, não possuindo elementos de liga suficientes para alterar suas propriedades. Já no aço de liga, encontra-se quantidades significativas de elementos que conseguem alterar as propriedades do material, tanto química como mecânica. Esses elementos são inseridos em sua composição para conferir-lhe propriedades diferentes para os diversos fins. Porém, não é apenas o aço de liga que consegue alterar as propriedades do material; o aço carbono por sua vez, pode ter suas resistências melhoradas utilizando-se um tratamento térmico.

Sendo uma subdivisão do aço liga, o aço inox é um material resistente a corrosão, oxidação e as mudanças de temperatura, possuindo maior dureza e força se comparado ao aço carbono. Sua utilização dentro da construção civil seria de extrema importância haja visto que um dos maiores problemas das estruturas em aço é sua oxidação e corrosão ao longo do tempo. Porém, apesar de todos os benefícios apresentados, este tipo de aço possui uma característica que o dificulta introduzir com maior intensidade dentro do setor, este, possui uma dificuldade em ter sua forma modificada, capacidade essa, muito bem atendida pelo aço carbono, material maleável que possui alta versatilidade. Por este motivo a utilização do aço carbono dentro da construção civil mostra-se em alta; porém este ainda contém alguns problemas como a sua alta propensão a patologias como oxidação e corrosão. Assim, faz-se necessário o uso de tratamentos anticorrosivos para a utilização de tal material em obra, para uma maior durabilidade da estrutura, evitando acidentes futuros.

3.2 Tratamentos

Segundo Delson Torikai (Ciência [...], 2016, 50s) “tratamento térmico são modificações da microestrutura do material por meio de procedimentos controlados de aquecimento e resfriamento”.

Para cada composição química de aço ou metal há um diagrama específico de TTT (Tipo de Tratamento Térmico), onde este irá indicar em quais temperaturas e pressão o aço apresenta suas diferentes fases cristalinas, ou seja, sua alotropia. A partir deste diagrama conseguimos

controlar a velocidade de resfriamento para obter uma estrutura bem definida. Dentre os principais tipos de tratamentos térmicos padronizados do aço temos:

- **Recozimento:** É o resfriamento lento do material dentro do forno, obtendo-se uma estrutura de perlita grosseira;
- **Normalização:** É um resfriamento moderado a lento controlado em ar ambiente, gerando uma estrutura de perlita fina.
- **Tempera:** É um resfriamento mais rápido por meio de ar, água, óleo ou salmoura, com velocidade de cerca de 30 a 40°C por segundo de resfriamento, obtendo-se uma estrutura de perlita. Durante a tempera observa-se algumas deficiências do aço como a redução da ductilidade e tenacidade ou algumas tensões internas.
- **Revenimento:** Utiliza-se este tratamento para o alívio das tensões descritos acima. Reaquece-se o material, e atinge-se uma temperatura acima de 40°C por segundo de resfriamento, aumentando conseqüentemente a dureza do aço.

Os tratamentos acima citados são utilizados para aumentar a resistência do aço, no entanto, assim que tratado termicamente os aços apresentam uma dificuldade em soldar-se, dificultando sua trabalhabilidade em obra; a técnica mostra-se mais eficaz em parafusos, onde o tratamento citado é mais indicado segundo (alicerceejr).

Além dos tratamentos térmicos, podemos utilizar também outros tipos de tratamentos como os de anticorrosão, haja visto que o aço é um material com grande propensão a corrosão e oxidação. A corrosão da peça se dá quando em contato com gases nocivos ou umidade do local, destacando os períodos chuvosos que aceleram a propensão de patologias.

Segundo a empresa Meos serviços, antes de iniciar o tratamento, faz-se necessário realizar um estudo do nível de agressividade do ambiente onde a estrutura está alocada, a fim de utilizar o produto ideal para os diferentes tipos de situações. O tratamento consiste no revestimento, pintura, da superfície da estrutura, impedindo que os agentes externos nocivos entrem em contato com o aço. Para este revestimento podemos utilizar desde resinas, tintas, pigmentos coloridos à aditivos ou solventes.

3.3 Propriedades

Segundo Ferraz (2003) apud Salomão (COSTA [...] 2020) as principais propriedades do aço são:

- Elasticidade - capacidade de retorna à sua forma original, após removida força externa atuante;
- Plasticidade - capacidade de não volta a sua forma inicial após remoção de carga externa, deformando-se;
- Ductilidade - capacidade de deforma-se sob ação de cargas antes de se romper, evitando acidentes futuros em uma construção servindo como um aviso prévio de que o material utilizado está prestes a se romper;
- Fragilidade - capacidade de romper bruscamente, sem aviso prévio (um dos principais fatores responsáveis por diversos tipos de acidentes em pontes e navios);
- Resiliência - capacidade de absorver energia quando submetido a uma carga e devolve essa energia quando a carga é retirada; *(rever o conceito);
- Tenacidade - capacidade de absorver energia quando submetido a uma carga, até sua ruptura; assim, um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil irá requerer maior energia para ser rompido, portanto é mais tenaz;
- Fadiga - ruptura de um material quando submetido a esforços repetitivos ou cíclicos
- Dureza - capacidade de resistir ao risco ou abrasão.

Além das propriedades descritas acima, podemos citar também sua grande resistência a esforços de tração ($f_y > 250 \text{MPa}$), capacidade de deformação de 1% e modulo de elasticidade de 210 GPa.

4. Estruturas metálicas

Segundo a CBCA (2015) apud Salomão (COSTA [...] 2020) a construção civil é o segmento que mais consome produtos siderúrgicos no Brasil e no mundo todo. Em 2020 o setor de fabricação de estruturas metálicas no Brasileira apresentou um crescimento de quase 25% da produção em relação a 2019 (O especialista, 2021). Apesar da alta apresentada, se comparado a outros países a utilização de perfis metálicos no Brasil ainda apresenta-se em atraso. Segundo SEBRAE (2023) cerca de 65% das construções em países avançados são feitas em estruturas metálicas. A baixa utilização deste sistema no Brasil segundo Tatiane Madeiro (2023) apud SEBRAE (SEBRAE [...] 2023) pode ser explicada devido a pouca qualificação de mão de obra local e as altas incidências de tributação de ICMS para obras industrializadas, tornando assim o aço um material caro. Segundo o instituto Aço Verde Brasil apud Salomão (COSTA [...] 2020), dentre as estruturas executadas no ano de 2009, apenas 12% eram estruturas de aço, enquanto na Inglaterra a margem era de 70% e nos EUA 50%.

Figura 4- Casa Torto/ Tágua arquitetura



Fonte: CBCA (2021)

4.1 Estruturas metálicas e *steel frame*

Existem duas formas distintas de se construir estruturas utilizando perfis de aço. Segundo a arquiteta Edna Dias (Qual [...], 2021), a diferença entre os sistemas de construção está na distribuição de cargas. Para estruturas metálicas as cargas são pontuais, como sapatas, onde os perfis de aço são instalados em cada fundação marcada e medida. São estruturas pesadas que resistem a maior incidência de cargas dando maior liberdade arquitetônica ao

projeto, permitindo a criação de grandes vãos. Suas paredes podem ser feitas utilizando qualquer material de vedação, desde tijolos baianos a tijolos ecológicos, vidros entre outros. O problema está durante sua montagem, pois esta necessita do auxílio de grandes equipamentos como guindastes. Já para o *steel frame* as cargas são distribuídas, durante sua montagem são utilizados perfis mais leves do tipo U enrijecido com uma distância média de 40 a 70 cm entre os perfis, por ser mais leve possibilita que os próprios trabalhadores em obra ergam suas estruturas, não sendo necessário em muitos casos o uso de grandes equipamentos, porém sua vedação é feita apenas com camadas de painéis, o que limita o projetista.

Figura 5- Estrutura metálica



Fonte: STRUCTURAÇÃO (2017)

Figura 6- Estrutura *Steel Frame*



Fonte: SULMODULOS

4.2 Montagem das estruturas

Durante a execução do projeto, deve-se levar em conta o sistema de montagem que será utilizado. Esta etapa poderá nortear o cliente quanto ao valor que este deverá desembolsar e o tempo que a obra levará para ser finalizada, sendo esta uma das partes de maior importância quanto ao custo final e suas vantagens e desvantagens.

4.2.1 Estrutura metálica pré-fabricadas e fabricadas in loco

Segundo o arquiteto Paulo Trigo (Comentando [...], 2022) as estruturas montadas “*in loco*” são aquelas onde os perfis já definidos em projeto são cortados, montados e soldados em obra. Como vantagem da utilização deste sistema temos a alta personalização, visto que os perfis são cortados nos tamanhos necessários em obra podendo assim ser feitas modificações no projeto caso projetista queira modificá-lo durante montagem. Como desvantagens podemos citar o tempo; este sistema leva mais tempo para ser finalizado, por outro lado, quanto ao custo final de obra, este se mostra mais benéfico, sendo de menor custo se comparado ao sistema de montagem pré-fabricado.

As estruturas pré-fabricadas, ainda segundo Paulo Trigo (Comentando [...], 2022) , são peças que já vêm cortadas de fábrica, restando apenas na montagem o posicionamento correto de suas peças e a soldagem ou aparafusamento da mesma no local. Como vantagem temos o tempo final da construção; enquanto na obra executa-se a fundação, concomitantemente em fábrica, é produzido os perfis encomendados. Quando este chega em obra é apenas posicionado em seu local e aparafusado ou soldado, economizando muito tempo. Em contraponto, o preço dos perfis pré-fabricados mostra-se mais caro se comparado aos montados “*in loco*”. Este sistema de montagem é indicado a obras que necessitem de maior velocidade de finalização. Como exemplo podemos citar obras do comércio, pois quanto mais rápido este finalizar, mais rápido poderá estar gerando lucro.

4.2.2 Estruturas mistas de aço e concreto

Estruturas mistas de aço e concreto segundo Queiroz (2001) *apud* Alexander Galvão (Palestra [...],2022) são aqueles na qual os perfis de aço trabalham em conjunto com o concreto, armado ou não, formando ligações, lajes, vigas ou pilares mistos. Este último pode ser tanto revestido como preenchidas por concreto. A interação dos materiais pode ser tanto por meios mecânicos, por atrito ou por aderência e repartição de cargas entre esses materiais. Algumas vantagens da utilização de tal estrutura é a possibilidade da dispensa de formas, no caso das lajes o concreto será despejado diretamente acima do *steel decks*, e no caso dos pilares quando

preenchidos por concreto, o mesmo será despejado dentro de perfis metálicos tubulares, excluindo assim a necessidade do uso de formas; redução do consumo de aço estrutural, em alguns casos a eliminação da proteção contra incêndio e algumas outras vantagens já atribuídas as estruturas de aço como a possibilidade de grandes vãos, velocidade de finalização da construção, entre outros. Já como desvantagens podemos citar o custo elevado em relação a construção de estruturas de concreto armado e a baixa de profissionais capacitados para a projeção e construção das estruturas mistas.

4.3 Perfis metálicos

Antes de dar início a obra, ainda em fase de projeto, faz-se necessário escolher o tipo de perfil que será empregado na construção. A escolha deverá ser feita mediante cargas incidentes na estrutura, local, escolha do sistema construtivo entre outros.

Os principais tipos de perfis utilizados em obra são W, H, I, L, U, Ue e os tubulares quadrados e redondos. Adiante, abordaremos um pouco sobre suas características e suas usabilidades em obra:

- Perfil W: Foi desenvolvido para construção civil, sendo um dos mais utilizados em obra. Possui peso mais leve em relação aos outros modelos, porém, ainda assim, suporta grandes cargas. Muito utilizado em estruturas, fundações, fabricação de pontes entre outros.
- Perfil H: Variação do perfil W, é utilizado para suportar cargas pesadas. Na construção pode ser utilizado tanto como estrutura, como escoramento de outros materiais e suporte.
- Perfil I: Outra variação do perfil W; rentem maior peso se comparado aos outros perfis. Conta com uma alta inércia e maior resistência geométrica, o que facilita o apoio e sustentação de grandes construções.
- Perfil L: Também chamado como cantoneira, é usado nos cantos de estruturas para conferir maior resistência mecânica as vigas principais, para ligar diferentes partes da construção, como travamento ou como sustentação de forros.
- Perfil U: Possui alta resistência, suportando estruturas pesadas. Pode ser utilizado em paredes, telhados; e em alguns casos, pode-se construir um projeto inteiro utilizando apenas este perfil.

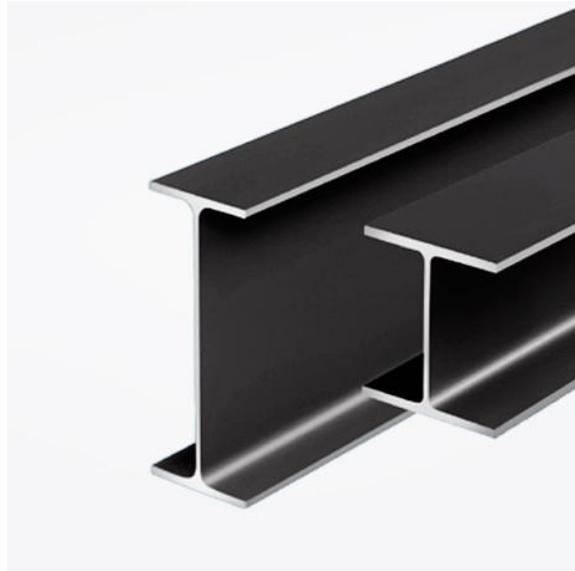
- Perfil Ue: O perfil U enrijecido possui alta resistência proporcionada pelas abas na parte interna de sua estrutura. É um perfil ideal para construções de grande porte, sendo muito utilizado em construções de estruturas de *Steel Frame*.
- Perfis tubulares estruturais: Peça oca de metal nos formatos redondo, quadrado e retangular. Apresenta bom comportamento diante da tração, compressão e cisalhamento. São estruturas leves, resistentes e rentáveis; podem ser utilizados em qualquer tipo de construção desde edifícios, construções industriais, à pontes e estufa.

Os perfis metálicos podem ser produzidos de três formas diferentes, laminado, soldado e dobrado. Os perfis laminados são feitos a partir da laminação a quente dos tarugos, esses ganham formato já saindo pronto de fábrica para utilização em obra.

Os perfis soldados são obtidos através da soldagem de chapas; possibilitam uma grande variação de formas e dimensões das seções, podendo ser fabricado sob encomenda. Geralmente são utilizados em obras de médio a grande porte. Podemos encontrar três series padronizadas de perfis soldados, perfil VS (Viga Soldada), perfil CS (Colona Soldada) e perfil CVS (Coluna Viga Soldada).

Já os perfis dobrados são chapas de aço dúcteis que são dobradas a frio, obtendo-se por fim uma forma desejada. As chapas que serão utilizadas possuem espessuras menores que 3 mm, o que pode limitar se comparado ao perfil laminado. São perfis mais leves e geralmente são utilizados em obras de pequeno porte ou em elementos estruturais secundários. Podem ser encontrados prontos ou podem ser encomendados.

Figura 7: Perfil W laminado



Fonte: GALVAÇO COML. de ferro e aço LTDA.

4.4 Vantagens e Desvantagens

Como visto, as estruturas em aço têm ganhado cada vez mais notoriedade no Brasil, por este motivo, faz-se necessário conhecer um pouco de suas vantagens e desvantagens, a fim de analisar se o material escolhido, os perfis de aço, correspondem as exigências do projeto e do cliente.

Vantagens:

- **Maior velocidade de execução:** Segundo CBCA, o aço tem o potencial de reduzir em até 40% o tempo de execução da obra se comparado com outros processos convencionais. Quando utilizado o sistema de montagem pré-fabricado, paralelamente pode-se executar a fundação em obra enquanto as estruturas ficam prontas em fábrica, otimizando o tempo. Outro ponto a ser citado é a facilidade de utilização do material em períodos chuvoso, já que a rápida fabricação das estruturas possibilita que o telhado seja construído com maior velocidade, evitando a paralização dos trabalhos nesses dias específicos, outro motivo que evidencia sua rápida execução.
- **Menor cargas incidentes na fundação:** O aço é um material leve e por esse motivo suas fundações acabam recebendo menor incidência de carga, o que gera consequentemente uma economia, que segundo Rosso (1980) apud Salomão (COSTA [...] 2020) chegam até 30%.

- **Grandes vãos:** Possibilita a criação de maiores vãos entre um pilar e outro.
- **Canteiro de obra organizado:** Quando utilizado o sistema de montagem pré-fabricado, pode-se fazer o pedido do material para o dia em que este já será instalado em obra, não necessitando assim da presença de grandes depósitos de materiais, como de cimento, areia, brita entre outros, havendo conseqüentemente um canteiro de obra mais organizado.
- **Compatibilidade:** Estruturas metálicas são compatíveis com diversos tipos de material de vedação, desde os mais convencionais como tijolos baianos, blocos de concreto até os mais sustentáveis como os tijolos ecológicos, painéis de *drywall*, dentre outros, possibilitando assim a criação de uma casa quase totalmente sustentável, se este for o objetivo do cliente.
- **Liberdade arquitetônica:** A utilização de tal estrutura proporciona uma maior liberdade arquitetônica desde a idealização de projetos mais arrojados a produção de estruturas com maiores vãos, não sendo um problema a adição de pilares em locais indesejados; além dos altos pés direitos que podem ser criados.
- **Sustentabilidade:** Segundo CBCA, o aço é um material 100% reciclável, podendo ser reciclado infinitamente sem perder sua qualidade. Sua reciclagem pode reduzir a extração de minério de ferro o que minimiza os impactos negativos que são gerados durante sua ação; além do uso reduzido de água, madeira e outros materiais naturais que são extraídos em abundância da natureza. Outro ponto relevante são as novas alternativas sustentáveis para fabricação do material, resultando em um aço produzido com baixa ou zero emissão de CO₂ (dióxido de carbono).

Desvantagens:

- **Alto custo:** As estruturas são uma das primeiras etapas de uma construção, visto que o aço se apresenta atualmente como um material caro podemos

logo concluir que inicialmente o valor a ser desembolsado é maior do que em outros tipos de estruturas.

- Mão de obra: Outra desvantagem é a mão de obra que deve ser especializada em estruturas metálicas, desde a fabricação de peças (quando necessária) até a montagem das estruturas em obra. Além da baixa desses trabalhadores especializados no mercado, temos o custo do profissional que é mais elevado se comparados àqueles sem especialização.

- Disponibilidade do material: Algumas regiões podem presenciar dificuldade em encontrar perfis de aço, por este motivo, antes de iniciar um projeto faz-se necessário realizar uma pesquisa na região com o intuito de identificar se há disponibilidade do material no local, o que limita um pouco seu uso e dificulta sua difusão no mercado.

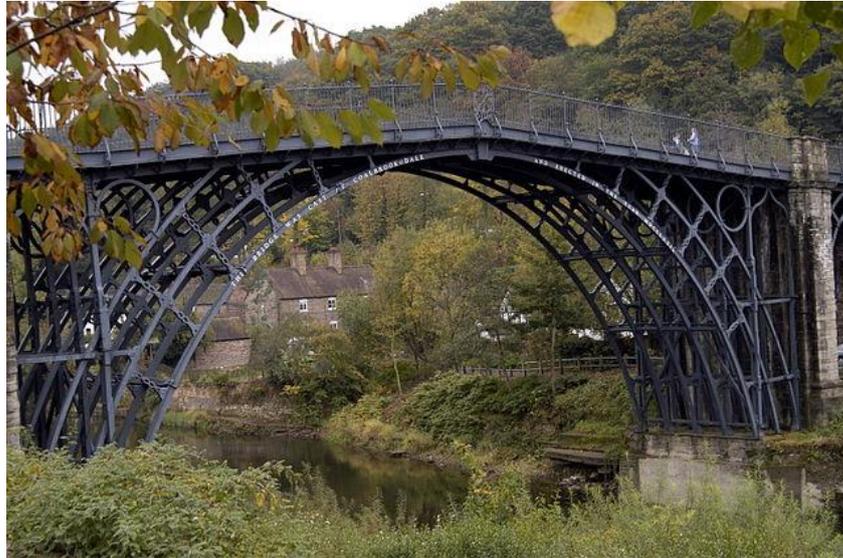
- Patologias: Quando em contato com o ar ou água o material fica vulnerável a oxidação e a corrosão. Como solução a essas problemáticas podemos utilizar algumas camadas de tinta. Ainda como tratamento, durante fabricação do aço pode-se adicionar cobre, cromo ou níquel a sua liga, conferindo-lhe uma camada de oxidação irremovível. Além das patologias já mencionadas podemos citar algumas outras como deformações excessivas, flambagem global, flambagem local, fraturas entre outras, que devem ser observadas pelo projetista durante confecção do projeto para que patologias como essas tenham menor incidência em obra.

4.5 Construções metálicas pelo mundo

Embora seja difícil determinar uma data exata, acredita-se que a fabricação e utilização do aço tenha se iniciado em meados do século XII A.C, em regiões da Asia menor, atual Turquia. Naquela época, o aço produzido era obtido através do processo de fundição, onde aquecia-se o minério de ferro em fornos com carvão vegetal. Assim, produzia-se um aço com baixo teor de carbono, conhecido como ferro forjado, que é mais resistente que o ferro puro. Os anos se passaram, e foi durante a revolução industrial no século XVIII que a produção de aço começou a avançar, aprimorando assim a forma de se fabricar aço e sua produção em escala.

Ao longo do tempo diversas construções foram feitas utilizando aço; uma das primeiras obras produzidas em estruturas metálicas de aço foi a ponte *Ironbridge* construída em 1779 na Inglaterra.

Figura 8: Ponte *Ironbridge*



Fonte: Wikipedia

Outra obra grandiosa para a época foi o *Empire State Building* inaugurada em 1931 em *Nova York*, quando obteve o título de maior edifício do mundo, mantendo-o por quase 40 anos seguidos. Sua construção foi feita a partir de peças pré-fabricadas que só eram montadas no local, o que foi um grande avanço para época, conseguindo assim acelerar o tempo de produção da obra. A construção levou cerca de 14 meses para ser finalizada, possuindo 102 andares e 381 metros de altura.

Figura 9: *Empire State Building*



Fonte: The Empire State Building

Já no Brasil podemos citar como exemplo da utilização de estruturas metálicas em aço a estação da luz; esta de início era pequena, e por causa de sua grande importância foi passando por melhorias até sua última forma, reconstruída com estruturas metálicas de aço. O projeto foi idealizado pelo arquiteto Britânico Charles Henry Driver, sendo entregue e inaugurada em 1901.

Figura 10: Estação da Luz



Fonte: Viva Decora (2022)

4.6 custos

Segundo CBCA, acredita-se que uma das maiores dificuldades em aumentar o uso das estruturas de aço no Brasil, é a sua alta incidência de tributação de ICMS, o que explica o alto custo do material no Brasil. Porém, apesar deste alto custo conseguimos baixá-lo em outras etapas do projeto. A economia pode vir desde a mão de obra até a escolha do tipo de montagem que será utilizada, tudo irá depender do projeto e da necessidade do cliente. A economia não fica apenas nas etapas da obra mas uma boa projeção do arquiteto ou engenheiro pode ajudar na diminuição do preço final, é importante que o projeto seja bem modulado para evitar desperdícios dos materiais ao longo da obra, o que gera uma economia ao final.

A utilização de tal método construtivo, hoje no Brasil, é indicada para edificações maiores, já que não aconselha-se encomendar aço em pequenas quantidades, além do alto custo dos maquinários necessários em obras, como os guindastes; indica-se também às obras que necessitem de uma finalização mais rápida; de início o cliente precisará desembolsar uma grande quantia de dinheiro rápido, porém ao longo da obra esse custo diminui e dependendo da finalidade esta pode vir a se pagar ao longo do tempo, como as obras do comércio, pois quanto mais rápido estiverem pronta mais rápido estarão gerando lucro, pagando seu alto custo inicial, é o que explica Rafael Lourençoni (UNIÃO [...] 2020). Outra forma de economizar é utilizando aço revestido, material muito utilizado no exterior; essa solução gera uma redução significativa no custo tanto da pintura quanto na proteção contra incêndio, é o que revela Ribeiro(2002) apud Salomão (COSTA [...] 2020) . Sobre a mão de obra, podemos obter certa economia haja visto que, apesar de seu alto custo por esta ser especializada, o tempo da utilização de tal serviço é muito menor o que acaba quase igualando ao valor da mão de obra comum, não especializada. Por fim, constatamos que toda economia girará entorno das escolhas feitas antes e durante obra e projeto, por tanto as tomadas de decisões serão essenciais para economizar financeiramente e ainda assim obter a edificação desejada.

4.7 Sustentabilidade

Apesar de ser um material considerado como sustentável por ser reciclável, o aço, produzido atualmente em massa, apresenta altos índices de emissão de CO₂ durante sua fabricação, tanto na fabricação desde o zero com a retirada do minério de ferro das jazidas, que geram um impacto ambiental durante sua extração; quanto na fabricação a partir da

reciclagem do aço, que apesar de economizar energia e reduzir os impactos da extração, produz ainda assim um nível considerável de CO₂, auxiliando o aumento do aquecimento global na terra. Como alternativa a esta problemática, atualmente encontra-se no mercado dois tipos de aço que são produzidos de forma totalmente ou parcialmente limpa, são os denominados “aço verde”. De forma totalmente limpa, temos um aço que é produzido a partir do aquecimento do hidrogênio ao invés do aquecimento do carvão mineral que é o principal causador da alta geração de CO₂ e parcialmente limpa atualmente encontramos no mercado um aço que é produzido a partir do aquecimento do carvão vegetal, gerando ao meio ambiente uma quantidade quase mínima de CO₂.

4.7 Aço verde

Ainda não se há uma definição absoluta sobre o termo aço verde. Segundo Muslemani (2021) “Há uma falta de pesquisa, ou mesmo consenso, sobre o conceito de aço verde, mas o termo "aço verde" tem sido muito raramente utilizado na literatura acadêmica e, quando adotada, sua definição tem sido ampla” (SILVA; ALMEIDA, 2020).

O termo aço verde tem sido usado para se referir ao aço fabricado com tecnologia inovadora, reutilizada, produzida a partir de sucata e aço convencional com compensação de emissões por meio da retirada de unidades de carbono (KIM et al., 2022; SUTHERLAND, 2020). Zhang et al. (2021) afirmam que a produção verde e a economia de energia são as tarefas mais importantes que as siderúrgicas enfrentam atualmente, e que essas têm como objetivo trabalhar a sustentabilidade na produção pela redução das emissões de gases de CO₂.

Um dos principais desafios é que o aço verde será, pelo menos inicialmente, mais caro do que o aço produzido convencionalmente, devido aos custos mais altos de tecnologias alternativas de produção (MUSLEMANI; LIANG; KAESEHAGE; ASCUI; WILSON, 2021).

Para Griffin e Hammond (2021, p. 72-73), o aço verde pode ser definido como “um processo siderúrgico projetado para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de potencialmente reduzir custos e melhorar a qualidade do aço, em comparação aos métodos convencionais”.

4.7.8 Produção do aço verde

Como alternativa ao aço tradicional, que segundo o instituto Aço Brasil gera cerca de 4% de gases do efeito estufa durante sua produção, temos no mercado dois tipos de aços verdes com produção sustentável. A primeira é a fabricação do aço a partir de carvão vegetal e a segunda fabricada com hidrogênio. A aço verde Brasil nascida em 2015, é a primeira siderúrgica do mundo a produzir aços longos de forma sustentável, usando em sua produção o carvão vegetal, uma fonte de energia renovável. A produção é a mesma da tradicional, porém no lugar do coque é utilizado o carvão vegetal. A diferença está na fração reduzida de carbono que este apresenta em sua composição. O carvão vegetal é formado a partir da carbonização ou queima da biomassa proveniente da madeira, que é plantada e colhida ao redor da siderúrgica. As florestas ao redor participam do que chamamos de ciclo do carbono.

Apresentando eficiência ambiental, segundo Pinto (2018) para as instalações industriais à base de carvão vegetal, as emissões de CO₂ produzidos no processo industrial são compensados pelo processo de fotossíntese que ocorre nas florestas plantadas, permitindo a redução das emissões totais do processo siderúrgico, sendo a obrigatoriedade para

“As pessoas físicas ou jurídicas consumidoras de matéria-prima florestal são obrigadas a manter florestas próprias plantadas para a exploração racional, ou formar diretamente, ou por intermédio de empreendimentos dos quais participam, florestas destinadas ao seu suprimento” - Nº 46.768, DE 26 DE NOVEMBRO DE 2009.

A siderúrgica Sueca SSAB tornou-se a primeira no mundo a produzir aço totalmente livre de CO₂, através do uso do hidrogênio. O hidrogênio produzido apenas com energia limpa, é fabricado utilizando o processo de eletrolise. Na fabricação do aço verde, o hidrogênio é utilizado desde os primeiros processos, sendo este o de ferro reduzido direto (DRI) que resulta no ferro esponja, que tem as mesmas funções básicas do ferro-gusa. Durante o processo de redução, o oxigênio do ferro se liga ao hidrogênio, formando assim moléculas de água gasosa que por sua vez são benéficas ao meio ambiente. Atualmente a empresa trabalha apenas com chapas de aço, mas planeja uma planta para produção em escala comercial que pretende concluir até 2026

5. METODOLOGIA

A pesquisa proposta se baseia no levantamento do consumo energético e emissão de CO₂, assim como valor bruto, em cima de dois dos materiais mais utilizado na construção civil, o aço e o cimento, sendo o levantamento verificado em cima de dois sistemas estruturais: em concreto armado e metálico, desenvolvido sobre a criação de uma planta protótipo dos respectivos modelos estruturais. Os dados serão analisados somente sobre os elementos estruturais: fundação, pilares, vigas e lajes. Demais elementos construtivos como alvenaria, pisos, acabamentos, entre outros, não serão alvos da presente pesquisa.

Para a construção das plantas modelos foram utilizadas normas brasileiras (NBRs) que auxiliaram e orientaram quanto ao dimensionamento das estruturas. Projetadas em 2D no Autocad e em 3D no Revit.

Com o objetivo de conceituar ao leitor a importância e espaço ocupado pelos materiais no mercado, o estudo se inicia com a coleta de dados a respeito dos materiais, apresentando sua história e uso para o setor construtivo. Posteriormente em uma visão macro, apresentando o impacto que a construção civil geral ao meio ambiente e, em uma visão micro, o impacto que ambos os materiais causam.

Levantados em seguida os dados quanto ao gasto energético e emissão de GEE dos materiais afim de que possam ser quantificados sobre os modelos estruturais propostos e então relacionados entre si, identificando qual dos dois modelos teve um melhor desempenho ambiental. Dados esses informados de instituições e entidades reguladoras.

Referente ao valor, os dados obtidos foram baseados na tabela SINAP, desconsiderando custos como mão de obra, transporte e tempo de execução.

A pesquisa se caracteriza pelo caráter exploratório e quantitativo.

Gasto energético:

- 2015 - 67,7 milhões de toneladas de cimento produzida = 4.434×10^3 tep (4.434.000) = 51.567.420.000 kW/h (Balanço Energético Nacional – Ministério De Minas E Energia (2021))
- 2015 – 33,2 milhões de toneladas de aço produzida = 16.725×10^3 tep (16.725.000) = 194.511.750.000 kW/h (Balanço Energético Nacional – Ministério De Minas E Energia (2021))
- 2019 – 305 mil toneladas de aço verde produzida = 155.893 tep = 1.813.035.590 kW/h (Demonstrações Contábeis Aço Verde do Brasil – 2019)

Emissão de CO₂:

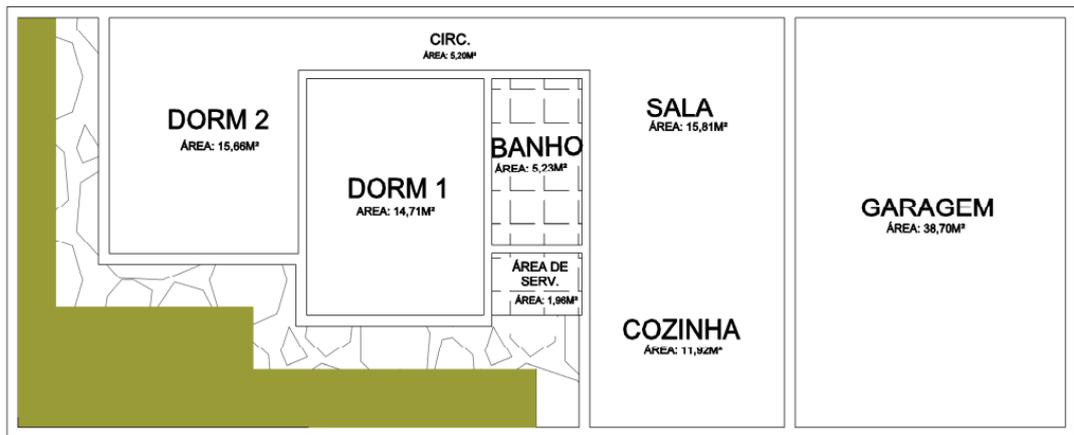
- 2015 – 23.767 Gg CO₂ eq. = 23.767.000T – emitido na produção de cimento (Estimativas Anuais De Emissão De Gases De Efeito Estufa No Brasil - Ministério Da Ciência, Tecnologia, Inovações E Comunicação (2017))
- 2015 – 48.710 GgCO₂ eq. = 48.710.000T – emitido na produção de ferro gusa e aço (Estimativas Anuais De Emissão De Gases De Efeito Estufa No Brasil - Ministério Da Ciência, Tecnologia, Inovações E Comunicação (2017))
- 2019 – 0,02 Tco²/ T de aço = 6.100 Tco² emitidos na produção do aço verde (AVB – Aço Verde do Brasil)

6. PROPOSTAS DE PLANTAS ESTRUTURAIS

6.1 dimensões e características

As plantas estruturas propostas, em concreto armado e metálica, foram baseadas em cima da seguinte planta baixa:

Figura 11 – Planta baixa



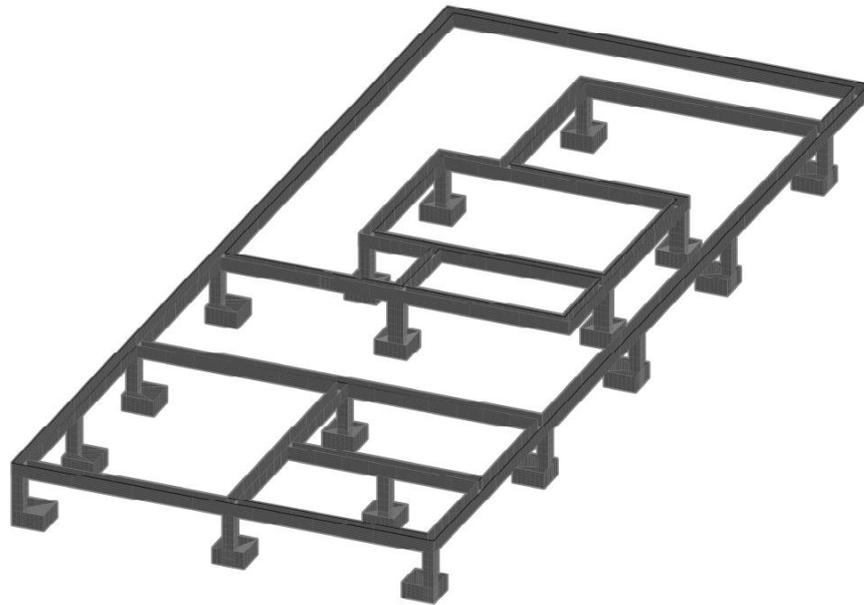
Fonte: Autores (2023)

Com dimensões de 19,94mX8,11m e área total do terreno de 161,69m², é uma planta residencial térrea, com um único pavimento; recuo frontal de 5,00m; área construída de 76,54m²; pé direito de 2,70m.

6.2 Estrutura em concreto armado

Segue abaixo projetos referentes a edificação em estrutura de concreto armado a ser analisada. As seguintes propostas do sistema estrutural foram desenvolvidas de acordo com a NBR 6118 – 2014.

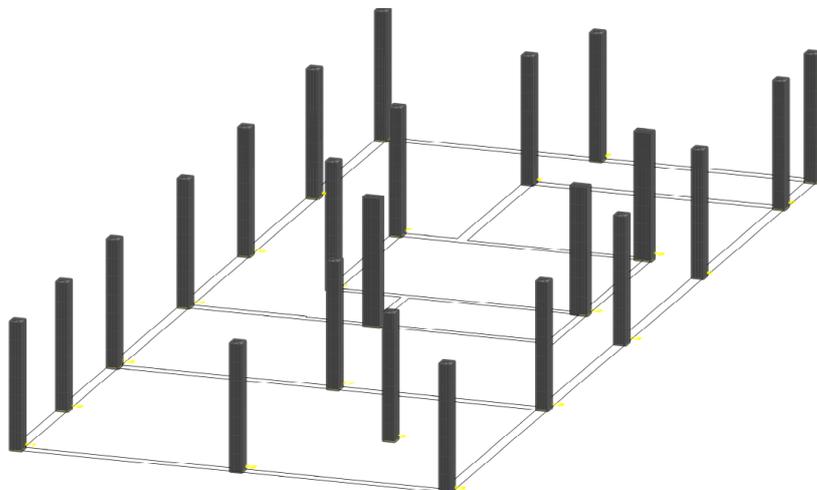
Figura 11 – Planta 3D da proposta para fundação em concreto armado



Fonte: Autores (2023)

A figura 11 demonstra a locação da infraestrutura da edificação em concreto armado. Com sapatas nas dimensões de 60cmx60cm e a profundidade de 1,5m. Seguido da viga baldrame, com largura de 0,20cm e altura de 0,25cm.

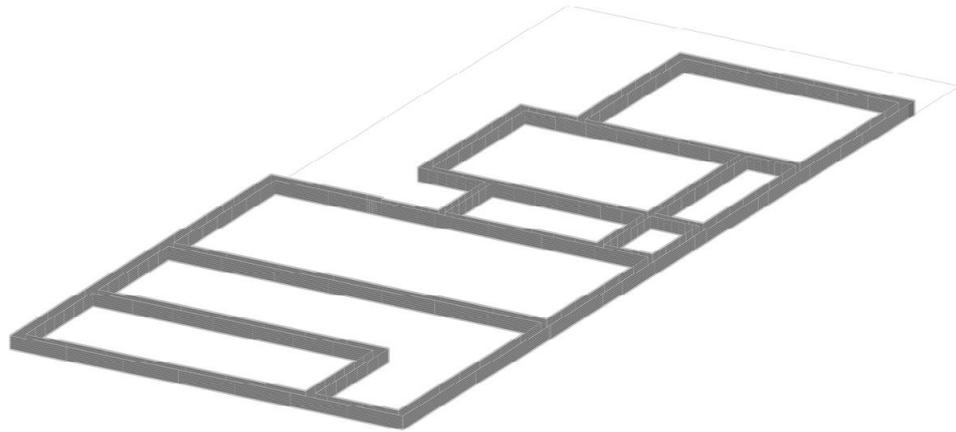
Figura 12 – Planta 3D da proposta para pilares em concreto armado



Fonte: Autores (2023)

A figura 12 demonstra a locação dos pilares na edificação. Com as dimensões de 20cmx20cm e a altura de 2,70m. Com um total de 21 pilares.

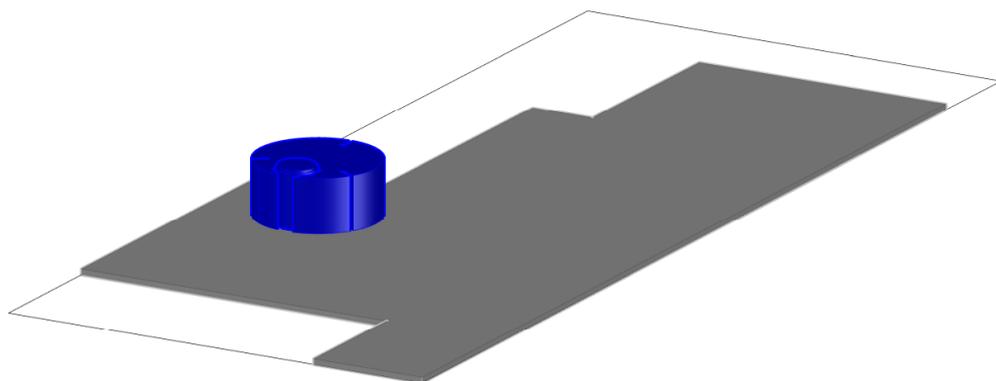
Figura 13 – Planta 3D da proposta para vigas em concreto armado



Fonte: Autores (2023)

A figura 13 demonstra a locação das vigas na edificação. Com as dimensões de 20cm de largura e a altura de 0,25cm.

Figura 14 – Planta 3D da proposta para laje em concreto armado



Fonte: Autores (2023)

A figura 14 demonstra a laje na edificação. Com uma área total de 106,95m² e a espessura de 0,10cm.

6.2.1 Quantitativo do consumo de cimento Portland e aço

A tabela a seguir apresenta o quantitativo do consumo dos materiais, cimento e aço, para a estrutura de concreto armado.

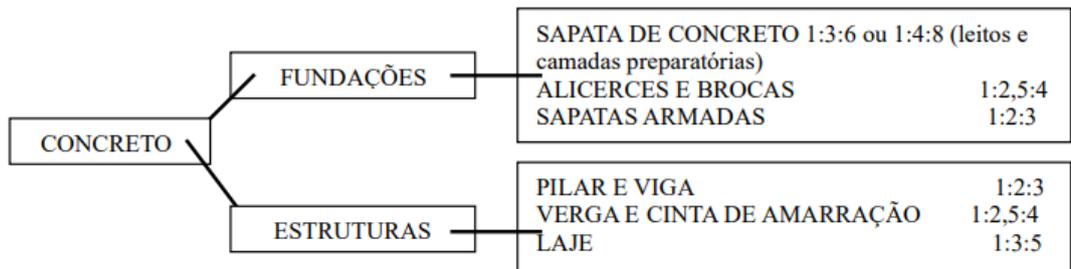
Tabela 1 – Consumo de cimento e aço para a estrutura de concreto armado

CONSUMO DE CIMENTO E AÇO PARA A ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO		
Vol. Concreto (M ³)	Cimento (KG)	Aço (KG)
19,5	5.700	987,29

Utilizado 19,5m³ de concreto, tanto da infraestrutura quanto na superestrutura. 5.700kg de cimento em sua composição e 987,29kg de aço de diversos tamanhos para compor a armadura da construção.

O quantitativo listado foi construído a partir dos dados obtidos na apostila traço, onde o traço utilizado para a fundação foi a de 1:3:6, para pilares e vigas 1:2:3 e para a laje 1:3:5.

Figura 15 – TRAÇO: Proporções e consumo de materiais

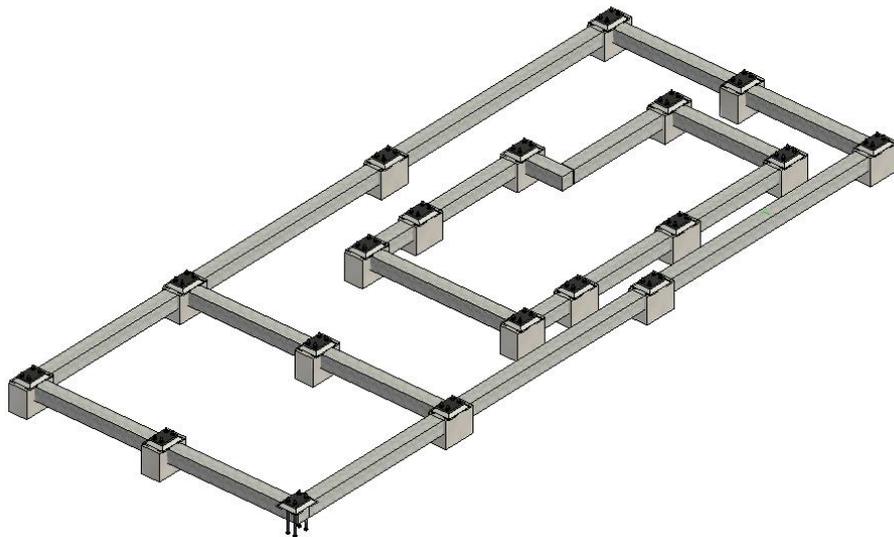


Fonte: Marco Pádua

6.3 Estrutura metálica

Segue abaixo projetos referentes a edificação em estrutura metálica a ser analisada. As seguintes propostas do sistema estrutural foram desenvolvidas de acordo com a NBR 6118 – 2014 e NBR 8800 – 2008.

Figura 15 – Planta 3D da proposta para fundação em estrutura metálica



Fonte: Autores (2023)

A figura 15 demonstra a locação da infraestrutura da edificação em estrutura metálica. Com sapatas rasas nas dimensões de 50cmx50cm e viga baldrame, com largura de 20cm e altura de 25cm. Assim como as placas de base conectando a fundação com os perfis para pilares, com dimensão de 35cmX25cm.

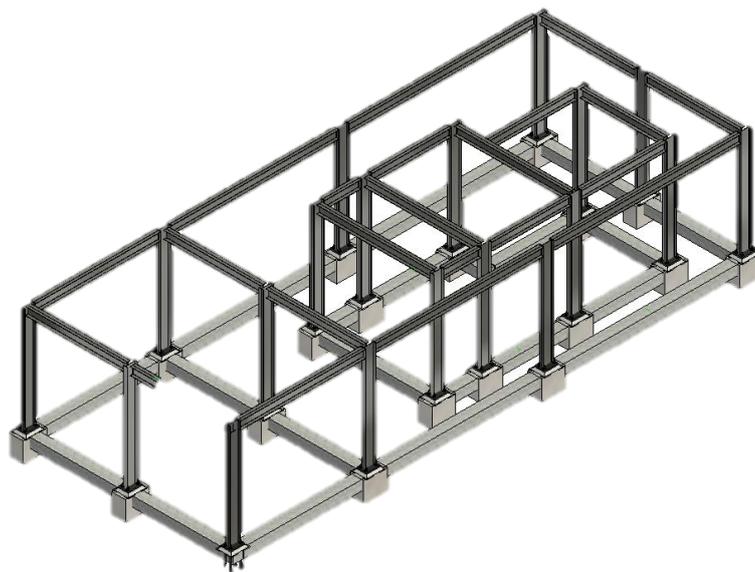
Figura 16 – Planta 3D da proposta para pilares em estrutura metálica



Fonte: Autores (2023)

A figura 16 demonstra a locação dos pilares na edificação. Os perfis utilizados nas dimensões de W200x28,4. Com um total de 19 pilares.

Figura 17 – Planta 3D da proposta para vigas em estrutura metálica



Fonte: Autores (2023)

A figura 17 demonstra a locação das vigas na edificação. Os perfis utilizados nas dimensões de W200x26,6.

Figura 18 – Planta 3D da proposta para a laje



Fonte: Autores (2023)

A figura 18 demonstra a laje na edificação. Com uma área total de 106,95m² e a espessura de 5cm.

6.3.1 Quantitativo do consumo de cimento Portland e aço

A tabela a seguir apresenta o quantitativo do consumo dos materiais, cimento e aço, para a estrutura metálica.

Tabela 2 – Consumo de cimento e aço para a estrutura metálica

CONSUMO DE CIMENTO E AÇO PARA A ESTRUTURA METÁLICA		
Vol. Concreto (M ³)	Cimento (KG)	Aço (KG)
11,95	3.225	3.352,88

Utilizado 11,95m³ de concreto na infraestrutura da edificação, sendo 3.225kg de cimento necessários para sua composição. Na infraestrutura e superestrutura foi utilizado

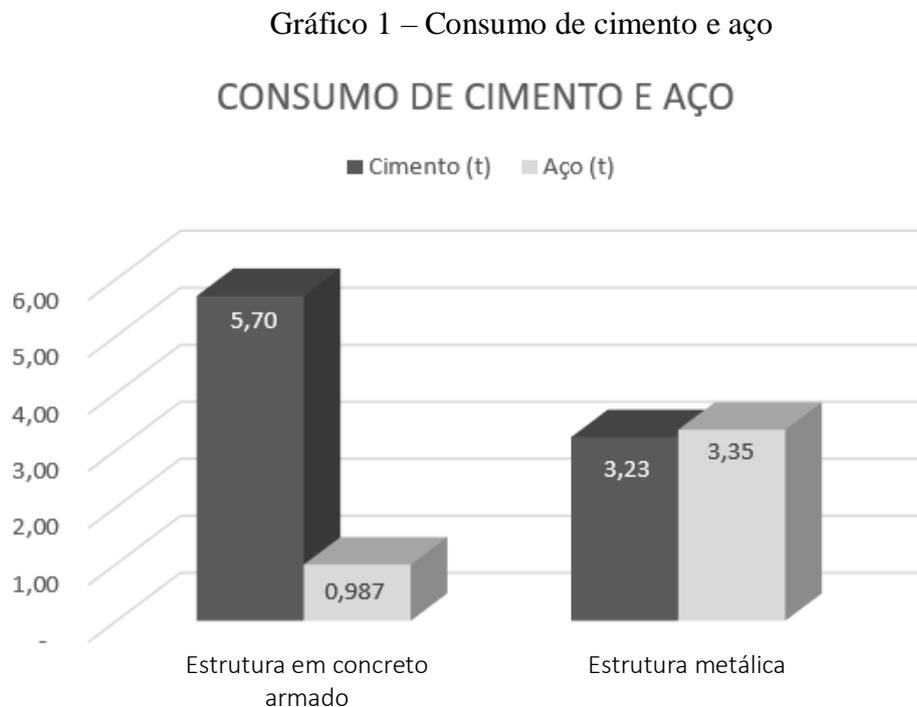
3.352,88kg de aço, para as armaduras e no formato dos perfis metálicos que compõe pilares e vigas.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da estrutura em concreto armado e da estrutura metálica, sendo analisados o consumo de materiais, consumo energético agregado ao processo de fabricação dos materiais, emissão de CO² na atmosfera e custo de ambas as estruturas.

7.1 Consumo energético agregado a edificação pelos sistemas estruturas de concreto armado e metálico

O estudo de comparação entra as estruturas desenvolvidas sobre uma planta protótipo de uma edificação de pequeno porte, apresentam um consumo diferente entre si, este quando citado o cimento e o aço, conforme mostrado no gráfico abaixo:



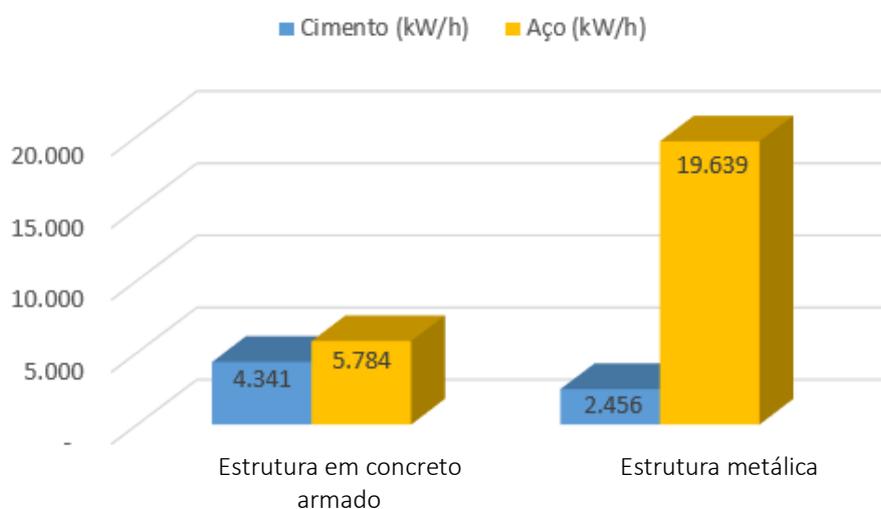
O gráfico apresentado acima se refere ao consumo de cimento e aço para a construção dos elementos estruturas nas edificações propostas. Não contemplando o quantitativo de pisos e alvenaria e não serão analisados demais materiais agregados para a edificação dos sistemas estruturais expostos no capítulo 6.

Podemos verificar que a estrutura de concreto armado utiliza uma quantidade significativa de aço, 0,98t em conjunto com 5,70t de cimento necessário para a produção do concreto. Em comparação a estrutura metálica utiliza 3,23t de cimento, necessário para a produção do concreto utilizado nas fundações, e 3,35t de aço.

A partir do quantitativo de materiais consumidos pelos sistemas estruturais, foi relacionado esse total de materiais com o consumo energético necessário para sua produção. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2021), em 2015 a produção de cimento consumiu o equivalente a 4.434.000tep e nesse mesmo período foi produzido um total de 67,7 milhões de toneladas. No mesmo período a produção de aço foi a de 33,2 milhões de toneladas com um consumo energético de 16.725.000tep. Dessa forma, podemos verificar o consumo de energia agregado aos sistemas construtivos no gráfico abaixo:

Gráfico 2 – Consumo de energia agregado ao cimento e aço

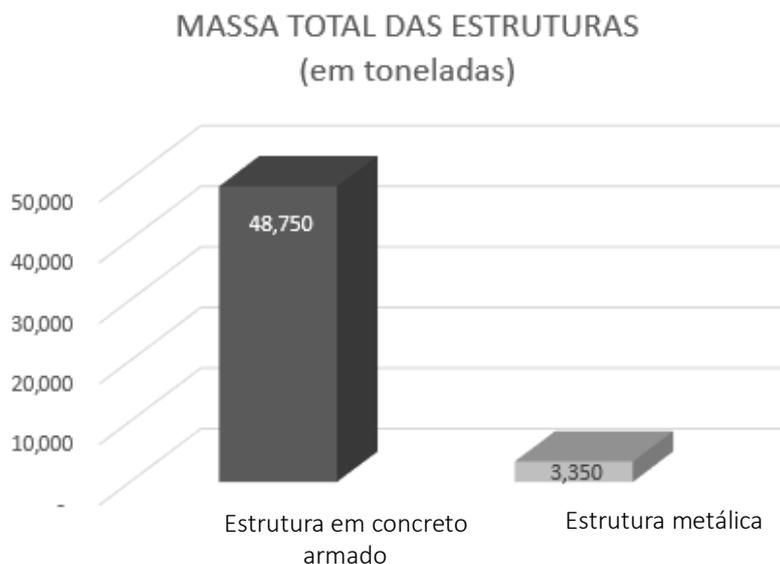
CONSUMO DE ENERGIA AGREGADO AO AÇO E CIMENTO



Conforme os resultados, o modelo construtivo em concreto armado consumiu um total de 5,70t de cimento e 0,98t de aço, com um valor total agregado de energia em 10.125 kW/h. Já o modelo construtivo metálico consumiu um total de 3,23t de cimento e 3,35t de aço, com um valor total agregado de energia em 22.095kW/h.

A massa total da estrutura é um dado secundário importante para a definição de eficiência energética do sistema construtivo. Com a massa específica do concreto de 25kN/m³, obtemos um total para a superestrutura de 48,75t. Ressaltando que a estrutura metálica possuiu uma massa muito inferior quando comparada com a estrutura de concreto, conforme mostrado no gráfico abaixo. Com uma massa superior, a estrutura de concreto possuiu consumos secundários de outros insumos, não analisados pela pesquisa, em transporte, manuseio, gasto energético, entre outros.

Gráfico 3 – Massa total das estruturas

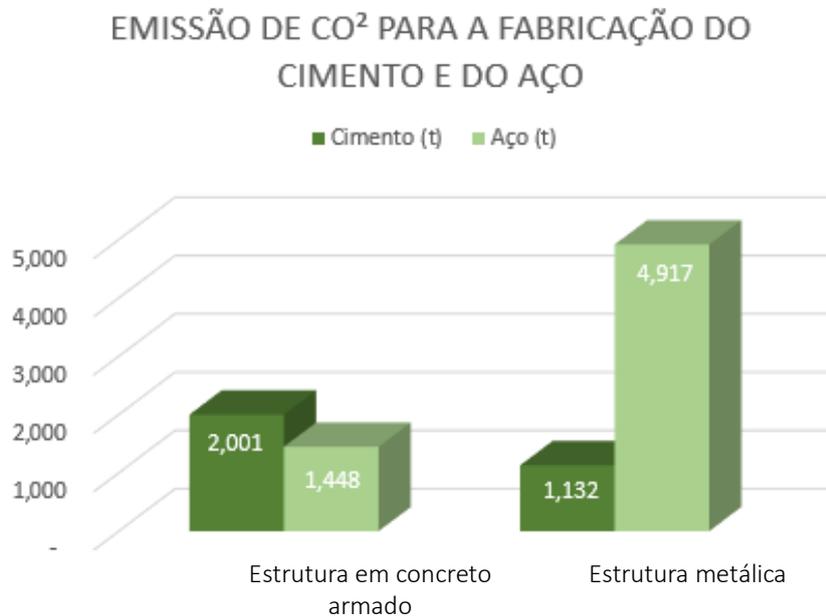


7.2 Emissão de CO² agregado a edificação pelos sistemas estruturas de concreto armado e metálico

A produção do aço e do cimento possuem consideráveis processos que consomem grande carga energética, principalmente através da queima de carvão mineral, gerando co-

produtos, tanto em resíduos quanto em gases. Entre os gases gerados podemos encontrar o dióxido de carbono (CO²), grande responsável pelo aquecimento global.

Gráfico 4 – Emissão CO² para a fabricação do cimento e aço



Relacionando o total consumido pelos modelos estruturais com os dados de emissão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (2017), sendo eles 23.767.000t de CO² eq. emitidos na produção de cimento e 48.710.000t de CO² eq. emitidos na produção do aço, foi estabelecido o quanto de CO² eq. está agregado aos insumos utilizados na edificação.

Sendo para a estrutura em concreto armado, o cimento utilizado emitiu 2,001t de CO² eq., e o aço 1,448t CO² eq.; para a estrutura metálica a emissão do consumo de cimento foi a de 1,132t deCO² eq. e, para o aço 4,917t de CO² eq..

7.3 Custo da edificação pelos sistemas estruturas de concreto armado e metálico

Afim de aprofundar o comparativo, foi levantado o custo de ambas as construções. Nessa análise identificado todos os materiais para a confecção das estruturas porém não contemplando custo com mão de obra, maquinário, vedação e acabamentos.

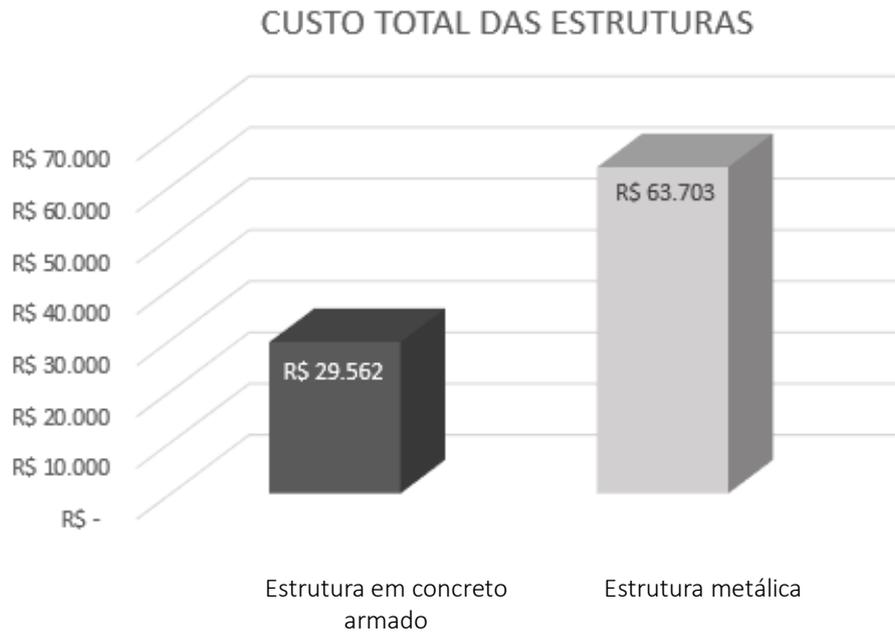
Tabela 3 - materiais utilizados no modelo estrutural de concreto armado

Materiais utilizados (Concreto armado)	
Material	QTD(aprox.)
Concreto	19,5m ³
Cimento	114 sacos
Areia	9,09m ³
Pedra	13,64m ³
Água	12,71m ³
Formas	
Tábua de 30cm	61,8m
Tábua de 25cm	389,32m
Tábua de 20cm	281,57m
Sarrafo de 5cm	355,8m
Sarrafo de 10cm	22m
Caibro 6x8cm	258,5m
Armadura	
Barras de 10 mm	1360,2m
Barras de 4,2 mm	1362,2m
Vigota treliçada H8	206m
Lajota H8 ceramica	821

Tabela 4 - materiais utilizados no modelo estrutural metálico

Materiais utilizados(estrutura metalica)	
Material	QTD(aprox.)
Perfil W H200mm	53,2m
Viga I laminada W200mm	61,4m
Painel Steel Deck 75	106,95m ²
Concreto	11,95m ³
Cimento	61 sacos
Areia	5,432m ³
Brita	8,8m ³
Água	6,15m ³
Formas	
Tabua de 30cm	38m
Tabula de 25cm	122,75m
Sarrafo de 5cm	39,8m
Armadura	
Barras de 10mm	455,4m
Barras de 4,2mm	292m

Gráfico 5 – Custo total das estruturas

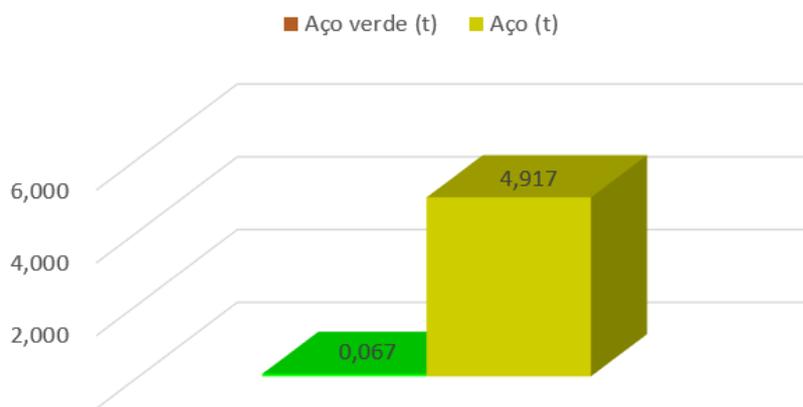


Conforme mostrado no gráfico, a estrutura em concreto armada teve um gasto total de R\$29.562,00, enquanto que a estrutura metálica teve um valor total de R\$ 63.703,00.

7.3 Emissão de CO² pelo sistema estrutural metálico utilizando como insumo o aço verde

Gráfico 6 – emissão de CO² para a fabricação do aço verde

EMISSÃO DE CO² PARA A FABRICAÇÃO DO AÇO VERDE



8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo proposto investigou dados divulgados por organizações competentes nos setores produtivos dos materiais analisados, que possibilitou a quantificação dos gastos energéticos, emissão de poluentes atmosféricos assim como o custo dos modelos estruturais. Apresentando grande discrepância entre os resultados quando postos lado a lado com sua contraparte proposta.

Enquanto que a estrutura metálica utilizou 56% do total de cimento utilizado na estrutura de concreto armado, esta última utilizou 29% do total de aço utilizado na estrutura metálica. Representando um diferencial em massa para a estrutura metálica de 6% do total da massa da estrutura em concreto armado, mostrando – nos a estrutura mais leve, a menor força aplicada nas fundação permitindo que esta tenha dimensões menores do que o exigido em uma edificação em concreto. Levando em consideração também que, em relação a superestrutura, 100% da matéria prima usada na estrutura metálica esta quantificado, assim como o seu consumo energético contabilizado. A maior massa do modelo estrutural em concreto significa um maior consumo em processos que não foram abordados nesse estudo.

Em relação aos dados analisados: a estrutura metálica mostrou um desempenho ambiental inferior, com alto gasto energético e maior emissão de CO², do que sua contraparte em concreto armado. Em relação ao custo, a estrutura em concreto armado teve uma economia de 54% em relação a estrutura metálica.

Verificado o alto potencial reciclável do aço, a maior velocidade da construção, menor resíduos descartados, possibilidade de maiores vão e fundações menos robustas e correlacionando com o processo produtivo do material foi identificado que a maior fonte poluidora associada ao aço está na fabricação. Investigado novas tecnologias produtivas foi encontrado o aço verde, este tendo emissão neutra ou nula de CO² na atmosfera.

A estrutura metálica utilizando o aço verde possuiu um desempenho ambiental melhor, com emissão de 0,06t contra 4,91t do aço comum. Tendo o mesmo gasto energético agregado por ambos serem produzidos por carvão. Referente ao custo do material, não conseguimos contato com a empresa fornecedora do material.

Para a edificação proposta, residência unifamiliar com um único pavimento, o modelo estrutural recomendado, de acordo com os parâmetros analisados de menor impacto ambiental e maior custo benefício, foi o de estrutura em concreto armado.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os dados e informações coletados durante a pesquisa foi identificado que cada sistema tem suas vantagens e desvantagens, cabendo ao proprietário avaliar qual atende melhor suas necessidades e expectativas, sempre ressaltando que a escolha do sistema estrutural deve ser feita em conjunto com um profissional da área, que poderá avaliar as condições específicas do terreno, propor alternativas e garantir a segurança e qualidade da construção.

Por fim, destacamos a importância de realizar um planejamento detalhado e considerar outros aspectos, como o uso de energia renovável, a sustentabilidade e a estética, para tomar uma decisão consciente e assertiva na escolha do sistema estrutural para a construção da casa.

REFERÊNCIAS

AULA 4 Parte 1/4 Aço na construção - Materiais de Construção I - Poli USP. [S.l.: s.n.], 2022. 1 vídeo (6min 50s). Publicado por Canal USP. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=n0KJv-GV3wI>>. Acesso em: 05 Out. 2023.

APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO. Centro federal de educação tecnologia do Paraná – departamento acadêmico de construção civil. 2004

BASTOS, Paulo Sérgio. Fundamentos Do Concreto Armado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP - Campus de Bauru/SP, 2023

BENTO, Ricardo Couceiro. Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: Uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO Instituto de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos, 2016

CAMACHO, Jefferson S. Introdução Ao Estudo Do Concreto Armado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - faculdade de engenharia de Ilha Solteira - SP, departamento de engenharia civil. 2008.

Casa Do Serralheiro. Perfil Tubular Estrutural: seus usos na construção civil. CASA do SERRALHEIRO. Disponível em: <https://casaserralheiro.com.br/perfil-tubular-estrutural-usos-na-construcao-civil/>. Acesso em: 15 Out. 2023.

CBCA. Conheça as vantagens da construção em aço para a sustentabilidade. CBCA. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade.php>. Acessado em: Out. 2023.

CBCA. Produção de estruturas de aço em 2022 gerou faturamento de 16,2 bilhões de reais, crescimento de cerca de 13% em relação ao ano anterior, revela pesquisa do CBCA e da ABCEM. 2023. CBCA. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/producao-de-estruturas-de-aco-em-2022-gerou-faturamento-de->

16-2-bilhoes-de-reais-crescimento-de-cerca-de-13-em-relacao-ao-ano-anterior-revela-pesquisa-do-cbca-e-da-abcem. Acesso em: Out. 2023.

CBCA. Casa Torto/ Taguá arquitetura.2021. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/casa-torto-tagua-arquitetura>. Acesso em: Out. 2023.

CIÊNCIA dos Materiais - Aula 08 - Tratamentos térmicos e tratamentos termoquímicos nos aços. [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (31min. 31s.). Publicado pelo canal UNIVESP. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5XYbfGbiTFM&t=716s>>. Acesso em: 20 Out. 2023.

COMENTANDO Comentários: Estrutura Metálica Pronta x Montada no Local | | Arquitetura Sustentável. [S.l.: s.n.], 2022. 1 vídeo (08min. 16s.). Publicado pelo canal Paulo Trigo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=21Aln01iKBU>>. Acesso em: 07 Out. 2023.

COSTA, Bruno Knupfer Ferreira; BRAGA, Heitor Ferraz Machado; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador. A relevância do uso do aço na construção civil. Repositório Alfaunipac, Minas Gerais, p.1-21, Out. 2020. Disponível em: <https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/437_a_relevancia_do_uso_do_aco_n_a_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 02 Agos. 2023.

COUTO, José. Et al. O concreto como material de construção. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas | Sergipe | v. 1 | n.17 | p. 49-58 | out. 2013.

COURA, Ramon; SOUZA, Priscilla. Análise comparativo entre os sistemas construtivos de estrutura metálica e estrutura convencional 'estudo de caso: edificação de interesse social. Rede De Ensino Doctum Unidade João Monlevade Graduação em Engenharia Civil. Joao Monlevade - MG, 2019.

Edifícios. IEA. Disponível em: < [Edificações - Sistema de Energia - IEA](#)>. Acesso em: 08/10/2023.

EisenMetal. Tipo de perfis metálicos. EisenMetal. Disponível em: eisenmetal.com.br/tipos-de-perfis-metalicos-2/. Acesso em: 15 Out. 2023.

Empire State Building - História das Estruturas. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (10min. 53s.). Publicado por o Canal da Engenharia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xqqzA3ruN0k>. Acesso em: 30 Out. 2023.

Engshow. Perfis em Aço Laminado, Soldado ou Chapa Fria. Engshow. Disponível em: engshow.com.br/blogdoaco/perfil-em-aco/. Acesso em: 15 Out. 2023.

ESTRUTURAÇÃO Estruturas Metálicas. Estruturas metálicas para casas.2017. Disponível em: <https://www.estructuraco.com/estrutura-metalica-para-casas/>. Acesso em: Out. 2023.

GALVAÇO COML. de ferro e aço LTDA. Disponível em: <https://galvaco.com.br/lojavirtual/index.php/w-200-x-15-i.html>. Acesso em: Out. 2023.

JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO – notas de aulas. Departamento de Engenharia UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS.

KAEFER, Luís Fernando. A Evolução do Concreto Armado. PEF 5707 – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. São Paulo,1998.

KARPINSK, Luisete Andreis et al. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009.

LEAL, Márcio Vinícius Rodrigues; LUIZ, Lucas Victor Alves. Análise Comparativa Entre Projetos De Estruturas Em Aço Carbono E Estruturas De Concreto Armado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica. Anápolis – GO, 2018.

LIMA, Caio. Et al. Concreto e Suas Inovações. Ciências exatas e tecnológicas | v. 1 | n.1 | p. 31-40. Maceió, 2014.

MADEIRA LEGAL VS. MADEIRA ILEGAL. Infraestrutura do Meio Ambiente. Disponível em: <[Madeira Legal \(infrastrukturameioambiente.sp.gov.br\)](http://Madeira_Legal_(infrastrukturameioambiente.sp.gov.br))>. Acesso em: 08/10/2023

MEOS serviços. Tratamento anticorrosivo para estruturas metálicas. MEOS Serviços. Disponível em: <<https://www.meosservicos.com.br/tratamento-anticorrosivo-estrutura-metalica>>. Acesso em: 20 Out. 2023.

MESSIASDUSTRE. Aço carbono ou aço inox: qual é mais resistente?. 2022. Dustre. Disponível em: <<https://dustre.com.br/aco-carbono-ou-aco-inox-qual-e-mais-resistente/>>. Acesso em: 28 Out. 2023.

NAKAHARA, Flávia Sayuri. Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá – SP, 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto – 2º edição. São Paulo, 2013.

Oeste. Perfis metálicos: quais os principais tipos e o que eles oferecem?. 2021. Oeste Comercial de Ferro e Aço. Disponível em: <<https://oestefer.com.br/em-destaque/perfis-metalicos-quais-os-principais-tipos-e-o-que-eles-oferecem#:~:text=Os%20tipos%20de%20perfis%20met%C3%A1licos,resistentes%20e%20proporcionam%20in%C3%BAmeros%20benef%C3%ADcios>>. Acesso em: 15 Out. 2023.

O QUE É AÇO? O Fascinante Mundo do Aço: Da Antiguidade à Revolução Industrial. [S.l.: s.n.], 2023. 1 vídeo (11min. 38s.). Publicado pelo canal Engenharia Detalhada. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=bwp_Oso7ATE&t=213s. Acesso em: 30 Out. 2023.

PALESTRA - Estrutura Mista em Aço e Concreto. [S.l.: s.n.], 2022. 1 vídeo (61min. 44s.). Publicado pelo canal IFBA Campus Eunápolis. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OJPTpXtr7pI&t=3220s>>. Acesso em: 30 Out. 2023.

Perfil Lider. Você sabe quais os tipos de perfis metálico?. 2023. Perfil Líder Blog. Disponível em: www.perfillider.com.br/blog/artigo/voce-sabe-quais-os-tipos-de-perfil-metalico/#:~:text=O%20perfil%20L%20ou%20cantoneira,utilizado%20para%20sustenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20forros. Acesso em: 15 Out. 2023.

Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Qualidade Ambiental. Disponível em: < [apresplanares-consultapublica-vfull100-20-1-pdf](http://www.gov.br/apresplanares-consultapublica-vfull100-20-1-pdf) (www.gov.br)>. Acesso em: 08/10/2023

QUAL a diferença entre estrutura metálica e steel framing?. [S.l.: s.n.], 2021. 1 vídeo (15min. 11s.). Publicado pelo canal Arq Steel By Edna Dias. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Odjb51ft7cc>>. Acesso em: 07 Out. 2023.

SAN. A História do Aço na Construção Civil. 2021.SAN. Disponível em: www.gruposolucoes.com/blog/a-historia-do-aco-na-construcao-civil. Acesso em: 30 Out. 2023.

SCALZO, Silvia. Panorama da indústria da construção em aço. 2021. O especialista. Disponível em: <<https://oespecialista.com.br/opinioes/panorama-da-industria-da-construcao-em-aco/>>. Acesso em: Set. 2023.

SEBRAE. Estruturas metálicas no setor da construção civil. 2023. SEBRAE. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/estruturas-metalicas-no-setor-da-construcao-civil,c9f23084b5907810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: Set. 2023.

Structuraço. Viga W e Viga I: há diferença?. 2017. Structuraço Estruturas Metálicas. Disponível em: <<https://www.structuraco.com/diferenca-entre-viga-i-e-w/>>. Acesso em: 15 Out. 2023. (Problemas com direito)

SULMODULOS. Casas Steel Frame- Modelos Prontos. Disponível em: <https://www.sulmodulos.com.br/produtos/casas-steel-frame-modelos-prontos/>. Acesso em: Out. 2023.

THE EMPIRE State Building. Fatos e números. Disponível em: <https://www.esbnyc.com/pt-br/sobre/fatos-e-numeros>. Acesso em: Out. 2023.

TORRESI Susana; Et al. O Que é Sustentabilidade?. Quim. Nova, Vol. 33, No. 1, 5, 2010

UNIÃO técnica estruturas metálicas - in loco podcast #21. [S.l.: s.n.],2020. 1 vídeo(1:31:44). Publicado pelo canal In Loco Podcast. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WP85CjBDCxI&t=884s>. Acesso em: Set. 2023

VIVA Decora. Estação da Luz: História, Arquitetura +7 Curiosidades!. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/estacao-da-luz/>. Acesso em: Out. 2023.

7 curiosidades sobre a estação da Luz, que completa 120 anos. [S.l.: s.n.], 2021. 1 vídeo (07min. 21s.). Publicado pelo canal Via Trolebus. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=USuYCOWsya0&t=341s>. Acesso em: 30 Out. 2023.