



Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios - Pavimentos

RAFAELA BACELAR COSTA DA SILVA

novembro de 2023



Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios - Pavimentos

RAFAELA BACELAR COSTA DA SILVA

Outubro de 2023

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONCRETO ARMADO E MADEIRA NA REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE UM PAVIMENTO

RAFAELA BACELAR COSTA DA SILVA

Dissertação para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Duarte Barroso Lopes – ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto)

Co-Orientador: Professora Ligia Vitória Real (Universidade Presbiteriana Mackenzie - UPM)

Co-Orientador: Professor Lucas Anastasi Fiorani (Universidade Presbiteriana Mackenzie - UPM)

OUTUBRO DE 2023

Eu, Rafaela Bacelar Costa da Silva, estudante nº 1212327, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios - Pavimentos” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mas declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referenciação adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2023/10/22

Rafaela Bacelar Costa da Silva

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Abreviaturas	xvii
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
CAPÍTULO 3 CASO DE ESTUDO	26
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO	53
Referências Bibliográficas	56

RESUMO

A importância do desenvolvimento sustentável e as preocupações com o planeta, essencialmente a nível ambiental, são algumas das razões pelos quais, é necessário desenvolver mecanismos capazes de amenizar os impactos causados pelo setor da construção, já que esse é um dos responsáveis pelo impacto ambiental negativo no nosso planeta.

Foi realizado um caso de estudo de uma residência unifamiliar, supondo a reabilitação do pavimento (piso/laje) dessa construção. Para isso foi elaborado um comparativo entre os métodos construtivos de concreto armado e madeira, com base nas variáveis de custo, energia e emissão de CO₂, analisado qual o método estudado é mais sustentável para solução.

Após a revisão bibliográfica, o levantamento dos dados e o comparativo, conclui-se que a construção em concreto armado é mais econômica em comparação com a estrutura de madeira, entretanto o método construtivo em madeira é mais eficiente em termos sustentáveis do que a estrutura de concreto armado.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Reabilitação, Desenvolvimento Sustentável, Energia, Emissões CO₂.

ABSTRACT

The importance of sustainable development and concerns about the planet, essentially at an environmental level, are some of the reasons why it is necessary to develop mechanisms capable of mitigating the impacts caused by the construction sector, as this is one of those responsible for the negative environmental impact. on our planet.

A case study of a single-family residence was carried out, assuming the rehabilitation of the pavement (floor/slab) of this construction. To this end, a comparison was drawn up between the construction methods of reinforced concrete and wood, based on the variables of cost, energy and CO2 emissions, analyzing which method studied is more sustainable for the solution.

After the literature review, data collection and comparison, it is concluded that reinforced concrete construction is more economical compared to the wooden structure, however the wooden construction method is more efficient in sustainable terms than the wooden structure reinforced concrete.

Keywords: Sustainability, Rehabilitation, Sustainable Development, Energy, CO2 Emissions.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo que conquistei até agora, mas peço a Ele para me dar sabedoria para conquistar muito mais, agradeço a ele por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, por minha vida, família e amigos.

Agradeço aos meus pais e meus irmãos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, amo vocês.

Agradecimentos ao meu namorado, pelo apoio, companhia e parceria em tudo e todo momento que tivemos que superar juntos, inclusive o período em que estive fora de casa longe da minha família, ele esteve comigo.

Agradecimentos a minha tia, a toda minha família (avós, primos, tios (as)), aos amigos de infância, que me apoiaram em minha jornada acadêmica e pessoal. Aos amigos que pude fazer nessa caminhada da faculdade, compartilhar a vida acadêmica e pessoal, obrigado por todos os conselhos úteis e aos inúteis também (risos), bem como palavras motivacionais e puxões de orelha. As risadas e os choros que compartilhei durante os momentos difíceis na faculdade, também me ajudaram a passar o dia.

A Universidade Presbiteriana Mackenzie, pela oportunidade de fazer o curso e proporcionado a possibilidade do intercâmbio no ISEP, ao qual também deixo meus agradecimentos pelos conhecimentos compartilhados e pelo acolhimento. Ao corpo docente das instituições, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço aos meus orientadores do Mackenzie e ISEP, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Agradeço aos professores que me acompanharam ao longo do curso e que, com empenho, se dedicam à arte de ensinar.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

Att, Rafaela Bacelar.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Estrutura do Trabalho	2
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Construção Sustentável	4
2.2	Materiais	9
2.3	Principais materiais da construção civil	12
2.3.1	Concreto Armado e a sua contribuição nas emissões de CO ₂	12
2.3.2	Madeira como material sustentável.....	13
2.4	A Reabilitação de edifícios	15
2.5	A Reabilitação Sustentável de Edifícios	19
2.6	SIDAC.....	22
2.6.1	Metodologia	22
2.7	SINAPI.....	24
CAPÍTULO 3	CASO DE ESTUDO	26
3.1	Introdução.....	26
3.2	Descrição do estudo de caso	27
3.2.1	Estrutura em madeira.....	32

ÍNDICE DE TEXTO

3.3	Desenvolvimento	34
3.4	Custo	35
3.4.1	Concreto Armado.....	35
3.4.2	Madeira.....	38
3.5	Peso.....	41
3.5.1	Concreto armado	41
3.5.2	Madeira.....	41
3.6	Energia	42
3.6.1	Concreto Armado.....	42
3.6.2	Madeira.....	43
3.7	Emissão de Gases do Efeito Estufa	44
3.7.1	Concreto Armado.....	44
3.7.2	Madeira.....	45
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO		47
4.1	Custo	47
4.2	Peso.....	48
4.3	Energia	49
4.4	Emissão de CO ₂	50
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO		53
5.1	Desenvolvimento Futuro	54
Referências Bibliográficas.....		56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 7 princípios da Construção Sustentável - Fonte: Adaptado, Valério (2014)	8
Figura 2-2 Objetivos de desenvolvimento sustentável - Fonte: Green Building Council Brasil (2019).....	8
Figura 2-3 Ciclo da construção – Adaptado – Fonte:Waldetario (2009).....	15
Figura 2-4 Organograma de ações para reabilitação de edifícios - Fonte: Lopes (2010).....	17
Figura 2-5 Estratégias para uma Reabilitação Sustentável - Fonte: Adaptado – Linhares (2022)	20
Figura 3-1 Planta Térreo de Arquitetura	28
Figura 3-2 Planta 1º Pavimento – Arquitetura	29
Figura 3-3 Planta 1º pavimento – medidas em Concreto Armado	31
Figura 3-4 Planta 1º pavimento dimensões em Madeira.....	33
Figura 3-5 Detalhe da Laje L2	34
Figura 3-6 Disposição dos elementos estruturais	39
Figura 4-1 Gráfico Comparação final Concreto Armado x Madeira - Fonte: Autor	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Conferências ambientais	5
Tabela 2-2 Material ecológico	9
Tabela 2-3 Material Sustentável	10
Tabela 2-4 Material Reciclável	11
Tabela 3-1 Resumo de áreas	27
Tabela 3-2 Elementos estruturais de Concreto Armado	30
Tabela 3-3 Resumo de cargas.....	30
Tabela 3-4 Elementos estruturais estrutura de madeira	32
Tabela 3-5 Resumo das Características da Laje estudada.....	34
Tabela 3-6 – Quantidade de materiais utilizados no total da edificação em concreto armado	35
Tabela 3-7 Informações Técnicas da Laje L2	35
Tabela 3-8 Preço do aço	36
Tabela 3-9 Custo para reabilitação da laje L2 em concreto armado.....	36
Tabela 3-10 Rendimentos para mão de obra.....	37
Tabela 3-11 Rendimento por 8h trabalhadas.....	37
Tabela 3-12 Custo Mão de Obra Concreto Armado	38
Tabela 3-13 Quantidade de materiais total - Estrutura de madeira	38
Tabela 3-14 Informações Técnica estrutura de madeira – Laje L2	39
Tabela 3-15 Mão de obra para execução da laje L2, em madeira	40
Tabela 3-16 Peso em Concreto Armado para construção da laje L2	41
Tabela 3-17 Peso em Madeira para construção da laje L2	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-18 Energia em MJ, gasta na produção dos materiais	42
Tabela 3-19 Consumo de energia para produção da laje L2, em concreto armado	42
Tabela 3-20 Consumo de energia para produção da laje L2, em madeira.....	43
Tabela 3-21 Emissão de CO ₂ em kg na produção dos materiais.....	44
Tabela 3-22 Quantidade de CO ₂ emitida para produção da laje L2, em concreto armado	44
Tabela 3-23 Quantidade de CO ₂ emitida para produção da laje L2, em madeira.....	45
Tabela 4-1 Comparação de custo Concreto Armado x Madeira	47
Tabela 4-2 Resumo de pesos Concreto Armado x Madeira	48
Tabela 4-3 Comparação da energia necessária para construção da laje L2 em Concreto Armado x Madeira	49
Tabela 4-4 Custo relacionado a energia gasta Concreto Armado x Madeira	49
Tabela 4-5 Quantidade de água necessária para produção da Laje L2, Concreto Armado x Madeira	49
Tabela 4-6 Comparação emissão de gases Concreto Armado x Madeira	50
Tabela 4-7 Compensação necessária Concreto Armado x Madeira.....	50

ABREVIATURAS

Qtd – Quantidade

Unit – Unitário

Vol. – Volume

GEE – Gases Efeito Estufa

Pr. – Preço

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SIDAC – Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor de construção de edifícios é um dos grandes responsáveis pelo impacto ambiental negativo no nosso planeta. O ciclo de vida de um edifício abrange várias fases, entre elas, a fase de construção, a utilização e a de desconstrução/demolição. Nestas fases de vida do edifício, são consumidos elevados recursos naturais, como, por exemplo, o consumo de energia, a emissão de gases do efeito estufa, a produção de resíduos e diversos outros (LOPES,2010).

A importância do desenvolvimento sustentável e as preocupações com o planeta, essencialmente a nível ambiental, são algumas das razões pelos quais se desenvolvem mecanismos que permitam obter um futuro promissor e saudável para as gerações futuras. Deste modo, é necessário aplicar e fortalecer todos os recursos que estão disponíveis, para que se atinja estes objetivos (RODRIGUES,2014).

O conceito de construção sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que enfrente e proponha soluções aos principais problemas ambientais de sua época, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários recentes e futuros. Trata-se de uma visão multidisciplinar e complexa que integra diferentes áreas do conhecimento para reproduzir a diversidade que compõe o próprio mundo (ARAUJO,2022). Desta forma, a sustentabilidade encontra-se assentada em três dimensões: a econômica, a social e a ambiental, e é um conceito fundamental para melhorar a qualidade de vida das populações (FONSECA,2019).

Logo, na procura de soluções inteligentes para que as sociedades possam integrar o Homem ao meio ambiente, arquitetos e engenheiros têm-se esforçado para aplicar eficazmente os sistemas construtivos atuais, trabalhando no desenvolvimento de novas tecnologias para aprimorar o uso de recursos naturais, como, por exemplo, a implantação da sustentabilidade nas construções. É importante citar que a sustentabilidade das cidades depende das políticas públicas e dos seus habitantes, que são cruciais e inevitáveis para que se obtenham ambientes construídos e ajustados para a manutenção da qualidade de vida (VIEIRA,2018).

Com isso a reabilitação do edificado construído desempenha papel fundamental na introdução de medidas sustentáveis no setor da construção, minimizando os custos do ciclo de vida dos edifícios e, evitando a ocupação de solo, o consumo de matérias-primas, o consumo de recursos escassos e a redução aos impactos negativos para o meio ambiente, além de preservar os valores culturais e o patrimônio construído (CÓIAS E MATEUS, 2011 *apud* VIEIRA,2018), com auxílio de materiais com baixo consumo de energia e emissão de gases do efeito estufa.

1.2 OBJETIVO

O objetivo da dissertação foi realizar um estudo comparativo entre os métodos construtivos de concreto armado e madeira na suposição da reabilitação entre um pavimento de concreto armado e um de madeira de uma residência unifamiliar, baseando-se em critérios de sustentabilidade. Para isso, utilizou-se o estudo desenvolvido por Barbosa (2019) e foram admitidas algumas variáveis de mensuração, quais sejam: custo, demanda de energia e emissão de CO₂.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho será dividida em 5 capítulos, sendo:

- Capítulo 1 – Introdução e contextualização do trabalho, deixando claro o tema e seus objetivos;
- Capítulo 2 – Revisão da Literatura, esclarecimentos a respeito do tema em que será tratado.
- Capítulo 3 - Caso de estudo;
- Capítulo 4 - Discussão, quando serão apresentados os resultados obtidos com o estudo de caso executado;
- Capítulo 5 - Conclusão.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo abordar os assuntos investigados no estudo: Sustentabilidade, construção sustentável, materiais sustentáveis e a Reabilitação sustentável.

2.1 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

“A definição de Desenvolvimento Sustentável é a capacidade de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer o atendimento as exigências das futuras gerações, ou seja, é o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro “(WWF,2023).

A palavra sustentabilidade deriva do latim “sustinere” que significa “defender” ou “manter vivo”. Daí a importância da sustentabilidade na construção, uma vez que é um dos setores que consome mais recursos naturais e que, por sua vez, gera grande escala de resíduos, sendo estes prejudiciais à população e ao ambiente (CABRITA,2016).

Assim como o desenvolvimento sustentável, a construção sustentável apoia-se na harmonia dos pilares econômicos, ambientais e sociais. Neste caso, a dimensão econômica está relacionada com a valorização do ativo imobiliário, a criação de emprego e o desenvolvimento de outros setores econômicos. A dimensão ambiental, tem em conta o consumo de recursos naturais, emissões de GEE (Gases do efeito Estufa), produção de resíduos, conforto térmico e acústico, ocupação do solo e impacto na biodiversidade. Já a dimensão social, relaciona a saúde e a segurança no trabalho, a formação profissional, a integração social, a alteração paisagística e o impacto visual (AUGUSTO, 2011 *apud* VALÉRIO,2014).

O conceito de desenvolvimento sustentável, começou verdadeiramente a ser discutido, em nível mundial, nos primeiros anos da década de setenta, o que se deu por meio de um debate promovido pela O.N.U, nas conferências ambientais, ajudando a consolidar a compreensão quanto as causas e consequências das mudanças climáticas ao mesmo tempo que os líderes mundiais estabelecem acordos e compromissos em relação ao desenvolvimento sustentável (ESTADÃO,2021).

Algumas das principais conferências ambientais, estão descritas na

Tabela 2-1 Conferências ambientais.

Tabela 2-1 Conferências ambientais

ANO	CONFERÊNCIAS
1972	A Conferência de Estocolmo - Suécia - 1ª Conferência
1987	Comissão Brundtland - Nosso futuro Comum
1997	Protocolo de Kyoto
2002	Rio +10 - Agenda 21
2012	Rio +20
2015	Acordo de Paris - Conferência das Partes - COP 21

A Conferência de Estocolmo foi realizada no ano de 1972, em Estocolmo, na Suécia. Essa foi a primeira conferência ambiental no mundo e reuniu líderes de 113 países e 250 organizações internacionais para discutir os principais problemas enfrentados pelo meio ambiente. É considerada um marco histórico, pois a partir dela, surgiram políticas de gerenciamento ambiental envolvendo o engajamento dos Estados na tentativa de diminuir os impactos ambientais negativos. Essa conferência significou uma constatação, por parte dos Estados envolvidos, da existência dos problemas ambientais e da extrema necessidade de promover ações para contê-los (SOUSA,2022). Nela foram abordados, os temas:

- A Preservação da fauna e da flora como atitude essencial, além da Redução do uso de resíduos tóxicos.
- Importância do apoio ao financiamento do desenvolvimento para que países subdesenvolvidos atinjam o progresso esperado. Essa questão é importante, pois a declaração acreditava que a melhor maneira de barrar a degradação ambiental é por meio da promoção do desenvolvimento destes países.

Assim, a Conferência de Estocolmo significou uma grande contribuição na tentativa de resolver os problemas ambientais, pois conseguiu chamar a atenção de toda a comunidade internacional para a urgência de discutir e de promover estratégias para conter a destruição do meio ambiente.

Em abril de 1987, a Comissão Brundtland, como ficou conhecida, avançou mais nestas questões, publicando um relatório inovador, “Nosso Futuro Comum” – que traz o conceito de desenvolvimento sustentável para o discurso público, destacando que:

“o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.” (ONU,2020).

Dez anos depois, em um novo encontro, publicou-se, Protocolo de Kyoto, por meio do qual se estabeleceram metas obrigatórias para 37 países industrializados e para a Comunidade Européia, feitas com intuito de reduzirem as emissões de gases estufa, em 1997 (ONU,2020).

Em 2002, a Conferência Rio +10, também conhecida como Cúpula de Joanesburgo ou Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, dez anos após a ECO-92, 189 países, além de centenas organizações não governamentais. Nessa conferência, realizada na cidade de Joanesburgo, na África do Sul, foram debatidas questões a respeito da preservação do meio ambiente e foram discutidos também problemas de cunho social, como a pobreza (SOUSA,2022).

Os Principais pontos destacados pela Declaração de Joanesburgo, como descrito por Sousa (2022), foram:

- Necessidade de proteger a biodiversidade.
- Promoção do acesso à água potável.
- Melhoria do saneamento básico para atender às populações.
- Acesso à energia e à saúde.
- Combate à fome, aos conflitos armados, ao narcotráfico e ao crime organizado.

Já em 2012, a conferência Rio +20, também conhecida como Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, foi realizada no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro. Recebeu esse nome, porque foi realizada vinte anos após a Rio-92. Desta conferência, participaram 193 países-membros da ONU e teve uma das maiores coberturas midiáticas da história, tendo sido retomadas questões debatidas nas conferências anteriores e se refletido sobre ações adotadas pelos países desde a Rio-92, identificando aquelas que pudessem orientar o desenvolvimento sustentável para os próximos vinte anos (SOUSA,2022).

Segundo Sousa (2022), o principal objetivo da Rio +20 refere-se ao reforço do compromisso dos Estados com a sustentabilidade e foi organizada pela ONU, tendo levantado um questionamento: “Qual o futuro que queremos?”. Dessa questão, resultou o documento que ficou conhecido como “O futuro que queremos” e cujas principais propostas do documento “O futuro que queremos” foram:

- Erradicar a pobreza.
- Integrar aspectos econômicos, sociais e ambientais ao desenvolvimento sustentável.
- Proteger os recursos naturais.

- Mudar os modos de consumo.
- Promover o crescimento econômico sustentável.
- Reduzir as desigualdades.
- Melhorar as condições básicas de vida.

O mais recente tratado internacional é o Acordo de Paris, adotado em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes que ocorreu em Paris.

Foi adotado um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças, como por exemplo (Ministério do meio Ambiente,2023):

- Manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais;
- Limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Para efetivação do acordo entrasse em vigor, era necessário que os países que representam em torno de 55% da emissão de gases de efeito estufa autenticassem a sua assinatura, validando o compromisso. Com isso no final do ano de 2015, o acordo foi assinado após várias negociações, entrando em vigor em 4 de novembro de 2016. Até 2017, 195 países assinaram e 147 autenticaram (SOUSA,2022).

O impacto ambiental aliado ao crescimento desequilibrado da sociedade impõe às organizações mundiais um compromisso face à postura comprometida em relação à responsabilidade socioambiental. Logo a construção é responsável por grande parte dos resíduos causados, o setor deve, por isso, assumir um compromisso mais ampliado para com o ambiente e a sociedade (CABRITA,2016).

Desta maneira para haver desenvolvimento sustentável é necessário haver reestruturação da relação entre os seres humanos, e as suas necessidades e o meio ambiente. Existe, porém, divergências de opinião sobre o que é mais importante: o meio ambiente ou satisfazer as necessidades humanas (VALERIO,2014).

Em 1994, foi definido por Charles Kibert, o conceito de construção sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos. Ainda em 1994, o CIB (Conselho Internacional da Construção), também definiu os 7 Princípios para a Construção Sustentável (Kibert,2008 *apud* GOMES,2012), conforme ilustrado na Figura 2-1 7 princípios da Construção Sustentável - Fonte: Adaptado, Valério (2014).

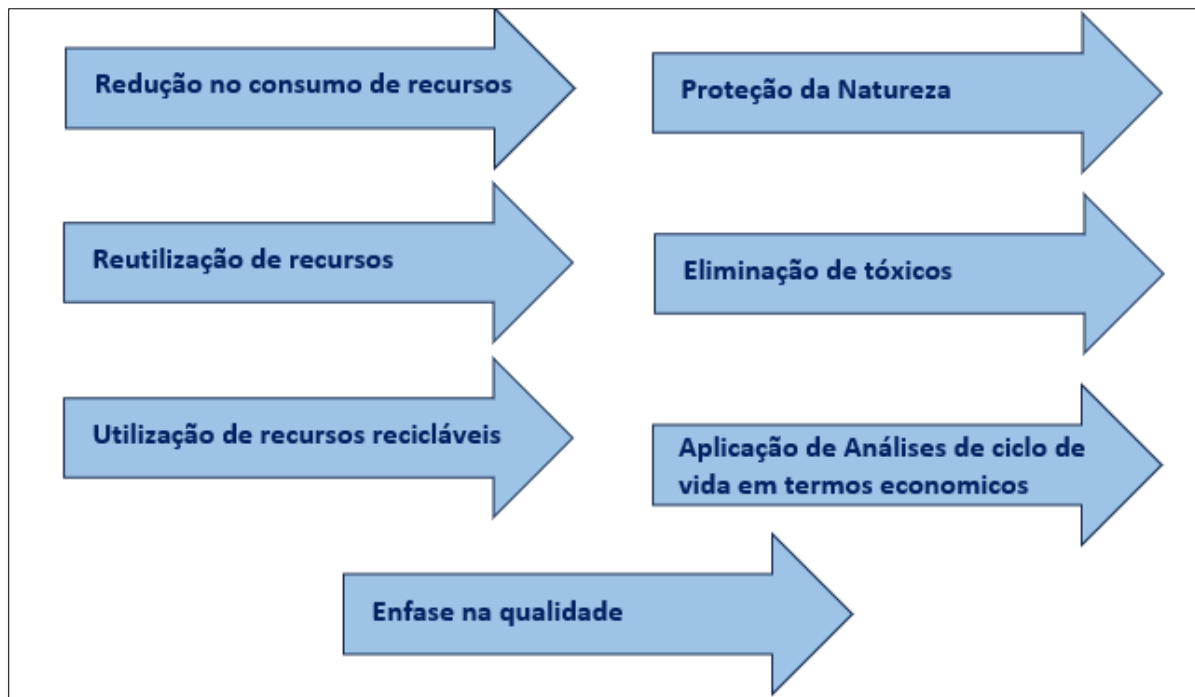


Figura 2-1 7 princípios da Construção Sustentável - Fonte: Adaptado, Valério (2014)

Contudo a construção sustentável deve ligar o projeto ao ambiente e à tecnologia, sem esquecer o contexto ambiental, cultural e socioeconômico em que se insere e tendo sempre presente que não só as gerações atuais, mas também as futuras, têm de ser capazes de garantir as suas necessidades (NUNES,2015 *apud* VIEIRA,2018). Desta forma, entender os objetivos de desenvolvimento sustentável, como se pode observar na Figura 2-2 Objetivos de desenvolvimento sustentável - Fonte: Green Building Council Brasil (2019)



Figura 2-2 Objetivos de desenvolvimento sustentável - Fonte: Green Building Council Brasil (2019)

2.2 MATERIAIS

Uma construção sustentável implica uma escolha ponderada dos materiais, ou seja, que leve em consideração o desempenho térmico, a disponibilidade do material, a energia indispensável à sua produção e entre outros. Assim, determinado material poderá fazer com que ao longo da vida útil do edifício, este se mostre sustentável mesmo antes, dos elevados custos de produção, ou a uma distância notável do local de obra. (TIRONE e NUNES, 2008 *apud* VIEIRA 2018).

Além disso, no instante de escolha dos materiais, devem ser priorizados aqueles que cumprem determinados critérios, como, de baixa energia incorporada na produção, as condições de reciclagem, durabilidade, as taxas de reutilização e a recuperação de resíduos, sempre se associando a baixos níveis de emissões de gases e de toxicidade, assim como aqueles que possibilitam uma análise do seu ciclo de vida (PINTO e HENRIQUES, 2015 *apud* VIERIA,2018).

Dentro destes conceitos, os materiais podem ser classificados como:

- **Materiais Ecológicos** - os materiais ecológicos são aqueles que causam menor impacto ambiental, avaliados a partir dos recursos que são utilizados para a sua fabricação e da energia que é consumida durante o mesmo processo (PARDAL,2019) – ver Tabela 2-2 Material ecológico.

Tabela 2-2 Material ecológico

Material	Motivo pelo qual é considerado ecológico
Granito disposto no local	Produto proveniente da natureza, é extraído sem requerer grandes custos de energia incorporada e poder ser diretamente aplicada após a sua remoção.
Bambu	Material altamente renovável que pode substituir o uso da madeira (material e combustível), impedindo o corte indevido de arvores essenciais ao equilíbrio natural.
Cimento ecológico	Vantagens ostensivas quando feitas as análises do seu ciclo de vida do material, pois devido a sua fabricação possuir um baixo custo de produção e colabora para a preservação do meio ambiente.
Madeira certificada	Não causa impacto à região de onde foi retirado, nem ao meio ambiente, ou seja, provém de manejo florestal e, assim que é abatida esta arvore é substituída por outra de modo a não causar impacto a natureza.

Fonte: Adaptado – Pardal (2019)

- **Materiais Sustentáveis** – materiais sustentáveis são conhecidos por possuírem características de elevada durabilidade e exigirem pouca manutenção durante o tempo de vida útil, tendo no futuro fortes potencialidades de serem reutilizados ou reciclados (SILVA,2010 *apud* PARDAL,2019). É um material considerado sustentável quando é “verde”, e assim é chamado por ser renovável e de extração fácil, não possuindo energia embutida para a sua produção e, proporcionando ganhos relativos ao consumo de energia elétrica para o aquecimento e o resfriamento das habitações. A análise se dá, também, em função da fabricação e tipo de material que nela está envolvido. Por fim, o tipo de utilização de recuperação que estes materiais podem gerar, devem ser apreciados (PARDAL,2019) – ver Tabela 2-3 Material Sustentável

Tabela 2-3 Material Sustentável

Material	Motivo pelo qual é considerado sustentável
Placas de aglomerado de madeira OSB	Aproveitam-se as madeiras resultantes da demolição que por vezes, podem não ter condições de serem reutilizadas novamente, logo são submetidas a um processo de trituração e depois que se o aglomerado de OSB, pode-se reutilizá-lo na construção.
Poliestireno extrudado - XPS	É utilizado no isolamento térmico das habitações, não deixando ocorrer transmissões térmicas do interior para o exterior e vice-versa, mantendo assim a temperatura no interior da fração estável, reduzindo os custos de aquecimento ambiente.

Fonte: Adaptado – Pardal (2019)

- **Materiais recicláveis** – o processo de reciclagem de um material, consiste na sua reformulação de modo a criar um produto e colocá-lo no mercado. O material pode ter, ou não, a mesma aplicação que lhe deu origem e, por vezes, a reciclagem de um determinado material pode não ser viável se o seu reprocessamento envolver gastos energéticos e a emissão de poluentes elevados, (SILVA, 2010 *apud* PARDAL, 2019) – ver Tabela 2-4 Material Reciclável.

Tabela 2-4 Material Reciclável

Material	Motivo pelo qual é considerado reciclável
Aço e alumínio	O aço e o alumínio são materiais fáceis de reciclar, utilizando consumos de energia mais baixos que a fabricação de um produto novo e se pode voltar a aplicar em obra com as mesmas características de um perfil em aço novo. É, atualmente possível a produção de perfis e aço laminado e de aço em barra a partir de matéria-prima 100% reciclada.
Vidros	O vidro pode ser reciclado se for devidamente separado dos outros materiais, ou seja, separá-lo do vidro proveniente de lixo doméstico. O vidro pode ser diretamente reutilizado ou reciclado, por exemplo, como agregado, depois de granulado, para execução do concreto.
Lã de rocha e Lã de vidro	Os resíduos provenientes deste material podem ser novamente fundidos para fabricação de lã de rocha e lã de vidro.
Concreto e Cerâmicos	O concreto e os materiais cerâmicos (tijolos e telhas) são materiais passíveis de reciclagem. Depois de britados podem ser reciclados em agregados para fabricação do concreto ou de caixas de pavimentos de pisos térreos ou, ainda, para bases de estradas.

Fonte: Adaptado – Pardal (2019)

- **Materiais Reutilizáveis** - o processo de reutilização de materiais na construção/reabilitação é uma prática bastante atrativa, uma vez que a economia de materiais pode ser significativa. Além disso, economicamente, também se pode poupar, já que ao reutilizar o material, economiza-se com o custo de um material novo. No entanto, deve-se levar em consideração que poderão existir alguns custos associados à reutilização de resíduos, pois pode ser necessário efetuar limpezas adicionais para que o material seja viável na reutilização (SILVA, 2010 *apud* PARDAL, 2019).

2.3 PRINCIPAIS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dentre os principais materiais utilizados na construção civil, destacam-se o concreto armado, o aço e a madeira e, dentre eles, neste trabalho, focar-se-ão nas características do concreto armado e da madeira (próximos subcapítulos) em razão do estudo de caso que aqui se apresenta.

2.3.1 Concreto Armado e a sua contribuição nas emissões de CO₂

Com a conscientização sobre as ações do ser humano e conseqüentemente, a sua repercussão sobre o meio ambiente, empresas e profissionais da área da arquitetura e da engenharia podem contribuir de variadas formas para minimizar os impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil, desde a concepção dos projetos arquitetônicos à execução das obras, inclusive por meio da otimização das estruturas e substituições de materiais visando a redução das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) (COSTA et al,2020), dentre os quais se destaca o CO₂ (dióxido de carbono) e que é gerado na produção do concreto armado.

O concreto armado é uma estrutura sólida capaz de resistir aos esforços de compressão e tração devido a associação do concreto (simples) com o aço.

O concreto (simples) é composto por uma massa de concreto na qual se mistura cimento, água, agregados miúdos e graúdos, obtendo-se um material com grande resistência às tensões de compressão, enquanto sua resistência à tração equivale a cerca de 10% da sua resistência a compressão. Ele não possui características fixas de resistência, pois podem variar de acordo com o seu traço, que é a dosagem de cada componente (cimento Portland, água, areia, brita e aditivos) que deve ser utilizada na produção de 1 m³ de concreto (BARBOSA,2019).

O concreto armado é o material composto pela adição de elementos de aço ao concreto (simples), combinando assim as suas características para ganhar resistência estrutural, à compressão, conferida pela massa de concreto (simples), e à tração, dada pelos elementos de aço.

Os agregados miúdos são em grande parte areia, enquanto os graúdos podem ser britas de diferentes tamanhos, seixos ou ainda outro tipo de pedra e/ou rocha. A sua maleabilidade e a sua resistência foram os grandes diferenciais para transformar o concreto armado no principal sistema estrutural do Século XX (MARTINO,2022).

O elemento estrutural de concreto armado é reconhecido como sendo o responsável pela emissão de CO₂ (dióxido de carbono) agrupado em composição (cimento, areia brita e aço), fonte significativa que colabora para que o setor da construção civil seja responsável por um terço das emissões globais de gases do efeito estufa (COSTA et al,2020).

É possível quantificar a emissão de CO₂ proveniente da produção de concreto armado compondo a emissão individual de cada material utilizado na mistura e todos eles (areia, brita, cimento, aço e transporte) têm notável contribuição para a emissões de dióxido de carbono. O grande “vilão”, porém, é o cimento, devido ao volume utilizado nas peças (JONH,2000 *apud* REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA,2020).

As emissões de CO₂ que são geradas na fabricação do cimento se dão basicamente devido à produção de clínquer, um material granular derivado da queima de calcário que, quando moído e misturado com gesso, gera o Cimento Portland Comum ou, se agregado com outros aditivos, como por exemplo, a escória de alto forno, produz o Cimento Composto (IPCC,2006 *apud* REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA,2020).

2.3.2 Madeira como material sustentável

A madeira está entre os materiais de construção mais antigos e atuais em todo o mundo, sendo que a utilização desse material como elemento estrutural, no Brasil, ainda é cercada de muito desconhecimento e é atrelada a ideias errôneas, como a de que construir com madeira implica necessariamente no desmatamento de áreas verdes preservadas.

A madeira foi muito utilizada nas construções por arquitetos em meados do século XX, mas a partir da década de 1970 essa tecnologia começou a perder espaço no Brasil devido a inserção maciça das estruturas de concreto e consequentes imposições de mercado, enquanto no resto do mundo as estruturas de madeira continuaram evoluindo. Iniciativas para introduzir o sistema wood frame como mais uma alternativa para a construção industrializada tem buscado romper essa limitação mostra que é possível erguer edificações de qualidade rapidamente e sem desperdício (SILVA E OLIVEIRA,2022)

Percebe-se que estruturas de madeira são métodos convencionais em diversos países desenvolvidos devido as suas propriedades que auxiliam não apenas estruturalmente, mas também o desempenho térmico, acústico e sísmico.

Para além das suas propriedades mecânicas e de desempenho, dentre os diversos materiais destinados à construção civil, a madeira reúne qualidades de exceção que a elegem, sob muitos aspectos, sobretudo sob o critério da sustentabilidade (BARBOSA,2019). Para tanto, porém, a análise da procedência de produtos de madeira é de fundamental importância para as avaliações de sustentabilidade ambiental (BENTO,2016).

É importante lembrar que o crescimento, a extração e o desdobro de árvores envolvem baixo consumo de energia, além de não provocarem maiores danos ao meio ambiente, desde que providenciada a respectiva reposição, enquanto outros materiais estruturais, como o aço e o concreto armado, são

produzidos por processos altamente poluentes, demandando elevado consumo energético e tendo-se em vista que a matéria-prima retirada da natureza jamais será reposta. A madeira, por sua vez, tem a renovação natural e/ou acompanhada mesmo sob rigorosas condições climáticas.

Além disto, outro aspecto que favorece a utilização da madeira são os elevados índices de resistência em relação à sua densidade, os quais são quatro vezes e dez vezes superiores em comparação ao aço e ao concreto, respectivamente, tornando-se um material que demanda menor consumo de insumo (material / volume) para que se obtenham os mesmos desempenhos em termos de resistência (SILVA E OLIVEIRA,2022).

Outros autores descrevem que o aumento da utilização de madeira na construção de casas permitiria uma redução das emissões de carbono (CO₂) em quase 50%. Em Portugal, investigações recentes têm-se debruçado sobre os pavimentos mistos madeira e concreto, os quais apresentam elevadas potencialidades do ponto vista da minimização do consumo de energia (TORGAL,2011).

Materiais de madeira quase sempre têm baixas emissões de CO₂ para a sua produção (FREITAS JUNIOR,2020), tendo menor emissão de gases do efeito estufa em relação a outros métodos construtivos durante toda sua cadeia produtiva. Assim, a utilização da madeira é tendência global em termos de construções sustentáveis (SANTOS E OLIVEIRA,2022).

2.4 A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

O pioneirismo da prática dos processos de reabilitação de edifícios teve início nas cidades europeias e norte-americanas segundo Waldetario (2009), reconfigurando as cidades e rompendo a visão tradicionalista de preservação e a atuação restrita.

Nos países europeus, a reabilitação de edifícios começou a ganhar impulso nos anos de 1980, já que, antes disso, o custo de reabilitar um edifício conseguia superar os gastos de uma nova construção. Entretanto, com o passar do tempo e o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para este ramo, tornou-se viável reabilitar as edificações (REMY,2003 *apud* MORETTINI,2012).

Já no Brasil, a atividade de reabilitação de edifícios é relativamente recente e tímida se comparada aos países europeus, tratando-se de um iniciante na área. De todo modo, o país possui os seus edifícios mais antigos construídos nos anos 1940 e 1960, época em que foram projetados para as necessidades diferentes daquelas encontradas atualmente e, por consequência, demandam intervenções visando a readequação aos dias atuais (MORETTINI,2012) - Figura 2-3 Ciclo da construção – Adaptado – Fonte:Waldetario (2009).

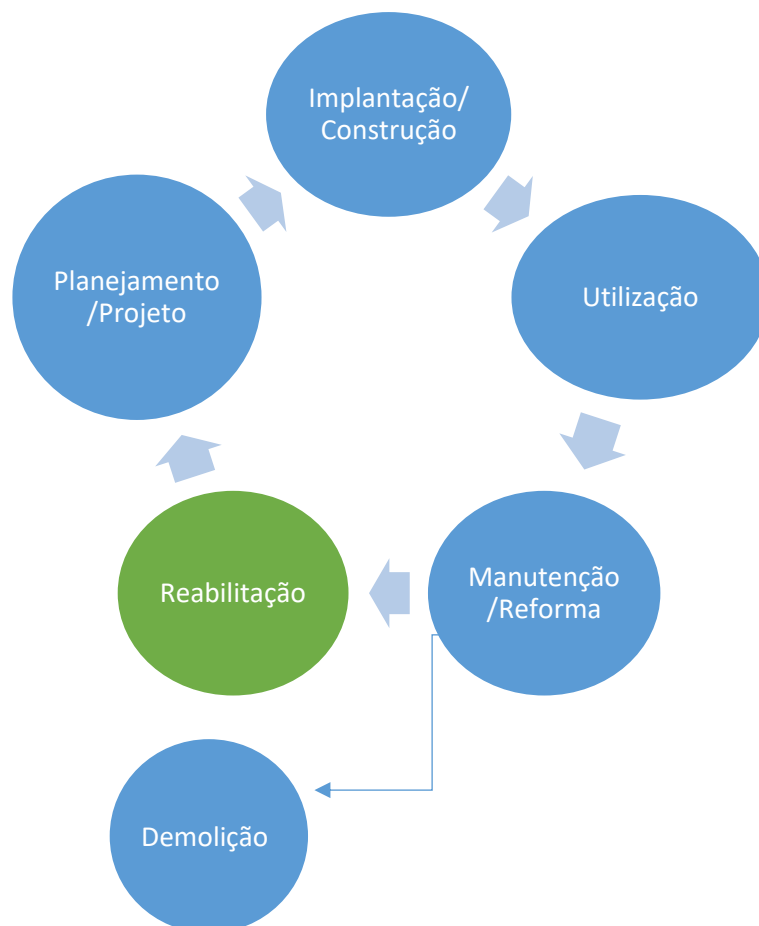


Figura 2-3 Ciclo da construção – Adaptado – Fonte:Waldetario (2009)

A evolução das construções e do espaço que habitam sempre teve um papel importante na reconfiguração funcional e/ou estética, valorizando-se, sobretudo, em zonas históricas, a proteção das memórias (GUERRA,2013), além disso a motivação de reabilitar os edifícios está diretamente relacionada a sua obsolescência funcional, mudança de uso, redução de gastos com a sua utilização, eficiência, redução energética e outros, como diz Morettini (2012).

Segundo Pereira (2013), a reabilitação tem por objetivo aumentar o ciclo de vida do edifício e de, simultaneamente, dotá-lo de maior adaptabilidade às funções a que está destinado. A reabilitação não só o requalifica e reutiliza um espaço, mas possibilita um menor consumo de materiais e de energia relativamente à nova construção, mantendo ou melhorando os padrões de saúde e de conforto a que se destina a edificação. Ainda de acordo com o Autor, o termo reabilitação pode ser interpretado como melhoria e recuperação, sendo que o primeiro é utilizado quando são realizadas intervenções buscando entregar qualidade superior àquela que foi atribuída quando construídos e, o segundo termo, é utilizado de acordo com as intervenções realizadas no edificado, forem para sua renovação e/ou devolução da capacidade funcional.

De acordo com Costa et al. (2014), de modo a facilitar a análise para os níveis de reabilitação dos edifícios, esses foram divididos em três categorias.

- Reabilitação Básica – assegura apenas a estabilidade estrutural e salubridade do edifício. Trata-se, assim, de uma manutenção com intuito de conferir condições de habitabilidade em todas as frações, repondo-se a funcionalidade da situação original e sem ter qualquer pretensão a uma melhoria do desempenho do edifício;
- Reabilitação Energética – resulta da introdução de medidas de melhorias de consumo e de desempenho energético;
- Reabilitação Sustentável – resulta da introdução de medidas de melhoria na Reabilitação Energética, de modo que todos os edifícios se tornem um edifício com bom nível de sustentabilidade;

Para realização de projeto de reabilitação de qualquer edifício, é fundamental realizar um estudo aprofundado da edificação, buscando diagnosticar qual o estado de conservação da construção. É do interesse buscar possíveis anomalias e as suas causas, definir os pontos em que será necessário intervir e avaliar os pontos que serão mantidos (PEREIRA,2013):Figura 2-4 Organograma de ações para reabilitação de edifícios - Fonte: Lopes (2010).

É somente após o “reconhecimento” adequado do edifício que se poderá realizar uma boa obra de reabilitação, expondo este a todas as condicionantes para as soluções que, posteriormente, serão idealizadas, onde o projeto deverá ser adaptado ao edifício e não o contrário (GUERRA,2013 *apud* COSTA

et al,2014). Dessa forma, pode-se considerar que a reabilitação é um processo de 'retomada' do ciclo de vida de uma edificação subutilizada que já se havia dado por encerrado e, teoricamente, caminharia para a demolição (WALDETARIO,2009).



Figura 2-4 Organograma de ações para reabilitação de edifícios - Fonte: Lopes (2010)

O respeito pelo edifício, pela sua história e pelas suas técnicas construtivas utilizadas na sua concepção devem estar sempre presentes em qualquer projeto de reabilitação, pois este princípio é aglutinador dos anteriores, já que a sua prática implica o cumprimento dos princípios precedentes (GUERRA,2013).

A reabilitação apresenta ainda vantagens econômicas quando comparado com a construção nova, podendo garantir inclusive a sustentabilidade. Ademais, preservar o edificado existente quando comparado com atividades de demolição ou reconstrução é, muitas vezes, economicamente mais viável, pois representa (APPLETON,2009 *apud* CABRITA,2016):

- Menores custos de demolição;
- Menores custos em licenças e taxas;
- Aprovação mais fácil do projeto;
- Menor consumo de novos materiais.

Vilhena (2013) *apud* Cabrita (2016) confirmou todo o exposto, afirmando que, além das vantagens acima citadas, a reabilitação de edifícios comparado a construções novas contribui com procura de:

- melhoria das condições de funcionalidade e segurança do parque edificado;
- manutenção ou aumento da produtividade e nível de empregabilidade da indústria da construção;
- revitalização social e econômica de zonas urbanas, atualmente degradadas e pouco habitadas.

2.5 A REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS

Construir novos edifícios, conforme as nossas necessidades, é imprescindível. Todavia, a reabilitação dos edifícios construídos é ainda mais imprescindível, pois melhora a sua eficiência e promove o desenvolvimento sustentável (PEREIRA,2013).

A atividade de reabilitar um edifício está diretamente ligada ao entorno da edificação, desta forma os elementos de infraestrutura, o desenvolvimento urbano e a dinâmica socioeconômica são parte fundamental da análise e do processo de tomada de decisão quanto a reabilitar ou não a construção (ARANTE,2001 *apud* MORETTINI,2012).

A atividade de reabilitar as edificações geralmente passa a escala do edifício em si, devendo essa ser pensada com foco em todo o ambiente que o cerca, levando em consideração elevar a qualidade de vida das populações residentes (MORETIINI,2012).

A reabilitação, portanto, na perspectiva da sustentabilidade da construção, é uma tarefa fundamental para o desenvolvimento global e, como em qualquer projeto, existem vários aspectos que devem ser considerados na concepção de um projeto de reabilitação. Do ponto de vista sustentável, o estudo de todas as condições particulares ao projeto é fundamental para alcançar a máxima rentabilidade da intervenção projetada (GUERRA,2013).

Segundo Waldetario (2009), “uma edificação deve ser vista como parte de um organismo vivo – a cidade – cujo metabolismo necessita de alterações para seu melhor desempenho”. É necessário, por isso, entender como - e até que ponto - essa arquitetura pode contribuir para a formação de uma sociedade mais saudável e equilibrada com o meio ambiente.

Em comparação com a construção nova, a reabilitação sustentável tem como princípio a ideia de consumir menores quantidades de energia na produção e na aplicação de produtos de construção, reduzir as emissões de CO₂ e limitar as quantidades de produtos de demolição a remover e destruir. Reabilitar significa, tanto quanto possível, o uso de materiais tradicionais, naturais (madeira, pedra, areia e cal) ou pouco transformados, por oposição ao uso de materiais industriais artificiais como o cimento, o aço, o alumínio, o PVC e outros materiais poliméricos, grandes consumidores de energia e produtores de CO₂ (APPLETON,2014).

Desta forma, a reabilitação sustentável que se deseja alcançar deve ter como objetivo a minimização dos impactos gerados no meio ambiente, por meio da utilização consciente dos recursos e da integração dos resíduos aos ciclos da natureza, criando efeitos positivos. Em outras palavras, a ‘construção sustentável’ deve aproveitar-se do projeto e da tecnologia, inserindo-os em um contexto de características sociais, ambientais, econômicas, espaciais e culturais específicas, apoiando-se em uma visão global, de médio e longo prazos (GONÇALVES E DUARTE, 2006 *apud* WALDETARIO,2009) Figura 2-5 Estratégias para uma Reabilitação Sustentável - Fonte: Adaptado – Linhares (2022).



Figura 2-5 Estratégias para uma Reabilitação Sustentável - Fonte: Adaptado – Linhares (2022)

De acordo com Appleton (2014), “para que um empreendimento seja considerado sustentável, é preciso que ele seja:

- Ecologicamente correto;
- Economicamente viável;
- Socialmente justo;
- Culturalmente diversificado.

A princípio, o investimento em uma reabilitação sustentável poderá ter um investimento inicial superior às reabilitações tradicionais, mas ele pode ser recuperado, a maior parte das vezes, num curto período (Araújo et al., 2011 *apud* COSTA et al,2014). Para isso, é preciso que os investidores e agentes deste mercado possuam mão-de-obra especializada e qualificada, recorrerem e sejam receptivos aos processos construtivos inovadores, fazendo isso com o uso de materiais certificados e homologados, além de equipamentos mais eficientes, segundo COSTA (et al,2014)

Portanto, o caminho para a uma Reabilitação Sustentável só será possível se à reabilitação pura e simples aliarem-se a práticas sustentáveis, tais como as medidas ecologicamente corretas que garantem a redução na fase de intervenção, o que deve ser feito em relação ao consumo de matérias-primas, energéticos, água e produção de resíduos, enquanto na fase de utilização, a redução dos respectivos custos de utilização e manutenção (COSTA et al,2014).

2.6 SIDAC

O SIDAC - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, é uma plataforma online lançada recentemente no ano de 2022, que permite calcular indicadores de desempenho ambiental de produtos de construção, com base em dados primários brasileiros e em uma abordagem simplificada da Avaliação do Ciclo de Vida (ENTAC,2022).

O SIDAC foi desenvolvido por meio do programa *Strategic Partnerships for the Implementation of the Paris Agreement* (SPIPA), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), financiado pelo Instrumento de Parceria da União Europeia em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza, Segurança Nuclear e Defesa do Consumidor (BMUV, em alemão) e implementado pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), além do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Eletrobras, o Procel, o CBCS, a GIZ, associações de fabricantes de materiais, projetistas e construtoras, entidades ligadas à pesquisa, à inovação e à sustentabilidade, além de especialistas em Avaliação do Ciclo de Vida (SIDAC,2022).

2.6.1 Metodologia

O SIDAC adota a abordagem de ciclo de vida e, assim, admite que os produtos de construção resultam de processos encadeados entre si, denominados “processos elementares”.

Cada processo elementar, descreve-se um conjunto de entradas (matérias primas, eletricidade, água, combustíveis) e saídas (produtos, resíduos, efluentes, emissões atmosféricas).

As entradas e saídas podem estar relacionadas a outros processos elementares (por exemplo, matérias-primas beneficiadas ou resíduos destinados a processos de tratamento), os chamados “fluxos de produto”; ou serem originárias ou destinadas à natureza (por exemplo, água extraída diretamente de um poço ou emissão de CO₂ para a atmosfera), os chamados “fluxos elementares”.

As quantidades dos fluxos de entrada e saída de cada processo necessárias para produzir uma unidade declarada de produto dão origem ao inventário do processo (por exemplo, quantos kg de cimento são necessários para produzir 1 m³ de concreto). Ao vincular o inventário do processo elementar aos inventários dos processos que o precedem (ou sucedem, no caso da disposição de resíduos), calculam-se os indicadores de desempenho ambiental do produto, do berço ao portão (por exemplo, quantos kg de CO₂ são emitidos para produzir 1 m³ de concreto) (ENTAC,2022).

A abordagem simplificada do Sidac facilita a coleta de dados primários de inventário, pois reduz a quantidade de informações requeridas dos processos de produção. Além disso, são dados fáceis de serem obtidos, pois representam os principais fluxos de massa e de energia, que geralmente são

medidos pela indústria e, no caso do CO₂, a sua emissão pode ser estimada usando fatores publicamente disponíveis (IPCC,2021 *apud* ENTAC,2022).

2.7 SINAPI

O SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) é um material publicado pelo banco CAIXA e no qual são encontrados relatórios com referências de preços de insumos e de custos de composições de serviços.

As atribuições do banco CAIXA e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE na gestão do SINAPI são, conforme o Decreto 7983/2013, a CAIXA responsável por toda base técnica de engenharia, pelo processamento de dados e pela publicação dos relatórios de preços e custos, enquanto o IBGE atua na realização da pesquisa de preço, tratamento dos dados, formação e divulgação dos índices (CAIXA,2022).

As referências do SINAPI são divulgadas nos relatórios com legenda de identificação da origem do preço: (C) preço do insumo coletado pelo IBGE; (CR) preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo – metodologia de família homogênea; ou (AS) preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo/SP (CAIXA,2023).

Os relatórios disponibilizados pelo SINAPI abrangem insumos (materiais, mão de obra e equipamentos) e composições, que representam os serviços mais frequentes em obras que utilizam recursos da União. Os preços para insumos consideram custos com os Encargos Sociais Desonerado e Não Desonerado, cujo percentual adotado consta no cabeçalho de cada relatório (CAIXA,2023).

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo deste trabalho e nele serão apresentados a metodologia utilizada para chegar aos resultados da pesquisa.

3.1 INTRODUÇÃO

O estudo foi elaborado com base em um projeto arquitetônico e estrutural de uma residência unifamiliar que foi elaborado por Barbosa (2019), tendo o projeto sido utilizado com objetivo de avaliar um estudo de viabilidade econômica da construção em Concreto Armado *versus* a construção em Madeira para a mesma residência.

Para o estudo em questão, dentro de um amplo projeto de reabilitação a análise concentrar-se-á apenas na suposição da reabilitação do pavimento. O projeto será utilizado para avaliar as questões de impacto na viabilidade econômica (custo) e ambiental em relação a energia e a emissão de GEE supondo a reabilitação deste pavimento (piso/laje). Com os resultados obtidos, será analisado qual o método estudado é mais sustentável para solução.

3.2 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

As Figura 3-1 Planta Térreo de Arquitetura e Figura 3-2 Planta 1º Pavimento – Arquitetura representam o projeto utilizado para a pesquisa, enquanto a Tabela 3-1 Resumo de áreas representa as áreas de cada ambiente do projeto.

Supondo apenas o projeto de reabilitação do piso (pavimento) da edificação realizada em concreto armado, selecionou-se um pano de laje para avaliar qual, dentre os dois métodos, seria o mais sustentável. A área de laje escolhida foi a área da Suíte 2, localizada no 1º pavimento da edificação.

Tabela 3-1 Resumo de áreas

Térreo	Área (m²)
Área de serviço	7,00
Área Gourmet	30,40
Área de leitura	7,00
Cozinha	18,25
Escritório	9,60
Garagem	40,80
Sala de TV	16,20
Sala de estar	16,70
Sala de jantar	16,90
1º pavimento	Área (m²)
Área de leitura	9,70
Suíte 1	22,15
Suíte 2	32,50
Suíte 3	37,00
Area total – m²	341,97

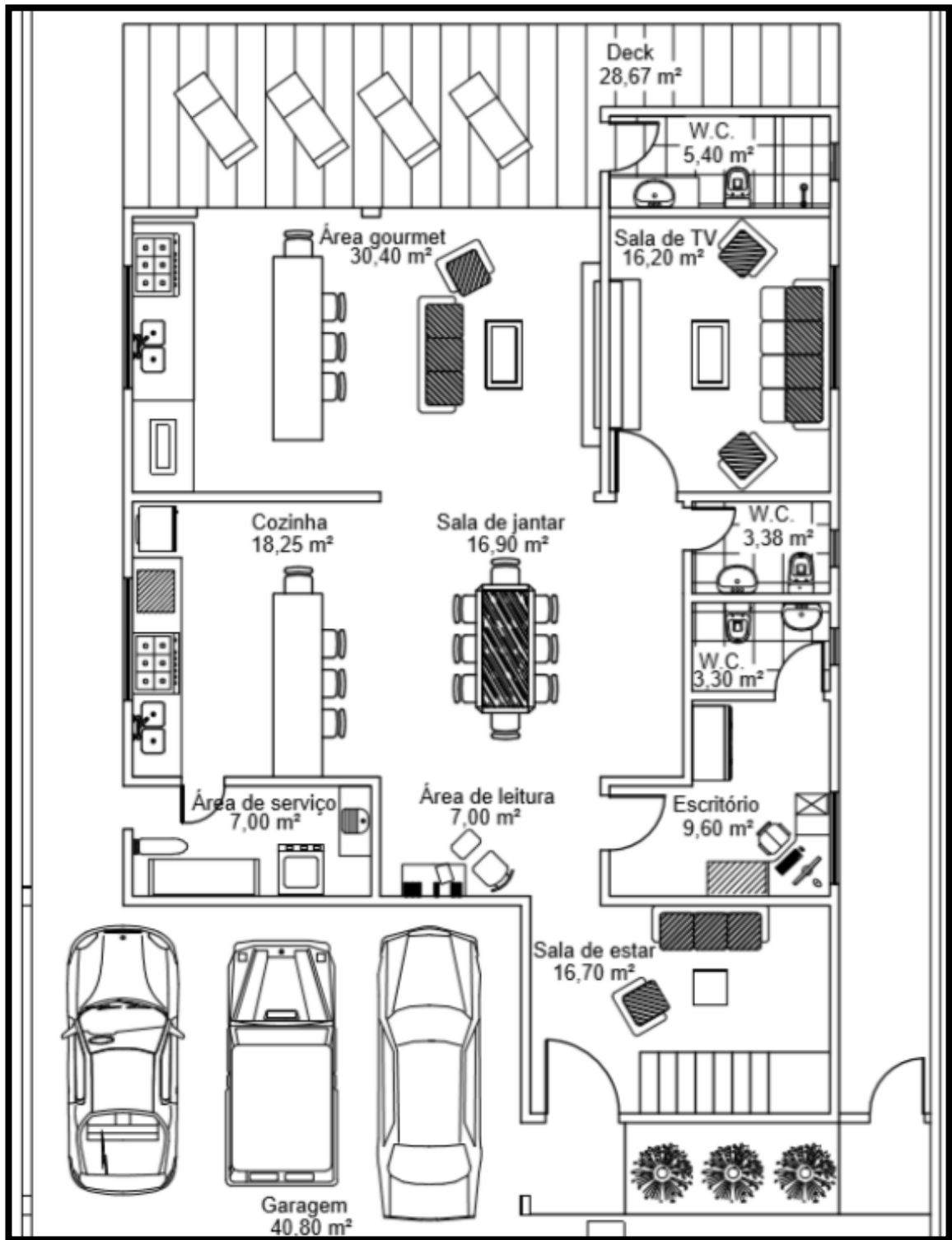


Figura 3-1 Planta Térreo de Arquitetura

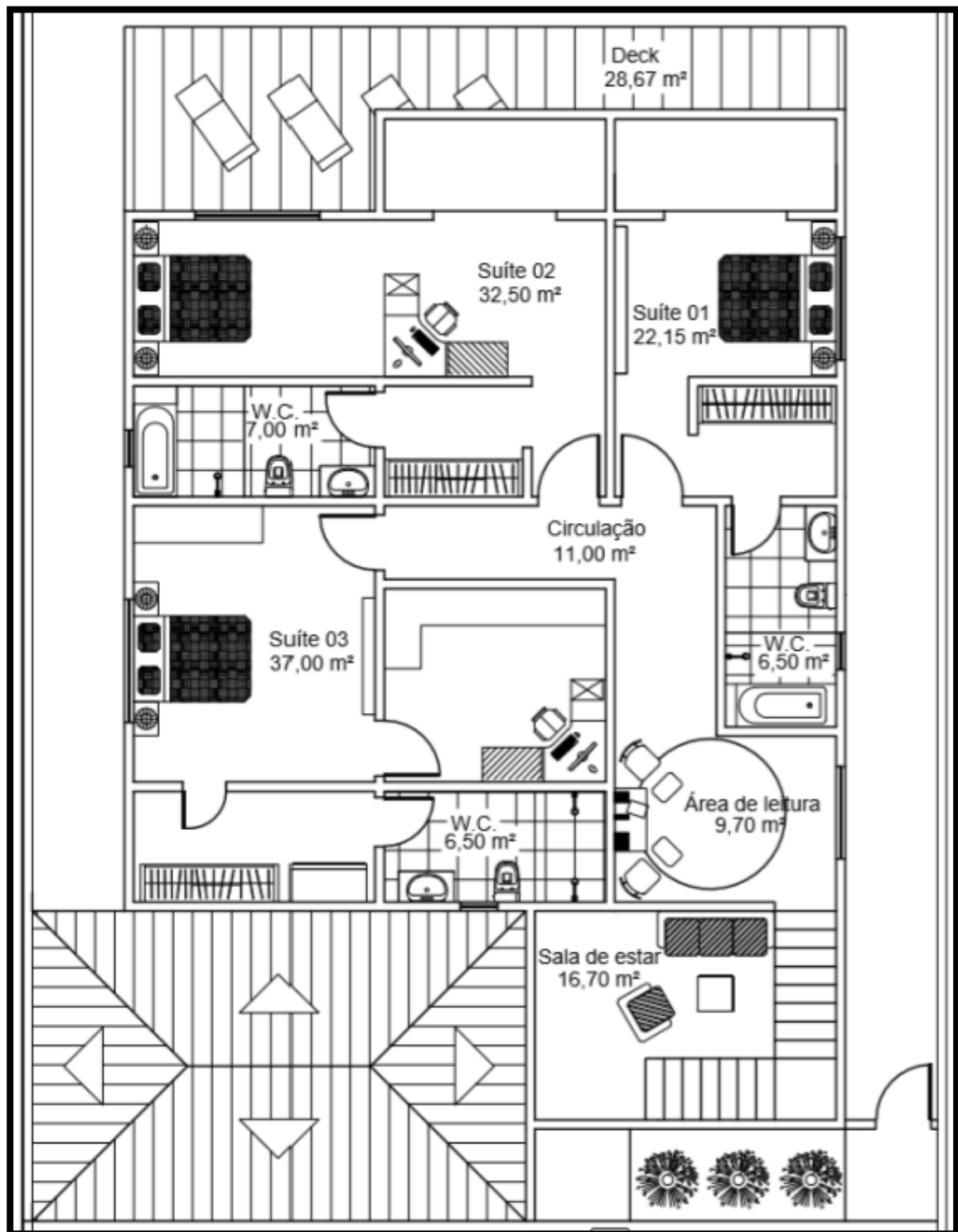


Figura 3-2 Planta 1º Pavimento – Arquitetura

De acordo com Barbosa (2019), a elaboração do projeto estrutural em concreto armado e em madeira foi realizada a partir do modelo arquitetônico. Assim, as vigas e os pilares tiveram a mesma locação no projeto. Segundo o Autor, o projeto foi dimensionado respeitando as normas vigentes sobre estruturas de concreto armado e de cargas para dimensionamento de estruturas, sendo elas a ABNT NBR 6118 (2014) e ABNT NBR 6120 (1980), respectivamente. Da mesma forma, o projeto estrutural em madeira foi realizado respeitando as normas brasileiras e as vigências da ABNT NBR 7190 (1997).

Os projetos em questão foram dimensionados nas revisões anteriores das normas vigentes, mas ressalta-se que as normas utilizadas foram revisadas sendo as versões atualizadas NBR 6118:2023 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, NBR 7190:2022 Projeto de estruturas de madeira, parte 1 e a NBR 6120:2019 Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

A partir de plantas baixas, previamente criadas, foi lançada a estrutura de concreto armado que foi composta por fundação, pilares, vigas e lajes em concreto armado, obtendo os elementos descritos na Tabela 3-2 Elementos estruturais de Concreto Armado.

Tabela 3-2 Elementos estruturais de Concreto Armado

Elementos estruturais	Dimensões (cm)
Pilares	15x40; 25x30;20x30;15x35 e 25x40
Vigas	15x30
Laje tipo	10 cm espessura

Em relação as cargas consideradas nas lajes, utilizaram-se a carga variável de 150 kg/m², a carga permanente do revestimento do piso de 154,5kg/m² para quartos e 181,5 kg/m² para banheiros e, para a laje de cobertura, a carga variável de 50 kg/m². Considerou-se, também, 181,5 kg/m² de carga de revestimento - Tabela 3-3 Resumo de cargas.

Tabela 3-3 Resumo de cargas

Elementos estruturais	Cargas
Laje	150 kg/m ²
Revestimento piso quarto	154,5 kg/m ²
Revestimento piso banheiro	181,5 kg/m ²

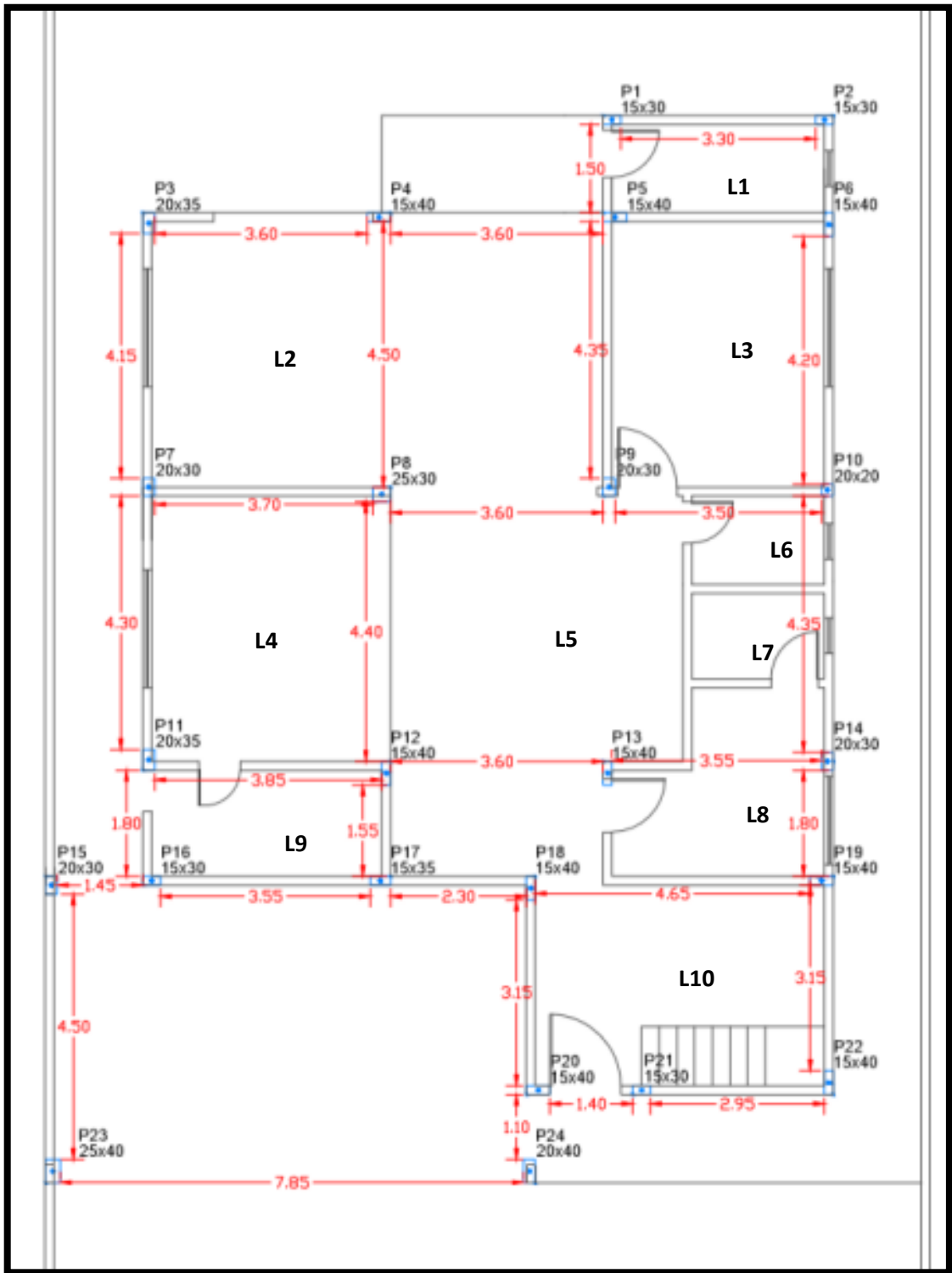


Figura 3-3 Planta 1º pavimento – medidas em Concreto Armado

3.2.1 Estrutura em madeira

Dimensionada nos termos da ABNT NBR 7190 (1997), o projeto estrutural foi realizado com auxílio de planilhas para ajustamento do piso de madeira, que é composto por tábuas e vigotas de madeira.

Para o projeto, foram utilizados perfis de espessura 2.5 cm e largura variando de 5cm a 30cm, com comprimento de até 5m e madeiras tipo angelim. Foi adotada a utilização de tábuas com base de 20 cm e espessura de 2.5 cm para o dimensionamento dos pisos de madeira, chegando-se aos elementos estruturais dispostos na Tabela 3-4 Elementos estruturais estrutura de madeira.

Tabela 3-4 Elementos estruturais estrutura de madeira

Elementos	Dimensões
Pisos de madeira	Base de 20 cm e espessura de 2,5 cm, com espaçamento de 50 cm entre as vigotas
Vigotas – para maior vão	6cm de base por 20cm de altura,
Vigas genéricas	8x25cm e comprimento com até 8 metros.
Pilares	15x15 e 20x20 com 6m de comprimento

Todos os elementos foram concebidos para as mesmas condições de carregamento da estrutura em concreto armado e, também, admitiu-se o peso próprio do piso de madeira, considerando, assim, o peso das tábuas e vigotas, permitindo o processamento da estrutura a fim de analisar os resultados.

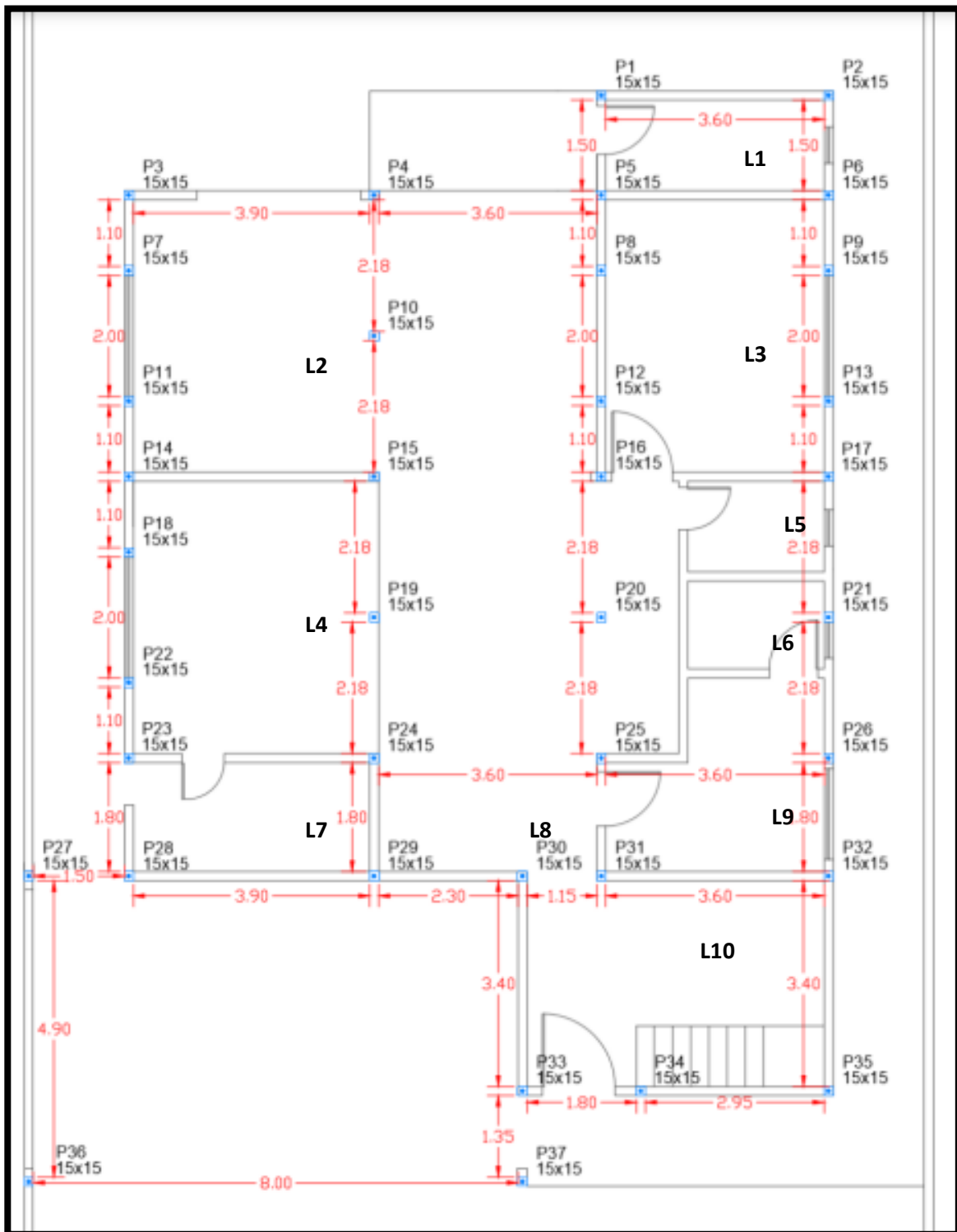


Figura 3-4 Planta 1º pavimento dimensões em Madeira

3.3 DESENVOLVIMENTO

Tal como mencionado, para a elaboração da pesquisa, selecionou-se um “pano” de laje e se fez a comparação a partir de diferentes métodos de avaliação de sustentabilidade, tais como: o custo, a energia gasta na produção do elemento estrutural e a emissão de CO₂ de cada material, avaliando qual é o mais apropriado para a reabilitação sustentável deste pavimento.

O pano de laje escolhido para o estudo foi o L2, referente à suíte 2 do 1º pavimento e ele é o elemento estrutural que foi utilizado para o estudo de caso deste trabalho. Na Figura 3-5 Detalhe da Laje L2, observa-se o elemento estrutural que será estudado, enquanto a Tabela 3-5 Resumo das Características da Laje estudada e a Tabela 3-7 Informações Técnicas da Laje L2 contém as suas informações técnicas.

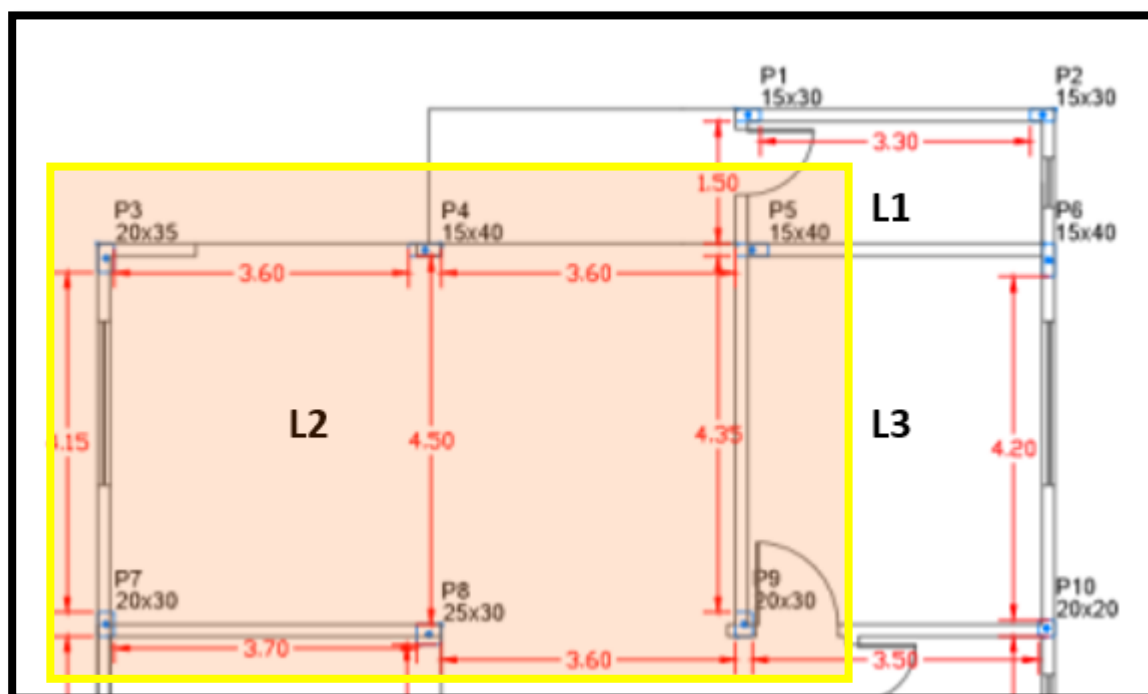


Figura 3-5 Detalhe da Laje L2

Tabela 3-5 Resumo das Características da Laje estudada

Elementos	Concreto Armado	Madeira
Piso/Pavimento	L2= 10 cm (espessura) - dimensões 4,65x7,8	L2=20cm de largura e 2,5 de espessura
Características	C 25	Painéis de madeira e vigas de madeira

3.4 CUSTO

O primeiro parâmetro avaliado é em relação ao custo de produção dos materiais utilizados para cada método construtivo. O custo de revestimentos, de instalações, de vedações, de execução e de fundações não foram contabilizados neste levantamento.

Apurou-se o custo unitário mássico (\$/kg) de cada bitola de aço utilizada, volumétrico de concreto de classe de resistência C25 (\$/m³), de superfície de fôrma (\$/m²) e linear das seções de madeira de acordo com o tipo de madeira (\$/m), usando a tabela de referências de custo vigente do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil).

As quantidades de materiais envolvidos nos projetos estão relacionadas na Tabela 3-6 – Quantidade de materiais utilizados no total da edificação em concreto armado.

Tabela 3-6 – Quantidade de materiais utilizados no total da edificação em concreto armado

Informações técnicas		
Variável	UN.	Qtd.
Area total	m ²	341,97
Volume Concreto total	m ³	34,6
Volume de Aço total	kg	1363,1
Área de Formas	m ²	290,8

3.4.1 Concreto Armado

A área da laje utilizada (L2) é de 36,27 m² (7,8m x 4,65m), o que equivale aproximadamente 9,43% da área total, enquanto para o volume de concreto 3,62 m³ (7,8m x 4,65m x 0,10 cm).

A laje L2 equivale a 10,50% do volume total do concreto das lajes do projeto, é admitido como como 10% do peso total do aço utilizado nas lajes do projeto para laje L2.

Desta forma, calculou-se o custo para executar a laje em concreto armado e se utilizou, como base, a planilha de referência de custos dos materiais do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil) do mês de junho de 2023.

Tabela 3-7 Informações Técnicas da Laje L2

	Largura - m	Comprimento -m	Espessura – m	Total
Área – m ²	7,8	4,65	-	36,27m ²
Volume – m ³	7,8	4,65	0,1	3,627 m ³

Para os valores unitários das bitolas de aço, valeu-se da média aritmética das principais barras utilizadas na armação de uma laje, de acordo com os preços estabelecidos na tabela SINAPI, conforme ilustrado na Tabela 3-8 Preço do aço.

Tabela 3-8 Preço do aço

mm	Pr. Unit. (R\$)/kg
6	R\$ 9,33
8	R\$ 8,44
10	R\$ 7,91
12,5	R\$ 7,91
Média de preço	R\$ 8,40

Fonte: SINAPI (2023)

Com base nas informações obtidas para a L2 e nos preços dos materiais utilizados, obteve-se o custo total de materiais para reabilitação da laje L2 com método construtivo de concreto armado, em R\$ 4.426,21 (Tabela 3-9 Custo para reabilitação da laje L2 em concreto armado).

Tabela 3-9 Custo para reabilitação da laje L2 em concreto armado

Concreto armado				
Material	UN.	Qtd.	Pr. Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
Concreto	m ³	3,627	R\$ 478,96	R\$ 1.737,19
Aço	kg	136,31	R\$ 8,40	R\$ 1.145,00
Forma	m ²	36,27	R\$ 42,57	R\$ 1.544,01
Valor Total			R\$ 4.426,21	

Para o cálculo dos custos de mão de obra envolvidos na execução da laje L2, consideraram-se as funções de Carpintaria na montagem das formas, armador na montagem das armações das lajes, pedreiro para acabamento da laje de concreto e, por fim, ajudante para apoio aos oficiais em todas as etapas que são necessárias. Os custos unitários também foram extraídos do SINAPI, enquanto para o rendimento de cada função foi utilizado o manual básico de indicadores de produtividade na construção civil do CBIC (2017).

No planejamento para execução da laje L2, foi considerado 8 horas trabalhadas por função, na montagem da laje L2. Desta forma para a montagem das formas admitiram-se o Indicador de Produtividade RUP (Razão Unitária de Produção) e a produtividade individual, conforme expostas na Tabela 3-10 Rendimentos para mão de obra. Com base nessas informações de produtividade, foi possível

elaborar o planejamento de execução da laje L2, de acordo com os rendimentos de cada função exposto na Tabela 3-11 Rendimento por 8h trabalhadas.

Tabela 3-10 Rendimentos para mão de obra

	RUP	Produtividade Individual (1/RUP)
Carpinteiro	0,349 Hxh/m ²	2,865 m ² /h
Armador	0,0529 Hxh/kg	18,90 kg/h
Pedreiro	0,262 Hxh/m ³	3,817 m ³ /h
Ajudante de Carpintaria	0,061 Hxh/m ²	16,39 m ² /h
Ajudante de Armação	0,086 Hxh/kg	11,63 kg/h
Ajudante de Pedreiro	1,059 Hxh/m ³	0,944 m ³ /h

Fonte: Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil do CBIC (2017)

Tabela 3-11 Rendimento por 8h trabalhadas

Função	Rendimento
Carpinteiro	2,87 x 8 (h) = 22,92m ²
Armador	18,90 x 8 (h) = 151,2 kg
Pedreiro	3,817 x 8 (h) = 30,536 m ³
Ajudante de Carpintaria	16,39 x 8 (h) = 131,12m ²
Ajudante de Armação	11,63 x 8 (h) = 93,04
Ajudante de Pedreiro	0,944 x 8 (h) = 7,552

Com base nos dados obtidos na Tabela 3-10 Rendimentos para mão de obra e a Tabela 3-11 Rendimento por 8h trabalhadas foi possível planejar o tempo necessário para execução da laje L2 em concreto armado:

- Montagem das formas - 1 carpinteiro + 1 ajudante = 1 dia;
- Armação da laje L2 – 1 armador + 1 ajudante = 1 dia;
- Concretagem das lajes = 1 pedreiro + 1 ajudante = 1 dia.

Desta forma para execução das lajes L2 em concreto armado são necessários 3 dias, com isso podemos calcular o custo da mão de obra em concreto armado em R\$ 1.078,80 (Tabela 3-12 Custo Mão de Obra Concreto Armado).

Tabela 3-12 Custo Mão de Obra Concreto Armado

Função	Qtd.	Qtd. Dias	Qtd de horas por dia	Qtd total de horas	Pr. Unitário/h (R\$)	Custo total (R\$)
Carpinteiro	1	1	8	8	R\$ 23,52	R\$ 188,16
Armador	1	1	8	8	R\$ 23,52	R\$ 188,16
Pedreiro	1	1	8	8	R\$ 23,52	R\$ 188,16
Ajudante geral	1	3	8	24	R\$ 21,43	R\$ 514,32
					Total	R\$ 1.078,80

3.4.2 Madeira

No projeto geral, para execução de todo o pavimento em madeira da edificação, são necessários a quantidade de materiais Tabela 3-13 Quantidade de materiais total - Estrutura de madeira:

Tabela 3-13 Quantidade de materiais total - Estrutura de madeira

Material	UN.	Qtd.
Total de Tabua - 2,5cmx20cm	m	1582,6
Vigota total (6x20)	m	473,2

Entretanto para a reabilitação da laje L2 realizada em madeira, utilizada para o caso de estudo, são necessárias as quantidades da Tabela 3-14 Informações Técnica estrutura de madeira – Laje L2, usando conforme a disposição dos elementos ilustrado na Figura 3-6 Disposição dos elementos estruturais.

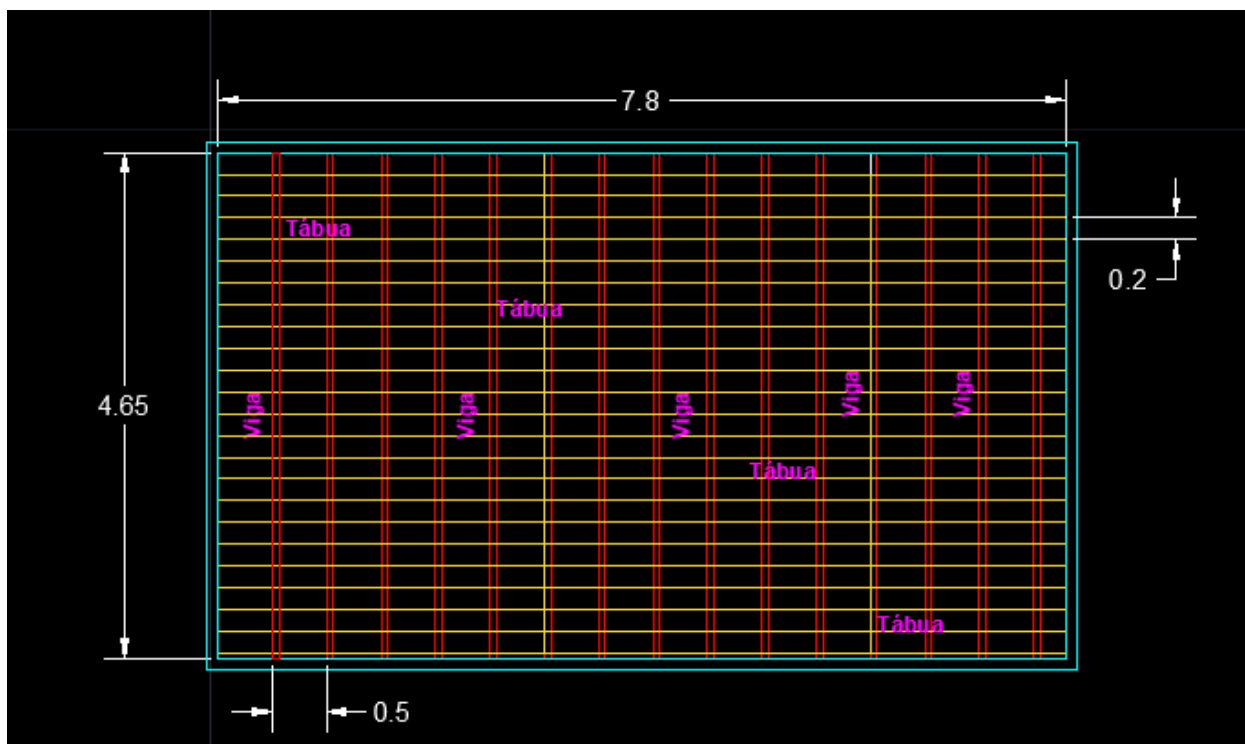


Figura 3-6 Disposição dos elementos estruturais

A disposição das tábuas foi considerada na horizontal, enquanto as das vigotas ocorreu na vertical, obedecendo as distâncias de 50 cm entre elas, conforme a ilustração. Dada a quantidade de peças dos materiais para obter o menor custo-benefício, calculou-se o custo total necessário para reabilitação da laje L2 com madeira, chegando-se a R\$ 8.777,61 (Tabela 3-14 Informações Técnica estrutura de madeira – Laje L2).

Tabela 3-14 Informações Técnica estrutura de madeira – Laje L2

Material	UN.	Qtd.	Pr. Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
Tabua – (2,5cmx20cmx300cm)	m	181,35	R\$ 22,38	R\$ 4.058,61
Vigota - (6cmx20cmx500cm)	m	78	R\$ 60,50	R\$ 4.719,00
				R\$ 8.777,61

No planejamento da mão de obra para execução da laje L2 em madeira, partiu-se do mesmo princípio utilizado para laje L2 em concreto armado, foi admitido 8 horas trabalhadas por função, na montagem da laje L2. Desta maneira para a montagem das formas admitiram-se o Indicador de Produtividade RUP (Razão Unitária de Produção) e a produtividade individual, conforme expostas na Tabela 3-10 Rendimentos para mão de obra. Com base nessas informações de produtividade, foi possível elaborar o planejamento de execução da laje L2, de acordo com os rendimentos de cada função exposto na Tabela 3-11 Rendimento por 8h trabalhadas.

Desse modo com base nos dados obtidos nas tabelas citadas, foi possível planejar o tempo necessário para execução da laje L2 em madeira e o custo da mão de obra no valor de R\$ 376,32 (Tabela 3-15 Mão de obra para execução da laje L2, em madeira).

- Montagem das vigas – 4,68 m² (0,06x5x 15,6 quantidade) + Montagem do piso (tabuas) 36,27m² (0,2x3x 60,45 quantidades) = 2 carpinteiros = 1 dia

Tabela 3-15 Mão de obra para execução da laje L2, em madeira

Função	Qtd.	Qtd. de dias	Qtd. Horas/dia	Qtd horas total	Pr. Unitário/h (R\$)	Custo Total (R\$)
Carpinteiro	2	1	8	16	R\$ 23,52	R\$ 376,32
					Total	R\$ 376,32

3.5 PESO

3.5.1 Concreto armado

A laje L2, se executada em concreto armado, terá peso específico de 2500 kg/m³, o que remonta à carga de 9.067,5 kg (Tabela 3-16 Peso em Concreto Armado para construção da laje L2).

Tabela 3-16 Peso em Concreto Armado para construção da laje L2

Material	Peso específico (kg/m ³)	Volume (m ³)	Peso Total (kg)
Concreto armado	2500	3,627	9.067,5

3.5.2 Madeira

A laje L2, executada em madeira, tem um peso específico de 590 kg/m³ (peso referente a madeira tipo angelim) (MADEREIRA BERNAUER,2022) e, portanto, se executada em madeira, remeteria à carga de 1.087,22 kg (Tabela 3-17 Peso em Madeira para construção da laje L2).

Tabela 3-17 Peso em Madeira para construção da laje L2

Material	Peso específico (kg/m ³)	Volume (m ³)	Peso Total (kg)
Madeira - tabua	590	0,90675	534,98
Madeira -- vigota	590	0,936	552,24
		Total	1.087,22

Volume das tabuas = 0,2x0,025x181,35 = 0,90675m³; Volume das vigas =0,06x0,2x78 = 0,963 m³

Fonte: Madereira Bernauer (2022)

3.6 ENERGIA

A contabilização da energia gasta na produção dos materiais de concepção da laje de madeira ou concreto armado, está descrita na Tabela 3-18 Energia em MJ, gasta na produção dos materiais, onde são expostos os valores de acordo com a medida do material. Deste modo é possível observar a quantidade de energia gasta na produção dos materiais utilizados na concepção da laje L2, por ser algo ainda pouco estudado não foram encontrados dados atualizados em outras bibliografias, deste modo os dados mais atualizados são encontrados no sistema SIDAC, que serão os dados utilizados.

Tabela 3-18 Energia em MJ, gasta na produção dos materiais

Concreto C 25 – m³	1488 - 2408 MJ	33090 MJ/kg (Adaptado -SILVA,2013)
Aço CA50 – kg	8,025 - 16,05 MJ	
Cimento – kg	2,489 - 5,622 MJ	16MJ/kg (Adaptado -SILVA,2013)
Madeira – m³	908,3 - 1182 MJ	4,59MJ/kg (Adaptado -SILVA,2013)
Areia Natural – kg	0 - 0,1934 MJ	0 MJ/kg (Adaptado -SILVA,2013)
Brita – kg	0,002051 - 0,09613 MJ	0 MJ/kg (Adaptado -SILVA,2013)

Fonte:SIDAC (2022) e Silva (2013)

3.6.1 Concreto Armado

Para produção da laje L2, considerou-se o volume de concreto utilizado multiplicado pelo valor da energia gasta para cada m³ de concreto C25 e, para o aço, assim se fez para a sua massa em kg, conforme Tabela 3-18 Energia em MJ, gasta na produção dos materiais obtendo os valores descritos na Tabela 3-19 Consumo de energia para produção da laje L2, em concreto armado. Considerado o valor máximo de consumo de energia, considerando a pior situação. Considerando-se os valores máximos de consumo de energia, ou seja, a condição mais crítica, obteve-se 10.921,59 MJ considerando a pior situação.

Tabela 3-19 Consumo de energia para produção da laje L2, em concreto armado

Material	Qtd.	Energia (MJ)	Energia Total (MJ)
Concreto - m³	3,627	2408	8733,82
Aço - kg	136,31	16,05	2187,78
		Valor Total -MJ	10.921,59

3.6.2 Madeira

Para produção da laje L2 em madeira, o método de cálculo para energia necessária é análogo ao que foi considerado para o concreto armado, partindo-se da volumetria das peças de madeira utilizadas para produção da laje L2, multiplicada pelo consumo unitário energético de cada m³ de madeira, conforme os valores expostos na Tabela 3-18 Energia em MJ, gasta na produção dos materiais.

Com isso, obtiveram-se os valores descritos na Tabela 3-20 Consumo de energia para produção da laje L2, em madeira. Considerando-se os valores máximos de consumo de energia, ou seja, a condição mais crítica, obteve-se 2.178,13 MJ.

Tabela 3-20 Consumo de energia para produção da laje L2, em madeira

Material	Qtd. (m)	Qtd. (m ³)	Energia (MJ) / m ³	Energia Total (MJ) / m ³ total
Tabua -m ³	181,35	0,90675	1182	1071,78
Vigotas - m ³	78	0,936	1182	1106,35
			Valor Total - MJ	2.178,13

3.7 EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Contabilizaram-se as emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas pela queima de combustíveis fósseis, por reações químicas, como a descarbonatação do calcário, e pela queima ou decomposição de biomassa não renovável (desmatamento) (SIDAC,2022). A unidade desse indicador é o quilograma (kg) e os parâmetros obtidos seguem apresentados na Tabela 3-21 Emissão de CO₂ em kg na produção dos materiais, por ser algo ainda pouco estudado não foram encontrados dados atualizados em outras bibliografias, deste modo os dados mais recentes são encontrados no sistema SIDAC, que serão os dados utilizados.

Tabela 3-21 Emissão de CO₂ em kg na produção dos materiais

	SIDAC,2022	Outras Bibliografias
Concreto C25 – m³	200 - 306,4	0,66 kg/kg (Adaptado - SILVA,2013)
Aço CA50 – kg	0,4259 - 1,061	
Cimento – kg	0,4433 - 0,9348	0,66 kg/kg (Adaptado-SILVA,2013)
Madeira -m³	35,83 - 49,29	0,859 kg/kg (Adaptado - SILVA,2013)
Areia Natural – kg	0 - 0,1934	0,00012 kg/kg (Adaptado - SILVA,2013)
Brita - kg	0 -0,004669	0,000012 kg/kg (Adaptado - SILVA,2013)

Fonte: SIDAC (2022) e Silva (2013)

3.7.1 Concreto Armado

Para produção da laje L2 que está sendo estudada, são emitidas, em kg, as quantidades expostas na Tabela 3-21 Emissão de CO₂ em kg na produção dos materiais.

Para a obtenção destes valores, calculou-se o peso do concreto necessário para produção da laje L2 e, para tanto, utilizou-se a massa específica do concreto puro como sendo 2400 kg/m³, calculando-se, separadamente, a massa utilizada.

Com essas informações, obtiveram-se os valores descritos na Tabela 3-22 Quantidade de CO₂ emitida para produção da laje L2, em concreto armado que, na pior condição, totalizou 1.255,94 kg de CO₂.

Tabela 3-22 Quantidade de CO₂ emitida para produção da laje L2, em concreto armado

Material	QTD.	Emissão de CO₂ / kg	Total Emissão de CO₂/ kg
Concreto - m³	3,627	306,4	1.111,31
Aço - kg	136,31	1,061	144,62
		Total de emissão de CO₂ em kg	1.255,94

3.7.2 Madeira

Para produção da laje L2 em madeira, admitiu-se a emissão de CO₂ é medida em m³/kg, com 1m³ emitindo 49,29 kg de CO₂, de acordo as informações da Tabela 3-21 Emissão de CO₂ em kg na produção dos materiais.

Desta forma, calculou-se o volume, em m³, necessário para produção da L2 e, com essa informação, obtiveram-se os valores descritos na Tabela 3-23 Quantidade de CO₂ emitida para produção da laje L2, em madeira. O valor máximo de emissão de CO₂ totalizou 90,83 kg de CO₂.

Tabela 3-23 Quantidade de CO₂ emitida para produção da laje L2, em madeira

Material	QTD. (m³)	Emissão de CO₂ / kg	Total Emissão de CO₂/ kg
Tabua - m³	0,90675	49,29	44,69
Vigas -m³	0,936	49,29	46,14
Total de emissão de CO2 em kg			90,83

Volume das tabuas = $0,2 \times 0,025 \times 181,35 = 0,90675 \text{ m}^3$; Volume das vigas = $0,06 \times 0,2 \times 78 = 0,963 \text{ m}^3$.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CUSTO

Finalizadas as análises e pesquisas referente aos pontos que seriam discutidos e comparados (Custo de produção, Energia e Emissão de CO₂) foi possível chegar aos resultados expostos a seguir.

Em relação ao custo a construção da laje L2, se executada em concreto armado quando comparada a execução em madeira obtiveram-se em uma diferença de R\$ 3.648,92, conforme observado na Tabela 4-1 Comparação de custo Concreto Armado x Madeira.

Tabela 4-1 Comparação de custo Concreto Armado x Madeira

Forma Construtiva	Custo (R\$)	Custo Total - R\$	Diferença (R\$)
Concreto Armado - material	R\$ 4.426,21	R\$ 5.505,01	
Concreto Armado – mão de obra	R\$ 1.078,80		R\$ 3.648,92
Madeira – material	R\$ 8.777,61	R\$ 9.153,93	
Madeira – mão de obra	R\$ 376,32		

Os resultados mostraram que os custos da construção do piso em madeira são aproximadamente 66% superior àqueles que seriam obtidos se feita em concreto armado, o que ocorre da diferença de materiais e das composições de montagem do elemento estrutural, levando em consideração material e mão de obra.

Para construção da laje L2 em concreto armado ou em madeira o maior estouro no custo foi o material, entretanto o maior custo de material fica alocado na construção da laje L2 em madeira, sendo esse aproximadamente 96% do custo total se realizada com esse material.

4.2 PESO

Em relação ao peso, a estrutura de madeira é mais leve, aproximadamente, em 9 vezes quando comparada ao concreto, conforme ilustrado na Tabela 4-7 Compensação necessária Concreto Armado x Madeira.

Tabela 4-2 Resumo de pesos Concreto Armado x Madeira

Peso estrutura de Concreto Armado x Madeira	
Concreto Armado - kg	9.067,5 kg (2500x3,627)
Madeira - kg	1.103,15 kg (590x0,90675+590x0,963)

4.3 ENERGIA

Em relação a energia de produção, o consumo da execução em madeira tem valores menores quando comparado àqueles que seriam obtidos pela construção em concreto armado, conforme Tabela 4-3 Comparação da energia necessária para construção da laje L2 em Concreto Armado x Madeira.

Tabela 4-3 Comparação da energia necessária para construção da laje L2 em Concreto Armado x

Madeira		
Material	Energia (MJ)	Diferença (MJ)
Concreto Armado	10.921,59	8.743,46
Madeira	2.178,13	

A laje L2 executada em concreto armado gasta aproximadamente 5 vezes mais energia quando comparada a alternativa em madeira serrada e o custo energético empenhado pode ser obtido a partir da conversão de Mega joules (MJ) para Quilo-Watt hora (kWh), sendo 1 Mega joules = 0.277778 Quilowatts-hora, segundo Convertlive (2022), obtém-se uma diferença de custo em R\$ 2.161,57 de economia (Tabela 4-4 Custo relacionado a energia gasta Concreto Armado x Madeira)

Tabela 4-4 Custo relacionado a energia gasta Concreto Armado x Madeira

Material	Energia (kWh)	Preço 1kWh (R\$)	Pr. kWh - Total(R\$)
Concreto Armado	3.033,77	R\$ 0,89	R\$ 2.700,06
Madeira	605,04	R\$ 0,89	R\$ 538,49
Diferença	2428,73 kWh		R\$ 2.161,57

Fonte: NG Solar,2023

Além da economia financeira, a geração de energia, a maior parte gerada no Brasil proveniente de hidrelétricas, pode-se estimar a economia de consumo de água, sabendo que para a geração de 1 kWh são utilizados 3.600 Litros de água (GONÇALVES,2014).

Assim obtém-se os valores ilustrados na

Tabela 4-5 Quantidade de água necessária para produção da Laje L2, Concreto Armado x Madeira, os quais permite verificar que a construção em madeira economizaria cerca de 8.75 milhões de litros água quando comparado à alternativa em concreto armado.

Tabela 4-5 Quantidade de água necessária para produção da Laje L2, Concreto Armado x Madeira

Material	Energia (kWh)	kWh/3600L
Concreto Armado	3.033,77	10.921.572
Madeira	605,04	2.178.144
	Diferença em L	8.743.428

4.4 EMISSÃO DE CO₂

Em relação à emissão a emissão de CO₂, observa-se que a madeira, além de emitir 14 vezes menos de CO₂ se comparada à alternativa em concreto armado, permite a realização de estoque temporário de carbono biogênico, o que remete a cerca de 353 kg/m³. O estoque é dito temporário porque, ao término da vida útil do produto, o carbono pode ser novamente liberado para a atmosfera pela queima ou decomposição da biomassa, na forma de CO₂ biogênico (SIDAC,2022).

Tabela 4-6 Comparação emissão de gases Concreto Armado x Madeira

Material	Emissão de CO₂ em kg
Concreto Armado	1255,94
Madeira	90,83
Diferença	1165,11

Uma das formas mais eficientes de realizar a compensação de carbono é por meio do plantio de árvores, já que uma árvore consegue resgatar da atmosfera cerca de 15,6 kg de CO₂ por ano (FLORESTAL,2023).

Sendo assim para a execução em concreto armado é necessária a plantação de pelo menos 81 árvores para compensar a emissão de CO₂ emitida na construção da laje L2, enquanto para compensação da construção em madeira seriam necessárias 6 arvores, ou seja, 92% a menos quando comparada a alternativa em concreto armado – ver Tabela 4-7 Compensação necessária Concreto Armado x Madeira.

Tabela 4-7 Compensação necessária Concreto Armado x Madeira

Material	Emissão de CO₂ em kg	Qtd. de arvores plantadas
Concreto Armado	1255,94	80,51
Madeira	90,83	5,82

Em resumo, como ilustrado na Figura 4-1 Gráfico Comparação final Concreto Armado x Madeira - Fonte: Autor, o concreto armado comparado a madeira é mais econômico, entretanto comparado aos itens relacionados ao meio ambiente a madeira ganha alguns pontos, referente ao peso da sobrecarga na estrutura a estrutura em madeira é mais leve e deve ter cuidado redobrado no projeto. Como dito no início da pesquisa, a sustentabilidade tende a ter um custo elevado no início do projeto entretanto ao longo do tempo esse valor é revertido tanto economicamente quanto na contribuição ao meio ambiente.

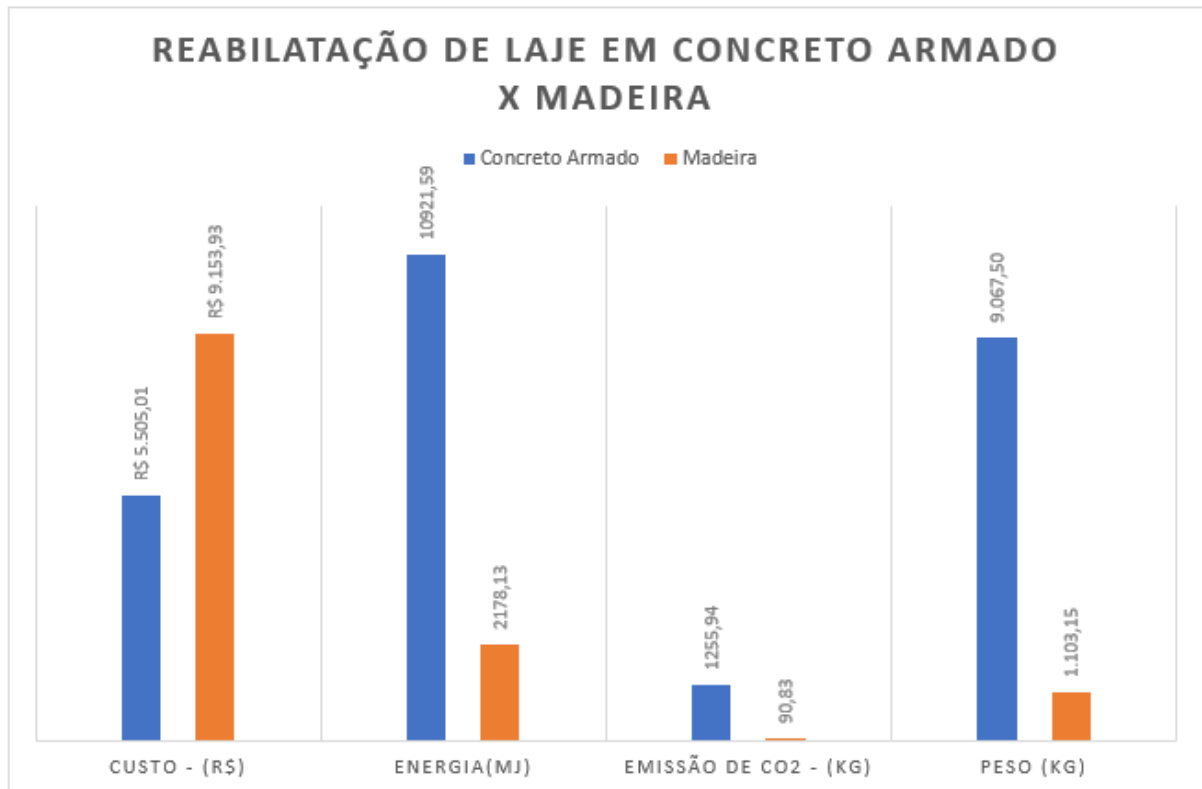


Figura 4-1 Gráfico Comparação final Concreto Armado x Madeira - Fonte: Autor

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por meio das pesquisas e cálculos realizados, permite concluir que para a reabilitação da laje L2, sob a ótica econômica, a construção em madeira tem custos mais elevados quando comparado à mesma laje executada em concreto, ao que se dá pela diferença entre os materiais e o método construtivo envolvido em cada sistema estrutural e a quantidade de mão de obra despendida para execução da estrutura.

Em relação ao custo obtido na extração da matéria prima, relacionado ao consumo energético e ao consumo de água, gasto para fabricação dos elementos estruturais, são maiores para os componentes do concreto armado, como: o cimento e o aço, que são os agentes do concreto mais nocivos ao meio ambiente, enquanto, por outro lado, a madeira consome menos recurso de energia e água para produção dos seus elementos, apresentados desta forma resultados mais favoráveis ao meio ambiente.

Além disso os materiais necessários para concepção do concreto armado, uma vez extraídos não podem ser devolvidos a natureza, diferente da madeira que pode ser substituída/replantada, mitigando os danos causados pela sua extração.

5.1 DESENVOLVIMENTO FUTURO

O Desenvolvimento de trabalhos futuros podem ser voltados a comparação de outros materiais e elementos construtivos, em relação ao peso, altura, energia e emissão de gases do efeito estufa, como por exemplo:

- Sistema Light Steel Framing (LSF), perfis formados a frio (PFF);
- Perfis laminados ou conformados a quente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2014. NBR 6118: Estruturas de concreto armado – Procedimento. Brasil: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2023. NBR 6118: Estruturas de concreto armado – Procedimento. Brasil: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT,1980. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Brasil: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT,2019. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Brasil: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT,1997. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Brasil: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT,2023 ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira-Parte1, Brasil: ABNT, 2023.

APPLETON, João. Reabilitação de Edifícios: princípios e práticas. Portugal: Ordem dos Engenheiros, 2014. Color. Disponível em: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/jappleton_1452865970545a07405d43c.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

BARBOSA, Iutah Cristal Dezidério de Veras. Análise comparativa entre os métodos construtivos de concreto armado e madeira em uma residência unifamiliar no Tocantins. 2019. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins Curso de Engenharia Civil, Palmas, To, 2019. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/1907/1/Iutah%20Cristal%20Dezid%20a9rio%20de%20Veras%20Barbosa%20-%20TCC%20Monografia%20-%20Engenharia%20Civil.pdf>. Acesso em: 23 mar. 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. 2016. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Bento-3/publication/353371310_Analise_do_desempenho_ambiental_de_estruturas_de_concreto_armado_Uso_da_Avaliacao_do_Ciclo_de_Vida_ACV_no_processo_decisorio_do_dimensionamento/links/60f8579a169a1a0103ab13ff/Analise-do-desempenho-ambiental-de-estruturas-de-concreto-armado-Uso-da-

Avaliacao-do-Ciclo-de-Vida-ACV-no-processo-decisorio-do-dimensionamento.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

BERNAUER, Madeireira. ANGELIM PRANCHA. 2023. Disponível em: [https://www.madebernauer.com.br/portfolio-items/angelim-prancha/#:~:text=Peso%20\(madeira%20seca%20naturalmente\)%20%E2%80%93%20590%20kg%2Fm3](https://www.madebernauer.com.br/portfolio-items/angelim-prancha/#:~:text=Peso%20(madeira%20seca%20naturalmente)%20%E2%80%93%20590%20kg%2Fm3). Acesso em: 02 out. 2023.

BRASIL, Green Building Council. A contribuição das Construções Sustentáveis para Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. 2019. Disponível em: - <https://www.gbcbrazil.org.br/a-contribuicao-das-construcoes-sustentaveis-para-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>. Acesso em: 01 set. 2023.

CABRITA, Ana Luísa Gomes Rodrigues. Reabilitação Sustentável de um Edifício do séc. xix. 2016. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Algarve, Setúbal, Portugal, 2016. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18081/1/Ana%20Lu%c3%adsa%20Gomes%20Rodrigues%20Cabrita.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023.

CAIXA, Sinapi -. Sobre o SINAPI. 2023. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 01 out. 2023.

CBIC. Manual Básico de Indicadores de produtividade na Construção Civil. Brasília: Cbic, 2017. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Manual_Basico_de_Indicadores_de_Produtividade_na_Construcao_Civil_Relatorio_Completo_2017.pdf. Acesso em: 02 out. 23.

COSTA, Rui J. G. *et al.* Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade. 2014. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil Azurém, P, Guimarães - Portugal, 2014. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30758/1/RCosta_LBraganca_RMateus_JCBezerara_EngCivil.pdf. Acesso em: 01 mar. 2023.

COSTA, Gisele de Oliveira *et al.* Análise dos Impactos das Emissões de CO2 em Edifícios de Concreto Armado. In: XXXIX Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural 2020, 39., 2020, Espírito Santo. Análise dos Impactos das Emissões de CO2 em Edifícios de Concreto Armado. espírito Santo: XXXIX Jornadas Sul-americanas de Engenharia Estrutural 2020, 2020. p. 1-8. Disponível em: <https://cdn.congresse.me/phttp4n7xqfcnvz3eaxy9vk53o5v0#:~:text=O%20setor%20da%20constru%C3>

%A7%C3%A3o%20civil,uma%20fonte%20significativa%20dessas%20emiss%C3%B5es. Acesso em: 25 mar. 2023.

ESTADÃO. Conferências ambientais: quais foram as principais da história? 2021. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/conferencias-ambientais-quais-foram-as-principais-da-historia/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ENTAC. 2022, XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído -. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: uma ferramenta para incorporar indicadores ambientais na construção civil brasileira. 2022. Disponível em: https://sidac.org.br/documentos/Sidac_entac2022-9856.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

FONSECA, Rita Isabel Vidó. O Conforto Humano no Projeto de Reabilitação Centro Comunitário no Antigo Hospital Militar de Belém. 2019. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/22283>. Acesso em: 06 jan. 2023.

FREITAS JUNIOR, José de Almendra. Materiais de Construção com Madeira para Mitigação de Gases de Efeito Estufa na Execução de Edificações. 2020. 1 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/49450/R%20-%20T%20-%20JOSE%20DE%20ALMENDRA%20FREITAS%20JUNIOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 ago. 2023.

FLORESTAL, Selva. Compensação de carbono com plantio de árvores: saiba como fazer. 2023. Disponível em: <https://selvaflorestal.com/compensacao-de-carbono-com-plantio-de-arvores-saiba-como-fazer/#:~:text=%C3%81rvores%20e%20compensa%C3%A7%C3%A3o%20de%20carbono,quilos%20de%20CO2%20por%20ano..> Acesso em: 01 ago. 2023.

GOMES, Thiago Henrique Nogueira. Sustentabilidade nas Construções em Ambiente Tropical. 2012. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/14504736-Sustentabilidade-nas-construcoes-ambiente-tropical.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

GONÇALVES, Igor Pereira. O Impacto da diminuição do desperdício de energia elétrica para a economia de água. 2014. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/o-impacto-da-diminuicao-do-desperdicio-de-energia-eletrica-para-a-economia-de-agua>. Acesso em: 25 ago. 2023.

GUERRA, José Pedro Paiva. A Sustentabilidade aplicada ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Um Caso de Estudo. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilã, 2013. Disponível em:

<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2375/1/Dissertacao%20final.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2023.

LINHARES, Gabriela. Trabalhos De Arquitetura. 2023. Disponível em: <https://ru.pinterest.com/pin/394909461058269984/>. Acesso em: 24 set. 2023.

LOPES, Tânia Filipa da Costa Torres. REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. 2010. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/4138/1/Lopes_2010.pdf. Acesso em: 06 jan. 2023.

MAGALHÃES, Vanessa Figueiredo. Manutenção e Reabilitação Sustentável de Edifícios. 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/7125/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2023.

MARTINO, Giovana. O que é e como funciona o concreto armado? 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/975732/o-que-e-e-como-funciona-o-concreto-armado#:~:text=O%20concreto%20armado%20%C3%A9%20um,caracter%C3%ADsticas%20para%20gnhar%20resist%C3%Aancia%20estrutural..> Acesso em: 20 abr. 2023.

Ministério do Meio Ambiente. Acordo de Paris. 2023. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 21 out. 2023.

MORETTINI, Renato. Tecnologias Construtivas para a Reabilitação de Edifícios: Tomada de decisão para uma reabilitação Sustentável. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04072012-172723/publico/Dissertacao_Renato_Morettini.pdf. Acesso em: 06 jan. 2023.

ONU. A ONU e o meio ambiente. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 24 jul. 2023.

PARDAL, Nelson Salgado. Reabilitação Sustentável de Edifício com Necessidades de Energia Nulas ou Quase Nulas – Caso de Estudo. 2019. 237 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2019. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/8236>. Acesso em: 03 mar. 2023.

PEREIRA, Manuel Revez Mascarenhas. Desempenho Energético e Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado. 2013. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Algarve, XIII

Algarve - Portugal, 2013. Disponível em:
https://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3581/1/Tese_Mestrado.pdf. Acesso em: 21 dez. 2022.

REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA. São Paulo: Fundação Hermínio Ometto -Fho, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/15283/209209213717>. Acesso em: 06 mar. 2023. DOMINGOS2020

RODRIGUES, Bruno José da Rocha. REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL EM EDIFÍCIOS HABITACIONAIS COM VALOR HISTÓRICO. 2014. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/5621/1/DM_BrunoRodrigues_2014_MEC.pdf. Acesso em: 06 jan. 2023.

SIDAC. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção. 2023. Disponível em: <https://sidac.org.br/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, Luciana Priscila Gomes da *et al.* Análise Comparativa De Dimensionamento De Elemento Horizontal Em Concreto Armado, Madeira E Aço. 2022. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unifg, Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24208/1/ARTIGO%20-AN%c3%81LISE%20COMP.%20DE%20DIM.%20DE%20ELEMENTO%20HORIZONTAL%20EM%20CONC.%200%20ARMADO%2c%20MADEIRA%20E%20A%c3%87O%20REVFINAL%2015.06.2022.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SILVA, Bruna Vicente da. Construção de Ferramenta Para Avaliação do Ciclo de vida das edificações. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energia, Universidade São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-103100/publico/digital.pd>. Acesso em: 17 out. 2023.

SANTOS, Henrique Gabriel Barbosa. USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNDO E NO BRASIL. 2022. João Victor Ferreira de Oliveira. 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: 28 jul. 2023. Silva e oliveira

SOUSA, Rafaela. Conferências ambientais. 2022. Disponível em: <https://brasile scola.uol.com.br/geografia/conferencias-ambientais.htm>. Acesso em: 28 jul. 2023.

SOLAR, Ng. Preço da energia elétrica CPFL 2023. 2023. Disponível em: [https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202023,comercial%2Findustrial%20\(B3\)..](https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202023,comercial%2Findustrial%20(B3)..) Acesso em: 05 set. 2023.

TORGAL, Fernando; JALALI, Said. Energia Incorporada em Materiais de Construção versus Energia Operacional. Portugal: Revista Internacional Construlink, 2011. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/14870/1/RIC_27_A01_08_2011.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

VALÉRIO, André Filipe Baptista. Materiais para uma construção sustentável: o caso da cortiça. 2014. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/14754/1/Valerio_2014.pdf. Acesso em: 25 jan. 2023.

VIEIRA, Sergio Manuel Pereira. Reabilitação Sustentável um exemplo da Sustentabilidade na Reabilitação. O caso de um edifício da Rua do Vale Formoso, Marvila, Lisboa, Dissertação de Natureza Científica para a Obtenção do Grau de mestre em arquitetura. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/18032/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20de%20Mestrado_S%c3%a9rgio%20Vieira..pdf. Acesso em: 25 jan. 2023.

WALDETARIO, Kamila Zamborlini. Diretrizes para Aplicação dos Conceitos de Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios em Centros Urbanos para fins de Habitação Popular: Análise do programa morar no centro – VITÓRIA (ES). 2009. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - Es, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/161367548.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2023.

WWF. O que é preciso fazer para alcançar o desenvolvimento sustentável? 2023. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/. Acesso em: 25 set. 23.

