

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO:
COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS DE ALVENARIA
ESTRUTURAL

Douglas Henrique da Silva

São Carlos, 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Avaliação do impacto ambiental na construção: comparação
entre diferentes sistemas de alvenaria estrutural**

Douglas Henrique da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso
Apresentado ao Departamento de Engenharia
Civil da Universidade Federal de São Carlos
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Guilherme Aris Parsekian

São Carlos, 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os agentes de apoio que tive durante minha graduação, em especial minha mãe, meu pai e meus irmãos dos quais eu não teria a força para seguir em frente perante tantos percalços.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Elaine e Eden, por me derem a vida e sempre me apoiarem da forma que podiam em seguir meus sonhos seja eles grandes ou pequenos, loucos ou sãos, fáceis ou difíceis.

Agradeço o apoio e confiança o professor doutor Guilherme Aris Parsekian, que me guiou no final de minha graduação e me deu o empurrão necessário para que eu terminasse de cabeça erguida este trabalho e minha graduação.

Em especial quero deixar meus agradecimentos as pessoas especiais que estiveram em minha vida durante esse longo período na universidade, todos os amigos e pessoas importantes que tive o prazer de conhecer e dividir meus dias, risadas, lágrimas e conquistas, com certeza não teria chego até aqui sem pessoas incríveis como André, Mayumi, Isabella, Arthur (farinha), Fabio, Bianca, Gabriele, Murilo, Thais, Derick, e outros que guardo em meu coração.

Também tenho que agradecer com todas as minhas forças pelos meus irmãos, Gabriela, Carolina, Natalia e Eduardo, que mesmo com o contato reduzido pela distância que esta graduação trouxe, são as pessoas que mais procuro orgulhar e me motivam a nunca parar mesmo que eu tropece tanto em meu caminho.

RESUMO

As metodologias de análise de desempenhos dos materiais vêm apresentando uma crescente utilização dentro da indústria da construção civil. A comparação de métodos construtivos quanto ao ciclo de vida de seus materiais constituintes é uma forma de realizar essas análises. O presente trabalho tem por objetivo acrescentar a este tema com a comparação de três sistemas construtivos com o resultado da Avaliação do Ciclo de Vida da construção de uma edificação base utilizando cada sistema. Após revisão da literatura foi feito o levantamento de indicadores de potencial de impacto sobre a emissão de CO₂, consumo de energia e consumo de água, de cada componente e material que constitui os três métodos construtivos. Após foi feito o levantamento do quantitativo de materiais necessários em cada método para construção da edificação de acordo com as informações do projeto. Com o mapa de impactos totais de cada componente foi possível avaliar os materiais protagonistas com relação a composição do impacto total resultante da construção do edifício de acordo com um dos 3 métodos. O método com o maior impacto foi a parede de concreto moldada in loco em emissão de CO₂ e a parede de bloco de concreto em energia embutida. O sistema de bloco cerâmico apresentou os menores impactos no total, porém quando comparado apenas os impactos do transporte de cada sistema ela quem apresenta os maiores valores. Também foi possível identificar em cada método qual o material e componente de maior potencial de impacto nos parâmetros analisados, assim como também qual método apresentava os menores valores totais de potencial de impacto em cada parâmetro.

ABSTRACT

The methodologies for analyzing the performance of materials have been increasingly utilized within the construction industry. Comparing construction methods in terms of the life cycle of their constituent materials is one way to conduct these analyses. This study aims to contribute to this topic by comparing three construction systems using the results of a Life Cycle Assessment (LCA) for a building project based on each system. After reviewing the literature, indicators of potential impact regarding CO₂ emissions, energy consumption, and water consumption were gathered for each component and material constituting the three construction methods. Subsequently, the quantity of materials needed for the building construction was determined according to the project specifications. With the total impact map of each component, it was possible to evaluate the key materials concerning their contribution to the overall impact resulting from the building construction using one of the three methods. The method with the highest impact was the cast-in-place concrete wall in terms of CO₂ emissions, while the concrete block wall had the highest embedded energy. The ceramic block system showed the lowest overall impacts; however, when comparing only the transportation impacts of each system, it exhibited the highest values. It was also possible to identify, within each method, the material and component with the greatest potential impact concerning the analyzed parameters, as well as which method had the lowest total potential impact across each parameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3 - Número de documento levantados no catálogo de teses e dissertações da CAPES por programa de pós-graduação	83
Figura 4 - Consumo de brita e cascalho nos diversos setores com referência para o ano de 2009	84
Figura 5 - Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais	85
Figura 6 - Fases consideradas no trabalho com fronteira <i>Cradle to Gate</i>	85
Figura 7 - Valores de PAG para cada fase do ciclo de vida da areia	86
Figura 8 - Comparativo dos impactos ambientais entre os dados da indústria brasileira e da indústria europeia por Boesch e Hellweg (2010).....	86
Figura 9 - Sistema de produto para a produção de clínqueres.....	87
Figura 10 - Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas à pegada de carbono	88
Figura 11 - Descrição geral do sistema para telhas cerâmicas e de concreto	90
Figura 12 - Energia incorporada e emissão de CO ₂ unitárias por tipo de cimento	91
Figura 13 - Variação dos fatores de emissão de CO ₂ e da energia incorporada dos insumos.....	92
Figura 14 - Discriminação das fases e etapas do ciclo de vida energético das edificações residenciais	95
Figura 15 - Geração de CO ₂ por materiais em todos os modelos	96
Figura 16 - Emissões de t CO ₂ de acordo com cada tipo de alvenaria	97
Figura 17 - Indicadores ambientais associados a construção civil em alguns estudos visitados	98
Figura 18 - Categorias de Impacto e métodos de AICV	99
Figura 19 - Análise comparativa impactos ambientais - GWP e CED	100
Figura 20 - Representatividade da demanda de energia por etapa do ciclo de vida	101

Figura 21 - Inventário quantitativos, para 1m ² dos sistemas construtivos avaliados	101
Figura 22 - Participação de cada sistema nos impactos embutidos iniciais e embutidos recorrentes	102
Figura 23 - Planta baixa do Térreo do projeto V052D-03 – Unidade Habitacional Padrão.....	106
Figura 24 – Parcela de emissões de CO ₂ de cada etapa - Paredes de Blocos Cerâmico	128
Figura 25 – Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Blocos Cerâmico	128
Figura 26 - Emissão de CO ₂ da produção das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico.....	129
Figura 27 - Consumo de energia embutida na produção das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico	130
Figura 28 – Parcela de consumo de Água - Paredes de Blocos Cerâmico	130
Figura 29 - Parcela de impacto do transporte das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico.....	131
Figura 30 - Parcela de emissões de CO ₂ de cada etapa - Paredes de Blocos de Concreto.....	132
Figura 31 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Blocos de Concreto.....	133
Figura 32 - Impacto das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto.....	133
Figura 33 - Emissão de CO ₂ na produção das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto.....	134
Figura 34 - Consumo de energia embutida na produção das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto	134
Figura 35 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Blocos de Concreto.....	135
Figura 36 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Blocos de Concreto.....	136

Figura 37 - Parcela de emissões de CO ₂ de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento.....	137
Figura 38 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento.....	137
Figura 39 - Impacto das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	138
Figura 40 - Emissão de CO ₂ das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento	138
Figura 41 - Consumo de energia embutida das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	139
Figura 42 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento.....	139
Figura 43 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento	140
Figura 44 - Parcela de emissões de CO ₂ de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	141
Figura 45 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	141
Figura 46 - Impacto das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	142
Figura 47 - Emissão de CO ₂ das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento	142
Figura 48 - Consumo de energia embutida das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	143
Figura 49 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento.....	143
Figura 50 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos e suas resistências a compressão.....	109
Tabela 2 - Especificações Blocos Cerâmicos e Blocos de Concreto	110
Tabela 3 - Proporção do Traço de cada Mistura	110
Tabela 4 - Especificações parede de concreto.....	112
Tabela 5 - Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício no Pavimento Térreo	113
Tabela 6 – Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício no Pavimento Tipo .	114
Tabela 7 - Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício na Cobertura e Ático	115
Tabela 8 - Vãos das Paredes do Térreo.....	115
Tabela 9 - Vãos das Paredes do Pavimento Tipo	116
Tabela 10 - Resumo da Área total das Paredes do Edifício	116
Tabela 11 - Resumo Armadura do Térreo.....	116
Tabela 12 - Resumo Armadura do Pavimento Tipo	117
Tabela 13 - Resumo Armadura da Cobertura e Ático	117
Tabela 14 - Materiais e massas específicas.....	118
Tabela 15 - Quantitativos de Paredes de blocos de concreto e cerâmico.....	118
Tabela 16 - Quantitativos Parede de Concreto	119
Tabela 17 - Traço das misturas utilizadas.....	119
Tabela 18 - Traço das misturas de kg para m ³	119
Tabela 19 - Traço em kg para cada kg das misturas	119
Tabela 20 - Quantitativos totais das misturas para cada sistemas de vedação	120
Tabela 21 - Emissão de CO ₂ e Energia Embutida para Parede de Blocos de Cerâmicos	125

Tabela 22 - Emissão de CO ₂ e Energia Embutida para Parede de Blocos de Concreto	126
Tabela 23 - Emissão de CO ₂ e Energia Embutida para Parede de Concreto	126
Tabela 24 - Consumo de água de cada componente em diferentes sistemas construtivos	127
Tabela 25 - Impacto das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fases de uma Edificação	121
Quadro 2 - Variáveis de Estudo dos Processos da Edificação.....	122
Quadro 3 - Referências e valores de Emissão de CO ₂ e Energia Embutida	123
Quadro 4 - Dados e referências sobre o consumo de água	123
Quadro 5 - Locais e distâncias de transporte	124

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 Justificativa.....	23
2. OBJETIVOS.....	24
2.1 Objetivos Gerais.....	24
2.2 Objetivos Específicos	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1 Sustentabilidade.....	26
3.1.1 Histórico da Sustentabilidade	26
3.1.2 Valores de Sustentabilidade	28
3.1.3 Sustentabilidade e a Construção Civil	35
3.1.4 Métodos de Avaliação de potenciais de Impacto	46
3.2 Moradia Social.....	51
3.3 Materiais e Métodos Construtivos	55
3.3.1 Materiais de Construção.....	55
3.3.2 Alvenaria Estrutural	57
3.3.3 Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos e de Concreto	59
3.3.4 Sistema Estrutural de Paredes de Concreto	63
3.4 Avaliação do ciclo de vida.....	66
3.4.1 Histórico	66
3.4.2 Metodologia ACV.....	66
3.4.3 softwares de ACV.....	68
3.4.4 Softwares de análise de ACV para Edificações	70
3.4.5 Bases de dados e Inventários para análise de ACV.....	72
3.4.6 Métodos de AICV	73
3.4.7 Diferentes abordagens de acv.....	78

3.4.8	ACV na Construção Civil	82
4.	METODOLOGIA	103
4.1	Definições da ACV.....	104
4.1.1	Objetivo e Escopo do estudo.....	104
4.1.2	Análise de Inventário de dados	122
5.	RESULTADOS.....	125
5.1.1	Avaliação de potencial de impacto	125
5.2	Análise e comparação do potencial de impacto.....	128
5.2.1	Blocos Cerâmicos.....	128
5.2.2	Blocos de Concreto	132
5.2.3	Parede de Concreto moldado in loco	136
5.2.4	Comparação entre potenciais de impacto totais dos Sistemas construtivos	144
6.	CONCLUSÃO	147
	REFERÊNCIAS	148
	ANEXOS.....	159

1. INTRODUÇÃO

A mitigação de impactos ambientais é uma das pautas mais debatidas em todo mundo há muito tempo, entender a colaboração de cada setor e seus impactos no meio ambiente é fundamental para um crescimento saudável do setor e suas influências na sociedade, seja na diminuição emissão de gases do efeito estufa, como também no descarte adequado dos resíduos resultantes de seus processos.

A realização de análises de energia embutida em processos se enquadra num dos principais meios de descobrir os setores que apresentam um maior impacto com relação ao consumo de energia e geração de resíduos. Em 2022, os edifícios foram responsáveis por 34% da demanda global de energia e 37% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas a energia e processos, de acordo com o Relatório de Status Global para edificações e Construção realizado pela ONU.

Avaliar, estudar e aperfeiçoar meios de diminuir esses impactos é imprescindível para o progresso sustentável de uma das indústrias de maior importância em nosso planeta. A Avaliação do Ciclo de Vida entra como um dos principais métodos para adquirir essas informações que servem para embasar e elaborar novos meios de diminuição de impactos.

Embora a ACV e Declarações Ambientais de Produto (DAPs) estejam difundidas na construção civil em países desenvolvidos, o Brasil e outros países emergentes ainda se encontra com um atraso quanto a utilização desses métodos de quantificação de impactos. Alguns produtos, como cimento, e materiais cimentícios como concreto e argamassa colante, já possuem seus respectivos DAPs, porém a necessidade de uma base de dados nacional abrangente e completa ainda é grande.

Visto o crescimento da utilização da ACV na indústria da construção, se faz necessário a produção de mais bases próprias no Brasil como as do IBICT e SIDAC que permitam que a utilização deste método seja maior difundida e facilitada, assim como também a necessidade de simplificação das metodologias de análise visando a possibilidade de uma utilização dinâmica e em grande escala.

No Brasil o uso de métodos construtivos de alvenaria estrutural é o mais comum na indústria por diversos motivos, facilidade de implementação e replicação,

velocidade de construção e o baixo custo dos componentes necessários para construir uma edificação com esses métodos.

A realização de trabalhos como este, incentiva o reconhecimento de métodos de avaliação e estimativa de impactos como meio de coleta de informações e tomadas de decisões baseado em análises confiáveis quanto aos diferentes impactos ambientais das edificações e seus materiais constituintes.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a evolução do debate a respeito dos impactos ao meio ambiente e nosso planeta, é necessário que todos os setores da economia voltem suas energias e tempo para analisar quais são suas contribuições para esse problema que enfrentamos.

A indústria da construção civil exerce um papel importante quanto a comunhão com o meio ambiente, sendo uma das indústrias que mais impactam seja na fabricação de materiais quanto na execução de obras. Também é uma das indústrias que tem grande potencial para diminuir seus impactos e servir de exemplo para as demais, inúmeras pesquisas quanto a novos materiais com matriz recicláveis e novos métodos construtivos menos agressivos fortalecem esta narrativa.

Com o intuito de acrescentar aos esforços de melhoria e diminuição dos impactos causados pela construção civil, é pautada a realização deste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar e comparar os impactos de 3 tipos de sistemas construtivos de alvenaria estrutural através do método de Análise do Ciclo de Vida de uma edificação que utiliza esses sistemas.

Os estudos de caso deste trabalho são: Alvenaria de Bloco Cerâmico; Alvenaria de Blocos de Concreto; Parede de Concreto Moldada no Local.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivo específico pretende-se:

- Analisar e apresentar fundamentos teóricos a respeito de diferentes abordagens ao método de avaliação de ciclo de vida utilizadas em outros trabalhos, assim tendo uma base para escolher o que melhor se encaixe para análise deste trabalho
- Analisar os resultados das emissões de gases de efeitos estufa, consumo de energia e consumo de água nos 3 sistemas construtivos citados por meio de um método simplificado de Avaliação do Ciclo de Vida de uma Edificação de Interesse Social Padrão
- Comparar e constatar qual sistema construtivo apresenta o menor potencial de impacto ambiental.
- Apontar os principais componentes de cada sistema que apresentam o maior potencial de impacto ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado a pesquisa realizada para levantar as informações necessárias para situar e basear o seguinte trabalho, afim de compreender todos os conceitos empregados de diferentes áreas que compõe o tema da pesquisa.

3.1 SUSTENTABILIDADE

O termo sustentabilidade é associado ao conceito de desenvolvimento sustentável, como sendo o desenvolvimento que supre as necessidades atuais sem comprometer o atendimento das necessidades das futuras gerações.

Um desenvolvimento sustentável pode ser atingido por um modelo de desenvolvimento que tem como objetivo o equilíbrio sociocultural, econômico e ambiental.

3.1.1 HISTÓRICO DA SUSTENTABILIDADE

Observando historicamente e com imparcialidade, vários marcos científicos contribuíram para percepção da insustentabilidade do modelo de desenvolvimento em que vivemos atualmente. (MEBRATU, 1998; GAUZINMULLER, 2002; SZABÓ, 2005; UNITED NATIONS, 2024; UNEP, 2024).

Em 1968, o Clube de Roma, reunião de intelectuais que procuravam fazer projeções para o futuro, realizou a publicação do *The limits of growth* (Os limites do crescimento). Este estudo contrapõe o crescimento exponencial da população diante da finitude dos recursos naturais do planeta, e concluiu que isto poderia provocar uma crise na história humana.

Em 1972, a Conference on the Human Environment (Conferência sobre o meio ambiente humano) foi realizada pela ONU em Estocolmo, abordando as responsabilidades dos países desenvolvidos, marcados pelo consumismo em larga escala, e dos países em desenvolvimento, enfrentando um rápido crescimento populacional, em relação à situação ambiental.

Durante a década de 1980, Ignac Sachs lançou o livro Ecodevelopment (Ecodesenvolvimento), propondo um modelo de desenvolvimento fundamentado em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica.

A ONU estabeleceu a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (WCED) em 1983, formalizando o conceito de desenvolvimento sustentável. Esta comissão foi encarregada de desenvolver estratégias de longo prazo visando alcançar o desenvolvimento sustentável até o ano 2000. Em 1987, a WCED publicou o relatório "Nosso futuro comum", também conhecido como relatório Brundtland. O documento destacou que a exploração excessiva dos recursos naturais poderia levar ao colapso dos ecossistemas, defendendo a cooperação global na busca por soluções e recomendando a realização de uma conferência sobre esses temas.

Em 22 de dezembro de 1989, a ONU aprova em assembleia extraordinária, uma conferência sobre meio ambiente e desenvolvimento, dando início a Agenda 21.

Em 1992, a segunda conferência ambiental organizada pela ONU, conhecida como Eco'92 ou Rio'92, reuniu 108 chefes de estado na Cúpula da Terra realizada no Rio de Janeiro. Neste evento, foi destacado que a humanidade enfrentava um momento crucial em sua história. As discussões abordaram planos de ação para a preservação dos recursos do planeta e a redução das disparidades entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto as nações desenvolvidas defendiam o direito a um ambiente saudável, as em desenvolvimento ressaltavam a necessidade de seu próprio desenvolvimento. Como resultado da UNCED, surgiu a Agenda 21, um documento com 2500 recomendações de estratégias para conservação do planeta e metas de exploração sustentável dos recursos naturais, sem impedir o desenvolvimento de nenhum país.

A importância do comprometimento global e local na promoção do desenvolvimento sustentável foi estabelecida pela Agenda 21, incentivando governos, empresas, organizações não governamentais e todos os setores da sociedade a cooperarem na busca por soluções. Cada país desenvolveu sua própria Agenda 21, um plano de ação para ser implementado por governos e sociedade civil, abrangendo todas as áreas em que a atividade humana afeta o meio ambiente. No Brasil, as discussões foram coordenadas pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS).

Em 1997, devido à crescente preocupação com o aumento do efeito estufa e o temor das consequências do aquecimento global, foi assinado o Protocolo de Kyoto, o tratado ambiental mais ambicioso até então. O protocolo estabeleceu que os 35 países industrializados signatários deveriam reduzir suas emissões de gases em 5% em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012.

Em 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU foi agraciado com o Prêmio Nobel da Paz devido aos seus estudos que contribuíram para o entendimento do problema climático e para a identificação das medidas necessárias para enfrentar a crise. O prêmio foi compartilhado com o ex-vice-presidente dos Estados Unidos, Al Gore, por seu papel na sensibilização sobre a ameaça do aquecimento global. A partir desse momento, a sustentabilidade ganhou uma nova dimensão de percepção e aceitação pela sociedade.

3.1.2 VALORES DE SUSTENTABILIDADE

Os valores da sustentabilidade estão associados as suas três dimensões. Por meio das respostas obtidas pelos valores de sustentabilidade que estão associados as três dimensões, pode-se atribuir ao ambiente construído valores que buscam dar um significado ao mesmo.

3.1.2.1 Dimensão Ambiental

Na perspectiva ambiental, a sustentabilidade visa alcançar um "equilíbrio entre a proteção do ambiente físico e seus recursos, e o uso desses recursos de forma a garantir que o planeta continue a sustentar uma qualidade de vida aceitável" (CIB, 2002). Portanto, o valor ambiental do ambiente construído está intrinsecamente ligado ao seu impacto no meio ambiente. Atualmente, é possível atribuir um significado objetivo aos impactos e, conseqüentemente, ao valor ambiental, por meio da avaliação e mensuração desses impactos. O principal método de avaliação é a análise do ciclo de vida, ou ACV.

A norma técnica NBR-14040 (ABNT, 2014) explica que análise do ciclo de vida, ou ACV, consiste na avaliação e comparação dos impactos ambientais causados por diferentes sistemas que desempenham funções semelhantes ao longo de todo o ciclo de vida. Para isso, a ACV realiza inventários do fluxo de matéria e energia para cada sistema, a fim de compará-los entre si, representados na forma de impactos ambientais. A ACV é normalizada pela série ISO 14000.

As etapas básicas de um ACV incluem: definição do problema; inventário ou balanço de massa-energia; e avaliação de impactos ambientais.

Na primeira etapa, são realizadas as seguintes atividades:

- definição do objetivo do estudo;
- delimitação das fronteiras do sistema;
- definição da base referencial ou unidade funcional.

Em uma ACV de um ambiente construído, a unidade funcional pode ser definida como toda a construção, um edifício, um componente ou até mesmo um material. Essa definição tem grande impacto nos resultados e, uma vez que a ACV deve buscar uma análise o mais abrangente possível, é recomendável que a unidade funcional seja também a mais abrangente possível.

Na segunda etapa (inventário ou balanço de massa-energia), é realizada a descrição do fluxo de entrada e saída de matéria e energia. Esses fluxos devem ser equilibrados considerando os impactos ambientais a serem avaliados. Dessa forma, é feita a mensuração quantitativa do impacto do sistema (fatores de impacto).

Na terceira etapa, que consiste na avaliação de impactos ambientais, os fatores de impacto são relacionados a uma categoria ou a um critério de avaliação definido por um modelo. Essas categorias estão associadas a impactos locais, como toxicidade e ecotoxicidade; impactos regionais, como chuvas ácidas e desertificação; e impactos globais, como efeito estufa e redução da camada de ozônio.

3.1.2.2 Dimensão Social

Na esfera social, a busca pela sustentabilidade se concentra no "desenvolvimento de sociedades justas, que proporcionem oportunidades de desenvolvimento humano e um nível aceitável de qualidade de vida" (CIB, 2002).

O valor social da sustentabilidade é particularmente crucial em países em desenvolvimento, onde há uma busca por aumentar a qualidade de vida de sua população, em contraste com países desenvolvidos, que já atingiram um certo nível de bem-estar social.

Segundo Silva (2003), os indicadores de desempenho social devem refletir as consequências das atividades econômicas da empresa ou empreendimento. Esse

valor deve abranger o impacto global sobre toda a sociedade, incluindo funcionários, contratados, fornecedores, clientes e a comunidade em geral. A autora divide esse desempenho social em dois temas: impactos internos e impactos na sociedade.

Entretanto, ainda não existe um conceito formal e universal de valor social (ARAÚJO, 2006). Algumas propostas indicam que o valor social de uma empresa ou empreendimento está relacionado à implementação de programas consistentes que geram e disseminam conhecimento, promovendo o crescimento tanto da organização quanto de todos os públicos que a influenciam ou são influenciados por ela (BUENO et al., 2002).

Esses valores devem incluir práticas para atendimento à comunidade, indo além das obrigações legais. Portanto, é fundamental que os valores sociais sejam incorporados na missão, cultura e mentalidade dos dirigentes e colaboradores de uma empresa ou empreendimento, visando o bem-estar da população, já que o próprio sucesso destes depende da sociedade à qual pertencem (FELIX, 2003).

Para atribuir um significado objetivo ao desempenho e valor social das empresas, algumas entidades procuram desenvolver indicadores específicos. No Brasil, destaca-se o indicador de Responsabilidade Social Empresarial do Instituto ETHOS. Segundo Custodio e Moya (2007), o instituto define responsabilidade social como "o comprometimento permanente dos empresários em adotar um comportamento ético e contribuir para o desenvolvimento econômico, melhorando simultaneamente a qualidade de vida de seus funcionários e de suas famílias, da comunidade local e da sociedade como um todo".

O índice ETHOS visa auxiliar as empresas no aprofundamento da responsabilidade social e no comprometimento com o desenvolvimento sustentável. Desenvolvido desde 1999, existem ferramentas e índices específicos para vários setores da economia, incluindo a construção civil, que possui um índice ETHOS desde 2005.

3.1.2.3 Dimensão Econômica

Na esfera econômica, a sustentabilidade visa um "sistema econômico que facilite o acesso a recursos e oportunidades e o aumento de prosperidade para todos, dentro dos limites do que é ecologicamente possível e sem ferir os direitos humanos básicos" (CIB/UNEP-IETC, 2002). Portanto, reconhece-se a importância do consumo

para alcançar o bem-estar e a prosperidade, incorporando a lógica de produção de bens de consumo e buscando o uso eficiente dos recursos. O valor econômico pode ser associado à melhoria nas práticas de produção, visando a produtividade, menor consumo de recursos, durabilidade, viabilidade, competitividade empresarial e crescimento sustentável do padrão de vida da população, com justiça distributiva aceitável. O conceito fundamental que influencia essas questões é a qualidade.

O conceito amplo de qualidade é definido como Qualidade Total, (LEMOS, 1999) que engloba a satisfação do cliente interno e externo de um produto, com ênfase nas necessidades deles, da empresa e da sociedade. Além disso, requer o envolvimento e comprometimento de toda a cadeia produtiva: funcionários, diretoria e fornecedores. A abordagem é orientada para o cliente e busca uma melhoria contínua do produto e do processo. Essa melhoria é essencialmente uma busca por aprimorar uma situação existente, geralmente associada a um processo incremental de inovação.

O conceito de qualidade do produto foi desenvolvido a partir dos campos de administração e controle de produção. Nas décadas de 1950 e 1960, foram formulados os principais conceitos de qualidade do produto (FABRÍCIO, 2004), incluindo:

- Qualidade do produto como máxima utilidade para o consumidor;
- Qualidade como o perfeito contentamento do usuário;
- Qualidade como satisfação das necessidades do cliente;
- Qualidade efetiva é aquela que realmente traz satisfação ao consumidor.

A busca pela qualidade de um produto envolve cinco abordagens:

- Enfoque transcendental: a qualidade é subjetiva e abstrata, constatada na prática pela experiência;
- Enfoque no produto: qualidade é objetiva, uma variável passível de medição, relacionada à quantidade de características positivas do produto;
- Enfoque baseado no usuário: a qualidade está na percepção do usuário do produto, atendendo aos seus desejos e necessidades;

- Enfoque baseado na fabricação: a qualidade está associada às técnicas de engenharia e fabricação, definida como conformidade com as especificações;
- Enfoque baseado no valor: a qualidade é relativizada ao custo do produto, buscando o melhor desempenho com preço competitivo.

Para realização de um produto são utilizados sistemas de gestão. Os sistemas de gestão baseados em conceitos de qualidade são chamados de sistemas de gestão pela qualidade.

Na gestão pela qualidade, o produto é entendido como resultado de um processo que utiliza um conjunto de dados de entrada e que, ao final, deve garantir como dados de saída um grupo de soluções que respondem às necessidades dos clientes internos e externos do mesmo. As necessidades dos clientes são traduzidas em parâmetros que serão parte integrante dos dados de entrada. A realização do produto também é entendida como uma série de processos internos. As etapas de definição de dados de entrada, realização do produto e o produto, devem ser analisados criticamente, aprimorando as definições do processo (MELHADO, 1999). Segundo o autor, o produto final deve ser verificado em relação aos parâmetros definidos e validados junto aos clientes.

A integração dos valores e práticas de qualidade nos empreendimentos da construção civil geralmente ocorre em resposta a demandas do mercado e/ou regulamentações (ANDERY, 2008). Dentro da gestão do empreendimento, a qualidade é percebida como um requisito de desempenho que requer a implementação de ações sistemáticas. As normas da série ISO 9000 e o programa PBQP-H são amplamente utilizados como referências para a sistematização das práticas de gestão pela qualidade. Em geral, os empreendimentos adotam as normas técnicas como requisitos de desempenho, sendo a NBR-15.575 uma referência que resume tais requisitos para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, incluindo considerações de sustentabilidade (ABNT, 2008). Dessa forma, a sustentabilidade é encarada como mais um critério de desempenho a ser considerado na qualidade do edifício.

Os sistemas de gestão pela qualidade se valem de diversas ferramentas e conceitos para otimizar os processos de produção. Entre essas ferramentas,

destacam-se os sistemas de informação formais, que incluem procedimentos padronizados com entradas e saídas definidas, melhorando as interações entre os diferentes requisitos do empreendimento (SOUZA E MELHADO, 2008). Outra ferramenta importante é a engenharia simultânea, que busca melhorar os resultados dos projetos ao considerar as interações entre seus requisitos. Uma proposta conhecida como projeto simultâneo, desenvolvida por Fabricio e Melhado (1998), destaca a importância da gestão do processo de projeto e a cooperação entre os diversos agentes envolvidos.

Para facilitar a execução coordenada e paralela dos projetos, são utilizadas ferramentas que promovem a colaboração entre os agentes do processo de projeto. Ambientes colaborativos, bem como o modelo de informação para a construção (BIM), surgem como soluções adequadas para esse cenário. Ambientes colaborativos permitem que diferentes agentes participem, colaborem e cooperem em busca de um objetivo comum (BOLLMANN ET AL., 2005). Os sistemas computacionais colaborativos, conhecidos como extranets de projetos, são desenvolvidos para permitir que os agentes trabalhem juntos, mesmo estando em locais diferentes (COELHO E NOVAES, 2008). Esses ambientes colaborativos facilitam o compartilhamento de habilidades entre os agentes do processo, contribuindo para alcançar os requisitos do empreendimento.

A tecnologia BIM, por sua vez, possibilita a modelagem tridimensional dos elementos construtivos do edifício, integrando informações como custo e prazos. Os modelos paramétricos utilizados na modelagem representam geometricamente os elementos e incluem informações sobre dimensões, processos construtivos e custos. Esses atributos podem ser ajustados e relacionados entre si, minimizando conflitos entre os elementos. Os agentes do processo de projeto podem modificar os elementos paramétricos e visualizar o impacto dessas alterações no projeto como um todo, facilitando a resolução de conflitos e otimizando o processo.

Além disso, o BIM permite a realização de simulações de desempenho e eficiência energética da edificação, fornecendo insights sobre os impactos ambientais, o conforto humano e os custos econômicos do projeto, contribuindo para uma abordagem mais sustentável no processo de projeto.

3.1.3 SUSTENTABILIDADE E A CONSTRUÇÃO CIVIL

Os ambientes construídos têm moldado a natureza de acordo com os desejos e o design humano desde tempos antigos. Um exemplo é a cidade de Jericó, situada no vale do rio Jordão, onde foram encontradas edificações de tijolos que remontam a 10.000 a.C. Outro exemplo é a cidade de Çatal Hüyük, na Turquia, construída há aproximadamente 7.000 anos, caracterizada por edifícios conectados por uma rede urbana de passarelas. Na Mesopotâmia, no final do terceiro milênio a.C., cerca de noventa por cento da população residia em áreas urbanas (FERNÁNDEZ-ARMESTO, 2004). Atualmente, quatro mil anos após esses eventos, o mundo está cada vez mais urbanizado, refletindo uma transformação significativa em direção à vida urbana predominante. Embora tenhamos tecnologia para enfrentar desafios de saúde, higiene e segurança decorrentes da construção de ambientes, surgiram novos problemas resultantes da alteração do ambiente natural.

As consequências do consumo desenfreado de recursos naturais são preocupantes. O aquecimento global, uma das principais preocupações atuais, representa uma dessas consequências, e os desastres potenciais associados a ele têm o potencial de afetar toda a humanidade (UNITED NATIONS, 2024). Ainda não se sabe se será possível evitar desastres semelhantes aos que impactaram civilizações do passado, todas elas construtoras de cidades.

Diante da importância do ambiente construído e suas atividades no contexto de um novo modelo de desenvolvimento, a sociedade começou a agir de forma crítica em relação a isso. Recentemente, têm surgido diversas iniciativas que buscam abordar a sustentabilidade no ambiente construído, com foco específico na indústria da construção civil (UNEP, 1999).

3.1.3.1 Histórico

Inicialmente, as ações destinadas a integrar o tema da sustentabilidade nos ambientes construídos tinham uma abordagem predominantemente ambiental. (MEBRATU, 1998; GAUZIN-MULLER, 2002; SZABÓ, 2005; UNITED NATIONS, 2024; UNEP, 2024; BRE, 2008; USGBC, 2008)

Em 1990, o primeiro sistema de avaliação ambiental de construções do mundo, o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method),

foi lançado na Inglaterra. Este sistema concede uma certificação "verde" às construções.

Também em 1990, Norman Foster publicou o artigo "Architecture and Sustainability", propondo uma análise crítica do impacto ambiental das construções e discutindo o papel da arquitetura e engenharia nesse processo. Foster enfatizou a importância de fazer as perguntas certas antes de buscar respostas: "Por que ocupar novas áreas quando podemos recuperar áreas? Por que demolir edifícios que poderiam ser utilizados para novos usos? Por que utilizar intensa iluminação artificial quando podemos aproveitar a luz do dia? Por que utilizar condicionamento de ar quando podemos simplesmente abrir uma janela?"

John Tillman Lyle lançou o livro "Regenerative Design for a Sustainable Development" em 1994, propondo novas abordagens para o uso de energia, água, terra e edificações. Ele discutiu alternativas de regeneração para práticas de consumo, levando em consideração fatores sociais, políticos e econômicos, além de teoria e tecnologia. Lyle destacou que as estratégias erradas adotadas em nome do progresso são responsáveis pela situação atual. O livro apresentou exemplos importantes de reaproveitamento de materiais.

A conferência da ONU Habitat II foi realizada na Turquia em 1996, discutindo os destinos das cidades e propondo medidas para a sustentabilidade nos assentamentos humanos.

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) lançou a "Agenda Setorial para Construção Sustentável" em 1999, alinhada com as metas do relatório Brundtland, Agenda 21 (1992), Habitat II e Protocolo de Kyoto. O Conselho Europeu de Arquitetura também publicou o livro "Green Vitruvius: Principles and Practices of Sustainable Architectural Design" no mesmo ano, enfatizando a importância de as construções considerarem as condições climáticas locais e apresentando estratégias de sustentabilidade para construção, bem como o papel benéfico da relação entre vegetação e ambiente construído.

Também em 1999, o United States Green Building Council (USGBC) criou o selo de certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), oferecendo incentivos financeiros e econômicos para o mercado de construções verdes nos Estados Unidos.

Em 2000, o CIB criou a "Agenda Setorial para Construção Sustentável" para países em desenvolvimento, estabelecendo um grupo global para cooperação e trocas de pesquisas em construção sustentável, com o objetivo de reduzir a diferença entre países desenvolvidos e em desenvolvimento na melhoria do desempenho do ambiente construído.

Em 2001, o BedZED (Beddington Zero Energy Development), um condomínio de 100 casas e escritórios com consumo de energia reduzido, foi concluído na Inglaterra, tornando-se uma obra de referência em construções sustentáveis.

Em 2002, a França lançou o seu programa de certificação de construções ambientais, o HQE (Haute Qualité Environnementale), e o Japão lançou o seu programa de certificação, o CasBee (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency).

O Green Building Council Brasil (GBCBrasil) foi criado em 2007, com o objetivo de ser uma referência na avaliação e certificação de construções sustentáveis no Brasil, através da regionalização da ferramenta de avaliação LEED. Neste mesmo ano, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) foi fundado com o propósito de incentivar conceitos e práticas sustentáveis na construção civil, sem necessariamente certificar edificações.

Em 2008, o selo brasileiro de certificação ambiental AQUA (Alta Qualidade Ambiental) foi lançado, com base na certificação francesa HQE.

3.1.3.2 Conceitos e Práticas de Sustentabilidade na Construção Civil

De acordo com o Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção - CIB, a construção sustentável deve ser abordada como "um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes naturais e construídos e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica" (CIB, 2002).

A construção sustentável está intimamente ligada ao desenvolvimento sustentável, sendo seus conceitos e práticas frequentemente associados a ações e metas delineadas nos meios decisórios do desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, incluindo a definida pela ONU e as diversas iniciativas nacionais, regionais, locais e setoriais, são os principais meios decisórios dessas ações e metas. Elas são

normalmente compreendidas a partir da integração das dimensões ambientais, sociais e econômicas (triple bottom line).

Silva (2003) relacionou conceitos e práticas de sustentabilidade no ambiente construído às três dimensões do triple bottom line e também a uma dimensão institucional. A dimensão institucional visa fortalecer os esforços para a sustentabilidade dentro e fora de um setor e está prevista na Agenda 21. A autora demonstrou as possibilidades de ações da indústria da construção civil em relação aos capítulos da Agenda 21 brasileira e da Agenda 21 para a construção civil do CIB. Essas considerações proporcionam um entendimento geral dos conceitos atuais de sustentabilidade no ambiente construído.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) apresentam algumas práticas para sustentabilidade na construção, destacando:

- Aproveitamento das condições naturais locais;
- Mínimo impacto no terreno e integração com o ambiente natural;
- Análise e consideração do entorno;
- Minimização dos impactos no entorno, incluindo paisagem, temperatura e conforto térmico;
- Garantia de qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Utilização de matérias-primas que contribuam para a ecoeficiência do processo;
- Redução do consumo energético e hídrico;
- Práticas de redução, reutilização, reciclagem e disposição adequada de resíduos sólidos;
- Introdução de inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental e conscientização dos envolvidos no processo.

Motta e Aguilar (2008) sintetizaram os principais conceitos relacionados à sustentabilidade, enfatizando que esta deve estar presente em todas as fases do ambiente construído, desde a concepção até o final de sua vida útil. Segundo os autores, as principais práticas adotadas incluem:

- Planejamento adequado, considerando aspectos sociais, culturais e ambientais desde a implantação do edifício no local até técnicas e métodos construtivos que promovam maior qualidade e eficiência construtiva;
- Conforto ambiental e eficiência energética, garantindo um uso confortável do edifício com baixo consumo de energia e preferencialmente utilizando estratégias de condicionamento passivo;
- Eficiência no consumo de água, com redução do consumo, aproveitamento de águas pluviais, reutilização e minimização da geração de resíduos;
- Eficiência construtiva, utilizando materiais, técnicas e gestão que promovam um desempenho ideal da edificação com durabilidade e práticas sustentáveis de extração, produção e reciclagem;
- Eficiência no final da vida útil da construção, adotando práticas de reciclagem, aproveitamento de resíduos da demolição e desconstrução, visando o reuso e reciclagem de componentes do edifício.

3.1.3.3 Principais Impactos da Construção Civil

Os edifícios e os espaços ao seu redor têm o papel crucial de atender às necessidades humanas, mas também podem gerar uma série de impactos, tanto diretos quanto indiretos, ao longo de seu ciclo de vida, desde a construção até a desativação (PINHEIRO, 2006). Esses impactos se manifestam de várias maneiras, como o uso intensivo de recursos naturais, a emissão de gases poluentes, a sobrecarga do solo e as alterações nos ambientes construídos e naturais. Mateus (2004) destaca a interdependência entre o ambiente construído, de origem humana, e o meio ambiente natural, evidenciando a complexa relação entre esses dois sistemas.

Os impactos ambientais associados à construção de edifícios podem ser categorizados em três fases distintas: durante a construção e operação do edifício, durante sua utilização e ao longo da fase de desativação, quando são gerados resíduos (MATEUS, 2004). Esses impactos são parte integrante do processo de construção e vida útil de um edifício, influenciando tanto os aspectos ambientais quanto sociais da região em questão.

O termo "impacto ambiental" refere-se às mudanças, positivas ou negativas, nos parâmetros ambientais e sociais de uma área específica ao longo do tempo, resultantes da implementação de um projeto em comparação com a situação que ocorreria caso o projeto não fosse realizado (PINHEIRO, 2006). Essa definição destaca a importância de avaliar não apenas os efeitos imediatos de um projeto, mas também suas consequências a longo prazo, ajudando a orientar decisões e práticas mais sustentáveis no setor da construção. O setor da construção civil consome entre 14% e 50% de toda a matéria-prima extraída da natureza, 16% de recursos hídricos e 40% de toda fonte de energia (TAVARES, 2006). Não só na utilização de recursos o impacto da construção civil também está nos produtos resultantes de seus processos, em que, gera de 40% a 70% dos resíduos sólidos.

Estudos recentes identificaram que os edifícios são responsáveis por 30 a 40% do uso de energia e de 40 a 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do mundo. (ZABALZA BRIBIÁN; ARANDA USÓN; SCARPELLINI, 2009). Entre as principais fontes de GEE pode-se citar o concreto armado e a argamassa empregada na construção. Estima-se que 99% das emissões de GEE em residências podem estar relacionadas a estes dois materiais.(SINGH et al., 2011).

Em geral, a indústria da construção civil é composta por vários elos, a partir da mineração, fabricação, construção, utilização e demolição. Dentro de cada fase, uma grande quantidade de energia é utilizada e ao mesmo tempo uma emissão considerável é liberada. A energia, é necessária diretamente durante a construção de edifícios, utilização ou demolição, enquanto indiretamente nas fases de produção de materiais utilizados na construção.(SARTORI; HESTNES, 2007).

Esses dados demonstram que o setor tem um grande potencial para buscar soluções sustentáveis que minimizem os impactos gerados por sua atividade.

3.1.3.4 Consumo Energético

(INMETRO, 2024) O investimento em eficiência energética tem recebido grande destaque em muitos países, com especial ênfase nos esforços para melhorar a eficiência no ponto de consumo. No Brasil, diversas políticas têm sido implementadas nesse sentido. Destacam-se iniciativas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, o Programa Nacional de Uso Racional do Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) e o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), promovido pela Eletrobras, que inclui a rotulagem de eletrodomésticos e edificações, entre outras ações. Além disso, medidas específicas têm sido adotadas, como a promoção do uso de motores elétricos de alta eficiência e a eliminação gradual das lâmpadas incandescentes do mercado. Planos de longo prazo, como o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), derivado do PNE, também desempenham um papel importante na promoção da eficiência energética.

As edificações são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de recursos, como energia e água, e pela emissão de CO₂ (ONU, 2024). Em muitos países, cerca de 40% da eletricidade consumida é destinada a edifícios, e as construções são responsáveis por cerca de um terço das emissões totais de CO₂. Vários estudos apontam um grande potencial de economia a ser explorado na eficiência energética de edifícios, tornando a renovação para torná-los mais eficientes uma estratégia fundamental para a redução das emissões de CO₂.

O setor público desempenha um papel importante nesse contexto, já que detém grandes orçamentos e poder de compra. No Brasil, o setor público é responsável por aproximadamente 8,2% do consumo de energia elétrica. Uma parte significativa das

edificações em uso pertence ou é alugada pelo governo, o que torna essencial que o setor público atue na melhoria da eficiência energética e na redução das emissões de CO₂ de suas propriedades (PBE, 2024). Desde 2014, uma determinação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão estabelece que edifícios novos e reformas acima de 500 m², controlados pela administração federal, devem atender ao nível "A" no selo do INMETRO e no PROCEL-Edifica, como forma de incentivar a construção e a ocupação de edifícios energeticamente eficientes.

3.1.3.5 Emissão de Gases de Efeito Estufa

Na indústria da construção civil, o setor de produção de cimento é citado como responsável por 2 % (SOARES, 1998), a 7% (TOLEDO FILHO; REGO, 2002) de todas as emissões de CO₂. Nas obras civis o concreto é o elemento mais utilizado, sendo o material mais consumido pela humanidade após a água (ISAIA e GASTALDINI, 2004). Em relação ao consumo de energia, as emissões de CO₂ das indústrias de construção correspondem, nas cidades europeias, a aproximadamente 30% do total de emissões (PRESCO apud BARBOSA et al, 2003).

(JOHN, 2005), demonstra que os materiais de construção, cimento, cal, aço (ferro), areia e brita (retirada e transporte), cerâmica vermelha e PVC, são os que apresentam maiores índices de emissões dos gases causadores do efeito estufa. De acordo ainda com o IDD, o concreto apresenta a maior quantidade de emissão de CO₂ para os principais materiais de construção utilizados em uma residência. As relações representadas entre a área construída e as emissões de CO₂, para as construções na Bélgica, correspondem a 253 kg de CO₂ / m² de construção.

No Brasil, Stachera Júnior (2006), com base nos estudos de Cybis e Santos (2000), Cruz et al (2003), IDDInstitut Wallon Vito (2001) e Isaia e Gastaldini (2004), calculou o valor médio mínimo de 9,2 toneladas de CO₂, lançadas na atmosfera por casa, com 40 m² de área construída pela Companhia de Habitação do Paraná – COHAPAR. Esse valor equivale a 229 kg CO₂/m² de área construída, emitidos no processo de produção e transporte dos principais produtos utilizados na construção de habitação de interesse social, desenvolvido no Estado do Paraná.

3.1.3.6 Extração de matéria prima e manufatura

A indústria da construção civil vem aumentando o consumo dos materiais de construção, o que incrementa ainda mais os problemas correlacionados. As principais forças motrizes são o aumento da população, o crescimento econômico, além do aumento no padrão de desenvolvimento, estimulados pelos atuais moldes de produção e de consumo. Diante da incontestável finitude das matérias-primas fundamentais para a construção e da notória necessidade de se mudar o modo de explorar os recursos naturais, a busca por melhorias deve estar acompanhada por soluções que incentivem o uso dos recursos naturais com baixo impacto ambiental (Motta & Aguilar, 2009), sendo que a etapa de escolha dos materiais de construção pode favorecer esses preceitos.

Mais especificamente, a seleção de materiais inserida no contexto da sustentabilidade representa uma perspectiva para essa problemática (Oliveira, 2009). Contudo, a efetiva definição da sustentabilidade dos materiais envolve aspectos que incorporam incertezas e variáveis subjetivas (John et al., 2007). Porém, mesmo diante dessas incertezas, a rotineira etapa de especificação de materiais tende a ampliar os critérios para uma seleção adequada aos novos tempos, abrangendo considerações que vão além dos habituais (Abeyundara et al., 2009), como o preço ou a tendência de escolher, preferencialmente, os materiais usados tradicionalmente pela construção civil.

Dada a grande variedade de materiais ditos sustentáveis presentes no mercado, Loturco (2015), define dez critérios técnicos de sustentabilidade para a seleção de materiais: consumo de água e recursos energéticos para a fabricação; geração de poluentes na fabricação; redução de matérias-primas e uso de materiais recicláveis; distância entre obra e a fábrica e procedência do produto; geração e gestão de resíduos na obra; economia de energia ou água de operação; durabilidade e facilidade de manutenção; reciclabilidade do produto e destinação pós-consumo; emissão de substâncias nocivas à saúde humana; legalidade e responsabilidade socioambiental do fabricante.

3.1.3.7 Desperdícios na construção

Durante muito tempo não existiram informações acerca das perdas e desperdícios inerentes à construção civil, e por consequência não se sabia da natureza das atividades de construção, assim como os agentes da construção utilizados e da quantidade e destino dado aos resíduos gerados. Atualmente, e face à crescente discussão das questões ambientais com vista ao desenvolvimento sustentável, nas diversas dimensões, além das exigências de mercado, o sector da construção civil teve de adequar os processos construtivos em busca do uso mais racional dos materiais em estaleiro. (MORAIS, 2006) A gestão de resíduos é um dos objetivos essenciais para uma boa construção sustentável, tem como propósito criar uma área para a disposição dos resíduos gerados pelos próprios moradores/utilizadores, reduzir a geração de resíduos na construção, a redução de emissão de resíduos orgânicos para o processamento pelo poder público ou concessionários e mais importante incentivar a reciclagem de resíduos secos ou úmidos.

A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais têm levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentável, por parte de todos os segmentos da sociedade.

Dentro desta corrida pelo bem-estar ambiental, a reciclagem de resíduos tem-se apresentado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo.

Na gestão de resíduos estão inseridos os desperdícios da construção civil ao longo do ciclo de vida de um edifício. A transformação destes em fonte alternativa de matéria-prima dentro do próprio setor constitui um desafio para o meio técnico-científico, neste sentido, tem-se tentado incorporar os resíduos de construção e demolição na produção de cimentos convencionais, o que aumentaria o seu potencial de utilização.

A geração do resíduo durante a fase de construção é consequência das perdas dos processos construtivos (MORAIS, 2006). Parte das perdas do processo permanece incorporada nas construções, na forma de componentes, cujas dimensões finais são superiores às projetadas. Outra parcela vai se converter em resíduo de

construção. A proporção entre as duas não é conhecida em detalhes, estipula-se que 50% das perdas são convertidas em RCC.

3.1.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS DE IMPACTO

3.1.4.1 Sistemas de Certificação e Indicadores de Sustentabilidade

Os valores associados à sustentabilidade do ambiente construído podem ser expressos por meio de indicadores ou parâmetros que facilitam sua percepção e avaliação. Esses indicadores são frequentemente organizados em sistemas de classificação que permitem distinguir e reconhecer os edifícios e ambientes construídos que adotaram práticas e princípios de sustentabilidade (GOULART, 2005). Segundo SILVA (2003), os sistemas de classificação são ferramentas eficazes para melhorar o desempenho do ambiente construído.

(BRE, 2008) Os sistemas de classificação que abordam a sustentabilidade em suas avaliações têm suas origens nos sistemas de avaliação ambiental desenvolvidos na década de 90, na Europa, nos Estados Unidos e no Canadá, como parte dos esforços para atender às metas ambientais estabelecidas na Conferência UNCED de 1992, no Rio de Janeiro. Atualmente, vários países adotaram esses sistemas de classificação, sendo os mais proeminentes o BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) do Reino Unido, que possui o maior número de certificações no mundo, e o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dos Estados Unidos, que possui uma ampla penetração internacional. No contexto brasileiro, também é relevante mencionar o sistema HQE (Haute Qualité Environnementale) da França, que serviu de base para uma das certificações utilizadas no país.

O BREEAM (Building Establishment Environmental Assessment Method) foi o pioneiro entre os sistemas de classificação ambiental de edificações. Desenvolvido no Reino Unido pelo Building Research Establishment (BRE) em colaboração com o setor privado, o programa passa por atualizações a cada três a cinco anos, sendo a última realizada em 2008.

O BREEAM é estruturado em categorias que consideram o tipo de edificação e a fase do empreendimento.

O método de avaliação é baseado em análise documental e na verificação de itens mínimos de desempenho, projeto e operação dos edifícios. A performance dos edifícios é avaliada em diferentes categorias.

- **Energia** (*energy use*): consumo de energia e a emissão de CO₂ na operação e uso.
- **Transporte** (*transport*): impacto da localização no transporte relacionado à emissão de CO₂.
- **Poluição** (*pollution*): geração de poluição do ar e da água.
- **Materiais** (*materials*): impacto ambiental dos materiais de construção em todo ciclo de vida.
- **Água** (*water*): consumo eficiente da água.
- **Uso do solo e Ecologia** (*land use and ecology*): impactos em áreas verdes, descontaminação do solo e conservação de ecossistemas.
- **Saúde e Bem-estar** (*health and well-being*): qualidade ambiental interna e externa relacionadas à saúde e bem-estar dos usuários.
- **Gestão** (*management*): política de gestão global e o comissionamento da gestão e das atividades.

O BREEAM se destaca por incluir aspectos de gestão ambiental em sua avaliação, proporcionando uma certificação baseada no desempenho e na pontuação. Isso permite uma comparação relativa entre os edifícios certificados (GOULART, 2005).

Por sua vez, o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema de classificação de desempenho consensual e orientado para o mercado, cujo objetivo é acelerar o desenvolvimento e a adoção de práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis. O desenvolvimento do LEED foi coordenado pelo USGBC (United States Green Building Council), com a participação de diversos setores da indústria da construção civil dos Estados Unidos. O processo teve início em 1996 e a primeira versão foi finalizada em 1999. Uma das características fundamentais do LEED é seu caráter voluntário, o que, segundo seus idealizadores, estimula a busca por desempenhos superiores em relação aos padrões ou normas obrigatórias. As ferramentas do LEED para classificação de edificações são divididas por tipologia (USGBC, 2024).

Os principais objetivos do sistema LEED são:

- definir “green building” por estabelecer um padrão comum de medição;
- promover a prática de projeto integrado, do edifício como um todo;
- reconhecer a liderança ambiental na indústria da construção;
- estimular a competição na construção sustentável;
- aumentar a consciência nos consumidores dos benefícios de edificações sustentáveis;
- transformar o mercado da construção.

O programa fornece uma estrutura completa para acessar o desempenho do edifício e atender as metas de sustentabilidade. Baseado em padrões científicos bem fundamentados, o LEED enfatiza estratégias para o desenvolvimento sustentável do espaço, aproveitamento de água, eficiência energética, seleção de materiais e qualidade ambiental interna (USGBC, 2024). O programa reconhece os sucessos alcançados e promove o conhecimento em edifícios sustentáveis através de um sistema amplo, oferecendo certificação de projeto, suporte profissional, treinamento e recursos práticos.

3.1.4.2 Métodos de Avaliação de Impactos

A avaliação de sustentabilidade visa comunicar ao público os esforços e o progresso de uma organização nas dimensões econômica, ambiental e social. A avaliação de impacto ambiental sendo um dos braços da avaliação de sustentabilidade tem por finalidade fornecer aos tomadores de decisão uma análise dos impactos de sistemas construtivos, em termos de perspectivas de curto e longo prazo, para ajudá-los a determinar quais ações devem ser realizadas em direção à sustentabilidade.

A utilização de materiais naturais, que exigem o mínimo de processamento, resulta em impactos benéficos para o ambiente. As construções naturais fazem uso de materiais disponíveis no local da obra ou adjacências, empregando tecnologias sustentáveis de baixo custo e dispêndio energético.

Os materiais reciclados, assim como os materiais naturais, têm baixa energia incorporada. A energia incorporada varia consideravelmente de material para material,

sendo os valores expressos por unidade de massa (MJ/kg) ou por unidade de volume (MJ/m³).

Os impactos dos produtos da construção no meio ambiente podem se manifestar de diversas formas. Enquanto alguns efeitos, como a geração de poeira e barulho durante a fase de construção, têm impactos transitórios, outros, como emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis, podem ter impactos permanentes. A diversidade e complexidade desses impactos são difíceis de caracterizar, mas não são especificidades exclusivas dos produtos da construção.

Sattler (2002) classifica os danos causados pela atividade construtiva em diversos aspectos, incluindo esgotamento gradativo de matérias-primas, dano ecológico pela extração desses materiais, consumo de energia em todos os estágios de produção, consumo de água, poluição por ruídos e odores, emissões danosas relacionadas à redução da camada de ozônio, mudanças climáticas, chuvas ácidas, aspectos relativos à saúde humana, risco de desastres, durabilidade e manutenção, e reuso e desperdícios.

3.1.4.3 Indicadores de Eficiência Energética

Entre os aspectos importantes a serem considerados no projeto das edificações estão as características de sua envoltória, os materiais de construção e as facilidades de automação das instalações (TAVARES, 2006).

A conjunção de escolhas favoráveis na envoltória e dos materiais de construção permite aplicar o conceito de construção passiva, que é um tipo de construção voltada a proporcionar conforto aos seus ocupantes com o mínimo uso de energia.

Construções já existentes e que não foram desenvolvidas dentro do conceito de construção “passiva” necessitam de reformas para que possam ter melhor desempenho em eficiência energética, conforto térmico e outros.

Um estudo demonstrou que inovações ou características avançadas de sustentabilidade podem aumentar o custo total de um projeto de construção e devem ser estimadas independentemente. Estudos mostraram que profissionais percebem que custos são a principal barreira para se investir em práticas verdes. Por outro lado, o Green Building Council observa que essas percepções diferem da realidade

mostrada em novas pesquisas. Estudos mais recentes constataram queda no custo adicional para se criar edifícios ambientalmente mais sustentáveis.

O contexto econômico do país é um fator que pode facilitar ou dificultar as linhas de investimento em eficiência energética das edificações. No caso de os juros estarem altos, este tipo de investimento pode não ser atrativo.

3.2 MORADIA SOCIAL

O problema concreto da habitação coletiva faz parte, obviamente, de um problema mais amplo que é o crescimento das cidades. Entende-se que se se pretenderem encontrar soluções nesse campo, não se pode deixar de inseri-lo dentro da problemática urbana total (JACOBS, 2003).

Observando a realidade, e procurando entendê-la através da bibliografia que trata do assunto no Brasil, pode-se perceber que o País como um todo vive hoje em função de um grande crescimento urbano, num momento conflituoso e contraditório em relação à habitação coletiva multifamiliar.

A superfície urbanizada das cidades sempre apresentou, e apresenta até os dias atuais, um progressivo crescimento que visa responder às necessidades do homem; porém, até o século XIX esse crescimento aconteceu através de processos mais lentos que permitiram uma assimilação e uma sedimentação das intervenções anteriores. Atualmente, o ritmo de crescimento invade áreas sempre maiores e perturba o equilíbrio existente, transtornando os significados, como acontece hoje nas periferias e nas faixas dispersas dos aglomerados (JACOBS, 2003). Esses problemas não acontecem exclusivamente no Brasil. E, justamente, por apresentar um caráter internacional, considera-se que reflexões de autores ou arquitetos europeus sobre o tema podem ajudar a entender a própria realidade para tentar melhorá-la.

O problema da habitação urbana no mundo inteiro, em sua forma atual, surge no século XIX como consequência da Revolução Industrial, que gerou um aumento considerável de concentração populacional na cidade numa época na qual, pelo ritmo do desenvolvimento, a população urbana mundial crescia constantemente de forma muito mais acelerada do que em momentos anteriores.

Um resultado imediato da Revolução Industrial foi o surgimento de um programa arquitetônico novo, a fábrica, que estabeleceu definitivamente a separação entre trabalho e moradia. Trabalhava-se na fábrica que, por suas características de forma de produção, localizava-se fora da cidade, mas morava-se nela. Sua existência consolidou também a migração do campo em proporções nunca antes ocorridas, criando como consequência o, desde então, crucial problema do déficit habitacional. Pode-se dizer que os mesmos problemas são totalmente atuais, já que o século XXI parece confirmar o destino urbano do ser humano: um século atrás, 10% da

humanidade vivia em cidades e, bastante antes do final do século XX, essa porcentagem já ultrapassava os 50% (POWELL, 2000, p.06).

Segundo Abiko (1995), a habitação de Interesse Social (HIS), entende-se por uma solução de moradia para atender à população de baixa renda, termo este, criado pelo extinto Banco Nacional de Habitação (BNH) e que ainda prevalece nos estudos sobre gestão habitacional, utilizado por várias instituições, agências, dentre outras. Ainda segundo o autor, esses conjuntos podem ser denominados em:

- Habitação de Baixo Custo: utilizado para designar habitações de valores insignificantes, sem que se justifique necessariamente a atender populações de baixa renda;

- Habitação para População de Baixa Renda: de mesma compreensão que o termo Habitação de Interesse Social, torne-se mais adequado que o anterior, pois cria uma premência de definição de renda máxima das famílias e indivíduos envolvidos no atendimento social;

- Habitação Popular: forma genérica de se utilizar, envolvendo todas as demais soluções no atendimento das necessidades habitacionais, manifestando-se através das tipologias básicas, como: casas precárias de periferias, favelas, cortiços e a oferta habitacional pública;

Análogo ao conceito anterior, Larcher (2005) refere e caracteriza os requisitos básicos das HIS, na qual:

- Todas são financiadas pelo poder público, mas sua fabricação nem sempre são realizadas pelo mesmo, em que empresas, associações, Companhias de Habitação (COHAB), dentre outras formas, são instituídas para a produção das moradias;
- São destinadas à população de baixa renda de até 3 (três) salários-mínimos (faixa da população com maior déficit habitacional);
- Ainda que, a inclusão da população de menor renda ao acesso à moradia seja o principal requisito do interesse social, aspectos de situações de risco, preservação ambiental ou cultural, também podem ser considerados;

O ápice das construções das HIS deu-se entre as décadas de 1960 e 1980, onde sua maioria custava valores elevados, concebidos com negligências e incorretos dimensionamentos dos ambientes compostos no projeto (MARROQUIM; BARBIRATO, 2007).

Segundo Cunha, Arruda e Medeiros (2007), a criação do BNH, foi uma das primeiras medidas do regime de exceção da ditadura militar, que passou a construir milhares de unidades habitacionais com uma arquitetura padronizada e desqualificada. Recebia o direito de posse, quem tinha o poder aquisitivo de contratar profissionais para planejar sua moradia na medida de seus sonhos, e aqueles, classificados como sem renda, o direito de receber uma moradia financiada e executada sem a sua opinião e presença, tornava-se sinônimo de “financiamento à habitação social e assistência técnica no Brasil”.

As problemáticas da pós-ocupação desses conjuntos eram indubitáveis, visto que, a padronização e programas pré-estabelecidos não suprem as diversidades e necessidades dos usuários. Ainda hoje, são notórios os descasos na concepção dessas construções, sejam casas ou edifícios, a relação entre usuário e sua convivência no espaço, torna-se impessoal, inflexível e essa falta de harmonia, condiciona o mesmo a modificar e ampliar o espaço habitado.

O sonho de se ter uma moradia digna, consiste em milhões de pessoas pelo mundo inteiro, direito este, presente na Declaração dos Direitos Humanos e na Constituição da República, que reconhece o mesmo com um direito social (CUNHA; ARRUDA; MEDEIROS, 2007).

A constante necessidade de inovar, obter conforto, flexibilidade nos ambientes e adaptação às mudanças do meio social, resulta das composições, diversificações demográficas e culturais (BRANDÃO, 2011), sendo os tipos de modificações mais comuns, os tipológicos populares.

As pessoas quando constroem suas casas, em sua grande maioria, possuem limitações nas condições financeiras. Muitas, não buscam orientação dos profissionais como arquitetos e/ou engenheiros, resultando em casas mal planejadas e compartimentadas, nas quais, a ampliação torna-se uma consequência

frequente, afetando a estética da residência e comprometendo, na maioria das vezes, sua funcionalidade e flexibilidade. Essas alterações nas habitações resultam,

as necessidades dos usuários em relacionar os fatores simbólicos e estéticos da personalização e definição do território (BRANDÃO, 2011).

Referindo-se às moradias do HIS, a padronização de conjuntos habitacionais existentes no Brasil, através de programas já pré-estabelecidos, geralmente, não suprem a necessidades dos diversos usuários. Além disso, os parâmetros que deveriam impor qualidade tanto à unidade habitacional como aos conjuntos em si, normalmente não são atingidos, devido à escolha do material de baixo custo (que leva a uma rápida deterioração das obras), a ausência de manutenção, infraestrutura e outras considerações referentes à qualidade dos padrões da construção. A maioria dos programas públicos habitacionais realizados no Brasil tem por seu lema, construir uma moradia mínima, que posteriormente poderá ser ampliada por seu usuário. De certa forma, os mesmos em algumas situações, nota-se alguns perderam totalmente o controle urbanístico da área implantada, pois espaços livres para expansibilidade foram ultrapassados da obra original, e em muitos casos resultou no surgimento de favelas (ROMERO; ORNSTEIN, 2003).

As ampliações e disposições desses projetos de forma desorganizada compromete totalmente a moradia, seja referido a sua estética como sua funcionalidade. São reflexões, de cunho social, a serem analisadas para evitar essa descaracterização habitacional.

Com a intenção de promover o desenvolvimento sustentável no setor da construção de habitações de interesse social e de baixa renda, a Caixa Econômica Federal (CEF, 2024) criou o Selo Casa Azul. O Selo Casa Azul é o primeiro sistema de certificação que leva em consideração a realidade habitacional brasileira. O sistema consiste em uma classificação socioambiental de empreendimentos habitacionais, construído por meio dos programas da CEF. O programa visa estimular o desenvolvimento sustentável, incentivando o uso racional de recursos naturais, além de reduzir as despesas de uso e de manutenção das edificações (GRÜNBERG *et al.*, 2014). Para se ter direito ao Selo Casa Azul, 53 critérios são analisados, os quais são divididos em seis categorias, sendo elas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos naturais, gestão da água e práticas sociais (CEF, 2024)

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS CONSTRUTIVOS

3.3.1 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

No início da etapa de seleção de uma determinada tecnologia para a produção de uma edificação é feita a análise de sua viabilidade técnico-econômica, a partir de critérios referentes à capacidade da indústria e à disponibilidade de materiais e componentes locais (incluindo distâncias de transporte), mão de obra disponível para a produção, execução ou instalação dos componentes ou sistema e produtividade. Critérios de desempenho em uso também são considerados em função do tipo de edificação, como, por exemplo, segurança estrutural, resistência ao fogo, estanqueidade, térmico, acústico, durabilidade e outros (JOHN, 2010).

No Brasil, o crescimento do uso de novas tecnologias em sistemas de fachadas tem sido observado, sobretudo nas capitais. Isso acontece, principalmente, por questões técnico-econômicas. Esses sistemas, em geral, apresentam maior produtividade, com maior velocidade de execução e menor percentual de homens-hora na fase de execução ou instalação. Além desses critérios, é necessário considerar, também, a sustentabilidade ambiental do futuro empreendimento, a partir do impacto que a tecnologia pode causar durante todo o seu ciclo de vida, incluindo a extração de materiais, a fabricação, a execução, o transporte, o uso e a disposição final de resíduos.

A escolha dos materiais de construção para a produção de edificações deve incluir critérios de sustentabilidade energético-ambientais, como: durabilidade e facilidade de desconstrução, não toxicidade, baixa quantidade de energia incorporada e baixo percentual de emissões gasosas e sólidas (resíduos), entre outros. Com relação às emissões gasosas, pode-se afirmar que o CO₂ é o principal contribuinte do aquecimento por efeito estufa, emissão que comumente ocorre na fabricação e transporte de materiais de construção. Além disso, um dos maiores desafios ambientais da construção é diminuir a intensidade do uso de materiais ou, em outras palavras, é preciso construir mais utilizando menos (JOHN, 2010). Assim, a seleção correta do material mais adequado para cada solicitação (mecânica, ambiental ou necessidade do usuário) é uma forma eficiente de reduzir o consumo de materiais.

Assim como a escolha dos materiais utilizados, a decisão de qual sistema construtivo será utilizado em sua construção exerce um grande impacto

Cada vez mais as técnicas e tecnologias construtivas vem evoluindo para melhor atender as demandas do mercado, seja de produção, seja de sustentabilidade. Entender as diferenças e onde melhor utilizar cada sistema é essencial para um futuro da construção civil dinâmico e compatível com as necessidades atuais da indústria.

3.3.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

Essencial para o desenvolvimento da humanidade devido ao seu conceito simples, a construção em alvenaria nasceu junto da arquitetura, entre 7000 e 9000 a.C, consistindo basicamente na ideia de empilhar pedras. Atualmente tal técnica é denominada alvenaria simples com junta não preenchida, que inclusive ainda é utilizada em locais menos desenvolvidos. A aplicação deste sistema construtivo fazia uso de pedras naturais, eliminando assim a necessidade de fabricação de material. Os elementos eram justapostos sem que se fizesse uso de qualquer elemento cimentício para unificá-los. A fim de preencher os vazios gerados pela não uniformidade dos elementos principais, eram inseridas pedras de menores dimensões (MORAIS, 2006).

O uso do conceito da alvenaria veio evoluindo, estando presente em grandes monumentos como as pirâmides do Egito que ainda usufruem do simples conceito das pedras sobrepostas até obras mais complexas como as catedrais góticas que fizeram uso dos arcos para obterem grandes vãos livres. Chegando até o século XX onde a alvenaria estrutural começou a ser empregada em edifícios (RAMALHO; CORREA, 2003). Contudo, o surgimento e a popularização do concreto armado, aliado a novos materiais que proporcionaram a construção de edifícios com projetos diferenciados, acabaram por gerar uma baixa no uso da alvenaria, que permaneceu no mercado com a função básica de fechamento.

Ademais, o desenvolvimento e competitividade do mercado logo geraram a demanda por novas técnicas de construção e a alvenaria ressurgiu atrelada a muitas pesquisas e criação de regulamentações e sistemas de cálculo, consolidando assim este sistema construtivo (CAMACHO, 2006). Desta forma, a tecnologia veio se desenvolvendo atrelada a execução de edifícios em alvenaria estrutural, permitindo assim que hoje seja utilizada inclusive em locais que apresentem abalos sísmicos, fazendo uso da alvenaria armada. Com a aplicação destas novas técnicas a alvenaria estrutural foi amplamente difundida em países desenvolvidos como Inglaterra, Alemanha, Suíça e Estados Unidos (SAMPAIO, 2010).

Em 1996 foi construído o primeiro conjunto de edifícios em alvenaria estrutural do Brasil, o Condomínio Central Parque da Lapa, localizado em São Paulo com prédios de quatro pavimentos (SAMPAIO, 2010). No cenário atual do país o uso da alvenaria estrutural vem crescendo junto à preocupação com custos e

desenvolvimento de pesquisas no uso de novos materiais. É dado um destaque para a alvenaria estrutural não armada, por sua economia em termo de materiais. Esta técnica é mais utilizada em empreendimentos de baixo a médio padrão e com no máximo 12 pavimentos (RAMALHO; CORREA, 2003).

As significativas melhorias nos materiais, os avanços no processo produtivo dos blocos, nos métodos de cálculo e nas técnicas construtivas contribuíram para que a alvenaria estrutural seja hoje reconhecida como uma solução economicamente eficiente na construção contemporânea de edifícios (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2014).

As unidades de alvenaria correspondem aos blocos ou tijolos, componentes que, unidos por uma junta de argamassa, dão origem aos elementos de alvenaria estrutural. Podem ser feitos de cerâmica vermelha, solo-cimento, concreto, sílico-calcário (areia e cal), pedra e vidro, sendo os mais utilizados de cerâmica e concreto (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2014). Um projeto em alvenaria estrutural exige que toda a sua concepção seja formulada observando-se as necessidades do projeto para atender as exigências do sistema. É necessária uma interação grande entre os projetistas, especialmente entre o calculista estrutural e o arquiteto a fim de obter uma estrutura econômica, que tenha a resistência necessária, mas que não prejudique as demais características que o edifício deve ter.

3.3.3 ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO

Dentro do projeto estrutural o principal aspecto é a modulação. A modulação parte dos constituintes principais da alvenaria estrutural, os blocos. Estes devem apresentar as dimensões esperadas, com tolerâncias pequenas para que possam ser considerados elementos modulares, melhorando a qualidade da execução da alvenaria (ANTUNES, 2004). As características dos blocos são muito relevantes pelo fato deles serem os elementos que definirão a modulação em si.

Para a modulação devem ser realizadas duas análises em separado, a modulação horizontal e a modulação vertical. Na modulação horizontal é levada em consideração a dimensão real do bloco, tomada como M e a da junta J . Um bloco possui então dimensão real $2M-J$, enquanto meio bloco será $M-J$ (RAMALHO; CORREA, 2003). Desta forma definem-se as dimensões das faces edifício, baseado na quantidade de módulos e juntas. Definido o posicionamento da primeira fiada, as fiadas subsequentes são realizadas com uma diferença de M entre as juntas a fim de evitar o alinhamento das mesmas (ALVES, 2008).

No que se refere à modulação vertical o efeito sobre o projeto arquitetônico é menor. Isto ocorre devido à existência de blocos que permitem a interação entre os sistemas de alvenaria estrutural e das lajes, são os blocos “Jota”, canaleta e compensador. Contudo a determinação do pé direito deve ser realizada levando-se em consideração a altura dos módulos utilizados.

Uma questão a ser considerada dentro da modulação é a amarração das paredes. Tal processo possibilita uma tendência de uniformização das tensões, o que é benéfico para o comportamento do edifício. As paredes mais carregadas utilizam as menos carregadas para aliviar suas tensões (RAMALHO; CORREA, 2003). A amarração pode ser realizada de forma direta, na qual ocorre um entrelaçamento das fiadas, dependendo muito da modulação já que está vinculada com a relação entre a espessura do bloco e seu comprimento, ou de forma indireta consistindo no uso de barras ou telas metálicas para garantir esta interação.

Um artifício bastante utilizado na alvenaria estrutural é a passagem das tubulações de instalações elétricas, de TV, interfone e semelhantes por dentro dos vazios verticais existentes nos blocos, evitando-se ao máximo o rasgo da estrutura, já

que este procedimento acarreta uma diminuição da resistência (ALVES, 2008). Já para o processo das instalações hidrossanitárias a passagem no interior dos blocos fica mais complexa devido ao maior diâmetro das tubulações. Outros fatores a serem levados em consideração são os problemas de vazamento que este sistema pode apresentar e a necessidade de manutenção. Sendo assim é recomendado fazer o uso de alternativas construtivas diferentes para a passagem destas tubulações como shafts hidráulicos, paredes não estruturais e forros falsos.

Outra etapa que pode ser necessária é o grauteamento. O processo consiste na aplicação de concreto graute para a união dos elementos vazados e das armaduras de reforço. A execução é semelhante a uma concretagem comum, especialmente no grauteamento de elementos horizontais. Já nos elementos verticais a diferença é que ela geralmente é feita em etapas, a primeira a meia altura das paredes e a segunda antes do assentamento dos blocos canaleta da cinta de amarração.

3.3.3.1 Materiais

Usualmente denominados blocos, as unidades são elementos que caracterizam a alvenaria estrutural. São responsáveis por definir a organização modular e fornecer a resistência à compressão para o sistema. Dentre suas características mais importantes destaca-se a resistência à compressão, estabilidade dimensional e trabalhabilidade (CAMACHO, 2006).

Na maioria das edificações faz-se uso de elementos vazados. Os vazios das unidades são elementos importantes, podendo ser utilizados para preenchimento com concreto graute para colocação da armadura ou aumento da resistência à compressão, execução de cintas de amarração e vergas, além de passagem para tubulações de elétrica (SAMPAIO, 2010).

A argamassa de assentamento tem a função principal de unir os blocos, formando assim as juntas, tendo então diversas funções associadas como: distribuição de cargas, absorção de deformações e resistência à esforços mecânicos diversos (flexão, tração, compressão). Para desempenhar estas funções e ainda prevenir a entrada de água e vento a argamassa deve possuir boa trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade (RAMALHO; CORREA, 2003).

A composição da argamassa de assentamento consiste basicamente em uma pasta aglomerante e agregados miúdos, contando em alguns casos com aditivos para

aprimoramento de suas características iniciais (SAMPAIO, 2010). Contudo, atualmente, empresas especializadas vêm desenvolvendo argamassas diferenciadas, denominadas mistas, que são mais apropriadas para o uso na alvenaria estrutural, consistindo em quantidades precisamente dosadas de cimento, cal e areia. A argamassa a ser utilizada não deve ser selecionada pela maior resistência e sim pelo tipo de parede que ela irá participar. Deve-se levar em consideração a função que o elemento exercerá, o tipo de exposição que a parede estará sujeita e o tipo de bloco a ser utilizado. Não é possível realizar generalizações quanto ao melhor tipo de argamassa para diversos usos.

O concreto graute pode ser classificado como microconcreto tendo como principal diferença do concreto comum o tamanho do agregado graúdo utilizado, o qual é menor, passante da peneira 12,5 mm, com relação água/cimento variando entre 0,8 e 1,1. Sua aplicação apresenta funções diversas como solidificação da união das unidades, fixação das armaduras que possam vir a ser inseridas nos vazios dos blocos e principalmente reforço em geral da alvenaria. A fim de garantir este aumento de resistência, recomenda-se que a resistência característica deste concreto deve ser no mínimo o dobro da resistência característica do bloco utilizado (SAMPAIO, 2010).

Desta forma, o concreto graute deve apresentar características específicas para que desempenhe a função esperada de forma adequada. No estado fresco a consistência é um fator determinante já que o material deve ser fluido o suficiente para ser despejado nos furos dos blocos e permitir a aderência as eventuais armaduras, mas também deve apresentar determinada coesão a fim de não permitir a segregação de seus componentes (ALVES, 2008). Outra característica essencial do graute é a sua resistência à compressão, que caracteriza sua principal função (CAMACHO, 2006).

As armaduras são utilizadas especialmente em casos de esforços de tração na estrutura, já que tem a capacidade de resistir a tal solicitação com capacidade maior que a alvenaria em si. Contudo, estas situações não são muito frequentes, já que as paredes geralmente estão submetidas à compressão (SAMPAIO, 2010). Um caso em que pode ser necessária a utilização das armaduras seria em estruturas submetidas ao vento, sendo necessária maior análise para a escolha das armaduras. Caso esta situação não ocorra são utilizadas armaduras comuns, chegando a bitolas de até 10 mm, inseridas no interior dos blocos nos locais especificados por projeto, devendo ser

envolvidas por concreto graute para que seja constituído um elemento único juntamente aos blocos.

3.3.4 SISTEMA ESTRUTURAL DE PAREDES DE CONCRETO

Segundo Misurelli e Massuda (2018), o referido método é inspirado em experiências consagradas e bem-sucedidas de construções industrializadas em concreto celular (sistema GETHAL) e concreto convencional (sistema OUTINORD), que eram mundialmente conhecidas, nas décadas de 70 e 80. Porém, devido à falta de escala e de continuidade de obras nesses padrões - principalmente com as limitações financeiras da época essas tecnologias não se consolidaram no mercado brasileiro. Com o crescimento do mercado imobiliário brasileiro e as contínuas medidas públicas para ampliar a oferta de moradias, o Sistema de Parede de Concreto passou a representar uma solução factível, principalmente para produção em escala

De acordo com Misurelli e Massuda (2018), o sistema construtivo de paredes de concreto é um método de construção racionalizado, que oferece produtividade, qualidade e economia de escala, quando o desafio é a redução do déficit habitacional. O sistema possibilita a construção de casas térreas, assobradadas, edifícios de até cinco pavimentos-padrão, edifícios de oito pavimentos-padrão com esforços de compressão, de até 30 pavimentos-padrão e com mais de 30 pavimentos, considerados casos especiais e específicos.

Wendler e Monge (2018), ensinam que o sistema de parede de concreto é um sistema construtivo industrializado, que tem a característica básica de permitir uma obra com grande velocidade e repetitividade, e com o uso intenso de formas mano portáteis, que permitem a execução de duas a quatro unidades habitacionais por dia.

De acordo com Misurelli e Massuda (2018), as formas são estruturas provisórias cujo objetivo é moldar o concreto fresco, compondo, assim, as paredes estruturais. Desde o lançamento do concreto nas formas até a sua solidificação, a resistência a pressões é um fator decisivo. Para isso, as fôrmas devem ser estanques e favorecer, rigorosamente, a geometria das peças que estão sendo moldadas.

De acordo com a ABCP (2010), quando economicamente viável, deve-se utilizar o concreto autoadensável, pois, nesse sistema, como as espessuras de paredes e lajes são muito pequenas, isso dificulta o lançamento e a vibração do material, nas formas. Este concreto possui duas qualidades relevantes: a mistura é extremamente plástica, sendo assim, ela dispensa o uso de vibrador e a sua aplicação é feita de forma mais rápida.

O sistema construtivo de paredes de concreto é similar a uma cadeia produtiva industrializada, portanto, o planejamento deve ser muito bem estabelecido e abranger todas as etapas do projeto, pois o controle do ciclo do projeto é o principal responsável pela qualidade, produtividade e prazo (ABCP, 2008).

3.3.4.1 Materiais

A NBR 16055 (ABNT, 2012), que trata dos requisitos e procedimentos das paredes de concreto monolíticas moldadas in loco para a construção de edificações, sugere que sejam respeitadas as normas: NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 8953 (ABNT, 2015) e a NBR 12655 (ABNT, 2015) que tratam de diversos aspectos que devem ser observados quanto ao concreto, projeto, características do concreto para fins estruturais, procedimentos de controle do concreto e outros cuidados para com este sistema construtivo. Em se tratando do preparo do concreto, deve ser seguida a NBR 7212 (ABNT, 2012), bem como possuir o controle de qualidade prescrito pela NBR 12655. A NBR 16055 ainda informa que o concreto a ser utilizado deve ser devidamente adensado para o total preenchimento da forma e pleno contorno dos elementos que estão dentro dela.

A construtora que optar por esse sistema deve ter consciência da dificuldade de fazer a vibração em uma parede de espessura de 10 cm, armada e com todos os elementos nela inclusos sem que a armadura seja tocada, por isso em pesquisa realizada pela (ABCP, 2012) com construtoras representantes de mais de 85% das obras que utilizam as paredes de concreto como sistema construtivo, o concreto mais utilizado é o autoadensável. O concreto autoadensável possibilita que o bombeamento seja feito a grandes distâncias, aperfeiçoa a mão de obra, contribui para a agilidade da obra e ainda gera um ótimo acabamento superficial, diminuindo serviços de acabamento e retrabalhos.

A finalidade da forma é moldar o concreto fresco, sendo assim, esta deve ser estanque e contribuir de forma bastante eficiente para a geometria das peças a serem moldadas. Juntamente aos conjuntos de formas devem vir os projetos, detalhando a posição dos painéis, equipamentos auxiliares, peças de travamento e prumo, escoramento e a série de montagem e desmontagem (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

Para a Coletânea de Ativos 2007-2008 (ABCP, 2008) as formas mais utilizadas neste sistema construtivo são as metálicas, metálicas com compensado e as plásticas.

É recomendável pela ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem (2015), considerar dez aspectos na escolha do tipo da forma de maneira a potencializar os ganhos do sistema:

- 1) Produtividade da mão de obra na operação do conjunto;
- 2) Peso por metro quadrado dos painéis;
- 3) Número de peças do sistema;
- 4) Durabilidade da chapa e números de reutilizações;
- 5) Durabilidade da estrutura;
- 6) Modulação dos painéis;
- 7) Flexibilidade diante das opções de projetos;
- 8) Adequação à fixação de embutidos;
- 9) Análise econômica e comercialização (locação, venda, etc.), e;
- 10) Suporte técnico do fornecedor (capacidade instalada, área de cobertura, agilidade de atendimento, oferta de treinamento e assistência técnica).

As armaduras são utilizadas para resistir aos esforços de flexo-torção nas paredes, conter a retração do concreto e servir de estrutura e fixação para as tubulações de elétrica e hidráulica (ABCP, 2008). O sistema construtivo de paredes de concreto emprega como armação a tela soldada, centralizada no eixo vertical da parede e armaduras convencionais ou mesmo reforços com a tela nos vãos das esquadrias (ABESC, 2015).

3.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

3.4.1 HISTÓRICO

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV, ou *Life Cycle Assessment* – LCA) é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de produtos e serviços. A avaliação do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é um cálculo sistemático que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. A *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos, define a ACV como uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida. (EPA, 1993).

3.4.2 METODOLOGIA ACV

A ACV é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2009). A metodologia é reconhecida internacionalmente e possui uma sólida base científica, sendo padronizada principalmente pela norma NBR 14040:2009 aqui no Brasil.

A série ISO 14.000 corresponde a uma família de normas que situam o tema de Gestão Ambiental, são também as principais normas técnicas que referenciam a ACV, abordando diferentes aspectos como avaliação de desempenho ambiental e integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos. As normas dessa série que referenciam ACV são:

- NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) – Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura.
- NBR ISO 14044 (ABNT, 2014) – Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações
- NBR ISO 14045 (ABNT, 2014) – Gestão Ambiental – Avaliação da ecoeficiência de sistemas de produto – Princípios, requisitos orientações
- NBR ISO 14049 (ABNT, 2014) – Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário

Analizando todas as normas referentes, se encontra pouca distinção das diversas formas com que se pode trabalhar utilizando uma ACV, a necessidade de

adaptações e estudos que identifiquem as aplicações de ACV com maior potencial para o cenário nacional se vêm cada vez mais necessários.

Segundo a NBR 14040 (ABNT, 2014) as etapas básicas de um ACV são: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação.

Na primeira etapa tem-se:

- a definição do objetivo do estudo;
- a delimitação das fronteiras do sistema;
- a definição da base referencial ou unidade funcional.

Em uma ACV de um ambiente construído, a unidade funcional pode ser definida como toda a construção, um edifício, um componente ou mesmo um material. Esta definição tem grande repercussão nos resultados e, uma vez que a ACV deve buscar uma análise o mais ampla possível, é recomendável que a unidade funcional também seja a mais ampla possível. Na segunda etapa (inventário ou balanço de massa-energia) é feita a descrição do fluxo de entrada e saída de matéria e energia. Estes fluxos devem ser balanceados considerando-se os impactos ambientais a serem avaliados. Deste modo é feita a mensuração quantitativa do impacto do sistema (fatores de impacto). Na terceira etapa que consiste na avaliação de impactos ambientais, é relacionado os fatores de impacto a uma categoria ou a um critério de avaliação definido por um modelo. Essas categorias estão associadas a impactos locais, como toxicidade e eco toxicidade; impactos regionais, como chuvas ácidas e desertificação; e impactos globais, como efeito estufa e redução da camada de ozônio.

Finalizando a avaliação, mensura-se um indicador único, ponderando-se os impactos a partir da importância relativa (pesos) das categorias ambientais, e utilizando uma base comparativa. Existem estudos de várias entidades sobre a importância relativa dos impactos nas categorias e estes apresentam resultados diversos.

3.4.3 SOFTWARES DE ACV

Para avaliação potencial de impacto ambiental de um produto ou serviço, através de uma ACV, foram desenvolvidas ferramentas computacionais de simulação. Existem ferramentas para ACV de materiais e ferramentas específicas para ACV em edificações.

Entre as principais ferramentas de ACV de materiais com utilidade para edificações, pode-se citar o SimaPro, o GABI e o UMBERTO. Já entre as ferramentas específicas para edificações, estão o BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) e as do *Athena Institute* (ACV BRASIL, 2024; SPHERA, 2024).

O SimaPro foi desenvolvido na Holanda, baseado na ISO 14000 (PRE, 2004). Ele é composto de uma série de softwares que, através de um banco de dados atualizável, avalia o impacto ambiental de um material. O SimaPro é a ferramenta computacional de ACV para materiais mais utilizada no mundo, incluindo indústrias, universidades e instituições de pesquisa (PRE, 2004).

Atualmente na versão 9, o SimaPro conta com mais de 20 métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e mais de 9 bibliotecas de inventários, que trazem informações acerca de dezenas de milhares de processos e produtos. O SimaPro está disponível para uso educacional (academia) e profissional (empresas em geral ou uso não educacional).

O SimaPro é um dos softwares mais encontrados em projetos e artigos e realizados no Brasil, além de possuir também uma parceria com a empresa ACV Brasil, que é uma das pioneiras em trabalhos de Análise do Ciclo de Vida no país.

O GaBi é uma ferramenta desenvolvida pela PE *International* da Alemanha, que modela processos do ciclo de vida de produtos e produz balanços de ciclo de vida e pode ser utilizada para cálculo da pegada de carbono, design de produto e design ecológico, declarações de produtos ambientais, Impacto ambiental de produtos ou serviços, Relatórios ambientais, determinação de indicadores de desempenho, pegada de água, recursos e eficiência energética, Construção de Avaliação do Ciclo de Vida (auxílio em decisões de projetos), dentre outros.

Desenvolvido pela GreenDelta GmbH, o OpenLCA é o único software profissional em gestão de informação de ciclo de vida no mundo totalmente gratuito, sem custos de licenças e open source. A condição de código aberto (open source)

traz várias facilidades para os usuários do openLCA, como custo reduzido na sua aquisição e a possibilidade de personalização do software de acordo com demandas e preferências específicas. Adicionalmente, esta característica confere mais transparência aos cálculos e modelagens realizadas.

3.4.4 SOFTWARES DE ANÁLISE DE ACV PARA EDIFICAÇÕES

O BEES foi desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) dos Estados Unidos, como parte do programa *Environmentally Preferable Purchasing* da Agência de Proteção Ambiental EPA, que visa priorizar as compras de produtos com melhor desempenho ambiental (LIPPIATT, 2007). O diferencial da ferramenta é que ela permite uma associação do desempenho ambiental com o desempenho econômico do produto. O desempenho ambiental é avaliado tendo como base a norma ISO 14040. Os estágios do ciclo de vida analisados são: aquisição, manufatura, transporte, construção, uso, manutenção, reciclagem e gestão de resíduos. O desempenho econômico é avaliado através do método de custo de ciclo de vida (*Life Cycle Cost* ou LCC) da ASTM. A avaliação engloba os custos do investimento, da execução, da operação, da manutenção e do descarte. Os desempenhos ambiental e econômico são ponderados para uma avaliação única através do método de análise de decisão *Multi-Attribute* da própria ASTM.

O *Athena Institute*, situado no Canadá, é uma organização não governamental que busca auxiliar arquitetos e engenheiros na avaliação do impacto ambiental dos produtos e edifícios, novos e existentes, através do método de ACV. Ele desenvolveu as ferramentas computacionais *Athena Impact Estimator for buildings* e *Athena EcoCalculator for Assemblies*. O *Impact Estimator* simula uma ACV de um edifício com até 1200 variáveis e possui modelos de edificações compatíveis com cerca de 95% das tipologias norte americanas, incluindo edifícios industriais, institucionais, comerciais e residenciais.

Tally é o primeiro aplicativo ACV que permita que você calcule os impactos ambientais de um edifício e seus materiais diretamente no software Revit da Autodesk. Isso mostra um grande avanço na conexão da modelagem BIM com novos meios de facilitar as escolhas de um projeto de edificação (TALLY, 2024).

O aplicativo apresenta uma gama extensa de materiais no seu banco de dados, em diversas categorias de utilização. Apesar da maioria dos materiais disponibilizados possuírem características adaptadas para a realidade construtiva brasileira, alguns deles (como no caso das cerâmicas – pouco utilizadas nos Estados Unidos), apresentam apenas disposições genéricas, sem a possibilidade de especificação dos tamanhos dos blocos utilizados, necessitando de adaptações na densidade empregada para o material. Os concretos também necessitam de adaptações, devido

à unidade de medida de resistência empregadas no aplicativo serem descritas em psi e não em Mpa.

3.4.5 BASES DE DADOS E INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DE ACV

Como o Brasil possui um banco de dados ainda pouco desenvolvido para o setor da construção civil, os projetos que desejam realizar análises de ACV utilizam os bancos de dados internacionais com algumas adaptações para a realidade brasileira.

O EcolInvent é o fornecedor líder mundial de inventário de ciclo de vida (ICV) e está incluído nas principais ferramentas de software de ACV, bem como em várias ferramentas de *eco design* para construção civil, gestão de resíduos ou design de produto (ACV BRASIL, 2024).

Este é composto de dados considerados internacionalmente como confiáveis para produtos, serviços e processos frequentemente usados para Avaliação do Ciclo Vida e Gerenciamento de Ciclo de Vida. Contendo dados internacionais de inventário de ciclo de vida de fornecimento de energia, extração de recursos, fornecimento de materiais, produtos químicos, metais, agricultura, serviços de gestão de resíduos e serviços de transporte.

Em contrapartida, por ser de origem estrangeira, o EcolInvent retrata a realidade europeia e não a brasileira, de forma que é torna imprescindível a criação de um banco de dados nacional para utilização nos sistemas de avaliação de ciclo de vida a nível nacional.

A ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) firmou um compromisso de incentivar a pesquisa e disseminação da metodologia ACV pelo Brasil, realizando e financiando diversos trabalhos e artigos para realização de análises ACV ela acabou por criar um interessante e preciso banco de dados para os produtos cerâmicos no contexto brasileiro.

ANICER (2012) realizou também um importante trabalho de comparação entre os impactos e desempenhos dos materiais da construção com diferentes matérias prima, analisando e comparando blocos cerâmicos, blocos de concreto e paredes de concreto moldadas in Loco. Com o levantamento desses dados se tornou possível a realização de inúmeros outros trabalhos sem a necessidade de adaptações de banco de dados internacionais para realizar o Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

3.4.6 MÉTODOS DE AICV

3.4.6.1 Eco-indicator 99

O Eco-indicator 99 foi desenvolvido na Holanda como parte da Política Integrada de Produto do ministério holandês de Moradia, Planejamento Espacial e Ambiental (VROM). É um método endpoint, que visa simplificar a interpretação e ponderação dos resultados da ACV por meio do cálculo de pontuações únicas (eco indicadores). Entre as aplicações pretendidas está o uso por designers para a tomada de decisão (Joint Research Centre, 2010).

São abordadas três áreas de danos (Ministry OF Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000):

- Saúde humana (DALY) – Quantidade e duração das doenças e a perda de anos de vida por morte prematura devida a impactos ambientais.
- Qualidade do ecossistema (% de espécies que desapareceram) – Efeito na diversidade de espécies, especialmente para plantas e organismos menores.
- Recursos (MJ de energia requerida) – Necessidade de geração de energia no futuro, para extrair recursos minerais e fósseis de menor qualidade. As perdas na agricultura e de recursos como areia e cascalho são relacionadas aos impactos do uso da terra.

Esse método apresenta escopo de aplicação global para as categorias de impacto mudança climática, depleção do ozônio e consumo de recursos minerais e fósseis, escopo de aplicação para o continente europeu para carcinogênicos, inaláveis orgânicos e inorgânicos, radiação ionizante e ecotoxicidade e escopo específico para a Holanda, para a acidificação e eutrofização, e para a Suíça, para o uso da terra (Joint Research Centre, 2010).

3.4.6.2 CML 2002

O CML 2002 ou Dutch Handbook on LCA é um manual holandês publicado em 2002 que apresenta diretrizes operacionais para a realização de um estudo passo a passo de ACV, com base nas normas ISO (Guinée, 2002). A versão revisada desse

método é intitulada Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards.

Esse método é baseado em uma abordagem midpoint e seus modelos de caracterização foram selecionados através de uma extensa revisão das metodologias existentes no mundo.

São abordadas as seguintes categorias de impacto: depleção de recursos abióticos, uso da terra, mudança climática, depleção de ozônio estratosférico, toxicidade

humana, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, formação de foto-oxidantes, acidificação e eutrofização. Algumas categorias de impacto adicionais são abordadas, dependendo dos requisitos do estudo; entre elas estão: perda de função de suporte à vida, perda de biodiversidade, ecotoxicidade em água doce (sedimentos), ecotoxicidade marinha (sedimentos), impactos da radiação ionizante, mau cheiro do ar, barulho, calor residual, acidentes, letais, não letais, depleção de recursos bióticos, dessecação e mau cheiro da água

O método apresenta um escopo de aplicação global, exceto para as categorias de impacto acidificação e formação de foto-oxidantes, que apresentam escopo de aplicação direcionado para a Europa (Joint Research Centre, 2010).

O Eco-indicator 99 sucedeu os métodos EPS 2000 e Eco-indicator 95 e serviu de ponto de partida para o desenvolvimento dos métodos LIME e Impact 2002 (Joint Research Centre, 2010).

Um diferencial dessa metodologia está relacionado à utilização de três perspectivas para criar três conjuntos consistentes de escolhas subjetivas a respeito, por exemplo, da perspectiva temporal aplicada, da importância da capacidade de gerenciamento, do papel do desenvolvimento tecnológico futuro e do nível necessário de provas de mecanismos de causa-efeito. Isso é feito através do uso consistente da mesma unidade de resultado para todas as categorias de impacto, resultando em danos para a saúde humana, ecossistemas ou recursos (Joint Research Centre, 2010).

3.4.6.3 Impact 2002+

O Impact Assessment of Chemical Toxics, IMPACT 2002+, é um método suíço que propõe a implementação da avaliação combinada midpoint/ endpoint ligando todos os tipos de resultados do inventário através de 14 categorias midpoint e quatro endpoint (Jolliet et al., 2003).

Esse método tem escopo de aplicação válido para a Europa e as categorias de impacto midpoint abordadas são: toxicidade humana, efeitos respiratórios, radiação ionizante, depleção de ozônio, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aquática, ecotoxicidade terrestre, acidificação aquática, eutrofização aquática, acidificação e eutrofização terrestre, ocupação do solo, aquecimento global, uso de energia renovável e extração mineral. Enquanto as categorias endpoint são: saúde humana, qualidade do ecossistema, mudança climática e recursos (Joint Research Centre, 2010).

O método Impact 2002+ fornece fatores de caracterização para quase 1.500 substâncias. Essa metodologia apresenta novos conceitos e métodos de avaliação comparativa de toxicidade humana e efeitos de ecotoxicidade. Para a categoria consumo de recursos, o conceito de energia excedente define-se somando-se energia primária e excedente para os combustíveis fósseis e desenvolvimentos têm sido realizados sobre a exposição ao ar interior de ambientes fechados e os impactos diretos de pesticidas (Joint Research Centre, 2010)

3.4.6.4 ReCiPe

O método ReCiPe é uma continuação dos métodos Eco-indicador 99 e CML 2000 que integra e harmoniza as abordagens midpoint e endpoint em uma estrutura comum e consistente. As categorias de impacto abordadas são: mudança climática, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização aquática de água doce, eutrofização aquática marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, radiação ionizante, uso do solo agrícola, uso do solo urbano, transformação de terra natural, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais e esgotamento de recursos de água doce (Joint Research Centre, 2010; Goedkoop et al., 2009).

Segundo De Schryver et al. (2009), os fatores de caracterização para aquecimento global foram adequados para comparar os impactos dos gases de efeito estufa com outros tipos de influência, tais como substâncias que causam acidificação e impactos respiratórios. Para a saúde humana, cinco diferentes efeitos sobre a saúde foram incluídos, como desnutrição e diarreia, ainda assim existem doenças relacionadas ao aquecimento global que não são consideradas nos cálculos devido às limitações relacionadas aos dados.

Para todas as categorias de emissão princípios e escolhas semelhantes são usados e todas as categorias de impacto da mesma área de proteção têm a mesma unidade de indicador. Os mesmos mecanismos ambientais são usados para cálculos midpoint e endpoint (Joint Research Centre, 2010)

3.4.6.5 IMPACT World+

O método IMPACT World+ foi desenvolvido diante da necessidade de uma avaliação de impacto regionalizada cobrindo todas as regiões do mundo. Estão envolvidos nessa pesquisa especialistas do grupo de pesquisa CIRAIG, da Politécnica de Montreal (Canadá), Universidade de Michigan (Estados Unidos), Universidade de Ann Arbor (Estados Unidos), Quantis (Suíça), Universidade Técnica da Dinamarca – DTU (Dinamarca), Escola Politécnica de Lausanne – EPFL (Suíça) e Cycleco (França), além da Fundação Alcoa, a qual colabora com investimentos financeiros.

Os modelos de caracterização são uma atualização dos modelos existentes nos métodos Impact 2002+, EDIP e LUCAS, o que resultou em fatores de caracterização para diferentes resoluções geográficas, cada um com sua própria incerteza e variabilidade espacial associada (IMPACT World+, 2012).

A escala espacial considerada é definida em torno dos parâmetros de modelagem mais sensíveis e espacialmente variáveis, tais como bacias para impactos de uso da água ou biomas para impactos de uso da terra (IMPACT World+, 2012).

O IMPACT World+ (2012) traz como principais diferenciais:

O modelo USEtox para impactos tóxicos e os impactos do uso da água com fatores continentais específicos e alternativas especializadas consistentes.

Desenvolvimento de melhorias de modelagem para uso da terra, com a inclusão dos serviços dos ecossistemas; para acidificação, com uma modelagem

melhor para destino atmosférico; para o uso de recursos, com a introdução de uma abordagem de extração-consumo-competição; para efeitos respiratórios, com novos fatores derivados de epidemias e a inclusão dos impactos de resíduos de pesticidas; e, finalmente, para a eutrofização, com um modelo mundial de resolução de $0,5 \times 0,5$ graus.

Para algumas categorias de impacto, os indicadores midpoint podem ser atribuídos a subcategorias, por exemplo, a categoria toxicidade humana é composta por substâncias não cancerígenas, cancerígenas, inorgânicos inaláveis e radiações ionizantes.

3.4.7 DIFERENTES ABORDAGENS DE ACV

Por se tratar de uma análise muito abrangente e complexa, muito comumente é necessário a adoção de soluções simplificadas baseadas na ACV tradicional, visto que assim é fácil sua aplicação e execução em estudos de caso reais.

Essa simplificação da ACV normalmente é indicada aos casos em que existem restrições com relação a tempo, recursos e dados disponíveis para criação de bancos e inventários. Porém as etapas de simplificação necessitam de consistência com relação aos objetivos do estudo e a função esperada de uma ACV tradicional, culminando no resultado em que as informações produzidas alcancem as necessidades dos usuários (TODD; CURRAN, 1999)

3.4.7.1 Avaliação de impacto do ciclo de vida

A AICV é diferente de outras técnicas, tais como a avaliação de desempenho ambiental, avaliação de impacto ambiental e avaliação de risco, uma vez que se trata de uma abordagem relativa baseada em uma unidade funcional. A AICV trata-se da fase que avalia os impactos ambientais, por meio do cálculo de indicadores escolhidos, a partir dos resultados do inventário de ciclo de vida (ICV).

A fase de AICV deve ser cuidadosamente planejada para satisfazer o objetivo e escopo de um estudo de ACV. A fase de AICV deve ser coordenada com outras fases da ACV para levar em conta as seguintes possíveis omissões e fontes de incertezas:

a) se a qualidade dos dados e resultados do ICV é suficiente para conduzir a AICV de acordo com a definição do objetivo e escopo do estudo;

b) se a fronteira do sistema e decisões sobre corte de dados foram suficientemente analisadas criticamente para assegurar a disponibilidade dos resultados de ICV necessários para o cálculo dos resultados de indicadores para a AICV

c) se a relevância ambiental dos resultados da AICV é reduzida devido ao cálculo da unidade funcional do ICV, utilização de médias, agregação e alocação no âmbito do sistema. A fase de AICV inclui a coleta de resultados dos indicadores para as diferentes categorias de impacto, que em conjunto representam o perfil de AICV para o sistema de produto.

Os modelos de avaliação de impactos existentes atualmente conseguem transmitir com precisão os processos ambientais característicos dos países onde os mesmos foram desenvolvidos. Porém para países em que a metodologia ACV ainda é recente, os dados e métodos AICV atuais raramente podem ser aplicados de forma direta, devidos às diferenças relacionadas à geologia, clima, biomas, densidade populacional, entre outros, que podem impactar nos resultados dos métodos AICV.

No manual *Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment – background document*, é apresentado os seguintes métodos de AICV identificados como os mais relevantes para aplicação na ACV: CML 2002; Eco-Indicator 99; EDIP 97; EDIP 2003; EPS 2000; Impact 2002++; LIME; LUCAS; ReCiPe; Ecological Scarcity (Ecopoints 2006); TRACI, MEEuP, USEtox e Impact World+.

3.4.7.2 Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO₂

Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO₂ (ACV CO₂) de um produto envolve a quantificação das emissões de CO₂ nas etapas de pré-uso, uso e pós-uso. A etapa de pré-uso envolve as fases de indústria, execução e transporte.

Chau, Leung e Ng (2015) conceituam a ACV CO₂ como uma metodologia de quantificação das emissões de CO₂ geradas nas etapas envolvidas ao longo do ciclo de vida de um material, sistema ou edificação. Essas emissões estão relacionadas ao tipo de combustível utilizado na fabricação e processamento dos materiais, nos processos químicos, como por exemplo a calcinação do carbonato de cálcio para a produção de cimento, as emissões para a geração de eletricidade e a cocção de alimentos

Kim (2011) divide a ACV CO₂, aplicada às edificações, em três principais etapas: pré-uso, uso e pós-uso. A etapa de pré-uso (Tabela 1) é aquela referente à indústria (extração e fabricação dos materiais), ao transporte dos materiais da fábrica até o canteiro e ao processo executivo da edificação ou sistema. A etapa de uso consiste na operação e na manutenção da edificação. Por fim, a etapa de pós-uso é a referente ao transporte e à destinação final dos resíduos gerados. Neste trabalho foi estudada somente a etapa de pré-uso de uma habitação, incluindo as fases de fabricação e transporte.

3.4.7.3 Avaliação do ciclo de vida energético

A Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) consiste em uma dessas possíveis simplificações de uma ACV tradicional, focando em apenas um aspecto afim de reduzir o tempo e trabalho necessário para a conclusão de uma análise. A ACVE é baseada na metodologia usada no ACV, porém focada exclusivamente no uso de energia como seu indicador de impacto principal.

A ACVE contabiliza todas as entradas de energia para um edifício durante seu ciclo de vida, incluindo as seguintes fases: pré-uso, uso e pós-uso.

A fase de pré-uso inclui todos os impactos até que o edifício seja construído estruturado e pronto para uso. Normalmente inclui etapas como extração e fabricação de materiais de construção, transporte de materiais para o canteiro de obras e o processo de construção (inclusive geração de resíduos). Esta parte é considerada como a energia incorporada inicial.

A fase de uso engloba todas as atividades relacionadas ao uso do edifício. Isso normalmente inclui etapas como manutenção e energia operacional. A energia utilizada para manutenção tem origem predominantemente no uso de material para substituição ou tratamento de superfície e é calculada da mesma forma que para materiais em fase de pré-uso.

O uso de energia, no entanto, é colocado na fase de uso como energia incorporada recorrente. A energia incorporada é a soma da energia incorporada inicial e da energia incorporada recorrente (que ocorre em duas fases diferentes do ciclo de vida). A outra parte da fase de uso é a energia operacional, que em casos normais representa de longe a quantidade mais significativa de uso de energia, causada pelas demandas de aquecimento e resfriamento durante a vida útil do edifício.

A fase pós-uso é o tratamento de fim de vida da construção incluindo, normalmente, a demolição no local, o transporte de resíduos para aterro e, eventualmente, a reciclagem de materiais. Neste estágio é possível recuperar parte da energia incorporada alocando energia incorporada em materiais reciclados em novos sistemas.

A energia do ciclo de vida é finalmente calculada como a soma das três fases, estudos de energia como o LCEA fornecem uma base para melhorias, como a escolha

de materiais com menos energia incorporada, diminuição da energia operacional, reciclagem de materiais, etc.(PAULSEN; SPOSTO, 2013)

3.4.8 ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consegue quantificar e avaliar potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos materiais e edificações.

Embora a ACV e Declarações Ambientais de Produto (DAPs) estejam difundidas na construção civil em países desenvolvidos (GELOWITZ; MCARTHUR, 2017), o Brasil e outros países emergentes ainda se encontra atrasado. Alguns produtos, como cimento, e materiais cimentícios como concreto e argamassa colante, já possuem seus respectivos DAPs

Na literatura científica os estudos de ACV aplicados a materiais e sistemas construtivos é cada vez mais em evidenciado (CONDEIXA; HADDAD; BOER, 2014). Já (SAADE et al., 2014) estudaram os impactos ambientais para diferentes materiais de construção civil, adaptando um banco de dados utilizado internacionalmente para o contexto do Brasil. (MENDES; BUENO; OMETTO, 2015) investigaram que diferentes métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida geram diferenças consideráveis nos impactos ambientais de alguns sistemas construtivos utilizados no Brasil.

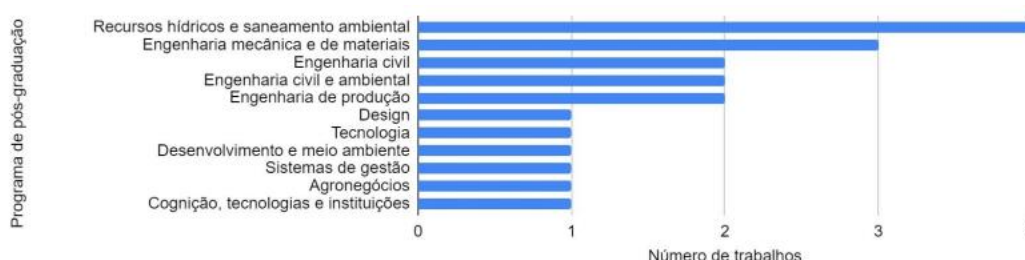
(CALDAS et al., 2016) compararam diversos procedimentos para a estimativa de incertezas em estudos ACV utilizando como estudo de caso a produção de blocos cerâmicos.

(CALDAS; SPOSTO, 2017) determinaram que as distâncias de transporte impactam de forma significativa as emissões de CO₂ de blocos utilizados em alvenaria estrutural no Brasil. (GONZÁLEZ MAHECHA et al., 2020) verificaram que diferentes zonas bioclimáticas brasileiras impactam significativamente nos impactos ambientais do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural e painéis pré-moldados de concreto.

Após leitura dos estudos avaliados, observou-se que muitos aplicam a ACV para a comparação de materiais e sistemas construtivos mais utilizados no país, quase sempre relacionado a blocos cerâmicos, derivados do concreto e em alguns casos a argamassa.

(ALBERTO; SILVOSO, 2023) realizaram uma extensa revisão com relação a pesquisas acadêmicas no Brasil com o tema de ACV onde mais de 20 trabalhos foram catalogados.

Figura 1 - Número de documento levantados no catálogo de teses e dissertações da CAPES por programa de pós-graduação



Fonte: adaptado de ALBERTO; SILVOSO, 2023

A estratégia metodológica adotada viabilizou a exposição do cenário científico brasileiro em relação às pesquisas sobre ACV-S, de modo que é possível identificar lacunas de pesquisa como a conclusão de que não foram encontrados trabalhos vinculados a programas de pós-graduação em Arquitetura. Complementarmente, notou-se proeminência de pesquisas que versam a parte interessada “trabalhador” e que os estudos de caso são aplicados de maneira recorrente para validar propostas de métodos que, por sua vez, são dotados de uma série de particularidades em relação à coleta e tratamento dos dados. Portanto, foi constatado interesse particular em relação às fases de Avaliação de Inventário e Avaliação de Impactos.

O artigo expõe, além dos amplos esforços da comunidade científica para consolidação de procedimentos metodológicos, a lacuna de pesquisa no campo da arquitetura, e conclui a relevância de pesquisas de ACV-S nesse sentido, ancoradas nos referenciais atualizados.

3.4.8.1 ACV de materiais construtivos

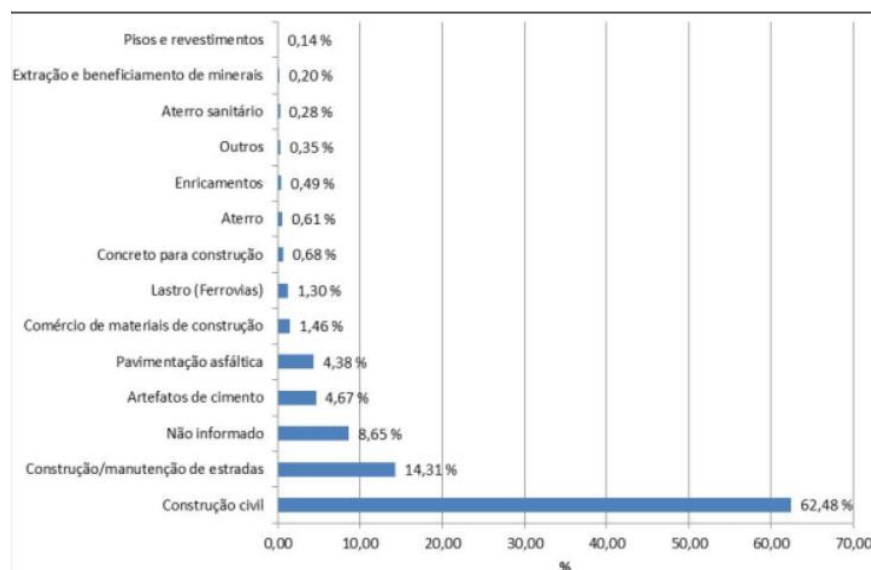
Uma das aplicações mais comuns da ACV dentro da construção civil é o seu uso para aprofundar os conhecimentos dos impactos de terminados materiais comumente utilizados na indústria e os processos relacionados a esses materiais.

Ter informações relevantes sobre as características do ciclo de vida de matérias essenciais na construção brasileira como a areia, brita, cimento, cal, aço,

entre outros é um dos primeiros passos para traçar um plano que ajude a otimizar e diminuir os desperdícios e impactos associados ao setor da construção.

Os agregados da construção civil compõem os insumos minerais mais consumidos no mundo, dentre eles a brita, areia e cascalho são os mais comuns utilizados na indústria. Cerca de 70% do volume de concreto é composto pelos agregados.

Figura 2 - Consumo de brita e cascalho nos diversos setores com referência para o ano de 2009



Fonte: adaptado de ROSSI, 2013

Estudos indicam que a brita representa em média 2% do custo da edificação e 60% do seu volume, sendo extraída diretamente das jazidas por meio de explosivos(SINDIPEDRAS, 2024). A brita pode ser proveniente de diversos tipos de rochas, geralmente rochas como basalto, diabásio e andesito são as mais indicadas para o uso. A produção de brita proveniente do basalto pode ser resumida em quatro partes: extração, beneficiamento, armazenagem e transporte.

Em uma pesquisa extensa (ROSSI, 2013) realizou a ACV da brita na produção de concretos para a construção civil, identificando indicadores quantitativos das etapas de extração, beneficiamento, armazenagem, transporte, uso e disposição final. Foi encontrado valores de 0,00168kg de CO₂/kg de brita resultantes de todo o processo, assim caracterizando a similaridade do estudo com outros realizados anteriormente.

A areia que também é comumente utilizada como agregado junto da brita para a fabricação do concreto, tem por um outro lado uma extração muito diferente da brita, sendo assim importante avaliar os processos que compõe seu ciclo de vida afim de entender essas diferenças.

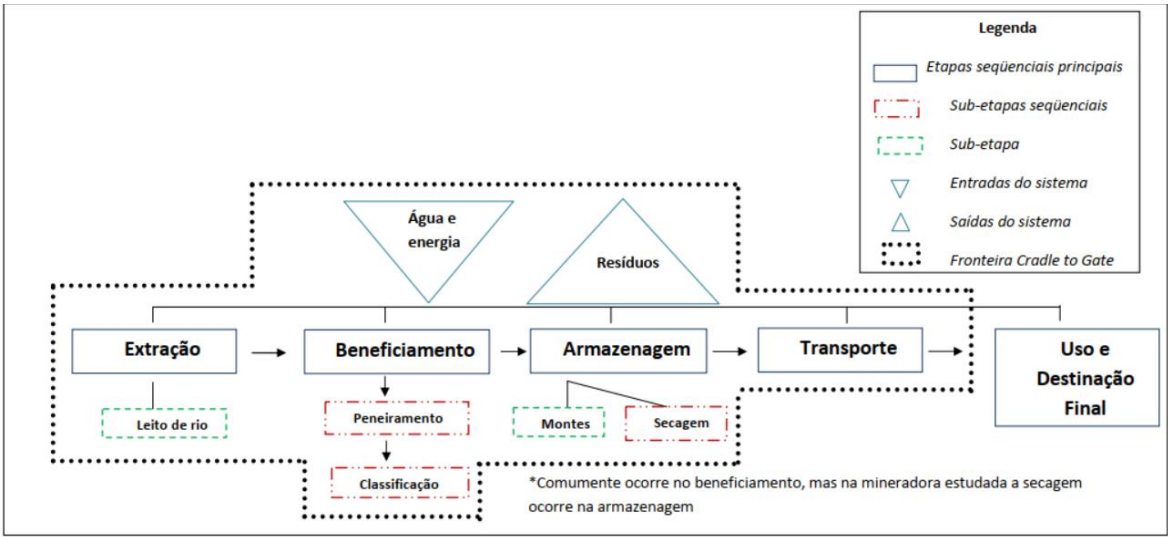
Figura 3 - Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais

Método de lavra	Depósitos Minerais	Situação
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio e cava submersa
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais e sedimentos inconsolidados quaternários; Rochas sedimentares cenozóicas; Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	Cava Seca

Fonte: adaptado de SOUZA, 2012

Um estudo realizou a ACV da areia extraída em leito de rio no cenário brasileiro, quantificando os insumos e impactos ambientais nas etapas de extração, beneficiamento, armazenagem e transporte.

Figura 4 - Fases consideradas no trabalho com fronteira *Cradle to Gate*



Fonte: adaptado de SOUZA, 2012

Com uma análise e levantamento detalhado, (SOUZA, 2012) conseguiu quantificar os impactos ambientais adventos das etapas de produção da areia comumente utilizada na indústria da construção, utilizando o método EDIP a respeito do Potencial de Aquecimento Global (PAG), constatou que em média o ciclo de vida para 1 m³ de areia gera 11,877 kg CO₂eq.

Figura 5 - Valores de PAG para cada fase do ciclo de vida da areia

Fase	PAG (Kg CO ₂ eq. / m ³)
Extração	5,210
Beneficiamento	5,210
Armazenagem	0,801
Transporte	0,656
Total	11,877

Fonte: adaptado de SOUZA, 2012

(GUERREIRO, 2014) avaliou os principais impactos ambientais do ciclo de vida do sistema produtivo do cimento Portland no Brasil, conduzindo um levantamento a respeito do processo de fabricação do cimento Portland tipo CP II, CP III, CP IV devido as suas participações no mercado nacional mais significativas.

Trabalhos como esse são importantes dado o fato de que potenciais impactos ambientais quantificados dos cimentos são gerados pelo elevado consumo de coque de petróleo presente na matriz energética da indústria nacional e pela produção de clínquer Portland.

A análise foi realizada utilizando o software OpenLCA, alimentado com dados da produção nacional, conciliando assim um cálculo condizente ao setor brasileiro a respeito desses impactos.

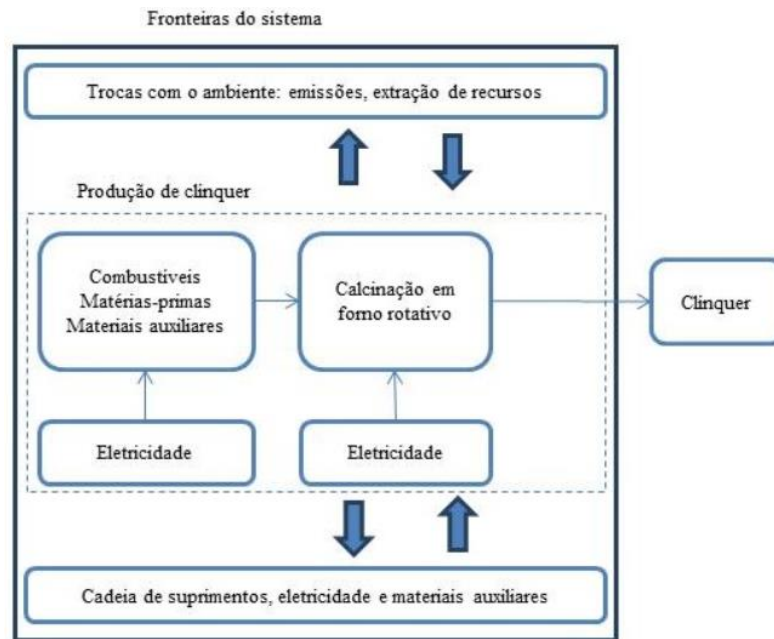
Figura 6 - Comparativo dos impactos ambientais entre os dados da indústria brasileira e da indústria europeia por Boesch e Hellweg (2010)

Cimento Portland	Clínquer/Cimento (%)	Aquecimento Global (kg CO ₂ -eq)	Acidificação (kg SO ₂ -eq)	Eutrofização (kg PO ₄ -eq)
Indústria Brasileira				
CP II-E	75%	705	1,386	0,220
CP II-F	92%	871	1,702	0,268
CP II-Z	85%	807	1,570	0,248
CP III	45%	457	0,996	0,156
CP IV	65%	634	1,315	0,206
Indústria Europeia				
CEM II/B-S	72%	675	1,720	0,223
CEM II/A-L	94%	872	2,190	0,285
CEM II/A-P	87%	810	2,040	0,265
CEM III/A	49%	524	1,420	0,334
CEM IV/A	65%	610	1,550	0,237

Fonte: adaptado de GUERREIO, 2014

Sabendo-se que a produção cimento emite quantidade pronunciadas de gases do efeito estufa. (PASSUELLO et al, 2014) realizou uma ACV aplicada para o cálculo da pegada de carbono de clínques alternativos produzidos em laboratório. Evidenciando a ampla aplicabilidade da ferramenta ACV ao setor da construção.

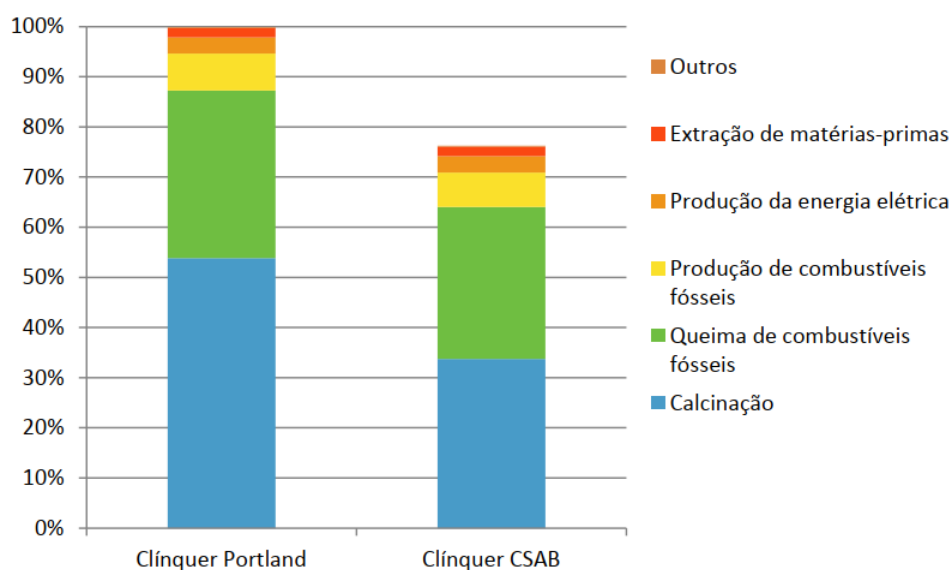
Figura 7 - Sistema de produto para a produção de clínques



Fonte: adaptado de PASSUELLO et al 2014

Os resultados obtidos demonstram uma redução em 22% da pegada de carbono do clínquer alternativo em relação ao clínquer Portland, indicando as etapas do processo produtivo que mais colaboram para estes valores.

Figura 8 - Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas à pegada de carbono



Fonte: adaptado de PASSUELLO et al, 2014

3.4.8.2 ACV de Elementos Construtivos

Com a grande crescente da utilização de diferentes métodos construtivos dentro do Brasil, também se vê necessário a necessidade de obter o máximo de informação possível quanto aos elementos constituintes desses métodos.

Seja em concreto armado, alvenaria estrutural, estruturas de aço, steel frame, wood frame entre outros. Poder saber quais são os impactos gerados por cada um é essencial para a definição e escolha do método que melhor se encaixe na situação de cada projeto empreendido.

(BARBOSA *et al*, 2012) objetivaram em seu estudo realizar um diagnóstico de impactos ambientais do processo de fabricação de blocos cerâmico, utilizando para isso a técnica ACV com o uso do software SimaPro 7.3 e os métodos IPCC (mudança climática) para 100 anos, Demanda de Energia Acumulada (CED) e RECIPE. A metodologia adotada consistiu em quatro fases para a conclusão da ACV, sendo elas a definição do escopo, realização do inventário, análise dos impactos e interpretação dos resultados.

Analizadas as categorias, e objetivando a construção de um inventário do ciclo de vida da produção de blocos cerâmicos e análise deste quanto a seus impactos ambientais e de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), observou-se que o

transporte de argila e o transporte dos blocos cerâmicos prontos foram as maiores responsáveis por possíveis consequências ao ambiente, sendo o óleo diesel a substância mais encontrada nos impactos das categorias analisadas. Considerado um sistema energético, as atividades de extração, transporte, processamento, distribuição e uso final dos combustíveis fósseis podem desencadear significativos danos ao meio ambiente. Levando em conta os fatores de emissão de todos os poluentes, as substâncias emitidas em maior quantidade foram o dióxido de carbono (CO_2), seguido do monóxido de carbono (**CO**), dióxido de nitrogênio (**NO₂**), material particulado (**MP**) e com menor emissão os compostos orgânicos voláteis (**COV**).

O inventário do processo de fabricação dos blocos cerâmicos inclui as etapas de preparação da matéria-prima, mistura, extrusão, corte, secagem, queima e carregamento. Além do consumo de energia, água, transporte e emissões atmosféricas. A produção da olaria em estudo é de 500.000 blocos cerâmicos por mês, a olaria trabalha com 26 funcionários e utiliza lenha e bagaço de cana de açúcar para alimentar o forno que realiza a queima dos blocos cerâmicos.

VINHAL (2016) Foi realizado um estudo do processo de fabricação de blocos cerâmicos estruturais (do berço ao portão da fábrica) com o intuito de averiguar seus principais impactos ambientais e os processos que mais contribuem para estes impactos. Para realizar este estudo, foi feita a coleta de dados em duas fábricas localizadas no Estado de São Paulo. Com base nos dados coletados no local e na base de dados internacional Ecoinvent®, o inventário do ciclo de vida (ICV) foi elaborado com as devidas adaptações para que representasse o contexto local. A partir do ICV, foi realizada a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) por meio dos métodos CML 2002, EDIP 97, USEtox e IPCC 2013. Com base nos resultados da AICV, foram identificados os processos que mais contribuíram para cada uma das categorias de impacto analisadas, sendo a eletricidade o processo que colaborou de forma mais significativa para todas as categorias. Já o combustível utilizado na queima dos blocos, por sua vez, não gerou impactos ambientais significativos, devido às fábricas estudadas utilizarem biomassa. Portanto, o presente estudo permitiu avaliar a magnitude e significância dos impactos ambientais gerados pela fabricação de blocos cerâmicos, bem como caracterizar o desempenho ambiental de blocos cerâmicos com base em ACV.

Tabela 9 – Resultados da avaliação de impactos ambientais das fábricas visitadas dos blocos cerâmicos e do Ecoinvent® original.

Métodos de AICV adotados	Categorias de impactos	QUANTIDADE			Indicador da categoria (UN) por kg de bloco
		Ecoinvent®	Fábrica A	Fábrica B	
CML 2002	Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis)	2,41E+00	3,36E-01	3,83E-01	MJ
	Depleção de abióticos	2,55E-07	3,32E-08	2,11E-08	kg Sb eq
	Depleção da camada de ozônio	1,49E-08	3,06E-09	3,31E-09	kg CFC-11 eq
	Eutrofização	1,66E-04	3,78E-05	3,71E-05	kg PO4---eq
EDIP 97	Acidificação	8,49E-01	1,45E-01	1,69E-01	g SO ₂
	Oxidação fotoquímica	9,00E-02	1,57E-02	1,70E-02	g ethene
	Resíduos em massa	9,34E-03	5,10E-03	3,25E-03	kg
	Resíduos perigosos	1,97E-06	4,44E-07	3,19E-07	kg
	Resíduos radioativos	5,76E-06	1,75E-06	1,85E-06	kg
	Recursos (todos)	1,95E-05	3,04E-06	2,40E-06	kg
USEtox	Ecotoxicidade (água)	1,21E-03	1,23E-03	4,59E-04	CTUe
	Toxicidade humana (não cancerígeno)	5,88E-13	5,98E-12	4,25E-12	CTUh
	Toxicidade humana (cancerígeno)	2,34E-10	6,77E-12	3,55E-12	CTUh
IPCC 2013 - 100anos	Aquecimento global	2,49E-01	2,63E-02	2,62E-02	kg CO ₂ eq

Fonte: adaptado de VINHAL, 2016

Souza (2014), comparou os impactos ambientais gerados no ciclo de vida de telhas cerâmicas e telhas de concreto no contexto brasileiro, o trabalho foi realizado com o apoio da ANICER suprimindo os dados nacionais necessários para a análise com relação a fabricação, transporte e descarte dos elementos.

A unidade funcional do estudo foi de 1m² de cobertura em telha de concreto ou cerâmico, por uma duração de 20 anos no cenário brasileiro.

Figura 9 - Descrição geral do sistema para telhas cerâmicas e de concreto

Life cycle stages	Ceramic roof tiles	Concrete roof tiles
Raw-material extraction	Clay	Clay, sand, limestone
Transportation	120 km distance from clay quarry to manufacturing plants	150 km distance from raw-materials extraction location to cement plant and 300 km from those to manufacturing plants
Manufacturing	Preparation of clay dough, shaping, drying and firing	Crushing and grinding, clinkerization, cooling, milling, shaping and drying and coating
Distribution	Distance from manufacturing to depots, in bulk, and to end-customer	Distance from manufacturing to depots in bulk, and to end customer, in packaging
Use	Manual installation; negligible maintenance	Manual installation; negligible maintenance
End-of-life treatment	Landfilling	Landfilling

Fonte: adaptado de SOUZA, 2014

O método aplicado no estudo foi a utilização do software de análise SimaPro 7.3, junto com a análise IMPACT 2002 + VQ2.2 que já é bastante embasada em diversos trabalhos e estudo ACV. Ainda sim com o propósito de checar a influência das escolhas metodológicas também realizaram uma análise de sensibilidade dos resultados encontrados afim de diminuir as incertezas passíveis relacionadas ao inventário de dados e modelos de caracterização adaptados.

Como resultado pode-se tirar do estudo que com relação aos impactos com relação a mudança climática (kg CO₂eq/m²), retirada de água (L/m²) e utilização de recursos as telhas cerâmicas apresentam uma considerável vantagem a sua contrapartida em concreto, chegando a ser praticamente menos impactante em todos os aspectos analisados e cerca de menos de 40% equivalente aos impactos das telhas de concreto nos três impactos citados acima.

A simplificação da ACV, pelo uso de dados secundários e redução do escopo do estudo, facilita sua implementação como ferramenta de promoção da sustentabilidade, Oliveria (2015) estimou faixas dos cinco principais indicadores do setor de blocos de concreto do mercado brasileiro pela simplificação da ACV sendo eles: consumo de materiais, energia incorporada, emissão de CO₂, água e geração de resíduos.

Desenvolvendo um inventario com 33 fabricas localizadas em diferentes regiões do Brasil para assim calcular de forma completa os impactos advindos da fabricação de blocos para pavimentação e alvenaria (estruturais e de vedação).

Figura 10 - Energia incorporada e emissão de CO₂ unitárias por tipo de cimento

Matérias-primas	Fator de Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t)		Energia incorporada (MJ/t)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Cimento CP II-F	735	770	3.096	3.240
Cimento CP II-Z	616	770	2.592	3.240
Cimento CP II-E	445	770	1.872	3.240
Cimento CP III	180	522	756	2.196
Cimento CP IV	351	693	1.476	2.916
Cimento CP V	778	821	3.276	3.456

Fonte: adaptado de OLIVEIRA, 2015

Figura 11 - Variação dos fatores de emissão de CO₂ e da energia incorporada dos insumos.

Insumo	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t)			Energia (MJ/t)		
	Mínimo	Máximo	Máx/Mín	Mínimo	Máximo	Máx/Mín
Areia natural	4,2	9,6	2,3	55,3	109,0	2,0
Areia industrial	1,3	1,9	1,4	17,1	42,1	2,5
Brita 0	1,2	1,9	1,6	13,5	55,3	4,1
Pedrisco de seixo	1,3	1,9	1,4	14,6	42,1	2,9
Pedrisco	1,3	1,9	1,4	14,6	42,1	2,9
Pó de pedra	1,3	1,9	1,4	17,1	42,1	2,5
Agregado reciclado	0,8	1,8	2,3	13,8	20,7	1,5
Cimento CP II-F	735	770	1,1	3.096	3.240	1,0
Cimento CP II-Z	616	770	1,3	2.592	3.240	1,3
Cimento CP II-E	445	770	1,7	1.872	3.240	1,7
Cimento CP III	175	522	3,0	756	2.196	2,9
Cimento CP IV	351	693	2,0	1.476	2.916	2,0
Cimento CP V	778	821	1,1	3.276	3.456	1,1
Lenha (plantada)	690	1.512	2,2	6.204	13.734	2,2
Lenha (resíduo)	0	0	0,0	6.073	12.980	2,1

Fonte: adaptado de OLIVEIRA, 2015

Campos (2012) partiu do princípio de que, sabendo que a construção civil responde por grande parte da emissão de CO₂ e de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, este setor é intimado a adequar seus processos produtivos a este novo paradigma. Com base na Análise do Ciclo de Vida (ACV), que foi o tema da pesquisa, e na utilização de um software de balanço de massas, foi realizada uma análise comparativa entre duas soluções construtivas (painéis pré-moldados de concreto e blocos de concreto) para edifícios residenciais, objetivando verificar qual dos sistemas observados seria mais ambientalmente favorável. A metodologia utilizada para se alcançar os resultados, baseada na ACV, demandou de uma descrição das redes de fluxo, pautadas nos processos de construção das soluções analisadas, e da elaboração de ICVs (Inventários dos Ciclos de Vida) compatíveis com o contexto do problema considerado. Tais etapas alimentaram um balanço de massa, viabilizando a quantificação de possíveis impactos ambientais e assim a comparação de qual processo produtivo seria menos danoso ao ambiente.

Os resultados apontaram que o sistema construtivo em alvenaria estrutural utilizando blocos de concreto exigiu quantidades inferiores de recursos naturais, sendo então logo considerado o menos danoso ambientalmente. Mas falando

especificamente da emissão de gases do efeito estufa, também foi observado que este sistema é o que causa menos impactos negativos, resultado justificado pelo fato de que os painéis pré-moldados de concreto exigiam maior consumo de cimento para sua fabricação, sendo o processo de produção do cimento apontado previamente como principal responsável pela maior parcela das emissões totais de CO₂. Outro fator levantado, foi de que a escolha de fornecedores próximos ao local de produção também é significativamente benéfica para a redução da emissão dos GEE, visto que a emissão de CO₂ na etapa de transporte da solução em painéis pré-moldados de concreto por si só foi equivalente a 1/3 das relativas a todo processo de fabricação da alvenaria estrutural em bloco de concreto.

A partir dos resultados supracitados, o estudo atestou que a solução de alvenaria estrutural em blocos de concreto é a mais favorável ambientalmente. Os resultados também comprovaram que a ACV de fato é eficiente para avaliar os danos causados ao meio ambiente pelas atividades exercidas pelo setor da Construção Civil, tendo permitido uma avaliação minuciosa dos materiais e processos envolvidos nas etapas produtivas, apontando os impactos críticos no ambiente em cada alternativa analisada.

Bancos de dados internacionais de inventários para realização de ACV em sistemas construtivos, dispõem de uma quantidade considerável de informações, as quais muitas vezes são utilizadas para estudos realizados no contexto brasileiro devido à falta de dados que englobem todas as características de nosso cenário. Bueno (2016) considerando essas questões buscou responder questões como a validade de uso de dados internacionais em processos idênticos, porém em contexto brasileiro, a capacidade das metodologias de avaliação de impacto disponíveis quanto sua consistência nos principais potenciais de impacto derivados do ciclo de vida de materiais de construção tradicionais.

Foi objetivado a avaliação de sensibilidade dos resultados de um estudo comparativo de ACV, aplicado a sistemas construtivos de vedação externa não estrutural, quanto a utilização de dados secundários ou dados primários, assim como à utilização de diferentes metodologias de AICV, categorizando os principais impactos e sua contribuição mais significativa na avaliação dos sistemas construtivos. A comparação foi feita entre os sistemas de vedação de blocos cerâmicos, blocos de

concreto, parede de concreto leve, sistema steel framing com fechamento em placas cimentícias e com fechamento em placas de gesso.

Após extensa análise de diversos métodos e cenários, foi possível salientar a importância do uso de dados específicos apropriados para o cenário estudado, contendo menores incertezas. Essa diferença foi constatada com relação aos resultados encontrados quando utilizados dados secundários e os utilizando dados primários, onde quando visto dados internacionais a vedação em blocos cerâmicos apresentou o maior impacto, enquanto com dados nacionais a vedação em steel frame com placas cimentícias que tomou essa posição.

3.4.8.3 ACV de Edificações

Com o crescente uso da ACV para quantificar os impactos relacionados na indústria da construção ao redor do mundo no início do século XXI, Tavares (2006), apresenta um trabalho completo que serviu como guia para demais outros que viriam e exploravam a necessidade da adequação e exploração do cenário brasileiro quanto a obter resultados que servissem plenamente para os casos encontrados em nosso país.

O objetivo da pesquisa foi identificar e quantificar os eventos significativos que influenciam o consumo de energia, em todas as suas fontes, ao longo do ciclo de vida de edificações residenciais brasileiras. Propondo uma metodologia para o cálculo do total de energia embutida na edificação em contraponto ao consumo operacional pelos usos finais de equipamentos da edificação.

Figura 12 - Discriminação das fases e etapas do ciclo de vida energético das edificações residenciais

FASE	ETAPAS	SIGLA	DESCRIÇÃO
Pré - operacional	1	EE _{mat}	Prospecção, fabricação e transporte de insumos
	2		Fabricação dos materiais de construção
	3	E _{tr,mat}	Transporte dos materiais de construção
	4	E _{eq, obra}	Energia consumida por equipamentos na obra
	5	E _{tr,obra}	Transporte dos trabalhadores até a obra
	6	E _{desp}	Desperdício de materiais
	7	E _{tr,desp}	Transporte do desperdício
Operacional	8	EE _{manut}	Reposição de materiais
	9	E _{equip}	Energia consumida por equipamentos eletrodomésticos
	10	E _{cocção}	Energia para cocção de alimentos
Pós - op.	11	E _{dem}	Demolição e remoção dos resíduos
	12	E _{tr,dem}	Transporte do material demolido

Fonte: adaptado de TAVARES, 2006

A metodologia foi aplicada em cinco modelos das edificações residenciais brasileiras considerando um ciclo de vida de 50 anos. Como um parâmetro de sustentabilidade é calculada a geração de CO₂ por fases do ciclo de vida e materiais utilizados.

Os resultados entre os cinco modelos apresentam valores de consumo energético no Ciclo de Vida da ordem de 15,01 GJ/m² a 24,17 GJ/m², considerados baixos em comparação aos valores internacionais de países desenvolvidos, na ordem de 50 GJ/m² a 90 GJ/m²; porém as condições climáticas desses elevam o consumo operacional para climatização. A Energia Embutida inicial variou de 4,10 GJ/m² a 4,90 GJ/m² e a total de 5,74 GJ/m² a 7,32 GJ/m². Tais resultados equivalem de 29% a 49% de todo o Ciclo de Vida, o que destaca a relevância dos estudos sobre Energia Embutida.

Figura 13 - Geração de CO₂ por materiais em todos os modelos

Materiais Modelo 1	%	Materiais Modelo 2	%	Materiais Modelo 3	%	Materiais Modelo 4	%	Materiais Modelo 5	%
Cimento	21,44	Tintas	24,31	Tintas	25,21	Cerâmica verm.	26,73	Cerâmica verm.	28,01
Tintas	20,82	Cimento	16,13	Cerâmica verm.	23,74	Tintas	20,32	Cimento	22,59
Cerâmica verm.	18,24	Concreto	10,04	Cimento	15,84	Cimento	17,09	Tintas	16,59
Aço e ferro	12,00	Aço e ferro	9,08	Aço e ferro	7,74	Aço e ferro	8,00	Aço e ferro	8,76
Concreto	7,68	Cerâmica verm.	8,69	Cal	7,52	Cal	5,56	Areia	3,03
Cal	3,55	Cal	6,08	Cerâmica rev.	3,85	Cerâmica rev.	4,77	Plásticos	3,01
Areia	3,18	Impermeabiliz.	4,98	Alumínio	3,79	Madeira	2,77	Pedra	2,89
Pedra	2,92	Alumínio	3,92	Areia	2,95	Pedra	2,66	Argamassa	2,87
Fibrocimento	2,89	Areia	3,40	Plásticos	2,02	Concreto	2,62	Madeira	2,65
Plásticos	2,07	Madeira	2,72	Impermeabiliz.	1,97	Areia	2,61	Concreto	2,08
Cobre	1,67	Pedra	1,94	Pedra	1,50	Plásticos	2,15	Cerâmica rev.	1,83
Madeira	1,32	Plásticos	1,70	Madeira	1,37	Cobre	1,90	Cobre	1,77
Cerâmica rev.	1,28	Cerâmica rev.	1,61	Cobre	0,61	Alumínio	0,84	Impermeabiliz.	0,87
Alumínio	0,00	Cobre	1,43	Concreto	0,03	Argamassa	0,00	Cal	0,65
Argamassa	0,00	Argamassa	0,00	Argamassa	0,00	Fibrocimento	0,00	Alumínio	0,10
Impermeabiliz.	0,00	Fibrocimento	0,00	Fibrocimento	0,00	Impermeabiliz.	0,00	Fibrocimento	0,00
Outros mat	0,93	Outros mat	3,98	Outros mat	1,87	Outros mat	1,98	Outros mat	2,30

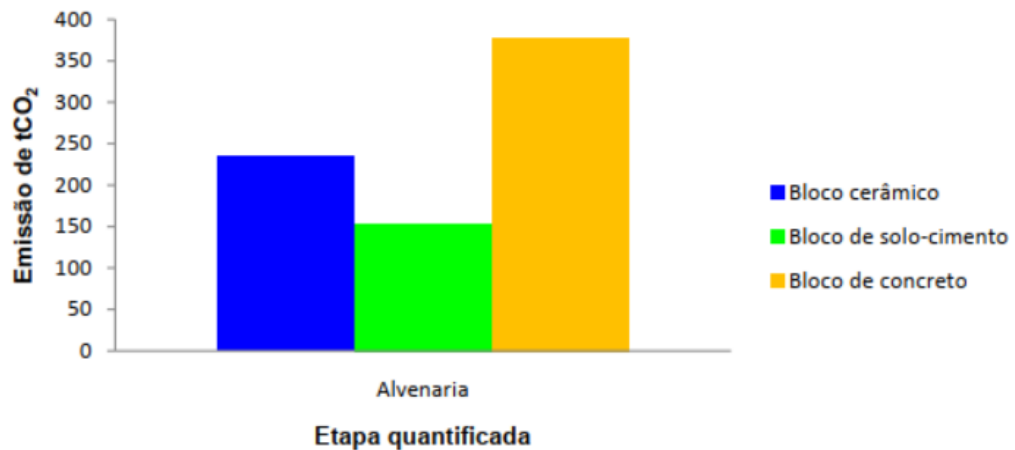
Fonte: adaptado de TAVARES, 2006

A geração de CO₂ varia de 460 kg CO₂/m² a 567 kg CO₂/m² na fase pré-operacional, valores semelhantes à de modelos internacionais.

Cunha (2016) quantifica as emissões de dióxido de carbono, durante o processo de construção de vinte unidades residenciais unifamiliares com área total de 42,89 m². A quantificação foi realizada, através da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), uma forma simplificada de conduzir uma análise de impactos ambientais.

A ACVE foi baseada, na metodologia proposta por Tavares (2006), que utiliza a Energia Embutida (EE) para quantificar as emissões de CO₂, dos principais materiais empregados pela construção civil: aço, agregados, cerâmica vermelha, cal e cimento. A utilização desses materiais na construção das unidades estudadas irá emitir 60.157,00 kg de CO₂ na atmosfera. Foi analisado também uma substituição a fim de verificar, se os blocos de concreto ou de solo-cimento não possuem uma emissão de dióxido de carbono inferior. O emprego dos blocos de concreto não se viu vantajosa, pois aumentaria em 1.873,29 kg a emissão de CO₂. Enquanto isso, a utilização dos blocos de solo-cimento, iria reduzir 8.018,00kg, isso ocorre, pois o bloco de solo-cimento, durante a fabricação não passam pelo processo de queima tornando-o um material sustentável.

Figura 14 - Emissões de t CO₂ de acordo com cada tipo de alvenaria



Fonte: adaptado de CUNHA, 2016

Evangelista (2018) com intuito de aumentar melhorar e aumentar a quantidade de dados relativos à eficiência e impactos gerados na indústria da construção no Brasil, realizou uma extensa pesquisa afim de avaliar o desempenho ambiental de edificações residenciais brasileiras, por meio da quantificação dos impactos ambientais potenciais, ao longo de seu ciclo de vida, aplicando a ACV.

Figura 15 - Indicadores ambientais associados a construção civil em alguns estudos visitados

Tema	Indicador Ambiental	%	Abrangência	Detalhamento	Fonte
ÁGUA	Consumo de água	25	Mundial	Construções	TAVARES, 2008
	Consumo de água tratada	21	Nacional	Setor Imobiliário	BLASO, 2011
	Consumo de água	12	Nacional	Atividades de construção	CBIC, 2012
ENERGIA	Consumo de energia primária	40	Mundial	Edifícios	WBCSD, 2007
	Consumo de energia elétrica gerada	41	Nacional	Setor Imobiliário	BLASO, 2011
	Consumo de energia elétrica faturada no país	44	Nacional	Edifícios	CBIC, 2011
EMISSÕES	Emissão de CO ₂	5	Mundial	Produção de cimento	CARVALHO, 2008
	Emissão de CO ₂	50	Mundial	Transformação de matéria-prima em materiais de construção	LOMBERA; ROJO, 2010
	Emissão de CO ₂ equivalente	25	Nacional	Setor Imobiliário	BLASO, 2011
	Emissões de gases de efeito estufa	5	Nacional	Produção de cimento	CBIC, 2012
RESÍDUOS	Geração de lixo urbano	65	Nacional	Setor Imobiliário	BLASO, 2011
	Geração de resíduos pela indústria	20-25	Nacional	Setor construção civil	CBIC, 2011
	Geração de resíduos	40	Nacional	Atividades de construção	CBIC, 2012
RECURSOS NATURAIS	Consumo de matérias-primas	30	Mundial	Construções	TAVARES, 2008
	Consumo de matérias-primas	60	Mundial	Setor construção civil	LOMBERA; ROJO, 2010
	Consumo de recursos naturais	40-75	Mundial	Setor construção civil	CBIC, 2011
	Uso do solo	12	Mundial	Construções	TAVARES, 2008

Fonte: adaptado de EVANGELISTA, 2018

A ACV completa, do "berço ao túmulo", analisando 8 categorias de impacto e apoiada por ferramenta computacional de simulação, o SimaPro, foi aplicada em 4 edificações residenciais típicas brasileiras, tendo como referência a unidade funcional de m²/ano.

Figura 16 - Categorias de Impacto e métodos de AICV

CATEGORIAS DE IMPACTO	SIGLA	INDICADOR	MÉTODO AICV
Demanda de energia acumulada	CED	MJ	<i>Cumulative Energy Demand (CED) - v1.08</i>
Aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq	<i>International Reference Life Cycle Data System (ILCD) - v1.03</i>
Acidificação	AP	molc H ⁺ eq	
Formação de ozônio fotoquímico	POF	kg NMVOC eq	
Depleção de recursos	RD	kg Sb eq	
Depleção da camada de ozônio	OD	kg CFC-11 eq	
Eutrofização terrestre	EP t	molc N eq	
Eutrofização aquática	EP f	kg P eq	
Eutrofização marinha	EP m	kg N eq	
Toxidade humana (cancerígena)	HT-c	CTUh	
Toxidade humana (não-cancerígena)	HT-n	CTUh	

Fonte: adaptado de EVANGELISTA, 2018

Foi avaliada a importância relativa das fases do ciclo de vida, identificados os subsistemas construtivos e materiais de construção de maior contribuição e simulados perfis de consumo na fase de uso e operação para avaliar a influência do comportamento dos ocupantes nos impactos gerados. Destacando o aquecimento global e a demanda de energia acumulada e considerando os indicadores relativos com base na unidade de área (m²), foram obtidos impactos da ordem de 722 kg de CO₂ equivalente/m² e 8,7 GJ/m² para o Estudo de Caso (EC) 1, multifamiliar de padrão alto, 954 kg de CO₂ equivalente/m² e 13,9 GJ/m² para o EC2, multifamiliar de interesse social, 543 kg de CO₂ equivalente/m² e 6,1 GJ/m² para o EC3, unifamiliar de padrão alto e 1,1 tonelada de CO₂ equivalente/m² e 14,5 GJ/m² para o EC4, unifamiliar de padrão baixo.

Figura 17 - Análise comparativa impactos ambientais - GWP e CED

IMPACTOS AMBIENTAIS - GWP e CED - ESTUDOS DE CASO					
Categoria de Impacto	Indicador	EC1	EC2	EC3	EC4
		MULTI PA	MULTI HIS	UNI PA	UNI PB
Área construída total	m ²	10.788	57.571	561	56
Número de unidades habitacionais	unid	64	1.300	1	1
Área Unidade habitacional	m ²	115	44	561	56
Número de Ocupantes	unid	4	3	4	3
Vida útil	anos	50	50	50	50
IMPACTO GLOBAL					
Aquecimento Global (GWP)					
Pré-operação		1.509.765	15.570.574	163.429	21.410
Operação	kg CO ₂ eq	6.205.569	38.585.274	134.302	41.767
Pós-operação		77.747	755.671	7.060	1.045
TOTAL		7.793.082	55.011.519	304.791	64.222
Demanda de Energia Acumulada (CED)					
Pré-operação		14.629	135.624	1.587	180
Operação	GJ	77.536	649.402	1.709	608
Pós-operação		1.545	16.177	151	22
TOTAL		93.710	801.203	3.447	810
IMPACTO POR UNIDADE HABITACIONAL					
Aquecimento Global (GWP)					
Pré-operação		23.590	12.054	163.429	21.410
Operação	kg CO ₂ eq	96.962	29.681	134.302	41.767
Pós-operação		1.215	581	7.060	1.045
TOTAL		121.767	42.317	304.791	64.222
Demanda de Energia Acumulada (CED)					
Pré-operação		229	104	1.587	180
Operação	GJ	1.212	500	1.709	608
Pós-operação		24	12	151	22
TOTAL		1.464	616	3.447	810
IMPACTO POR M ²					
Aquecimento Global (GWP)					
Pré-operação		140	272	291	382
Operação	kg CO ₂ eq	575	669	239	746
Pós-operação		7	13	13	19
TOTAL		722	954	543	1.147
Demanda de Energia Acumulada (CED)					
Pré-operação		1,36	2,35	2,83	3,21
Operação	GJ	7,19	11,26	3,05	10,86
Pós-operação		0,14	0,28	0,27	0,40
TOTAL		8,7	13,9	6,1	14,5
IMPACTO POR M ² /ANO					
Aquecimento Global (GWP)					
Pré-operação		2,8	5,4	5,8	7,6
Operação	kg CO ₂ eq	11,5	13,4	4,8	14,9
Pós-operação		0,1	0,3	0,3	0,4
TOTAL		14	19	11	23
Demanda de Energia Acumulada (CED)					
Pré-operação		0,027	0,047	0,057	0,064
Operação	GJ	0,144	0,225	0,061	0,217
Pós-operação		0,003	0,006	0,005	0,008
TOTAL		0,174	0,278	0,123	0,289

Fonte: adaptado de EVANGELISTA, 2018

Os resultados obtidos permitiram confirmar a etapa operacional como a de maior concentração dos impactos ambientais, atingindo contribuições superiores a 80% em várias categorias de impacto. Quanto a avaliação de subsistemas, nas unidades multifamiliares, a alvenaria e o revestimento se destacaram, enquanto nas unifamiliares a fundação, estrutura, alvenaria e revestimento foram as etapas de maior contribuição. O concreto, o aço e o revestimento cerâmico apresentaram as maiores parcelas de impacto ambiental, repercutindo nos subsistemas de estruturas, alvenaria e revestimento, citados anteriormente.

Figura 18 - Representatividade da demanda de energia por etapa do ciclo de vida

Representatividade da demanda de energia (CED) - Estudos de Caso					
Etapa do Ciclo de Vida	Energia	EC1	EC2	EC3	EC4
Pré-operação	Incorporada Inicial	15%	17%	46%	22%
Operação	Operacional	83%	81%	50%	75%
Pós-operação	Fim de Vida	2%	2%	4%	3%

Fonte: EVANGELISTA, 2018

Domênico, Silva e Ribeiro (2021) avaliaram os sistemas construtivos de uma habitação de interesse social, apontando os impactos ambientais resultantes dos processos produtivos e de manutenção dos materiais de construção adotados. Analisando as etapas de extração da matéria-prima, produção, transporte até a obra, manutenção e substituição de materiais.

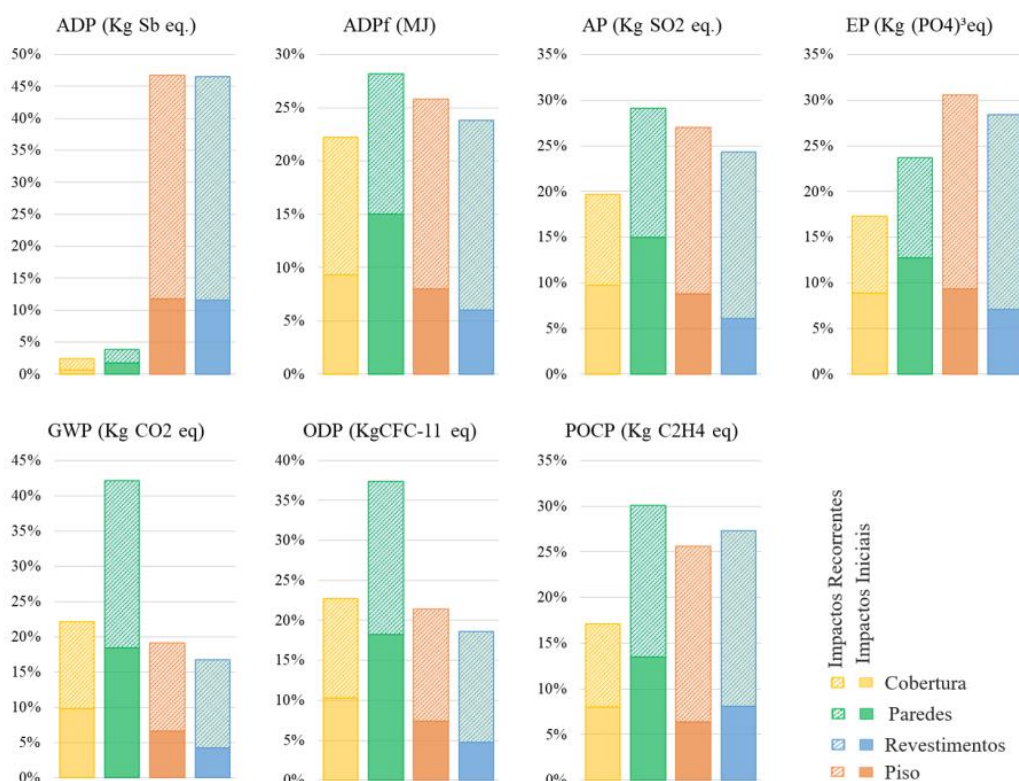
Figura 19 - Inventário quantitativos, para 1m² dos sistemas construtivos avaliados

Sistema	Itens	Kg/m ²	Vol m ³
Cobertura	Concreto	-	0,11
	Malha de aço	1,80	-
	Telhas cerâmicas colonial natural	38,4	-
Paredes	Blocos cerâmicos 8 furos 11,5x19x19 cm	82,5	-
	Cimento	2,45	-
	Cal	2,18	-
	Areia		0,01
	Concreto (cinta de amarração, vergas e contravergas)		0,09
	Aço (cinta de amarração, vergas e contravergas)	0,4	-
	Chapisco - cimento	3,60	-
	Chapisco - areia		0,02
	Emboço – cimento	13,50	-
	Emboço – areia		0,08
Revestimentos	Emboço – cal	12,00	
	Azulejos nas paredes hidráulicas da cozinha e box do banheiro a ½ parede, dimensões 30x30	13	-
Piso	Argamassa colante ACI para cerâmicas	4,86	-
	Contrapiso em concreto		0,055
	Piso cerâmico 30x30 PEI 4 comercial	13	-
	Argamassa colante ACI para cerâmicas	4,86	-

Fonte: adaptado de DOMÊNICO, SILVA E RIBEIRO, 2021

O trabalho aponta a influência de cada elemento em diferentes impactos, com destaque para as paredes da residência estando sempre com os valores mais expressivos dentre 6 das 7 categorias de impacto analisadas

Figura 20 - Participação de cada sistema nos impactos embutidos iniciais e embutidos recorrentes



Fonte: adaptado de DOMÊNICO, SILVA E RIBEIRO, 2021

REGO (2021) realizou uma ACV da estrutura de concreto armado de uma residência da Barra de São Miguel - AL, através do uso do *software* OpenLCA com o suporte das bases de dados ELCD europeia e USDA americana, bem como a quantificação dos impactos ambientais, com o auxílio do método de análise CML *baseline*, gerados pela execução da estrutura.

Com a realização da Avaliação do Ciclo de Vida da estrutura, conseguiu quantificar os impactos ambientais associados à mesma, destacando os valores de *Marine aquatic ecotoxicity*, *Global Warming* e *Human toxicity*. Enquanto a normalização pelo volume de concreto permitiu perceber a relação direta entre os impactos e o consumo de matéria-prima.

Ressaltou também a importância dos processos de transporte onde foram preponderantes na geração de impactos, visto que elementos aos quais estão associadas maiores distâncias do local de execução, ou que possuíam etapas extras de deslocamentos, apresentaram maiores impactos.

4. METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento deste projeto e que viabilizaram a construção de parâmetros para avaliação do ciclo de vida de uma edificação residencial brasileira situada na cidade de São Carlos-SP, analisando diferentes sistemas construtivos e as variações dos potenciais de impacto presentes em cada um.

O método de pesquisa utilizado no presente estudo se enquadra como estudo de caso, realizado com base em pesquisa bibliográfica e documental.

4.1 DEFINIÇÕES DA ACV

Este capítulo define a estrutura e metodologia aplicada na avaliação de ciclo de vida realizada neste trabalho, seguindo a norma NBR 14040 (ABNT, 2014)

4.1.1 OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO

No escopo são definidos as regras para o tratamento das inconsistências; a função e unidade funcional do produto; as regras para informações confidenciais; o tipo de resultados esperado; o fluxo de referência; as fronteiras do sistema; a listagem de exclusões; os critérios de corte da avaliação; as categorias de impacto consideradas, bem como o método de AICV aplicado; os métodos de normalização e ponderação; a representatividade tecnológica, geográfica e temporal; quais são as fontes de dados e se existem dados primários; os requisitos de qualidade mínimos; como será o cálculo de incertezas, de completude e de sensibilidade; e quais são as comparações, os cenários e as alternativas de análise (ABNT, 2014).

4.1.1.1 Objetivos e aplicação pretendida

Como objetivo desta ACV pretende-se:

- Analisar os resultados das emissões de gases de efeitos estufa, consumo de energia e consumo de água em uma edificação comparando três sistemas construtivos por meio de um método simplificado.
- Comparar e constatar qual sistema construtivo apresenta os menores potenciais de impacto ambiental.
- Comparar e avaliar quais materiais dentro de cada sistema apresenta os menores potenciais de impacto ambiental

Apontar os principais componentes de cada sistema que apresentam o maior potencial de redução de impacto ambiental

4.1.1.2 Escopo do trabalho

Foi realizado extensa pesquisa a respeito de projetos padrão de habitações de interesse social no contexto brasileiro, com a finalidade de encontrar um projeto que exemplifique e contenha as principais características encontradas em todas as HIS.

Estudando os modelos de projeto padrão da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU, 2024), foi possível escolher um projeto para o estudo de caso que se encaixava nos seguintes critérios essenciais:

- Ser uma Residência Multifamiliar;
- Possuir 2 ou mais pavimentos;
- Não possuir elevador;
- Ser um projeto de HIS;

Esses critérios foram propostos para conseguir realizar uma avaliação de uma edificação comumente encontrada no cenário urbano e que não há estudos previamente publicados, assim gerando novos horizontes para realizar comparações aos cenários já estudados.

Averiguando o Caderno de Tipologias (CDHU, 2024), foi possível encontrar diversos projetos que se encaixavam nos critérios citados acima, com isso bastou escolher o projeto que tivesse o maior número de informações necessárias disponíveis para realizar a análise.

O projeto escolhido foi o V052D-03 – Unidade Habitacional Padrão, realizado por Cláudia Ventura Arquitetos Associados S/C. Foi encontrado extensa gama de informações com relação as especificações do projeto que permitiram assim realizar uma análise prática da edificação.

O projeto apresenta um memorial detalhado contendo as especificações técnicas da execução de cada etapa da construção, tendo função principal instruir e orientar a construção da edificação, também assim apresentando diversas possibilidades de alteração e adaptações ao projeto.

O partido arquitetônico do projeto contempla uma forma laminar que permite o acesso aos pavimentos através de escada central e as unidades distribuem-se ao longo de passarela de acesso. Esse padrão atende a uma edificação de 4 ou 5 pavimentos em alvenaria estrutural.

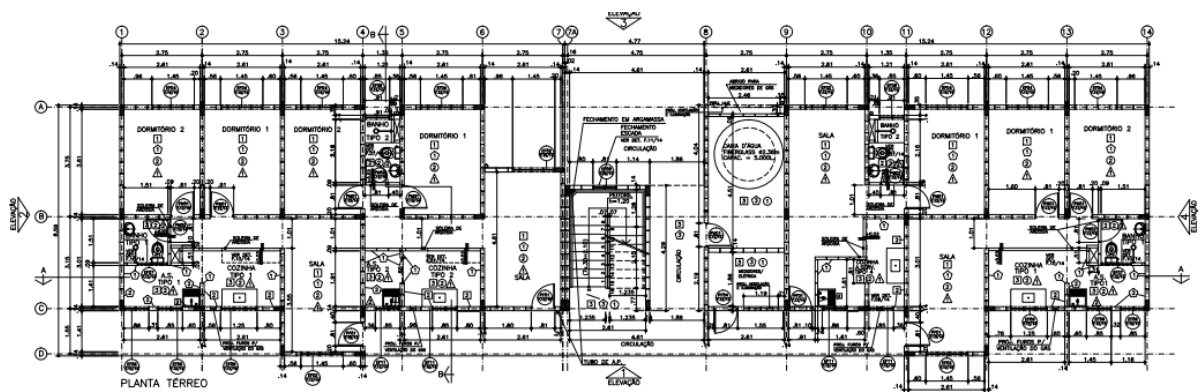
No pavimento térreo há uma estrutura de concreto convencional juntamente à alvenaria estrutural, formando uma estrutura de caráter misto.

O pavimento térreo pode ser ocupado com duas possibilidades:

- a primeira com 4 apartamentos, sendo um deles com 1 dormitório e os demais com 2 dormitórios, além de áreas para equipamentos de serviço (reservatórios, centro de medição etc.).
- a segunda com dois apartamentos de dois dormitórios, e demais ambientes de apoio ao condomínio, equipamentos de serviço e CAC (Centro de Apoio ao Condomínio) com salão, sala de administração, sanitários e vestuários.

Para o presente estudo foi escolhido, a primeira opção contendo 4 apartamentos devido a essa ser a configuração mais comum encontrada em condomínios residências com esse tipo de habitação.

Figura 21 - Planta baixa do Térreo do projeto V052D-03 – Unidade Habitacional Padrão



Fonte: CDHU (2024)

Para a realização das análises e comparações da edificação foi escolhido realizar uma avaliação comparativa de uma mesma edificação em diferentes cenários cada um representando um sistema construtivo. Os sistemas construtivos mais encontrados sendo analisados na bibliografia brasileira são:

- Alvenaria de Blocos Cerâmicos
- Alvenaria de Blocos de Concreto
- Estrutura de Paredes de Concreto moldado in loco
- Paredes de Painéis de Concreto pré-moldado
- Vedações em Light Steel Framing

Assim para o presente estudo foi escolhido os três primeiros sistemas por possuírem uma grande quantidade de trabalhos e informações disponíveis para consulta, além de serem os sistemas mais presentes em habitações de interesse social.

4.1.1.3 Função estudada e unidade funcional

A unidade funcional deste trabalho é definida como, “A construção de um edifício multifamiliar de 4 pavimentos na cidade de São Carlos – SP”

4.1.1.4 Descrição dos produtos estudados

Após avaliação da arquitetura e estrutura da edificação estudada, iniciou-se o processo levantamento e dimensionamento de materiais que compõe o projeto.

O objetivo principal é saber as quantidades aproximadas de cada material para cada tipo de método construtivo estudado, para assim poder quantificar o impacto de cada um de acordo com sua quantidade.

O levantamento foi feito a partir da análise das plantas e cortes do projeto tanto de arquitetura quanto de estruturas para dimensionar a área total das paredes estruturais, assim como também o consumo de aço, argamassa e graute das paredes estruturais.

Como o projeto originalmente foi dimensionado no sistema de blocos de concreto 14x19x39, as informações coletadas inicialmente são a respeito desse

sistema, assim é necessária uma adaptação dos dados de levantamento para os demais sistemas estruturais.

Por falta de informação completa e especificada com relação ao projeto, alguns parâmetros tiveram que ser retirado da literatura assim como também de informações disponibilizadas por fornecedores quanto algumas especificidades de componentes de cada sistema.

O foco do levantamento do projeto é obter a quantidade exata de alvenaria armada da edificação para assim quantificar o total de materiais necessários utilizado para a realização das mesmas.

Foi desconsiderado etapas como fundação, sistema hidráulico e componentes estruturais de outros sistemas por assumir que esses se manteriam iguais independente do sistema estrutural escolhido.

Seguindo o memorial disponível do projeto foi estipulado as seguintes especificações quanto ao sistema construtivo de alvenaria estrutural em blocos de concreto.

O projeto foi desenvolvido pensando em uma estrutura com elementos de concreto armado (lajes, vigas e pilares) e alvenaria estrutural com modulação em blocos de concreto 14x19x39.

Os blocos constituintes da alvenaria serão de concreto com faces planas e arestas vivas, assentados com juntas tipo amarração com argamassa no traço 1:0,5:8. O memorial também aponta que pode ser utilizado blocos cerâmicos de furos verticais com espessura igual ao especificado no projeto. Segundo especificações dos fornecedores de blocos, o aproveitamento de argamassa por metro quadrado de parede é de 20 kg/m² para blocos de concreto e 26 kg/m² para blocos cerâmicos

As alvenarias internas e externas do edifício serão revestidas com argamassa de cimento, cal e areia peneirado, no traço 1:2:9. A aplicação será feita diretamente sobre a alvenaria quando esta for de bloco de concreto e sobre base de chapisco de cimento e areia no traço 1:3 quando a alvenaria for de bloco cerâmico.

A espessura adotada foi a de 20mm de argamassa para os blocos de concreto e de 15mm de argamassa e 10mm de chapisco para os blocos cerâmicos.

A alvenaria armada também contaria com o grauteamento de pontos específicos, fazendo disposto o uso de um concreto leve, no traço 1:0,1:2,5:2,7. Esse traço foi adotado a bibliografia padrão pois no projeto e no memorial não foi especificado qual era o traço utilizando apenas a resistência a compressão final de 15MPa, assim foi escolhido o traço padrão recomendado que se encaixasse nessa exigência.

Tabela 1 - Elementos e suas resistências a compressão

Elemento	Resistência a Compressão
Blocos	6 MPa
Argamassa	6 MPa
Graute	15 Mpa
Prisma	9 Mpa

Fonte: Autor

O volume de graute utilizado no projeto não foi especificado no memorial nem nas pranchas, assim foi escolhido utilizar o trabalho de (FREIRE, 2007) para obter um índice de volume de graute e assim realizar um estimativa conforme as especificações do projeto estudado.

Toda a armação das paredes está especificada e quantificada nas pranchas do projeto, contando com o peso total e o tipo de armadura utilizada nas paredes onde era necessário (juntas de parede, vergas, contravergas e etc.).

Em resumo para esse Sistema construtivo foi estipulado as seguintes hipóteses e considerações:

Tabela 2 - Especificações Blocos Cerâmicos e Blocos de Concreto

Características	Bloco 14x19x39	
	Cerâmico	Concreto
Peso (kg)	7,2	14,5
Aproveitamento (blocos/m ²)	12,5	12,5
Consumo argamassa de assentamento (kg/m ²)	26	20
Consumo argamassa de revestimento (kg/m ²)	48	64
Consumo chapisco (kg/m ²)	32	-
Índice de graute horizontal por área do pavimento (m ³ /m ²)	0,019	
Índice de graute vertical por área do pavimento (m ³ /m ²)	0,013	

Fonte: Autor

Tabela 3 - Proporção do Traço de cada Mistura

Mistura	Traço			
	cimento	cal	areia	pedrisco
Arg. de assentamento	1	0,5	8	-
Graute/Concreto	1	0,1	2,5	2,7
Arg. de revestimento	1	2	9	-
Chapisco	1	-	3	-

Fonte: Autor

Paredes de Concreto são regulamentadas pela NBR16055 (ABNT, 2022), onde são descritas como um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que cinco vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede.

A norma especifica como Edifício simplificado um projeto que atende as seguintes condições

- Até 5 pavimentos;
- Lajes de vão livre principal (menor dimensão) máximo de 4m;
- Aberturas de no máximo 1,4m;

O projeto adotado apresenta essas condições, assim facilitando a adaptação das características das alvenarias em blocos no qual ele foi primeiramente planejado

É especificado que as paredes de concreto devem seguir os seguintes critérios básicos:

- Comprimento maior ou igual 5 vezes a sua espessura
- Espessura mínima 10 cm
- f_{ck} menor que 40 Mpa

Com relação a armadura das paredes a norma estabelece que:

- Armadura mínima:
 - Vertical - Aço CA-60 deve corresponder a 0,09% da seção de concreto
 - Horizontal – deve corresponder a 0,15% da seção de concreto (com concreto de baixa retração pode usar 0,9%)
- No caso do uso de armaduras principais com cobrimentos maiores ou iguais a 1,5 vez o cobrimento especificado na NBR6118, ou reforços com fibras estruturais, não necessita de cuidados especiais para evitar patologias
- No caso de fibras com função de reforço do concreto a dosagem mínima deve ser de 4 kg/m³ para as macrofibras poliméricas e de vidro, e de 8kg/m³ para as fibras metálicas

- Quantidade de tela soldada: As paredes de concreto podem conter apenas uma tela soldada, disposta longitudinalmente e próxima ao centro geométrico da seção horizontal da parede.
- Reforços horizontais: No caso de utilização de fibras, a necessidade do uso de reforços nas aberturas deve ser avaliada pelo projetista

Também é recomendado a utilização de argamassa em gesso para paredes de concreto por ser uma estrutura onde não necessita de muito acabamento devido a sua natureza de execução. Assim foi adotado um revestimento de 20mm tanto interno quanto externamente nas paredes do edifício.

Com a execução das paredes se faz necessário a utilização de formas, as mais comuns são as formas de alumínio, para saber o consumo de formas foi seguido o projeto da ANICER (2012), onde é levantado que pressupõe-se as formas são compostas por dois painéis de alumínio de 60 kg e que são usados para cobrir 1,89 m² de parede. E que podem ser utilizadas em média 100 vezes durante sua vida útil.

Assim podemos estabelecer as seguintes especificações para a nossa estrutura em paredes de concreto:

Tabela 4 - Especificações parede de concreto

Parede de Concreto	
Espessura da Parede (m)	0,1
Peso específico concreto (kg/m ³)	1800
Fibra de aço (kg/m ³)	8
Tela Soldada	Q 92
Peso específico da Tela (kg/m ²)	1,48
Formas de alumínio (kg/m ²)	0,6349
Gesso (kg/m ²)	40

Fonte: Autor

Inicialmente se fez a quantificação de m² de paredes de todos os pavimentos da edificação, assim como a quantidades de armadura total usadas nas paredes.

Assim foi analisado as pranchas com as elevações, modulação e planta baixa das estruturas de alvenaria, para depois gerar as seguintes tabelas:

Tabela 5 - Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício no Pavimento Térreo

Pav. Térreo			
ID Parede	Pé-direito (m)	Comprimento (m)	Área Bruta (m²)
PAR 1	2,89	8,39	24,25
PAR 2	2,89	2,89	8,35
PAR 3	2,89	1,21	3,50
PAR 4	2,89	2,75	7,95
PAR 5	2,89	8,39	24,25
PAR 6	2,89	2,9	8,38
PAR 7	2,89	5,66	16,36
PAR 8	2,89	7,01	20,26
PAR 9	2,89	2,9	8,38
PAR 10	2,89	7,06	20,40
PAR 11	2,89	0,94	2,72
PAR 12	2,89	3,9	11,27
PAR 13	2,89	3,7	10,69
PAR 14	2,89	3,9	11,27
PAR 15	2,89	8,62	24,91
PAR 16	2,89	0,94	2,72
PAR 17	2,89	3,91	11,30
PAR 18	2,89	2,15	6,21
PAR 19	2,89	3,9	11,27
PAR 20	2,89	4,91	14,19
PAR 21	2,89	4,3	12,43
PAR 22	2,89	4,3	12,43
PAR 23	2,89	2,9	8,38
PAR 24	2,89	2,89	8,35
PAR 25	2,89	8,39	24,25
PAR 26	2,89	1,49	4,31
PAR 27	2,89	9,79	28,29
PAR 28	2,89	4,24	12,25
PAR 29	2,89	5,64	16,30
PAR 30	2,89	2,89	8,35
PAR 31	2,89	7,04	20,35
PAR 32	2,89	7,04	20,35
PAR 33	2,89	0,94	2,72
PAR 34	2,89	2,74	7,92
PAR 35	2,89	8,59	24,83
PAR 36	2,89	3,69	10,66
PAR 37	2,89	3,89	11,24
PAR 38	2,89	0,94	2,72
PAR 39	2,89	3,89	11,24
PAR 40	2,89	7,04	20,35
f1+f8	2,89	1,14	3,29
f2	2,89	1,49	4,31
f3	2,89	0,49	1,42
f4	2,89	1,54	4,45
f5	2,89	2,15	6,21
f6	2,89	1,75	5,06
f7	2,89	0,69	1,99
f9	2,89	0,29	0,84
f10	2,89	2,89	8,35
f11 + f18	2,89	1,14	3,29
f12	2,89	1,49	4,31
f13	2,89	0,49	1,42
f14	2,89	1,19	3,44
f15	2,89	2,14	6,18
f16	2,89	2,89	8,35
f17	2,89	1,84	5,32
f19	2,89	0,69	1,99
f20	2,89	1,74	5,03
f21	2,89	2,89	8,35

Fonte: Autor

Tabela 6 – Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício no Pavimento Tipo

Pav. Tipo				
ID Parede	Pé-direito (m)	Comprimento (m)	nº de paredes	Área Bruta (m²)
PAR 1	2,69	8,39	2	45,14
PAR 2	2,69	2,89	2	15,55
PAR 3	2,69	1,21	2	6,51
PAR 4	2,69	2,75	2	14,80
PAR 5	2,69	8,39	2	45,14
PAR 6	2,69	2,9	2	15,60
PAR 7	2,69	5,66	2	30,45
PAR 8	2,69	7,01	1	18,86
PAR 8 A	2,69	7,01	1	18,86
PAR 9	2,69	2,9	2	15,60
PAR 10	2,69	7,06	2	37,98
PAR 11	2,69	0,94	2	5,06
PAR 12	2,69	3,9	2	20,98
PAR 13	2,69	3,7	2	19,91
PAR 14	2,69	3,9	2	20,98
PAR 15	2,69	8,62	2	46,38
PAR 16	2,69	0,94	2	5,06
PAR 17	2,69	3,91	2	21,04
PAR 18	2,69	2,15	2	11,57
PAR 19	2,69	3,9	2	20,98
PAR 20	2,69	4,91	1	13,21
PAR 20 A	2,69	4,91	1	13,21
PAR 21	2,69	4,3	1	11,57
PAR 22	2,69	4,3	1	11,57
PAR 23	2,69	2,9	1	7,80
f1+f8	2,69	1,14	2	6,13
f2	2,69	1,49	2	8,02
f3	2,69	0,49	2	2,64
f4	2,69	1,54	2	8,29
f5	2,69	2,15	2	11,57
f6	2,69	1,75	2	9,42
f7	2,69	0,69	2	3,71
f9	2,69	0,29	2	1,56

Fonte: Autor

Tabela 7 - Levantamento das Áreas das Paredes do Edifício na Cobertura e Ático

Cobertura + Ático						
ID Parede	Pé-direito (m)	Comprimento (m)	nº de paredes	Área Bruta (m²)	Vãos (m²)	Área Total (m²)
PAR 201	0,39	12,49	2	9,74	0	9,74
PAR 202	0,76	2,89	2	4,39	0	4,39
PAR 203	1,6	5,64	2	18,05	1,98	16,06
PAR 204	1,6	6,98	1	11,17	0,99	10,18
PAR 204 A	1,6	6,98	1	11,17	0,99	10,18
PAR 205	1,8	2,89	2	10,40	1,16	9,25
PAR 206	1,6	7,04	2	11,26	0,5002	10,76
PAR 207	1,8	1,69	2	3,04	0,5002	2,54
PAR 208	1,8	8,59	2	15,46	0,5002	14,96
PAR 209	0,77	2,29	2	1,76	0	1,76
PAR 210	1,6	4,89	1	3,91	0	3,91
PAR 211	1,8	5,84	1	10,51	0	10,51
PAR 212	1,8	4,89	1	8,80	0	8,80
PAR 213	1,8	5,84	1	10,51	0	10,51
PAR 214	2	4,89	1	9,78	0	9,78
f301	2,2	4,89	1	10,76	0	10,76
f302	2,2	5,84	1	12,85	0	12,85
f303	2,2	4,89	1	10,76	0	10,76
f304	2,2	5,84	1	12,85	0	12,85

Fonte: Autor

Após o levantamento da área bruta das paredes também foi feita a análise das áreas dos vãos em cada uma delas.

Tabela 8 - Vãos das Paredes do Térreo

Térreo		
Esquadrias	Quantidades	Área Vazios Total
PM01	7	12,53
PM02	4	7,16
PM03	0	0,00
PM04	0	0,00
PF01	5	8,95
PF02	0	0,00
PF03	0	0,00
PF04	1	1,79
EF-01	0	0,00
EF-02	4	7,02
EF-03	0	0,00
EF-04	7	12,28
EF-05	0	0,00
EF-06	6	4,13
EF-07	2	1,28
EF-08	1	1,03
EF-09	2	3,03
EF-10	0	0,00
EF-11	4	2,75
EF-12	0	0,00
EF-13	0	0,00

Fonte: Autor

Tabela 9 - Vãos das Paredes do Pavimento Tipo

Tipo (4x)		
Esquadrias	Quantidades	Área Vazios Total
PM01	4	7,16
PM02	2	3,58
PM03		0,00
PM04		0,00
PF01	2	3,58
PF02		0,00
PF03		0,00
PF04		0,00
EF-01	4	7,02
EF-02		0,00
EF-03	8	14,04
EF-04		0,00
EF-05	6	4,13
EF-06		0,00
EF-07	2	1,28
EF-08	2	2,06
EF-09		0,00
EF-10	2	3,03
EF-11	4	2,75
EF-12		0,00
EF-13		0,00

Fonte: Autor

Assim conseguindo relacionar as áreas reais totais das paredes de acordo com cada pavimento.

Tabela 10 - Resumo da Área total das Paredes do Edifício

Pavimento	Área Bruta Paredes (m²)	Área de Vazios (m²)	Área Total (m²)
Pav. Térreo	599,94	61,95	537,98
Pav. Tipo	545,10	48,62	496,48
Cobertura/Ático	187,18	6,6256	180,56
		Área total de Paredes do Prédio (m²)	2704,4583

Fonte: Autor

Também foi levantado a quantidade de armadura de acordo com exposto nos desenhos

Tabela 11 - Resumo Armadura do Térreo

Resumo Armadura Térreo			
Aço	Bitola	Comprimento	Peso
50A	6,3	220	56
50A	8	889	356
60B	5	257	41
PESO TOTAL 50A			412
PESO TOTAL 60B			41

Fonte: Autor

Tabela 12 - Resumo Armadura do Pavimento Tipo

Resumo Armadura Pav. Tipo			
Aço	Bitola	Comprimento	Peso
50A	6,3	182	46
50A	8	883	353
60B	5	271	43
PESO TOTAL 50A			399
PESO TOTAL 60B			43

Fonte: Autor

Tabela 13 - Resumo Armadura da Cobertura e Ático

Resumo Armadura Cobertura+Ático			
Aço	Bitola	Comprimento	Peso
50A	6,3	117	47,61
50A	8	364	153,004
PESO TOTAL 50A			200,614

Fonte: Autor

Com a conclusão do dimensionamento foi possível realizar o levantamento dos demais quantitativos para cada sistema construtivo seguindo as especificações estipuladas na metodologia.

Primeiro foi calculado o volume de graute utilizando a somas dos índices citados na metodologia resultando em $0,032\text{m}^3/\text{m}^2$, junto com a área em planta do maior pavimento que é de 235m^2 , deu um volume de graute de $7,52\text{m}^3$ por andar e $37,5\text{m}^3$ para todo o edifício.

Também foi estipulado valores para a massa específica de cada material e mistura, facilitando assim o cálculo de volume para peso de cada material.

Tabela 14 - Materiais e massas específicas

Material	Massa específico kg/m^3
Cimento	1400
Cal	1000
Areia	1700
Pedrisco	1800
Aço	78500
Alumínio	2800
Argamassa gesso	1250
Graute/Concreto	1800
Gesso	1000
Argamassa de revestimento	1600
Argamassa de assentamento	1600
Chapisco	1600

Fonte: Autor

Assim abaixo segue a quantidade de cada material de acordo com o sistema construtivo escolhido.

Tabela 15 - Quantitativos de Paredes de blocos de concreto e cerâmico

Materiais	Blocos	
	Cerâmico	Concreto
Número de Blocos	33806	33806
Graute (kg)	67.680	67.680
Argamassa de assentamento (kg)	70.315,92	54.089,17
Armadura (kg)	2.292,61	2.292,61
Peso Blocos (kg)	243.401,25	490.183,07
Argamassa de revestimento (kg)	129.814,00	173.085,33
Chapisco (kg)	86.542,67	-
Peso total (kg)	600.046,44	787.330,18

Fonte: Autor

Tabela 16 - Quantitativos Parede de Concreto

Parede de Concreto	
Volume de concreto (m ³)	270,45
Peso de concreto (kg)	486.802,49
Fibra de aço (kg)	2.163,57
Armadura de aço (kg)	4.002,60
Alumínio (kg)	380,90
Gesso (kg)	108.178,33
Peso total (kg)	601.146,99

Fonte: Autor

Também foi discretizado a quantidade de cada material que compõem as diferentes misturas usadas em cada sistema construtivo, seguindo a conversão de acordo com seus traços e massa específicas.

Tabela 17 - Traço das misturas utilizadas

Mistura	Traço				Traço m ³ de material para 1m ³ de mistura			
	cimento	cal	areia	pedrisco	cimento	cal	areia	pedrisco
argamassa assentamento	1	0,5	8	-	0,105	0,053	0,842	-
graute	1	0,1	2,5	2,7	0,159	0,016	0,397	0,429
argamassa revestimento	1	2	9	-	0,083	0,167	0,750	-
chapisto	1	-	3	-	0,250	-	0,750	-

Fonte: Autor

Tabela 18 - Traço das misturas de kg para m³

Mistura	Traço kg para 1m ³ de mistura			
	cimento	cal	areia	pedrisco
argamassa assentamento	147,37	52,63	1431,58	-
graute/concreto	222,22	15,87	674,60	771,43
argamassa revestimento	116,67	166,67	1275,00	-
chapisto	350,00	-	1275,00	-

Fonte: Autor

Tabela 19 - Traço em kg para cada kg das misturas

Mistura	Traço kg para kg de mistura			
	cimento	cal	areia	pedrisco
argamassa assentamento	0,09	0,03	0,89	-
graute/concreto	0,14	0,01	0,42	0,48
argamassa revestimento	0,07	0,10	0,80	-
chapisto	0,22	-	0,80	-

Fonte: Autor

Embaixo segue a tabela com os quantitativos totais de cada material componente das diferentes misturas de acordo com cada sistema construtivo utilizado.

Tabela 20 - Quantitativos totais das misturas para cada sistemas de vedação

Peso total de cada material (kg)		Sistema construtivo		
		Bloco Cerâmico	Bloco de Concreto	Parede de Concreto
Graute	Cimento	9400	9400	67611,46
	Cal	671	671	4829,39
	areia	28536	28536	205249,07
	Pedrisco	32631	32631	234708,35
Arg assentamento	Cimento	6476	4982	-
	Areia	62914	48396	-
	Cal	2313	1779	-
Arg revest	Cimento	9466	12621	-
	Areia	103446	137927	-
	Cal	13522	18030	-
Chapisco	Cimento	18931	-	-
	Areia	68964	-	-

Fonte: Autor

4.1.1.5 Limites do sistema

Para avaliação do potencial de impacto ambiental de uma edificação há diversas maneiras de discretizar e levantar os dados necessários.

O presente trabalho optou por seguir com uma variação mais simples quando se trata de avaliação do ciclo de vida, devido à grande extensão de trabalhos complexos que exigem muitas informações com relação aos componentes da edificação. Uma abordagem simplificada mesmo não sendo exata, ainda sim apresenta uma boa compatibilidade com os resultados encontrados em outras bibliografias e na prática.

O estudo se concentrou em realizar uma avaliação por meio de três indicadores de impacto principais relacionados a edificações, seriam eles os mais pesquisados e utilizados em análises por meio de toda a literatura:

- Consumo de Energia;

- Emissão de CO₂;
- Consumo de Água;

Isso diminuiu a complexidade do processo, não tendo sido necessário o uso de *softwares*. Além disso, a maioria dos dados foram coletados a partir da literatura nacional e dados levantados por órgãos especializados.

A identificação dessas análises pode ser pautada nas de ACVE e ACV CO₂, junto com o acréscimo com uma ACV relacionada ao consumo de água.

A pesquisa seguiu as recomendações da NBR ISO 14.040 (ABNT, 2014a), sendo inventariado somente as demandas energéticas, emissão de CO₂ e consumo de água dos componentes de uma edificação.

O quadro 1 apresenta as descrições das fases e etapas mais estudadas do ciclo de vida de edificações residenciais. Para a realização do ciclo completo, são consideradas todas as etapas de uma edificação durante sua vida útil, nas fases: pré-uso, uso e pós-uso.

Quadro 1 - Fases de uma Edificação

Fase	Etapas	Descrição
Pré-uso	Extração e Processamento	Extração e processamento de matérias-primas para confecção dos materiais utilizados para execução da edificação
	Transporte até o local	Transporte dos materiais e insumos de seus locais de origem para o canteiro de obra
	Execução	Execução de todas as etapas e processos da habitação
Uso	Operação e uso	Todos os recursos utilizados para o uso da habitação conforme seu propósito
	Manutenção	Possíveis reparos, trocas ou alterações necessárias de acordo com o tempo de vida útil dos componentes
Pós-uso	Demolição	Processo de demolição da edificação dado ao esgotamento de seus recursos
	Transporte de resíduos	Transporte dos materiais resultantes da demolição

Fonte: Autor

Ainda sim por se tratar de uma pesquisa mais enxuta, foi escolhido reduzir o escopo, focando assim nas etapas mais afetadas pela escolha do tipo de sistema construtivo da edificação. Com isso o estudo pretende analisar apenas os impactos gerados nas fases de Pré-uso e Pós-uso.

As variáveis de estudo deste trabalho podem ser colocadas como as seguintes:

Quadro 2 - Variáveis de Estudo dos Processos da Edificação

Fase	Etapas	Emissão de CO ₂	Energia embutida	Consumo de Água
Pré-uso	Extração e Processamento	x	x	x
	Transporte até o local	x	x	
	Execução	x	x	x
Pós-uso	Demolição			
	Transporte de resíduos	x	x	

Fonte: Autor

A análise com relação ao processo de demolição não será realizada devida a dificuldade de coletar dados referentes a essa etapa visto que ela não possui um método recorrente de realização, assim como também não se encontrou literatura extensa a respeito desse tópico para assim compor uma análise que pudesse ser embasada da mesma forma que as das outras etapas.

4.1.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE DADOS

Os valores relacionados a energia embutida e emissão de CO₂, foram encontrados na sua grande maioria em estudos recentes de ACV, assim como pesquisas comparativas e específicas que buscavam avaliar e estipular valores os mais próximos possíveis a realidade brasileira.

Quadro 3 - Referências e valores de Emissão de CO₂ e Energia Embutida

Material	CO ₂ /kg	Mj/kg	Fonte
Areia natural	0,0069	0,0822	Souza (2012)
Pedrisco	0,0016	0,0284	Falcão (2013)
Cimento CP II-F	0,7604	3,1680	Oliveira (2015)
Cimento CP V	0,8080	3,3660	Oliveira (2015)
Cal hidratada	1,3880	8,2560	Vanderley (2014)
Aço	2,7300	35,0000	Tavares e Bragança (2016)
Fibra de Aço	2,7300	35,0000	Tavares e Bragança (2016)
Alumínio	10,1900	155,0000	Tavares e Bragança (2016); Costa(2012)
Bloco Ceramico	0,0263	0,3610	Vinhal (2016)
Bloco de Concreto	0,1310	0,8276	Oliveira (2015)
Gesso	0,6389	0,7200	Bajay e Santana (2010)

Fonte: Autor

As informações quanto ao consumo de água, seja na fabricação do material ou na fabricação da mistura, foram encontradas majoritariamente em inventários dos próprios produtos ou em pesquisas relacionadas.

Quadro 4 - Dados e referências sobre o consumo de água

Material ou Mistura	Informação encontrada	Conversão para L por kg	Fonte
Argamassa gesso	-	0,8	Basso (2022)
Argamassa de assentamento	0,048kg por kg de argamassa	0,048	Anicer (2012)
Argamassa de revestimento	230 litros por m ³ de revestimento	0,14375	
Graute	190 litros por m ³ de concreto	0,079166667	
Chapisco	200 litros por m ³	0,125	
Concreto	190 litros por m ³ de concreto	0,079166667	
Cimento	100 litros por tonelada	0,1	ABCP (2023)
Pedrisco	0,0318 litros por kg	0,0318	Castro (2015)
Bloco Cerâmico	1,17 litros por bloco	0,1625	SIDAC (2022)
Bloco de Concreto	0,168 litros por bloco	0,011586207	SIDAC (2022)
Aço	1,2 m ³ por tonelada de aço	1,2	Araujo (2011)
Alumínio	2,4125 m ³ por tonelada de alumínio	2,4125	Abal (2007)
Cal Hidratada	0,525 m ³ por tonelada de cal	0,525	SIDAC (2022)

Fonte: Autor

O método adotado para calcular a energia embutida e emissão de CO₂ do transporte dos materiais foi o seguinte, para se obter o valor da energia incorporada, multiplica-se o fator de transporte 0,13 MJ/t·km (TAVERES, 2006) pela massa total e pela distância percorrida entre a origem e o destino, e para a emissão de CO₂ o fator é de 0,102kg CO₂/t·km (CALDAS, 2017).

As distâncias percorridas por cada material foram consideradas com relação a distância aproximada do centro da Cidade de São Carlos – SP, até o local mais próximo existente de produção/fabricação/distribuição do material ou componente. Todos os locais se encontram dentro dos limites do Estado de São Paulo. Também

foi considerado a distância ao aterro mais próximo da cidade, para estipular o caminho percorrido do material após a demolição da edificação.

Quadro 5 - Locais e distâncias de transporte

Materiais	Distância Materiais (km)	Impactos por transporte do material		Cidade Origem
		kg CO2/kg	MJ/kg	
Cal	62	0,006324	0,00806	Rio claro - SP
Areia	45,5	0,004641	0,005915	Analândia - SP
Cimento	203	0,020706	0,02639	Votorantim - SP
Pedrisco	16,3	0,0016626	0,002119	São Carlos - SP (Pedreira Bandeirantes)
Aço	160	0,01632	0,0208	Itapira - SP
Alumínio	160	0,01632	0,0208	Itapira - SP
Bloco de Concreto	10	0,00102	0,0013	São Carlos - SP
Bloco Cerâmico	168	0,017136	0,02184	Itu - SP
Gesso	62	0,006324	0,00806	Rio Claro - SP
Demolição	25	0,00255	0,00325	Aterro Ambiental São Carlos - SP

Fonte: Autor

5. RESULTADOS

Este capítulo descreve os procedimentos realizados e os resultados encontrados após seguir os passos descritos na metodologia deste trabalho que visa analisar o ciclo de vida de uma edificação residencial brasileira situada na cidade de São Carlos-SP, comparado os impactos gerados em cada sistema construtivo.

5.1.1 AVALIAÇÃO DE POTENCIAL DE IMPACTO

Para o cálculo dos potenciais de impacto relacionados ao consumo de energia, emissão de CO₂ e consumo de água, foi utilizado os valores de indicadores dos materiais mostrados nos quadros 3, 4 e 5.

Os resultados multiplicando os indicadores com a quantidade de matérias dos sistemas é o que se encontra abaixo.

Tabela 21 - Emissão de CO₂ e Energia Embutida para Parede de Blocos de Cerâmicos

Parede de blocos cerâmicos		Produção		Transporte	
		Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)
Bloco Cerâmicos		6.401	87.868	4.171	5.316
Graute	Cimento CP V	7.595	31.640	195	248
	Cal	932	5.543	4	5
	Areia	197	2.344	132	169
	Pedrisco	52	925	54	69
Arg. Assentamento	Cimento CP II	4.925	20.517	134	171
	Cal	3.210	19.096	15	19
	Areia	434	5.168	292	372
Aço		6.259	80.241	37	48
Arg. Revestimento	Cimento CP II	7.198	29.987	196	250
	Cal	18.769	111.640	86	109
	Areia	714	8.498	480	612
Chapisco	Cimento CP II	14.395	59.974	392	500
	Areia	476	5.665	320	408
Demolição		0	0	1.530	1.950

Fonte: Autor

Tabela 22 - Emissão de CO₂ e Energia Embutida para Parede de Blocos de Concreto

Parede de blocos de concreto		Produção		Transporte	
		Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)
Bloco de concreto		64.231	405.669	500	637
Graute	Cimento CP V	7.595	31.640	195	248
	Cal	932	5.543	4	5
	Areia	197	2.344	132	169
	Pedrisco	52	925	54	69
Arg. Assentamento	Cimento CP II	3.788	15.783	103	131
	Cal	2.470	14.689	11	14
	Areia	334	3.976	225	286
Aço		6.259	80.241	37	48
Arg. Revestimento	Cimento CP II	9.597	39.983	261	333
	Cal	25.025	148.853	114	145
	Areia	952	11.331	640	816
Demolição		0	0	2.008	2.559

Fonte: Autor

Tabela 23 - Emissão de CO₂ e Energia Embutida para Parede de Concreto

Parede de concreto		Produção		Transporte	
		Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	Energia embutida (MJ)
Concreto	Cimento CP V	54.630	227.580	1.400	1.784
	Cal	6.703	39.871	31	39
	Areia	1.416	16.861	953	1.214
	Pedrisco	376	6.654	390	497
Aço	Tela de aço	10.927	140.091	65	83
	Fibra de aço	5.907	75.725	35	45
Formas de Alumínio		3.881	59.039	6	8
Arg. Gesso		69.115	77.888	684	872
Demolição		0	0	1.533	1.954

Fonte: Autor

Tabela 24 - Consumo de água de cada componente em diferentes sistemas construtivos

Materiais	Consumo de Água L/kg de material		
	Parede Bce	Parede Bco	Parede de Concreto
Argamassa gesso	x	x	86.543
Arg. Assentamento	3.375	2.596	x
Arg. Revestimento	18.661	24.881	x
Graute	5.358	5.358	x
Chapisco	10.818	x	x
Concreto	x	x	38.539
Cimento	4.427	2.700	6.761
Pedrisco	1.038	1.038	7.464
Bloco Cerâmico	39.553	x	x
Bloco de Concreto	x	5.679	x
Aço	2.751	2.751	7.399
Alumínio	x	x	919
Cal Hidratada	8.666	10.752	2.535
Total	94.647	55.756	150.160

Fonte: Autor

5.2 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPACTO

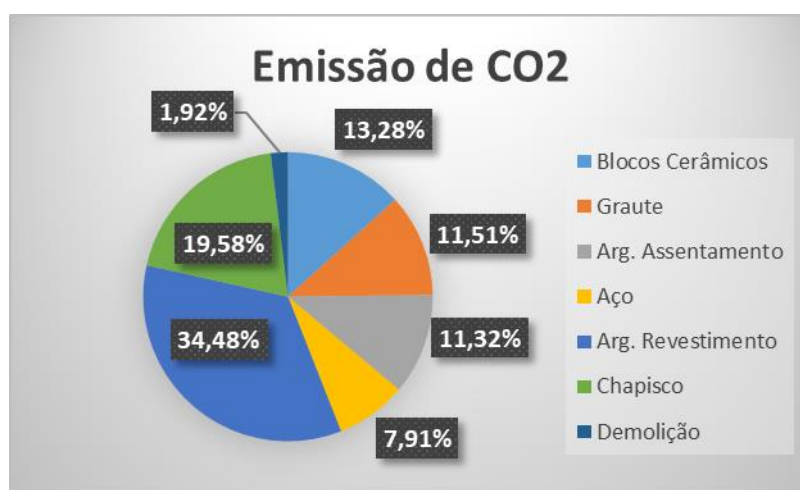
Com os resultados acerca dos potenciais de impacto de cada sistema construtivo foi possível assim analisar e comparar os valores entre si seja dentro do próprio sistema ou entre os sistemas

5.2.1 BLOCOS CERÂMICOS

5.2.1.1 COMPONENTES

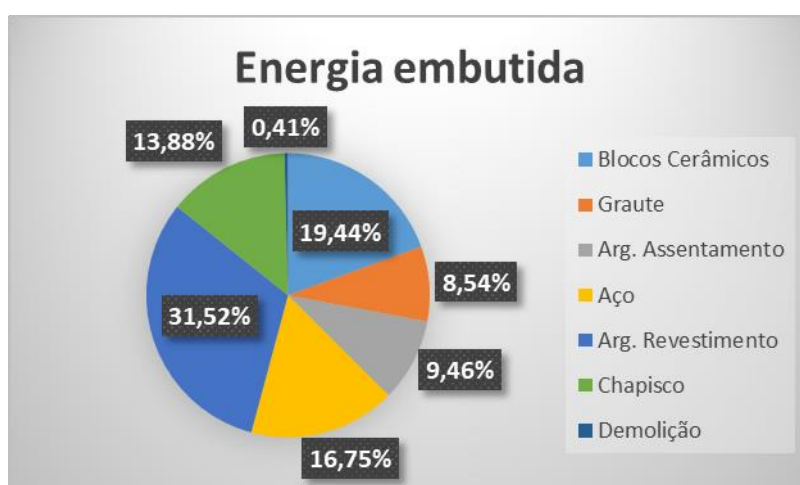
Analisando os potenciais de impacto de cada componente da construção podemos verificar os que apresentam os valores mais significantes em cada uma.

Figura 22 – Parcela de emissões de CO₂ de cada etapa - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

Figura 23 – Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

Na avaliação dos componentes que constituem o sistema foi possível observar que a argamassa de revestimento toma a maior parcela de impactos tanto em emissão de CO₂ com 27 tCO₂ (34%) quanto em consumo de energia embutida com 151 GJ (31%).

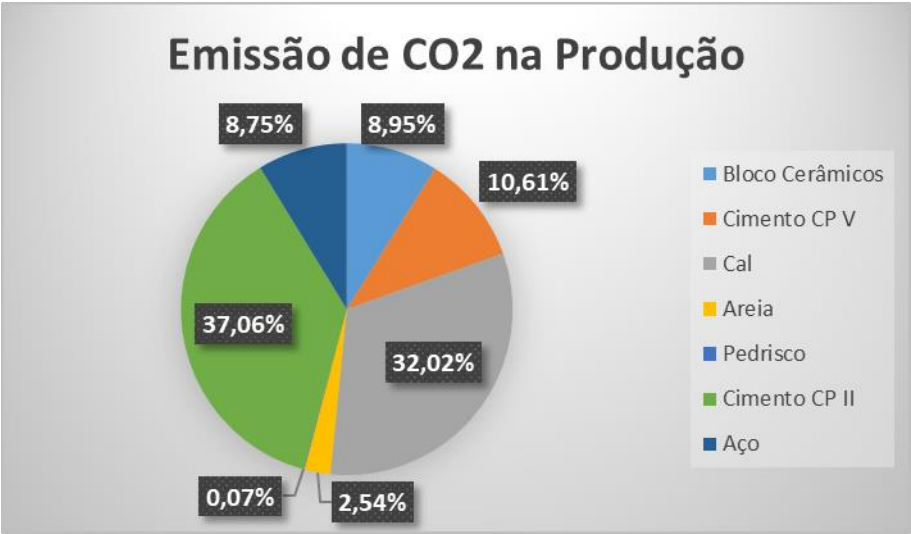
5.2.1.2 MATERIAIS

Tabela 25 - Impacto das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico

Parede de blocos cerâmicos	Produção		Transporte	
	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)
Bloco Cerâmicos	6.401	87.868	4.171	5.316
Cimento CP V	7.595	31.640	195	248
Cal	22.911	136.280	104	133
Areia	1.821	21.676	1.225	1.561
Pedrisco	52	925	54	69
Cimento CP II	26.518	110.479	722	920
Aço	6.259	80.241	37	48
Demolição	0	0	1.530	1.950

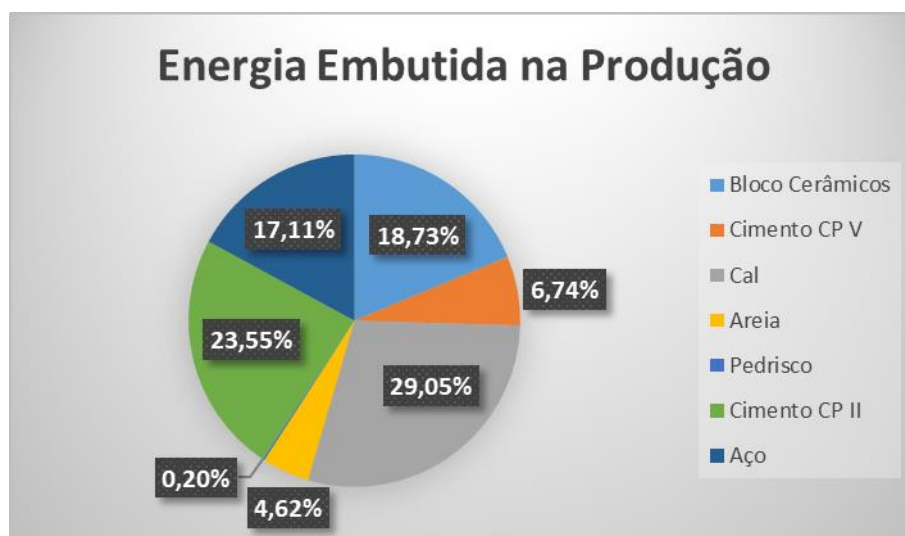
Fonte: Autor

Figura 24 - Emissão de CO₂ da produção das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

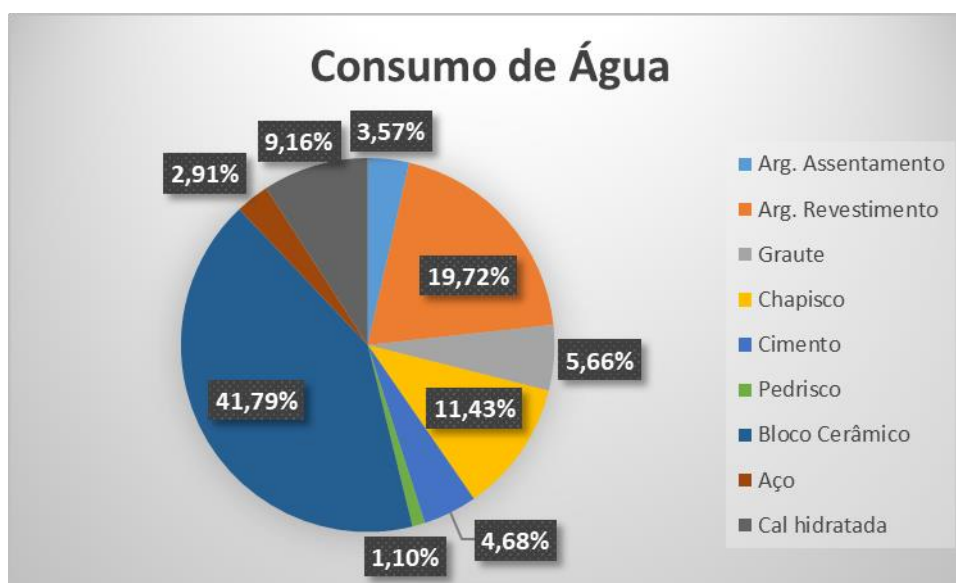
Figura 25 - Consumo de energia embutida na produção das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

Na fase de produção, os materiais cimento CP II e cal hidratada foram o que apresentaram o maior impacto quanto a emissão de CO₂ (37% e 32%) como também no consumo de energia embutida (29% e 23%). Isso é esperado uma vez ambos representam os materiais com produções mais complexas, de grande demanda de maquinário e grande demanda energética.

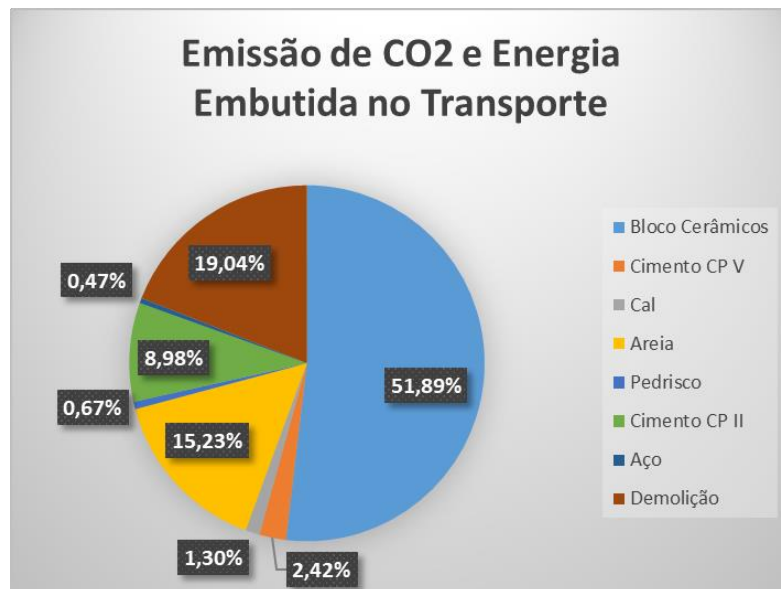
Figura 26 – Parcela de consumo de Água - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

Entretanto, quando comparamos o consumo de água entre componentes e materiais, o que apresenta maior impacto é a argamassa de revestimento (33%), com considerável influência do chapisco (19%). Portanto o revestimento (chapisco + argamassa de revestimento) é responsável por 52% do consumo de água do elemento parede. Esse impacto é ainda maior, se for levado em conta a água que foi consumida pelos outros dois componentes de mistura, a argamassa de assentamento e o graute, somando os dois as misturas totalizam 69% do consumo do sistema. No geral, o total de água consumida para produção dos insumos (cimento e cal) consome cerca de 17% da água do elemento parede sendo os materiais de maior consumo.

Figura 27 - Parcela de impacto do transporte das matérias primas - Paredes de Blocos Cerâmico



Fonte: Autor

Na fase de transporte, o grande impacto é do material bloco cerâmico (56%), seguido da demolição do sistema (20%) e a areia (16%). Por ser o material de maior volume e também ter uma distância de sua produção até a cidade de São Carlos – SP consideravelmente maior que os demais materiais o bloco cerâmico apresenta essa grande parcela comparada aos demais materiais.

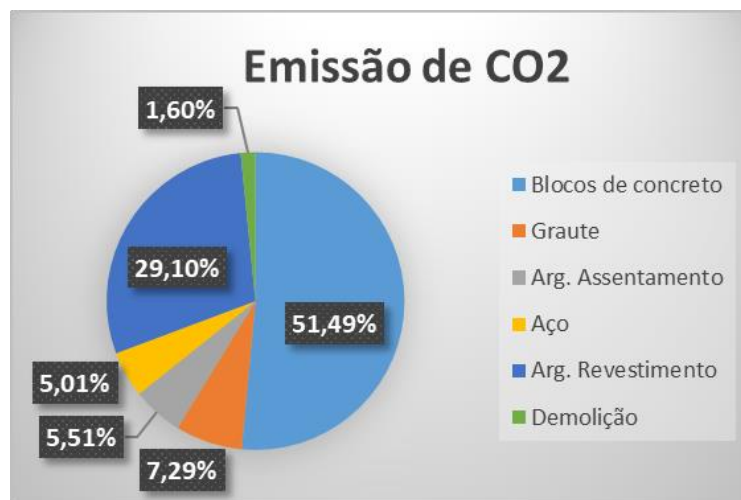
5.2.2 BLOCOS DE CONCRETO

Este tópico apresenta os resultados dos potenciais de impacto da edificação quando realizada com alvenaria estrutural de blocos de concreto.

5.2.2.1 COMPONENTES

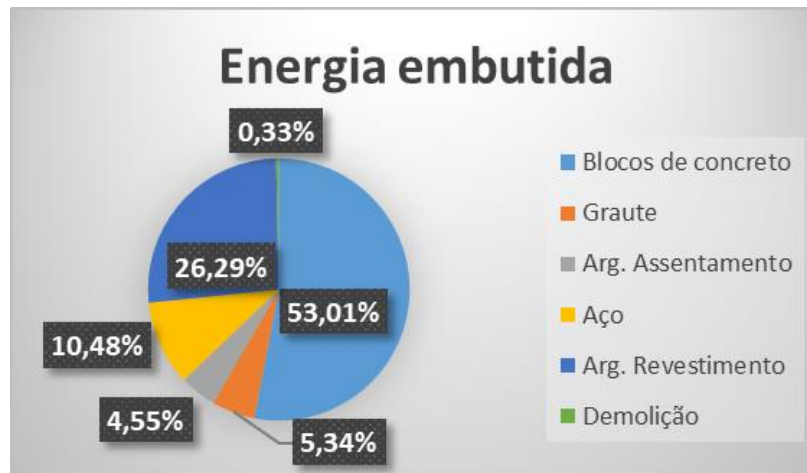
Analisando os potenciais de impacto de cada componente da construção podemos verificar os que apresentam os valores mais significantes em cada uma.

Figura 28 - Parcela de emissões de CO₂ de cada etapa - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

Figura 29 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

Na avaliação dos componentes que constituem o sistema foi possível observar que ainda sim os blocos de concreto apresentam o maior impacto tanto em emissão de CO₂ (51%) quando em energia embutida (53%), seguido da argamassa de revestimento apresentando também valores consideráveis de emissão de CO₂ (29%) e energia embutida (26%).

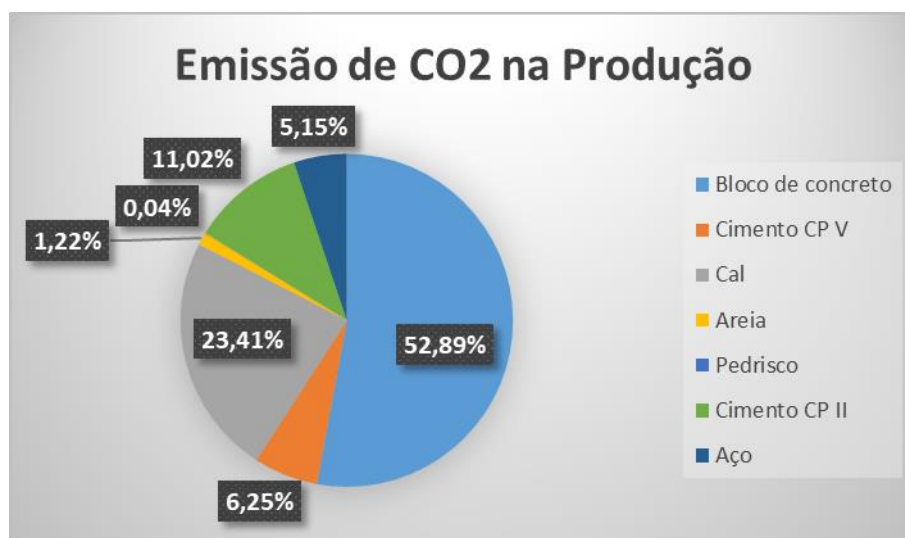
5.2.2.2 MATERIAIS

Figura 30 - Impacto das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto

Parede de blocos de concreto	Produção		Transporte	
	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)
Bloco de concreto	64.231	405.669	500	637
Cimento CP V	7.595	31.640	195	248
Cal	28.427	169.086	130	165
Areia	1.483	17.651	997	1.271
Pedrisco	52	925	54	69
Cimento CP II	13.385	55.765	364	465
Aço	6.259	80.241	37	48
Demolição	0	0	2.008	2.559

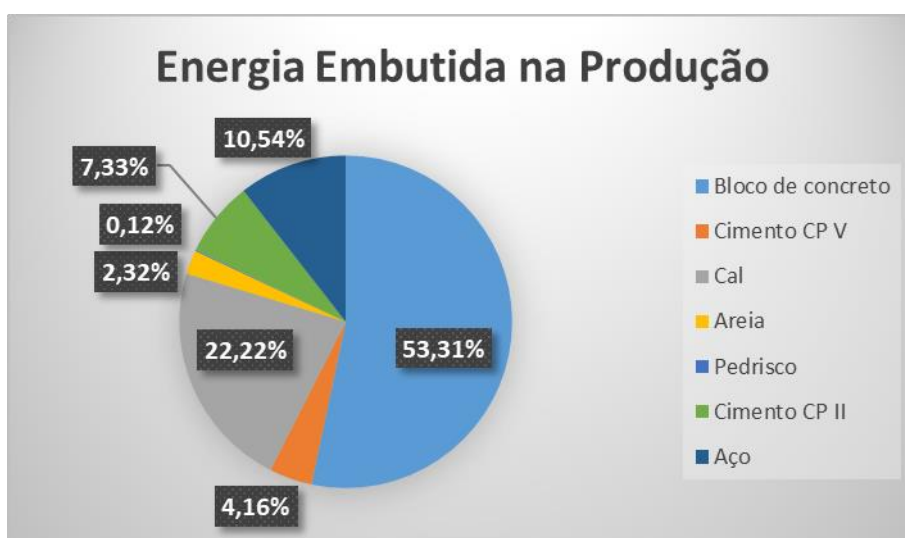
Fonte: Autor

Figura 31 - Emissão de CO₂ na produção das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

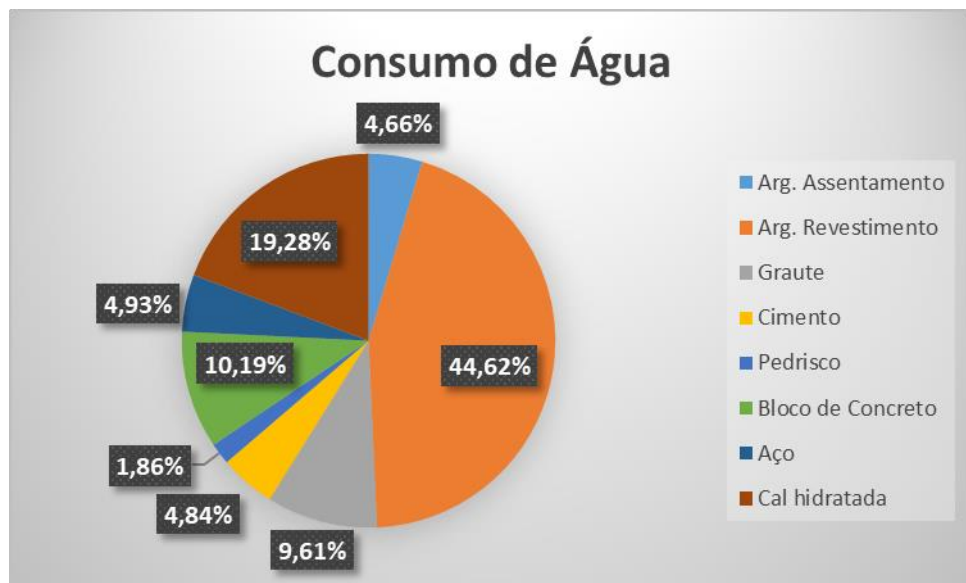
Figura 32 - Consumo de energia embutida na produção das matérias primas - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

Na fase de produção, o material bloco de concreto é o que tem maior impacto quanto a emissão de CO₂ (52%) e o consumo de energia embutida (53%), outro material que teve impacto considerável foi a cal hidratada em emissão de CO₂ (23%) e em energia embutida (22%). Isso é esperado uma vez que o bloco de concreto representa o maior volume da estrutura do sistema.

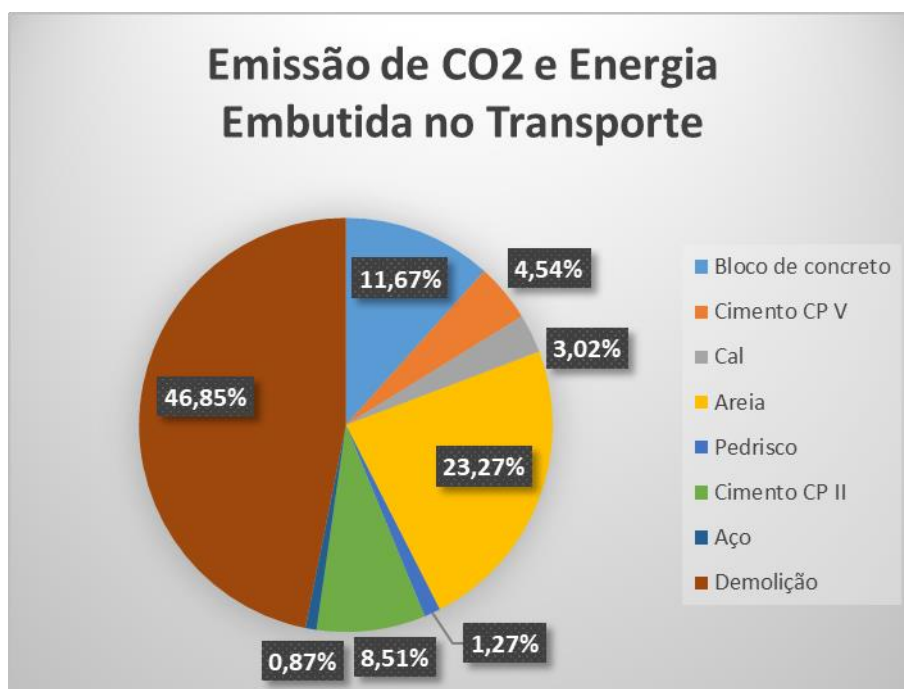
Figura 33 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

Entretanto, quando comparamos o consumo de água entre componentes e materiais, o que apresenta maior impacto é a argamassa de revestimento (44%), com considerável contribuição também da cal hidratada (19%). Se for levado em conta a água que foi consumida por todos os componentes de mistura, a soma totaliza 57% do consumo de água do sistema. No geral, o total de água consumida para produção dos insumos (bloco de concreto e cal) consome cerca de 30% da água do elemento parede sendo os materiais de maior consumo.

Figura 34 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Blocos de Concreto



Fonte: Autor

Na fase de transporte, o impacto de maior magnitude é da demolição do sistema (46%), seguido da areia (23%) e o bloco de concreto (12%). Por considerar o volume total de materiais para o transporte na demolição é compreensível ela apresentar essa grande parcela mesmo que sua distância seja consideravelmente menor que as demais.

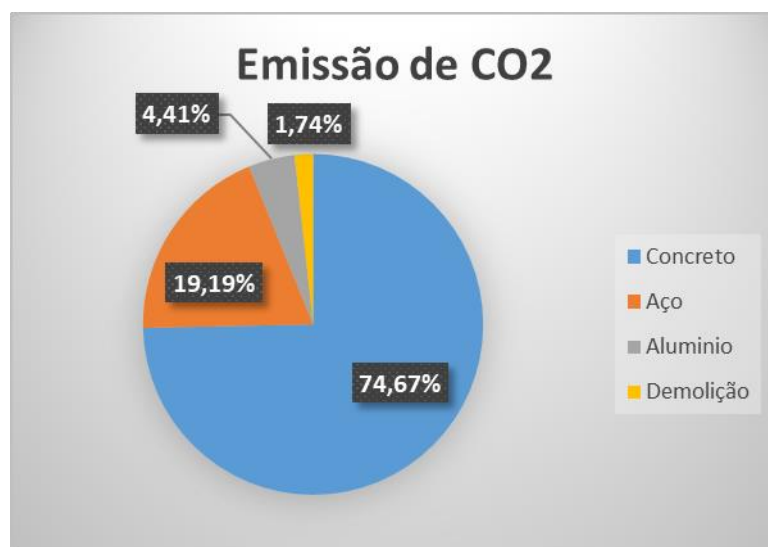
5.2.3 PAREDE DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO

Este tópico apresenta os resultados dos potenciais de impacto da edificação quando realizada com sistema estrutura de paredes de concreto moldada in loco, a análise foi realizada de duas formas, uma considerando o sistema sem revestimento e outra considerando com revestimento em gesso.

5.2.3.1 COMPONENTES - SEM REVESTIMENTO

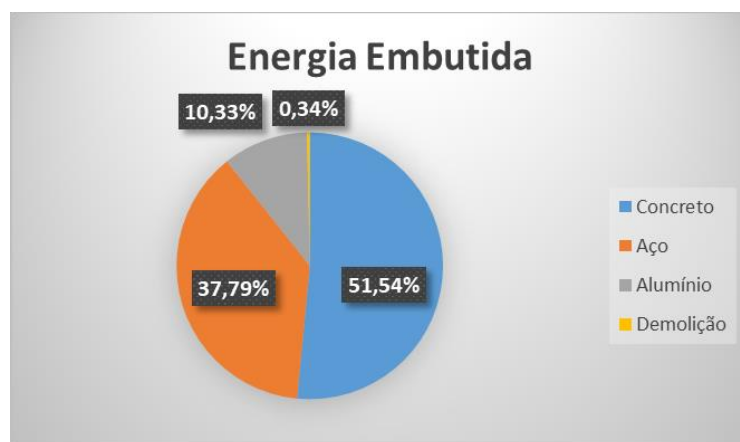
Analisando os potenciais de impacto de cada componente da construção podemos verificar os que apresentam os valores mais significantes em cada uma.

Figura 35 - Parcela de emissões de CO₂ de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento



Fonte: Autor

Figura 36 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento



Fonte: Autor

Na avaliação dos componentes que constituem o sistema foi possível observa que ainda sim o concreto apresenta o maior impacto tanto em emissão de CO₂ (74%) quando em energia embutida (51%), seguido do aço apresentando também valores consideráveis de emissão de CO₂ (19%) e energia embutida (37%).

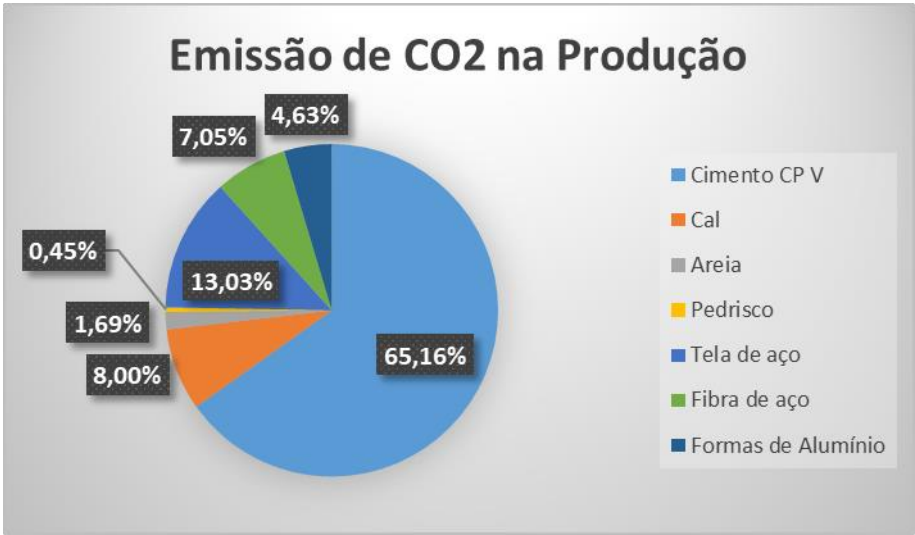
5.2.3.1.1 MATERIAIS

Figura 37 - Impacto das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento

Parede de Concreto moldada in loco	Produção		Transporte	
	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)
Cimento CP V	54.630	227.580	1.400	1.784
Cal	6.703	39.871	31	39
Areia	1.416	16.861	953	1.214
Pedrisco	376	6.654	390	497
Tela de aço	10.927	140.091	65	83
Fibra de aço	5.907	75.725	35	45
Formas de Alumínio	3.881	59.039	6	8
Arg. Gesso	69.115	77.888	684	872
Demolição	0	0	1.533	1.954

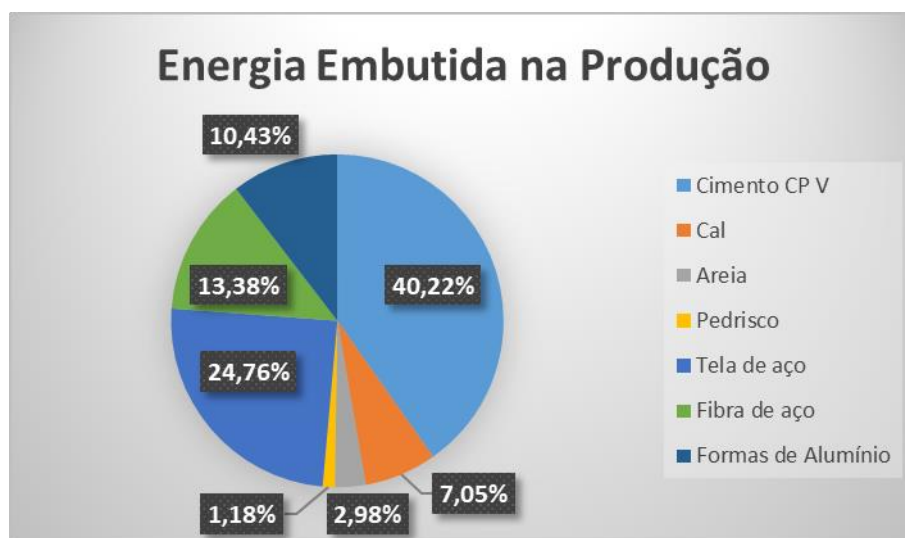
Fonte: Autor

Figura 38 - Emissão de CO₂ das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

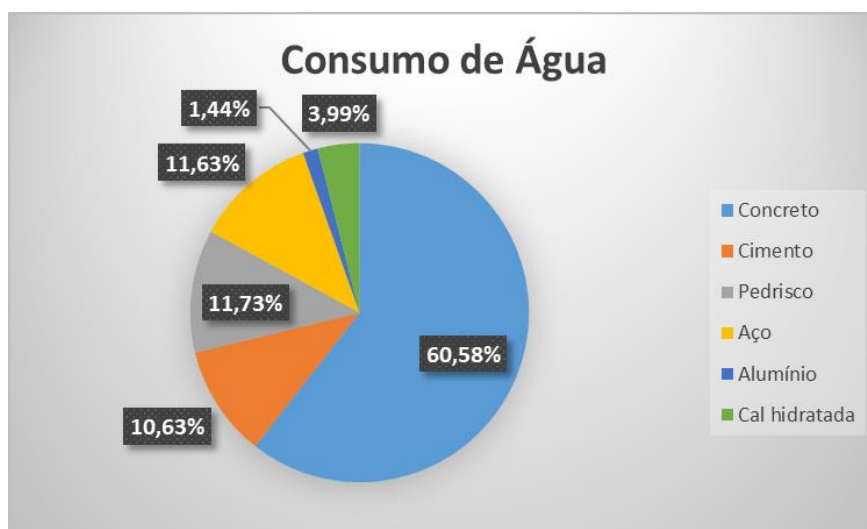
Figura 39 - Consumo de energia embutida das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

Na fase de produção, o material cimento CP V é o que tem maior impacto quanto a emissão de CO₂ (65%) e o consume de energia embutida (40%), outro material que teve impacto considerável foi a tela de aço em emissão de CO₂ (13%) e em energia embutida (24%). Isso é esperado uma vez que cimento representa o maior volume do concreto utilizado da estrutura do sistema.

Figura 40 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento

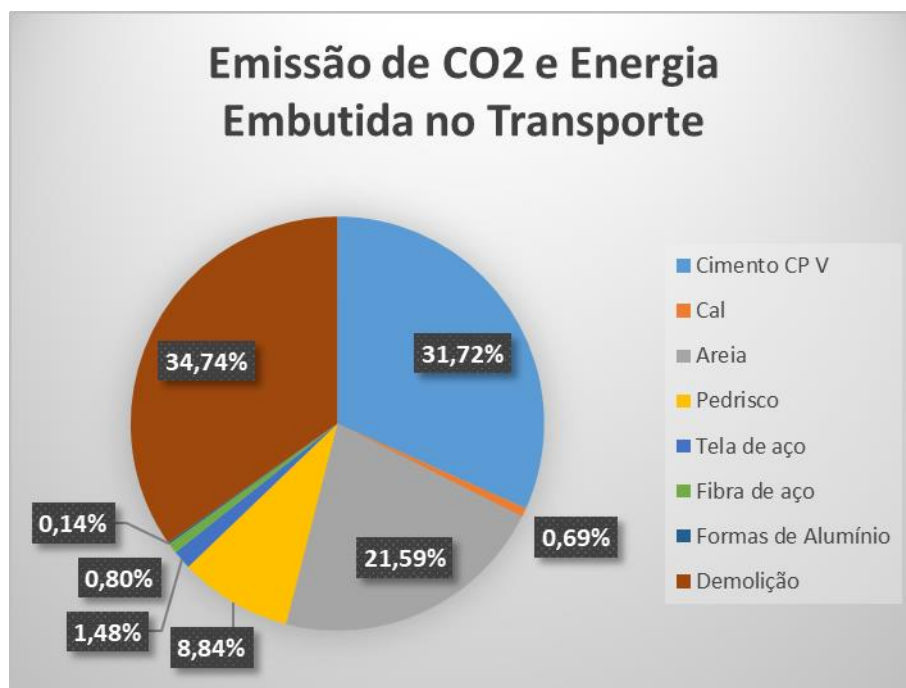


Fonte: Autor

Entretanto, quando comparamos o consumo de água entre componentes e materiais, o que apresenta maior impacto é o concreto (60%), com considerável

influência do aço (11%) e pedrisco (11%). No geral, o total de água consumida para produção dos insumos (pedrisco, aço e cimento) consome cerca de 33% da água do elemento parede sendo os materiais de maior consumo.

Figura 41 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Concreto moldado in loco sem revestimento



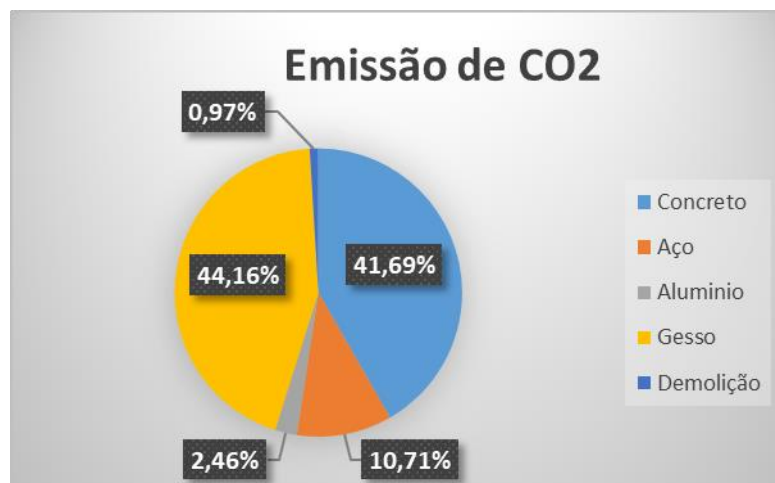
Fonte: Autor

Na parcela de transporte, o impacto de maior magnitude é da demolição do sistema (34%), seguido do cimento CP V (31%) e a areia (21%). Por considerar o volume total de materiais para o transporte na demolição é compreensível ela apresentar essa grande parcela mesmo que sua distância seja consideravelmente menor que as demais.

5.2.3.2 COMPONENTES - COM REVESTIMENTO DE GESSO

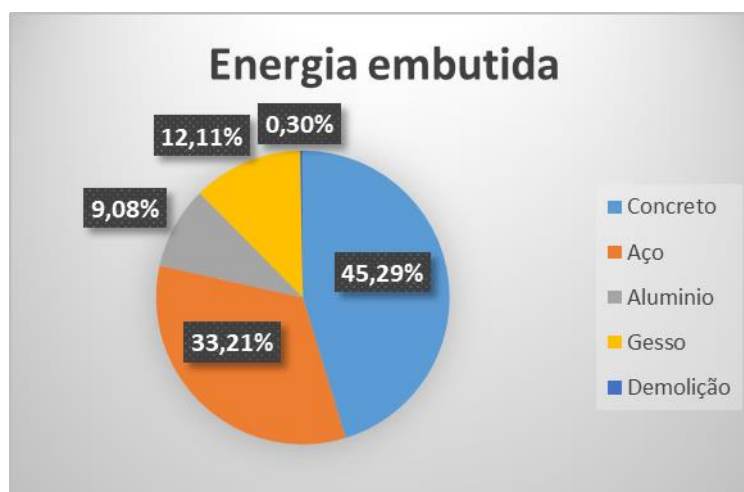
Analisando os potenciais de impacto de cada componente da construção podemos verificar os que apresentam os valores mais significantes em cada uma.

Figura 42 - Parcela de emissões de CO₂ de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

Figura 43 - Parcela de energia Embutida de cada etapa - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

Na avaliação dos componentes que constituem o sistema foi possível observar que a argamassa de gesso apresenta o maior impacto em emissão de CO₂ (44%) enquanto em energia embutida o concreto (45%) toma essa liderança seguido do aço (33%).

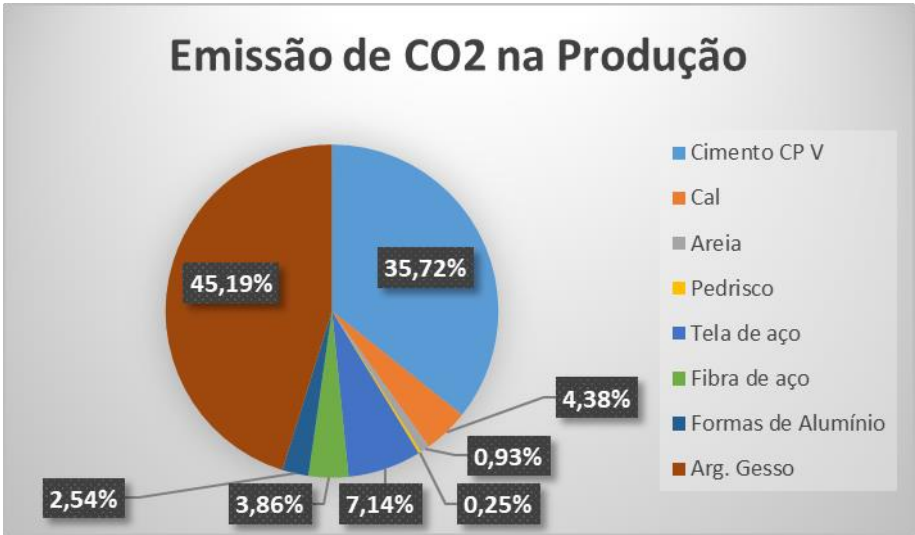
5.2.3.2.1 MATERIAIS

Figura 44 - Impacto das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento

Parede de Concreto moldada in loco	Produção		Transporte	
	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)	Emissão de CO2 (kgCO2)	Energia embutida (MJ)
Cimento CP V	54.630	227.580	1.400	1.784
Cal	6.703	39.871	31	39
Areia	1.416	16.861	953	1.214
Pedrisco	376	6.654	390	497
Tela de aço	10.927	140.091	65	83
Fibra de aço	5.907	75.725	35	45
Formas de Alumínio	3.881	59.039	6	8
Demolição	0	0	1.533	1.954

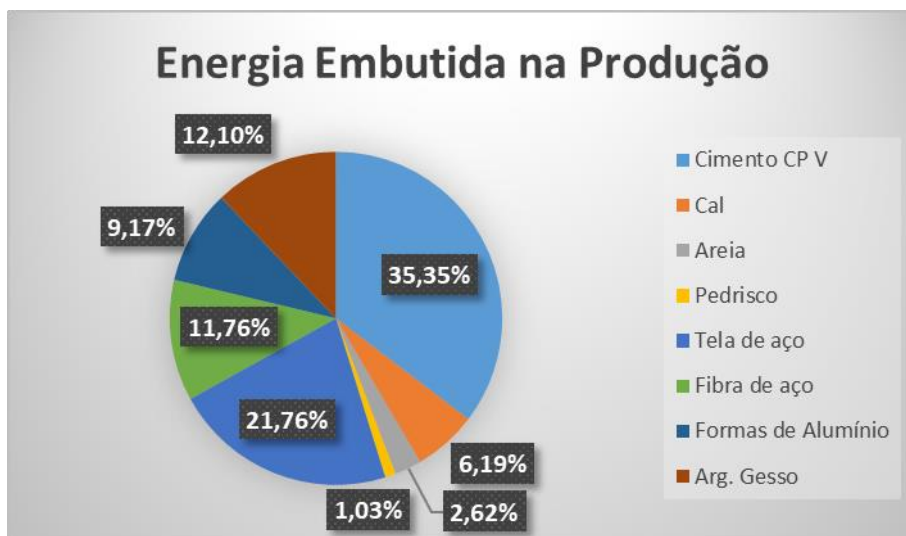
Fonte: Autor

Figura 45 - Emissão de CO₂ das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

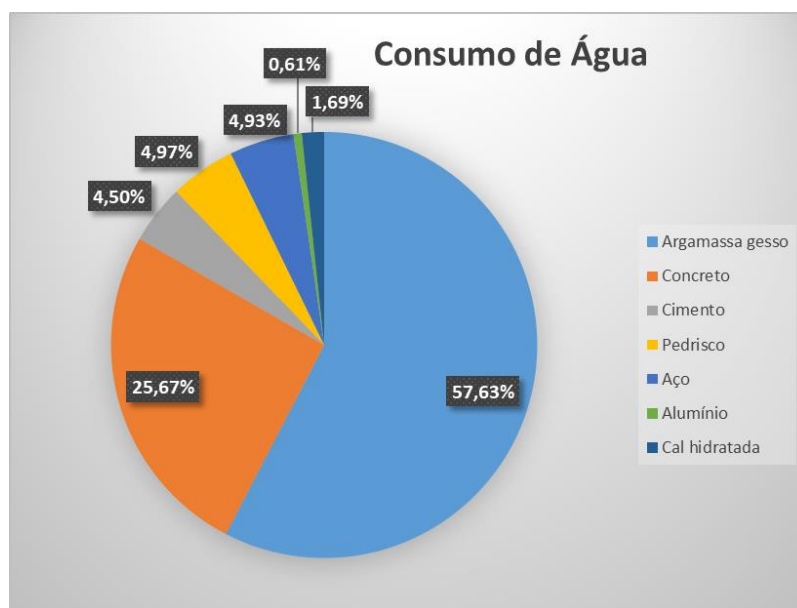
Figura 46 - Consumo de energia embutida das matérias primas - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

Na fase de produção, o material gesso é o que tem maior impacto quanto a emissão de CO₂ (45%) seguido do cimento CP V. Já com relação ao consumo de energia embutida o cimento CP V quem apresenta o maior impacto (35%), outro material que teve impacto considerável foi a tela de aço (21%). Isso é esperado uma vez que cimento e o gesso representam o maior volume dentro do sistema.

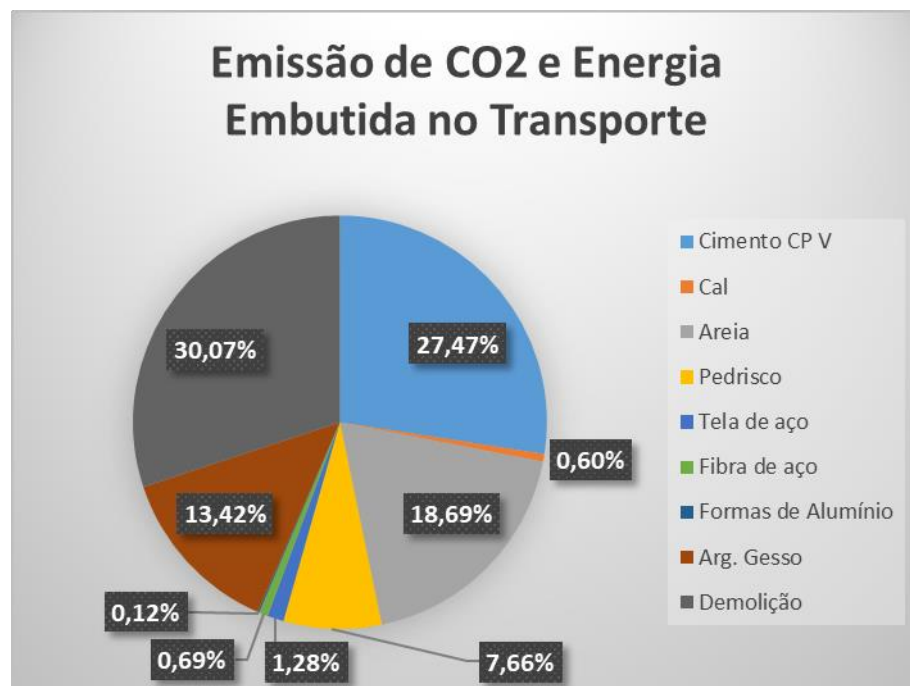
Figura 47 - Parcela de consumo de Água - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

Entretanto, quando comparamos o consumo de água entre componentes e materiais, o que apresenta maior impacto é a argamassa de gesso (57%), com considerável influência do concreto (25%). No geral, o total de água consumida para produção dos insumos (pedrisco, aço e cimento) consome nem cerca de 15% da água do elemento parede mesmo sendo os materiais de maior consumo.

Figura 48 - Parcela de impacto do transporte de cada componente - Paredes de Concreto moldado in loco com revestimento



Fonte: Autor

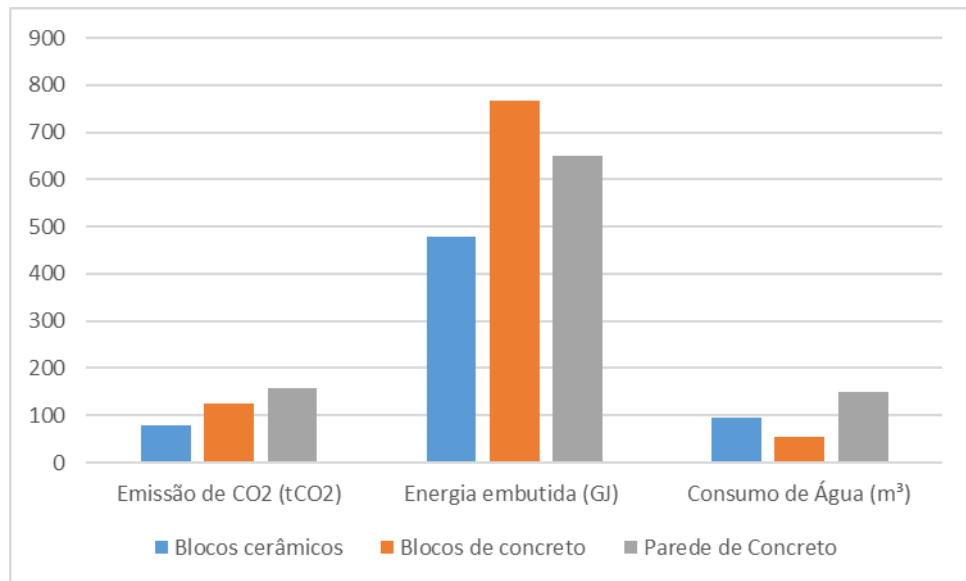
Na fase de transporte, o impacto de maior magnitude é da demolição do sistema (30%), seguido do cimento CP V (27%) e a areia (18%). Por considerar o volume total de materiais para o transporte na demolição é compreensível ela apresentar essa grande parcela mesmo que sua distância seja consideravelmente menor que as demais.

5.2.4 COMPARAÇÃO ENTRE POTENCIAIS DE IMPACTO TOTAIS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Neste item é feito um comparativo do total de impacto entre cada sistema. São avaliados a emissão de CO₂, a energia total embutida e o consumo total de água.

5.2.4.1 Comparação entre sistemas construtivos (Parede de concreto moldado in loco com revestimento)

Olhando individualmente o impacto total de cada sistema podemos compará-los entre si para ver qual tem o maior impacto em cada categoria analisada. Para esta análise foi utilizado os dados com revestimento do sistema de paredes de concreto moldada in loco



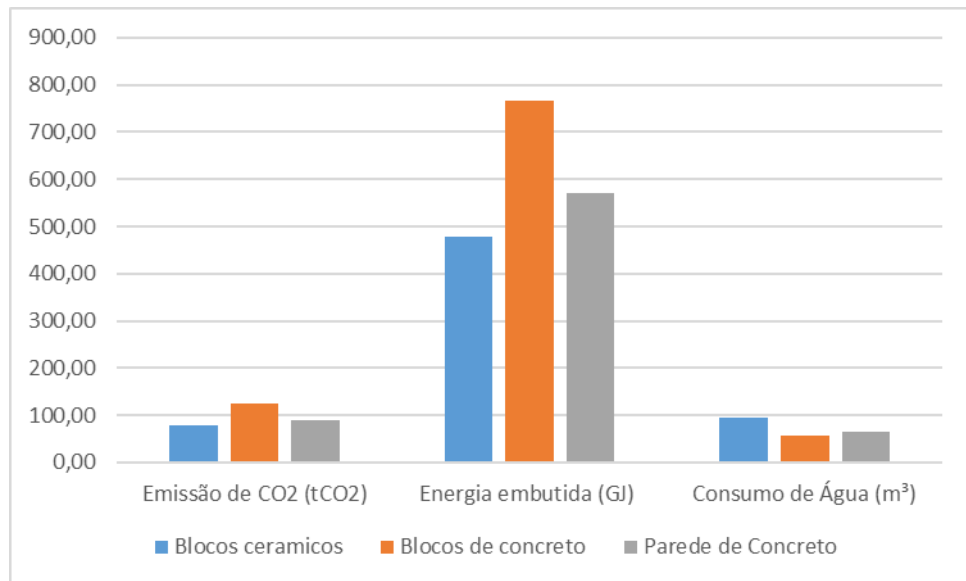
Com relação a emissão de CO₂ o sistema que apresenta o maior potencial de impacto é o da parede de concreto armado moldada in loco com cerca de 158 t CO₂, seguido da parede de blocos de concreto com 125 t CO₂ e a parede de bloco de cerâmico com 80 t CO₂.

Com relação ao consumo de energia embutida o sistema que apresenta o maior potencial de impacto é a parede de bloco de concreto com cerca de 766 GJ, seguido da parede de concreto moldado in loco com 650 GJ e pôr fim a parede de bloco cerâmico com 479 t CO₂.

Com relação ao consumo de água o sistema que apresenta o maior impacto é o da parede de concreto armado moldada in loco com cerca de 150 m³, seguido da parede de bloco cerâmico com 94 m³ e a parede de bloco de concreto com 55 m³.

5.2.4.2 Comparação entre sistemas construtivos (Parede de concreto moldado in loco sem revestimento)

Olhando individualmente o impacto total de cada sistema podemos compará-los entre si para ver qual tem o maior impacto em cada categoria analisada. Para esta análise foi utilizado os dados sem revestimento do sistema de paredes de concreto moldada in loco



Com a retirada do revestimento os resultados apresentam alterações significantes.

Com relação a emissão de CO₂ o sistema que apresenta o maior potencial de impacto é o da alvenaria de bloco de concreto com cerca de 125 t CO₂, seguido da parede de concreto moldado in loco com 88 t CO₂ e a parede de bloco de cerâmico com 79 t CO₂.

Com relação ao consumo de energia embutida o sistema que apresenta o maior potencial de impacto é a parede de bloco de concreto com cerca de 766 GJ, seguido da parede de concreto moldado in loco com 571 GJ e pôr fim a parede de bloco cerâmico com 479 t CO₂.

Com relação ao consumo de água o sistema que apresenta o maior potencial de impacto é o da parede de bloco cerâmico com 94 m³, seguido da parede de concreto armado moldada in loco com cerca de 63 m³ e a parede de bloco de concreto com 55 m³.

6. CONCLUSÃO

Foi possível verificar que o sistema de alv. Estrutural em blocos cerâmicos foi o que apresentou os menores potenciais de impacto em todas as categorias avaliadas, porém apresenta os maiores potenciais de impacto quando avaliado apenas a parcela de transporte

Também foi possível observar que os matérias e componentes com potencial de impacto mais significativo em cada sistema foram:

- B. Cerâmicos: cimento CP II, cal hidratada e blocos cerâmicos
- B. de Concreto: cal hidratada, blocos de concreto e argamassa de revestimento
- Parede de Concreto: cimento CP V, aço e gesso

Com os dados levantados é plausível acreditar que o potencial de uma análise simplificada como a realizada neste trabalho e seus resultados são relevantes e coerentes como os encontrados em análises mais detalhadas e extensas

A disseminação e maior aplicação deste tipo avaliação se mostra essencial para nortear possíveis ações quem tenham como objetivo diminuir os impactos gerados na indústria da construção.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Coletânea de ativos: parede de concreto, 2009/2010. Disponível em :<
<https://abcp.org.br/download/coletanea-de-ativos-em-paredes-deconcreto-2009-2010/>>. Acessado em: 30 de novembro de 2023.

ABIKO, A. K. Introdução à gestão habitacional. 1.ed. São Paulo: EPUSP,1995.

ABNT. ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípio e estrutura. p. 1–21, 2009.

ACV BRASIL, <https://acvbrasil.com.br/> , acessado dia 19/09/2024

ALVES, M. S. Análise de custo em obras de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto na cidade de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo SP, 2008.

ANDERY, P. R. P. ; VIEIRA, M. P. C. Dificuldades e Estratégias para Sustentação dos Programas de Garantia da Qualidade na Construção Civil Brasileira. In: Simposio Iberoamericano sobre Calidad y Competitividad en las Construcciones, Cuba, 2002.

ANDERY, P. R. P. Introdução à Gestão da Qualidade. Notas de aula, 2008. 54p. Disponível em <http://www.demc.ufmg.br/gestao/Qualidade%2001.pdf>

Anicer, (2012). Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. Rio de Janeiro, Brasil.

ANTUNES, B. Alvenaria Estrutural - Debate Técnico. Revista Construção Mercado, São Paulo: Pini, n 41, dezembro 2014. Não paginado

ARAÚJO, M. R. M. Exclusão Social e Responsabilidade Social Empresarial Psicologia em Estudo. Maringá, v. 11, n. 2, p. 417-426, Mai/Ago 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Parede de concreto: coletânea de ativos 2007/2008. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Parede de concreto: coletânea de ativos 2009/2010. São Paulo, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Parede de concreto: coletânea de ativos 2011/2013. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014

BAJAY, Sérgio Valdir; SANT'ANA, Paulo Henrique De Mello. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria. Relatório setorial cal e gesso.** [s.l.: s.n.], 2010.

BRANDÃO, D. Q. O Conceito de Adaptabilidade na Habitação de Interesse Social: da carência de espaço às tendências atuais utilizando espaços multiuso. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE HABITAÇÃO SOCIAL, 2003, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2003. 1 CD-RO

BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. Formas de aplicação da flexibilidade arquitetônica em projetos de edifícios residenciais multifamiliares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC,

BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **BRE Environmental & Sustainability Standard.** 2008, 327p

BUENO, E. L., SERPA, P. T., SENA, R. B., OLIVEIRA, R. J. B. & SOEIRO, S. A responsabilidade social e o papel da comunicação. Responsabilidade social das empresas: a contribuição das universidades. São Paulo/Petrópolis: Instituto Ethos, p.273-302, 2002.

CAIXA, <https://www.caixa.gov.br/Paginas/home-caixa.aspx>, acessado dia 19/09/2024

CALDAS, L. R. et al. Sustentabilidade na Construção Civil: Sustentabilidade em Debate, v. 7, n. 2, p. 238–256, 2016.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO₂ referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. Ambiente Construído, v. 17, n. 4, p. 91–108, 2017.

CAMACHO, J. S. Projeto de edifício de alvenaria estrutural, Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural, Universidade Estadual Paulista "Julio Mesquita Filho", Ilha Solteira, SP, 2006.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. DA S. Uma Revisão De Literatura Sobre Softwares Utilizados Em Estudos De Avaliação Do Ciclo De Vida. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 735–750, 2015.

CARDOSO, F. F. Certificação de Empreendimento Comercial de Elevado Desempenho Ambiental. São Paulo, PCC-USP/CSTB, Abr. 2003.

CDHU, <https://cdhu.sp.gov.br/web/quest/>, acessado em 19/09/2024.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION - United Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre UNEP-IETC Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document Boutek Report No Bou/E0204, Pretória, CIB/UNEP-IETC. 2002.

COELHO, S. B. ; NOVAES, C. C. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: VIII Workshop Brasileiro - Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008.

CONDEIXA, K.; HADDAD, A.; BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil. Construction and Building Materials, v. 70, p. 141–147, 2014.

CUNHA, E. M. P.; ARRUDA, A. M. V. de; MEDEIROS, Y. Experiências em habitações de interesse social no Brasil. 1. ed. Brasília: MC, 2007.

CUNHA, Iasmily Borba da. Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais**, p. 136, 2016.

CUSTODIO, A. L. M.; MOYA, R. Indicadores Ethos De Responsabilidade Social Empresarial 2007 São Paulo: Instituto Ethos, 2007, 82p.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. California Management Review v. 36, no. 2, p. 90-100, 1994

EPA. United State Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. EPA/600/R-92/245, US. , 1993.

FABRICIO, M. M. ; MELHADO, S. B. Projeto Simultâneo e a Qualidade na Construção de Edifícios. In: Seminário Internacional de Arquitetura e Urbanismo - NUTAU, 1998, São Paulo, SP. Tecnologias para o Século XXI, 1998.

FABRICIO, M. M. Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

FABRICIO, M. M. Qualidade na construção e gestão da qualidade no processo de projetos de edifícios. São Carlos, 2004.

FABRICIO, M. M. *Qualidade na construção e gestão da qualidade no processo de projetos de edifícios*. São Carlos, 2004.

FALCÃO, C. M. B. DE B. et al. Análise da qualidade do investimento e emissões de CO₂ associadas à produção de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. Não publicado

FÉLIX, L. F. F. O Ciclo Virtuoso do Desenvolvimento Responsável. Responsabilidade Social das Empresas: A Contribuição das Universidades. São Paulo/Petrópolis: Instituto Ethos, v. 2, p.13-42, 2003

FERNÁNDEZ-ARRESTO, F. Idéias que mudaram o mundo. São Paulo: Editora Arx, 2004.

FREIRE, A. S. Indicadores de projeto para edifícios em alvenaria estrutural (Dissertação). PPGE Civ – UFSCar, p. 154, 2007.

GAUZIN-MULLER, D. **Arquitectura Ecológica**. Barcelona: Gustavo Gilli, 2002. 286 p.

GELOWITZ, M. D. C.; MCARTHUR, J. J. Comparison of type III environmental product declarations for construction products: Material sourcing and harmonization evaluation. *Journal of Cleaner Production*, v. 157, p. 125–133, 2017.

Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. [s.l.: s.n.], 2024.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Ministerie van Volkshuisvesting. (Report, 1).

GONZÁLEZ MAHECHA, R. E. et al. Constructive systems for social housing deployment in developing countries: A case study using dynamic life cycle carbon assessment and cost analysis in Brazil. *Energy and Buildings*, v. 227, 2020.

GOULART, S. V. G. Levantamento da experiência internacional: experiência nos Estados Unidos. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 65p.

Grünberg, P. R. M., Medeiros, M. H. F., & Tavares, S. Fernando. (2014). Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed for homes, processo aqua e selo casa azul. *Ambiente & Sociedade*, 17, 195-214.

Guinée, J. B. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: operational guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers

IMPACT World+. What is IMPACT World+?. (2012). Recuperado em 27 de junho de 2013, de <http://www.impactworldplus.org/en/presentation.Php>

INMETRO, <https://www.gov.br/inmetro/pt-br>, acessado dia 19/09/2024

JACOBS, J. Morte e vida de grandes cidades. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

JOHN, V.M., ANGULO, S. C., ZORDAN, S. E., **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**, São Paulo, 2005.

JOHN, Vanderley M.; PUNHAGUI, Katia R. Garcia; CINCOTTO, Maria Alba. Low Carbon Economy: Assessment of Impacts of Restrictions and Technological Perspectives - Lime Production - Final Report. **Ebc**, p. 17, 2014.

Joint Research Centre – JRC. (2010). Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment: background document. (ILCD Handbook).

Joliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6), 324- 330. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02978505>

LARCHER, J. V. M. Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse social. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LEMO, C. *Inovação na era do conhecimento*. In: Informação e globalização na era do conhecimento. Rio de Janeiro: Campus, 1999. p. 122-144

LIPPIATT, B. C. Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide National Institute of Standards and Technology, 2007.

MARROQUIM, F. M. G.; BARBIRATO, G. M. Flexibilidade espacial em projetos de habitações de interesse social. Artigo sobre dissertação (mestrado de Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, [S.I.], 2007.

Mateus, M. (2008). Eficiência energética pela reabilitação de edifícios. Apresentação da Edimetal/Grupo Edifer.

Mateus, R. (2004). Novas Tecnologias Construtivas Com Vista à Sustentabilidade da Construção. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.

MEBRATU, D. Sustainability And Sustainable Development: Historical And Conceptual Review. **Environmental Impact Assessment Review**. v. 18, p. 493-520, 1998.

MELHADO, S. B. O plano da qualidade dos empreendimentos e a engenharia simultânea na construção de edifícios. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Rio de Janeiro, 1999

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Life Cycle Impact Assessment: A review of the main methods. *Producao*, v. 26, n. 1, p. 160–175, 2015.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Life Cycle Impact Assessment: A review of the main methods. *Producao*, v. 26, n. 1, p. 160–175, 2015.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Life Cycle Impact Assessment: A review of the main methods. *Producao*, v. 26, n. 1, p. 160–175, 2015.

Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. (2000). Eco-indicator 99 manual for designers: a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment.

MISURELLI, H., MASSUDA, C. Como construir Paredes de Concreto. *Revista TÉCNICA*, Edição 147. Jun. 2009. Disponível em :< <https://docplayer.com.br/1653308-Como-construir-paredes-de-concreto.html>>. Acessado em: 30 de novembro de 2023.

MORAIS, A. J. Alvenaria estrutural: novo processo construtivo. *Artitextos*. Lisboa, p.101-111, set 2006.

MOTTA, S. R. F. ; AGUILAR, M. T. P. The Dialectic Creative Process for a Sustainable in the Constructed Environment. In: 2008 World Sustainable Building Conference - SB08, 2008, Melbourne. *Proceedings of the 2008 World Sustainable Building Conference - SB08*, v. 2. p. 2640-2643, 2008.

MOTTA, S. R. F. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CRÍTICA, SÍNTESE, MODELO DE POLÍTICA E GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2009.

OLIVEIRA, LIDIANE SANTANA. Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação. p. 156, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-13072016-152611/en.php>

OLIVEIRA, V. C. H. C. Estratégias para minimização da emissão de CO₂ de concretos estruturais. Mestrado em Engenharia Civil. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “mY HOUSE MY LIFE”. *Energy and Buildings*, v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2013.

PBE, <https://www.pbeedifica.com.br/>, acessado dia 19/09/2024

PEREIRA, P. I. Construção Sustentável: o desafio. [s.l.] Universidade Fernando Pessoa, 2009.

PEREIRA, P. I. Construção Sustentável : o desafio. Porto, 2009.

PERES, G. H. C. PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS DA PAREDE DE CONCRETO ARMADO, EM UMA OBRA VERTICAL – ESTUDO DE CASO. Goiânia: PUC Goiás, p. 1–12, 2020.

PERES, G. H. C. PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS DA PAREDE DE CONCRETO ARMADO, EM UMA OBRA VERTICAL – ESTUDO DE CASO. Goiânia: PUC Goiás, p. 1–12, 2020.

PETENO, E. A.; CAPELIN, L. J.; TRENTINI, L. D. a Importância Das Disposições Técnicas E Diretrizes Para Projetos De Habitações De Interesse Social (His) Saudáveis. *Akrópolis - Revista de Ciências Humanas da UNIPAR*, v. 28, n. 2, p. 233–242, 2020.

Pinheiro, M. (2006). Ambiente e construção sustentável. Instituto do Ambiente. Amadora.

POWELL, K. La ville de demain . China: Seuil, 2000.

PRE - PRODUCT ECOLOGY CONSULTANTS SimaPro 6 - Introducción a LCA con SimaPro V. 3, Set. 2004. 81 p.

RAMALHO, M. A.; CORREA, M. R. S. Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural. Ed. Pini, 2003.

ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. Avaliação pós-ocupacional métodos e técnicas aplicados à habitação social. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

SAADE, M. R. M. et al. Material eco-efficiency indicators for brazilian buildings. *Smart and Sustainable Built Environment*, v. 3, n. 1, p. 54–71, 2014.

SAMPAIO, M. B. Fissuras em Edifícios Residenciais em Alvenaria Estrutural. Dissertação de Mestrados, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, v. 39, n. 3, p. 249–257, 2007.

Schryver, A. M., Brakkee, K. W., Goedkoop, M. J., & Huijbregts, A. J. (2009). Characterization factors for global warming in life cycle assessment based on damages to humans and ecosystems. *Environmental Science and Technology*, 43(6), 1689-1695. [http:// dx.doi.org/10.1065/lca2005.12.242](http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.12.242)

SILVA, V. G. Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SINDIPEDRAS (2024) - Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo disponível em: <http://www.sindipedras.org.br/site/index.php>. Acesso em 19/09/2024.

SINGH, A. et al. Review of Life-Cycle Assessment Applications in Building Construction. *Journal of Architectural Engineering*, v. 17, n. 1, p. 15–23, 2011.

SOUZA, F.R. ; MELHADO, S.B. A importância do sistema de informação para a gestão das empresas de projeto. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 3, p. 121-199, 2008.

SOUZA, M. P. R. DE. Avaliação das emissões de CO₂ antrópico associadas ao processo de produção do concreto, durante a construção de um edifício comercial, na Região Metropolitana de São Paulo. Mestrado em Tecnologia Ambiental. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2012.

SPHERA, <https://sphaera.com/solutions/product-stewardship/life-cycle-assessment-software-and-data/>, acessado dia 19/09/2024

SURGELAS, V.; MARQUES, G. F.; RODRIGUES, C. DE S. Inventário do ciclo de vida dos processos de produção do bloco de resíduos de construção e demolição (RCD) e bloco cerâmico. Educação & Tecnologia, v. 14, n. 2, 2009.

SZABÓ, L. A arquitetura no caminho da sustentabilidade. Iniciativa Solvin, São Paulo, 2005.

SZABÓ, L. **A arquitetura no caminho da sustentabilidade**. Iniciativa Solvin, São Paulo, 2005.

TALLY, <https://choosetally.com>, acessado dia 19/09/2024

TAVARES, S. F. (UFSC). Metodologia De Análise Do Ciclo De Vida Energético De Edificações Residenciais Brasileiras. p. 225, 2006.

TAVARES, S.F.; BRAGANÇA, L. Índices de CO₂ para materiais de construção em edificações brasileiras. **SBE16 Brazil & Portugal**, p. 10, 2016. Disponível em: <https://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol_2-Pag_927.pdf>.

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. Streamlined Life-Cycle Assessment: A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup. Environmental Toxicology, n. July, p. 31, 1999.

UGAYA, C. M. L. Teaching LCA in a Mechanical Engineering Course in Brazil. In: Engineering Education in Sustainable Development 2008 Conference, 2008, Graz

UNEP, <http://www.unep.org/>, acessado dia 19/09/2024

UNITED NATIONS, <http://www.un.org/>, acessado dia 19/09/2024

UNITED NATIONS. Earth Summit Agenda 21 United Nation Conference on Environment and Development – UNCED. Rio de Janeiro. Jun.1992 (versão em português: Agenda 21: Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro. Brasília: Senado Federal, 1997, 598p.

USGBC - UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL Introduction to the LEED 2009 Credit Weighting Tool. 2008a. 8p.

USGBC - UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL **Introduction to the LEED 2009 Credit Weighting Tool**. 2008a. 8p.

USGBC - UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL **LEED 2009 Credit Weighting**. Mai. 2008b. 10p.

USGBC - UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL **LEED 2009 Weightings Background**. Mai. 2008c. 5p.

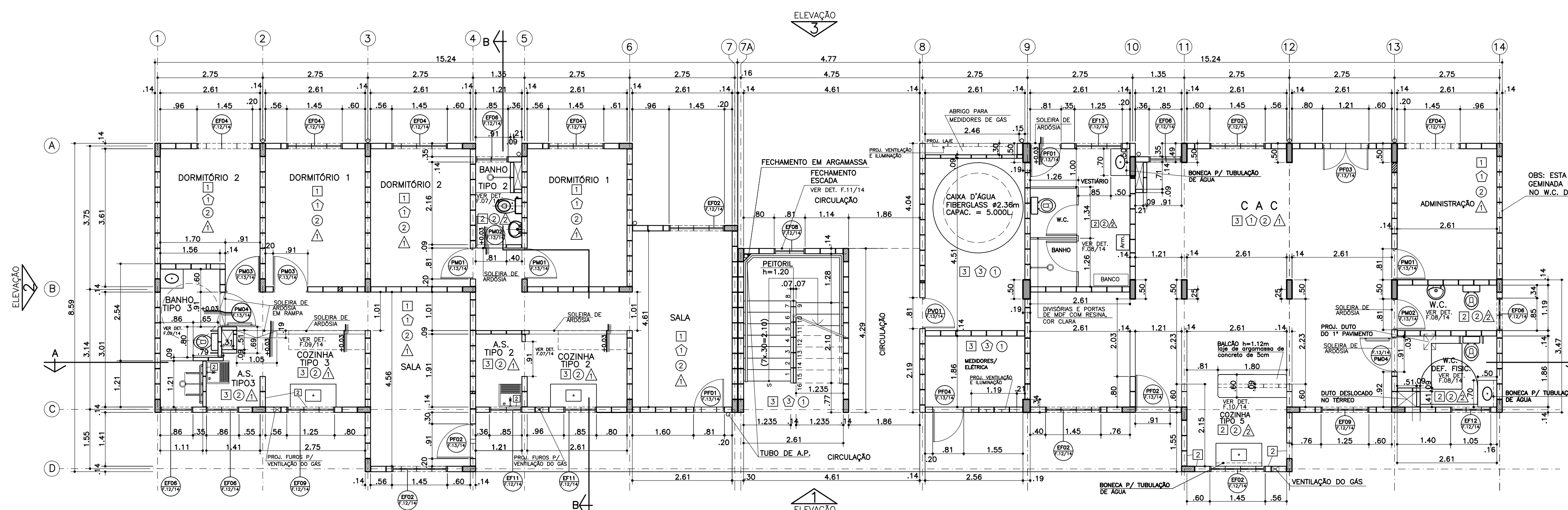
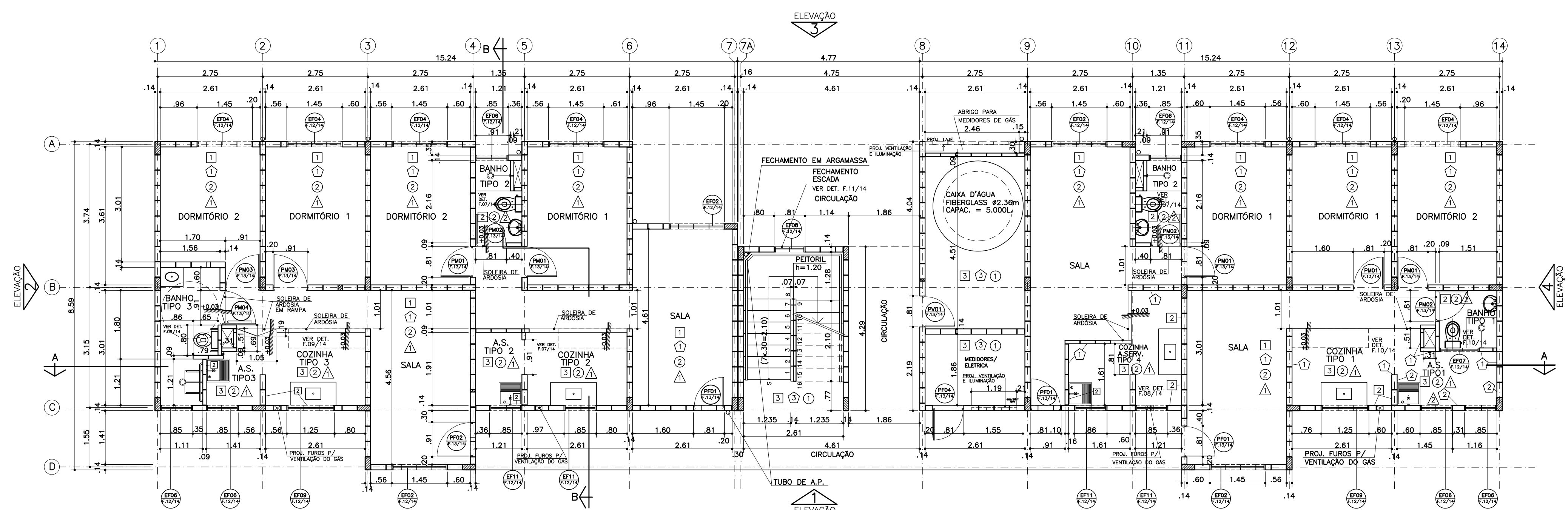
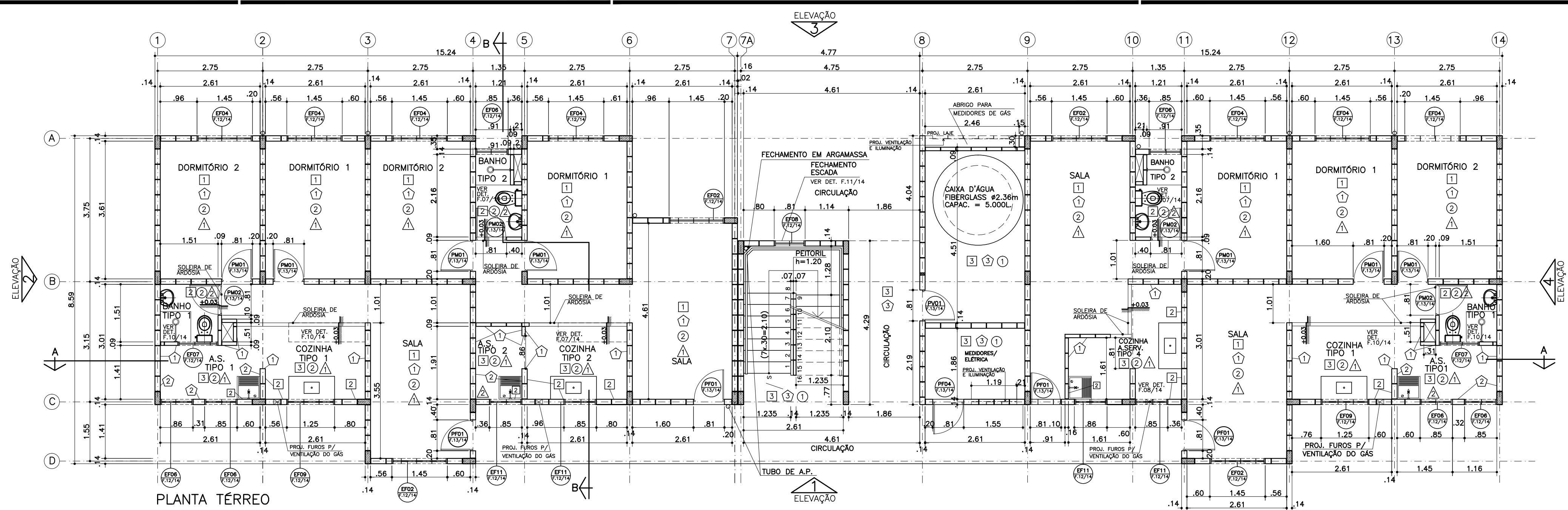
USGBC – UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL **LEED Green Building Rating System for New Constructions & Major Renovations (LEED – NC). Versão 2.2**. Oct. 2005. 78p

USGBC, <https://www.usgbc.org> , acessado dia 19/09/2024

VINHAL, L. D. Estudo De Indicadores Ambientais De Blocos Cerâmicos Com Base Em Avaliação Do Ciclo De Vida, Considerando O Contexto Brasileiro. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos2016.

ZABALZA BRIBIÁN, I.; ARANDA USÓN, A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. Building and Environment, v. 44, n. 12, p. 2510–2520, 2009.

ANEXOS



OBSERVAÇÕES:

- 1 - HAVERÁ RODAPÉ EM TODOS OS AMBIENTES, EXCETO ONDE HOUVER AZULEJO DO PISO AO TETO.
- 2 - REVESTIMENTO EXTERNO: SERÁ APLICADA ARGAMASSA DE CIMENTO, CAL E AREIA PENEIRADA (SOBRE CHAPISCO 1:3) NO TRAÇO 1:2:9. ESPESURA DE 20 A 25mm (DESEMPENHO COM DESEMPENHADA DE MADEIRA), PINTADA COM LATEX ACRÍLICO EM DUAS DEMAS SOBRE SELADOR ACRÍLICO.
- 3 - AS DIMENSÕES ENTRE AS ALVENARIAS ESTÃO COTADAS DESCONSIDERANDO REVESTIMENTO.
- 4 - VERIFICAR PROJETO ESTRUTURAL.
- 5 - VERIFICAR MEDIDAS NA OBRA.
- 6 - POSICIONAR A CX. D'ÁGUA ANTES DA EXECUÇÃO DA PAREDE EXTERNA DO EIXO A COM EIXOS B E 9.

BLOCOS DIMINUIDOS EM 4cm.

QUADRO DE ACABAMENTO

PAREDE (revestimento)

- 1 - REVESTIMENTO INTERNO EM GESSO, ESPESURA MÍNIMA DE 5mm, EM TODOS PAVIMENTOS, EXCETO NO PAV. TERREO, QUE TERÁ REVESTIMENTO EM MASSA CORRIDA.
- 2 - PAREDES REVESTIDAS COM AZULEJOS.
- 3 - REVESTIMENTO DE ARGAMASSA DE CIMENTO, CAL E AREIA PENEIRADA (SOBRE CHAPISCO 1:3) NO TRAÇO 1:2:9. ESPESURA DE 15 mm.

PAREDE (pintura)

- 1 - PINTURA LATEX PVA.
- 2 - PINTURA ESMALTE.
- 3 - PINTURA LATEX ACRÍLICO.

PISO

- 1 - CONCRETO APARENTE, NIVELADO COM RÉGUA VIBRATÓRIA.
- 2 - PISO CERÂMICO 30x30cm ASSENTE SOBRE CAMADA DE REGULARIZAÇÃO DE CIMENTO, CAL E AREIA, TRAÇO 1:0,5:5.

FORRO

- 1 - LAJE EM CONCRETO APARENTE, LIXADA E PINTADA COM LATEX EM DUAS DEMAS SOBRE LÍQUIDO SELADOR.
- 2 - FORRO DE GESSO.

(No banheiro pintura esmalte)

(No área de serviço pintura PVA)

FONTE / DADOS DE BASE

VO52D-03 - UNIDADE HABITACIONAL PADRÃO

CLÁUDIA VENTURA ARQUITETOS ASSOCIADOS S/C

AUTORES DO PROJETO / COLABORADORES

CDHU - Gestão

Arq. Paulo E. B. Pignatelli

Coordenação de Projetos

Arq. Paulo E. B. Pignatelli

Autor de Projetos

ADEQUAÇÃO DO PROJETO

SISTEMA PRI

Arq. Marcelo Lopes Mauro

Responsável Técnico

Arq. Marcelo Rocha

Coordenador do Projeto

DRVAL COMBRA FIGUEIRO

PROJETISTA SENIOR

GERENCIAMENTO

Consórcio Maubertec Engenharia Gerente - Gerenciamento

Eng. José Marcos Figliolini

Coordenação

Arq. Angela Moreno

Coordenação

Arq. Maria Laura Fagoga Zai

Análise

CAU

LEGENDA/TABELAS

NOTAS:

TODOS OS CAIXILHOS DEVERÃO SER FIXADOS C/ PARAFUSOS DE AÇO ZINCOADO E BUCHAS DE NYLON.

PARA EXECUÇÃO DOS VÃOS PADRONIZADOS, DEVERÃO SER OBSERVADOS OS SEGUINTES PROCEDIMENTOS:

- 1 - GABARITAR PREVIAMENTE TODOS OS VÃOS DA ALVENARIA.
- 2 - OS CORTES DE CANALIZAS(PETORIL) E BLOCOS DAS OMBREIRAS DEVERÃO SER PREVIAMENTE CORTADOS NO CANTO DA OBRA ANTES DO ASSENTAMENTO.
- 3 - PARA EXECUÇÃO DE ACABAMENTO DOS VÃOS C/ ARGAMASSA UTILIZAR GABARITOS C/ ESPESURAS E TOLERÂNCIA INDICADAS NO PROJETO.
- 4 - INSTALAR PETORIL C/ CIMENTO INDICADO E EXECUTAR OS ARREMATES APÓS AS REGULARIZAÇÕES DAS OMBREIRAS LATERAIS E VERGA SUPERIOR.
- 5 - PROTEGER O PETORIL C/ PLÁSTICO DURANTE A FASE DE PINTURA DAS FACHADAS. OS VÃOS TAMBÉM DEVERÃO RECEBER O MESMO TIPO DE PINTURA (LATEX ACRÍLICO) NO MÍNIMO 3 DEMAS.
- 6 - OS CAIXILHOS DEVERÃO SER FIXADOS CONFORME INDICAÇÕES DO FABRICANTE, SALVO CONTRÁRIO, SEGUIR AS ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO.
- 7 - AJUSTAR A FIXAÇÃO DAS JANELAS DE MODO QUE AS FOLHAS FIQUEM IGUALMENTE DISTRIBUÍDAS E O TORQUE NOS PARAFUSOS SEJA DA MESMA INTENSIDADE.
- 8 - PARA O ARMAZENAMENTO DOS CAIXILHOS NA OBRA SEGUIR AS INSTRUÇÕES DOS FABRICANTES.
- 9 - PARA OS VÃOS DOS CAIXILHOS, NÃO SERÃO ADMITIDOS VARIÁVEIS DE MEDIDAS NA LARGURA E ALTURA, MAIORES QUE 3mm.
- 10 - NAS REGIÕES LITORÂNEAS, PODERÃO SER CAIXILHOS EM PVC, MANTENDO-SE AS MESMAS DIMENSÕES E DETALHES ESPECIFICADOS NESSE PROJETO GARANTINDO O O MESMO DESEMPENHO.
- 11 - OS CAIXILHOS PODERÃO SER EM ALUMÍNIO OU AÇO GALVANIZADO COM PINTURA ELETROSTÁTICA.
- 12 - CONFIRMAR MEDIDAS NA OBRA.

Revisões (discriminação)	Nº	Data	Assinatura

Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano

CDHU

Rua Boa Vista, 170 - São Paulo - Tel. 2505.2000 - CNPJ 47.865.597/0001-09

PROJETO

UNIDADE HABITACIONAL

CÓDIGO

V | 0 | 5 | 2 | D | - 03

TÍTULO

ARQUITETURA

ASSUNTO

PLANTAS:

PAV. TERREO COMUM

PAV. TERREO - DEFICIENTE FÍSICO

PAV. TERREO - DEFICIENTE FÍSICO / C A C

ESCALA GRÁFICA

ESCALA NOMINAL

DATA

0 0,75 1,5 2,25(m)

1:75

NOV/2013

ASSINATURAS

proprietário

CNPJ

Ca. de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Est. de São Paulo

47.865.597/0001-09

aprovação do projeto - responsável técnico

c.r.e.a. 20314/D

pref.

obra - responsável técnico

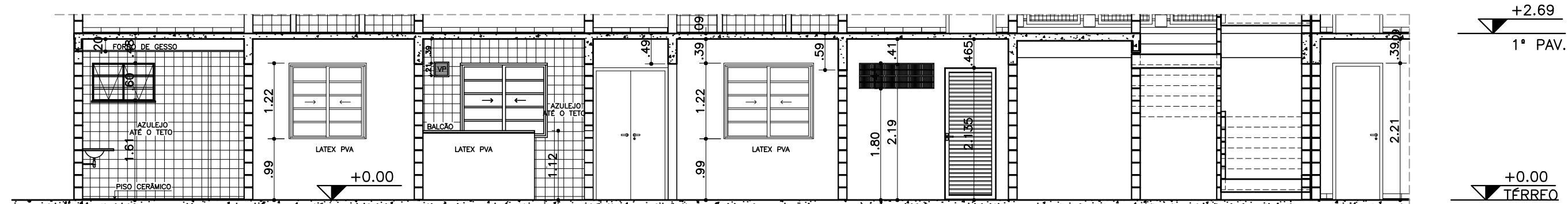
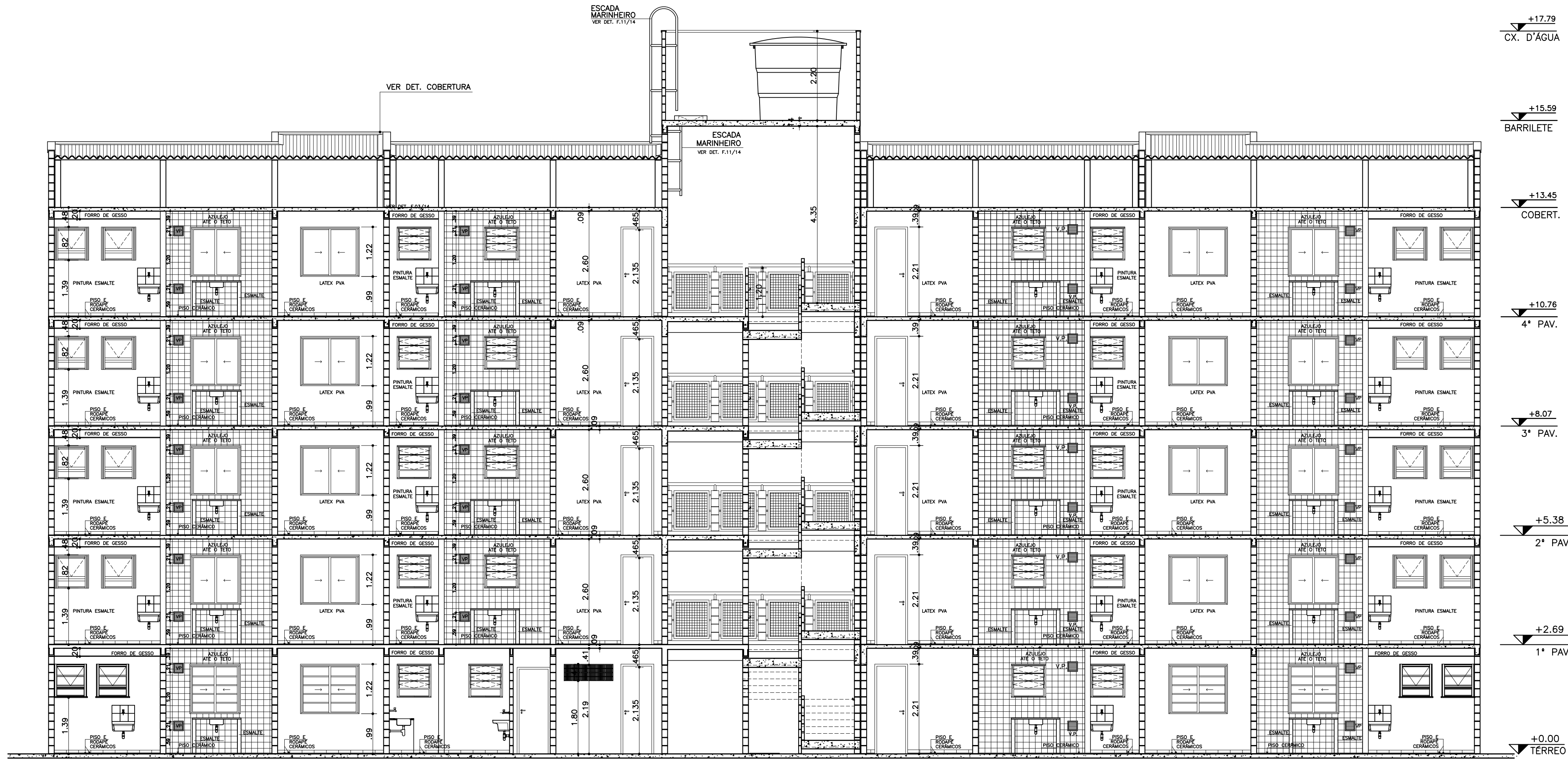
c.r.e.a.

pref.

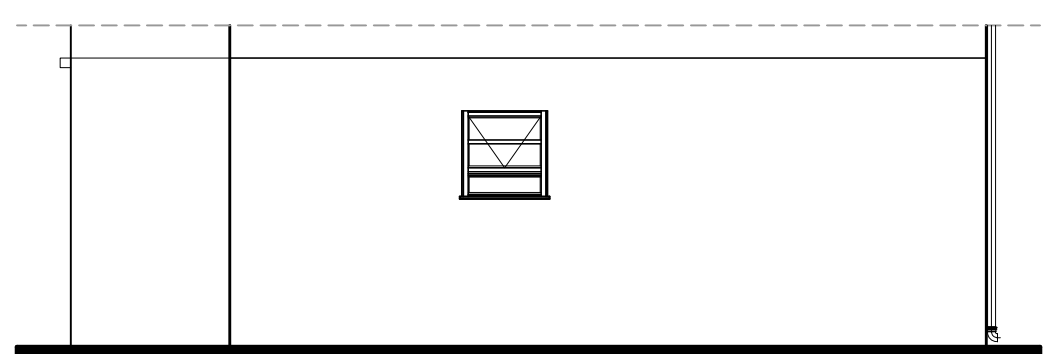
ESPACIO PARA APROVAÇÃO

CÓDIGO CDHU	EMPREENHIMENTO	Programa	Região	Município	Terreno	Fase	Verão	Estado do Projeto
00	00	00	00	00	00	00	00	P I E

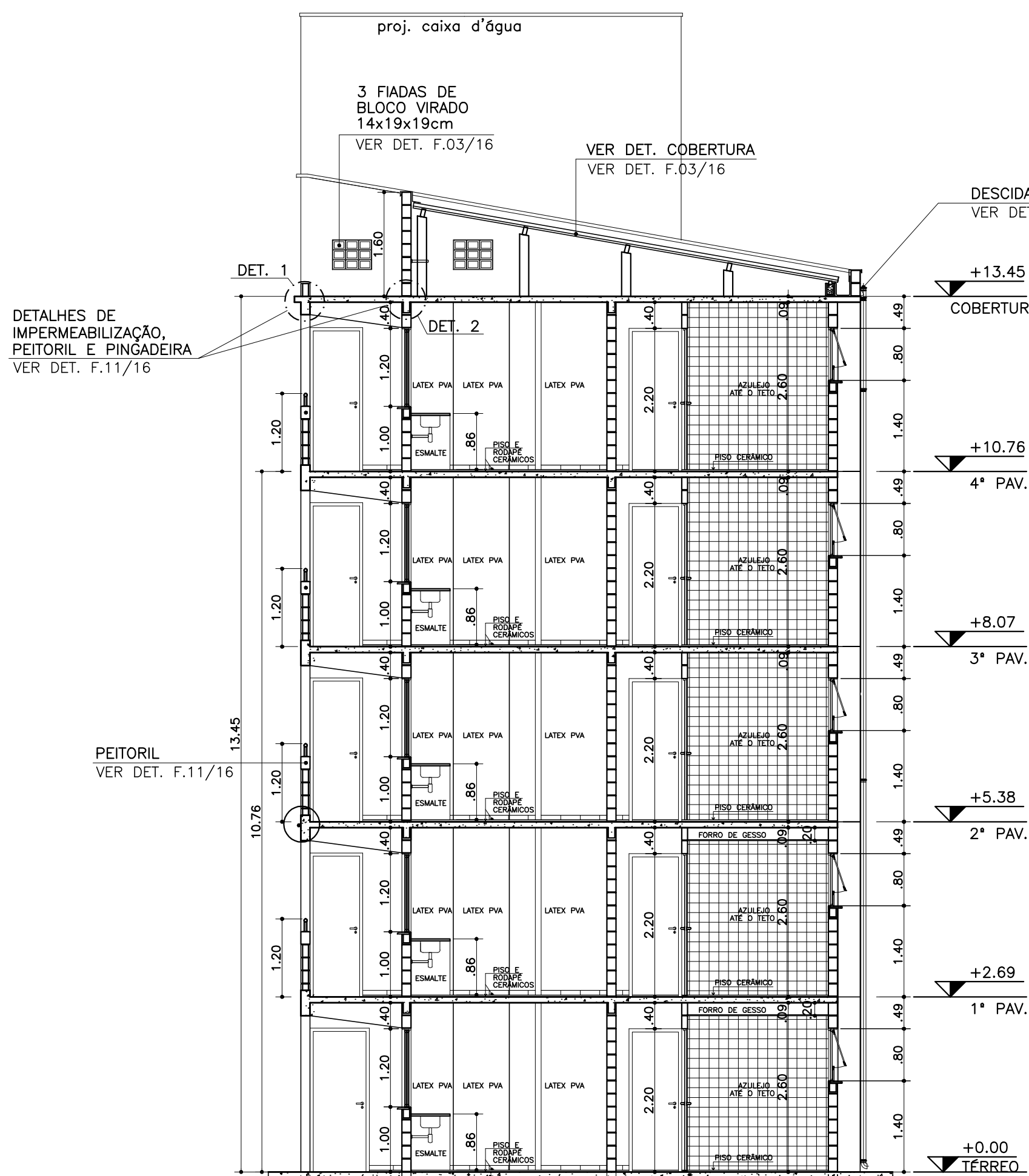
LISTA 1



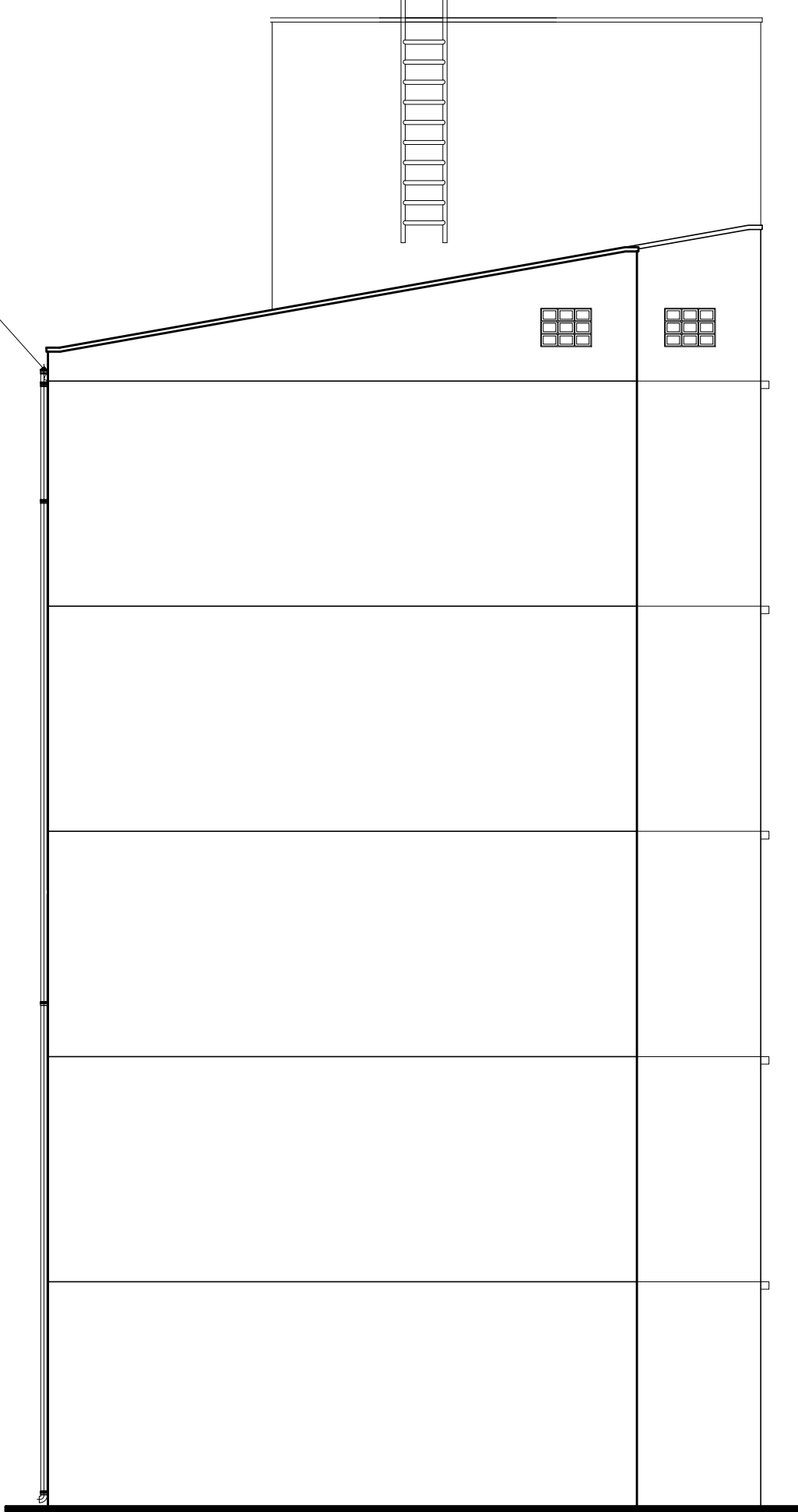
CORTE AA – DEFICIENTE FÍSICO/CAC



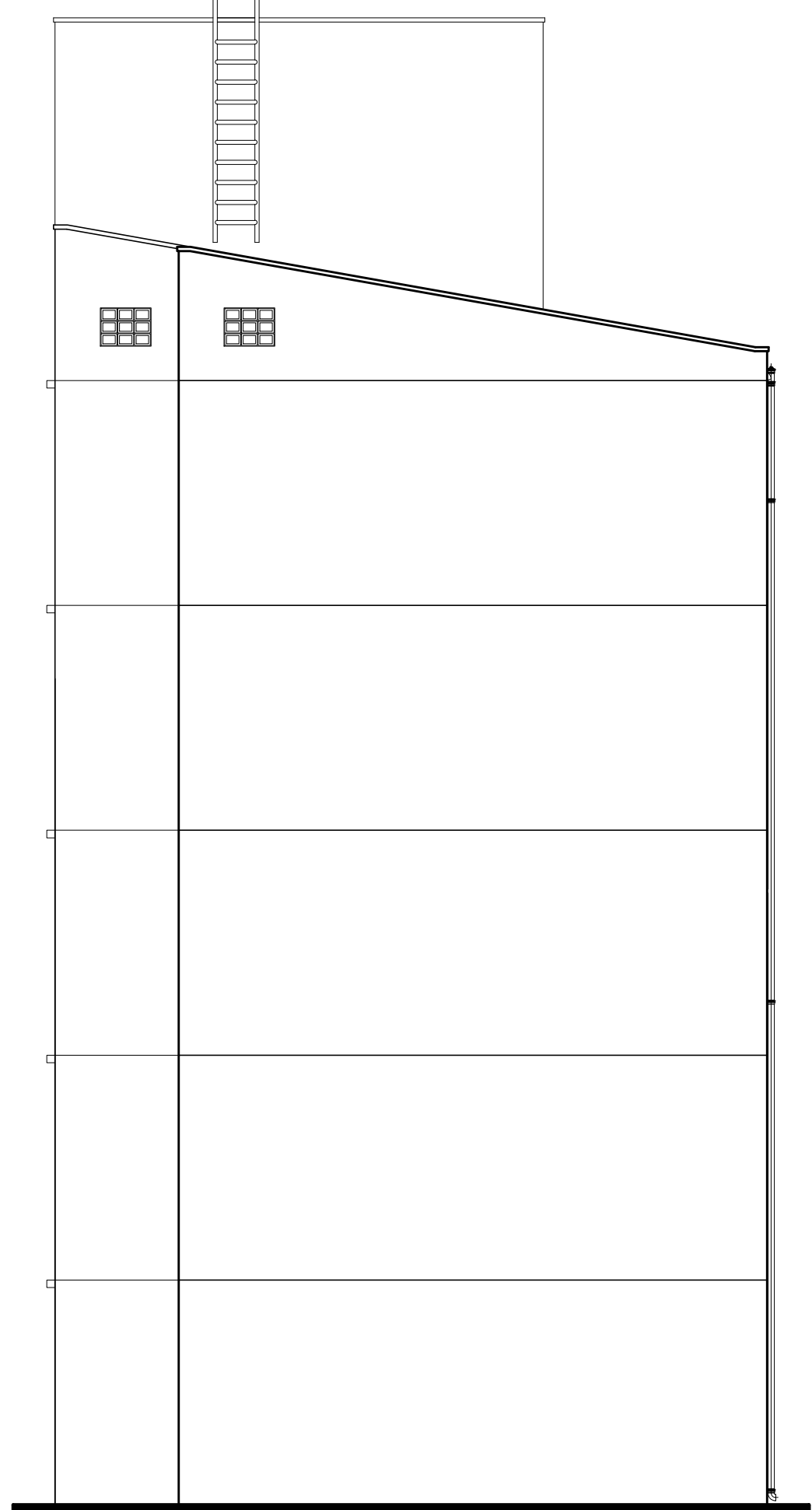
ELEVAÇÃO 4 – DEFICIENTE FÍSICO/CAC



CORTE BB



ELEVAÇÃO 2



ELEVAÇÃO 4

FONTE / DADOS DE BASE	
V052D-03 – UNIDADE HABITACIONAL PADRÃO	
CLAUDIA VENTURA ARQUITETOS ASSOCIADOS S/C	
AUTORES DO PROJETO / COLABORADORES	
CDHU – Gestão	
Arq. Paulo E. B. Pignatelli Coordenação de Projetos	
Equipe Técnica: Arq. Paulo E. B. Pignatelli Autor de Projetos	
ADEQUAÇÃO DO PROJETO	
SISTEMA PRI	
Arq. Marcelo Lopes Mauro Responsável Técnico	1925769 RRT
Arq. Marcelo Rocha Coordenador do Projeto	A 49.591-3 CAU
DIRVAL COIMBRA FIGUEREDO	PROJETISTA SENIOR

GERENCIAMENTO	
Consórcio Maubertec Engebanco Gerentec – Gerenciamento	
Eng.ª José Marcos Figliolini Coordenação	92221220130910246 ART
Arq.ª Ângela Moreno Coordenação	1585386 RRT
Arq.ª Maria Laura Fogaça Zeli Analista	A-10316-0 CAU

LEGENDA – BLOCOS	
	BLOCO 39 X 14 X 19
	BLOCO 19 X 14 X 19
	BLOCO 34 X 14 X 19
	BLOCO 39 X 09 X 19
OBS.: COTAS DE NÍVEL NO "OSSO"	
	BLOCO 19 X 09 X 19

Revisões (discriminação)	Nº	Data	Rubrica

Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano

CDHU

Rua Boa Vista, 170 - São Paulo - Tel. 2505.2000 - CNPJ 47.865.597/0001-09

PROJETO	
UNIDADE HABITACIONAL	
CÓDIGO	
V 0 5 2 D -03	
TÍTULO	ÁREA FOLHA
ARQUITETURA	ARQ 04 4
ASSUNTO	
CORTES E ELEVAÇÕES: CORTE AA CORTE BB ELEVAÇÃO 2 ELEVAÇÃO 4	
ESCALA GRÁFICA	ESCALA NOMINAL
0 0,75 1,5 2,25(m)	1:7,5
DATA	NOV/2013
ASSINATURAS	
proprietário	CNPJ
Cia. de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Est. de São Paulo	
47.865.597/0001-09	
aprovação do projeto – responsável técnico	c.r.e.o. 20314/D
	pref.
	a.r.t.
obra – responsável técnico	c.r.e.o.
	pref.
	a.r.t.
ESPACO PARA APROVAÇÃO	

LISTA 1									
CÓDIGO CDHU EMPREENDIMENTO									
Programa	Região	Município	Terrano	Fase	Item	Etapa do Projeto			
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	P E			

FONTE / DADOS DE BASE
V052D-03 - UNIDADE HABITACIONAL PADRÃO
CLAUDIA VENTURA ARQUITETOS ASSOCIADOS S/C

AUTORES DO PROJETO / COLABORADORES
CDHU - Gestão

Arq. Paulo E. B. Pignatelli
Coordenação de Projetos
Equipe Técnica: Arq. Paulo E. B. Pignatelli
Autor de Projetos

ADEQUAÇÃO DO PROJETO



Arq. Marcelo Lopes Mauro
Responsável Técnico
Arq. Marcelo Rocha
Coordenador do Projeto
DIRVAL COIMBRA FIGUEIREDO
PROJETISTA SENIOR
1925769
RRT
A-49.591-3
CAU

GERENCIAMENTO
Consórcio Maubertec Engenbanc Gerentec - Gerenciamento

Eng. José Marcos Fagundes
Coordenação
Arq. Ângela Moreno
Coordenação
Arq. Maria Laura Fagoga Zei
Analista
92221220130910246
ART
1585386
RRT
A-10316-0
CAU

LEGENDA/TABELAS

Revisões (discriminação)	Nº	Data	Rubrica



Rua Boa Vista, 170 - São Paulo - Tel.2505.2000 - CNPJ 47.865.597/0001-09

PROJETO

UNIDADE HABITACIONAL

CÓDIGO

V | 0 | 5 | 2 | D | -03

TÍTULO

ARQUITETURA

ÁREA

FOLHA

ARQ 05/4

ASSUNTO

ELEVAÇÕES

ELEVAÇÃO 1 - TÉRREO COMUM

ELEVAÇÃO 1 - TÉRREO/DEFICIENTE FÍSICO/CAC

ESCALA GRÁFICA

ESCALA NOMINAL

DATA

NOV/2013

ASSINATURAS

proprietário

CNPJ

Cia. de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Est. de São Paulo

47.865.597/0001-09

aprovação do projeto - responsável técnico

c.r.e.a.

20314/D

pref.

a.r.t.

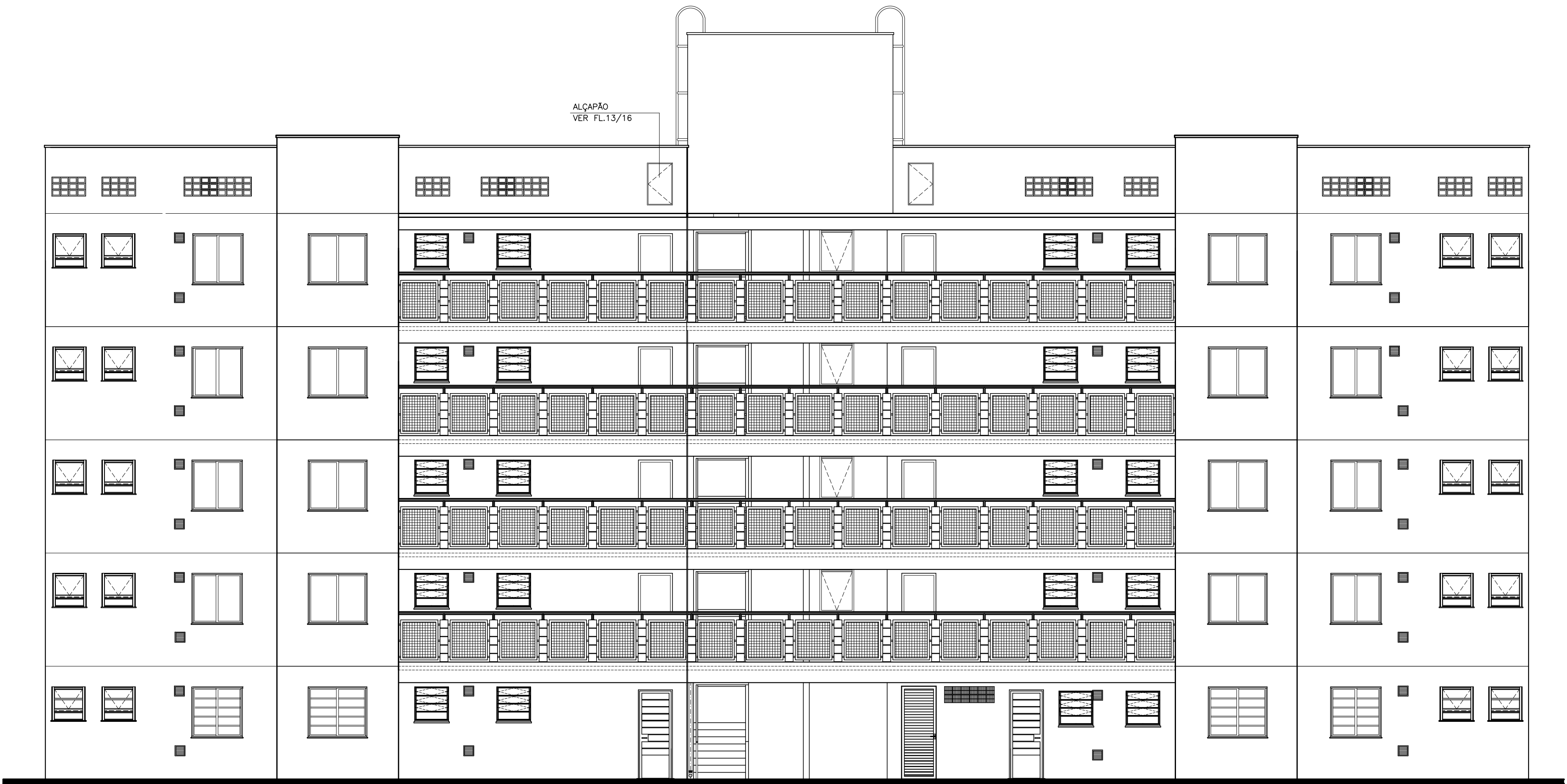
obra - responsável técnico

c.r.e.a.

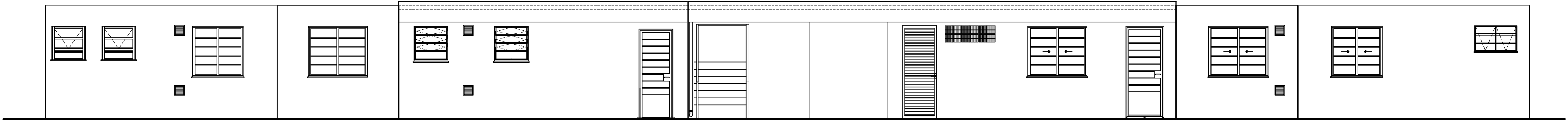
pref.

a.r.t.

ESPAÇO PARA APROVAÇÃO



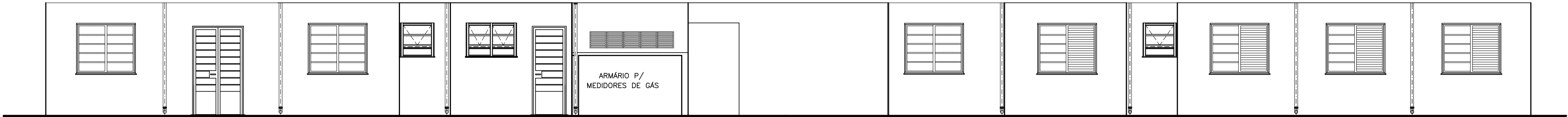
ELEVAÇÃO 1



ELEVAÇÃO 1 - TÉRREO/DEFICIENTE FÍSICO/CAC



ELEVAÇÃO 3



ELEVAÇÃO 3 – TÉRREO/DEFICIENTE FÍSICO/CAC

FONTE / DADOS DE BASE
V052D-03 – UNIDADE HABITACIONAL PADRÃO
CLÁUDIA VENTURA ARQUITETOS ASSOCIADOS S/C
AUTORES DO PROJETO / COLABORADORES
CDHU – Gestão
Arq. Paulo E. B. Pignatelli
Coordenação de Projetos
Equipe Técnica: Arq. Paulo E. B. Pignatelli
Autor de Projetos

ADEQUAÇÃO DO PROJETO
SISTEMA PRI Engenharia
Arq. Marcelo Lopes Mauro
Responsável Técnico
Arq. Marcelo Rocha
Coordenador do Projeto
DIRVAL COMBRA FIGUEREDO
PROJETISTA SENIOR
1925769
RRT
A 49.591-3
CAU

GERENCIAMENTO
Consórcio Maubertec Engebanc Gerentec – Gerenciamento
Eng. José Marcos Figliolini
Coordenação
Arq. Ângela Moreno
Coordenação
Arq. Maria Laura Fogaça Zei
Analista
92221220130910246
ART
1585386
RRT
A-10316-0
CAU

LEGENDA/TABELAS

Revisões (discriminação)	Nº	Data	Rubrica

Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano

CDHU

Rua Boa Vista,170 - São Paulo - Tel.2505.2000 - CNPJ 47.865.597/0001-09

PROJETO
UNIDADE HABITACIONAL

CÓDIGO
V | 0 | 5 | 2 | D | -03

TÍTULO
ARQUITETURA
ÁREA
FOLHA
ARQ|06/4

ASSUNTO
ELEVAÇÕES

ELEVAÇÃO 3 – TÉRREO COMUM
ELEVAÇÃO 3 – TÉRREO/DEFICIENTE FÍSICO/CAC

ESCALA GRÁFICA
0 0,75 1,5 2,25 (m)
ESCALA NOMINAL
1:75
DATA
NOV/2013

ASSINATURAS
proprietário
CNPJ

Co. de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Est. de São Paulo
47.865.597/0001-09

aprovação do projeto – responsável técnico
c.r.e.o. 20314/D
pref.
a.r.t.

obra – responsável técnico
c.r.e.o.
pref.
a.r.t.

ESPAÇO PARA APROVAÇÃO