

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Isadora Zolet Stella

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS PROVOCADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Porto Alegre

Março de 2023

ISADORA ZOLET STELLA

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS PROVOCADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul como requisito para a
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Daniel Tregnago Pagnussat

Porto Alegre

Março de 2023

ISADORA ZOLET STELLA

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS PROVOCADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Este Trabalho de Diplomação foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Banca Examinadora designada pela Comissão de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Arq. e Urb. Laís Zucchetti

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Civil Bárbara Pretto Biasi

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Pampa

Dedico este trabalho a todas as mulheres engenheiras que lutam diariamente para tornar a área mais homogênea e igualitária.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, em especial aos meus pais, Luciana e Vlademir Stella, que me apoiaram e me apoiam incondicionalmente em todas as minhas escolhas.

Ao meu irmão, Afonso, e ao meu namorado, Lucas Henrique, que me acompanharam diariamente ao longo do percurso.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por proporcionar estudo gratuito de qualidade.

Ao meu orientador, Daniel Tregnago Pagnussat, pelas sábias orientações e excelentes direcionamentos no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que, com esforço e dedicação, souberam repassar seus conhecimentos de forma empática e majestosa.

Por fim, agradeço imensamente aos meus amigos por terem tornado a jornada mais leve e divertida. Vocês foram essenciais para garantir minha saúde emocional e mental.

Let us stop waiting for others to set the example and start today, by committing to everyday incremental changes.

Coen van Oostrom

RESUMO

Este trabalho discute os impactos ambientais provocados pelas práticas, sistemas, componentes, elementos estruturais e materiais utilizados na construção civil, com a finalidade de elencar alternativas mais sustentáveis frente às convencionais. O consumo excessivo de energia, a elevada queima de combustíveis fósseis, a geração indiscriminada de resíduos e o desperdício de recursos naturais ainda são tratados por muitos como parte do processo construtivo. Aos poucos, porém, as modificações ambientais evidenciadas pela natureza têm despertado a urgência na tomada de ações assertivas para garantir um futuro com recursos suficientes a fim de permitir a sobrevivência humana e o desenvolvimento da sociedade. A gama de opções sustentáveis a ser empregada no setor é significativa, e tem aumentado ainda mais com o passar dos anos. A partir das etapas de planejamento, projeto, construção e ocupação, neste trabalho são discutidos, a partir de uma ampla revisão bibliográfica, diversos fatores relevantes no tema “construções sustentáveis”, culminando em uma seleção de opções consideradas de fácil inserção no processo construtivo. Por fim, são abordadas possíveis formas de compensação de danos ambientais ainda inevitáveis provocados pelo setor.

Palavras-chave: Construções sustentáveis, Sustentabilidade, Impactos ambientais, Construção civil.

ABSTRACT

This paper discusses the environmental impacts caused by the practices, systems, components, structural elements and materials used in civil construction, in order to list more sustainable alternatives to conventional ones. The excessive consumption of energy, the high burning of fossil fuels, the indiscriminate generation of residues and the waste of natural resources are still treated by many as part of the construction process. Gradually, however, the environmental changes evidenced by nature have awakened the urgency of taking assertive action to ensure a future with sufficient resources to allow human survival and the development of society. The range of sustainable options to be employed in the sector is significant, and has increased even more over the years. Starting from the stages of planning, design, construction and occupation, this paper discusses, based on an extensive bibliographical review, several relevant factors in the theme "sustainable buildings", culminating in a selection of options considered easy to insert in the construction process. Finally, possible ways of compensating for the still unavoidable environmental damage caused by the sector are addressed.

Keywords: Sustainable buildings, Sustainability, Environmental impacts, Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estruturação do trabalho.	22
Figura 2 - Linha do tempo da agenda da sustentabilidade mundial.	26
Figura 3 - Curva histórica de emissão de GEE.	28
Figura 4 - Contribuições ao aquecimento da superfície terrestre de 2010-2019 com relação a 1850-1900.	29
Figura 5 - Mudança na temperatura da superfície global (média anual) observada e simulada.	31
Figura 6 - Parcela de emissões de dióxido de carbono correspondentes às cidades e edifícios.	32
Figura 7 - Da esquerda para a direita: seixo rolado, bloco de concreto vazado, placas de drenagem, pavimento asfáltico drenante e blocos intertravados.	38
Figura 8 - Exemplo de cobertura verde.	40
Figura 9 - Bosco Verticale, empreendimento de Stefano Boeri construído em Milão.	41
Figura 10 - Percentual de abertura de referência para ventilação	43
Figura 11 - Estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto arquitetônico.	44
Figura 12 - Brises móveis na fachada do edifício residencial Vértice, em Porto Alegre, projetado pelo escritório Elizabeth Pocztaruk Arquitetos.	45
Figura 13 - Pavilhão da Expo Flora de Taipei, em Taiwan, projetado pelo escritório Bio-architecture Formosana.	46
Figura 14 - Ventilação por efeito chaminé.	47
Figura 15 – Detalhe de bloco produzido com resíduos de celulose ou madeiras.	57
Figura 16 – Bloco produzido a partir de resíduos plásticos.	57
Figura 17 – Torre Mjosa, projetada pelo arquiteto Voll Arkitekter, localizada na Noruega.	59
Figura 18 – Edifício Ascent, nos Estados Unidos, com estrutura em madeira engenheirada, projetado pelo escritório Korb + Associates Architects.	60
Figura 19 – Hierarquia da gestão de resíduos.	62
Figura 20 - Escoramentos metálicos.	64

Figura 21 - Sistema de captação de água da chuva pela construtora MRV.	68
Figura 22 - Turbinas eólicas em edifício Hilton Fort Lauderdale Beach Resort.	72
Figura 23 - Fazenda de painéis solares.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição da matriz elétrica no Brasil.	70
Gráfico 2 - Composição da matriz elétrica mundial.....	70
Gráfico 3 - Consumo da matriz elétrica no Brasil por fonte.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de características físicas, emissivas e de consumo energético para vergalhões de aço, GFRP e BFRP.....	53
Tabela 2 - Compilado de estratégias sustentáveis frente às convencionais com possibilidade de adoção pelas construtoras.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
CCPI	Climate Change Performance Index
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CCGE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
COP	Conferência das Partes
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FRP	Polímeros Reforçados com Fibras
GBC	Green Building Council
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
IFC	International Finance Corporation
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NET-ZERO	Zero Emissões Líquidas de Carbono
ONU	Organização das Nações Unidas
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição

UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEF	Fórum Econômico Mundial
WGBC	World Green Building Council
WRI	World Resources Institute
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos.....	19
1.1.1	Objetivo geral.....	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	19
1.2	Metodologia.....	20
1.3	Delimitações.....	20
1.4	Estrutura do trabalho.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	Marcos mundiais da agenda sustentável.....	23
2.2	Gases de Efeito Estufa.....	26
2.3	Emissões de Gases de Efeito Estufa na construção civil.....	29
3	ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	34
3.1	Fase de planejamento: aspectos inerentes ao edifício.....	34
3.1.1	Mobilidade.....	34
3.1.1.1	Bicicletas.....	35
3.1.1.2	Carros elétricos.....	35
3.1.1.3	Transporte público.....	36
3.1.2	Terreno e paisagismo.....	36
3.1.3	Vegetação.....	39
3.1.4	Iluminação e ventilação naturais.....	42
3.1.5	Materiais.....	47
3.1.5.1	Concreto.....	48
3.1.5.2	Aço.....	51
3.1.5.3	Cerâmica.....	54
3.1.5.4	Madeira.....	58

3.2	Fase de construção: ações no canteiro.....	60
3.2.1	Gestão de resíduos	60
3.2.2	Eficiência de recursos	65
3.2.2.1	Energia elétrica	65
3.2.2.2	Água	67
3.3	Fase de ocupação: benefícios ao usuário	69
3.3.1	Eficiência energética	69
3.3.2	Eficiência hídrica	73
4	COMPENSAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	75
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	78
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

O êxito da existência humana depende, dentre outros tantos fatores, da qualidade do ambiente construído. Seja para morar, trabalhar ou exercer uma série de atividades cotidianas, as edificações são o cerne das ações da sociedade. Mesmo nos tempos pré-históricos, ter um lugar seguro para viver sempre foi uma das prioridades, e é por esse motivo que o *homo sapiens* tornou-se o dominador e manipulador do ambiente.

É inegável a evolução do setor da construção civil ao longo do tempo. A transição de moradias que, nos primeiros séculos, constituíam-se de habitações construídas com pedras e terra, para edifícios de mais de 800 m de altura nos dias atuais, gerou e ainda gera muitos impactos sociais e ambientais. O elevado consumo de energia, água e geração de resíduos tem despertado preocupações no mundo todo, visto que a exploração exacerbada dos recursos provoca impactos ao meio. Infelizmente, a sociedade tem o hábito de somente agir sobre os problemas quando estes já estão latentes. E, previsivelmente, na construção civil o caminho foi semelhante.

A situação que o mundo vem enfrentando é de elevadas emissões de gases poluentes, gerados na queima de combustíveis, na produção de matérias primas, na geração de energia, entre outras atividades tidas como essenciais para a vivência humana. Essas emissões foram amplificadas significativamente com o advento da revolução industrial, em que se passou a produzir mercadorias em grande escala, alavancando a extração e manipulação de recursos e o desenvolvimento dos meios de transporte. A evolução das cadeias produtivas em geral somente cresceu desde então, mas não concomitante à tomada de consciência dos impactos que estavam sendo gerados, visto que somente eclodiriam séculos mais tarde.

A construção civil é um dos setores mais poluentes do mundo, sendo responsável por 38% das emissões de carbono, 35% da demanda mundial de energia (UNEP, 2020a) e pela geração de 100 milhões de toneladas/ano de resíduos sólidos no Brasil (ABRECON, 2022). Apesar disso, a caminhada pela sustentabilidade anda em passos lentos, especialmente no Brasil. Segundo o relatório publicado pelo Climate Change Performance Index, em 2021, o “Brasil anunciou uma meta de longo prazo de zerar as emissões líquidas de carbono até 2050, mas não há políticas

concretas a serem implementadas para alcançar este objetivo. Na verdade, nenhuma estratégia de longo prazo sequer foi projetada” (CCPI, 2021, p. 19, tradução nossa).

Em 1987, definiu-se em uma frase o que é o desenvolvimento sustentável, através do Relatório de Brundtland. Na ocasião, seu conceito foi tido como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”. Ou seja, não há proibições em usufruir os recursos disponíveis, desde que não em sua totalidade, nem em quantidades suficientes para impedir sua recuperação natural. Para tal, o desenvolvimento deve ser estável social e economicamente, “equilibrado, com mecanismos de distribuição justa das riquezas geradas, bem como ser capaz de levar em consideração a fragilidade, a interdependência e as escalas de tempo próprias e específicas dos elementos naturais” (MMA, 2000, p. 46).

Visando a urgente demanda por mudanças para evitar o comprometimento de recursos para a posteridade, foi firmado, em 2015, o Acordo de Paris, que selou o compromisso em limitar o aumento da temperatura global em 1,5 °C. Para tanto, é de extrema necessidade reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Fontes expressivas de emissão de GEE na construção civil estão concentradas nas atividades do canteiro de obras, com a movimentação de solo, uso de energia e transporte de insumos. Outra origem de geração de dióxido de carbono é a própria edificação em uso, expressa no conceito de carbono incorporado, que nada mais é do que “emissões de carbono associadas a materiais e processos construtivos ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício ou infraestrutura” (WGBC, 2019, p. 3, tradução nossa). É nesse período que os edifícios mais demandam recursos e geram resíduos em abundância, já que corresponde ao momento de usufruir o que foi construído. Contudo, esses consumos podem ser mitigados por meio do planejamento e da execução de processos ao longo do ciclo de vida para a otimização da edificação.

A questão é que há um preconceito ao se adicionar o termo “sustentabilidade” no ramo da construção civil, já que o senso comum tende a associá-lo à elevação dos custos. Entretanto, muitas vezes, é justamente a incorporação de técnicas sustentáveis que reduzem os gastos com moradias, tanto na etapa de construção, quanto no uso, operação e manutenção.

Mas também há de se convir que ainda é necessário investir em pesquisas e tecnologias em busca de soluções ambientalmente corretas e economicamente viáveis para que não existam mais contrapontos para edificações ecológicas. O caminho a ser percorrido ainda é extenso, mas a velocidade do percurso deve ser acelerada para que haja tempo de evitar desastres irreparáveis. Não é necessário frear o desenvolvimento econômico ou abandonar práticas usuais, basta agir com consciência e responsabilidade rumo ao objetivo comum: garantir um futuro próspero e livre de desastres causados pelas más práticas do presente. A sustentabilidade é condicionada por escolhas ecologicamente corretas, economicamente viáveis, socialmente justas e culturalmente aceitas.

1.1 Objetivos

Neste subcapítulo serão abordados os objetivos gerais e específicos deste trabalho, que se trata de uma pesquisa bibliográfica.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste em discorrer sobre estratégias para a minimização do uso de recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa na construção civil, abordando uma série de alternativas que podem ser adotadas nas fases de projeto, construção e ocupação de um empreendimento genérico. Para isso, são evidenciadas as principais oportunidades de mudança no setor a fim de se obter resultados significativos na redução dos impactos ambientais gerados.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, são tratados os seguintes pontos:

- a) Estudar os principais fatores causadores da emissão de gases de efeito estufa na construção civil, além de práticas que culminam no consumo nocivo de matérias primas e recursos naturais;
- b) Levantar alternativas que possam ser adotadas visando a redução dos impactos ambientais mencionados no item a);

- c) Identificar oportunidades de compensação dos impactos ambientais provocados pela construção civil.

1.2 Metodologia

A metodologia seguida no desenvolvimento deste trabalho consistiu na revisão bibliográfica acerca de temas relacionados à sustentabilidade na construção civil. A partir do estudo de referenciais teóricos nacionais e internacionais, publicados em livros, teses, dissertações e *web sites*, desenvolveu-se uma visão acerca do tema, composta pela interseção dos materiais estudados e de conclusões adquiridas pela autora ao longo da pesquisa.

1.3 Delimitações

O trabalho consiste na análise da bibliografia com a finalidade de evidenciar alternativas sustentáveis com potencial aplicação no mercado da construção civil. O foco principal concentra-se na abordagem de atividades que geram elevadas emissões de gases de efeito estufa e que consomem recursos naturais em abundância pelo setor da construção civil, especialmente no que tange as ações das construtoras.

O trabalho não se trata de um estudo de caso, visto que traz alternativas para uma construtora genérica localizada no Brasil. Não serão abordadas questões relacionadas à viabilidade econômico-financeira, restringindo-se ao estudo teórico de possibilidades de execução das alternativas a serem listadas.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. No capítulo 1, introduz-se o assunto estudado, bem como se definem os objetivos a serem atingidos, a metodologia, as delimitações e a estrutura do trabalho.

A revisão bibliográfica, redigida no capítulo 2, aborda a evolução da agenda sustentável mundial, destacando os principais acontecimentos que culminaram na

tomada de consciência acerca da necessidade de ações contundentes para reversão dos cenários ambientais futuros. Adentrou-se, então, no cerne da pesquisa, evidenciando os principais impactos ambientais provocados pelo setor da construção civil.

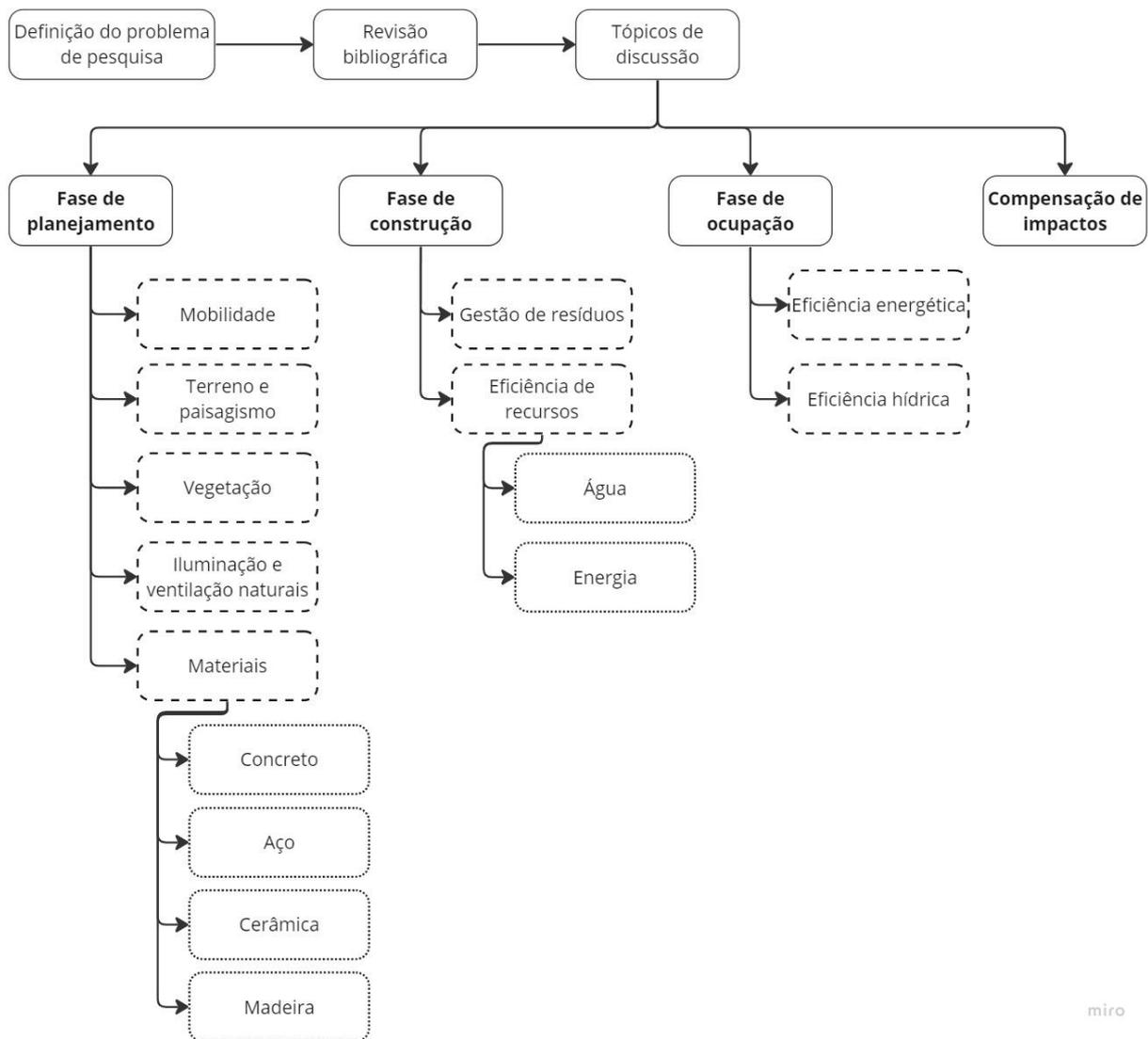
No capítulo 3, os principais fatores causadores de impactos ambientais no setor são aprofundados, ao passo que alternativas mais sustentáveis são sugeridas. A pesquisa é segmentada de acordo com as etapas de desenvolvimento de uma edificação: inicia-se abordando questões relacionadas ao planejamento e projeto do empreendimento, seguido da etapa de construção, com foco no canteiro de obras, finalizando-se na etapa de ocupação, com estratégias para redução das demandas energéticas e hídricas pelos usuários.

O capítulo 4 é dedicado à discussão de alternativas para compensação dos impactos ambientais ainda inevitáveis.

A conclusão, no capítulo 5, apresenta um resumo dos assuntos discutidos, apontando as alternativas de possível aplicação no setor em estudo.

A Figura 1 ilustra a estruturação do trabalho.

Figura 1 - Estruturação do trabalho.



miro

Fonte: própria autora (2023).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados os temas relacionados à sustentabilidade e construção civil pela visão de autores e organizações ligadas ao assunto, bem como os principais acontecimentos mundiais relacionados à agenda sustentável.

2.1 Marcos mundiais da agenda sustentável

Em 1972, na Suécia, 113 países presenciaram o primeiro evento da Organização das Nações Unidas (ONU) promovido com a finalidade de discutir questões ambientais: a Conferência de Estocolmo. Na ocasião, foi elaborada a Declaração e o Plano de Ação de Estocolmo para o Ambiente Humano, colocando na vanguarda das preocupações internacionais assuntos relacionados à sustentabilidade. Países industrializados e em desenvolvimento iniciaram diálogos relacionados com o meio ambiente e bem-estar humano (UNEP, 2022a).

A partir de então, a preocupação com o futuro da humanidade com relação à disponibilidade de recursos e à poluição crescente se intensificou. Em 1992, o Rio de Janeiro sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que ficou conhecida como Eco-92 ou Rio-92. Promovida pela ONU, o evento culminou na aprovação da Agenda 21.

O documento foi marcado pela responsabilização dos países desenvolvidos pela maior parcela dos impactos ambientais, encarregando-os de agir pela mitigação dos danos e pela reversão do cenário da época. Conforme publicação do Senado Federal (2001):

A Agenda 21 é um documento que contém compromissos dos países ricos em relação aos países pobres, onde cada país participante será responsável em incorporar às suas políticas públicas, com base no desenvolvimento sustentável, com o objetivo de compatibilizar a melhoria da qualidade de vida da população, proporcionando o crescimento econômico em sintonia com o meio ambiente. (BRASIL, 2001, p. 6).

Apesar do assunto já ter se tornado uma pauta mundial, ainda não haviam objetivos palpáveis, comuns e que pudessem ser cobrados das partes responsáveis. Para iniciar a discussão sobre a criação de metas contundentes, em Berlim, no ano de 1995, ocorreu a primeira Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, a COP1. A convenção se tornaria anual, contando com a participação de

vários países com o “objetivo de combater as mudanças climáticas, encontrar soluções para os problemas ambientais que afetam o planeta e negociar acordos” (BRASIL, 20--a).

Na ocasião, foi elaborado o Mandato de Berlim. De acordo com publicação do Senado Federal, o Mandato de Berlim:

[...] Pôs em marcha um processo de dois anos para a discussão de um Protocolo à Convenção que definisse novos compromissos legalmente vinculantes, no sentido de possibilitar ações apropriadas para a primeira década do século 21, tornando mais severas as obrigações para os países desenvolvidos. (BRASIL, 2004, p. 11).

Dois anos depois, promoveu-se o evento mundial mais importante até então. A terceira Conferência das Partes, ou COP3, foi realizada na cidade de Quioto, Japão, no ano de 1997. “A conferência culminou na decisão por consenso de adotar-se um Protocolo segundo o qual os países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012” (UNFCCC, 1997, p. 2). Esse documento ficou conhecido como Protocolo de Quioto, e tornou-se a principal ferramenta para cobrança dos países industrializados na redução das emissões.

O protocolo é composto por 28 artigos com ações que devem ser adotadas pelos países signatários, além de mecanismos de mercado flexível para a comercialização de créditos de carbono. “Com o Protocolo de Quioto, cresceu a possibilidade de o carbono tornar-se moeda de troca, a partir do momento em que países assinantes do acordo podem comprar e vender créditos de carbono” (BRASIL, 20--b) através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Em suma, o Protocolo de Quioto foi o primeiro documento a definir metas para a redução de gases de efeito estufa. Ao ser adotado, foi assinado por 84 países (BRASIL, 20--b), sendo retificado em 2005. O número de países signatários aumentou ao longo dos anos, tendo 192 assinaturas segundo a UNFCCC (20--a). Esteve vigente até 2015, quando foi substituído pelo Acordo de Paris.

Em 2012, no Rio de Janeiro, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. “A Rio+20 ficou assim conhecida porque marcou os vinte anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento

sustentável para as próximas décadas” (RIO+20, 2011a). De acordo com o site oficial da RIO+20:

Com o objetivo de garantir que a Rio+20 observasse os pilares do desenvolvimento sustentável, o Governo brasileiro criou, no âmbito do Comitê Nacional de Organização, uma Coordenação de Sustentabilidade. Sua função foi analisar e propor ações para reduzir, mitigar ou compensar os impactos ambientais e sociais gerados pela Conferência. As ações foram organizadas em nove dimensões. (RIO+20, 2011b).

As nove dimensões mencionadas são as seguintes: Gestão das Emissões de Gases de Efeito Estufa; Recursos Hídricos; Resíduos Sólidos; Energia; Transporte; Construções Sustentáveis; Compras Públicas Sustentáveis; Turismo Sustentável; e Alimentos Sustentáveis.

A conferência deixou como legado o relatório “O Futuro que Queremos”, que abordou temas como a escassez de água, o uso eficiente do solo e de recursos naturais, desenvolvimento sustentável e questões sociais. As críticas ao texto foram muitas, principalmente por não terem sido definidos compromissos, que seriam deixados para um debate futuro.

Em 2015, foi realizada em Paris a 21ª Conferência das Partes, ou COP21. Conforme o World Resources Institute:

Quase 200 países assinaram um acordo sem precedentes e se comprometeram a agir para que o aumento da temperatura média do planeta não ultrapasse 2°C até 2100. O documento construído em Paris, que substituiu o Protocolo de Kyoto, estabelece um marco na história do combate às mudanças no clima: é a primeira vez que se alcança o consenso global, com o reconhecimento, por parte de todos os signatários, de que as emissões de gases do efeito estufa precisam ser desaceleradas e reduzidas com urgência. (WRI, 2015).

O Acordo de Paris se tornou um dos documentos mais importantes no caminho para a redução das emissões de GEE. Com o objetivo claro de evitar que o aumento da temperatura global passe de 2°C até 2050, fazendo esforços para que se limite a 1,5°C, o acordo conseguiu evidenciar urgência na adoção de ações rígidas e contundentes para evitar o colapso da natureza. O compromisso não teve caráter obrigatório, em contraponto ao Protocolo de Quioto, estando cada parte responsável por definir suas metas, respeitando o objetivo comum.

Na ocasião, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de GEE em 37%, com relação aos níveis de referência de 2005, até 2025, e 50% até 2030 (BRASIL, 2022). De acordo com Rovere:

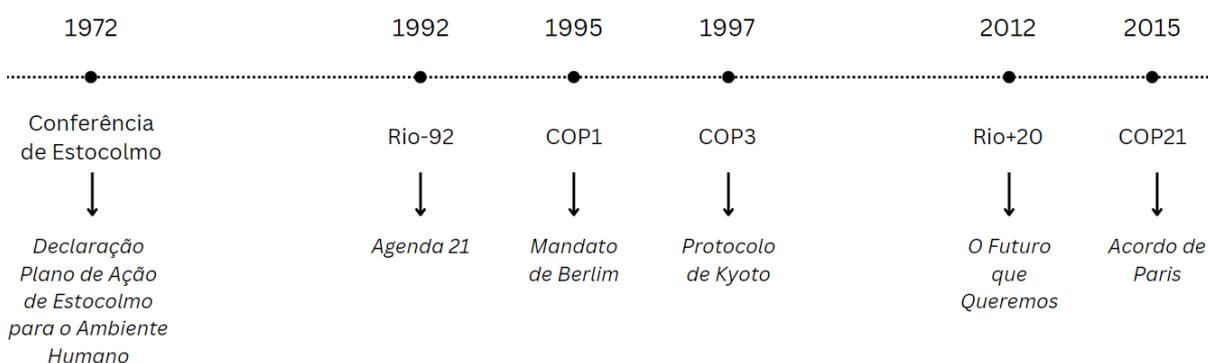
[...] Existe um potencial enorme para redução das emissões nacionais de GEE através da implantação de um amplo espectro de medidas de mitigação, incluindo: eficiência energética, energias renováveis, técnicas agropecuárias de baixo carbono, mudanças de modais de transportes, captura de metano no setor de resíduos (aterros sanitários e estações de tratamento de esgotos) e reflorestamento com espécies nativas e de crescimento rápido. (LA ROVERE, 2016, p. 3).

No mesmo ano, evidenciando-se ainda mais a pressão por adoção de medidas urgentes para reversão do cenário mundial, ocorreu a elaboração da Agenda 2030, na qual 193 Estados-membros da ONU firmaram o compromisso presente no documento “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. “A Agenda 2030 é um plano de ação global que reúne 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e 169 metas, criados para erradicar a pobreza e promover vida digna a todos, dentro das condições que o nosso planeta oferece e sem comprometer a qualidade de vida das próximas gerações” (ECAM, 20--).

Os objetivos e metas são integrados e abrangem as três dimensões do desenvolvimento sustentável – social, ambiental e econômica – e podem ser colocados em prática por governos, sociedade civil, setor privado e por cada cidadão comprometido com as gerações futuras. (ECAM, 20--).

A Figura 2 traz, em resumo, a linha do tempo dos principais marcos históricos da agenda da sustentabilidade mundial.

Figura 2 - Linha do tempo da agenda da sustentabilidade mundial.



Fonte: própria autora (2023).

2.2 Gases de Efeito Estufa

A energia solar absorvida pela superfície terrestre é essencial para manutenção da vida humana no planeta. 48% da energia solar incidente na Terra é absorvida pela

superfície, enquanto 23% é absorvida pela atmosfera em decorrência de processos naturais. Para que a temperatura na troposfera seja constante, é necessário que a mesma quantidade de energia que nela incida também dela seja removida. Contudo, esse processo torna-se inviável ao se introduzir os gases de efeito estufa emitidos por meios antrópicos. Isso porque a presença desses gases em abundância culmina na absorção de parcela de radiação infravermelha emitida pelo sol, aprisionando o calor na atmosfera e aumentando sua temperatura (UNEP, 2022b).

Os principais gases classificados como GEE são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), além dos clorofluorcarbonetos (ou CFC's) que foram banidos pelo Protocolo de Montreal, assinado em 1987. Cada um deles apresenta um potencial de aquecimento, que corresponde à capacidade de uma determinada quantidade de gás de aquecer o planeta. O CO_2 é tomado como o gás de referência, portanto seu potencial de aquecimento é igual a 1. O metano, por sua vez, apresenta potencial igual a 25, ou seja, tem poder de aquecimento 25 vezes ao do carbono. O óxido nitroso tem potencial de aquecimento igual a 298. Os clorofluorcarbonetos são os mais nocivos, apresentando potencial de aquecimento de 460 a 16.300 vezes o carbono (UNFCCC, 20--b).

O gás mais abundante na atmosfera é o CO_2 . Sendo responsável por 60% do efeito estufa, sua principal origem é a queima de combustíveis fósseis. Apesar de apresentar o menor potencial de aquecimento entre os GEE, é emitido em grandes quantidades. O metano é liberado principalmente na agropecuária e em aterros sanitários, representando de 15% a 20% do efeito estufa. O óxido nitroso é liberado na natureza nos processos de queimas de combustíveis, desmatamento, uso de fertilizantes, queima de biomassa, entre outros. É responsável por cerca de 6% do efeito estufa (CETESB-SP, 20--).

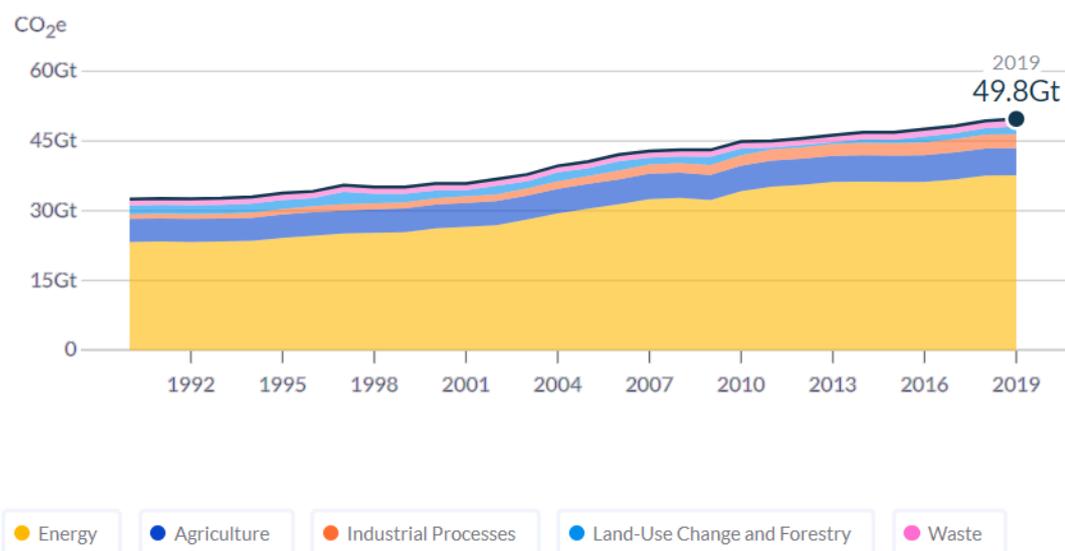
Segundo o World Resources Institute:

As emissões globais anuais de gases de efeito estufa cresceram 41% desde 1990 e ainda estão aumentando. Embora as emissões tenham caído substancialmente em 2016, dados recentes sugerem que as emissões de dióxido de carbono têm aumentado a cada ano desde então. (WRI, 2020).

O gráfico da Figura 3, produzido pelo ClimateWatch, demonstra a curva histórica de emissão de GEE desde 1990 em termos de dióxido de carbono (WRI, 2020). Analisando-o, fica evidente que há tendência de um aumento constante nas emissões.

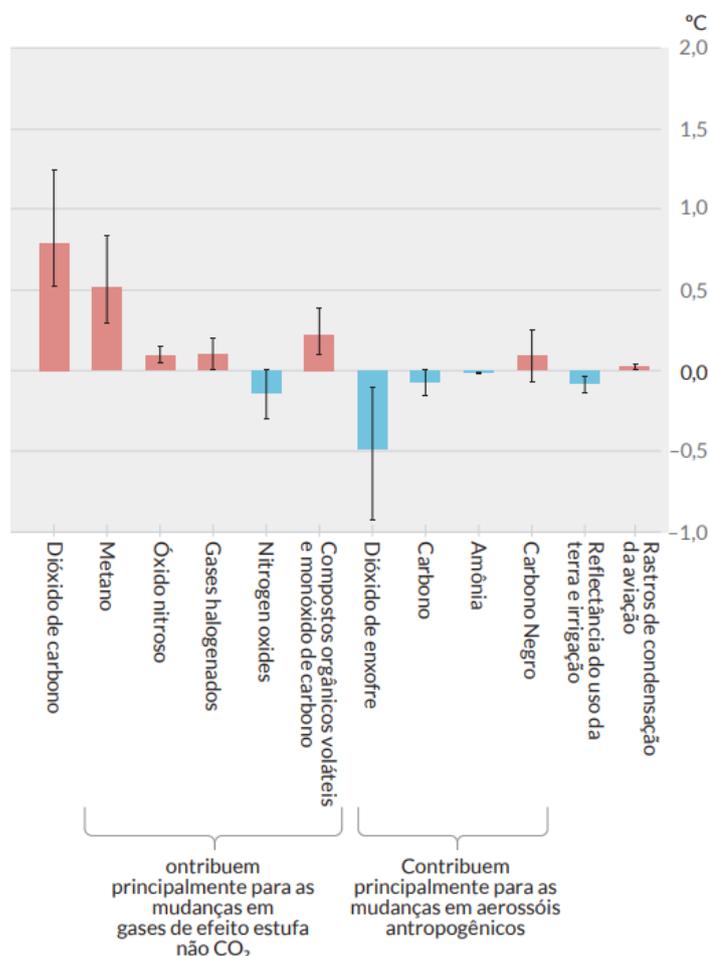
Esse cenário conduz a uma série de catástrofes em decorrência de alterações nos padrões climáticos, além do aumento significativo da temperatura média terrestre (KIBERT, 2020, p. 8-9). O gráfico da Figura 4 aponta os principais fatores causadores do aumento da temperatura no intervalo de 2010 a 2019, tornando notório o impacto causado pelos três principais gases de efeito estufa supracitados.

Figura 3 - Curva histórica de emissão de GEE.



Fonte: WRI (2020).

Figura 4 - Contribuições ao aquecimento da superfície terrestre de 2010-2019 com relação a 1850-1900.



Fonte: IPCC (2021).

2.3 Emissões de Gases de Efeito Estufa na construção civil

O termo “construção sustentável” é relativamente novo. A Força-Tarefa 16 do Conselho Internacional do Bâtiment (1994) o definiu como “a criação e operação de um ambiente construído saudável baseado na eficiência de recursos e o projeto ecológico” (KIBERT, 2020, p. 9). Ou seja, para uma edificação ter desempenho sustentável, ela precisa ser planejada com essa finalidade desde a elaboração do projeto até o fim do seu ciclo de vida. Um dos principais fatores a serem controlados é a emissão de gases de efeito estufa, monitorada através do cálculo da pegada de carbono, que define a quantidade de GEE emitida na atmosfera.

A pegada de carbono pode ser dividida em três escopos, segundo o WEF (2021):

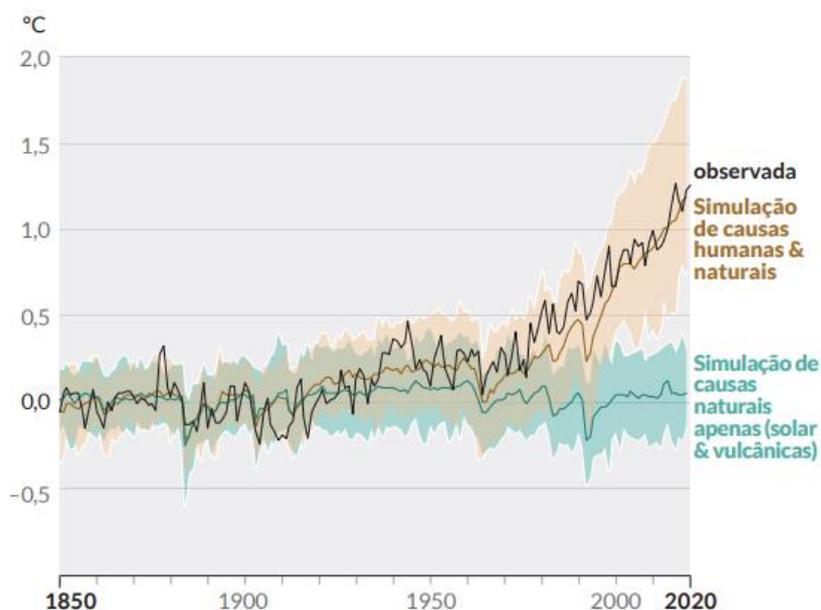
- Escopo 1: são as emissões geradas diretamente pelas atividades da empresa devido à queima de gases (como gás natural) e combustíveis (como gasolina);
- Escopo 2: são emissões geradas indiretamente pela empresa em decorrência do uso de energia (como a eletricidade);
- Escopo 3: são as demais emissões indiretas que atendem ao ciclo produtivo da empresa, emitidas na produção de matérias primas e deslocamentos de fornecedores e colaboradores, por exemplo.

No Escopo 3 estão alocadas as emissões provocadas pelo carbono incorporado dos edifícios, que “se refere às emissões de carbono que são produzidas principalmente antes de um edifício entrar em operação e quando ele é desativado” (WEF, 2021, p. 13, tradução nossa). Ou seja, atividades e materiais necessários para a produção, construção, operação, manutenção e desapropriação dos edifícios. Segundo Kibert:

A energia gasta em materiais e construção é significativa, chegando a quase 20% do total do ciclo de energia da edificação. Além disso, uma considerável energia adicional é investida durante as atividades de manutenção e renovação no ciclo de vida útil do prédio, algumas vezes excedendo a energia incorporada dos materiais de construção. (KIBERT, 2020, p. 7).

Abaixo, o gráfico da Figura 5 representa o aumento da temperatura média terrestre a partir do ano 1850. O gráfico foi extraído do relatório “Mudança do Clima 2021: A Base Científica”, produzido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Segundo o relatório, “muito provavelmente os GEE bem misturados foram os principais causadores do aquecimento troposférico desde 1979, e é extremamente provável que a destruição antropogênica do ozônio estratosférico tenha sido o principal causador do resfriamento da estratosfera inferior entre 1979 e meados dos anos 90” (IPCC, 2021, p. 9).

Figura 5 - Mudança na temperatura da superfície global (média anual) observada e simulada.



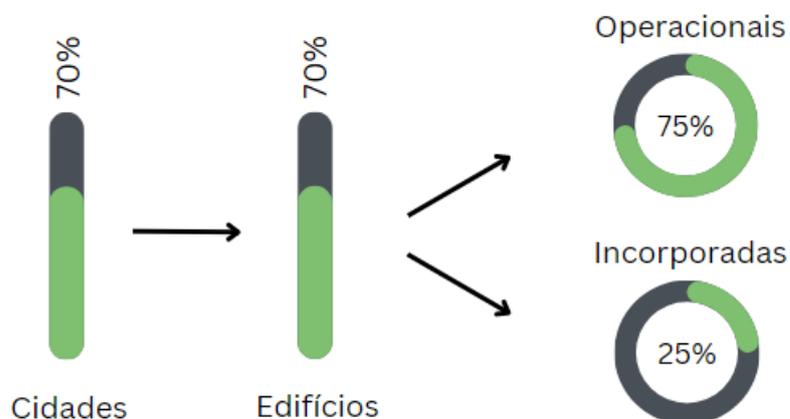
Fonte: IPCC (2021).

Como é possível concluir a partir do , a atividade humana é a grande responsável pelo aumento da temperatura média do planeta. O World Economic Forum aponta que:

As cidades são a linha de frente na redução das emissões globais de carbono. Mais da metade da população mundial vive em cidades, responsáveis por mais de 70% das emissões de CO₂. Os edifícios são os maiores contribuintes para as emissões nas cidades, responsáveis por 50-70% das emissões da cidade e 38% das emissões globais. Aproximadamente 75% das emissões dos edifícios são emissões operacionais geradas pelos sistemas dos edifícios (por exemplo, aquecimento, ventilação e ar condicionado, iluminação e servidores de TI). Os 25% restantes vêm na forma de emissões incorporadas – carbono gerado na fabricação de materiais de construção, construção e mobiliário interno. (WEF, 2022, p. 5, tradução nossa).

A Figura 6 ilustra as emissões provenientes das cidades e edifícios, conforme o WEF (2022).

Figura 6 - Parcela de emissões de dióxido de carbono correspondentes às cidades e edifícios.



Fonte: WEF (2022, adaptado).

De acordo com o UNEP (2020b, tradução nossa), “as emissões diretas de CO₂ dos edifícios precisam ser reduzidas pela metade até 2030 para encaminhar o setor para a neutralidade climática até 2050”. Em se tratando do uso de energia, a construção civil é responsável pela demanda de 35% da energia mundial, segundo a UNEP (2020a), sendo 30% em consequência do uso das edificações e 5% da etapa de construção. Ainda de acordo com o relatório, a queima de carvão, óleo e gás natural para geração de energia resulta em um nível de emissões diretas constante, mas crescente de emissões indiretas. Com relação ao fornecimento de eletricidade, o uso das edificações representa aproximadamente 55% da demanda (UNEP, 2020a).

Um dado preocupante exposto no relatório produzido pela Global ABC sobre a construção civil em 2020 é a diminuição dos índices de descarbonização¹ nos edifícios, que representa o percentual de redução de emissões de carbono. Em 2019, o índice de descarbonização foi de apenas 2,5%, quando a meta para o *net-zero*, que corresponde à neutralidade das emissões líquidas de carbono, é 100%. Em contrapartida, no ano de 2016 o índice estava em 4,4%. Essa queda se deve, provavelmente, ao aumento de emissões de materiais e atividades empregadas na construção civil. Para reverter o cenário, é preciso que toda a cadeia de valores adote ações de descarbonização significativas (UNEP, 2020a).

Em um cenário mais otimista, os investimentos em construções sustentáveis têm crescido expressivamente nas últimas décadas. Segundo a International Finance

¹O método de cálculo do índice de descarbonização de edifícios pode ser encontrado em <https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2020/12/GABT-methodology-paper-final.pdf>.

Corporation, uma instituição global de investimentos no setor privado, a estimativa é que, em 2030, cerca de US\$ 24,7 trilhões sejam investidos em construções verdes (IFC, 2018).

A urgência em se adotar atitudes contundentes no setor de construções para que o futuro próximo não seja tomado por desastres naturais é irrefutável. É incumbência das construtoras adquirir a consciência das consequências de suas escolhas.

3 ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O planejamento e execução de mudanças nos métodos construtivos é uma necessidade evidente para o setor. Uma gama de opções já é incorporada por algumas construtoras ao redor do mundo, contudo ainda existem poucas estratégias consolidadas e vistas como diretrizes ao se projetar uma nova edificação. Neste capítulo serão abordadas diversas soluções que podem ser adotadas com o intuito de posicionar a construção civil no caminho para a sustentabilidade e redução dos impactos ambientais.

3.1 Fase de planejamento: aspectos inerentes ao edifício

A fase de planejamento é a etapa com maiores oportunidades frente ao desenvolvimento de estratégias para redução das emissões de GEE. Ela abrange as características construtivas e de projeto da edificação, em que é possível prever a demanda de recursos relacionadas ao posicionamento, orientação e localização do edifício. Também é nesse momento que são definidos os materiais a serem utilizados na composição do empreendimento. “A fase de projeto é onde as decisões mais impactantes podem ser tomadas para reduzir o carbono incorporado” (WEF, 2021, p. 15, tradução nossa).

3.1.1 Mobilidade

Segundo Carvalho (2011), o transporte individual motorizado é o mais poluente, e quanto maior a distância das viagens, maior é a emissão de GEE. O setor de transporte responde por cerca de 20% das emissões globais de CO₂. É fato que, nas zonas urbanas, fica a cargo dos municípios prover boas condições de transporte, assim como alternativas mais sustentáveis de deslocamento. Não obstante, os empreendimentos podem favorecer o uso de alternativas menos poluidoras frente às tradicionais. “Um prédio projetado e construído de acordo com as mais rigorosas normas de sustentabilidade estará comprometido se seus usuários ou ocupantes precisarem dirigir distâncias muito grades para chegar até ele” (KIBERT, 2020, p. 234).

3.1.1.1 Bicicletas

O uso de bicicletas para se locomover em meio urbano tem aumentado. Segundo o Bike Itaú, um sistema de compartilhamento de bicicletas públicas, “só na cidade de São Paulo foram registradas 1,6 bilhões de bicicletas em 2021, e a tendência da pandemia mostrou que mais pessoas estão se tornando adeptas do ciclismo” (O USO..., 2022). Isso se deve a diversos fatores: baixo custo de manutenção; agilidade, já que não há enfrentamento de trânsito; melhoria do condicionamento físico e mental.

Por outro lado, ainda há muitos fatores que dificultam a adoção efetiva das bicicletas como opção de transporte, como a falta de ciclovias e ciclofaixas. Segundo a Associação Brasileira do Setor de Bicicletas, a Aliança Bike, em 2022 foram registrados 4.198,6 km de estrutura cicloviária. É uma quilometragem bastante significativa, contudo está longe de ser o suficiente para se percorrer caminhos completos em segurança (ASSOCIAÇÃO..., 2023).

Planejar um bicicletário no edifício motiva a aquisição de bicicleta pelos moradores, visto que não precisam se preocupar com a segurança e espaço para seu armazenamento. Além disso, é possível que as construtoras invistam em ciclovias nos municípios, tanto pelo cumprimento de contrapartidas quanto como investimento em marketing, já que estariam aplicando uma melhoria na cidade.

3.1.1.2 Carros elétricos

Segundo a ABVE (2020), uma pesquisa realizada pela Big Data apontou que, em 2020, 71% dos entrevistados consideram provável que seu próximo carro seja elétrico. A questão é: os empreendimentos estão prontos para atender a essa quantidade de veículos?

Para propiciar que seus moradores possuam carros elétricos, é necessário que haja uma infraestrutura voltada para isso. Os carros podem ser recarregados em tomadas convencionais de 3 pinos, contudo há uma perda de energia de 30% nesse caso, segundo a ADAC (2022). Já com o uso de wallbox, um dispositivo voltado especialmente para a recarga de carros elétricos, esse percentual cai para 10%.

Uma opção para os empreendimentos é a implantação de estação compartilhada de recarga, em que qualquer morador possa recarregar seu carro. Outra alternativa é instalar uma tomada ou wallbox em cada vaga, facilitando ainda mais o seu uso. É

recomendado que seja usado um circuito elétrico exclusivo para recarga dos automóveis, a fim de não interferir na parcela de energia disponível para os demais usos.

É imprescindível ressaltar que, apesar de reduzir abundantemente as emissões de dióxido de carbono, a substituição de veículos convencionais por elétricos demanda uma maior quantidade de energia, que preferencialmente deve proceder de fontes renováveis para que a troca seja totalmente efetiva com relação à sustentabilidade.

3.1.1.3 Transporte público

O uso de transporte público reduz a circulação de veículos nas cidades, diminuindo também o trânsito e o tempo de deslocamento. A administração das cidades é a principal responsável pela geração de políticas de incentivo ao uso de transporte público pela população, mas as construtoras também podem atuar nesse sentido. A construção de empreendimentos em terrenos próximos à malha viária é uma forma de incentivo aos usuários da edificação ao uso do transporte público.

O cuidado com o passeio público nas regiões do empreendimento também gera uma sensação de maior segurança por parte dos transeuntes, aumentando a probabilidade de se deslocarem por esses caminhos em direção a pontos de ônibus, por exemplo. Garantir pavimentações acessíveis e iluminação abundante são algumas das alternativas.

3.1.2 Terreno e paisagismo

A ocupação desenfreada do solo nos centros urbanos gera uma série de complicações ao meio ambiente, como a movimentação e mudança de uso do solo, o aumento de áreas impermeáveis, a sobrecarga nos sistemas de fornecimento de água e redes de esgoto, além do descarte excessivo de resíduos. Ao escolher o terreno em que será implantado o empreendimento, todos esses desafios precisam ser considerados para evitar a geração de impactos negativos no entorno. Apesar das adversidades, para Kibert (2020, p. 233) é no uso do solo e do paisagismo que estão as melhores oportunidades para inovação.

A topografia do terreno precisa ser minuciosamente estudada e deve fazer parte do planejamento da edificação para garantir a sustentabilidade na ocupação do lote. O manuseio do solo é prejudicial ao meio ambiente, visto que acarreta na liberação de dióxido de carbono que já havia sido capturado. Para tornar o uso do solo mais sustentável, deve-se priorizar seu reuso, sua descontaminação e aumento da densidade a fim de reduzir a ocupação de áreas virgens. Evitar a utilização de áreas ambientalmente sensíveis, sujeitas a desastres – como enchentes ou deslizamentos –, além de preservar regiões não urbanizadas frente ao uso de terrenos já afetados pelas atividades humanas também são ações que favorecem a sustentabilidade no processo construtivo. A ocupação de terrenos já anteriormente utilizados ou de estruturas subutilizadas são as melhores opções para o desenvolvimento de empreendimentos ecológicos (KIBERT, 2020, p. 233-234).

Em se tratando de riscos devido a alocação de um edifício, ABNT NBR 15575-1/2021 traz recomendações, conforme descrito:

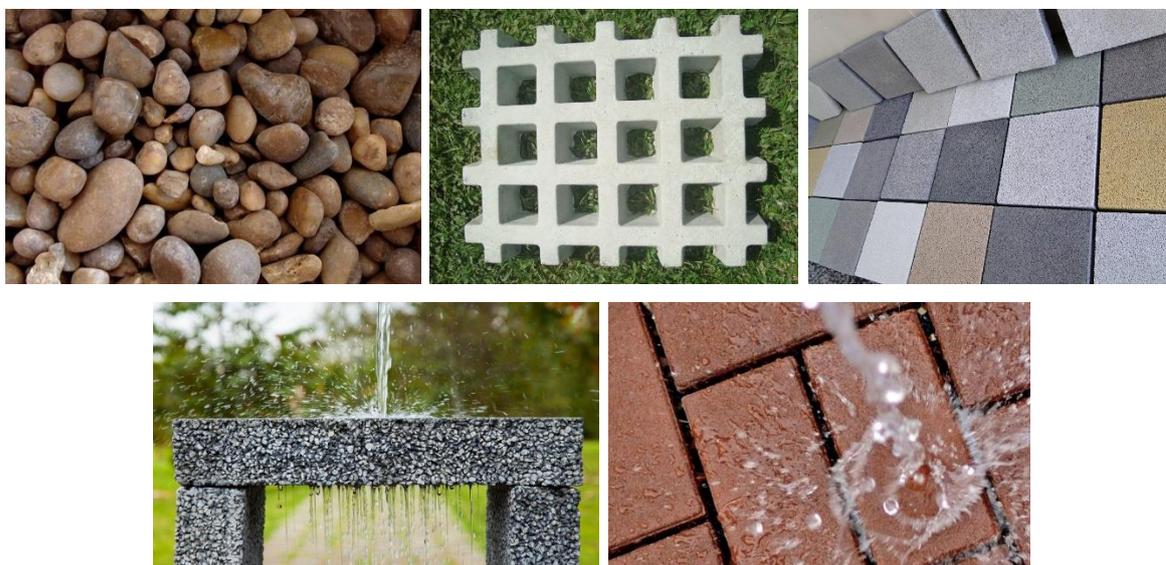
A implantação do empreendimento deve considerar os riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, enchentes, erosões, assoreamento de vales ou cursos d'água, lançamentos de esgoto a céu aberto, contaminação do solo ou da água por efluentes ou outras substâncias, além de outros riscos similares. (ABNT NBR 15575-1/2021).

Ainda segundo Kibert (2020, p. 233), o paisagismo deve deixar de ser tratado como um projeto de amenidades externas e passar a ser um integrador da edificação com a natureza. Para isso, um largo estudo acerca das melhores espécies a serem cultivadas deve ser desenvolvido.

Um fator que merece atenção no planejamento do paisagismo é a taxa de permeabilidade do solo, que corresponde ao percentual de área permeável em relação à área total de um terreno, e é essencial para garantir que as águas das chuvas infiltrem na terra, evitando alagamentos e alimentando os lençóis freáticos. Cada município é responsável por definir sua taxa mínima através do Plano Diretor, sendo obrigatório respeitar esse percentual. Muitas vezes, contudo, essa taxa é atendida apenas até a vistoria pelos fiscais da prefeitura, sendo alocadas, posteriormente, pavimentações impermeáveis sobre o solo, prática contrária à legislação. O modo mais fácil de garantir a permeabilidade do terreno é realizar o planejamento de jardins e áreas verdes nos pavimentos sobre solo, além de acertar na escolha dos revestimentos de piso.

A escolha dos materiais utilizados como revestimentos de pavimentos externos das edificações deve ser minuciosamente planejada, visto que esses materiais afetam a carga térmica da construção (KIBERT, 2020, p. 233). Há no mercado uma série de sistemas, componentes e elementos de pavimentações externas que foram desenvolvidas com o objetivo de permitir a passagem de água e reduzir a retenção de calor. Como exemplo, é possível citar os blocos intertravados sem rejunte e com juntas espaçadas, placas de drenagem, blocos de concreto vazados, seixos e até mesmo pavimentos asfálticos ou de concreto drenantes, representados na Figura 7.

Figura 7 - Da esquerda para a direita: seixo rolado, bloco de concreto vazado, placas de drenagem, pavimento asfáltico drenante e blocos intertravados.



Fonte: O QUE... (2022).

O uso de pavimento de concreto permeável, além de permitir a percolação da água, tem a capacidade de capturar uma parcela de carbono. Segundo Santos (2020), o concreto permeável está sujeito à reação de carbonatação, uma vez que há grande teor de vazios no material permitindo que o gás carbônico reaja com a pasta de cimento componente do concreto, realizando assim a captura de CO₂ presente na atmosfera. Ainda segundo o autor, 1 m² de pavimento de concreto permeável produzido com relação a/c de 0,33 a 0,37, aglomerante CP II F e seixo rolado em duas faixas granulométricas como agregado, apresenta a capacidade de capturar, em média, 10% do carbono emitido em sua produção em um período de 189 dias, correspondente à duração do ensaio. Ainda não há na literatura uma convergência de percentual de captura de CO₂ pelo concreto convencional.

3.1.3 Vegetação

Com o exponencial aumento da área construída nos meios urbanos, a presença de vegetação tem se tornado essencial para a manutenção do clima, da temperatura e da umidade nas cidades. Apesar de ainda serem tratadas como paisagismo contemplativo (CORRÊA, 2015), as áreas verdes atuam na mitigação do calor gerado pelas construções, reduzindo a demanda de energia para resfriamento e calefação no interior das edificações (LIMA, 2019). Também exercem papel fundamental na valorização de imóveis, no conforto visual e acústico, na redução da poluição do ar, sequestram o carbono atmosférico, contribuem para a manutenção da biodiversidade, entre inúmeros outros benefícios (CORRÊA, 2015).

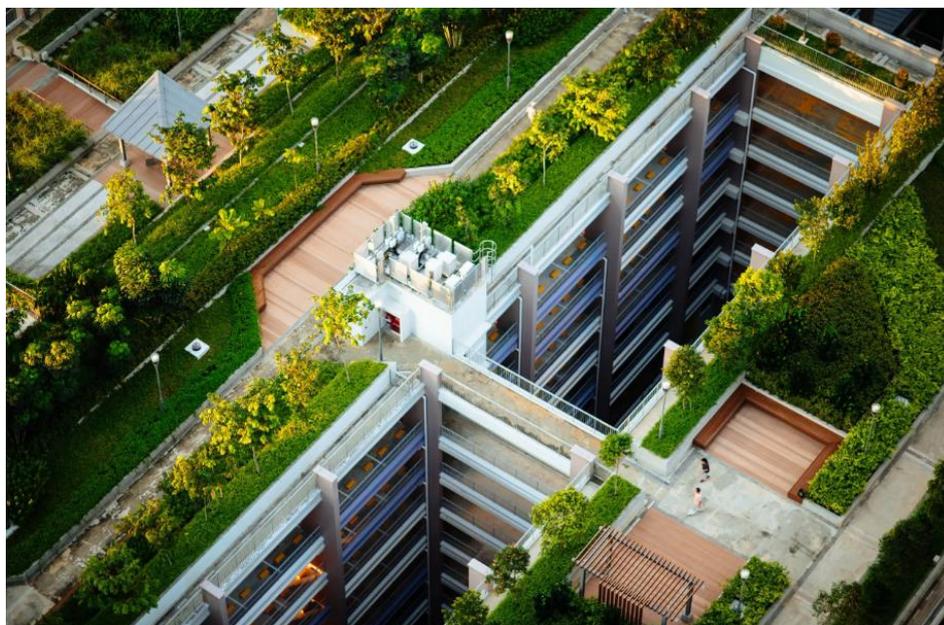
Com o reconhecimento da importância das áreas vegetadas para o desenvolvimento humano, os projetistas passaram a integrá-las ao ambiente construído. Isso porque, além de desempenharem papel fundamental no equilíbrio dos ecossistemas e reduzirem a ocorrência de ilhas de calor, também colaboram para o bem-estar da população. O conforto ambiental é composto por um conjunto de condições que culminam no bem-estar térmico, visual, acústico e olfativo, além de garantir a qualidade do ar. A vegetação, por sua vez, tem a capacidade de integrar todos esses benefícios (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O emprego mais comum de vegetação em edifícios se dá nas áreas de paisagismo. Geralmente localizado sobre o solo, mas também podendo estar alocado sobre laje, o paisagismo funciona como área de lazer, de interação dos moradores com a natureza e de embelezamento. Em muitas ocasiões, investimentos voltados ao paisagismo são minorados, visto que sua composição se dá nos períodos finais da construção, momento em que costuma haver escassez de verbas. Contudo, para se desenvolver um empreendimento sustentável, é essencial que sejam destinados recursos para as vegetações que farão a composição do projeto.

Além do paisagismo, coberturas verdes (Figura 8) estão sendo largamente utilizadas. Segundo Righi *et al.* (2016), essas coberturas têm a capacidade de reter a água da chuva: uma estrutura de 100 m² é capaz de evitar o envio de 1.400 L de água pluvial à rede pública. Além disso, a temperatura nesse sistema não passa de 25°C,

enquanto um telhado convencional atinge até 60°C. Fica evidente que o emprego de coberturas verdes acarreta na menor demanda energética para resfriamento dos ambientes internos.

Figura 8 - Exemplo de cobertura verde.



Fonte: WRI (2021).

Os jardins e florestas verticais, vegetações dispostas ao longo de paredes e até mesmo de fachadas, também têm ganhado espaço nos projetos arquitetônicos. No denso ambiente urbano de Milão, Itália, foi construído o Bosco Verticale (Figura 9), empreendimento vencedor de diversos prêmios de sustentabilidade devido a sua fachada inovadora repleta de vegetações. Projetado pelo arquiteto Stefano Boeri, as duas torres que compõem o projeto são arranha-céus de 76 m e 110 m de altura e abrigam cerca de 20.000 m² de floresta e vegetação rasteira ao longo das fachadas (LIMA, 2019).

Figura 9 - Bosco Verticale, empreendimento de Stefano Boeri construído em Milão.



Fonte: BOERI STUDIO (Acesso em fev. 2023).

A escolha da vegetação a ser cultivada no empreendimento, seja no paisagismo, seja na fachada, merece atenção especial. A preferência sempre deve ser por vegetação nativa, visto que demanda pequenos deslocamentos por parte dos fornecedores, diminuindo a emissão de dióxido de carbono através do transporte, além de apresentar uma fácil adaptação ao ambiente, uma vez que são plantas já habituadas ao clima da região.

A arquiteta Daniela Sedo (FIGUEIREDO, 2015) sugere algumas características de vegetações para lugares específicos: para paisagismo sobre laje, o mais indicado são vegetações de raízes rasas para evitar que as mesmas atinjam tubulações ou provoquem o levantamento de calçadas e pisos; sobre solo permeável, árvores de grande porte que proporcionem sombra são aconselhadas. Abreu e Labaki (2010) apontam as espécies decíduas, como o ipê-amarelo, como boas opções para garantir conforto térmico durante todas as estações do ano; espécies perenes, como jambolão e mangueira, proporcionam maior conforto no verão. Os autores apontam ainda a necessidade de avaliação de outras características, como a densidade da copa e o tamanho das folhas. Para as florestas verticais, o potencial tamanho das árvores precisa ser avaliado para evitar interferências com a estrutura.

A forma de fixação das plantas e a preparação dos substratos são alguns dos desafios presentes na construção civil. Nos paisagismos horizontais sobre laje, é necessário que haja impermeabilização efetiva sem riscos de danos provocados pelas

raízes. Já nos jardins verticais, além da impermeabilização, deve haver um sistema de fixação que impeça as plantas de se desprenderem das paredes. Para prédios altos com árvores alocadas nos últimos pavimentos, deve-se prever a ação dos ventos sobre as mesmas. A carga das folhagens também deve ser prevista no projeto estrutural, principalmente se árvores de médio ou grande porte forem dispostas em sacadas em balanço.

O planejamento do sistema de irrigação é muito importante para garantir a sustentabilidade das áreas verdes. Se o sistema gerar desperdício de água tratada, não servirá como um agente sustentável. No Bosco Verticale, empreendimento mencionado acima, a irrigação se dá por meio do reuso de águas cinzas. Para evitar perdas, é indicado instalar um sistema de reuso de água ou captação de água da chuva.

As plantas realizam a captura de carbono ao absorverem o gás carbônico e água na presença de luz para a síntese de clorofila, realizando o processo fisiológico da fotossíntese (FLOSS, 2006). Ainda é difícil prever a quantidade de carbono a ser capturada pelas áreas vegetadas de empreendimentos, visto que a quantidade varia de acordo com o tipo de vegetação e a área ocupada, além de outras características relacionadas à localização da edificação. Apesar disso, são indiscutíveis os inúmeros benefícios que as áreas verdes oferecem ao ambiente e à população.

3.1.4 Iluminação e ventilação naturais

A redução da demanda energética para aclimação depende inicialmente do projeto arquitetônico. “Novos edifícios devem ser projetados da maneira mais otimizada em termos de energia para garantir que possam funcionar no nível de eficiência para o qual foram projetados para operar” (WEF, 2021, p. 17, tradução nossa).

Questões como a orientação solar, a área de aberturas e o uso de anteparos em fachadas são capazes de gerar grandes economias de energia. O bom aproveitamento da luminosidade e ventilação natural reduz a necessidade do uso de equipamentos de climatização e de iluminação nas unidades, os maiores responsáveis pelo consumo energético em edificações.

A ABNT NBR 15575-4/2021 apresenta as exigências com relação à iluminação e ventilação naturais que devem ser atendidas nos empreendimentos. Para ventilação, exige-se áreas mínimas de abertura de acordo com a zona bioclimática e região. Na Figura 10 estão definidos os percentuais de abertura com relação à área de piso.

Figura 10 - Percentual de abertura de referência para ventilação

Percentual de abertura para ventilação ($P_{V,APP}$) %		
ZB ^a 1 a 7	ZB 8 - Região Norte do Brasil	ZB 8 - Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil
$P_{V,APP} \geq 7,0\%$ da área de piso	$P_{V,APP} \geq 12,0\%$ da área de piso	$P_{V,APP} \geq 8,0\%$ da área de piso
<p>^a ZB é a zona bioclimática, definida pela ABNT NBR 15220-3. Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de abertura para ventilação inferiores aos limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4. NOTA Exclusivamente na aplicação desta Tabela, os APP relativos a quarto com <i>closet</i> podem considerar como área de piso ($A_{p,APP}$) somente o espaço delimitado pela ocupação do quarto, excluindo-se a área do <i>closet</i>.</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2021).

A ABNT NBR 15575-4/2021 também define percentuais de elementos transparentes em fachadas e ângulos de sombreamento ótimos de acordo com a latitude da edificação visando a otimização do aproveitamento da iluminação natural. A ABNT NBR 15575-1/2021, por sua vez, exige que os ambientes de permanência prolongada recebam iluminação natural conveniente, com iluminância geral maior ou igual a 60 lux. Ao se elaborar o projeto arquitetônico, o projetista deve atentar para esses requisitos.

Em regiões úmidas, é oportuno que as fachadas recebam ao máximo a insolação. Isso porque a umidade pode provocar mofo e fungos em regiões que recebam pouca iluminação e ventilação natural, elevando a necessidade de manutenção das áreas afetadas. Em faces desfavorecidas com relação à incidência solar é interessante priorizar a ventilação natural nos ambientes molhados, como cozinhas e banheiros. Além de proporcionar a renovação do ar interior, aberturas para o exterior acarretam na dispensa do uso de ventilações forçadas, que demandam espaço e recursos para a instalação dos dutos, além de energia para seu funcionamento.

No entanto, receber insolação em abundância nem sempre é favorável. Em regiões com climas quentes é essencial que sejam instalados anteparos nas fachadas para reduzir as temperaturas internas em dias ensolarados e aumentar o conforto térmico para os usuários. Desse modo, os climatizadores não são demandados em altas potências, reduzindo o uso de eletricidade. A ABNT NBR 15575-1/2021 apresenta como requisito de temperatura interna máxima em ambientes de permanência prolongada a maior temperatura do ar exterior em dias de verão. Ou seja, em nenhum momento a temperatura nesses locais (dormitórios e salas), sem a presença de fontes de calor, pode ser maior que a temperatura externa.

Segundo Gutierrez (2004), no Brasil, a influência da radiação solar sobre as edificações é crítica devido à faixa de latitudes do país e ao clima, na sua maioria, caracterizado pela grande insolação, alta umidade relativa e predominância do período quente. Para assegurar o conforto térmico dos usuários de uma edificação faz-se necessário o controle do ganho de calor solar. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) trazem, na Figura 11, estratégias a serem adotadas de acordo com a estação do ano e a necessidade de promoção de ganhos ou perdas térmicas, relacionando-a com os mecanismos básicos de trocas de calor.

Figura 11 - Estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto arquitetônico.

		CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	Promover ganhos	Promover ganho de calor solar			
	Resistir às perdas	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar fluxo de ar externo Minimizar infiltração de ar		
VERÃO	Resistir aos ganhos	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar infiltração de ar	Minimizar ganho solar	Promover resfriamento evaporativo
	Promover Perdas	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo	
Fontes de calor			Atmosfera	Sol	
Fontes de resfriamento		Solo	Atmosfera	Céu	Atmosfera

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA (2014)

O uso de brises (Figura 12) é considerado uma opção eficaz para controlar a insolação em ambientes que recebam alta incidência de raios solares. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) consideram que há necessidade de sombreamento em locais cuja temperatura do ar exterior ultrapassa os 20°C. Os brises, por tratarem-se de protetores solares externos, apresentam-se como os mais eficientes, visto que têm a capacidade de barramento do calor antes que ele penetre no ambiente, reduzindo assim as cargas térmicas, melhorando a distribuição da iluminação, permitindo ventilação e diminuindo o consumo energético, entre outras vantagens (SILVA; AMORIM, 2008). Brises móveis tornam-se ainda mais eficazes, uma vez que podem ser controlados de acordo com a posição solar, variável ao longo do dia.

Figura 12 - Brises móveis na fachada do edifício residencial Vértice, em Porto Alegre, projetado pelo escritório Elizabeth Pocztaruk Arquitetos.



Fonte: ELIZABETH POCZTARUK ARQUITETOS (Acesso em fev. 2023).

Outra opção aos brises convencionais é o uso da vegetação como anteparo em fachadas. Além de limitar a entrada de iluminação natural, proporciona aumento da qualidade do ar e reduz a temperatura interna, visto que tem a capacidade de interceptar de 60% a 90% da radiação solar ao absorvê-la para realização da fotossíntese (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A opção por anteparos naturais, como vegetação e madeiras de reflorestamento, utilizados nos pavilhões da Expo

Flora de Taipei (Figura 13), torna a construção mais sustentável, visto que a fabricação de brises de metal ou concreto envolve uma cadeia produtiva com grandes emissões de gases de efeito estufa.

Figura 13 - Pavilhão da Expo Flora de Taipei, em Taiwan, projetado pelo escritório Bio-architecture Formosana.



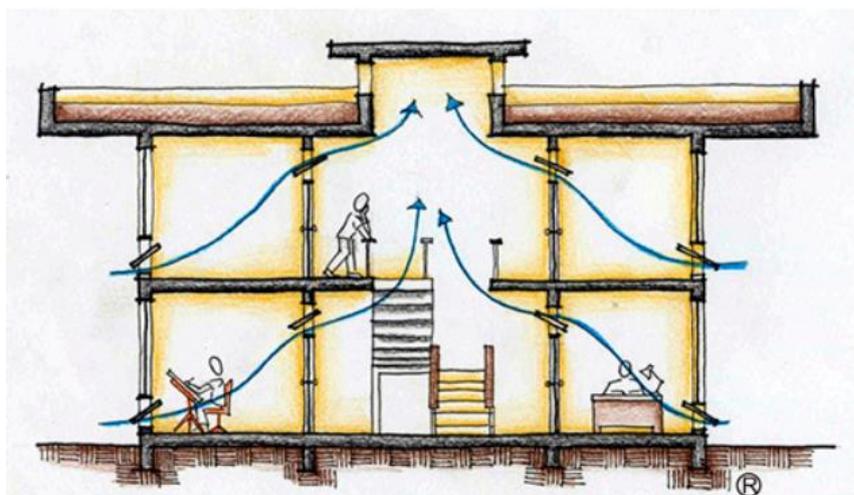
Fonte: PAVILHÕES... (Acesso em fev. 2023).

A área e disposição das aberturas para renovação do ar interior deve ser planejada atentando-se para algumas questões, como o tipo e volume do ambiente em análise, o clima local, a população prevista para a edificação, a produção de odores e poluentes no entorno e os hábitos de seus ocupantes. A faixa de temperatura da zona de conforto térmico é de 18°C a 28°C. Quando a temperatura interna está próxima dos 18°C, deve-se evitar a incidência de ventos, que podem causar desconforto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 86).

Para ambientes alocados em climas frios, o ideal é que as aberturas permitam somente a entrada de ventilação necessária para renovação do ar interno, suficiente para manutenção da higiene. Em edificações localizadas em climas quentes e úmidos, por sua vez, a ventilação cruzada é ideal para remover o excesso de calor do interior dos ambientes, além de aumentar o nível de evaporação dos usuários, elevando a sensação de conforto. Ademais, se associada ao sombreamento, torna-se capaz de reduzir drasticamente a demanda energética para aclimação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 86).

Outra alternativa para a renovação do ar interior é o emprego da ventilação por efeito chaminé (Figura 14), em que aberturas localizadas na parte superior do ambiente permitem a saída do ar quente e, conseqüentemente, mais denso. Essa estratégia é largamente empregada em climas com períodos de pouco vento, em que a ventilação cruzada se mostra insuficiente para renovação do ar (COSTA, 2008, p. 74).

Figura 14 - Ventilação por efeito chaminé.



Fonte: EFEITO... (20--).

3.1.5 Materiais

A escolha de materiais mais sustentáveis na construção civil está ligado a uma série de fatores. Pode-se citar o aproveitamento de produtos recicláveis; reuso ou reciclagem de resíduos; escolha de produtos naturais cuja extração não seja prejudicial ao meio; forma de produção e quantidade de emissões durante o processo; localização dos pontos de extração de matéria-prima e fabricação dos produtos finais; além das distâncias percorridas para entrega e instalação (KIBERT, 2020, p. 361). Apesar de ser um assunto em pauta no ramo, “a determinação de como os materiais e produtos de uma edificação afetarão o ambiente é o problema central do movimento da edificação sustentável que ainda não foi resolvido” (KIBERT, 2020, p. 363). A ABNT NBR 15575-1/2021 recomenda que:

[...] Os empreendimentos sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias-primas. Na

medida do possível, devem ser privilegiados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais até a sua utilização final. (ABNT NBR 15575-1/2021).

3.1.5.1 Concreto

O concreto é o material mais largamente utilizado na construção civil. Composto por cimento, agregados (brita e areia), água e aditivos, vem sofrendo significativas alterações na sua composição, principalmente na quantidade e tipo de aditivos, a fim de se desenvolverem alternativas menos agressivas ambientalmente.

O setor cimenteiro é responsável por 7% das emissões globais de CO₂, podendo aumentar sua participação em 4% até 2050 (WBCSD, 2018). Na produção do concreto, o cimento é responsável por 88,6% a 92,2% das emissões totais de CO₂ (LIMA, 2010). Desse percentual, cerca de 50% da liberação do dióxido de carbono ocorrem no processo de descarbonatação da rocha calcária, e os outros 50% na queima dos combustíveis (em sua maioria fósseis) que permitem tal processo (PADE; GUIMARÃES, 2007). Esse aglomerante hidráulico apresenta uma taxa mundial de emissão de CO₂ por tonelada produzida de 633 kg CO₂/t cimento. No Brasil, essa taxa cai para 565 kg CO₂/t cimento devido ao uso de adições em substituição ao clínquer (SNIC, 2021).

Há diversas formas de tornar o concreto mais sustentável. A adição de subprodutos e resíduos acarreta na diminuição do uso do clínquer, reduzindo conseqüentemente as emissões de CO₂.

A produção de cimentos com adições de materiais como escórias siderúrgicas, cinzas volantes, filler calcário e argilas calcinadas, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, contribui significativamente para a redução de emissões e do consumo de combustíveis, representando também uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos e para a preservação de recursos naturais não renováveis. (SNIC, 2021).

Em estudo desenvolvido por Silva, Selegim e Kawakame (2019) adicionou-se resíduo fino de britagem em complemento ao agregado miúdo (areia grossa) na fabricação do concreto. Os autores concluíram que a adição do resíduo resultou em aumento da resistência do concreto quando o percentual considerado foi de 10% (aumento da resistência em 3,8%), 20% (aumento da resistência em 56,5%) e 30% (aumento da resistência em 3,4%). Acima de 30%, o concreto passou a apresentar resistências menores que as atingidas sem a adição de resíduos finos de britagem.

Além disso, com a adição de 10% e 20% de resíduo constatou-se que houve redução na quantidade de poros, tornando-o menos propenso à entrada de umidade. Nenhum dos concretos foi considerado apto a exercer funções estruturais, muito devido a necessidade de adição de mais água para atingir a trabalhabilidade adequada, mas é uma excelente opção para usos não estruturais.

O emprego de cinza volante em substituição ao cimento, obtida pela queima do carvão mineral em termelétricas, também tem se mostrado uma alternativa viável. Matos, Junckes e Prudêncio Jr (2019) desenvolveram um estudo comparativo entre um concreto produzido com cimento CP V-ARI com resistências de 35 MPa, 45 MPa e 55 MPa e amostras com 0%, 15%, 30% e 45% de cinza volante. Os corpos de prova foram curados no regime adiabático e natural. A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que houve aumento de resistência à compressão em todos os corpos de prova com adição de cinza volante, exceto no exemplar de 35 MPa com 15% de cinza volante.

O uso de cinza de casca de arroz – obtida após a queima da casca de arroz originada no seu beneficiamento – na composição do concreto, tem sido alvo de diversos estudos. Cezar (2011) comparou a utilização de um concreto estrutural composto por 80% de aglomerante CP II-Z 32 e 20% de cinza volante com o mesmo concreto realizando a substituição da cinza volante por cinza de casca de arroz. O autor concluiu que a substituição da cinza volante pela cinza de casca de arroz moída acarretou em um “aumento em sua resistência à compressão axial com a diminuição da relação água/aglomerante e com o aumento do grau de hidratação”. 182 dias após a concretagem, o concreto com relação a/c de 0,45 resistiu 2,7% mais que o concreto de referência, o concreto com relação a/c de 0,55 resistiu 14,3% mais, e o concreto com relação a/c de 0,65 resistiu 7,9% acima do concreto de referência.

Apesar de ser visto como um dos vilões da construção no âmbito ambiental, o concreto tem a capacidade de reabsorver parte do dióxido de carbono emitido na sua produção. Isso porque o material, ao ser exposto ao oxigênio na presença de água, sofre reações que resultam na carbonatação, que é a captura de carbono presente no meio. Essa reação é considerada um mecanismo de deterioração, visto que torna a armadura suscetível à corrosão. Por essa razão, a carbonatação não é almejada em estruturas de concreto armado, mas pode ser considerado um meio de captura de

carbono em estruturas não armadas, como em pavimentações e paredes de concreto (FELIX; POSSAN, 2018).

A etapa de demolição da estrutura de concreto também tem a capacidade de reabsorver o dióxido de carbono emitido. Segundo Felix e Possan (2018), a carbonatação nesse período depende fortemente das dimensões do material demolido e das condições de exposição ao meio.

Um estudo realizado por Felix e Possan (2018) concluiu que, quanto maior o consumo de cimento para produção de concreto, maior o volume de CO₂ liberado na atmosfera e menor a taxa de captura do gás. Concretos produzidos com consumo de cimento na faixa de 380 kg/m³ e 420 kg/m³ apresentaram maior frente de carbonatação, independentemente do tipo de cimento, capturando cerca de 90% do carbono emitido na sua produção. Importante destacar que esse percentual somente foi atingido graças a etapa de demolição, com captura em média 60% superior ao período de vida útil da estrutura. Além disso, o concreto utilizado não recebeu nenhum tipo de revestimento.

Em estudo desenvolvido por Souza, Soriano e Patino (2016), o uso de tijolos cerâmicos como agregado (grúdo e miúdo) na composição de concreto para a produção de pavers (a serem utilizados em pavimentação) concluiu sua viabilidade técnica e econômica. Na pesquisa, foram produzidas amostras cuja composição consistiu na substituição de 80% a 100% dos agregados convencionais (brita e areia) por resíduos de tijolos cerâmicos triturados. As amostras apresentaram resistência à compressão de 11,66 MPa (em que 80% da massa de agregados grúdo e miúdo foi substituída por tijolos cerâmicos triturados em granulometria semelhante) a 27,94 MPa (em que 80% do agregado miúdo foi substituído por tijolo cerâmico triturado em granulometria semelhante).

É válido ressaltar que, em se tratando do uso de adições e resíduos na produção de concreto, há a necessidade de consumo de energia para transformação desses insumos a fim de serem incorporados no concreto. Deve-se avaliar o processo de transformação dos mesmos para definição da viabilidade pelo viés sustentável, visto que pode acarretar em emissão de poluentes.

3.1.5.2 Aço

O aço, assim como o cimento, é imprescindível na construção civil. Usado de diversas formas, como armaduras para concreto armado, em estruturas metálicas ou em serralherias, sua produção gera elevados impactos ambientais. No Brasil, existem duas rotas tecnológicas na produção de aço: usinas integradas a coque e usinas semi-integradas (CETESB, 2018).

Nas usinas integradas, a primeira etapa é a produção do coque, a partir do carvão mineral, e de sinter e pelota, a partir do minério de ferro. Na etapa de redução, ocorre a fusão do coque, pelota e sinter, originando o ferro gusa e subprodutos. Essa etapa ocorre em alto-forno com temperatura média de 1.500°C, alcançada com a queima de carvão mineral ou vegetal. O produto do alto-forno é o ferro gusa que, através das aciarias, passa por um processo de refino, originando o aço (CGEE, 2010).

Nas usinas semi-integradas não há a etapa de redução, visto que como matéria-prima utiliza-se sucata, ferro diretamente reduzido, ferro biquetado a quente e, em menor escala, ferro gusa. Por se tratar de um processo mais compacto, as usinas semi-integradas demandam menos energia e geram menos resíduos (CGEE, 2010).

Os principais impactos gerados pela indústria siderúrgica consistem na poluição ambiental, com a emissão de GEE, contaminação de recursos hídricos e geração de resíduos (CETESB, 2018). Para produção de uma tonelada de aço bruto são emitidos 1.510 a 1.950 kg de CO₂ em usinas integradas, e 450 a 600 kg de CO₂ em usinas semi-integradas (CGEE, 2010). A etapa de redução das usinas integradas concentra 80%–85% da demanda de energia em todo o processo. Já nas usinas semi-integradas, a etapa com maior demanda de energia ocorre na etapa de refino, entre 70%–75% do consumo (CGEE, 2010).

Os resíduos oriundos da produção do aço são tratados, em sua maioria, como subprodutos, visto que são reaproveitados nos ciclos produtivos de outros materiais. A escória de alto-forno, por exemplo, é utilizada na fabricação de cimento (CETESB-SP, 2018). Esse fator faz com que haja poucas perdas de matérias-primas.

A queima de carvão vegetal oriundo de madeira reflorestada em detrimento do carvão mineral é uma alternativa para tornar o processo um pouco mais sustentável,

visto que resulta em um balanço neutro de carbono. Porém, o uso de carvão vegetal é uma peculiaridade do mercado brasileiro, não sendo utilizado nos demais países (CGEE, 2010).

Um estudo desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo avaliou a utilização de tecnologias de baixo carbono na produção do aço, com o objetivo de diminuir a emissão de GEE e a utilização de energia elétrica no ciclo produtivo (CETESB, 2018).

Nas usinas integradas, a tecnologia estudada foi a utilização de Turbina de Recuperação dos Gases no Topo de Alto-Forno (TGRBF). “Essa tecnologia captura os gases de exaustão do Alto-Forno, segrega o CO₂ do CO. O CO é reinjetado no forno com oxigênio, reduzindo o consumo de coque. O CO₂ capturado é removido por um processo de absorção química com o uso do solvente Metildietanolamina / Piperazina”. Então, o CO₂ capturado é destinado a um reservatório geológico. Somente com a correta destinação do gás é possível tornar a tecnologia útil (CETESB, 2018).

A tecnologia TGRBF foi testada pelo programa europeu ULCOS em um alto-forno experimental na Suécia, concluindo que há a possibilidade de captura de 60% do CO₂. No processo de extração de CO₂ ocorre uma corrente de ar rica em CO no alto-forno, possibilitando a redução de até 30% do uso do coque. Os resultados são promissores, contudo, há a expectativa de que essa tecnologia esteja disponível no Brasil apenas a partir de 2030 (CETESB, 2018).

Nas usinas semi-integradas, estudou-se duas tecnologias: o sistema Consteel e o sistema de Fornos Elétricos a Arco (FEA) com transformador de corrente contínua, ambas almejando a redução da demanda de energia elétrica. Na projeção para o período 2014-2030, estimou-se que a combinação dos sistemas resultaria na economia de 1.287 GWh (CETESB, 2018).

Ainda segundo o estudo da CETESB (2018), o custo estimado para implementação da TGRBF em uma usina é de US\$ 330/t aço, da FEA é de US\$ 584/t aço e do sistema Consteel é de US\$ 583/t aço. Se incorporados ao custo do aço, o preço do mesmo seria, ao menos, dobrado.

O setor siderúrgico tem grande potencial para reduzir seus impactos ambientais, visto que já há estudos avançados nesse sentido. Contudo, é necessário que as siderúrgicas iniciem o processo de mitigação de suas ações, através do uso de carvão vegetal proveniente de reflorestamento e plantio de árvores para futuro uso, além da gestão do descarte de resíduos para evitar a poluição do solo e dos recursos hídricos. O aço é um material altamente reciclável, bastando haver a gestão de sucatas provenientes da obsolescência para que as mesmas sejam reincorporadas na produção de novas levas do material.

Apesar de o aço ainda ser tratado como essencial em elementos estruturais, já há no mercado alternativas com desempenho semelhante e com menores emissões de GEE em sua produção. Os vergalhões de Polímeros Reforçados com Fibras (FRP) estão sendo amplamente estudados e apresentam resultados promissores. As principais fibras utilizadas são as fibras de vidro (GFRP), carbono (CFRP) e basalto (BFRP). Além de apresentarem boas propriedades físicas, não sofrem corrosão, uma das principais deficiências do aço.

Em estudo desenvolvido por Duarte et al. (2021), a emissão de CO₂ e o consumo energético de vergalhões de GFRP e BFRP são comparados com o aço. Na Tabela 1 estão evidenciados os resultados para o conjunto de 3 barras longitudinais de 10 mm de diâmetro e 300 cm de comprimento.

Tabela 1 - Comparativo de características físicas, emissivas e de consumo energético para vergalhões de aço, GFRP e BFRP.

Material	Peso específico [g/cm³]	Peso [kg]	Emissão de CO₂ [kg CO₂]	Consumo energético [MJ]
Aço	7,85	5,55	36,69	470,40
GFRP	2,08	1,47	11,85	167,89
BFRP	2,01	1,42	8,94	-

Fonte: Duarte et al. (2021, adaptado).

Como é possível observar, as barras de GFRP e BFRP apresentaram redução de 67,70% e 75,63%, respectivamente, de emissões de CO₂ com relação ao aço. Além disso, os vergalhões de GFRP consumiram 64,31% menos energia que o aço em sua fabricação (DUARTE et al., 2021).

Além de apresentarem menor peso específico, algo positivo em estruturas, os vergalhões de GFRP têm resistência à tração semelhante ao aço. Segundo Tavares (2006), a resistência última de uma barra de diâmetro 6,3 mm de GFRP é de aproximadamente 600 MPa, valor análogo à barra de aço de mesmo diâmetro.

Contudo, algumas características da fibra de vidro são indesejáveis. Além de perder suas propriedades em temperaturas superiores a 80°C, o material é frágil, apresentando rupturas bruscas, comportamento indesejado pelos projetistas. O material apresenta ainda o agravante de diminuição da resistência à tração proporcional ao aumento do diâmetro das barras (CAMACHO, 2011, p. 54).

É fato que materiais mais sustentáveis para substituição do aço têm sido desenvolvidos. Contudo, ainda demandam estudos a fim de torná-los competitivos, tanto em propriedades mecânicas quanto em custo, para que se tornem alternativas viáveis na construção.

3.1.5.3 Cerâmica

Materiais cerâmicos são empregados na construção civil de diversas formas, como tijolos ou blocos cerâmicos para vedação ou com função estrutural, telhas e revestimentos de pisos e paredes, além de louças sanitárias e de mesa. Apesar da larga escala de utilização desses produtos, o setor de fabricação de materiais cerâmicos ainda é considerado arcaico, tendo em vista seus métodos antiquados e pouco inovadores, além da falta de controle de qualidade, enfrentamento de problemas ambientais e econômicos, dentre outros (MANFREDINI; SATTLER, 2005).

A produção de materiais cerâmicos demanda grande quantidade de energia em todo seu processo, desde o transporte dos insumos até a queima da cerâmica. No ano de 2000, no Rio Grande do Sul, o setor foi responsável por um consumo de $124,74 \times 10^3$ tep/ano (tonelada equivalente de petróleo/ano). No Brasil, o consumo chegou a 3.494×10^3 tep/ano (MANFREDINI; SATTLER, 2005). O combustível mais utilizado no Rio Grande do sul é composto por biomassa (lenha, serragem, cavaco, retalhos de móveis e sabugo de milho), gerando 92,15% da energia consumida (MANFREDINI; SATTLER, 2005). Outras fontes de energia utilizadas no Brasil nos processos de fabricação de peças são o gás natural e o gás liquefeito de petróleo (CETESB, 2006, p. 56).

Uma das etapas de produção que mais consome energia é a secagem das peças, que pode se dar por processo natural (apenas com o ar ambiente, sem uso de energia) ou por meio artificial. Neste caso, há três tipos de fornos mais comumente utilizados: intermitente, com uma demanda elevada de combustível e utilizado majoritariamente em empresas de pequeno porte; semicontínuos, em que há reaproveitamento do calor da queima; e tipo túnel, com ciclos contínuos de aquecimento e resfriamento, presentes principalmente em empresas de grande porte (MANFREDINI; SATTLER, 2005).

Previsivelmente, as atividades que mais geram emissões de CO₂ são as etapas de secagem e transporte (de matérias-primas e produto acabado), em que há queima de combustíveis. Para a secagem da cerâmica, a utilização de carvão vegetal proveniente de reflorestamento e outras biomassas originadas de resíduos descontaminados é um meio efetivo de tornar o processo mais sustentável, visto que o balanço da queima desses insumos é neutro em carbono. Para isso, é necessário que as indústrias se certifiquem da origem desses combustíveis, prática inusual no setor.

Outro impacto gerado pelo setor é a degradação do solo e de recursos hídricos, além do consumo de recursos naturais na etapa de extração de argila, que é encontrada majoritariamente em leitos de rios e barragens (MACIEL; FREITAS, 2013). O planejamento dos pontos de extração de argila é uma forma de evitar degradação ambiental (CETESB, 2006, p. 78).

Após a extração, há o período de sazonalidade, em que a argila é estocada (em geral, a céu aberto) para decomposição da matéria orgânica presente na mesma. Essas duas atividades ocasionam a suspensão de partículas ricas em metais e emissão de CO₂ (MACIEL; FREITAS, 2013). Para evitar o espalhamento de partículas contaminadas pelo ar, o uso de coberturas em caminhões de transporte da matéria-prima e a sua correta estocagem são alternativas de fácil execução (CETESB, 2006, p. 78).

Também há grande geração de resíduos ao longo do processo. Como não há controle de qualidade efetivo, um percentual considerável (e variável) de peças apresenta defeitos que as impedem de serem encaminhadas ao mercado. Entretanto, esses resíduos podem ser reaproveitados de outras formas, como em decoração de

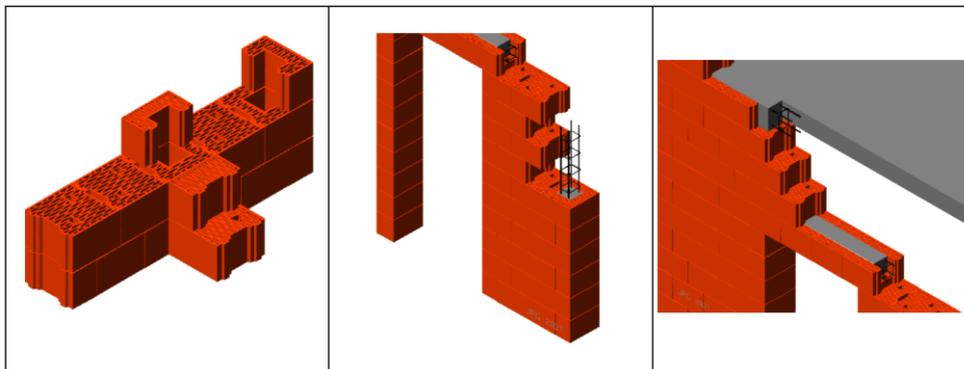
pavimentações ou cascalho. Outra forma de reaproveitar os resíduos gerados é reinseri-los como matéria prima no processo de fabricação dos elementos em questão.

A demanda de água para produção de cerâmicas é elevada. Em grande parte do ciclo se utiliza água, como “na preparação da argila e de esmaltes líquidos, nos corpos de argila para extrusão e moldagem, e na moagem por via úmida” (CETESB, 2006, p. 54). A utilização de água da chuva tratada é uma opção para reduzir o desperdício do recurso, que também pode ser reaproveitado para lavagem dos equipamentos e demais instalações industriais (CETESB, 2006, p. 56).

O descarte inadequado de peças cerâmicas é capaz de provocar contaminação dos solos e lençóis freáticos, visto que possuem em sua composição metais pesados como chumbo e zinco, além de cloros, sulfatos, fosfatos e outros contaminantes (CETESB, 2006, p. 66). Na construção civil, os materiais que tiverem o descarte como destino precisam ser levados a aterros preparados para receber esse tipo de produto, visto que precisam passar pela correta compactação para evitar que seus componentes sejam disseminados pelo solo.

Algumas pesquisas apontam para a possibilidade de produção de materiais cerâmicos mais sustentáveis. Uma delas é a criação de um bloco produzido com resíduos de celulose ou madeiras (Figura 15), cuja produção demanda consideravelmente menos combustíveis para queima dos produtos. O desempenho térmico da cerâmica sustentável obteve ótimos resultados, reduzindo em 36% o coeficiente global de transmissão térmica com relação ao sistema tradicional (DIAS et al., 2008). Contudo, ainda é necessário que sejam empregados mais recursos em pesquisas e estudos para ampliar as possibilidades de desenvolvimento de cerâmicas sustentáveis.

Figura 15 – Detalhe de bloco produzido com resíduos de celulose ou madeiras.



Fonte: Dias et al. (2008).

A produção de blocos a partir de resíduos plásticos (Figura 16) já é uma opção encontrada no mercado. Produzido a partir de resíduos retirados do oceano, o bloco pode ser utilizado para construção de muros e estruturas pouco carregadas, visto que apresenta resistência menor que o tijolo convencional. Esse material, além de ser sustentável em essência, não demanda a utilização de argamassa, visto que o encaixe dos blocos é realizado por sua própria geometria. Segundo a desenvolvedora do produto, a startup ByFusion, o tijolo ecológico emite 82% menos CO₂ que o material convencional, além de não gerar resíduos em sua produção, visto que todo plástico coletado é transformado em bloco (RESHAPING..., 20--).

Figura 16 – Bloco produzido a partir de resíduos plásticos.



Fonte: RESHAPING... (20--).

3.1.5.4 Madeira

A construção sustentável está, em sua essência, em sintonia com a natureza. Utilizar matérias provenientes dela com aplicação direta, desde que extraídas e processadas de forma a não causar danos ambientais, é a melhor forma de manter o equilíbrio entre o meio construído e o ecossistema que o cerca. Alguns materiais naturais já são empregados na construção civil, como a madeira de florestas plantadas, usada para fins estruturais, revestimentos, vedações, móveis ou decoração. Outros ainda estão ganhando espaço, como o bambu. A tendência é que esses elementos ganhem cada vez mais destaque nas construções verdes.

“A madeira é um importante exemplo de biotecnologia preventiva, isto é, tecnologia para substituir materiais com grande impacto ambiental, que possibilita a manutenção dos níveis de dióxido de carbono, além de apresentar a possibilidade de reutilização ou reciclagem em sua totalidade” (DE MAGALHÃES; DOS SANTOS, 2009). A energia gasta para a produção de madeira *in natura* é a mais barata e abundante: a energia solar, que permite a fotossíntese, fornecendo nutrientes à vegetação e capturando carbono (OLIVEIRA; WAGNER; GROHMANN, 1997).

As árvores são grandes fontes de sumidouro de dióxido de carbono. Nesse sentido, é importante ressaltar que as árvores em crescimento apresentam maiores potenciais de absorção do gás do que as árvores adultas. Dessa forma, a finalização do ciclo de vida de árvores que já capturaram sua parcela de CO₂ faz parte do seu ciclo, podendo ser utilizada na construção civil sem gerar danos ao ecossistema (SOUZA, 2010).

Uma das questões que restringe o uso da madeira é a grande variabilidade da qualidade, posto que é proveniente de um ser vivo que se desenvolve de acordo com as características do meio. Por isso, a fiscalização dos fornecedores e a exigência da qualidade do material são formas de aumentar o seu padrão (YUBA, 2001; ZENID, 2011). A ABNT NBR 15575-1/2021 recomenda que sejam utilizadas madeiras com “certificação legal ou provenientes de plano de manejo aprovado pelos órgãos ambientais”.

As características higroscópicas da madeira também geram hesitações na escolha do material, uma vez que é extremamente suscetível à umidade. Além disso, sua susceptibilidade ao fogo também gera desconforto aos usuários. Entretanto,

essas questões são facilmente resolvidas ao se empregar tecnologias já desenvolvidas e largamente utilizadas para proteção dessas estruturas.

Edificações de múltiplos pavimentos que utilizam madeira como elemento estrutural já são realidade. A Torre Mjosa (Figura 17), localizada na Noruega, possui 18 pavimentos distribuídos em 85,4 m de altura. O material utilizado foi o Kerto LVL, laminado que pode ser usado em várias etapas da construção civil (O EDIFÍCIO..., 2021). A torre possui trechos em concreto nos pavimentos superiores para aumentar a resistência aos ventos, visto que a madeira é um material leve (THORNS, 2018).

Figura 17 – Torre Mjosa, projetada pelo arquiteto Voll Arkitekter, localizada na Noruega.



Fonte: THORNS (2018).

A tendência é que construções de grande porte em madeira se tornem mais comuns, visto que a redução dos impactos ambientais é significativa. A madeira engenheirada, inovação recente no setor, está ganhando espaço no mercado. Trata-se da madeira beneficiada a partir de processos industriais que aumentam seu desempenho, colocando-a em patamares semelhantes ao concreto e aço e reduzindo drasticamente as emissões de dióxido de carbono. Nos Estados Unidos, o primeiro edifício com estrutura em madeira engenheirada já foi construído. Composto por 25 pavimentos, 259 apartamentos e 86,5 m de altura, o Ascent (Figura 18), edifício projetado pelo escritório Korb + Associates Architects, evidencia a tendência da construção civil (EDIFÍCIOS..., 2022).

Figura 18 – Edifício Ascent, nos Estados Unidos, com estrutura em madeira engenheirada, projetado pelo escritório Korb + Associates Architects.



Fonte: THORNTON THOMASETTI (Acesso em mar. 2023).

3.2 Fase de construção: ações no canteiro

A fase de canteiro de obras é a principal responsável pelos desperdícios de recursos na construção civil. A falta de infraestrutura, a corrida contra o tempo, a falta de planejamento e projetos executivos, além das adversidades inesperadas, fazem com que a preocupação com a gestão de materiais fique em segundo plano. Por esse motivo, a fase de construção apresenta muitas oportunidades voltadas à redução de desperdícios e ao eficiente uso dos recursos disponíveis.

3.2.1 Gestão de resíduos

No Brasil, a construção civil é responsável pela geração de 100 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) por ano. A produção de

entulhos, como são chamados os resíduos de construção civil (RCC), além de provocar impactos ambientais, visto que apenas 20% dessa quantidade é destinada corretamente, também culmina em desperdício de recursos econômicos (ABRECON, 2022).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), os resíduos da construção civil são aqueles “gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”. A lei define, ainda, que os geradores dos resíduos são os responsáveis pela sua correta destinação. A ABRECON (2022) classifica os RCD's em três grupos:

- Grupo I: materiais compostos de cimento, cal, areia e brita (concretos, argamassa, blocos de concreto);
- Grupo II: materiais cerâmicos (telhas, manilhas, tijolos, azulejos);
- Grupo III: materiais não-recicláveis (solo, gesso, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor).

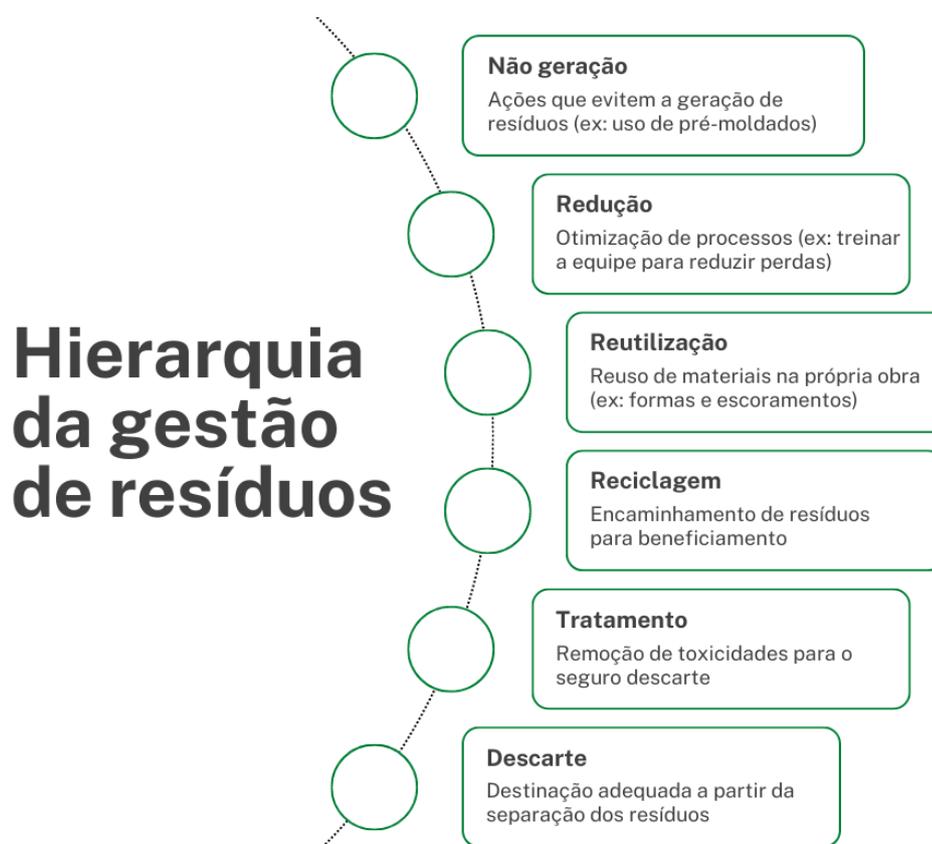
Ainda segundo a associação, alguns dos resíduos podem ser reaproveitados na própria obra. Outros, se separados corretamente, podem ser destinados ao descarte de maneira mais barata (ABRECON, 2022).

A eficiente gestão e o adequado gerenciamento dos resíduos produzidos são fundamentais para sua correta destinação. Apesar da aparente semelhança entre os termos “gestão” e “gerenciamento”, os dois diferenciam-se pelos agentes responsáveis por sua execução. Enquanto a gestão dos resíduos fica a cargo do poder público, com o papel de criar leis, estabelecer políticas públicas e elaborar diretrizes para direcionar a ação dos responsáveis pela produção de resíduos, o gerenciamento fica em total controle dos gestores da obra, que devem criar logísticas para assegurar o correto fluxo dos RCC's até seu descarte (NAGALLI, 2016, p. 4).

Os RCC's caracterizam-se por sofrerem pouca ou nenhuma modificação ao longo do tempo, isto é, não são absorvidos pela natureza nem apresentam redução de volume. Esse fato culmina na demanda por numerosos aterros para descarte dos resíduos não reaproveitados, provocando ocupação e poluição de áreas que poderiam ser melhor utilizadas.

Para garantir a redução de perdas e de produção de RCC's, atentar para a hierarquia do sistema de gerenciamento de resíduos (Figura 19) é fundamental. O artigo 9º da PNRS (Lei nº 12.305/2010) define que “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

Figura 19 – Hierarquia da gestão de resíduos.



Fonte: NAGALLI (2016, adaptado).

Todo material adquirido e não aproveitado gera prejuízos econômicos à companhia. Além de perder parcelas significativas dos materiais e serviços adquiridos, é necessário empregar recursos na correta destinação das partes desperdiçadas. Evitar esse cenário, felizmente, exige ações de baixa complexidade e baixo custo, como o planejamento otimizado de compra, estocagem e logística em canteiro.

Partindo da primeira etapa da hierarquia da gestão de resíduos, a não geração dos mesmos está diretamente ligada ao evitamento de materiais que possam acarretar em perdas, tanto do próprio insumo quanto de embalagens, por exemplo. Uma substituição válida nesse sentido é a escolha de peças pré-moldadas de

concreto em detrimento de estruturas moldadas *in loco*. As próprias construtoras em geral consideram um percentual de perda de material para concreto produzido por concreteiras para moldagem na obra.

Durante a fase de construção, a redução de desperdícios de materiais começa na estocagem dos mesmos. Planejar adequadamente as zonas de depósitos no canteiro, desde sua localização até sua eficiente vedação, é fundamental para garantir que os insumos não sofram danos por intempéries nem estejam sujeitos a grandes perdas por transporte. Nas etapas da obra em que não há espaços físicos já construídos com possibilidade de serem usados como depósitos, locar estruturas como containers é uma alternativa sustentável, visto que o mesmo poderá ser reaproveitado em outros momentos.

O planejamento da obra a fim de reduzir as perdas de materiais pelas intempéries é uma maneira eficaz de evitar desperdícios. Como exemplo, a empresa MRV Engenharia adotou a prática de executar a infraestrutura de pavimentação, drenagem e instalações em geral, além do estacionamento, antes de iniciar de fato a construção das torres. Esse sequenciamento reduz a perda de materiais que ficariam dispostos no solo, evitando a exposição à chuva e ao vento. Nesse sentido, a limpeza do canteiro também se torna mais ágil, visto que não há lama no terreno (SUSTENTABILIDADE..., 2022).

A compra de materiais em quantidades adequadas a fim de que não sejam necessárias grandes áreas para estocagem também é fundamental para a logística da obra. Planejar os momentos de encomendar material evita que sobrem ou falem peças, além de reduzir a necessidade de espaços subutilizados para armazenagem de insumos. Encomendar a quantidade ideal por pedido também evita que viagens não essenciais sejam feitas pelos fornecedores, as quais podem emitir quantidades elevadas de GEE.

Além do desperdício de insumos em decorrência de sua alocação e transporte, a perda por quebras é bastante comum. Materiais como blocos, tijolos e cerâmicas apresentam uma certa fragilidade, sendo necessária a adoção de métodos adequados de manuseio para evitar fraturas das peças. Para tanto, além de dispor de meios adequados de transporte, proporcionar o treinamento da equipe é fundamental.

A quebra de peças, invariavelmente, ocorre em qualquer canteiro. Nessas situações, todavia, o destino dos fragmentos não precisa ser o descarte. A utilização de resíduos de tijolos cerâmicos como agregados na produção de concreto, por exemplo, tem sido tema de diversas pesquisas, conforme detalhado na subseção 3.1.5.1.

O reaproveitamento de materiais precisa ser um objetivo do canteiro. Além de proporcionar economia de recursos, também aumenta o ciclo de vida dos mesmos. A substituição de formas e escoramentos de madeira (muitas vezes provenientes de extração ilegal) por elementos metálicos (Figura 20) é uma alternativa, visto que podem ser reutilizados diversas vezes, além de terem como destino final a reciclagem. Outra vantagem dos elementos metálicos é a não geração de resíduos na obra, diferentemente das peças de madeira, que demandam uma limpeza após a sua retirada, visto que acarretam no acúmulo de detritos. A opção por materiais metálicos, contudo, precisa ser minuciosamente avaliada quanto à sua produção. Se proveniente de sucatas, esses elementos metálicos podem ser considerados sustentáveis, uma vez que estariam estendendo a vida útil do material. Caso contrário, os elementos em madeira tornam-se a melhor opção pelo viés sustentável.

Figura 20 - Escoramentos metálicos.



Fonte: SISTEMA AuROHR (20--).

Os entulhos que não puderem ser reaproveitados precisam ser adequadamente separados para reciclagem. É essencial a alocação de containers que possibilitem a segregação de materiais recicláveis e não recicláveis para que os mesmos sejam

corretamente destinados pela prefeitura. Para tanto, desenvolver mecanismos de controle e monitoramento por parte da construtora é fundamental, visto que as boas práticas de descarte ainda não são comuns em canteiros de obras. Realizar parcerias com cooperativas de catadores também é uma solução de baixa complexidade e com ganho coletivo.

Uma solução para a destinação dos materiais segregados para descarte é a logística reversa, que consiste em redirecionar esses resíduos de volta para seus fabricantes, que os incorporarão ao novo ciclo produtivo, fomentando a economia circular. Essa prática já é aplicada em alguns materiais como latas de aço, baldes de polipropileno e embalagens de papel (COMO..., 20--). Para adotá-la, a construtora precisa estabelecer um acordo com seus fornecedores, a fim de que eles incorporem a obra em questão no fluxo de coletas de materiais descartados.

O destino final dos entulhos que não puderem ser reaproveitados ou reciclados é o descarte. Os resíduos destinados aos aterros precisam ser previamente avaliados quanto a sua toxicidade, visto que podem provocar severas contaminações do solo. Para tanto, a separação adequada dos materiais a serem descartados e o conhecimento do responsável pela obra quanto a suas propriedades tóxicas é fundamental. Por fim, é de responsabilidade da construtora garantir que o aterro a ser utilizado atende aos requisitos estabelecidos pela Lei.

3.2.2 Eficiência de recursos

O desperdício de água e energia no canteiro é usual em obras convencionais. A má gestão dos recursos, a falta de controle das atividades, a carência de conhecimento por parte da equipe e o pouco tempo disponível para conclusão das tarefas são algumas das razões da má utilização desses recursos. Uma gama de oportunidades de baixo custo e fácil execução podem ser exploradas para reduzir perdas e gerar economias.

3.2.2.1 Energia elétrica

Apesar da carência de dados referentes ao consumo de energia elétrica na etapa de construção, possivelmente pela grande variação de práticas entre obras e

construtoras, é plausível admitir que as atividades que mais demandam energia estão relacionadas ao uso de equipamentos, ferramentas e iluminação, além das demandas de escritório, almoçarifado e copa.

A redução do consumo de energia deve ter início na conscientização dos colaboradores quanto ao seu uso. Utilizar equipamentos por tempo além do necessário, manter a iluminação artificial acesa em ambientes sem necessidade e fazer uso exagerado de climatizadores são alguns dos pontos que podem ser solucionados com treinamentos sobre impactos ambientais. Nos moldes de treinamentos sobre segurança do trabalho, capacitações sobre a responsabilidade individual acerca dos danos provocados ao meio ambiente por práticas incorretas precisam ser tratadas com seriedade.

A aquisição de equipamentos e ferramentas com classificação de consumo energético A na etiquetagem fornecida pelo INMETRO/PROCEL é fundamental para otimizar seu consumo de energia elétrica. Manter uma rotina de avaliação e manutenção dessas ferramentas faz com que sua vida útil seja aumentada, além de reduzir as perdas energéticas (MARQUES; GOMES; BRANDLI, 2017). O mesmo se aplica a eletrodomésticos, condicionadores de ar e computadores.

Lâmpadas incandescentes e fluorescentes devem ser substituídas por lâmpadas de LED. Além de mais eficientes energeticamente, estas geram menos danos ao meio ambiente quando descartadas, visto que as fluorescentes liberam metais pesados, como mercúrio (SALLES, 2014), e as incandescentes já foram removidas do mercado devido aos riscos oferecidos. A utilização de sensores de presença em locais com pouca circulação de pessoas também é uma alternativa para reduzir os custos com iluminação. O descarte de lâmpadas substituídas ou queimadas deve ser feito de maneira adequada, devendo haver ponto de coleta específico no canteiro.

O planejamento otimizado do escritório e salas de reuniões em canteiro é fundamental para reduzir a demanda energética nesses ambientes. Para isso, levar em consideração as características locais e ambientais é uma forma eficiente de gerir os recursos. Alocar as instalações em posições que permitam usufruir da iluminação natural e ventilação cruzada proporciona a redução da demanda de iluminação e ventilação artificiais. Considerar o clima a ser enfrentado nos ciclos da obra também auxilia na melhor alocação das instalações. Nas etapas de infraestrutura, em que

geralmente utiliza-se containers como escritórios, realizar estudos sobre a melhor posição e orientação dos mesmos possibilita a redução significativa de gastos com energia, além de proporcionar um ambiente com maior conforto térmico.

Além disso, instalar placas fotovoltaicas para a geração de energia solar em canteiro é uma alternativa viável na grande maioria das obras. Essas placas podem ser reaproveitadas em outros canteiros ou no próprio empreendimento em construção.

A fim de melhorar o desempenho energético das construtoras, fazer o monitoramento das faturas e o acompanhamento de indicadores pode facilitar a identificação de fontes dissipadoras de energia. Estabelecer metas a serem alcançadas, além de despender recursos para o melhoramento dos sistemas, possibilitam o monitoramento e identificação de falhas operacionais a serem solucionadas.

3.2.2.2 *Água*

A água é um recurso natural amplamente demandado na construção civil. Utilizada na fabricação de materiais, limpeza do canteiro, alimentação e higiene pessoal dos colaboradores, a água está se tornando cada vez mais escassa, vide a crise hídrica enfrentada pelo mundo todo. Por essa razão, o uso consciente e controlado desse recurso precisa ser uma premissa no canteiro de obras.

Assim como no uso de energia elétrica, a tomada de consciência de que o consumo de água deve se dar de maneira responsável é o primeiro passo rumo a redução de desperdícios. Informações sobre a necessidade de economia desse recurso valioso são conhecidas pela população em geral. Contudo, o baixo custo e a falta de fiscalização são fatores desafiadores no cumprimento das premissas. Na construção civil, criar políticas de fiscalização do consumo consciente de água é essencial para iniciar o processo de redução de desperdícios.

Apesar da quase totalidade do uso de água em canteiro ser proveniente de concessionárias, em que há o tratamento completo do recurso, nem todas as atividades demandam o uso de água tratada. A limpeza de equipamentos e da própria obra, por exemplo, pode ser executada com água oriunda da chuva. Para tanto, instalar um sistema de captação de águas pluviais no canteiro é uma estratégia de

baixo custo e alto retorno nas regiões em que há volumes consideráveis de precipitação ao longo do ano.

A captação de água da chuva é benéfica em vários âmbitos. Além de reduzir os custos com água fornecida pela concessionária, também evita a sobrecarga do sistema de vazão e tratamento da rede pública, além de dificultar o transbordamento de fluidos não tratados para corpos hídricos. Segundo Rillo (2006, *apud* DANTAS, 2017), a água pluvial pode ser aproveitada para diversos fins na construção civil, como a fabricação de argamassas e concreto; molhagem de peças e estruturas de concreto durante a cura; lavagem de equipamentos e pneus; umectação de materiais finos, evitando que sejam arrastados pelo vento; e lavagem do próprio canteiro.

Segundo o site da construtora MRV Engenharia, a construtora instala o sistema de captação de água da chuva em seus canteiros (Figura 21). Para isso, alocam-se calhas em posições estratégicas do canteiro para a captação da água pluvial. As calhas conduzem a água para reservatórios, onde ocorre o armazenamento até o uso para fins não potáveis (SISTEMA EM..., 2018).

Figura 21 - Sistema de captação de água da chuva pela construtora MRV.



Fonte: SISTEMA EM... (2018).

Nas instalações provisórias, o ideal é optar por dispositivos que reduzam o consumo de água, como torneiras e chuveiros com restritores de vazão e pressão, bacias com volume de descarga reduzido e duplo acionamento de descarga, além de

registros controladores de fluxo. No canteiro, criar rotinas de verificação e manutenção das instalações a fim de identificar vazamentos e pontos de perda de água é crucial, assim como dimensionar equipes especialmente dedicadas a essa função.

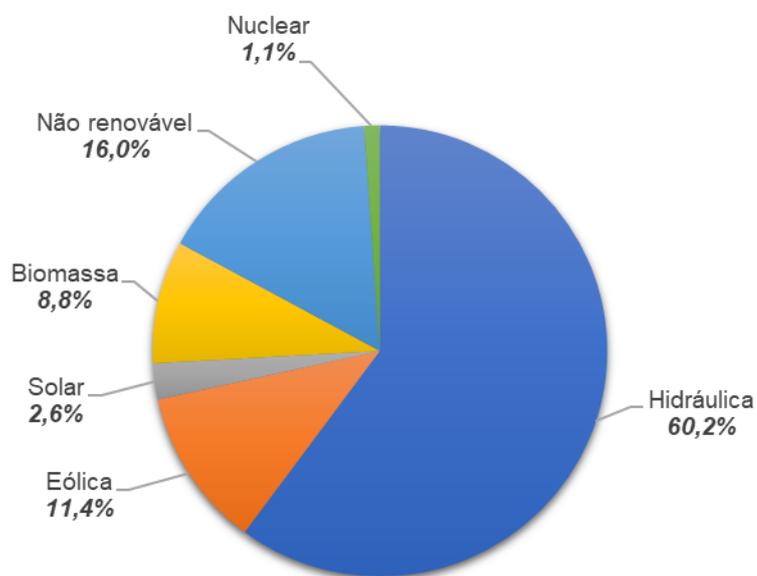
3.3 Fase de ocupação: benefícios ao usuário

A forma como as edificações são projetadas e construídas influencia diretamente no modo como serão utilizadas. Planejar maneiras eficientes de consumos de recursos, como água e energia, é essencial para tornar os edifícios mais sustentáveis. É fato que as construtoras não podem definir como esses recursos serão utilizados pelos futuros usuários, mas há formas de consumo que somente poderão ser adotadas se os edifícios forem pensados com esse propósito.

3.3.1 Eficiência energética

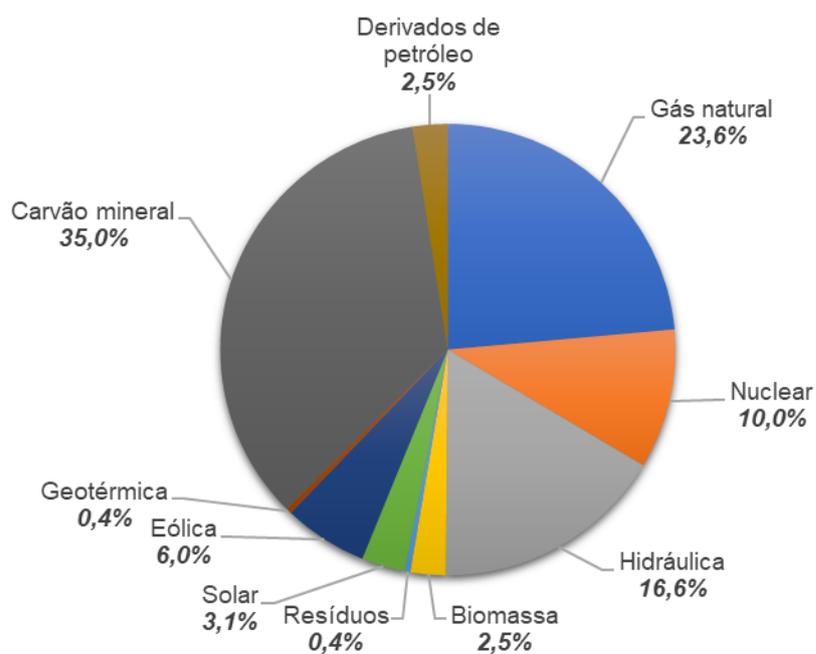
No Brasil, 26,4% da energia elétrica consumida é demandada pelo setor residencial. A matriz elétrica nacional, por sua vez, é majoritariamente renovável, ao contrário da matriz mundial. Conforme o Gráfico 1, cerca de 83% da energia nacional disponível é gerada por fontes renováveis, como hidráulica, eólica, solar e biomassa (EPE, 2021, p. 14). Esse percentual é considerado excelente se comparado à média mundial, em que apenas 28,6% da energia produzida provém de fontes renováveis (IEA, 2022), conforme Gráfico 2.

Gráfico 1 - Composição da matriz elétrica no Brasil.



Fonte: EPE (2021, adaptado).

Gráfico 2 - Composição da matriz elétrica mundial.

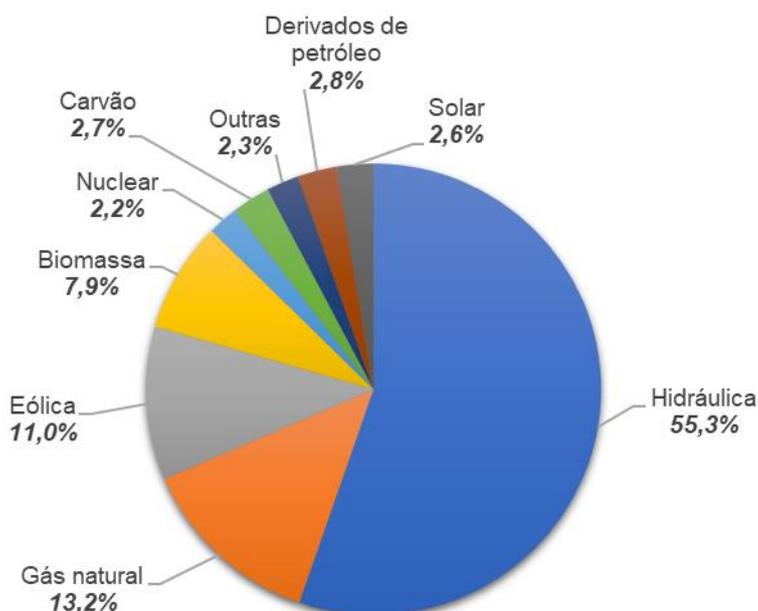


Fonte: IEA (2022, adaptado).

Apesar das fontes energéticas brasileiras serem majoritariamente renováveis, as fontes não renováveis também são amplamente demandadas. Segundo o EPE

(2022), 77,8 milhões de toneladas de CO₂ foram emitidas na geração de energia no Brasil em 2021, valor 45% superior ao ano de 2020. O relatório aponta ainda que 23,2% da energia nacional consumida em 2021 foi gerada por fontes não renováveis, conforme o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Consumo da matriz elétrica no Brasil por fonte.



Fonte: EPE (2022, adaptado).

Um edifício energeticamente eficiente apresenta como atributo inerente o potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, demandando baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para reduzir a demanda energética de uma edificação, é necessária a adoção de estratégias “que levam em conta a orientação solar e a massa da construção para otimizar o aproveitamento da luz diurna e minimizar ganhos térmicos, exceto quando estes forem desejados” (KIBERT, 2020, p. 266). A ABNT NBR 15575-1/2021 traz como alternativas para redução do consumo energético o uso otimizado de iluminação e ventilação naturais, tópicos abordados no capítulo 3.1.4.

Em uma edificação de alto desempenho energético, a demanda de energia elétrica deve ser suprida pelo próprio edifício, visto que este deve produzir sua própria energia (por matrizes solar, eólica, geotérmica, entre outras). “O projeto adequado de uma edificação com consumo energético e pegada de carbono baixos deve ter custos

operacionais muito reduzidos e o mínimo de aumento dos custos de capital, se houver”. Em certos casos, a adoção de estratégias em etapa de projeto pode diminuir os custos de equipamentos de climatização e iluminação (KIBERT, 2020, p. 268).

Questões relacionadas ao uso adequado de ventilação, aquecimento, resfriamento e iluminação artificiais fogem do escopo das construtoras, visto que dependem exclusivamente de seus usuários. A produção de energia limpa, entretanto, pode ser instalada nos empreendimentos, reduzindo significativamente os impactos ambientais provocados pelo consumo energético.

A instalação de placas solares fotovoltaicas para produção de energia nas dependências prediais tem se tornado prática comum. O retorno sobre o investimento tem se mostrado bastante promissor, visto que o custo do sistema apresenta reduções a cada ano. A alocação de placas solares deve ser planejada de forma a receber a maior insolação possível, sendo necessário desenvolver projetos personalizados para cada edificação. Nem sempre esse método de produção de energia é suficiente para suprir a demanda de energia do empreendimento, visto que está limitada a áreas com incidência abundante de insolação, geralmente restritas à cobertura, mas podendo se estender ao longo da fachada.

Em regiões com alta incidência de ventos, a instalação de turbinas eólicas (Figura 22) para produção de energia pode ser uma opção. Além da velocidade dos ventos, a interferência das edificações vizinhas também precisa ser considerada ao se instalar o sistema. O custo das turbinas varia consideravelmente de acordo com a potência requerida, demandando um estudo para definir sua viabilidade econômica.

Figura 22 - Turbinas eólicas em edifício Hilton Fort Lauderdale Beach Resort.



Fonte: TENDÊNCIA... (2015).

Os dois sistemas, solar e eólico, podem ser instalados em conjunto. Em geral, não necessariamente precisam ser incorporados ao edifício ainda em construção, contudo essa ação posiciona as construtoras na linha de frente rumo a produção de energia limpa. Como resultado, a construção civil tem a possibilidade de reduzir os impactos gerados pelos usuários de seus produtos, concomitante à valorização da imagem das próprias construtoras, visto que os sistemas supracitados possibilitam a redução de custos com energia elétrica para seus clientes, além de serem sustentáveis.

3.3.2 *Eficiência hídrica*

Apenas 3% da água existente na Terra é doce, e somente 1% está disponível para consumo (WWF BRASIL, 20--). Apesar da relativa escassez de água potável, e considerando-se que a tendência é que esse percentual diminua ainda mais devido a poluição dos recursos hídricos, esse bem ainda está disponível a baixos custos. Esse fator é um grande desafiador na conscientização da população para a redução da demanda e desperdícios (CADILLAC FAIRVIEW, 2022, p. 18).

O uso eficiente da água proporciona grandes ganhos ambientais, econômicos e de saúde pública, visto que ajuda a melhorar a qualidade da água potável e manter os ecossistemas aquáticos (GBC BRASIL, 2022). Reaproveitar águas cinzas ou pluviais para fins não potáveis é o caminho para a redução do consumo de água fornecida pelas concessionárias.

Os sistemas de captação e reaproveitamento em geral são simples e de baixo custo, podendo ser incorporados sem dificuldades nas edificações em construção ou construídas. Para incentivar a economia de água nos empreendimentos, as construtoras podem instalar os sistemas nas suas obras.

Para instalação do sistema de captação de água da chuva, calhas devem ser alocadas nas coberturas a fim de conduzir as chuvas para reservatórios. Após passar por um filtro, a água é encaminhada para cisternas, onde fica armazenada até o uso (CEDAE, 20--).

As águas cinzas consistem nos efluentes com contribuição de sabão escoados pelas pias e chuveiros. Apresentam baixa contaminação em comparação ao esgoto

doméstico, devendo ser tratada de acordo com o uso para a qual será destinada (ADASA, 2018). Para captação e tratamento de águas cinzas, é necessário destinar tubulações que conduzam os fluidos até a central de tratamento e armazenamento nos condomínios.

As águas pluviais e cinzas podem ser destinadas para diversos fins nos empreendimentos: irrigação do paisagismo, floreiras e telhados verdes; lavanderias condominiais; uso ornamental, como espelhos d'água; descarga de bacias sanitárias; lavagens de pisos, fachadas e veículos de transporte; entre outras demandas não potáveis. É indicado que se façam testes periódicos em laboratórios para observar a qualidade da água de acordo com a sua destinação a fim de evitar contaminações (ADASA, 2018).

4 COMPENSAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

As oportunidades para mitigação dos impactos ambientais provocados pela construção civil são numerosas e variadas, conforme observado ao longo do capítulo 3 deste trabalho. É fato, não obstante, que o setor está distante de atingir o *net-zero*, em que as emissões de carbono seriam integralmente compensadas ou eliminadas. Muitas mudanças nos sistemas, materiais e práticas precisam acontecer para que seja possível a construção de edifícios que não provoquem tantos impactos ambientais, tanto nas etapas de construção como de operação e desapropriação. Enquanto a construção civil não atinge os patamares elevados de proteção ao meio ambiente, ações para compensar esses danos merecem atenção.

As construtoras com enfoque em mitigar e compensar os impactos ambientais por elas provocados precisam, em um primeiro momento, mapear os danos intrínsecos ao processo construtivo. Para tanto, a elaboração de um inventário de emissões de gases de efeito estufa é fundamental para possibilitar o conhecimento de todas as atividades exploratórias e emissoras de GEE. Ao rastrear as emissões de escopos I, II e III, a identificação dos sumidouros de GEE levará à elaboração de ações para mitigá-los e compensá-los.

Admitindo-se que o consumo de energia elétrica é um dos maiores geradores de impactos ambientais no período de operação e uso de edificações, e considerando-se que a instalação de painéis fotovoltaicos diretamente nos edifícios nem sempre é suficiente para suprir a energia demandada, investir em fazendas solares (Figura 23) tem se tornado uma opção interessante para as construtoras. Podendo ser alocadas em terrenos de baixo custo e longe dos centros urbanos, as fazendas podem produzir energia para suprir a demanda de muitos empreendimentos, apresentando variação de capacidade de acordo com a quantidade de placas alocadas.

Figura 23 - Fazenda de painéis solares.



Fonte: FAZENDA.... (20--).

Nas situações em que implementar uma fazenda solar aparenta-se inviável, fazer parcerias com empresas detentoras desse recurso pode se tornar economicamente atrativo, visto que a prática não demanda altos investimentos iniciais. Essa energia limpa pode ser utilizada pelas construtoras, mas também pode ser fornecida aos moradores dos empreendimentos construídos. Realizar o fornecimento de energia renovável aos usuários das edificações a baixo custo é vantajoso para a própria construtora, uma vez que pode utilizar a ação como estratégia para atração de clientes, além de melhorar sua imagem perante os investidores.

Em se tratando de emissões de dióxido de carbono, a captura do CO₂ através do plantio de florestas é uma forma efetiva de compensação. O sequestro de carbono se dá por meio da captura do gás pelas árvores nos períodos de crescimento das mesmas. O gás é fixado na biomassa das árvores, sendo liberado apenas quando há a queima da madeira. É necessário o plantio de 7 árvores para capturar 1 ton de carbono nos primeiros 20 anos de crescimento. Através do inventário de GEE, com a contabilização da quantidade de gases emitidos ao longo do processo construtivo, torna-se possível calcular a quantidade de árvores a serem plantadas para atingir a neutralidade de carbono (IBF, 20--).

Criar unidades de conservação e preservação da biodiversidade são também estratégias para compensar os danos ambientais gerados. Financiar a restauração de

florestas degradadas, proporcionando o reflorestamento das mesmas, são maneiras eficazes de reduzir as mudanças climáticas conjecturadas (IBF, 20--).

É fato que, na maioria dos casos, o plantio de florestas ou o financiamento de unidades de conservação e preservação de espécies não são opções práticas para as construtoras, visto que esses processos precisam ser executados com responsabilidade. A compra de créditos de carbono se apresenta, nesses casos, como uma maneira ágil de compensação de danos.

A aquisição de créditos de carbono pode ser considerada a maneira de compensação de emissões em maior ascensão. Ela se dá através da comercialização de créditos de carbono no mercado regulado ou voluntário, em que a compra de um crédito é equivalente a não emissão de 1 tonelada de CO_{2e}. No mercado regulado, o governo impõe metas de compensação aos setores, que devem reduzir suas emissões de forma obrigatória. Já no mercado voluntário as empresas realizam a aquisição de créditos por interesse próprio. Neste mercado, o preço de um crédito de carbono é até três vezes menor que no mercado regulado (GULIN, 2022).

O Brasil ainda não possui um mercado regulado de comercialização de créditos de carbono, mas está em vias de concretizá-lo. Em maio de 2022 foi publicado o Decreto nº 11.075/22, que “instituiu o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Sinare) [...] e regulamenta os procedimentos para a elaboração dos planos e fortalecimento dos sistemas para a operacionalização do mercado de carbono no país” (ENAP, 2022). Além disso, “o governo federal também enviou ao Congresso o Projeto de Lei nº 528/2021, que institui o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) - voltado para regular a compra e venda de créditos de carbono no Brasil” (ENAP, 2022).

A Even Incorporadora realizou a aquisição de 17,2 mil créditos de carbono em 2021, através dos quais compensou a emissão de 17,2 mil toneladas de CO_{2e} provenientes da construção, transporte de insumos e manutenção de três edifícios entregues em 2021. Os créditos adquiridos são oriundos da captação de gás metano de um aterro localizado em São Paulo e certificado pela ONU (CONSTRUTORAS..., 2022). Essa prática ainda é recente no setor de construção, mas tende a se expandir com a normalização da prática pelas leis brasileiras.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir das discussões abordadas ao longo deste trabalho, é possível estabelecer alternativas para tornar o setor da construção civil mais sustentável e menos provocador de impactos ambientais. Tendo como segmentação as fases de planejamento, construção e ocupação de um empreendimento, esta pesquisa culmina na elaboração de uma matriz de soluções possíveis de serem adotadas em uma construtora brasileira, conforme premissas apresentadas inicialmente. A Tabela 2 constitui-se de um resumo das estratégias levantadas.

Tabela 2 - Compilado de estratégias sustentáveis frente às convencionais com possibilidade de adoção pelas construtoras.

FASE	SOLUÇÃO CONVENCIONAL	IMPACTO GERADO	SOLUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL
PLANEJAMENTO	TERRENO E PAISAGISMO		
	Manuseio do solo para viabilizar a implantação do empreendimento.	Degradação do solo e liberação de CO ₂ na atmosfera.	Priorizar reuso e descontaminação do solo, quando cabível, evitando a ocupação de áreas virgens.
	Ocupação dos terrenos disponíveis sem avaliação de suas condições e dos possíveis impactos a serem provocados.	Super ocupação do solo em áreas sensíveis, favorecendo a ocorrência de desastres.	Incentivo de políticas públicas de habitação que evitem ou minimizem a ocupação de áreas sujeitas a desastres.
		Ocupação de solos virgens.	Priorizar a ocupação de áreas já urbanizadas e estruturas subutilizadas.
Ocupar abundantemente o terreno, atingindo o limite máximo de área construída permitida.	Redução da permeabilidade do solo, impedindo a infiltração de água da chuva, causando alagamentos e evitando a alimentação dos lençóis freáticos.	Sensibilização das empresas na concordância de planos diretores e códigos de obra que permitam planejar áreas consideráveis de jardins e escolher pavimentações permeáveis em pavimentos sobre solo.	

PLANEJAMENTO	VEGETAÇÃO		
	Coberturas e telhados convencionais.	Alta demanda energética para resfriamento das áreas internas.	Utilização de coberturas verdes.
	Fachadas com revestimentos convencionais.		Alocação de vegetação nas fachadas em forma de florestas verticais, quando possível.
	Planejamento de paisagismo contemplativo.	Escolha de espécies de forma não otimizada, prejudicando o desenvolvimento das mesmas.	Escolha de espécies nativas, já adaptadas ao clima local, alocadas estrategicamente no terreno.
	Uso de água fornecida por concessionária para irrigação.	Má ocupação de água tratada.	Utilização de águas cinzas e provenientes da captação da chuva para irrigação.
	ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAIS		
	Planejamento do layout do empreendimento não priorizando a iluminação e a ventilação naturais.	Aumento da demanda energética para iluminação, ventilação e climatização das áreas internas.	Planejamento do layout tendo como prioridade o aproveitamento otimizado da iluminação e ventilação naturais, de acordo com as demandas climáticas locais.
			Alocação de anteparos como brises e vegetações para reduzir insolação abundante em períodos indesejados.
			Planejamento adequado das áreas de aberturas para possibilitar renovação do ar e incidência apropriada de insolação.
	MATERIAIS		
Escolha dos insumos de fornecedores que demandem longas distâncias de transporte.	Processos ambientalmente agressivos durante a fabricação de materiais.	Escolha de materiais que demandam menores quantidades de recursos naturais e com processos de fabricação pouco emissivos.	

PLANEJAMENTO		Elevadas emissões de dióxido de carbono no transporte dos insumos.	Priorizar fornecedores locais, minimizando distâncias de transporte.
	Utilização de concreto convencional moldado <i>in loco</i> .	Emissões abundantes de CO ₂ na fabricação de cimento, além da alta demanda por recursos naturais como água e agregados.	Utilização de concretos com adição de resíduos (como escória de alto forno, cinza volante, cinza de casca de arroz, tijolos cerâmicos triturados) substitutos do cimento e dos agregados, ou de concretos ecológicos à base de geopolímeros.
	Utilização de aço como armaduras, estruturas metálicas e serralherias.	Emissões abundantes de CO ₂ na fabricação do aço, além da contaminação de recursos hídricos e geração de resíduos.	Reaproveitamento de sucatas e de subprodutos gerado em sua fabricação.
			Utilização de vergalhões de polímeros reforçados com fibras em substituição aos vergalhões de aço.
	Uso de tijolos e blocos cerâmicos para vedação ou com função estrutural.	Emissões abundantes de CO ₂ na queima da cerâmica, degradação do solo e de recursos hídricos, suspensão de partículas ricas em metais e geração de resíduos.	Utilização de blocos produzidos a partir de resíduos (plásticos, madeiras).
			Reaproveitamento de tijolos cerâmicos danificados em pavimentações, como agregado em concreto ou como cascalho.
		Descarte inadequado de peças cerâmicas, causando contaminação do solo e lençóis freáticos.	Correta separação e destinação dos resíduos.
	Utilização de madeiras sem procedência.	Incentivo a desmatamentos ilegais.	Exigência de comprovação da procedência da madeira.

PLANEJAMENTO	Construções em estruturas convencionais de concreto armado.	Emissões abundantes de CO ₂ na fabricação de concreto e aço.	Utilização de madeira engenheirada como base da estrutura.
	MOBILIDADE		
	Alocação do empreendimento sem preocupação com os meios de transporte utilizados pelos usuários.	Elevadas emissões de dióxido de carbono no deslocamento dos usuários.	Incentivo à aquisição de veículos elétricos através da instalação de pontos de tomada específicos nas áreas comuns das edificações para carregamento desses automóveis.
			Integração da edificação aos equipamentos urbanos como facilitador do acesso a transportes públicos.
Escolha de terrenos com taxa de ocupação e índice de aproveitamento elevados, além de priorização da proximidade de centros e malhas viárias a fim de reduzir as distâncias percorridas pelos usuários.			
Projeto de espaços na edificação para bicicletários a fim de incentivar o uso de bicicletas como meio de transporte.			
CONSTRUÇÃO	GERAÇÃO DE RESÍDUOS		
	Não elaboração de estratégias para redução de desperdícios de materiais.	Elevada geração de resíduos, demanda de grandes quantidades de aterros e contaminação do solo.	Seguir a hierarquia da gestão de resíduos.
			Treinamento da equipe e compra otimizada de insumos com a finalidade de reduzir perdas e desperdícios.
Priorização de materiais sem embalagens.			

CONSTRUÇÃO			Escolha de peças pré-moldadas de concreto para evitar perdas na produção de estruturas moldadas <i>in loco</i> .
			Priorização do reuso de materiais danificados para outros fins.
	Estocagem de insumos em áreas abertas ou não planejadas para tal.	Perda de materiais e contaminação do solo e recursos hídricos.	Planejamento adequado das áreas de depósitos e estocagens, evitando perdas por intempéries.
	Descarte de insumos subutilizados.	Aumento no volume de resíduos gerados.	Priorização por materiais reutilizáveis.
	Destinação incorreta dos resíduos.	Contaminação do ar e do solo.	Adoção do sistema de logística reversa para favorecer a reutilização dos materiais.
			Alocação de containers para correta separação dos resíduos em canteiro, seguido da adequada destinação dos mesmos.
			Tratamento dos resíduos tóxicos antes do descarte.
	EFICIÊNCIA DE RECURSOS – ENERGIA ELÉTRICA		
	Uso de equipamentos sem planejamento relacionado à redução do consumo energético.	Consumo excessivo de energia elétrica.	Realização de treinamentos visando a tomada de consciência por parte dos colaboradores da necessidade de economia de energia.
			Aquisição de equipamentos com consumo energético A na etiquetagem fornecida pelo INMETRO/PROCEL.

CONSTRUÇÃO	Disponibilização de verbas pré-definidas para pagamento da energia elétrica fornecida por concessionária.		Monitoramento das faturas a fim de traçar planos de ação para reduzir o consumo energético e facilitar a identificação de sumidouros de energia.
	Uso de energia elétrica fornecida por concessionária para todos os fins.	Consumo energético proveniente de matrizes poluidoras.	Alocação de painéis fotovoltaicos em pontos estratégicos do canteiro, quando possível.
	Alocação do escritório do canteiro sem planejamento com relação à redução do consumo energético.	Demanda energética excessiva para iluminação e climatização dos ambientes.	Posicionamento estratégico do canteiro visando o máximo aproveitamento de iluminação e ventilação naturais.
	EFICIÊNCIA DE RECURSOS – ÁGUA		
	Utilização de água fornecida pela concessionária sem controle de desperdícios.	Uso excessivo de água tratada.	Realização de treinamentos visando a redução do consumo de água pelos colaboradores.
			Captação de água da chuva para uso em bacias sanitárias, na lavagem de equipamentos e do próprio canteiro.
	Disponibilização de verbas pré-definidas para pagamento da conta de água.		Aquisição de dispositivos com restritores de vazão e pressão para uso nas instalações provisórias.
		Acompanhamento das faturas com a finalidade de criar indicadores para controle do consumo e identificação de vazamentos.	

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA			
	Concepção do layout do empreendimento sem priorizar a redução da demanda energética.	Consumo excessivo de energia elétrica.	Concepção do layout do empreendimento visando a redução do consumo energético com iluminação e climatização por parte dos usuários.
OCUPAÇÃO	Uso de energia fornecida por concessionária para suprir a demanda energética.	Consumo de energia produzida com geração de impactos ambientais.	Instalação de placas solares ou turbinas eólicas para geração de energia limpa.
	EFICIÊNCIA HÍDRICA		
	Uso de água fornecida por concessionárias para todas as demandas do empreendimento.	Consumo excessivo de água tratada.	Instalação de sistema de captação de água da chuva e reuso de águas cinzas para finalidades não potáveis, como em bacias sanitárias, limpeza e irrigação.
COMPENSAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS			
COMPENSAÇÃO	Despreocupação com os impactos ambientais provocados pela construção e uso do empreendimento.	Geração de uma gama de impactos ambientais.	Elaboração de inventário de emissões de GEE a fim de mapear os danos causados pelo processo construtivo.
			Construção de fazendas solares ou parcerias com empresas detentoras desse recurso para fornecimento de energia limpa aos usuários.
			Medidas compensatórias como plantio de florestas para captura do dióxido de carbono emitido de acordo com o inventário de emissões de GEE.

			Aquisição de créditos de carbono a fim de atingir o balanço neutro de emissões.
--	--	--	---

Fonte: própria autora (mar. 2023).

Por fim, sugere-se, como trabalhos futuros, o desenvolvimento de estudos relacionados à viabilidade executiva e econômico-financeira das alternativas abordadas, a fim de definir quais delas apresentam-se como soluções de fácil aplicação no setor, e quais demandam aprimoramentos com o propósito de se tornarem viáveis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON. **A gestão dos resíduos da construção e demolição e o papel do engenheiro**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://abrecon.org.br/a-gestao-dos-residuos-da-construcao-e-demolicao-e-o-papel-do-engenheiro/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 103-117, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/BYpqSg7XLZsLFjscXNSdJDt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 mar. 2023.

ABVE. **Maioria dos brasileiros já prefere veículos elétricos**. Brasil, 2020. Disponível em: <http://www.abve.org.br/majoria-dos-brasileiros-prefere-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

ADAC. **Elektroauto und Ladeverluste: So können Sie Kosten vermeiden**. Alemanha. Disponível em: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/ladeverluste-elektroauto-studie/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

ADASA. **Cadernos de conservação de água em edificações: reuso de águas cinzas**. Brasília, 2018. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/audiencia_publica/006-2018/Reuso_Aguas_Cinzas.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1. Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1 Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021. 135p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2021. 41p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SETOR DE BICICLETAS. **Ciclovias e Ciclofaixas nas capitais**. 2023. Disponível em: <https://aliancabike.org.br/dados-do-setor/ciclovias-e-ciclofaixas-nas-capitais/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BOERI STUDIO. **Bosco Verticale: Are forest towers the future of sustainable design?**. Haus von Eden. Disponível em: <https://www.hausvoneden.com/urban-living/bosco->

verticale-are-forest-towers-the-future-of-sustainable-design/. il. color. Acesso em: 13 mar. 2023.

BRASIL. **Acordo de Paris**: Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/comite-interministerial-sobre-mudanca-do-clima/arquivos-cimv/item-de-pauta-3-paris-agreement-brazil-ndc-final-1.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2022.

BRASIL. Decreto Nº 11.075/2022, de 19 de maio de 2022. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022. Brasília, **DF: Diário Oficial da União**, 2022.

BRASIL. Lei Nº 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, **DF: Diário Oficial da União**, 2010.

BRASIL. Senado Federal. **Agenda 21** – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 3.ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições, 2001. 598 p. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/agenda_21_global.pdf. Acesso em: 05 mar. 2023.

BRASIL. Senado Federal. **COP**. Agência Senado. Brasília, 20--a. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/cop>. Acesso em: 05 mar. 2023.

BRASIL. Senado Federal. **Protocolo de Kyoto**. Agência Senado. Brasília, 20xxb. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto#:~:text=Os%20pa%C3%ADses%20que%20mais%20negociam,Uni%C3%A3o%20Europeia%20e%20o%20Jap%C3%A3o>. Acesso em: 05 mar. 2023.

BRASIL. Senado Federal. **Protocolo de Quioto**. Brasília, 2004. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>. Acesso em: 20 nov. 2022.

CADILLAC FAIRVIEW. 2022 **GRI Supplemental Report**. Canadá, 2022. Disponível em: <https://assets.ctfassets.net/p2tvuj4eecjl/1p9sOfBxQx3EuckfSwi1NS/941cb9e1e3b33>

5591060372f2b7abde2/2022_GRI_Supplement_FINAL__EN_.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

CAMACHO, Escórcio Lisandra de Fátima Cró. **A utilização de varões de GFRP nas estruturas de betão armado**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade da Madeira (Portugal). Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/d7fa8328aa41a2ba9be300132e1ce785/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. Brasil, 2011. **IPEA**; boletim regional, urbano e ambiental; v. 5. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emiss%C3%B5es.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

CCPI. **RESULTS: Monitoring Climate Mitigation Efforts of 60 Countries plus the EU – covering 92% of the Global Greenhouse Gas Emissions**. Alemanha, 2021. Disponível em: <https://ccpi.org/wp-content/uploads/CCPI-2022-Results-1.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2022.

CEDAE. **Captação de água da chuva**. 20---. Disponível em: <https://cedae.com.br/captacaoaguachuva>. Acesso em: 16 mar. 2023.

CETESB. **Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no estado de São Paulo de 2014 a 2030 – 1.ed. atual. – São Paulo: CETESB, 2018**. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2018/09/SIDERURGIA-PUBLICA%C3%87%C3%83O_ON-LINE.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

CETESB. **Gases do Efeito Estufa**. São Paulo, 20---. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/>. Acesso em: 06 mar. 2023.

CETESB. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos** / Maria Cecília Oliveira [e] Martha Faria Bernils Maganha. São Paulo, 2006. 90p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 13 mar. 2023.

CEZAR, Daiana de Souza. **Características de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7759>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CGEE. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**; subsídios para tomada de decisão – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Siderurgia_no_Brasil__9567.pdf/893da7ee-8608-4251-adc1-10c2bf95b009?version=1.0. Acesso em: 19 mar. 2023.

COMO funciona a logística reversa na construção?. **UNIVERSIDADE TRISUL**. Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br/sustentabilidade/como-funciona-a-logistica-reversa-na-construcao>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CONSTRUTORAS investem em créditos de carbono. **Imóveis de Valor**, 2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/imoveis-de-valor/noticia/2022/09/23/construtoras-investem-em-creditos-de-carbono.ghtml>. Acesso em: 16 mar. 2022.

CORRÊA, Rodrigo Studart. Reabilitação ambiental: a vegetação além do paisagismo. **Paranoá**, n. 14, 2015. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10958>. Acesso em: 19 mar. 2023.

COSTA, Luciana Correia do Nascimento. **Aproveitamento da Ventilação Natural nas Habitações**: um estudo de caso na cidade de Aracaju-SE. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DANTAS, Alex Borba Lira. **Reúso de água de chuva em canteiro de obras**. Anais III WIASB... Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/39096>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DE MAGALHÃES, Luciana Nunes; DOS SANTOS, Paulo Roberto Duarte Luso. A madeira laminada colada como material estrutural de uma construção sustentável. **CONSTRUINDO**, 2009. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/1736>. Acesso em: 19 mar. 2023.

DIAS, A. B. et al. **Desenvolvimento de um bloco cerâmico para a construção sustentável**. Congresso de Inovação na Construção Sustentável. Anais...Curia, Portugal: ISISE - Comunicações a Conferências Nacionais, 23 out. 2008. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/17601>. Acesso em: 19 mar. 2023.

DUARTE, Isabela et al. Consumo de energia e emissão de co2 de barras de bfrp, gfrp e aço: estudo de caso de vigas de concreto armado. In: **Workshop de Tecnologia de**

Processos e Sistemas Construtivos. 2021. p. 1-6. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/1323>. Acesso em: 19 mar. 2023.

ECAM. **O que é a Agenda 2030 e quais os seus objetivos.** Brasil, 20---. Disponível em: <http://ecam.org.br/blog/o-que-e-a-agenda-2030-e-quais-os-seus-objetivos/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

EDIFÍCIOS de madeira revolucionam construção civil. **Exame**, 2022. Disponível em: <https://exame.com/negocios/edificios-de-madeira-revolucionam-construcao-civil/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

EFEITO chaminé – Fluxo internp. **Projeteee**, 20---. il. color. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/efeito-chamine-fluxo-interno/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ELIZABETH POCZTARUK ARQUITETOS. **Home Design: Conheça Quem Assina o Projeto Do Vértice.** Wolens, 2019. Disponível em: <https://wolensinc.com.br/blog/home-design-conheca-quem-assina-o-projeto-do-vertice/>. il. color. Acesso em: 13 mar. 2023.

ENAP. **Brasil pode gerar mais de 8 milhões de empregos com o mercado de carbono.** 2022. Disponível em: <https://www.enap.gov.br/pt/acontece/noticias/brasil-pode-gerar-mais-de-8-milhoes-de-empregos-com-o-mercado-de-carbono#:~:text=O%20governo%20federal%20tamb%C3%A9m%20enviou,formula%C3%A7%C3%A3o%20e%20execu%C3%A7%C3%A3o%20de%20pol%C3%ADticas>. Acesso em: 16 mar. 2023.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020** / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 19 mar. 2023.

FAZENDA solar e a venda de energia solar. **Portal Solar**, 20---. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/fazenda-solar>. Acesso em: 16 mar. 2023.

FELIX, E. F.; POSSAN, E. Balance emissions and CO2 uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135–162, fev. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/zvWDM5kD5K57XjY7637gTKL>. Acesso em: 19 mar. 2023.

FIGUEIREDO, R. Paisagista orienta síndicos sobre espécies mais adequadas para cada tipo de ambiente. **Direcional**, 2015. Disponível em: <https://www.direcionalcondominios.com.br/sindicos/materias/item/1389-paisagista-orienta-sindicos-sobre-especies-mais-adequadas-para-cada-tipo-de-ambiente.html>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751p.

GBC BRASIL. **O que é eficiência hídrica?**. 2022. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/o-que-e-eficiencia-hidrica/>. Acesso em: 16mar. 2023.

GULIN, G. Mercado de Carbono: Regulado e Voluntário. Conheça as principais diferenças e oportunidades. 2022. **SAES Advogados**. Disponível em: <https://www.saesadvogados.com.br/2022/07/18/mercado-de-carbono-regulado-e-voluntario-conheca-as-principais-diferencas-e-oportunidades/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

GUTIERREZ, Grace Cristina Roel; LABAKI, Lucila Chebel. **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de Brise-Soleil fixo**. Campinas SP: Dissertação (Mestrado), Universidade de Campinas–Unicamp, 2004. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=465258>. Acesso em: 19 mar. 2023.

IBF. **Compensação de CO2 com Plantio de Florestas**. 20---. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/compensacao-de-co2>. Acesso em: 16 mar. 2023.

IEA. **Energy Statistics Data Browser**. Paris, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IFC. **Climate Investment Opportunities in Cities**: An IFC Analysis. Washington DC, 2018. Disponível em: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/875afb8f-de49-460e-a66a-dd2664452840/201811-CIOC-IFC-Analysis.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mthPzYg>. Acesso em: 03 dez. 2022.

IPCC. **Mudança do Clima 2021**: A Base Científica. Suíça, 2021. Traduzido por: Governo do Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o>

mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

KIBERT, J Charles. **Edificações sustentáveis: Projeto, Construção e Operação**. Traduzido por Alexandre Salvaterra. 4a edição. Porto Alegre: Bookman, 2020.

LA ROVERE, Emilio Lèbre. O Brasil e a COP-21. **Rio de Janeiro: Die**, v. 1, 2016. Disponível em: http://centroclima.coppe.ufrj.br/images/Noticias/documentos/O_Brasil_e_a_COP-21_-_Emilio_La_Rovere.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, Israel Evangelista. **Florestas verticais como ferramenta de controle dos microclimas urbanos**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/769>. Acesso em: 19 mar. 2023.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/T.3.2010.tde-23082010-105858. Acesso em: 2023-03-19.

MACIEL, Dayanna dos Santos Costa; DE FREITAS, Lúcia Santana. Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1355-1380, 2013. Disponível em: <http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1396>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MANFREDINI, Constance; SATTLER, Miguel Aloysio. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 23-37, 2005. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3609>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MARQUES, Cristian Teixeira; GOMES, Bárbara Maria Fritzen; BRANDLI, Luciana Londero. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente construído**, v. 17, p. 79-90, 2017. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/wjvMydYMMNZ5SbPBXYCVmxG/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MATOS, P. R. DE; JUNCKES, R.; PRUDÊNCIO JR, L. R. Influência do uso de cinza volante na elevação adiabática de temperatura e resistência à compressão de concretos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/V3QFjXsC3TQNgKbhdpbCtqx/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MMA. **Agenda 21 brasileira** - Bases para Discussão. Brasília, 2000. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8457/mod_resource/content/1/bases_discussao_agenda21.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.

NAGALLI, André. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. **Oficina de Textos**, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ebcWDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Gerenciamento+de+res%C3%A4duos+s%C3%B3lidos+na+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&ots=EVu-vWkYj5&sig=62u66VbJRfurKsSuEQsrnCAQeZo>. Acesso em: 19 mar. 2023.

O EDIFÍCIO de madeira mais alto do mundo e alguns outros. **Florestal Brasil**, 2021. Disponível em: <https://florestalbrasil.com/2021/06/o-edificio-de-madeira-mais-alto-do-mundo-e-alguns-outros/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

O QUE é Taxa de Permeabilidade? Aprenda Como Calcular + Melhores Materiais. **Viva Decora**, 2022. il. color. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/taxa-de-permeabilidade/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

O USO da bicicleta como alternativa para a mobilidade urbana. **Bike Itaú**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://bikeitau.com.br/blog/o-uso-da-bicicleta-como-alternativa-para-mobilidade-urbana/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

OLIVEIRA, Roberto de; WAGNER, Flávio Segundo e GROHMANN, Sandra Zampieri. **A madeira como alternativa racional para habitação**. Artigo. I Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, Canela, RS, 1997.

PADE, C.; GUIMARAES, M. The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 9, p. 1348–1356, set. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884607001317>. Acesso em: 19 mar. 2023.

PAVILHÕES da Expo Flora de Taipei / Bio-architecture Formosana. **ArchDaily**, 2016. il. color. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/791051/pavilhoes-da-flora-expo-de-bio-architecture-formosana#:~:text=Os%20Pavilh%C3%B5es%20da%20Expo%20Flora,vistas%20c%C3%AAnicas%20para%20os%20visitantes>. Acesso em: 13 mar. 2023.

RESHAPING the future of plastic waste. **By Fusion**. Disponível em: <https://www.byfusion.com/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

RIGHI, Débora Pedroso et al. Cobertura verde: um uso sustentável na construção civil. **Mix Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 29-36, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/9cf9/56cc4f379b4969dcba2f8d9611a39ba29683.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2023.

RILLO, Joaquin. **Viabilidade Econômica do Reuso da Água na Construção Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006.

RIO+20. **Sobre a Rio+20**. Rio de Janeiro, 2011a. Disponível em: http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html. Acesso em: 22 nov. 2022.

RIO+20. **Sustentabilidade na Organização da Rio+20**. Brasil, 2011b. Disponível em: http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20/estrategia-de-compensacao.html. Acesso em: 22 nov. 2022.

SALLES, C. Mais econômicas, lâmpadas fluorescentes podem causar danos ambientais e à saúde. **Jusbrasil**, 2014. Disponível em: <https://carollinasalle.jusbrasil.com.br/noticias/125564867/mais-economicas-lampadas-fluorescentes-podem-causar-danos-ambientais-e-a-saude#:~:text=Mais%20econ%C3%B4micas%2C%20l%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20podem%20causar%20danos%20ambientais%20e%20%C3%A0%20sa%C3%BAde,-CURTIR&text=Incandescentes%20de%2060%20watts%20come%C3%A7am,ambiental%20e%20riscos%20%C3%A0%20sa%C3%BAde>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SANTOS, Caio José Bastos Marques et al. **Captura de carbono em placas de concreto permeável**. 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufpa.br/handle/2011/13313>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SILVA, Izac Souza; SELEGHIM, Ana Paula Duarte; KAWAKAME, Marcelo. **Análise da resistência à compressão de concreto sustentável com adição de resíduo do processo da britagem de rochas**. 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Kawakame/publication/356998179_ANALISE_DA_RESISTENCIA_A_COMPRESSAO_DE_CONCRETO_SUSTENTAVEL_COM_ADICAO_DE_RESIDUO_DO_PROCESSO_DA_BRITAGEM_DE_ROCHAS/links/61b761d04b318a6970db3524/ANALISE-DA-RESISTENCIA-A-COMPRESSAO-DE-CONCRETO-SUSTENTAVEL-COM-ADICAO-DE-RESIDUO-DO-PROCESSO-DA-BRITAGEM-DE-ROCHAS.pdf. Acesso em: 19 mar. 2023.

SILVA, J. S.; AMORIM, C. N. D. **O Brise-soleil como elemento de controle solar: Estudo de caso de um edifício no Plano Piloto de Brasília.** In: 7o Seminário Internacional NUTAU 2008, 2008, São Paulo. NUTAU, 2008- Espaço Sustentável Inovações em edifícios e cidades. São Paulo: USP, 2008.

SISTEMA AluROHR. **ROHR.** 20---. Disponível em: <https://rohr.com.br/produto/escoramento-sistema-alurohr/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SISTEMA EM canteiros de obras proporciona reaproveitamento da água da chuva. **MRV**, 2018. Disponível em: <https://www.mrv.com.br/sustentabilidade/pt/materias-educas/agua/sistema-em-canteiros-de-obras-proporciona-reaproveitamento-da-agua-da-chuva>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SNIC. Relatório Anual. Brasil, 2021. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2021.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

SOUZA, Anna Freitas Portela de et al. **A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil.** 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93567>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SOUZA, Micael Felipe de; SORIANO, Julio; PATINO, Marco Tulio Ospina. Resistência à compressão e viabilidade econômica de blocos de concreto dosado com resíduos de tijolos cerâmicos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Q7bFNntLTZczXrFmw6qg6sN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SUSTENTABILIDADE em pauta na construção civil. **MRV**, 2022. Disponível em: <https://www.mrv.com.br/institucional/pt/relacionamentos/releases/sustentabilidade-em-pauta-na-construcao-civil>. Acesso em: 15 mar. 2023.

TAVARES, Danusa Haick. **Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP.** 2006. Tese de Doutorado.

Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-105650/en.php>. Acesso em: 19 mar. 2023.

TENDÊNCIA: energia eólica em edificações. **Di Nuovo Engenharia**, 2015. Disponível em: <http://dinuovo.com.br/noticias/tendencia-energia-eolica-em-edificacoes>. Acesso em: 15 mar. 2023.

THORNS, E. Mjøstårnet na Noruega será a estrutura de madeira mais alta do mundo. **ArchDaily**, 2018. Traduzido por: Vinicius Libardoni. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/888896/mjostarnet-na-noruega-sera-a-estrutura-de-madeira-mais-alta-do-mundo>. Acesso em: 14. Mar. 2023.

THORNTON THOMASETTI. **Projects**. il. color. Disponível em: <https://www.thorntontomasetti.com/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

UNEP. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector**. Nairóbi, 2020a. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf. Acesso em: 05 mar. 2023.

UNEP. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019** - relatório da ONU. UNEP, 2020b. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram#:~:text=Isto%20equivale%20a%20uma%20queda,devido%20%C3%A0%20pandemia%20em%202020>. Acesso em: 30 out. 2022.

UNEP. **O que você precisa saber sobre Estocolmo+50**. Brasil, 2022a. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/o-que-voce-precisa-saber-sobre-estocolmo50>. Acesso em: 15 nov. 2022.

UNEP. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?**. Brasil, 2022b. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta#:~:text=Quais%20s%C3%A3o%20os%20principais%20gases,nitroso%20por%20aproximadamente%20120%20anos>. Acesso em: 06 mar. 2023.

UNFCCC. **Global Warming Potentials** (IPCC Fourth Assessment Report). 20—b. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/frequently-asked-questions/global-warming-potentials-ipcc-fourth-assessment-report>. Acesso em: 06 mar. 2023.

UNFCCC. **Kyoto Protocol**. Kyoto, 1997. Traduzido por: Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/08/protocoloquioto.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

UNFCCC. **The Kyoto Protocol – Status of Ratification**. 20---. Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>. Acesso em: 05 mar. 2023.

WBCSD. **Cement technology roadmap shows how the path to achieve CO2 reductions up to 24% by 2050**. 2023. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/News/Cement-technology-roadmap-shows-how-the-path-to-achieve-CO2-reductions-up-to-24-by-2050>. Acesso em: 13 mar. 2023.

WEF. **Accelerating the Decarbonization of Buildings: The Net-Zero Carbon Cities Building Value Framework**. Suíça, 2022. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Accelerating_the_Decarbonization_of_Buildings_2022.pdf. Acesso em: 30 out. 2022.

WEF. **Green Building Principles: The Action Plan for Net-Zero Carbon Buildings**. Suíça, 2021. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Green_Building_Principles_2021.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

WGBC. **Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon**. Canadá, 2019. Disponível em: https://worldgbc.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/09/22123951/WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

WRI. **4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor**. 2020. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acesso em: 06 mar. 2023.

WRI. **COP 21: um momento histórico para o clima e para as cidades**. Brasil, 2015. Disponível em: <https://wricidades.org/conteudo/cop-21-um-momento-historico-para-o-clima-e-para-cidades>. Acesso em: 24 nov. 2022.

WRI. **The Reasons for Jakarta's Frequent Flooding and How Nature-based Solutions (NbS) Can Help Reduce the Risk**. 2021. Disponível em: <https://wri-indonesia.org/en/insights/reasons-jakartas-frequent-flooding-and-how-nature-based-solutions-nbs-can-help-reduce-risk>. il. color. Acesso em: 13 mar. 2023.

WWF BRASIL. **Dia da água**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/pantanal/dia_da_agua/. Acesso em: 16 mar. 2023.

YUBA, Andrea Naguissa. **Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1674>. Acesso em: 19 mar. 2023.

ZENID, José Geraldo. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/MADEIRA-NA-CONSTRU%C3%87%C3%83O-CIVI.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2023.