

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ÁLEF GABRIEL NASCIMENTO BARROSO

**TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR DE SOLO-CIMENTO: Estudo Comparativo Da
Redução de Impactos Ambientais Na Construção De Uma Unidade
Habitacional Unifamiliar.**

Goiânia, GO
2024



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Álef Gabriel Nascimento Barroso

Matrícula: 20171011050068

Título do Trabalho: TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR DE SOLO-CIMENTO: Estudo Comparativo Da Redução de Impactos Ambientais Na Construção De Uma Unidade Habitacional Unifamiliar.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa:

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 07 /11/2024.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Álef Gabriel Nascimento Barroso

**TIJOLO ECOLÓGICO DE MODULAR DE SOLO-CIMENTO: Estudo Comparativo
Da Redução de Impactos Ambientais Na Construção De Uma Unidade
Habitacional Unifamiliar.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Francinete
Silva Júnior**

**Goiânia, GO
2024**

B277t Barroso, Álef Gabriel Nascimento.

Tijolo ecológico modular de solo-cimento: estudo comparativo da redução de impactos ambientais na construção de uma Unidade Habitacional Unifamiliar / Álef Gabriel Nascimento Barroso. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2024.
85f.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Coordenação de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
Inclui anexos.

1. Título. 2. Construção civil. 3. Impacto ambiental. I. Silva Júnior, Paulo Francinete (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 666.737



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ÁLEF GABRIEL NASCIMENTO BARROSO

TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR DE SOLO-CIMENTO:

Estudo Comparativo Da Redução de Impactos Ambientais Na Construção De Uma Unidade Habitacional Un ifamiliar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior (orientador), Prof. Dr. Marcus Araújo da Silva Mendes, Prof. Msc. Cláudio Marra Alves.

Aprovado em 04 de Outubro de 2024.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Claudio Marra Alves**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/10/2024 17:14:32.
- **Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/10/2024 08:37:46.
- **Paulo Francinete Silva Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/10/2024 11:01:22.
- **Matilde Batista Melo**, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - GYN-CCBEC, em 07/10/2024 10:32:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 572686

Código de Autenticação: a5221caece



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

*A todos que acreditaram e me apoiaram
nessa jornada. Em especial aos meus pais
e minha avó Maria.*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho envolveu árduos esforços que de nada valeriam sem as pessoas que fazem parte da minha história de vida e as que cruzaram meu caminho em algum momento e puderam contribuir, mesmo que indiretamente, com algum ensinamento. Em especial gostaria de agradecer:

Ao meu tio Mauro Borges, que com suas ideias ousadas de empreendedorismo me possibilitou chegar ao tema deste trabalho;

Ao meu orientador Paulo Francinete, por toda sua paciência, compreensão e pelo conhecimento compartilhado;

Aos meus pais, Fernanda Borges e Rildo Barroso, que trilharam uma grande parte do caminho para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigado por sempre acreditarem e apoiarem minhas escolhas;

À minha tia Erly Maria, que me acolheu em sua casa e sempre foi muito compreensiva durante minha trajetória na universidade;

À minha avó Maria Barroso e meus tios Luzio e Luzenita, por sempre me ajudarem da forma que puderam e sempre se preocuparem comigo;

À minha amiga Jéssica, com quem pude compartilhar as dores, mas também as conquistas, e que sempre me presenteou com seus melhores conselhos.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim, terás o que colher.”

- Cora Coralina

RESUMO

TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR DE SOLO-CIMENTO: Estudo Comparativo Da Redução de Impactos Ambientais Na Construção De Uma Unidade Habitacional Unifamiliar

AUTOR: Álef Gabriel Nascimento Barroso

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados por atividades humanas, tem atingido diversos setores da economia. Na construção civil, sobretudo, faz-se necessário repensar os impactos associados à construção de edificações e na extração e utilização consciente de recursos naturais. Partindo-se dessa premissa, surgem constantemente materiais alternativos que prometem reduzir esses impactos, reutilizando recursos ou propondo métodos de fabricação menos nocivos ao meio ambiente. Neste trabalho foi feito um levantamento quantitativo, através de pesquisas bibliográfica em trabalhos acadêmicos baseados na metodologia de Análise de Ciclo de Vida, dos impactos ambientais associados à produção de alvenaria de uma unidade habitacional unifamiliar de interesse social, utilizando-se três tipos de tijolos, sendo eles o tijolo cerâmico, bloco de concreto e o tijolo ecológico modular de solo-cimento. O estudo comparativo tem como objetivo avaliar os impactos ambientais associados à alvenaria do projeto modelo proposto. Por fim espera-se que seja atestada a vantagem do tijolo ecológico diante dos demais, no que se refere a redução de impactos ambientais e emissões de CO₂ a fim de se avaliar a eficiência do material nesse quesito quando empregado na construção de uma residência unifamiliar.

Palavras-chave: Tijolo Ecológico. Solo-cimento. ACV.

ABSTRACT

ECOLOGICAL MODULAR SOIL-CEMENT BRICK: Comparative Study of Reduction of Environmental Impacts in the Construction of a Single-Family Housing Unit

AUTHOR: Álef Gabriel Nascimento Barroso

ADVISOR: Paulo Francinete Silva Júnior

The growing concern about the environmental impacts generated by human activities has affected several sectors of the economy. In civil construction, especially, it is necessary to rethink the impacts associated with the construction of buildings and the conscious extraction and use of natural resources. Based on this premise, alternative materials are constantly emerging that promise to reduce these impacts, reusing resources or proposing manufacturing methods that are less harmful to the environment. In this work, a quantitative survey was carried out, through bibliographical research in academic works based on the Life Cycle Analysis methodology, of the environmental impacts associated with the masonry production of a single-family housing unit of social interest, using three types of bricks, namely ceramic brick, concrete block, and modular soil-cement ecological brick. The comparative study aims to evaluate the environmental impacts and CO₂ emissions associated with the masonry of the proposed model project. Finally, it is expected that the advantage of ecological bricks over others will be attested, in terms of reducing environmental impacts to evaluate the efficiency of the material in this regard when used in the construction of a single-family residence.

Keywords: Ecological Brick. Soil-cement. ACV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de CO ₂ atmosférico.....	20
Figura 2 –	Modelos de Tijolo Ecológico Modular Solo-cimento.....	26
Figura 3 –	Tijolo Ecológico.....	26
Figura 4 –	Meio tijolo.....	27
Figura 5 –	Tijolo tipo canaleta.....	27
Figura 6 –	Procedimentos simplificados para análise de inventário.....	30
Figura 7 –	Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.....	32
Figura 8 –	Planta baixa do projeto modelo.....	34
Figura 9 –	Maquete 3D do projeto modelo.....	35
Figura 10 –	Vista interna da sala/cozinha.....	36
Figura 11 –	Planta baixa alterada para modulação.....	37
Figura 12 –	Reprodução 3D do projeto alterado.....	38
Figura 13 –	Vista interna do modelo alterado.....	38
Figura 14 –	Dados obtidos para o indicador Saúde Humana.....	49
Figura 15 –	Comparativo proporcional para o indicador Saúde Humana.....	49
Figura 16 –	Dados obtidos para o indicador Qualidade do Ecossistema.....	50
Figura 17 –	Comparativo proporcional para o indicador Qualidade do Ecossistema.....	50
Figura 18 –	Dados obtidos para o indicador Mudança Climática.....	51
Figura 19 –	Comparativo proporcional para o indicador Mudança Climática.....	51
Figura 20 –	Dados obtidos para o indicador Depleção de Recursos.....	52
Figura 21 –	Comparativo proporcional para o indicador Depleção de Recursos	52
Figura 22 –	Comparativo percentual.....	54
Figura 23 –	Comparativo percentual com margem de erro.....	55
Figura 24 –	Emissões totais de CO ₂ do projeto modelo em toneladas.....	56
Figura 25 –	Emissões de CO ₂ por componente da alvenaria.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Material necessário para produção de 1m ² de alvenaria	39
Tabela 2 –	Composição das alvenarias de bloco cerâmico e bloco de concreto.....	40
Tabela 3 –	Resultados da AICV para o m ² da alvenaria.....	41
Tabela 4 –	Resultado da AICV aplicado ao projeto modelo.....	42
Tabela 5 –	Energia embutida em alguns materiais de construção.....	43
Tabela 6 –	Consumo primário de energia por fontes em % MJ nos materiais de construção.....	43
Tabela 7 –	Emissão de CO ₂ por fontes de energia.....	43
Tabela 8 –	Rendimento dos blocos e emissões de CO ₂ por m ² de alvenaria	44
Tabela 9 –	Material necessário para argamassa de assentamento em 1m ² de alvenaria.....	45
Tabela 10 –	Emissão de CO ₂ da argamassa por m ² de alvenaria do tijolo solo-cimento.....	45
Tabela 11 –	Emissões de CO ₂ da argamassa por m ² de alvenaria em bloco cerâmico.....	45
Tabela 12 –	Emissões de CO ₂ da argamassa por m ² de alvenaria em bloco de concreto.....	46
Tabela 13 –	Emissões do revestimento por m ² de alvenaria.....	46
Tabela 14 –	Emissões totais de CO ₂ (em toneladas) para a edificação.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Objetivo geral.....	16
1.3. Objetivos específicos	17
1.4. Justificativa	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1. Impactos Ambientais Na Construção Civil	19
2.2. Caracterização do Tijolo Ecológico Modular Solo-Cimento	22
2.2.1. Solo-cimento.....	22
2.2.2. Tijolo ecológico modular solo-cimento	23
2.3. Análise do Ciclo de Vida	27
2.3.1. Definição de objetivo e escopo	29
2.3.2. Análise de inventário.....	29
2.3.3. Avaliação de impactos.....	30
2.3.4. Interpretação.....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1. Projeto modelo.....	33
3.1.1. Especificações de projeto para a alvenaria	35
3.1.2. Projeto modelo adaptado ao uso do tijolo ecológico de solo-cimento	36
3.2. Comparativo de impactos ambientais	39
3.2.1. AICV método 2002+	39
3.2.2. quantificação das emissões de CO ₂	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. Resultados da AICV.....	48
4.2. Resultados da quantificação de emissões de CO ₂	56
CONCLUSÕES	59
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXO A – Manual Prático Tijolo Ecológico Modular Eco Produções	65
ANEXO B – PROJETO MODELO FUNASA	80

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é um conceito que permeia cada vez mais diversos segmentos da sociedade, sobretudo no que se refere aos setores de maior movimentação econômica, onde se destacam as indústrias e a construção civil, responsáveis por grandes quantidades de emissões de poluentes e extração de matérias primas.

Segundo Campos (2012) estima-se que a construção civil é responsável pela utilização de 60% das matérias-primas disponíveis no planeta. Desta forma, o desenvolvimento da construção civil estaria condicionado a uma revisão dos aspectos relacionados à concepção de seus projetos, o que inclui a seleção de materiais e o aprimoramento de processos produtivos, visto que ainda se trata de uma atividade em que os materiais utilizados, como concreto, aço, madeira e outros recursos naturais, assim como a energia consumida durante a construção e a operação de edifícios, frequentemente não são recuperados, reutilizados ou reciclados.

Com isso, surgem inúmeras pesquisas que visam introduzir materiais alternativos na indústria da construção civil, almejando não apenas o desenvolvimento sustentável, mas uma incessante busca pelo aprimoramento de processos construtivos que, além do caráter ambientalmente correto, propiciem ganhos econômicos quando comparados aos sistemas usuais.

Nesse contexto, o tijolo de solo-cimento enquadra-se nessa nova gama de materiais alternativos por apresentar uma composição simples, com materiais de fácil acesso, sendo eles o solo e o cimento. O primeiro disponível em abundância na natureza e este último, apesar de não ser um material natural e necessariamente sustentável, é amplamente utilizado na construção civil, sobretudo no Brasil. Além disso, o método de fabricação desse tijolo dispensa a queima, processo de grande impacto ambiental e responsável pela emissão de diversos gases de efeito estufa (GEE).

O tijolo de solo-cimento surge também como uma alternativa de maior viabilidade econômica, prometendo maiores ganhos em produtividade, uma vez que viabiliza um processo construtivo modular, de fácil acesso, que possibilita a redução de desperdícios. A coordenação modular permite a padronização de sistemas e componentes de forma industrial, possibilitando que sejam compatibilizados desde o

projeto. Assim sendo, obtém-se uma construção mais racionalizada e com alto índice de produtividade (LIMA, 2013).

Existem diversos estudos, como os de Euphrosino *et al.* (2021) e Junior *et al.* (2017), que buscam demonstrar a viabilidade da adição de materiais residuais como matéria prima na fabricação do tijolo ecológico solo-cimento, potencializando assim o seu viés ecológico, uma vez que possibilitaria a redução de resíduos sólidos descartados no meio ambiente e a substituição parcial do solo, evitando-se a degradação proveniente da extração; ou mesmo do cimento, componente de maior impacto ambiental utilizado na fabricação do tijolo de solo-cimento.

Euphrosino *et al.* (2021) mostra em um estudo que a adição de resíduos do próprio tijolo de solo-cimento como material reciclado para compor os traços em sua fabricação, possibilitaram a obtenção de materiais com resistência à compressão até mesmo superiores aos materiais fabricados sem adição de resíduos reciclados. Foram estudados traços com proporções de 1:7, 1:10, 1:11 e 1:12 e ao fim do estudo verificou-se que aos 14 dias de idade, todos os corpos de prova atingiram a resistência mínima exigida por norma.

Junior *et al.* (2017) propôs em estudo a incorporação de resíduos de descarte provenientes da fabricação de papel na composição de tijolos de solo-cimento. Foi constatado ao final do estudo que a substituição do solo por resíduos, em proporções de 5% e 10% em massa, possibilitariam a obtenção de tijolos com valores médios de resistência à compressão superiores ao exigido em norma.

Os tijolos de solo-cimento possibilitam ainda a fabricação in loco através de prensas manuais, o que pode agregar praticidade na sua utilização em uma obra e ainda dispensar a necessidade de transporte, possibilitando mais uma vantagem enquanto material ambientalmente correto. Segundo Sousa e Barbosa (2017) o processo produtivo do tijolo de solo-cimento dispõe de equipamentos e maquinários de baixo custo e pequeno porte, dispensando a necessidade de mão de obra qualificada, uma vez que o processo de fabricação do tijolo é relativamente simples, permitindo assim produzir um quantitativo considerável em poucas horas de trabalho.

O tijolo ecológico modular é apenas uma alternativa dentro de uma gama ampla e diversificada de materiais que se propõem a reduzir os impactos causados ao meio ambiente no contexto da construção civil. Com o intuito de avaliar o real impacto e a energia empregada por determinados materiais surgem ferramentas como a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Do ponto de vista de Campos:

Tais demandas vêm tornando a Análise do Ciclo de Vida (ACV) uma ferramenta cada vez mais usada na construção civil. Por meio dela, é possível avaliar o desempenho de um determinado material, de um sistema produtivo ou mesmo de uma edificação ao longo de toda sua vida útil. A ACV permite a averiguação de oportunidades de melhoria na construção civil, oferecendo, especialmente, informações sobre os impactos ambientais gerados. (2012, p.19)

Este trabalho surge com a proposta de traçar um comparativo, com o auxílio do método de avaliação do ciclo de vida, entre o tijolo ecológico modular solo-cimento, o tijolo cerâmico tradicional e o bloco de concreto, como em pesquisas realizadas por Fontes e Lopes (2018), que avaliaram o desempenho ecológico do tijolo de solo-cimento, com e sem adição de escória de alto-forno, em comparação aos tijolos de argila queimada; e Rosa (2010) que propõe o mesmo tipo de comparação entre tijolos cerâmicos e blocos de concreto. Além desse comparativo, os dados levantados serão aplicados ao projeto modelo de uma residência unifamiliar de interesse social, a fim de se atestar as vantagens ecológicas e econômicas advindas do uso do material na edificação do projeto.

A realidade da construção civil no Brasil ainda aponta para uma vertente em que os materiais utilizados com maior amplitude, e aceitos socialmente, são industrializados e não necessariamente apresentam vantagens frente à preocupação crescente com os impactos ambientais gerados pela construção. O estudo do tijolo de solo-cimento, amparado pela ACV, enquanto alternativa aos métodos construtivos de alvenaria convencional, que utilizam o bloco cerâmico e o bloco de concreto, poderá contribuir com pesquisas que objetivem técnicas construtivas mais sustentáveis, além de possibilitar embasamento técnico para a popularização desse material no mercado.

1.1. OBJETIVOS

1.2. OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral avaliar através de levantamento bibliográfico de estudos acadêmicos a respeito da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) o impacto ambiental causado pela construção da alvenaria de uma residência unifamiliar de interesse social considerando-se dois sistemas construtivos de maior

popularidade na realidade nacional, sendo eles a alvenaria convencional com blocos cerâmicos e a alvenaria estrutural em blocos de concreto, traçando um comparativo com o sistema construído com um material alternativo, e de enfoque do trabalho, a alvenaria em tijolo ecológico modular solo-cimento.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar a alvenaria construída com o emprego do tijolo modular solo-cimento;

Avaliar quantitativamente o impacto ambiental causado na construção da alvenaria de uma residência unifamiliar de interesse social através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV);

Estabelecer parâmetros quantitativos a fim de se avaliar a viabilidade ecológica do tijolo modular fabricado em solo-cimento;

Traçar um comparativo em termos de energia empregada e impactos ambientais gerados pelo emprego do tijolo ecológico modular solo-cimento, do tijolo cerâmico convencional e do bloco de concreto na edificação de uma residência unifamiliar de interesse social;

1.4. JUSTIFICATIVA

Segundo o Panorama Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) publicado em 2022, estima-se que mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de construção e Demolição (RCD) foram coletados pelos municípios brasileiros em território nacional no ano de 2021. Esse número representa cerca de 277kg de RCD coletado por habitante por ano, destacando-se a região centro-oeste, cuja média chega a ser maior do que a nacional, com aproximadamente 323kg por habitante/ano.

Dados como os apresentados pela Abrelpe evidenciam a necessidade de se repensar a construção civil da perspectiva do “ambientalmente correto” e do desenvolvimento sustentável, termos insurgentes do final do século passado que vêm ganhando cada vez mais destaque nas discussões que abordam o futuro da sociedade moderna. A crescente preocupação com o gerenciamento dos resíduos

sólidos gerados pela construção civil preconiza não só o descarte e coleta adequada, mas o desenvolvimento de alternativas que possam viabilizar a reutilização dos resíduos sólidos gerados nos canteiros de obras.

Nenhum outro setor da economia tem a escala de produção da indústria de materiais de construção, e ainda que ao longo de seu ciclo de vida apresentem impacto ambientais por unidade de massa menores, se comparados com outras indústrias, a enorme quantidade em que são produzidos faz com que seja importante olhar com atenção para os impactos causados pela indústria de materiais de construção. (JOHN, 2007, *apud* ROSA, 2010)

Dessa perspectiva, o estudo de materiais alternativos vem se destacando em diversas pesquisas, visando não só a incorporação de matérias primas cuja extração ou fabricação gerem menor impacto ambiental possível, mas que também possam incorporar em sua fabricação resíduos sólidos através da reciclagem do RCD, por exemplo, e de outros materiais que, a princípio, seriam descartados pela indústria.

O tijolo ecológico modular surge nesse contexto como um material alternativo, prometendo não só amenizar impactos ambientais por utilizar matérias primas cuja extração gera danos significativamente menores ao meio ambiente, como o solo; mas também por apresentar métodos de fabricação até mesmo manuais, sem perdas consideráveis de qualidade e desempenho e de forma considerada mais “limpa”, por dispensar maquinários complexos que exigem grandes quantidades de energia para seu funcionamento, e também por dispensar a queima, eliminando uma das etapas de maior impacto ambiental e consumo energético, presente na produção dos blocos cerâmicos, por exemplo. Além disso, o tijolo modular solo-cimento ainda apresenta a possibilidade de incorporação de RCD e diversos outros materiais de descarte, o que vem sendo objeto de diversos estudos no meio científico.

Além da questão ambiental, o tijolo ecológico atrela-se a um método construtivo de modulação, possibilitando ganhos de produtividade e gerando economia em uma obra. O que o caracteriza como uma forte alternativa a ser incorporada em habitações de interesse social, que muitas vezes demandam um tempo de execução menor, padronização entre as unidades e gastos menores com materiais.

Destarte, esta pesquisa busca apresentar dados e contribuir com a popularização do tijolo ecológico modular enquanto um material que, além de ecologicamente correto, demonstre ser viável em termos de economia e produtividade.

2. REVISÃO DA LITERATURA

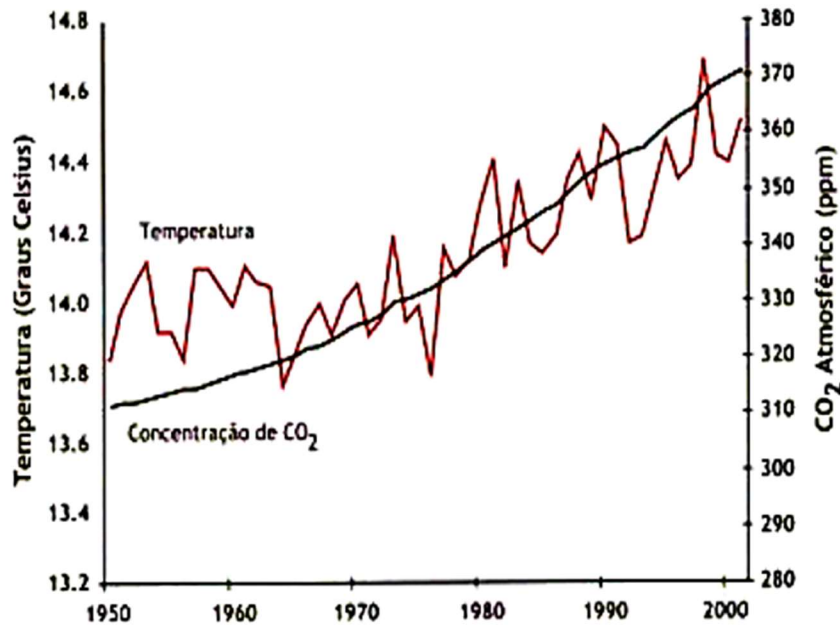
2.1. IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo “desenvolvimento sustentável” tem ganhado cada vez mais destaque no meio científico e no cotidiano em geral, fazendo parte das mais importantes discussões relacionadas ao futuro da sociedade. Segundo Morse e Bell (2003, *apud* Campos, 2012), o desenvolvimento sustentável foi discutido primeiramente na *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), em 1980, no documento intitulado *World Conservation Strategy*, onde afirma-se que o desenvolvimento sustentável deve avaliar aspectos referentes às esferas social e ecológica, assim como fatores econômicos, recursos vivos e não vivos, além das vantagens de curto e longo prazo de ações alternativas. Essa ideia vem ao encontro da crescente preocupação com as mudanças climáticas presenciadas a nível mundial, fazendo com que surja a necessidade de se repensar a forma como recursos naturais têm sido utilizados e a preservação do meio ambiente, além da importância de se frear a emissão de gases poluentes na atmosfera, que estão ligados ao efeito estufa, consequência de maior preocupação no meio científico.

Campos (2012) ressalta o grande protagonismo do CO₂ (dióxido de carbono) enquanto causador do efeito estufa, embora não seja o gás de maior potencial danoso ao meio ambiente. O papel do CO₂ como acelerador do efeito estufa está intrinsecamente associado à produção e consumo de energia em termos globais e ao fato de a sua permanência na atmosfera ser mais duradoura.

O aumento da temperatura média do ar está diretamente relacionado com a concentração de CO₂ presente na atmosfera, fato demonstrado em diversas pesquisas científicas e amplamente divulgado midiaticamente. Na Figura 1 é mostrado como tem sido a evolução desse aquecimento da atmosfera em comparação às emissões de CO₂ à nível mundial:

Figura 1: Evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de CO₂ atmosférico



Fonte: FERNANDES *et al.*, 2004 *apud* TORGAL E JALALI, 2010.

Do ponto de vista da construção civil, a liberação de gases como o CO₂ na atmosfera está ligada não apenas à produção da energia utilizada em maquinários na indústria de materiais, em parte considerável gerada pela queima de combustíveis fósseis, mas também na queima de madeira e outros materiais a fim de se obter uma fonte de calor em processos que envolvem a fabricação do tijolo cerâmico e na produção do cimento, por exemplo. Além do transporte dos materiais, que em grande parte ainda utiliza combustíveis fósseis como fonte de energia, o que consequentemente gera a emissão de CO₂ na atmosfera.

Além das emissões consideráveis de gases nocivos à atmosfera que estão associadas a processos da indústria da construção civil, o consumo de recursos nessa atividade humana geralmente se dá por ciclos abertos, uma vez que feita a extração dos materiais, não há reposição. Torgal e Jalali (2010) estimam que a nível mundial a indústria da construção consome aproximadamente 3000 Mt/ano em matérias-primas, número superior a qualquer outra atividade econômica. Apesar de ser um número antigo, ainda representa a realidade desse setor e evidencia sua insustentabilidade à longo prazo em relação à extração de materiais e à degradação causada nesse processo.

Materiais de construção como concreto, aço, madeira e outros recursos naturais, assim como a energia consumida durante a construção e a operação de edificações, frequentemente não são recuperados, reutilizados ou reciclados. Além disso, a gestão inadequada dos resíduos de construção e demolição contribui para o descarte inadequado de resíduos sólidos e poluição ambiental.

A Abrelpe, na publicação do Panorama de Resíduos Sólidos de 2022, estimou que no ano de 2021 cerca de 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados em território nacional. Número que representa cerca de 227kg de RCD por habitante/ano. É necessário analisar esse cenário considerando-se ainda o descarte irregular desses resíduos, que acabam ocupando não apenas o espaço urbano, mas também reservas naturais, onde podem promover o desequilíbrio da fauna e flora e a consequente degradação do meio ambiente.

Para Meadows *et al.* (2004, *apud* TORGAL E JALALI, 2010), contudo, o principal problema ambiental associado aos materiais de construção, não reside necessariamente na possibilidade de esgotamento de matérias-primas não renováveis, mas antes nos impactos ambientais provenientes da extração, dos quais podem ser destacadas a destruição da biodiversidade dos locais de extração e a geração de resíduos provenientes da mineração desses recursos, além dos riscos de acidentes ambientais que esses resíduos podem ocasionar.

A título de exemplo, Withmore (2004, *apud* TORGAL E JALALI, 2010) estima que no ano 2000 as atividades extrativas a nível mundial foram responsáveis por cerca de 6 bilhões de toneladas de resíduos minerais, para as quais foram obtidas apenas 900 milhões de toneladas de matérias-primas, o que representa um aproveitamento médio de apenas 15%.

Rosa aponta que, segundo levantamento realizado em 2009 pela ANAB (Associação Nacional de Arquitetura Bioecológica):

...a construção civil no Brasil é responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais e da energia produzida, 34% do consumo de água, 55% do consumo de madeira não certificada, 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos e 50% do volume total de resíduos. (2010, p.13)

Números que chamam a atenção para a importância de se repensar o consumo energético empregado na construção civil, uma vez que se caracteriza como um setor

da economia que demanda uma grande quantidade de recursos naturais e ainda é responsável pela produção da maior parte dos resíduos urbanos.

Mascaró (1988, *apud* MANFREDINI, 2003) aponta para a importância da etapa de fabricação de matérias enquanto ponto estratégico para se repensar a sustentabilidade na construção civil. Sendo a fase de produção dos materiais de insumo grande responsável pela extração de recursos naturais e consumo energético associados à construção de uma edificação.

A construção civil ainda enfrenta desafios significativos para a sustentabilidade do setor. Os impactos negativos tanto em termos de esgotamento de recursos naturais quanto na amplificação de problemas ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa devido à produção e transporte de materiais de construção, bem como a degradação dos ecossistemas devido à extração de matérias-primas, são problemas que ainda carecem de estudos e alternativas consistentes frente ao mercado atual, evidenciando-se a necessidade de se buscar maximizar a eficiência dos recursos, minimizando o desperdício e promovendo a recuperação de materiais e sua reintegração no ciclo de produção. Isso envolve a reutilização de materiais de construção, a reciclagem de resíduos de construção e demolição e a consideração de estratégias de design que estendam a vida útil das edificações.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR SOLO-CIMENTO

2.2.1. SOLO-CIMENTO

O solo-cimento é um material que desempenha papel significativo na construção civil. É definido como uma mistura homogênea de solo, cimento e água, cujas proporções de cada componente podem variar conforme a aplicação. Em geral, mantém-se o solo com a umidade adequada para moldagem e compactação eficazes e este deve ser escolhido de forma a permitir o menor consumo possível de cimento.

De acordo com Sousa (2018) o cimento na mistura tem como objetivo criar envoltórias nos grãos de solo de modo a formar-se uma barreira contra água e evitando, em decorrência disso, a expansão de solos sensíveis a umidade.

Uma característica notável do solo-cimento é sua resistência mecânica. Isso o torna adequado para diversas aplicações, desde a estabilização de solos até a construção de estruturas leves. Além disso, o solo-cimento é conhecido por sua durabilidade, resistindo às intempéries e à erosão de maneira eficaz. Friedrich *et al.* (2014) aponta como principais características do solo-cimento: boa resistência à compressão, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

O solo-cimento é também apreciado por sua contribuição à sustentabilidade na construção civil. Ele requer menos cimento em comparação com outros materiais de construção, o que resulta em economia de recursos naturais e reduz as emissões de dióxido de carbono associadas à produção de cimento.

Na construção de habitações, o solo-cimento é uma opção viável, apesar de não ser um material tão difundido quanto as alvenarias de tijolo cerâmico e blocos de concreto.

2.2.2. TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR SOLO-CIMENTO

Na composição deste tijolo são incorporados o solo, o cimento, que desempenha o papel de aglomerante estabilizante do solo, e água. E o processo de fabricação deste material consiste na mistura, em traços que consideram quantidades específicas de cada elemento, e a compactação através de prensas. Segundo Friedrich *et al.*:

O processo de fabricação de tijolos de solo-cimento é relativamente simples. O sistema de fabricação pode ser manual, através de prensas manuais ou pode ser mecanizado, com o uso de prensas hidráulicas. O princípio que envolve a fabricação desses produtos é a compactação da mistura dos materiais constituintes dentro de moldes metálicos com dimensões e formas desejadas. (2014, p.3)

O que se defende na literatura a respeito desse material é a ideia de que sua produção é facilitada, uma vez que em sua fabricação são agregados materiais de fácil acesso, dispensando um processo totalmente industrializado que exija mecanismos mais elaborados na produção do material. Além de dispensar a queima, ao contrário do tijolo cerâmico convencional, o que lhe confere o caráter ecológico, e

a possibilidade de ser fabricado *in loco*, a depender da disponibilidade e da qualidade do solo no local da obra.

Pires (2004, *apud* Oliveira, 2020) afirma que existem alguns fatores determinantes para as características do produto, entre eles estão a quantidade de cimento utilizado na mistura, as propriedades do solo extraído e seu teor de umidade, além da compactação ou prensagem da mistura. A composição do cimento, sua finura, a quantidade de água e temperatura ambiente são determinantes na coesão do solo-cimento.

De acordo com cartilha publicada pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), solos ideais para a fabricação do tijolo de solo-cimento possuem teor de areia entre 45% e 50%, não devem conter matéria orgânica em sua composição, passando 100% na peneira 4,8 mm (nº 4), de 10% a 50% na peneira 0,075 mm (nº 200) e ainda possuir limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

Entretanto, quando se considera o uso de um material alternativo na construção, é importante que o emprego deste material seja, também, economicamente viável e que apresente vantagens em termos de qualidade, custos e produtividade.

Motta (2014, *apud* FRANCISCO, 2021) afirma que o sistema de montagem do tijolo solo cimento possibilita o assentamento e otimiza o tempo de execução da alvenaria, além de diminuir a quantidade de argamassa ou cola utilizadas para o assentamento das peças. Essa otimização no uso de argamassa pode resultar paredes mais leves, possibilitando um dimensionamento mais enxuto das fundações de uma edificação que empregue o material, vantagem que pode atingir diretamente o orçamento de uma obra, pois além das fundações que receberão cargas menores, o sistema modular ainda permite gastos menores com argamassa para assentamento das peças e resulta em paredes com formas mais regulares, gerando economia de materiais de acabamento.

Os furos presentes no interior do tijolo possibilitam a formação de câmaras de ar no interior da alvenaria, aumentando o isolamento térmico e acústico das paredes, além de formarem condutores para as redes elétrica e hidráulica, evitando-se a quebra da alvenaria para a passagem de fiações e tubulações e, conseqüentemente, diminuindo-se a quantidade de resíduos gerados na obra e otimizando seu tempo de execução.

Além disso, os furos também podem ser utilizados para o embutimento de colunas de sustentação, onde são inseridos o aço e em seguida é feito o preenchimento dos furos com concreto. Esse sistema possibilita uma melhor distribuição da estrutura da edificação, além de gerar economia uma vez que dispensa a utilização de madeira para formas e, conseqüentemente, dispensa gastos com mão de obra de carpintaria.

Os tijolos solo-cimento mais comuns no mercado brasileiro, de acordo com os padrões estabelecidos pela norma ABNT NBR 8491 – Tijolo de Solo-cimento – Requisitos, estão relacionados no Quadro 1 e na Figura 2. Para mais informações, consultar o manual prático da Eco Produção no Anexo A¹.

Quadro 1 –Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil

Tipo	Dimensões	Características
Maciço comum	5 x 10 x 20 cm. 5 x 10 x 21 cm.	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns.
Maciço com encaixes	5 x 10 x 21 cm. 5 x 11 x 23 cm.	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa
½ tijolo com encaixes	5 x 10 x 10,5 cm. 5 x 11 x 11,5 cm.	Elemento produzido para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas
Tijolos com dois furos e encaixes	5 x 10 x 20 cm. 6,25 x 12,5 x 25 cm. 7,5 x 15 x 30 cm.	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.
½ tijolo com furo e encaixe	5 x 10 x 10 cm. 6,25 x 12,5 x 12,5 cm. 7,5 x 15 x 15 cm.	Elemento produzido para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras.
Canaletas	5 x 10 x 20 cm. 6,25 x 12,5 x 25 cm. 7,5 x 15 x 30 cm.	Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais.

Fonte: PISANI, 2005

¹ Disponível em: <https://ecomaquinas.com.br/wp-content/uploads/2022/08/cartilha-eco-producao.pdf>

Figura 2: Modelos de Tijolo Ecológico Modular Solo-cimento



Fonte: (JARFEL, 2017 *apud* SEBRAE, 2022)

Figura 3: Tijolo Ecológico



Fonte: ECO FABER²

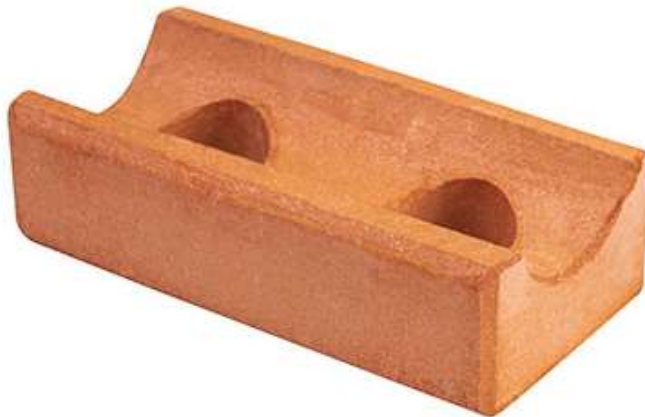
² Disponível em: <https://tijolosecofaber.com.br/tijolo-ecologico/produtos/>

Figura 4: Meio tijolo



Fonte: ECO FABER²

Figura 5: Tijolo tipo canaleta



Fonte: ECO FABER²

2.3. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) consiste na avaliação e comparação dos impactos provenientes de um sistema em seu ciclo de vida. O Ciclo de Vida de um produto ou processo, segundo a NBR ISO 14040, abrange desde a extração de matérias-primas, produção, transporte, construção, utilização, manutenção, até o fim de sua vida útil e gestão de resíduos. Sendo assim, o objetivo da ACV é avaliar o impacto ambiental gerado em todas essas fases. Segundo Soares *et al.*:

O seu princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado. As fronteiras de análise devem considerar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte (o ciclo de vida). Esse procedimento permite uma avaliação científica da situação, além de facilitar a localização de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo que resultem em melhorias no seu perfil ambiental. (2014, p.98)

No contexto da construção civil, Soares *et al.* (2006) afirmam que os estudos de ACV requerem algumas alterações, pois, ao contrário de produtos industriais, que geralmente apresentam vida útil de semanas ou meses, as edificações em geral são caracterizadas por apresentarem vida útil de décadas e até séculos. Nesse contexto, torna-se importante a estruturação das informações coletadas em partes, possibilitando que sejam utilizadas em várias ou apenas em uma única fase do ciclo de vida da edificação em estudo.

Para Campos (2012) a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em edificações visa avaliar os aspectos culturais relacionados ao consumo, tanto na fase de construção quanto na de utilização, promover alternativas de maior desempenho e o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a utilização de fontes de energia renovável. Por outro lado, a ACV aplicada a materiais tem sido empregada para analisar, comparar e fomentar produtos, contribuindo de maneira substancial para a melhoria das decisões ambientais relativas a um dado produto.

De acordo com a NBR ISO 14040 - *Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*, um estudo de ACV é composto por quatro fases, sendo elas:

- a) a fase de definição de objetivo e escopo;
- b) a fase de análise de inventário;
- c) a fase de avaliação de impactos; e
- d) a fase de interpretação.

2.3.1. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

De acordo com a NBR ISO 14044, ao se definir o objetivo de uma ACV, devem ser consideradas a aplicação pretendida; as razões para a realização do estudo; o público-alvo, ou seja, aquele a quem se pretende comunicar os resultados do estudo; se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

Em relação ao escopo da ACV, devem ser considerados o sistema de produto a ser estudado; as funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas; a unidade funcional; a fronteira do sistema; procedimentos de alocação; metodologia de AICV (avaliação de impacto do ciclo de vida) e tipos de impactos; interpretação a ser utilizada; requisitos de dados; pressupostos; escolha de valores e elementos opcionais; limitações; requisitos de qualidade dos dados; tipo de análise crítica, se aplicável; tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

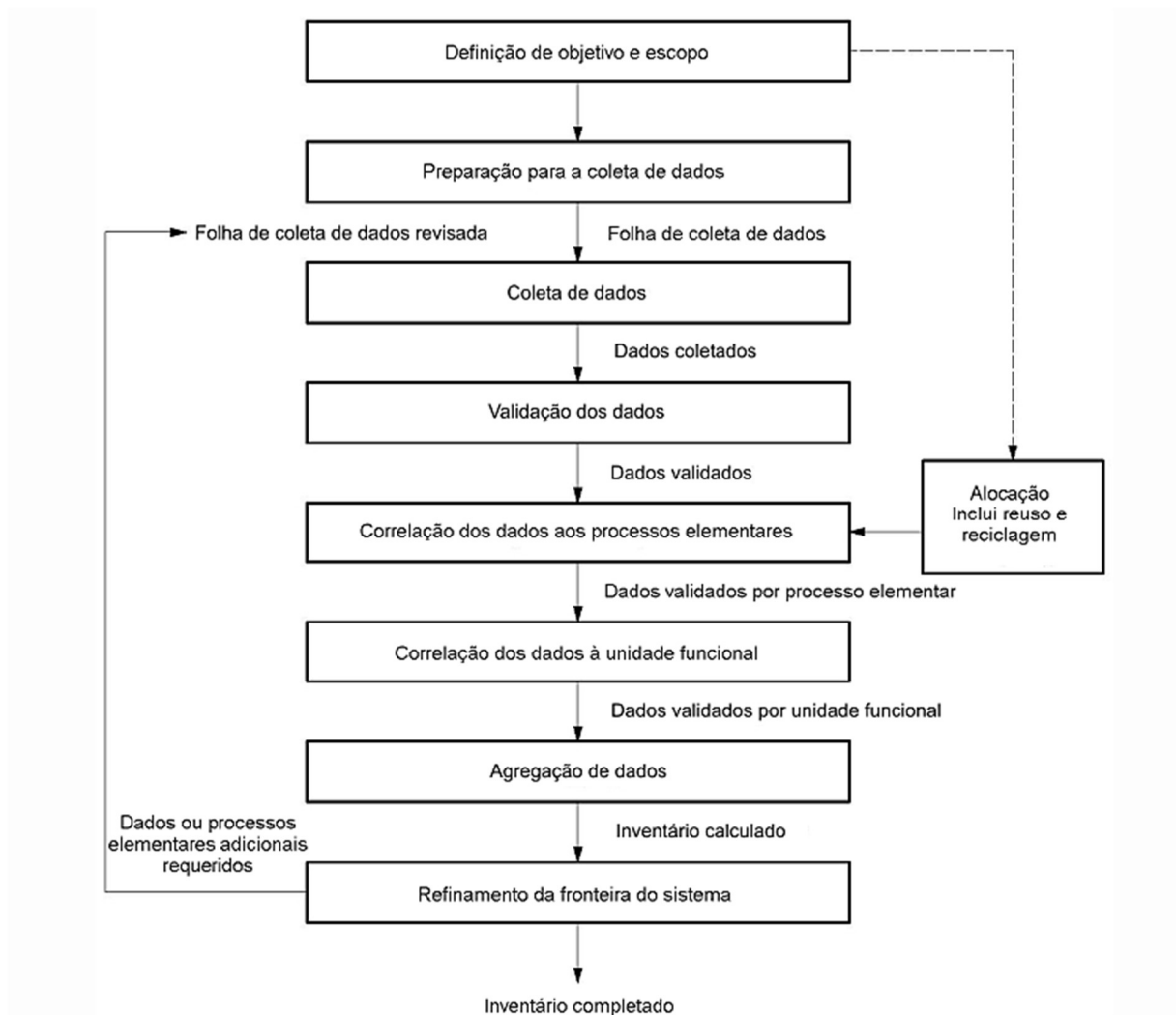
Segundo Barbieri (2004, *apud* CAMPOS, 2012) um estudo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode adotar diferentes abordagens em relação às suas fronteiras e limites. Estas incluem a perspectiva 'do berço ao túmulo', que abrange todas as etapas do ciclo de vida de um produto; a perspectiva 'do berço ao portão da fábrica', que engloba a extração e beneficiamento dos recursos naturais, a fabricação de produtos intermediários e finais; e, por fim, a perspectiva 'do portão da fábrica ao túmulo', que considera a distribuição, uso e descarte final do produto.

2.3.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Esta fase consiste na compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. De acordo com Seo e Kulay (2006, *apud* CAMPOS, 2012) nesta fase são feitas a coleta e a quantificação de todas as variáveis relacionadas ao ciclo de vida do produto, sendo elas: matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos etc.

A NBR ISO 14044 delimita os passos operacionais indicados na Figura 3 para execução da análise de inventário do ciclo de vida.

Figura 6 – Procedimentos simplificados para análise de inventário



Fonte: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009)

2.3.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Esta fase do estudo de ACV tem como objetivo reunir os fatores de impacto em categorias (ou critérios de avaliação) por meio de um modelo apropriado, viabilizando uma análise comparativa entre diferentes opções. Geralmente, essas categorias estão vinculadas a impactos em escalas local (toxicidade e ecotoxicidade etc.), regional (chuvas ácidas, desertificação etc.) e global (efeito estufa, redução da camada de ozônio etc.). (SOARES *et al.*, 2006)

Desta forma, a avaliação dos impactos do ciclo de vida de uma edificação permite a obtenção de indicadores ambientais, de forma que seja traçado um perfil ambiental, possibilitando a compreensão dos impactos causados pela edificação no seu ciclo de vida e o estabelecimento de medidas a serem tomadas para que os

processos envolvidos em sua construção gerem impactos ambientais menores. A mesma premissa pode ser aplicada no processo de fabricação de um material, uma vez que analisado o processo de fabricação e compreendidos os impactos ambientais causados, é possível traçar estratégias de melhoria para que esses processos sejam otimizados ecologicamente.

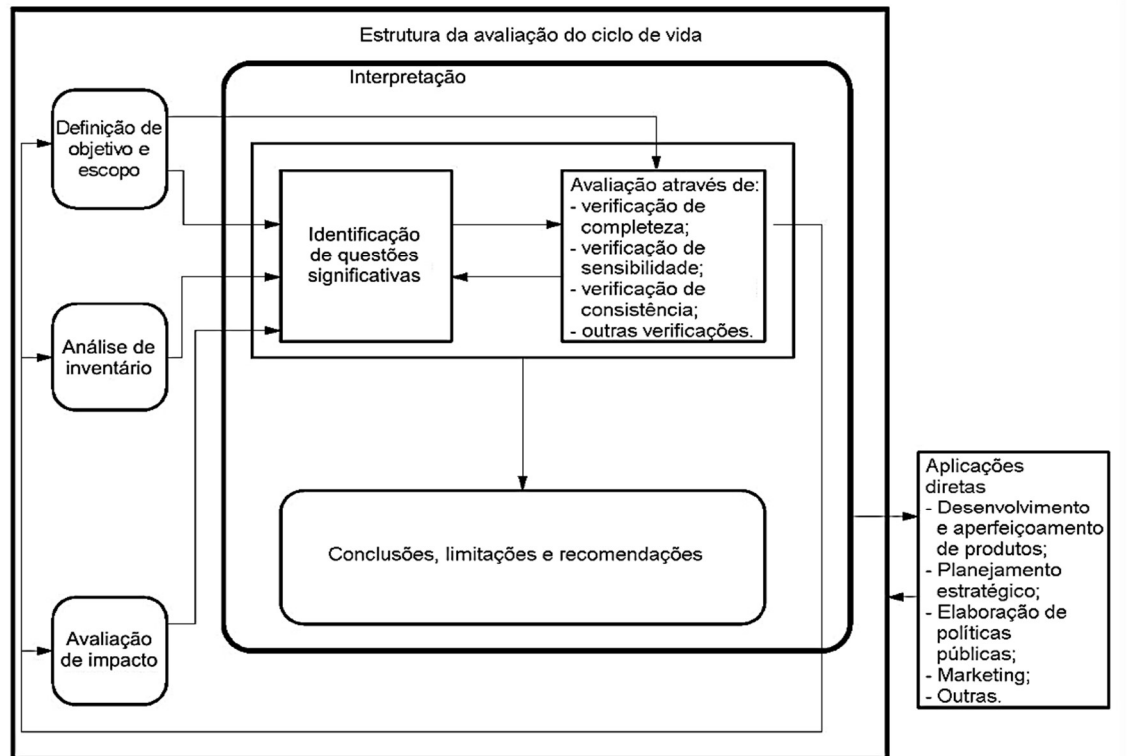
2.3.4. INTERPRETAÇÃO

A interpretação do ciclo de vida de um estudo de ACV, de acordo com a NBR ISO 14044, compreende as etapas seguintes:

- Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV;
- Uma avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência;
- Conclusões, limitações e recomendações

A relação entre a fase de interpretação e as demais fases de ACV é representada na Figura 4.

Figura 7 – Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV



Fonte: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009)

Em suma, é a fase de um estudo de ACV onde são sumarizados e discutidos os resultados de um ICV e/ou AICV, como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo (ABNT NBR ISO 14040:2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PROJETO MODELO

Criada em 16 de abril de 1991, pelo decreto nº 100, a Funasa (Fundação Nacional de Saúde) é uma instituição federal pública vinculada ao Ministério da Saúde, cujo intuito é promover soluções de saneamento para a prevenção e controle de doenças, além de formular e implementar ações de promoção e proteção à saúde, contribuindo para a melhoria das condições de vida de populações carentes.

Nesse contexto, em 2013 a Funasa implementou o Programa de Melhorias Habitacionais Para o Controle da Doença de Chagas, a fim de se promover ações de melhorias para as moradias de comunidades carentes, uma vez que a proliferação da doença através de seu vetor, popularmente conhecido como barbeiro, está diretamente relacionada a condições precárias das moradias nessas comunidades.

Fazem parte do escopo desse programa:

- A **reestruturação**: reforma de domicílios com a finalidade de recuperar ou substituir parte da habitação;
- A **reconstrução**: nos casos em que a habitação não suporte os serviços de restauração.

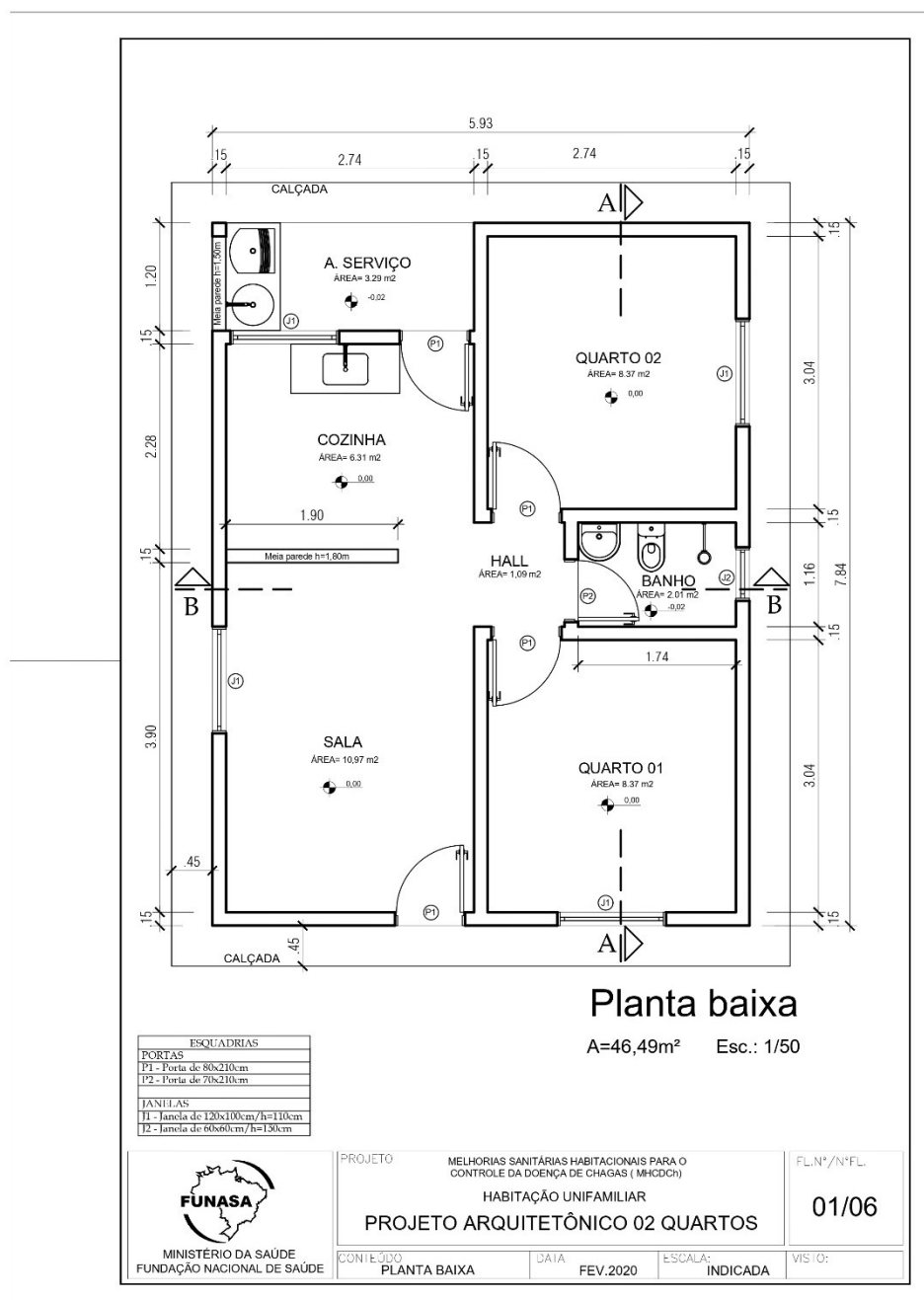
Para os casos em que é necessária a reconstrução dos domicílios, a Funasa disponibiliza projetos técnicos como bases a serem seguidas. De acordo com Mota (2021), esses modelos de projetos disponibilizados pela fundação não buscam definir padrões a serem adotados, mas oferecer subsídios e sugestões que devem ser adequadas à localidade em que serão implementados.

Em paralelo com Mota (2021), optou-se por utilizar nesta pesquisa um dos projetos disponibilizados pela Funasa para o Programa de Melhorias Habitacionais Para o Controle da Doença de Chagas, que apresenta soluções simples e se baseia em métodos construtivos tradicionais.

O projeto consiste em uma habitação unifamiliar com área construída de aproximadamente 45m², distribuídos em sala e cozinha integrados, dois quartos, banheiro e área de serviço. Na figura 5 é apresentada a planta baixa da edificação

proposta. As especificações de projeto, bem como plantas, projetos complementares e planilhas orçamentárias podem ser encontrados no site da Funasa³. O projeto arquitetônico está disponível no Anexo B.

Figura 8: Planta baixa do projeto modelo



Fonte: Funasa (2021)

³ <http://www.funasa.gov.br/web/guest/melhorias-habitacionais-para-o-controle-da-doenca-de-chagas>

3.1.1. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO PARA A ALVENARIA

O projeto proposto pela Funasa traz algumas especificações técnicas a respeito da execução dos serviços e dos materiais a serem utilizados. Abaixo estão relacionadas algumas informações relevantes.

Alvenaria: Sugerido o uso de blocos cerâmicos de vedação, com resistência à compressão igual ou superior a 2,5 MPa e dimensões nominais de 9x19x19cm. Recomenda-se que sejam assentados em juntas de 1,0cm de argamassa com traço 1:5 de cimento e areia média lavada.

Para os estudos propostos utilizando o projeto em questão como unidade funcional, tomou-se a liberdade de modificar essa recomendação, utilizando-se para as alvenarias da edificação tijolos ecológicos de solo-cimento em um primeiro cenário, blocos cerâmicos em um segundo cenário e, por fim, utilizando-se blocos de concreto de vedação.

Revestimento: A alvenaria deverá ser chapiscada com argamassa traço 1:3 de cimento com areia fina e, posteriormente, revestida com emboço de 1,0cm traço 1:2:8 de cimento, cal e areia. São especificadas ainda o uso de cerâmica para o revestimento de paredes em áreas molhadas.

Pintura: No caderno de especificações disponibilizado pela Funasa é recomendado que as paredes sejam pintadas com tinta PVA látex em duas demãos.

Figura 9: Maquete 3D do projeto modelo



Fonte: Mota (2021)

Figura 10: Vista interna da sala/cozinha



Fonte: Mota (2021)

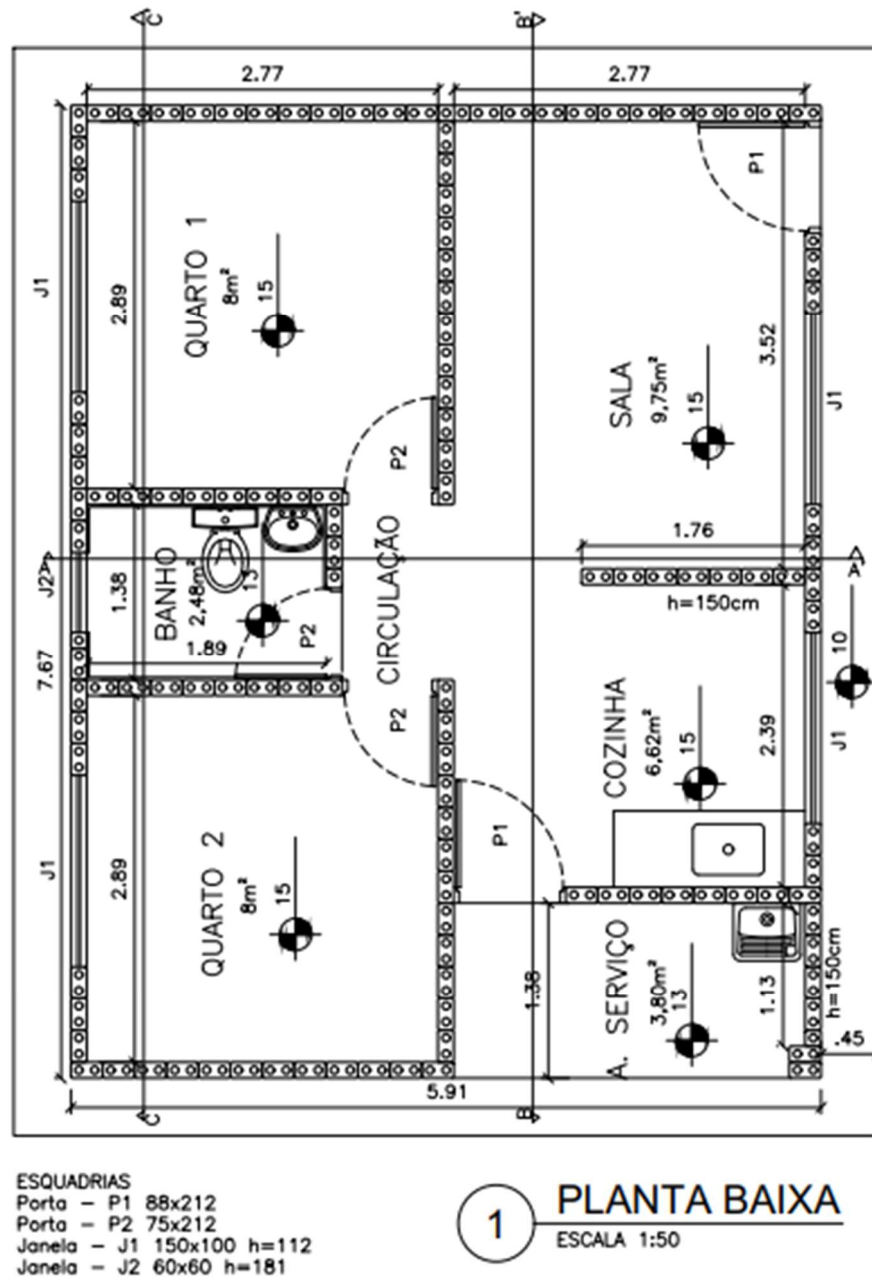
3.1.2. PROJETO MODELO ADAPTADO AO USO DO TIJOLO ECOLÓGICO DE SOLO-CIMENTO

Mota (2021), propôs uma adaptação da versão de 2017 do projeto apresentado pela Funasa, buscando o uso de soluções sustentáveis de forma que as características básicas do projeto fossem mantidas.

Para a alvenaria foi proposta a substituição do tijolo cerâmico furado por tijolo solo-cimento com dimensões 12,5x25x6,25cm e seus complementos (meio bloco 12,5x12,5x6,5 cm; canaleta 12,5x25x6,25 cm). Para isso foi necessário realizar a adaptação do projeto base para a modulação do tijolo, conforme apresentado na Figura 8, ocasionando em algumas alterações do projeto base, mas mantendo-se a área final da edificação.

Para os estudos de emissão de CO₂ e ACV propostos neste trabalho, entretanto, não foram levadas em consideração as alterações necessárias para modulação do projeto, visto que as alterações de áreas são irrelevantes, o que não acarretaria grandes alterações nos resultados.

Figura 11: Planta baixa alterada para modulação



Fonte: Mota (2021)

Figura 12: Reprodução 3D do projeto alterado



Fonte: Mota (2021)

Figura 13: Vista interna do modelo alterado



Fonte: Mota (2021)

3.2. COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Para levantamento dos índices utilizados no estudo comparativo, foram considerados dois cenários. No primeiro, avaliou-se a edificação do ponto de vista dos indicadores obtidos através de AICV, método 2002+, realizados por Quantis (2012) e Carvalho *et al.* (2021), no segundo cenário foram avaliadas as emissões de CO₂ com amparo das pesquisas de Cunha (2016) e Tavares (2006).

3.2.1. AICV MÉTODO 2002+

3.2.1.1. COMPOSIÇÃO DAS ALVENARIAS

O estudo realizado por Quantis (2012), utiliza como unidade funcional 1m² de alvenaria dos tijolos cerâmico e de concreto, e o estudo de Carvalho *et al.* (2021), utiliza 1m² da alvenaria de tijolo solo-cimento, moldado in loco.

Carvalho (2021) considerou em seu estudo blocos de 25cm de comprimento, 12,5cm de largura e 6,25cm de altura. Os blocos são vazados em dois furos de 5cm com estrutura para encaixe. Para assentamento, foi considerada a utilização de argamassa em traço 1:6 (cimento, solo). É válido ressaltar, ainda, que os blocos utilizados para a unidade funcional do estudo de Carvalho *et al.* (2021) são moldados in loco com a utilização de prensa hidráulica ou mecânica. Além disso, não foram considerados materiais de revestimento nas paredes.

Tabela 1 – Material necessário para produção de 1m² de alvenaria

MATERIAL	QUANTIDADE (kg)
Solo	89,21
Areia	36,08
Cimento	11,76

Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2021)

No estudo realizado pela Quantis (2012) foram considerados os materiais conforme a Tabela 2. Os blocos, tanto o cerâmico como o de concreto, possuem

dimensões 14cm x 19cm x 39cm. Para a argamassa de assentamento foi considerado o traço 1:0.6:5 de cimento:cal:areia.

Tabela 2 – Composição das alvenarias de bloco cerâmico e bloco de concreto

CARACTERÍSTICAS	BLOCOS CERÂMICOS	BLOCOS DE CONCRETO
Peso do bloco (kg)	7,5	12
Espessura da parede	0,14	0,14
Material necessário para construção de 1m ²	13 blocos	13 blocos
	15 Kg de argamassa	15 Kg de argamassa
	0,4Kg de haste de aço	0,4Kg de haste de aço
Argamassa para revestimento	62,5 Kg de revestimento seco	62,5 Kg de revestimento seco
	5,75 L de água	5,75 L de água

Fonte: Adaptado de Quantis (2012)

3.2.1.2. CLASSES DE IMPACTO

Ambos os estudos utilizam o método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) IMPACT 2002+, método este que avalia 16 categorias de potenciais impactos, agregando-os posteriormente em 4 indicadores, sendo eles:

a) **Mudança Climática (kg CO₂ eq)**: este indicador é utilizado para quantificar a contribuição que as substâncias emitidas durante o ciclo de vida de um produto têm para o aquecimento global. São diversos os gases que contribuem para esse fenômeno ambiental, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), mas cada um tem um Potencial de Aquecimento Global (PAG) diferente. O PAG é uma medida que reflete o quanto de calor um gás pode reter na atmosfera em comparação ao CO₂, ao longo de um determinado período (geralmente 100 anos). O indicador é expresso em quilogramas de CO₂ equivalente (kg CO₂eq);

b) **Saúde Humana (DALY)**: Esse indicador avalia os efeitos que substâncias tóxicas, liberadas durante o ciclo de vida de um produto, podem ter na saúde humana, seja através de toxicidade aguda, toxicidade baseada em câncer, efeitos respiratórios, aumentos da radiação UV e outras causas. Esses efeitos são expressos em termos de anos de vida perdidos, devido a doenças ou incapacidades, por exposição às

substâncias tóxicas. É expresso em DALY, sigla para Disability-Adjusted Life Years (Anos de Vida Ajustados por Incapacidade);

c) **Qualidade do Ecossistema (PDF·m²·yr)**: indicador utilizado para avaliar como os diferentes estágios do ciclo de vida de um produto impactam na biodiversidade e na qualidade dos ecossistemas. Avalia a degradação e perda de habitats naturais e o impacto consequente nas espécies que neles vivem. PDF (Potentially Disappeared Fraction) representa a fração de espécies que podem desaparecer, m² refere-se à extensão da área geográfica afetada pelo impacto, e yr (year) representa o período em que o impacto persiste;

D) **Depleção de recursos (MJ)**: Avalia o esgotamento de recursos não renováveis ou o uso além da capacidade de renovação dos recursos renováveis. A medida desse indicador é expressa em mega joules.

3.2.1.3. LEVANTAMENTO DE DADOS E APLICAÇÃO NO PROJETO MODELO

Para levantamento dos dados a serem aplicados no projeto modelo, foram considerados apenas os índices obtidos por Quantis (2012) e Carvalho *et al.* (2021), visto que a unidade funcional de cada estudo considera o m² da alvenaria. Na Tabela 3 foram expressos os índices por m², considerando-se os três cenários propostos para substituição dos materiais de vedação.

Tabela 3 – Resultados da AICV para o m² da alvenaria

CATEGORIA DE IMPACTO	TIJOLO SOLO-CIMENTO	BLOCO CERÂMICO	BLOCO CONCRETO
Saúde Humana (DALY)	6,64E-06	3,10E-05	3,60E-05
Qualidade Do Ecossistema (PDF·m ² ·yr)	2,57E+00	7,00E+00	1,10E+01
Mudança Climática (kg CO ₂ eq)	1,13E+01	3,20E+01	6,40E+01
Depleção De Recursos (MJ)	7,05E+01	3,90E+02	6,80E+02

Fonte: Autoria própria

Para aplicação dos índices obtidos, foram consideradas as informações do caderno técnico disponibilizado pela Funasa para o projeto modelo. Desta forma, foi considerada a área de 112,5 m² de alvenaria, obtendo-se os resultados discriminados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da AICV aplicado ao projeto modelo

CATEGORIA DE IMPACTO	TIJOLO SOLO-CIMENTO	BLOCO CERÂMICO	BLOCO CONCRETO
Saúde Humana (DALY)	7,47E-04	3,49E-03	4,05E-03
Qualidade Do Ecossistema (PDF·m ² ·yr)	2,89E+02	7,88E+02	1,24E+03
Mudança Climática (kg CO ₂ eq)	1,27E+03	3,60E+03	7,20E+03
Depleção De Recursos (MJ)	7,93E+03	4,39E+04	7,65E+04

Fonte: Autoria própria

3.2.2. QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

A partir da pesquisa realizada por Cunha (2016), que avaliou as emissões de CO₂ em residências unifamiliares considerando o uso de diferentes materiais na construção da alvenaria, foi possível quantificar as emissões relacionadas ao uso do tijolo ecológico solo-cimento, bem como do bloco cerâmico e do bloco de concreto.

Cunha (2016) realizou a quantificação das emissões de CO₂ associadas aos materiais de construção, utilizando como base a pesquisa de Tavares (2006), que quantificou a energia embutida nesses materiais. A energia embutida refere-se aos insumos energéticos utilizados nos processos de fabricação e transporte desses materiais. Nas tabelas 5, 6 e 7 foram relacionadas a energia embutida em alguns materiais de construção, o consumo primário de energia por fonte, dos materiais e as emissões de CO₂ provenientes de cada fonte de energia.

Tabela 5: Energia embutida em alguns materiais de construção

MATERIAIS	EE (MJ/m³)
Areia	80
Bloco de Concreto	2000
Tijolo de solo-cimento	1020
Cal virgem	4500
Cerâmica Vermelha	4060
Cimento Portland	8190

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Tabela 6: Consumo primário de energia por fontes em % MJ nos materiais de construção

MATERIAIS	FONTES NÃO RENOVÁVEIS						FONTES RENOVÁVEIS			TOTAL
	Óleo Diesel e Combustível	GLP	Coque de Petróleo	Carvão Mineral	Coque de Carvão Mineral	Elettricidade	Carvão Vegetal	Lenha	Outras	
Areia	99					1				100%
Argamassa	86		10			4				100%
Cal	12					8		80		100%
Cerâmica vermelha	4	8				2		85	1	100%
Cimento	3		61	8		12	9		7	100%
Tintas	90					10				100%

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Tabela 7: Emissão de CO₂ por fontes de energia

FONTE	CO₂ (%)
Elettricidade	0,0181
Óleo combustível (diesel)	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de carvão mineral	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão vegetal	0,0510
Lenha	0,0816
Outros	0,0357

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Cunha (2016) vale-se da seguinte equação para cálculo das emissões de CO₂ por material:

$$CO_2 = \sum_{m=1}^n CP_m * G_m * EE_m$$

Onde:

CO₂ = Emissão de CO₂ por materiais (CO₂/MJ)

CP_m = Consumo primário dos materiais (kgCO₂/MJ) (Tabela 7)

G_m = Geração de CO₂ dos materiais (%MJ) (Tabela 6)

EE_m = Energia Embutida dos materiais (MJ/m³) (Tabela 5)

Na Tabela 8, foram considerados o consumo e a quantidade necessária de cada tipo de bloco para a fabricação de 1m² de alvenaria e as respectivas emissões de CO₂ desse quantitativo. Foram adotadas as mesmas unidades funcionais adotadas por Cunha (2016), sendo elas o tijolo solo-cimento de dimensões 30x15x7,5cm, tendo rendimento de 45 unidades por m², blocos cerâmicos de dimensão 9x14x19 cm, com rendimento de 50 unidades por m² e bloco de concreto com dimensões 14x19x39 cm, com rendimento de 14 unidades por m².

Tabela 8: Rendimento dos blocos e emissões de CO₂ por m² de alvenaria

MATERIAL		CONSUMO	PERDA	EMISSIONES DE CO ₂	TOTAL DE EMISSIONES DE CO ₂
Bloco solo-cimento	UN	45,00	1%	3,26	148,17
Bloco cerâmico	UN	50,00	5%	19,59	1028,48
Bloco de concreto	UN	14,00	3%	145,56	2098,98

Fonte: Autoria própria

Para fins de avaliação das emissões de CO₂ na alvenaria da edificação também foram consideradas as emissões provenientes da argamassa de assentamento dos blocos. Cunha (2016) propõe em seu estudo o mesmo tipo de argamassa de assentamento para os três cenários. Entretanto, a fim de se considerar o mínimo de emissões possíveis, para este estudo foi considerada argamassa solo:cimento com traço 6:1, conforme proposto no estudo de Carvalho *et al.* (2021), para assentamento dos tijolos solo-cimento. Desta forma, considerou-se apenas as

emissões de CO₂ relacionadas ao cimento e à areia utilizada para correção do solo. Na Tabela 10 foram apresentados os quantitativos de materiais necessários para a argamassa de assentamento utilizada na construção de 1m² de alvenaria e as emissões de CO₂ embutidas nesse quantitativo, expressas em kg.

Tabela 9: Material necessário para argamassa de assentamento em 1m² de alvenaria

SOLO (kg)	AREIA (kg)	CIMENTO (kg)
7,29	2,95	1,52

Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2021)

Tabela 10: Emissão de CO₂ da argamassa por m² de alvenaria do tijolo solo-cimento

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO₂ POR MATERIAIS	CO₂ TOTAL
Cimento	KG	1,52	41,96	63,78
Areia	M3	0,001638	6,45	0,01
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				63,79

Fonte: Autoria própria

Nas tabelas 11 e 12 foram quantificadas as emissões para as argamassas de assentamento dos blocos cerâmicos e de cimento. Para tal, considerou-se o mesmo traço utilizado por Cunha (2016), sendo este 1:2:9 (cimento:cal:areia).

Tabela 11: Emissões de CO₂ da argamassa por m² de alvenaria em bloco cerâmico

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO₂ POR MATERIAIS	CO₂ TOTAL
Cimento	KG	3,2886	41,96	137,99
Cal	KG	3,2886	343,37	1129,21
Areia	M3	0,0248	6,45	0,16
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				1267,36

Fonte: Adaptado de Cunha (2016)

Tabela 12: Emissões de CO₂ da argamassa por m² de alvenaria em bloco de concreto

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO ₂ POR MATERIAIS	CO ₂ TOTAL
Cimento	KG	4,4631	41,96	187,27
Cal	KG	4,4631	343,37	1532,49
Areia	M3	0,034	6,45	0,22
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				1719,99

Fonte: Adaptado de Cunha (2016)

Para os blocos cerâmicos foram considerados 0,0203m³ de argamassa por metro quadrado de alvenaria executada, enquanto para os blocos de concreto adotou-se o volume de 0,02755 m³ de argamassa por metro quadrado.

Os quantitativos de materiais adotados para quantificação das emissões relativas ao revestimento das alvenarias foram os mesmos adotados por Cunha (2016), sendo eles:

- 0,5 cm de chapisco, composto de argamassa traço 1:3 de cimento e areia média ou grossa;
- 1,5 cm de emboço, composto de argamassa traço 1:2:8 de cimento, cal hidratada e areia;
- 0,5 cm de reboco, composto de argamassa traço 1:2 de cimento e areia.

Na Tabela 13 estão relacionadas as emissões de CO₂ referentes ao revestimento das alvenarias.

Tabela 13 – Emissões do revestimento por m² de alvenaria

CHAPISCO				
MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO ₂ POR MATERIAIS	CO ₂ TOTAL
Cimento	KG	2,43	41,96	101,96
Areia	M3	0,0061	6,45	0,04
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				102,00
EMBOSSO				
MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO ₂ POR MATERIAIS	CO ₂ TOTAL

Cimento	KG	3,644	41,96	152,90
Cal	KG	3,644	343,37	1251,24
Areia	M3	0,0244	6,45	0,16
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				1404,30

REBOCO				
MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	CO₂ POR MATERIAIS	CO₂ TOTAL
Cimento	KG	1,825	41,96	76,58
Areia	M3	0,005	6,45	0,03
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO₂ (kg)				76,61

Fonte: Adaptado de Cunha (2016)

Por fim, conforme relacionado na Tabela 14, foram quantificadas as emissões totais de CO₂ embutidas na edificação em estudo considerando-se a alvenaria construída com os três tipos de tijolo, a argamassa de assentamento e o revestimento. Para o cenário em que se utiliza o tijolo solo-cimento, foram desprezadas as emissões referentes ao revestimento, visto que este pode ser substituído por resina acrílica. Entretanto, não foram encontrados dados esmiuçados que levassem em consideração as emissões de CO₂ provenientes desse material.

Tabela 14 – Emissões totais de CO₂ (em toneladas) para a edificação

ALVENARIA	ÁREA	TIJOLO SOLO-CIMENTO	BLOCO CERÂMICO	BLOCO DE CONCRETO
Alvenaria	112,50	16,67	115,70	236,13
Argamassa de assentamento	112,50	7,18	142,58	193,50
Revestimento	225,00	-	356,16	356,16
TOTAL DE EMISSÕES		23,85	614,44	785,79

Fonte: Autoria própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

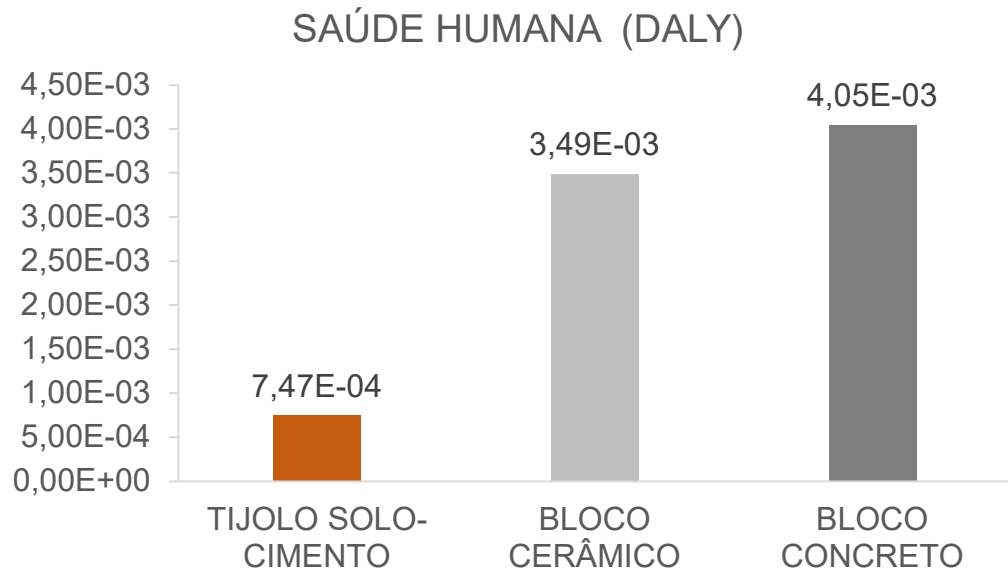
4.1. RESULTADOS DA AICV

Os dados obtidos através dos números levantados por Carvalho *et al.* (2021) e Quantis (2012), mostram que o tijolo solo-cimento apresenta resultados consideravelmente menores em todas as categorias de impactos. Entretanto, é importante ressaltar que Carvalho *et al.* (2021) considera em seu estudo apenas os impactos referentes aos blocos e a argamassa de assentamento, não analisando a contribuição do aço e da argamassa de grauteamento necessários para o sistema estrutural da alvenaria construída com o uso do tijolo solo-cimento.

É necessário ressaltar, também, que o estudo realizado pela Quantis (2012) considerou os dados referente aos materiais estudados do berço ao túmulo (cradle-to-grave), enquanto Carvalho *et al.* (2021) considerou os dados referentes do berço ao portão (cradle-to-gate), ou seja, os dados encontrados através da pesquisa realizada por Quantis (2012) apresentam dados majorados, uma vez que consideram também o fim da vida útil da alvenaria, levando em conta emissões e energia necessárias para o transporte desse material até o seu destino final, enquanto Carvalho *et al.* (2021) considera apenas os dados referentes ao processo de fabricação e construção da alvenaria na obra.

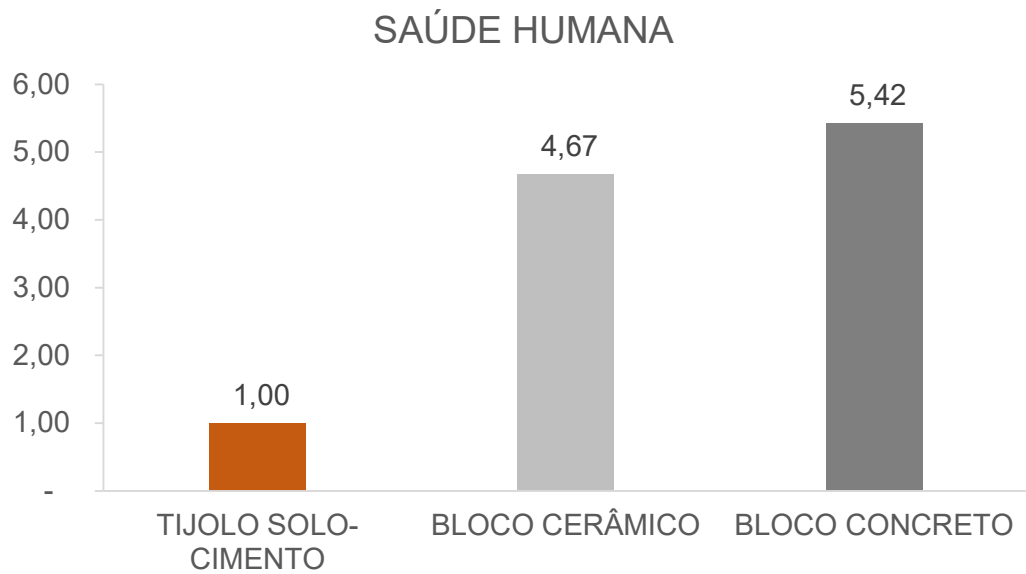
Nas figuras 14 a 21 são apresentados os resultados aplicados à edificação em estudo, traçando-se um comparativo entre os diferentes materiais considerados na construção da alvenaria. Os gráficos 14, 16, 18 e 20 mostram os resultados obtidos para cada categoria de impacto em suas respectivas unidades de medidas, já os gráficos 15, 17, 19 e 21 traçam um comparativo proporcional entre os resultados encontrados para o tijolo solo-cimento e os demais materiais, dentro de cada categoria de impacto.

Figura 14 – Dados obtidos para o indicador Saúde Humana



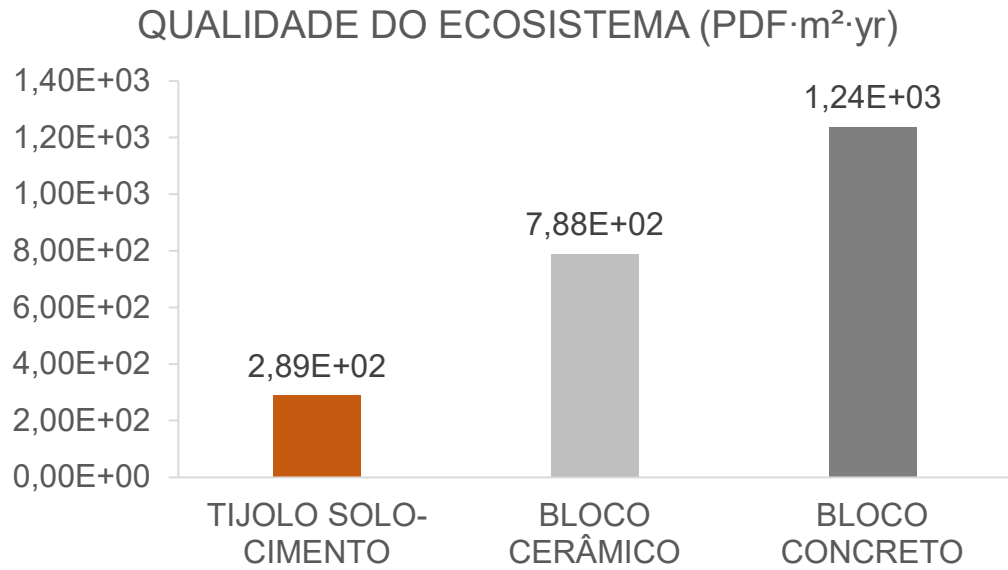
Fonte: Autoria própria

Figura 15 – Comparativo proporcional para o indicador Saúde Humana



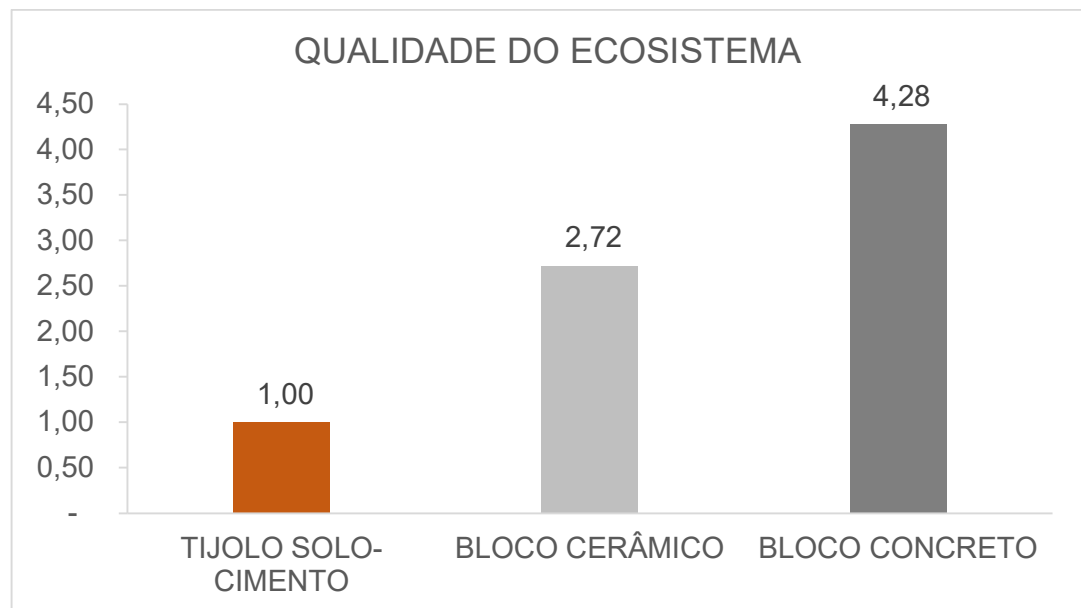
Fonte: Autoria própria

Figura 16 – Dados obtidos para o indicador Qualidade do Ecossistema



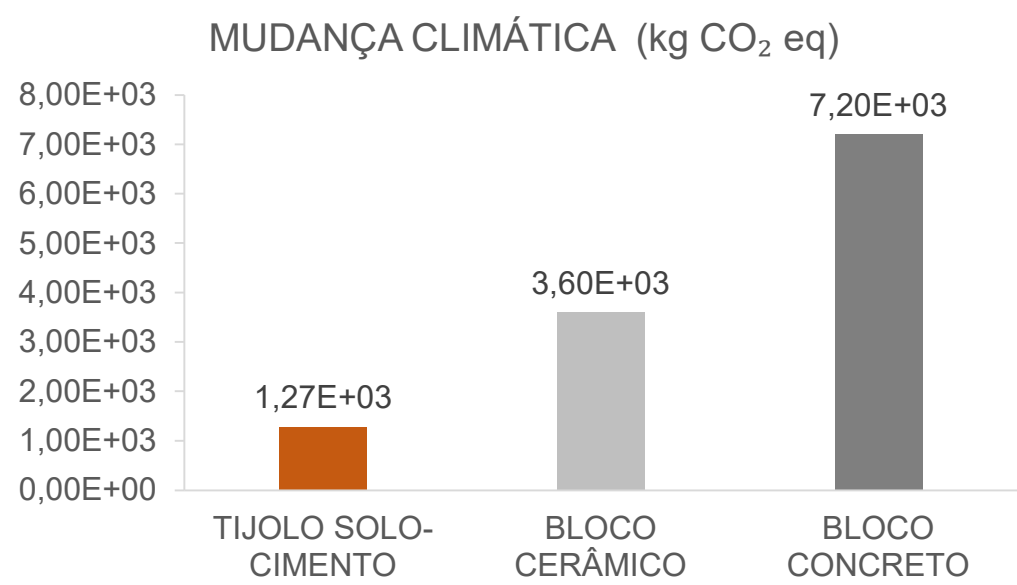
Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Comparativo proporcional para o indicador Qualidade do Ecossistema



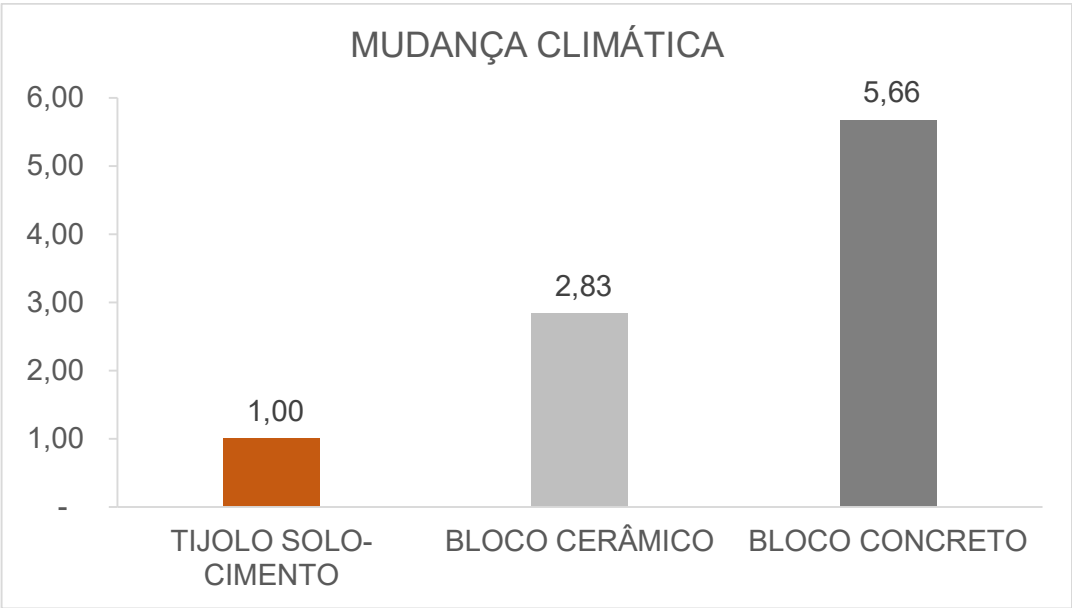
Fonte: Autoria própria

Figura 18 – Dados obtidos para o indicador Mudança Climática



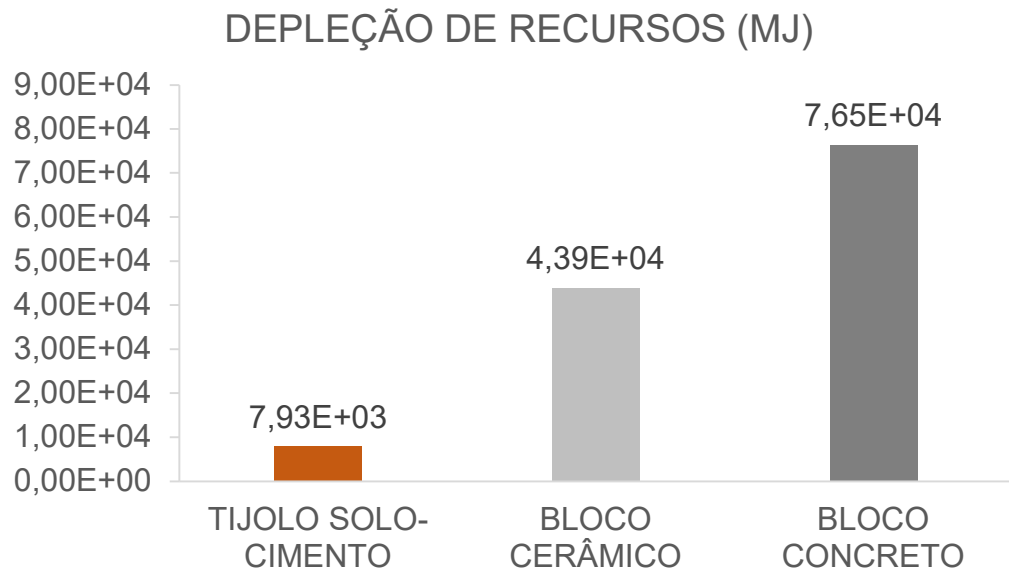
Fonte: Autoria própria

Figura 19 – Comparativo proporcional para o indicador Mudança Climática



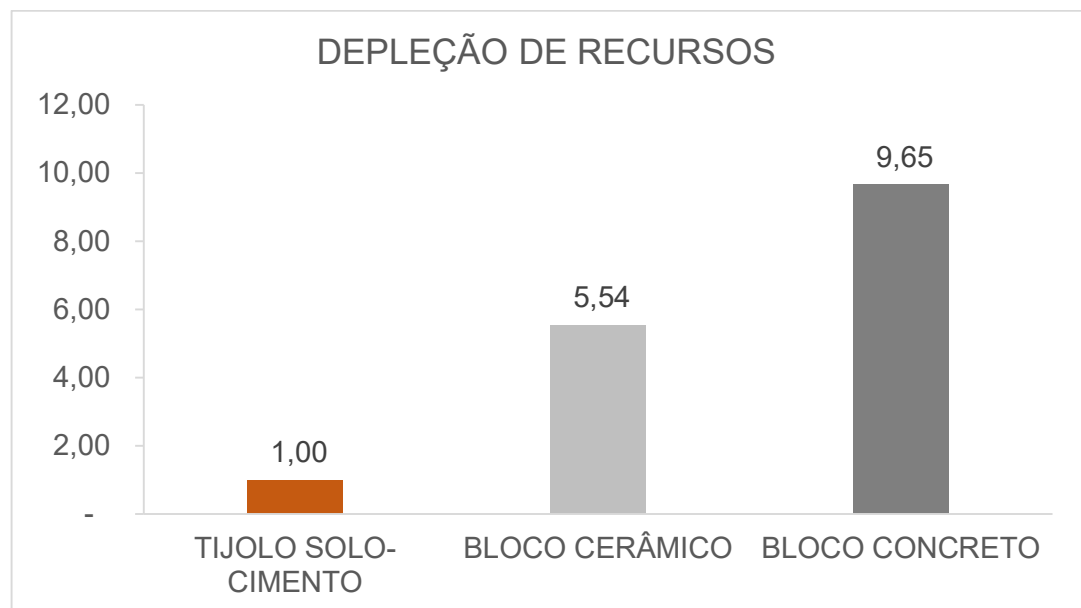
Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Dados obtidos para o indicador Depleção de Recursos



Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Comparativo proporcional para o indicador Depleção de Recursos



Fonte: Autoria própria

Observa-se que os dados encontrados apresentam números consideravelmente menores para o cenário onde adotou-se o uso do tijolo solo-cimento, visto que o aço e o concreto são materiais cujos processos de extração e fabricação geram grandes emissões de gases nocivos ao meio ambiente e estes não foram considerados na unidade funcional adotada por Carvalho *et al.* (2021). Entretanto, Caldas e Toledo Filho (2021), que traçaram o mesmo comparativo através

de uma metodologia de ACV diferente, também obtiveram um cenário mais favorável ao tijolo solo-cimento.

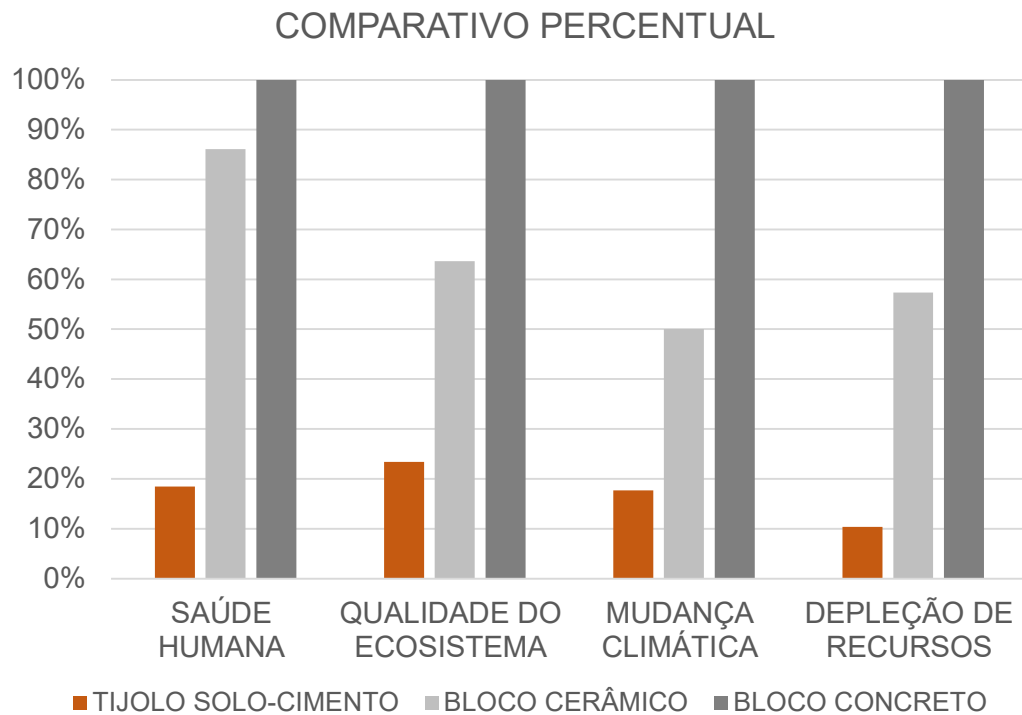
Através dos gráficos que fazem o comparativo proporcional entre os resultados obtidos para o tijolo solo-cimento e os demais materiais, é possível destacar os resultados por volta de cinco vezes maiores do bloco de concreto para os indicadores Saúde Humana, Mudança Climática e Qualidade do Ecossistema e quase dez vezes maiores para o indicador Depleção de Recursos, mostrando-se assim o grande impacto que o cimento desempenha na fabricação desse material. Em relação ao bloco cerâmico também observou-se um número mais significativos para o indicador Depleção de Recursos, onde o resultado é cerca de cinco vezes maior do que o obtido para o tijolo solo-cimento, enquanto nos demais o resultado foi cerca de três vezes maior, exceto para o indicador Saúde Humana, onde o tijolo cerâmico apresentou resultado próximo ao obtido para o bloco de concreto.

Caldas e Toledo Filho (2021) concluíram em seu estudo que a etapa de fim de vida da alvenaria representa cerca de 20% dos valores obtidos para as categorias de impacto, considerando nessa fase o consumo de diesel para a demolição, transporte e aterro dos resíduos. Se adotado esse número como margem de erro para os resultados obtidos, ainda teríamos um cenário favorável ao tijolo solo-cimento em todas as categorias de impacto.

Carvalho *et al.* (2021) propõe ainda a adição parcial ou substituição do cimento na composição do tijolo solo-cimento por cal e resíduo cerâmico, obtendo resultados ainda menores nas categorias de impacto. Entretanto, a fim de se traçar o comparativo para o projeto proposto, foi escolhida a composição mais comum, utilizando proporções 10:1 de solo e cimento.

O sistema de alvenaria estudado por Carvalho *et al.* (2021) leva ainda em consideração a utilização de argamassa para o assentamento dos tijolos, em traço 1:6 (cimento, solo), com uso menor de cimento e sem a adição de cal, ao contrário da alvenaria estudada pela Quantis (2012). Entretanto, o uso dessa argamassa poderia ser substituído por cola branca, sendo, possivelmente, ainda mais favorável do ponto de vista ambiental.

Figura 18 – Comparativo percentual

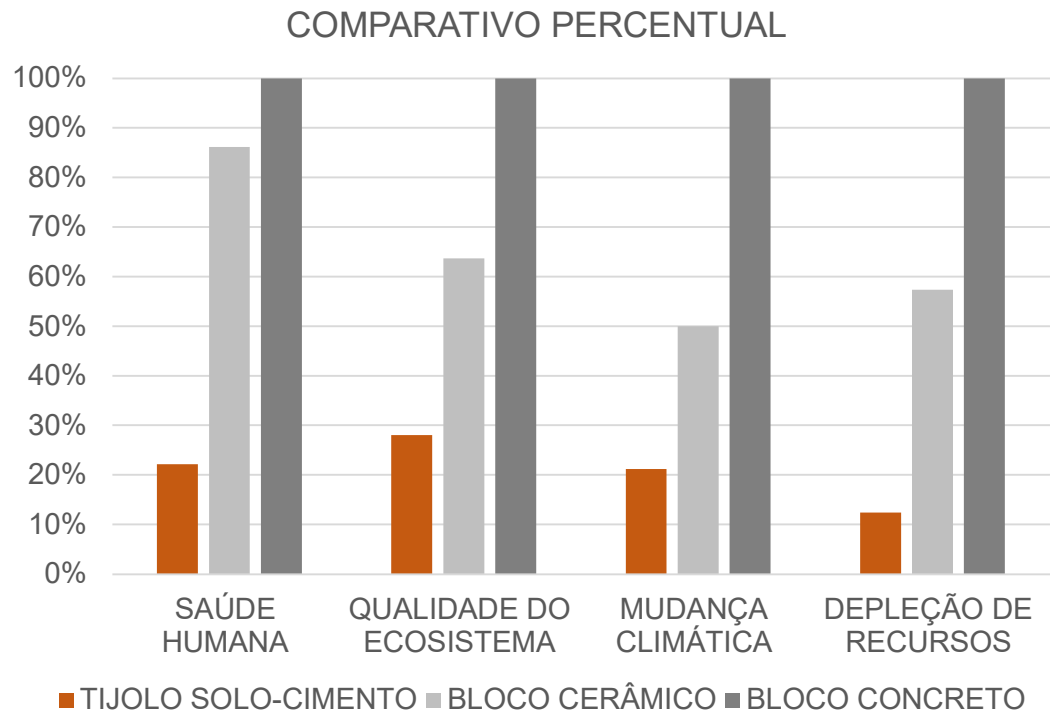


Fonte: Autoria própria

Através do comparativo feito na Figura 18 é possível observar que os resultados do tijolo solo-cimento são favoráveis em todas as categorias de impacto, ficando este com números em torno dos 20% em relação aos demais materiais. A diferença mais expressiva, entretanto, apresenta-se na categoria Depleção de Recursos, onde o tijolo solo-cimento apresenta resultados que somam cerca de 10% do valor obtido para o bloco de concreto, material que se mostrou ambientalmente menos favorável em todas as categorias de impacto.

A fim de se constatar a vantagem do tijolo solo-cimento, o mesmo comparativo foi feito considerando-se uma margem de erro de 20% para o tijolo solo-cimento, índice de contribuição do fim de vida estimado por Caldas e Toledo Filho (2021), conforme citado anteriormente. Ainda assim é possível observar que o material apresenta resultados menores, mostrando-se mais favorável do ponto de vista ambiental.

Figura 19 – Comparativo percentual com margem de erro

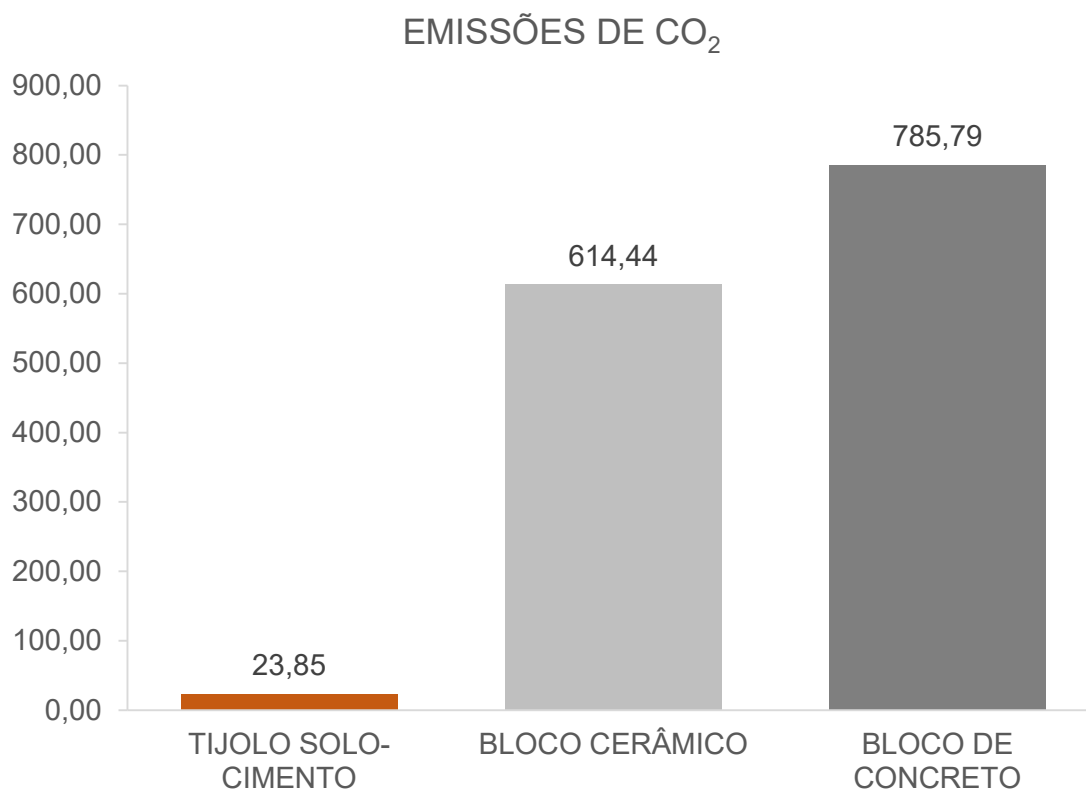


Fonte: Autoria própria

4.2. RESULTADOS DA QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂

Para a quantificação das emissões de CO₂ considerando-se os 3 cenários propostos para a construção da alvenaria, observou-se um resultado expressivamente favorável para o tijolo solo-cimento, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Emissões totais de CO₂ do projeto modelo em toneladas



Fonte: Autoria própria

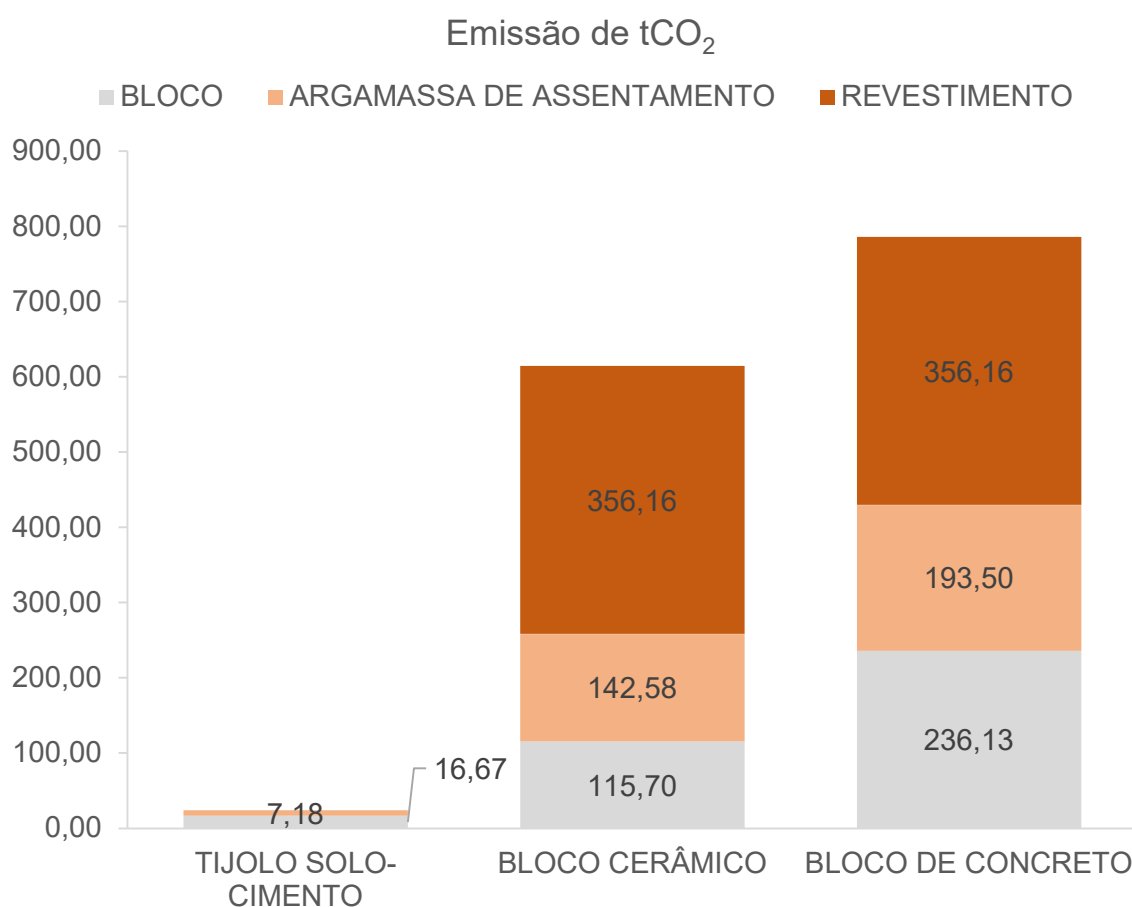
O traço considerado para argamassa de assentamento na alvenaria do tijolo solo-cimento mostrou-se substancialmente mais favorável, uma vez que reduziu em cerca de 80% as emissões de CO₂, comparadas à argamassa utilizada no estudo de Cunha (2016). Essa diferença deve-se à utilização da cal, que dentre os três materiais, é o maior emissor de CO₂.

Entretanto, é válido ressaltar que esta argamassa ainda utiliza o cimento, material este que devido ao seu processo de fabricação é responsável por emissões altas de CO₂ na atmosfera. Embora não tenha sido considerado no estudo, a utilização da cola branca para o assentamento dos blocos pode ser uma opção favorável,

reduzindo ainda mais as emissões de CO₂ embutidas na alvenaria de tijolo solo-cimento.

Na Figura 21 é possível notar que, nos cenários propostos, o revestimento das paredes é responsável pela maior parte das emissões quando considerada a edificação como um todo. Logo, a alvenaria feita com o uso do tijolo solo-cimento mostrou-se ambientalmente mais favorável, uma vez que toda a camada de revestimento com argamassa pode ser substituída pelo uso de resina acrílica.

Figura 21 – Emissões de CO₂ por componente da alvenaria



Fonte: Autoria própria

Entretanto, é necessário levar em conta que as emissões da resina, não consideradas nessa pesquisa, poderiam elevar o quantitativo de emissões da alvenaria de tijolo solo-cimento. Apesar disso, Caldas e Toledo Filho (2019) concluíram que o uso de argamassa e tinta como revestimento aumenta expressivamente a contribuição para os impactos ambientais, quando comparadas à utilização da resina acrílica. Apesar de ser um estudo baseado em uma metodologia

diferente da utilizada por Cunha (2016), podemos concluir que o impacto ambiental proveniente da resina acrílica é menor do que o causado pelo revestimento executado com camadas de argamassa e tinta.

Os resultados obtidos no levantamento de emissões de CO₂ para a unidade habitacional em estudo alinham-se aos resultados obtidos por Cunha (2021), que também utilizou como fonte a pesquisa de Cunha (2016) para quantificar as emissões de CO₂ do tijolo solo-cimento e traçar um comparativo com o tijolo cerâmico. Cunha (2021), que utiliza como unidade funcional em sua pesquisa o projeto de um galpão, também concluiu que o uso do tijolo solo-cimento é ambientalmente favorável em relação ao tijolo cerâmico, reduzindo as emissões de CO₂ na atmosfera em cerca de 82% para a unidade funcional considerada.

CONCLUSÕES

Apesar de haver ressalvas em alguns dados encontrados, é nítida a contribuição ambiental do uso do tijolo solo-cimento enquanto material alternativo ao uso do bloco cerâmico e do bloco de concreto na construção, sobretudo quando avaliadas as emissões de CO₂ na atmosfera, onde o tijolo solo-cimento apresentou dados ainda menores em relação aos demais materiais.

Nos comparativos realizados entre o tijolo solo-cimento, o tijolo cerâmico e o bloco de concreto, o último destacou-se de forma negativa, apresentando sempre números maiores em relação aos demais, tanto nos dados levantados através da AICV quanto nos dados encontrados para as emissões de CO₂. Sendo este material o que necessita de maior quantidade de cimento em seu processo de fabricação, conclui-se que o cimento ainda é um dos grandes vilões na construção civil quando analisado do ponto de vista ambiental.

Das etapas que envolvem a construção de alvenarias de vedação, o revestimento e a argamassa de assentamento mostraram-se responsáveis pelas maiores emissões de CO₂, sobretudo por fazerem uso do cimento, que ainda é um material cujo processo de fabricação gera grandes emissões de CO₂ na atmosfera.

Nesse contexto o tijolo solo-cimento se destaca por possibilitar um método construtivo que substitui ou até elimina os materiais de maior impacto que envolvem esses processos, utilizando-se argamassa de assentamento com traços com menor uso de cimento, sem a presença de cal e, no revestimento, eliminando a necessidade de aplicação de camadas de argamassa, por ser um material cuja estética possibilita a substituição dos revestimentos tradicionais por resina acrílica.

São diversos os estudos relacionados ao tema proposto neste trabalho, entretanto, o meio acadêmico ainda carece de pesquisas mais detalhadas que mostrem a importância da utilização do tijolo solo-cimento do ponto de vista ambiental, contribuindo para a popularização deste material no mercado da construção civil. Tendo em vista as vantagens prometidas, em um cenário de interesse social como o proposto pela Funasa para o combate da doença de chagas, o uso desse material pode ser favorável pela facilidade de acesso aos materiais que o compõem e ainda possibilitar construções que gerem impactos ambientais menores.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- O uso da tecnologia BIM enquanto ferramenta auxiliar para mensuração das emissões de CO₂ em uma edificação;
- Análise do Ciclo de Vida de uma edificação com uso do tijolo solo-cimento considerando-se as demais etapas construtivas;
- Comparativo entre as emissões de CO₂ de uma edificação considerando-se a alvenaria em tijolo solo-cimento e parede de concreto;
- Utilizar como unidade funcional para Análise do Ciclo de Vida ou quantificação de emissões de CO₂ um condomínio ou bairro de projeto social cujas edificações sejam iguais, traçando-se um comparativo semelhante com materiais comuns e materiais alternativos;
- Avaliar o desempenho mecânico, térmico e acústico do tijolo solo-cimento em relação aos demais;
- Avaliar o impacto da substituição do revestimento tradicional com reboco e tinta por resina acrílica em alvenarias feitas com tijolo ecológico de solo-cimento.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:** Avaliação do Ciclo de Vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:** Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491.** Tijolo de Solo-cimento: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 1 dez. 2023.

CALDAS, L., & FILHO, R. (2021). **Avaliação ambiental do sistema construtivo de alvenaria de blocos de solo-cimento considerando diferentes especificações de projeto.** Gestão & Tecnologia de Projetos, 16(2). Disponível em: doi:<https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.161978> Acesso em: 01 ago. 2024.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do ciclo de vida na construção civil:** um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2012. 122 p. Dissertação (Pós-graduação em Construção Civil) - Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-8XVK6S>. Acesso em: 1 dez. 2023.

CARVALHO, B. T., ALBERTO, E., & SILVOSO, M. M. (2021). **Avaliação Do Ciclo De Vida (ACV) De Sistemas De Alvenaria De Blocos De Solo-Cimento Com Diferentes Dosagens.** Encontro Latino-Americano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 4, 250–265. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2518> Acesso em: 01 ago. 2024.

CUNHA, I. B. **Quantificação das Emissões de CO₂ na Construção de Unidades Residenciais Unifamiliares com Diferentes Materiais.** 2016. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/8797?mode=simple>. Acesso em: 01 ago. 2024.

CUNHA, Terezinha Elza Nascimento. **Alvenaria Em Tijolo Cerâmico E Solo-Cimento:** Estudo Comparativo Da Emissão De CO₂. 2021; 20 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, ANGICOS. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/100c0ae5-2eec-4fe7-8edb-4a6db2c29d1f/content>. Acesso em 01 ago. 2024.

EUPHROSINO, Camila Augusto; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila; PIMENTEL, Lia Lorena; CAMARINI, Gladis; FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli. **Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão**: estudo de caso em olaria comunitária. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, ano 2022, v. 27, n. 1, p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-47087>. Acesso em: 1 dez. 2023.

FONTES, Caio Sant'anna; LOPES, Luan Barbosa. **Análise de ciclo de vida de tijolos de argila queimados, tijolos de solo-cimento, e tijolos de solo-cimento ecológicos**. 2018. 57 p. Trabalho De Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. Acesso em: 1 dez. 2023.

FRANCISCO, Leidiane Oliveira. **Fabricação Artesanal De Tijolos Ecológicos**: produção de tijolos com formas artesanais sem prensagem mecânica. 2021. 15 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Manhuaçu e Região, Manhuaçu - MG, 2021. Disponível em: <https://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/repositoriottcc/article/view/3382>. Acesso em: 1 dez. 2023.

FRIEDRICH, M.; VAGHETTI, M. A. O.; SOARES, J. M. D. **Solo-cimento**: O uso da terra crua para construções mais sustentáveis. In: 3º Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, 2014, Porto Alegre. ANAIS DO CHIS 2014, 2014. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/434/2020/08/4.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

JUNIOR, Wellington Fernandes; VELLASCO, Maria Angélica Oliveira; NUNES, Israel Nelo; ALEXANDRE, Jonas; OLIVEIRA, Sergio Rafael Cortes de; MONTEIRO, Sergio Neves; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de. **Estudo da viabilidade de produção de tijolo ecológico modular de solo-cimento com incorporação de resíduo da fabricação de papel**. Anais do Congresso Anual da ABM, São Paulo, ano 2017, v. 72, n. 17, ed. 1, p. 1882-1889, 2017. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/estudo-da-viabilidade-de-producao-de-tijolo-ecologico-modular-de-solo-cimento-com-incorporacao-de-residuo-da-fabricacao-de-papel>. Acesso em: 1 dez. 2023.

LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento**: caracterização para uso em edificações. 2013, 114 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.unb.br/handle/10482/15550>. Acesso em: 1 dez. 2023.

MANFREDINI, Constance. **Impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no rio grande do sul**. 2003. 179 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/117391>. Acesso em: 1 dez. 2023.

MOTA, Douglas Antunes. **ANÁLISE DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA MORADIA UNIFAMILIAR**: Comparativo de custos com construções tradicionais. 2021. 193 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Instituto Federal De Educação Ciência E Tecnologia De Goiás, GOIÂNIA, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/802>. Acesso em 01 ago. 2024.

OLIVEIRA, Diego Nogueira De. **Análise da viabilidade do tijolo ecológico de solo-cimento na construção civil**: uma revisão de literatura. 2020. 33 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, PAU DOS FERROS, 2020.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Um material de construção de baixo impacto ambiental**: o tijolo de solo-cimento. **Sinergia**, São Paulo, ano 2005, v. 6, n. 1, p. 53-59, 2005. Disponível em: <https://silo.tips/download/um-material-de-construao-de-baixo-impacto-ambiental-o-tijolo-de-solo-cimento>. Acesso em: 1 dez. 2023.

QUANTIS Sustainability counts. **Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco**. Relatório final preparado para Anicer, 2012. Disponível em: <<http://anicer.com.br/acv/ACV%20Blocos%20Cer%C3%A2micos.pdf>>. Acesso em 1 ago. 2024.

ROSA, Rita Paulus da. **Consumo energético para produção de blocos de concreto**: estudo comparativo com blocos cerâmicos através da avaliação do ciclo de vida. 2010. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/26076>. Acesso em: 1 dez. 2023.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Tijolo Ecológico**: Orientações para Fabricação. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/Tijolo-ecologico-infografico-ELEITORAL.pdf> Acesso em: 1 dez. 2023

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. Coletânea Habitare:

Construção e Meio Ambiente, Porto Alegre, v. 7, p. 96-127, 2006. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/235122/000567525.pdf?sequence=1>. Acesso em: 1 dez. 2023.

SOUSA, Julião Ferreira de. **Fabricação e análise de tijolos de solo-cimento**. Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães. 2018. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018. Disponível em: https://engenharias.macaue.ufrj.br/index.php?option=com_content&view=article&id=139:juliao-ferreira-de-sousa&catid=9. Acesso em: 1 dez. 2023.

SOUSA, Luiz Messias Pires; BARBOSA, Uessiley Ribeiro. **Tijolo ecológico: produção, características de projeto e rendimento de mão de obra na construção de residências de diferentes padrões. II Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar**, Mineiros - GO, p. 16, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/265>. Acesso em: 1 dez. 2023.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Florianópolis, 2006. 225 p. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

TORGAL, Adriana Infante; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2. ed. atual. Braga - Portugal: TecMinho, 2010. 460 p. v. 1. ISBN 978-972-8600-22-8. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28852>. Acesso em: 1 dez. 2023.

ANEXO A – MANUAL PRÁTICO TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR ECO PRODUÇÕES⁴

⁴ Disponível em: <https://ecomaquinas.com.br/wp-content/uploads/2022/08/cartilha-eco-producao.pdf>

LIMITAÇÕES DE USO

O conteúdo da cartilha destina-se ao uso pessoal e não-comercial para os clientes da Eco Produção, garantido-lhes acesso limitado para impedir modificações, cópias, transmissões, reproduções ou duplicações derivadas do mesmo.

VIOLAÇÃO DE DIREITOS AUTORAIS

Todas as informações e dados fornecidos através da utilização deste conteúdo são protegidos pelas leis de direitos autorais do Brasil. Você não pode modificar, divulgar, vender, comercializar o conteúdo desta cartilha. É proibida a reprodução parcial ou integral destas informações, não é permitida a engenharia reversa, descompilação ou desmontagem da mesma.

Todos os direitos reservados deste conteúdo esta a:

Eco Produção - Tijolos Ecológicos.

CNPJ: 10.358.134/001-32



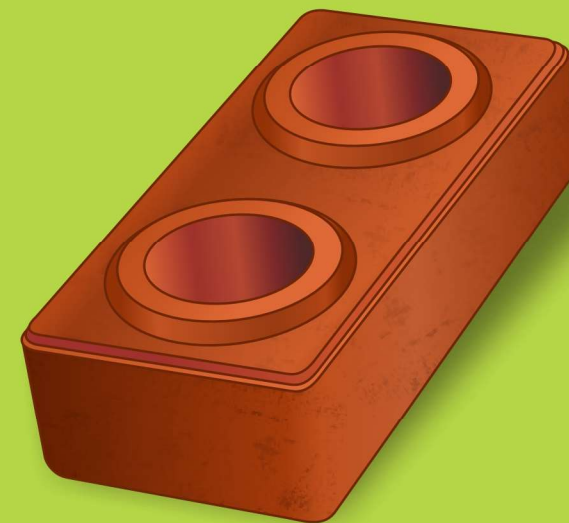
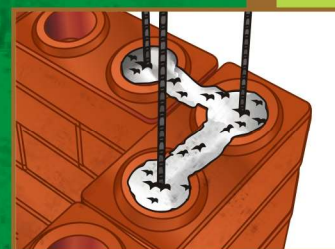
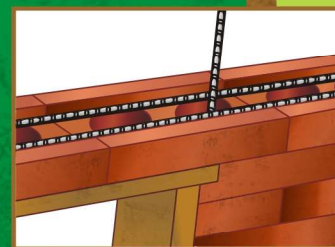
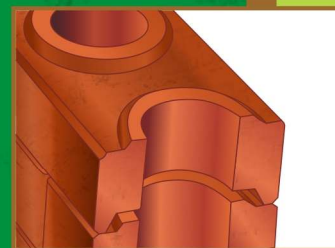
R. Prof. João Mazzaroto 775,
Capão Raso, Curitiba-Pr.
Telefone: (41) 8893-7004
e-mail: comercial@ecoproducao.com.br
www.ecoproducao.com.br

TIJOLO

ECOLÓGICO | MODULAR

MANUAL PRÁTICO

Vantagens técnicas, benefícios financeiros, composição e aplicação na construção.

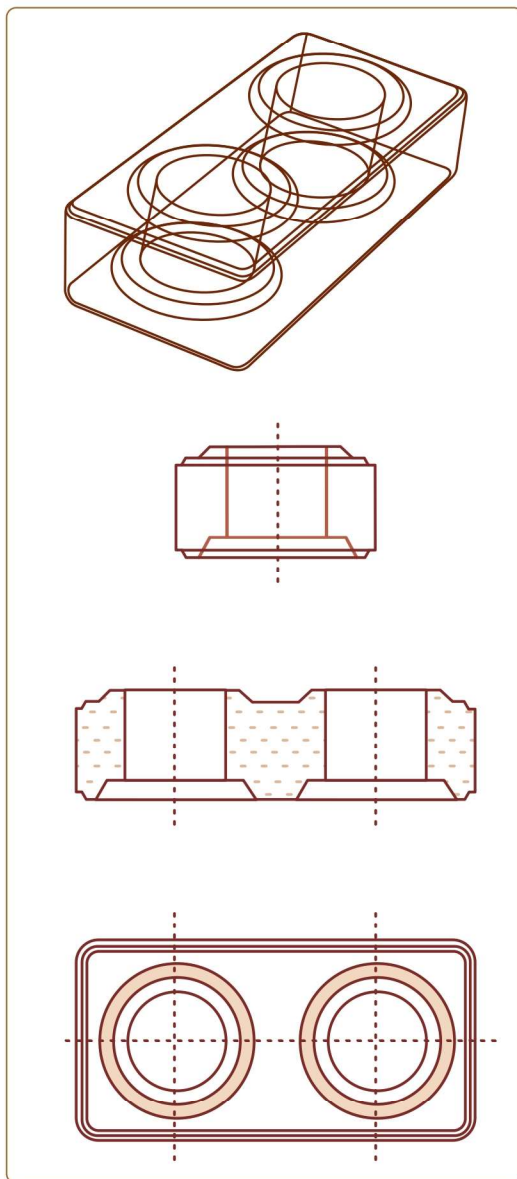


Após 25 anos de muita pesquisa, estudos e testes o tijolo ecológico provou ser muito mais resistente, seguro e prático do que o tijolo comum.

Todo esse trabalho refletiu na qualidade do tijolo modular que esta presente em vários seguimentos da construção civil – o que eleva a qualidade da estrutura e acabamento, reduzindo o custo da mão de obra pela metade.

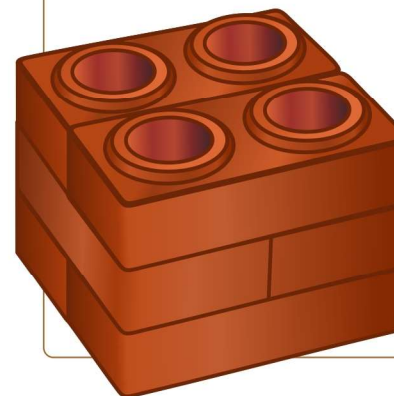
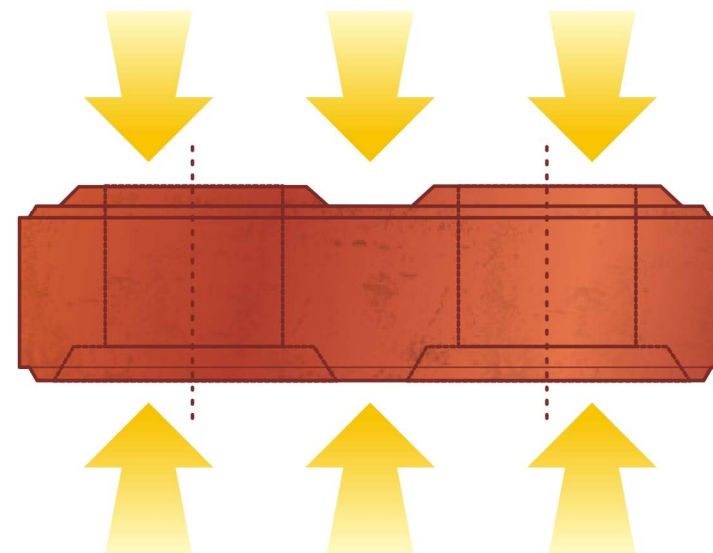
A **ECO PRODUÇÃO** dispõe de equipamentos altamente modernos que garantem a qualidade através da tecnologia utilizada para produção do tijolo modular.

O nosso **tijolo ecológico** é um módulo com texturas e medidas regulares que proporcionam um acabamento bem definido, por isso as correções comuns no assentamento são mínimas reduzindo o tempo da obra.



A altíssima qualidade faz o tijolo modular relativamente mais leve que os tijolos comuns, considerando a quantidade de material adquirido no levantamento e acabamento da obra.

E tem mais, o **tijolo modular ou ecológico**, pode atingir uma **resistência superior** à exigida pelas normas técnicas o que garante uma **durabilidade muito maior à sua obra**.



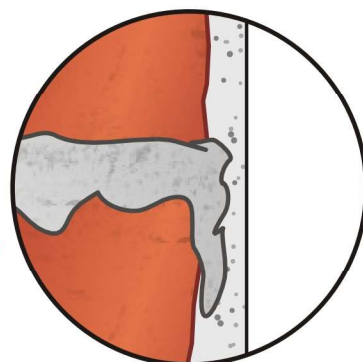
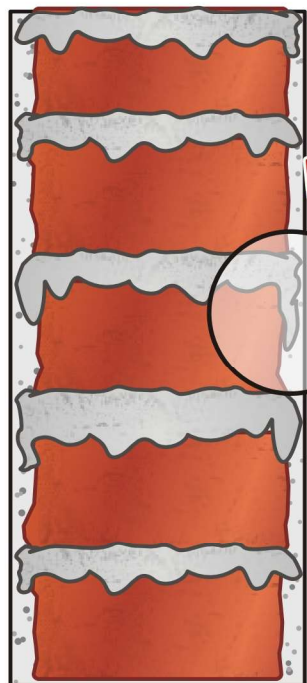
Durante a produção o **tijolo ecológico** é tratado com água o que **aumenta ainda mais sua resistência** quando exposto à umidade.

Tijolos comuns podem enfraquecer se não forem protegidos da umidade.

Devido à qualidade, beleza e acabamento, os tijolos modulares podem ficar à vista e suas superfícies protegidas por uma camada de resina acrílica, resultando em um visual moderno e caprichado.

Compare o revestimento de duas paredes diferentes.

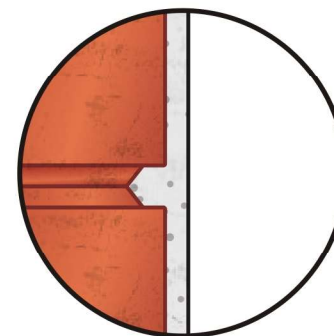
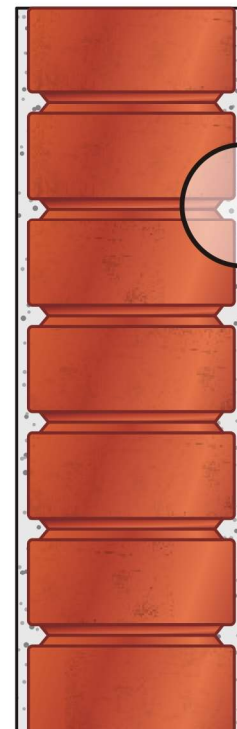
Veja esta de tijolo comum.



A camada de reboco é bastante espessa para corrigir as irregularidades comuns nesse tipo de tijolo.

Isso além de aumentar o peso da obra, irá também pesar no orçamento, com gastos em tempo, material e mão de obra.

Agora veja esta parede feita com **tijolo ecológico no sistema construtivo modular.**

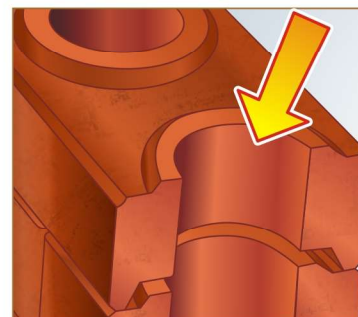


Nesse caso, a medida dos módulos é precisa, formando assim paredes com superfícies extremamente paralelas.

A camada de revestimento é finíssima.

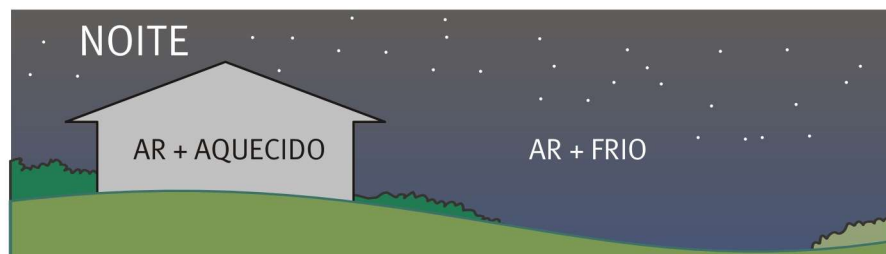
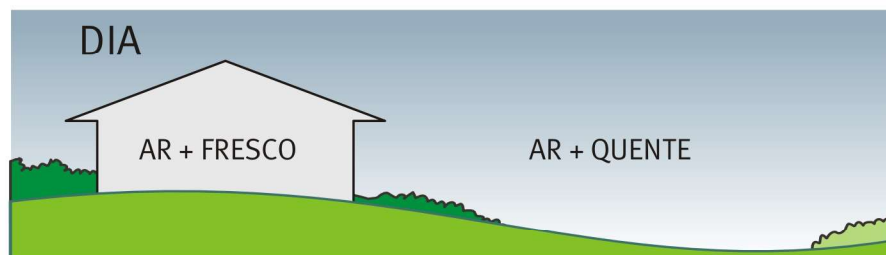
Estas são algumas das vantagens onde você obterá até 50% de redução no custo da obra.

Algumas informações técnicas são necessárias para que se entenda perfeito uso do tijolo modular como, por exemplo, o porquê dos furos.



Os furos nos tijolos modulares formam câmaras termo-acústicas quem controlam a temperatura no interior da construção e ajudam a isolar ruídos.

Veja os exemplos



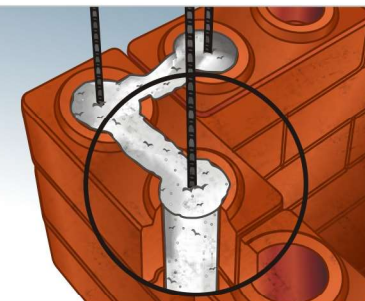
As câmaras acústicas protegem o ambiente da poluição sonora constante no dia a dia.

Usando o tijolo modular você não precisa utilizar do método antigo para instalação da rede elétrica. Que normalmente é a quebra de paredes. Certamente essa técnica arcaica acaba comprometendo a estrutura das paredes.

Além das câmaras termo-acústicas, os furos nos tijolos formam condutores para a rede hidráulica e elétrica, evitando a quebra de paredes.

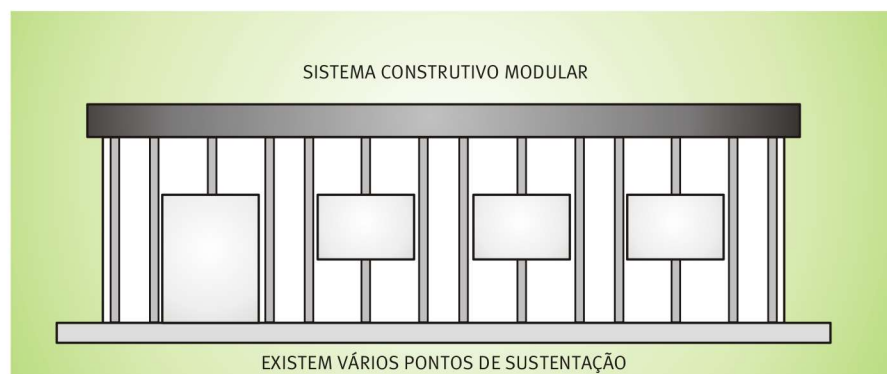


Outra **vantagem** dos furos dos módulos é o embutimento rápido e fácil das colunas de sustentação.



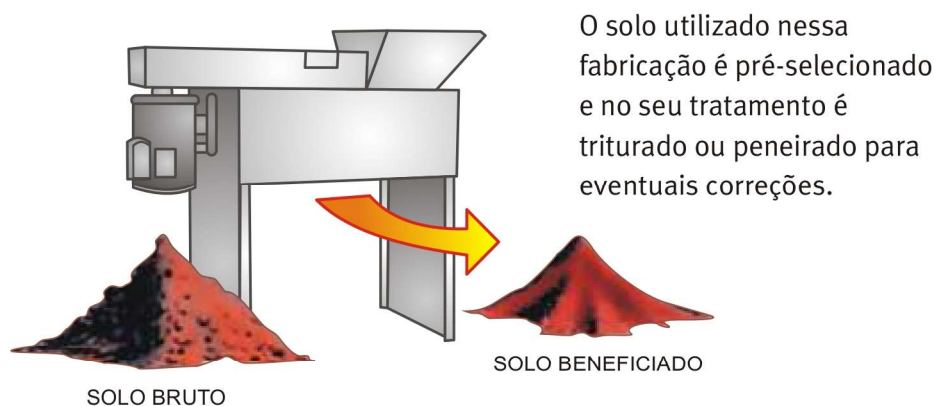
No embutimento das colunas de sustentação, contamos com a economia na mão de obra de carpintaria e dispensamos o uso excessivo de madeira.

E ainda, podemos contar com a vantagem na distribuição das colunas ao longo da construção, evitando a concentração de peso em poucos pontos da estrutura, veja exemplo:



O processo de fabricação do tijolo modular fez surgir a olaria ecológica que não provoca devastamento e não lança resíduos de queima no ar, como ocorre nas olarias tradicionais.

Para a fabricação do tijolo modular a olaria ecológica utiliza três elementos básicos, tudo isso dentro de um sistema técnico padronizado.



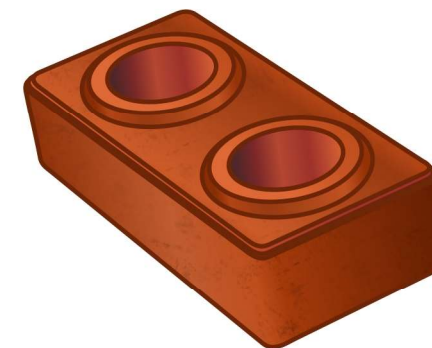
Após esse processo a mistura solo-cimento é compactada em até 6 toneladas de pressão.

Após uma técnica eficaz de cura e secagem o tijolo ecológico modular está pronto.



O tijolo modular
é encontrado na
seguinte dimensão:

12,5 x 25 x 6,25 cm



O tijolo ecológico e o sistema construtivo modular acaçaram tanto respeito e qualidade que foram aprovados e adotados pelo CENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO, visando a modernização e renovação dos padrões da construção civil, na formação de novos profissionais.

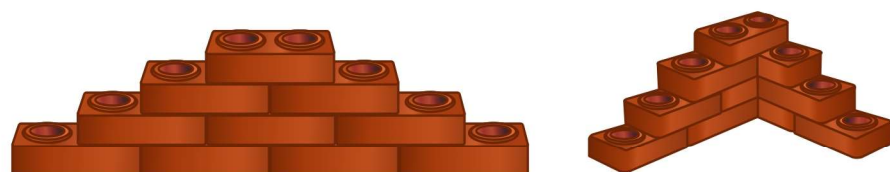
Nosso método também é adotado por várias prefeituras nas obras públicas e no sistema de moradia popular, visando o baixo custo e a alta qualidade.

Com sucesso comprovado, o tijolo ecológico marcou presença em conceituado programa de reportagem empresarial na TV, também foi matéria em revistas de arquitetura, decoração e jornal de grande porte. O processo de produção do tijolo ecológico ou tijolo modular, conta com o suporte técnico de engenheiros responsáveis, maquinário de última geração e mão de obra especializada para a sua confecção.

A **ECO PRODUÇÃO** ministra cursos e workshops do uso do tijolo ecológico ou tijolo modular na aplicação da construção civil.

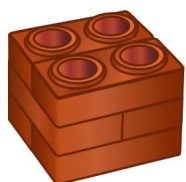
O SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR

Conheça a facilidade de empregar o tijolo modular na construção civil.

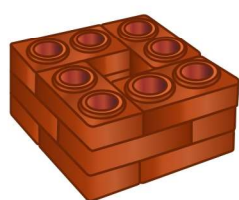


PAREDE RETA

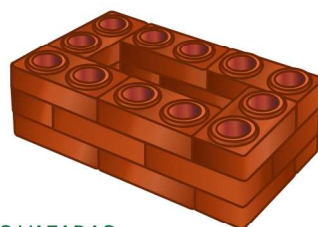
CANTOS



COLUNA SÓLIDA



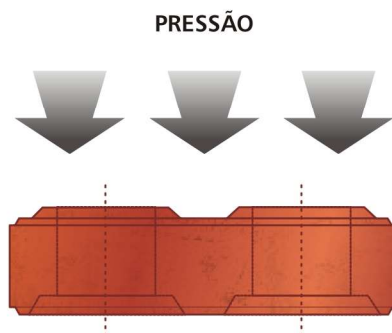
COLUNAS VAZADAS



Antes de iniciar a construção, o tijolo deve ser transportado. E nessa operação tomamos muito cuidado.

Para não quebrá-los ou provocar acidentes, não devemos jogá-los.

O tijolo modular foi projetado para suportar força de compressão.



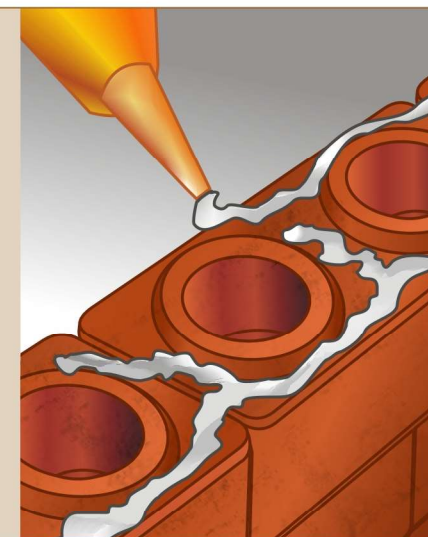
Outro grande diferencial do tijolo modular é que devido ao seu sistema construtivo o canteiro de obra fica muito mais limpo e organizado.

Construtores, engenheiros, mestres de obras, profissionais do ramo que buscam tecnologia, rapidez, alta qualidade e redução de custos – optam pelo tijolo ecológico modular.

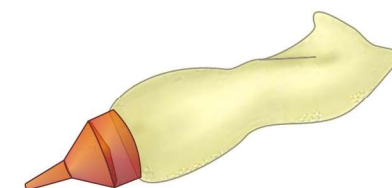
Basta à utilização de um filete de cola ou de cimento para o sistema construtivo modular assentar o tijolo.

Para aplicar a cola branca use a própria bisnaga que já vem com o bico dosador.

A utilização do filete de cimento é a mais utilizada devido ao baixo custo.



Apesar de muito seguro, o sistema é tão simples e prático que para aplicar a argamassa, podemos usar um aplicador do tipo de confeitaria bolos.

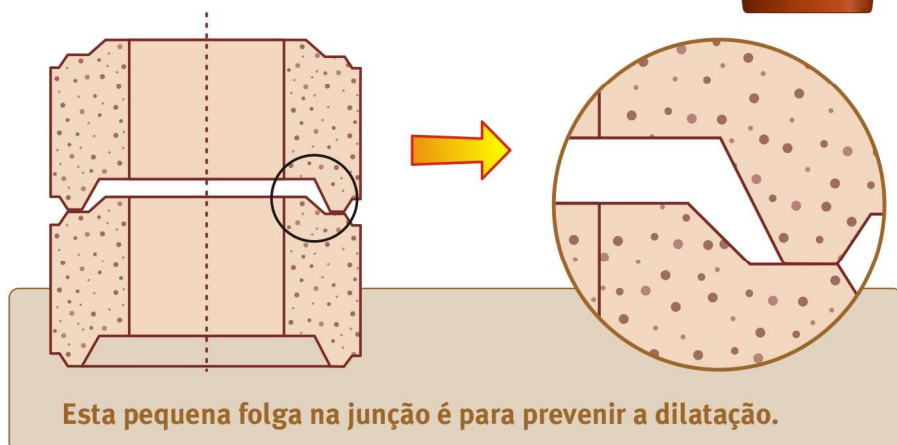
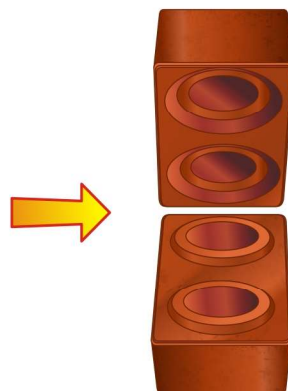


A simplicidade de usar o aplicador agiliza ainda mais o processo na construção.



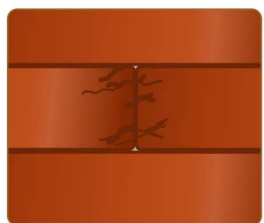
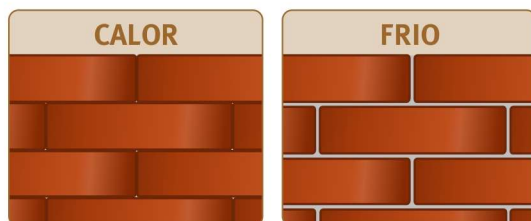
A função da massa no assentamento dos tijolos é também corrigir eventuais irregularidades.

Observe que o tijolo modular possui um sistema de encaixe que auxilia a orientação no assentamento dos tijolos.

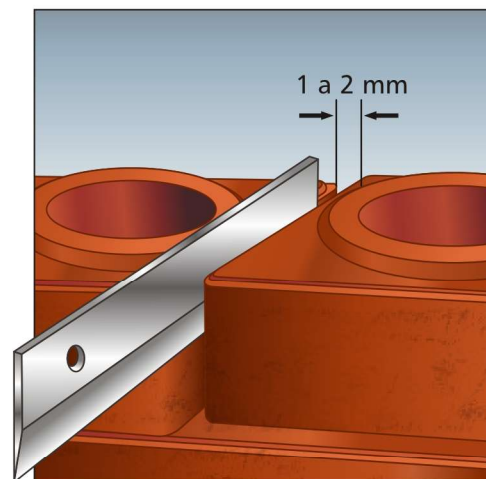


Veja o porquê da dilatação e suas conseqüências.

O tijolo modular, como toda matéria, se expande quando sofre o efeito do calor, e se retrai com o efeito do frio.

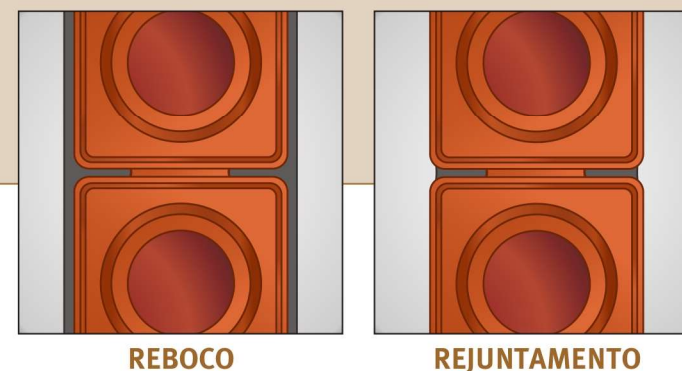


Se não houver espaço para se expandirem, os módulos de chocarão entre si, provocando trincas e fissuras. Mas isso pode ser evitado garantindo estabilidade à obra.

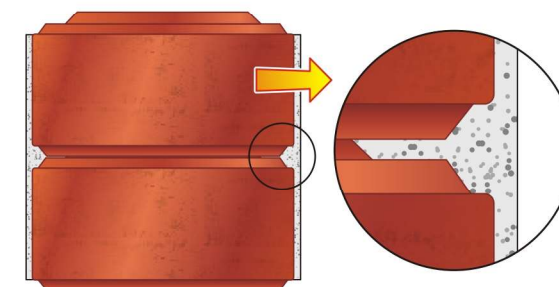


Preserve uma distância de um a dois milímetros ou uma régua entre um módulo e outro.

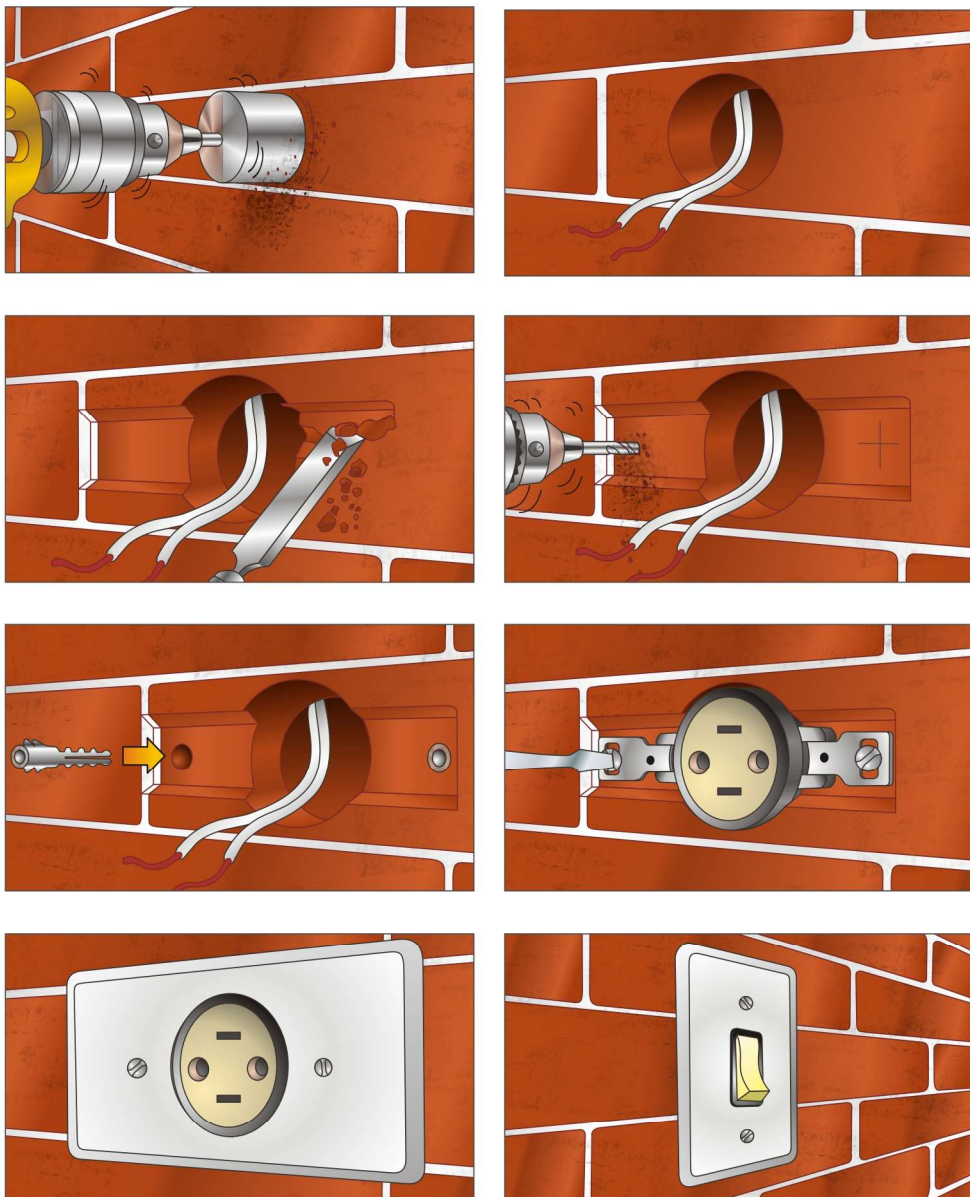
Os pequenos vãos entre os tijolos são necessário para melhor aderência no reboco ou rejuntamento, e não comprometem o visual de paredes de tijolos à vista.



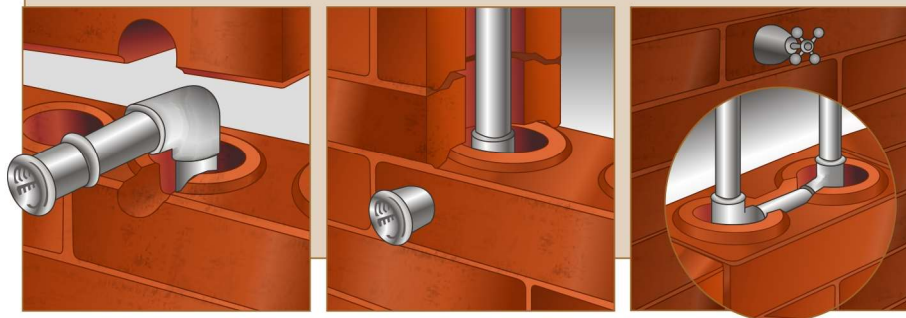
Existem frisos rebaixados nas bordas dos módulos, para facilitar ainda mais a aderência dos materiais no acabamento.



Para a instalação elétrica pode-se optar pelo uso os furos nos módulos ao invés de conduítes e caixas para tomadas e interruptores.

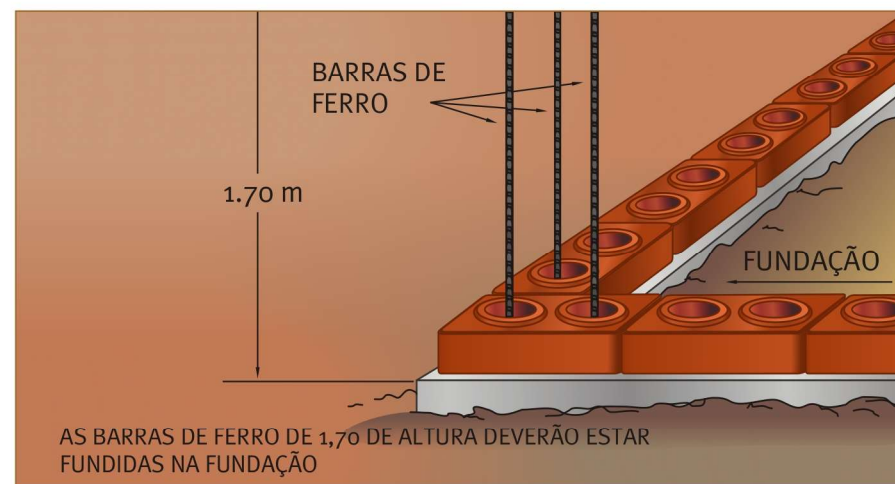


Veja exemplos na instalação hidráulica.



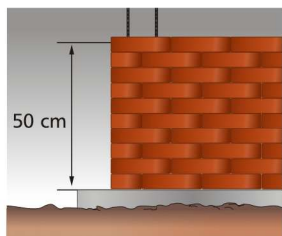
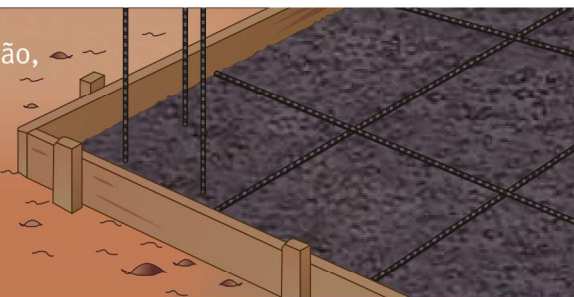
Sabemos que a função dos tijolos é preencher os vazios e formar as paredes, mas o que realmente sustenta a obra são as colunas e toda sua estrutura.

Nosso sistema construtivo conta com a vantagem de embutir as colunas nas paredes, como veremos a seguir.



É importante que as primeiras fiadas sejam bem niveladas para uma boa precisão das paredes, se necessário podem ser assentadas com massa convencional.

Assim como na fundação, as barras de ferro das colunas deverão estar fundidas no radier antes das paredes serem erguidas.



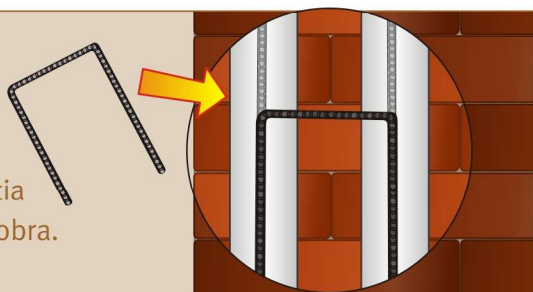
Quando as paredes atingirem meio metro de altura, é necessário encher as colunas de sustentação.

Para cortar os tijolos devemos usar uma serra circular manual que garantirá a qualidade da operação.

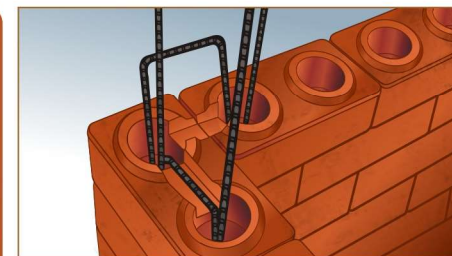
Com o auxílio da serra circular, devemos fazer pequenos sulcos nos tijolos, o suficiente para embutir os grampos que irão ligar as colunas entre si.



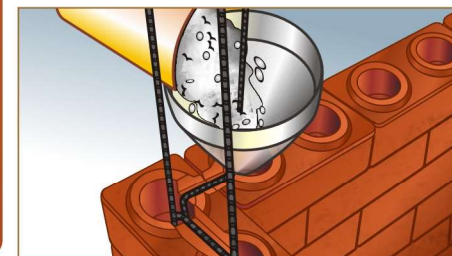
A cada 50 centímetros de parede erguida, a interligação das colunas pelos grampos, é a garantia de maior estabilidade na obra.



Depois dos grampos em seus devidos lugares, é só encher de concreto para cada furo que foi reservado para a coluna.

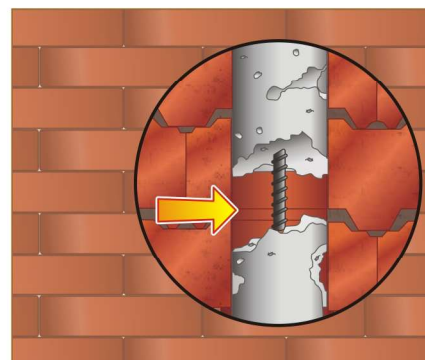
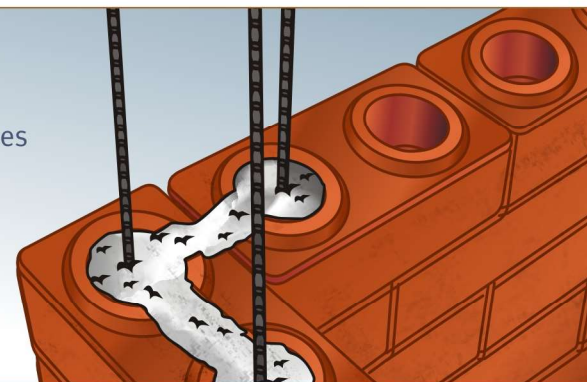


O concreto deve ter a proporção de:
1 de Cimento
2 de Areia
1 de Pedrisco.



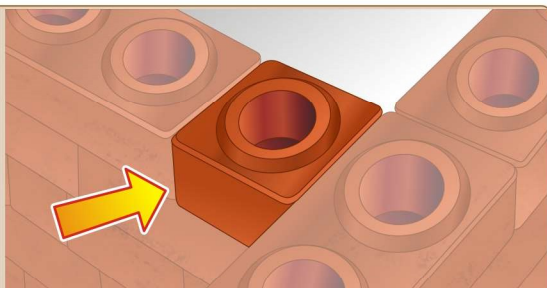
O tijolo deverá ser totalmente molhado para não aparecer futuras trincas.

Muito simples.
Repita a operação utilizando vergalhões de 8 mm a cada meio metro, garantindo assim a resistência da construção.

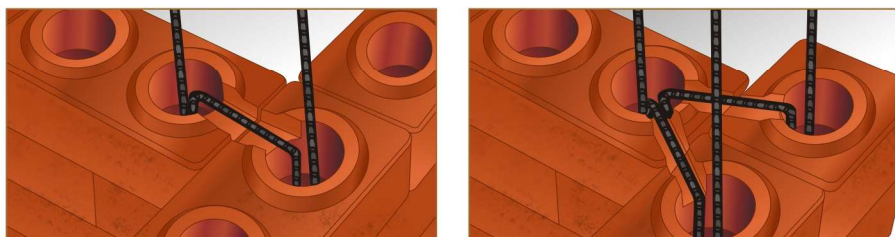


Não se esqueça de que ao enchermos de concreto as colunas de meio em meio metro estamos evitando possíveis bolsas de ar que comprometem a estrutura da obra.

Para encher uma parede perpendicular, usamos o meio tijolo no encontro das duas paredes.

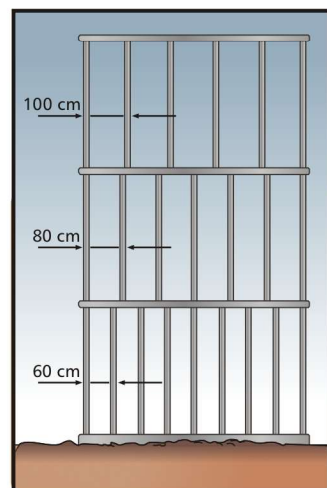


Em paredes perpendiculares podemos optar por dois tipos de amarração.



Sabendo que a altura normal das paredes é de 2,80 metros, quando estas atingirem 1,70 metros devemos montar andaimes.

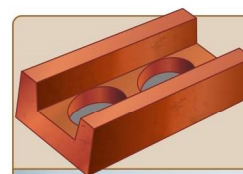
Em seguida deve-se amarrar com arame outra barra de ferro, completando assim a altura da coluna.



O total de colunas varia de acordo com o tamanho da obra, por isso quem avalia a quantidade e a distribuição é o engenheiro responsável.

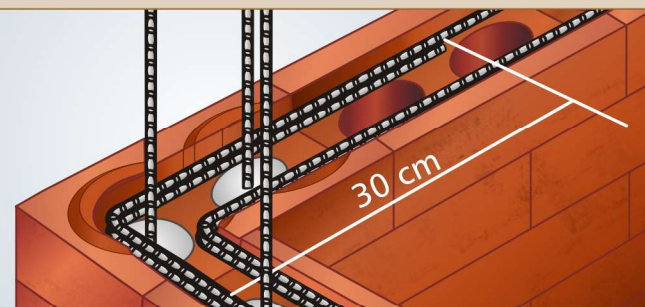
Veja ao lado, um exemplo de distribuição de colunas em construção de três pavimentos.

Não esqueça de que isto não está aumentando a quantidade de ferro e concreto, e sim distribuindo corretamente as colunas.

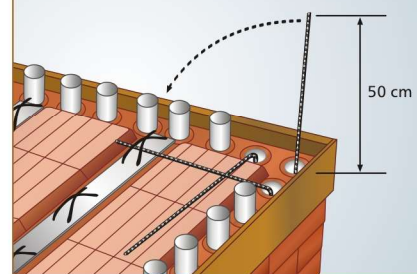


Na cinta de amarração usamos tijolos com canaletas por onde deverão passar as barras de aço. Utilize o vergalhão de aço com 8 mm.

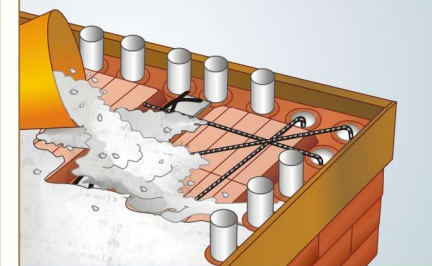
Na quina é utilizado tijolo convencional recortado.



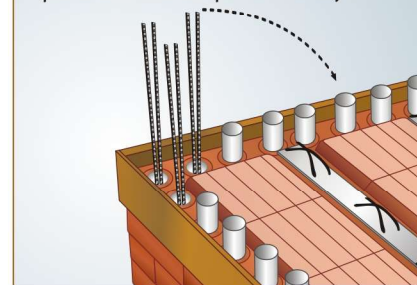
Se a obra é de um pavimento e coberta com laje, as barras de aço das colunas deverão ultrapassar 50 cm além da altura da obra e dobradiças para dentro da laje pré.



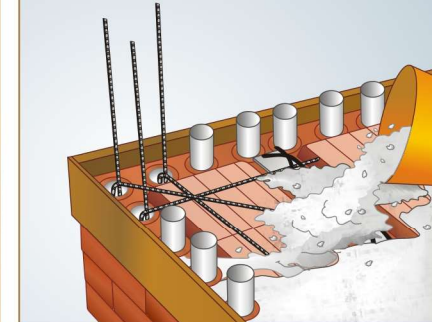
Em seguida a laje é preenchida de concreto cobrindo as barras de aço. Assim todas as colunas ficarão presas a laje.



Se a obra é de dois ou mais pavimentos, uma das barras de aço de cada coluna é dobrada para dentro da primeira laje.

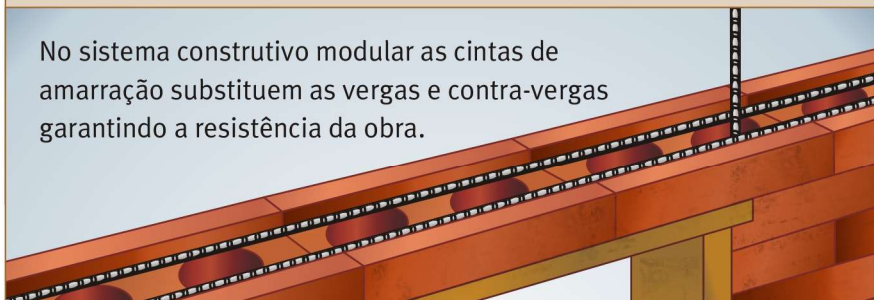


As outras barras seguem para cima, dando seguimentos às colunas.



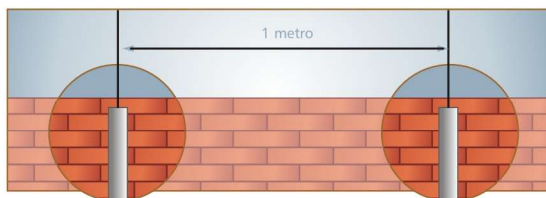
A ECO PRODUÇÃO desenvolveu uma técnica simples e eficaz de amarração como veremos a seguir.

No sistema construtivo modular as cintas de amarração substituem as vergas e contra-vergas garantindo a resistência da obra.



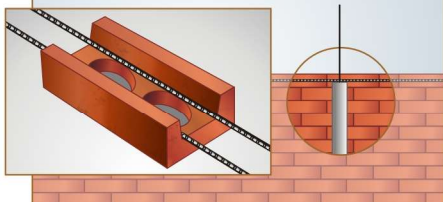
A CONSTRUÇÃO DE UM MURO COM TIJOLO MODULAR

Na construção de um muro devemos embutir colunas com um metro de distância entre si.

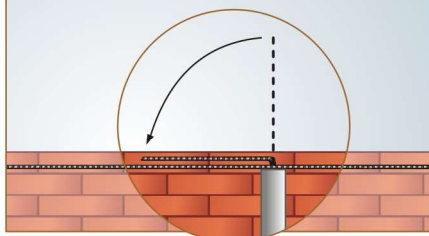


Os furos dos tijolos no muro deverão ser tapados com folhas amassadas de papel ou jornal antes de preencher as canaletas de concreto.

Depois de completa a altura, efetuamos o tratamento aéreo usando tijolos com canaletas, em seguida colocamos barras de aço dentro das canaletas em toda a extensão do muro.

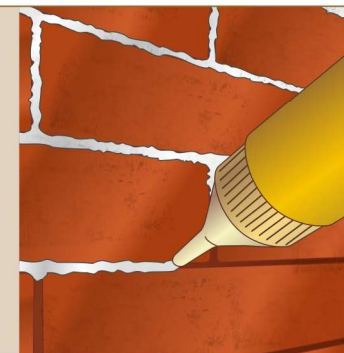


As barras de aço que saem das colunas são dobradas para dentro das canaletas e amarradas nas barras de aço horizontais, em seguida as canaletas são preenchidas de concreto.



Vimos que os tijolos modulares, pelo seu acabamento, ficam muito bem quando expostos, dispensando uma cobertura de massa.

Nas junções dos tijolos podemos usar uma bisonaga com massa para fazer o acabamento.



A massa para rejuntar pode ser a usada em azuleijos, massa branca misturada a corantes ou simplesmente uma mistura de solo-cimento.

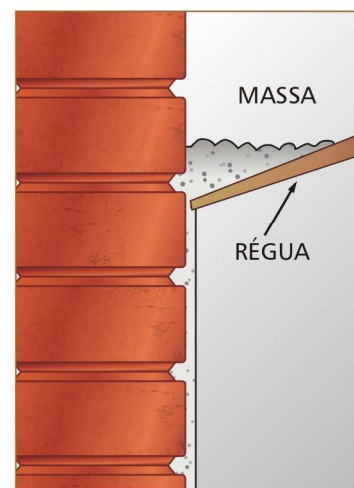


Com uma espátula ou bastão de ponta arredondada, complete o acabamento eliminando os excessos.

E para fazer um relevo similar as pastilhas utilize um bastão de ponta quadrada.

Composição da massa para o rejunte:

- 3 partes de terra
- 1 parte de rejunte



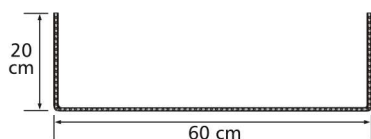
Para a limpeza das paredes podemos utilizar uma palha de aço número zero. Ou se preferir aplicar uma camada de reboco, use uma régua larga bem nivelada.

Dada a regularidade da parede, com a régua de madeira e a massa de reboco em um movimento de baixo para cima a massa cobrirá as frestas entre os tijolos.

Outra dica para o acabamento:

No caso de tijolos aparentes, para regularizar as frestas entre as fileiras de tijolos devemos usar uma barra de aço rosca de 1/4 a 3/8 dependendo do grau de arredondamento desejado.

Com a barra de aço rosca, fazemos movimentos laterais entre os tijolos até obter um desgaste adequado.



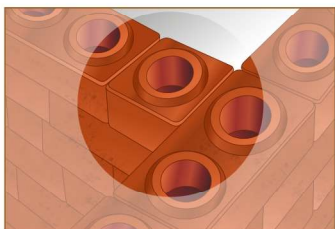
Antes de aplicarmos qualquer resina ou tinta, devemos deixar as paredes livres de impurezas.

Depois de a parede estar bem limpa e seca, podemos aplicar uma resina acrílica protetora ou uma camada de tinta.

Veja a seguir dicas importantes e informações que tornam o sistema construtivo mais útil e interessante.

DICAS IMPORTANTES

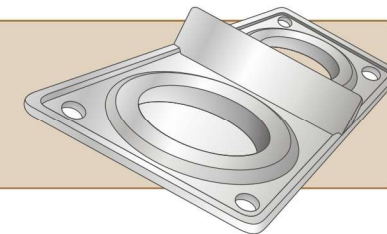
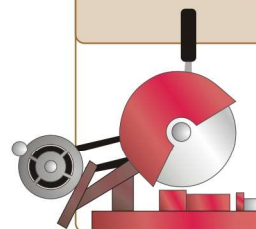
- MEIO TIJOLO
- ASSENTAMENTO DE TIJOLOS
- USO DOS TIJOLOS CANALETAS
- CINTA DE AMARRAÇÃO
- DISTRIBUIÇÃO DAS COLUNAS



Vamos falar primeiramente no meio tijolo que é muito importante no encontro das paredes.

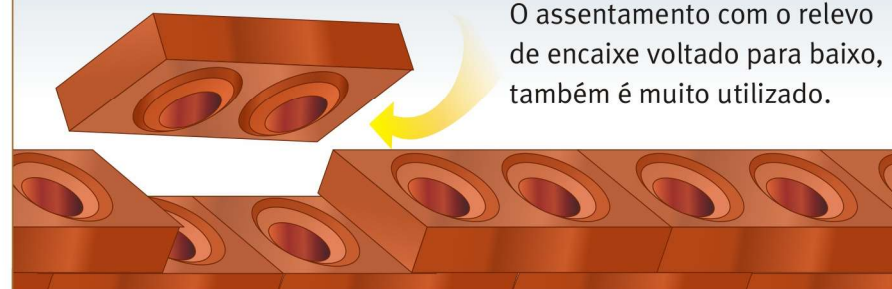
O meio tijolo pode ser produzido através de máquina ou por adaptação de ferramenta.

Pode-se obtê-lo através do corte, o que é mais comum.



Por ser feito na obra, o uso da serra para corte do tijolo e ferragens pode adaptar disco para corte de concreto.

Dicas importantes em relação ao assentamento do tijolo modular:



O assentamento com o relevo de encaixe voltado para baixo, também é muito utilizado.

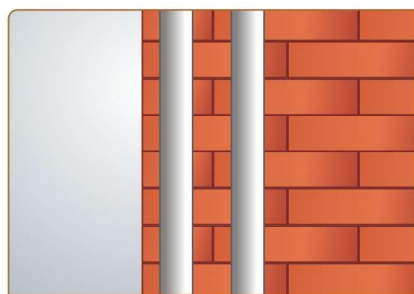
Esse procedimento facilita a colocação da régua para a correção do nivelamento dos tijolos.

No assentamento dos tijolos, nunca devemos usar cimento cola, que por ser muito rígido, não acompanha a dilatação e a retração dos tijolos, comuns nas mudanças de temperatura.

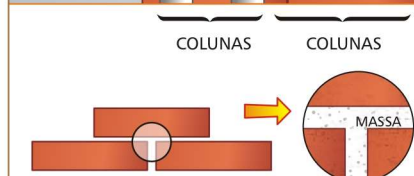
Isso pode provocar fissuras e mais tarde trincas nos tijolos.



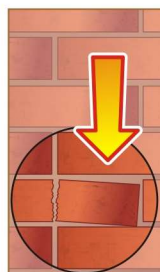
O mais indicado para o assentamento é o filete de cimento ou cola branca como já vimos anteriormente.



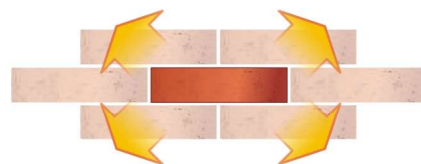
Lembrando que são as colunas que sustentam a obra e os tijolos são para preencher os vãos, devemos considerar que a massa para o assentamento tem função específica.



Essa função é regularizar e calçar os tijolos, e não colar como pensam a maioria.

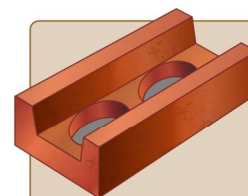
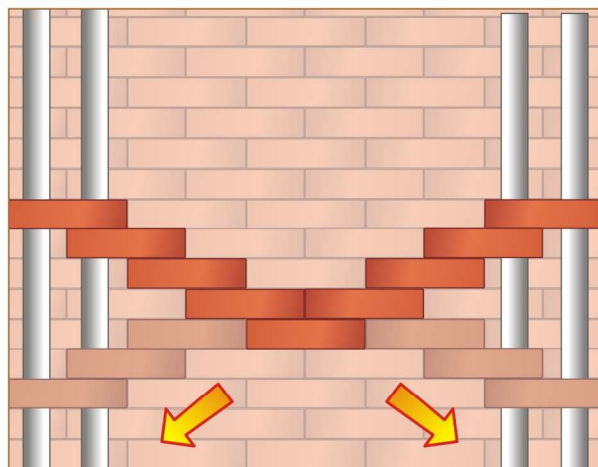


Sem a massa para o calçamento, os tijolos ficarão em posição que conseqüentemente se quebrarão com o peso.



Os tijolos modulares com seu sistema de encaixe apresentam uma eficiente ligação entre si.

A interligação seqüencial dos tijolos em múltiplos sentidos descarregando seus pesos nas colunas de sustentação ocorre por toda a extensão da parede assegurando ainda mais a qualidade e segurança da obra.



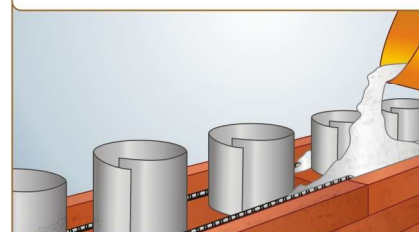
Outra grande vantagem do sistema construtivo dos tijolos ecológicos é o uso do tijolo canaleta que já podemos encontrar pronto para usar."

Os tijolos canaleta dispensam o uso de madeira na confecção das cintas de amarração.

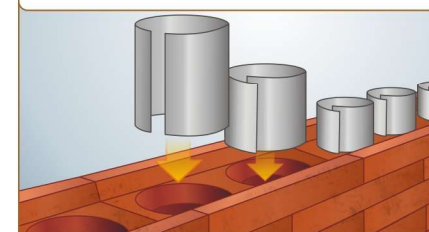
Quando não houve laje na obra é necessário a cinta de respaldo (amarração aérea).



Ao preencher de concreto as canaletas, devemos isolar os furos para impedir o vazamento.

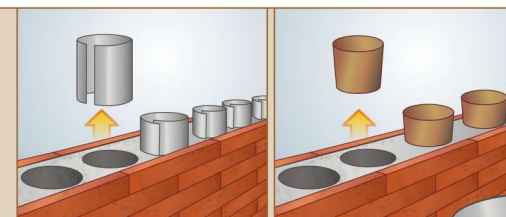


Para isolar os furos podemos usar canos de PVC cortado conforme exemplo.



Depois das canaletas concretadas, os cones de madeira ou os canos de PVC deverão ser retirados para serem reutilizados.

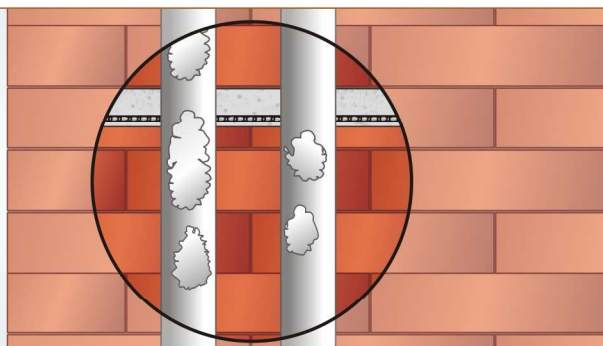
Também podemos usar no isolamento dos furos, cones de madeira ou copos de plástico, dependendo do diâmetro dos furos.



Os copos de plástico também deverão ser retirados para que as passagens dos furos fiquem livres.

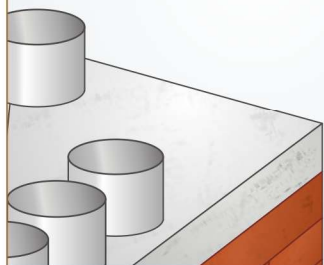


As passagens livres dos furos são muito importantes para que o fluxo de evaporação não seja interrompido.

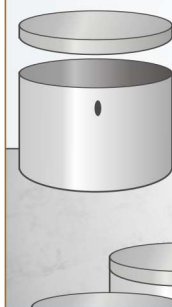


Esse processo evita a retenção de umidade nas paredes que causam problemas de saúde e danos materiais.

No topo das lajes os furos deverão ser prolongados com canos de PVC.

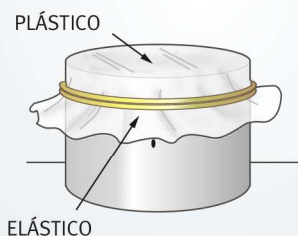


Se a laje por ficar exposta ao tempo, deve-se tapar os canos de PVC para evitar a entrada de água.

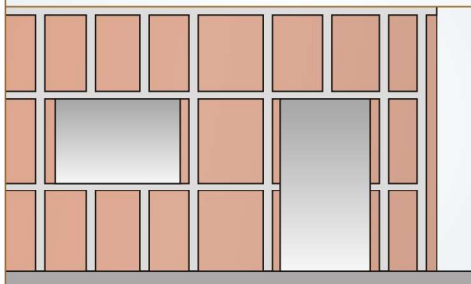


É muito importante o furo na lateral do cano para proceder a evaporação.

Se o processo for temporário, é mais econômico tapar os canos com plásticos fixados com elásticos.

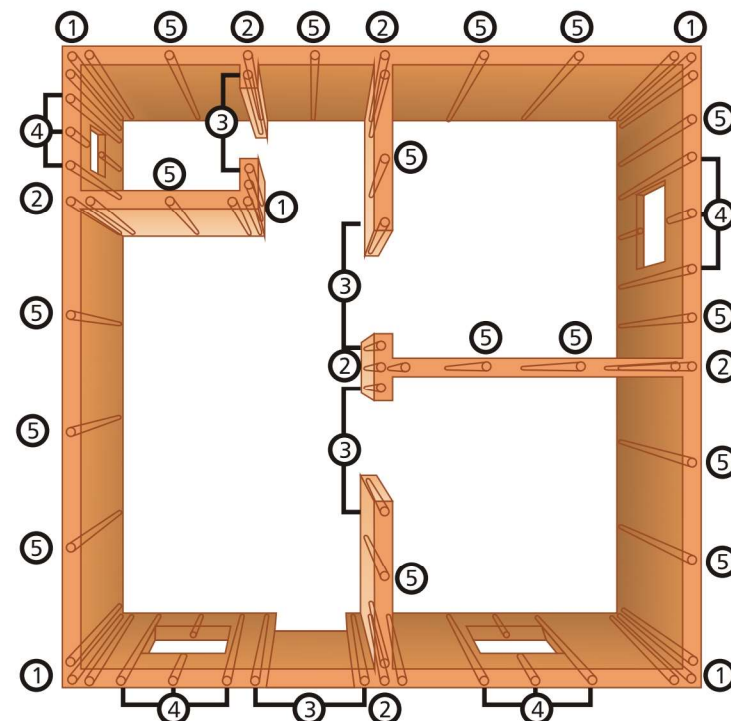


Além das cintas de amarração, os vãos, portas e janelas são reforçadas com colunas laterais.



Nas portas e janelas, também recomendamos a distribuição de colunas ao longo da construção.

Para facilitar a distribuição das colunas na obra, é recomendável seguir uma ordem como no exemplo:



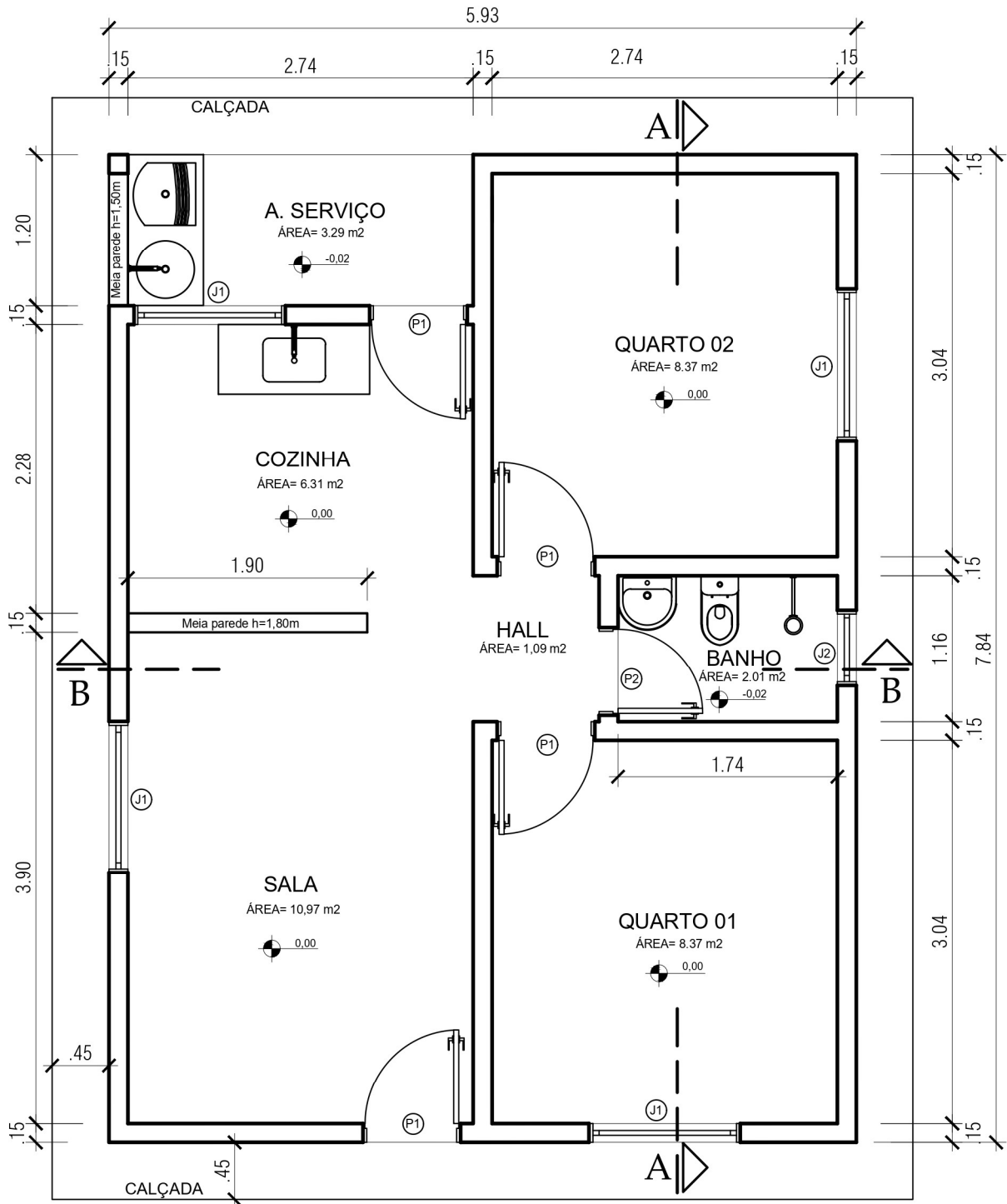
- ① Cantos ③ Portas ⑤ Quaisquer vãos, nunca ultrapassando 1 metro
- ② Interligações ④ Janelas

Essa cartilha tem objetivo em orientá-lo de forma prática e simplificada.

Muitos profissionais que utilizam do tijolo ecológico modular em suas obras atestam a qualidade exemplar que esse tijolo pode proporcionar a construção.

ANEXO B – PROJETO MODELO FUNASA⁵

⁵ Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/web/guest/melhorias-habitacionais-para-o-controle-da-doenca-de-chagas>



ESQUADRIAS	
PORTAS	
P1 - Porta de 80x210cm	
P2 - Porta de 70x210cm	
JANELAS	
J1 - Janela de 120x100cm/h=110cm	
J2 - Janela de 60x60cm/h=150cm	



MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

PROJETO

MELHORIAS SANITÁRIAS HABITACIONAIS PARA O
CONTROLE DA DOENÇA DE CHAGAS (MHCDC)

FL.Nº/NºFL.

HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
PROJETO ARQUITETÔNICO 02 QUARTOS

01/06

CONTEÚDO

PLANTA BAIXA

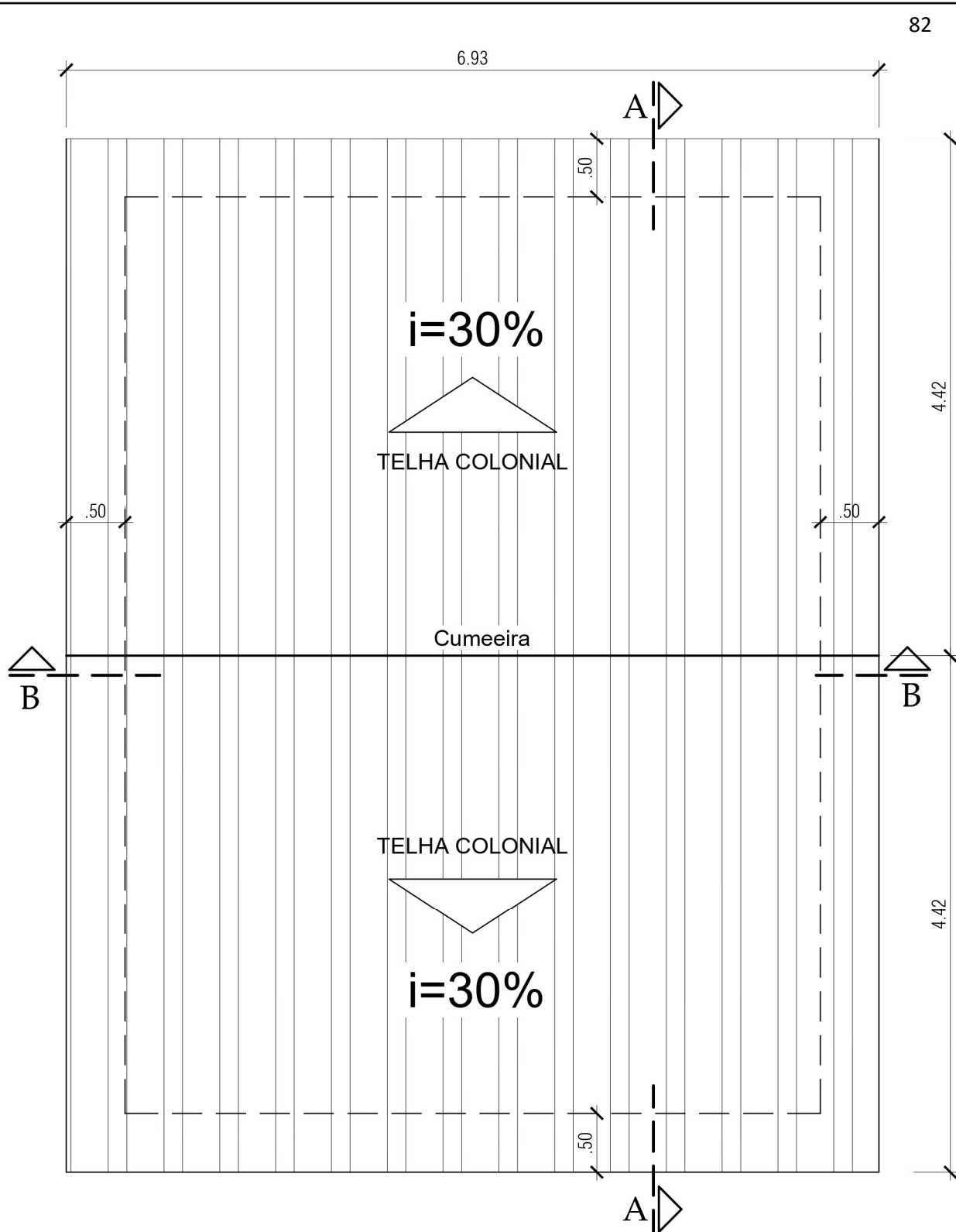
DATA

FEV.2020

ESCALA:

INDICADA

VISTO:



Planta de Cobertura

Esc.: 1/50



MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

PROJETO

MELHORIAS SANITÁRIAS HABITACIONAIS PARA O
CONTROLE DA DOENÇA DE CHAGAS (MHCDCh)

HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PROJETO ARQUITETÔNICO 02 QUARTOS

FL.Nº/ Nº FL.

03/06

CONTEÚDO

PLANTA DE COBERTURA

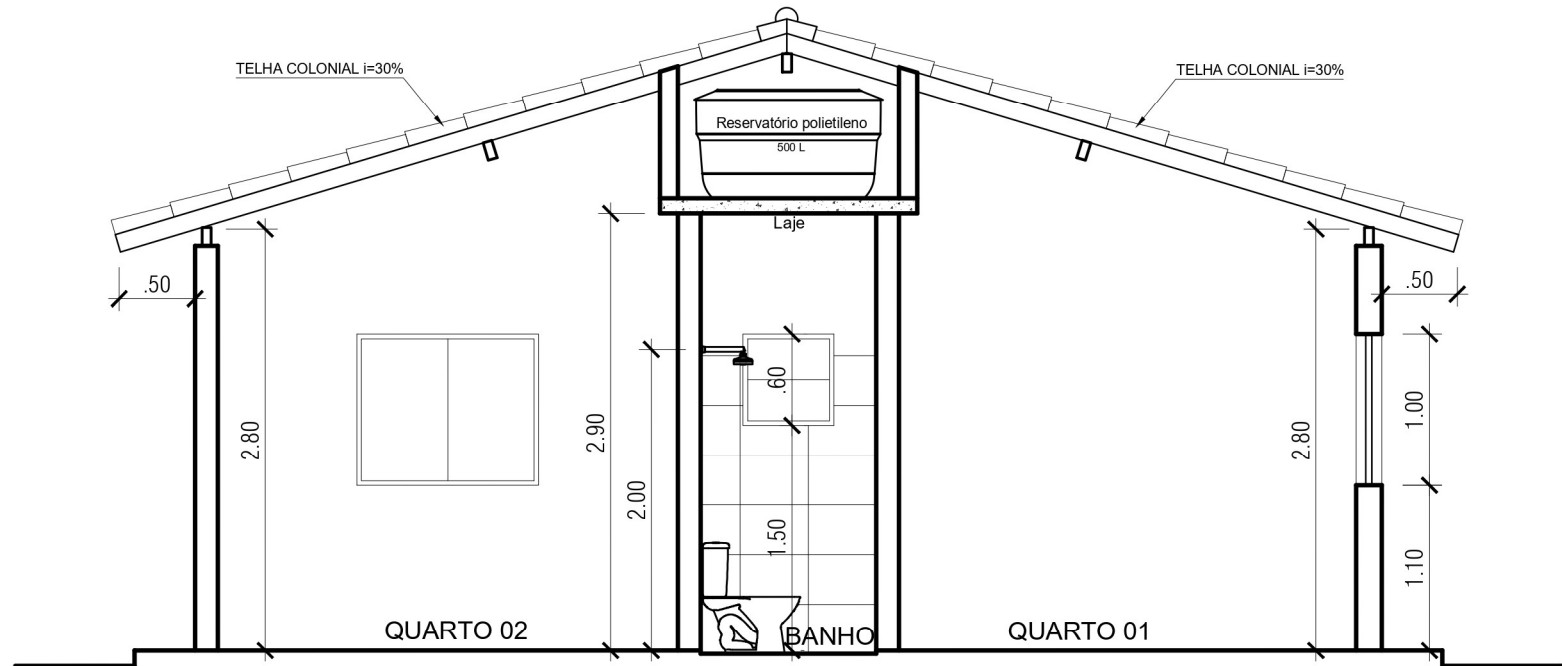
DATA

FEV.2020

ESCALA:

INDICADA

VISTO:



Corte AA

Esc.: 1/50



MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

PROJETO

MELHORIAS SANITÁRIAS HABITACIONAIS PARA O
CONTROLE DA DOENÇA DE CHAGAS (MHCDCh)

HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PROJETO ARQUITETÔNICO 02 QUARTOS

FL. Nº / N.º FL.

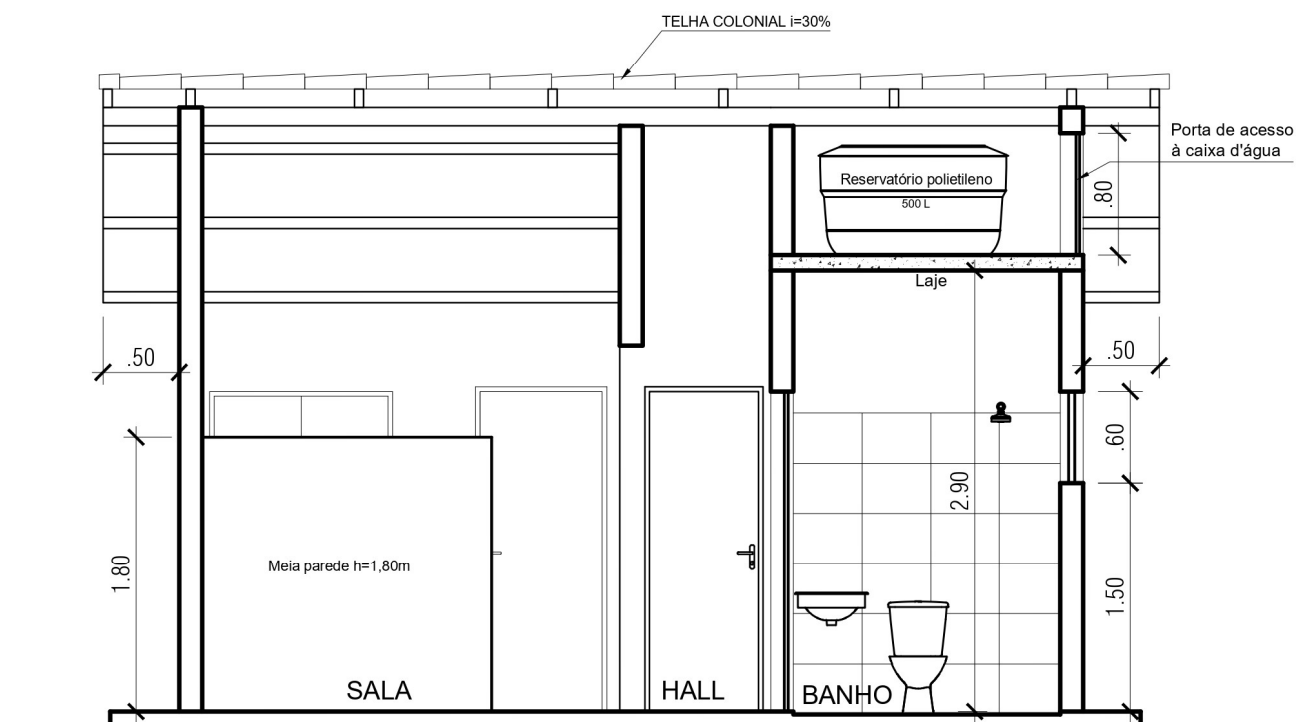
05/06

CONTEÚDO
CORTE AA

DATA
FEV. 2020

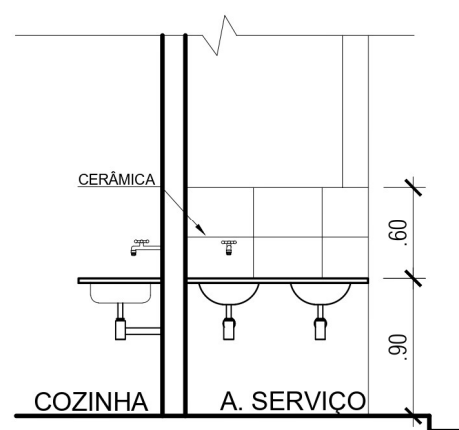
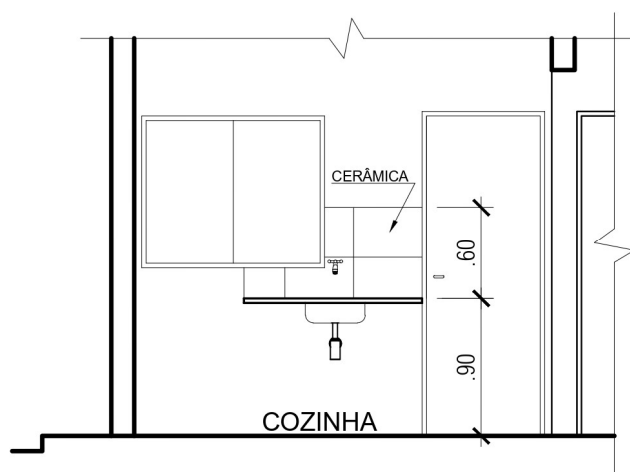
ESCALA:
INDICADA

VISTO:



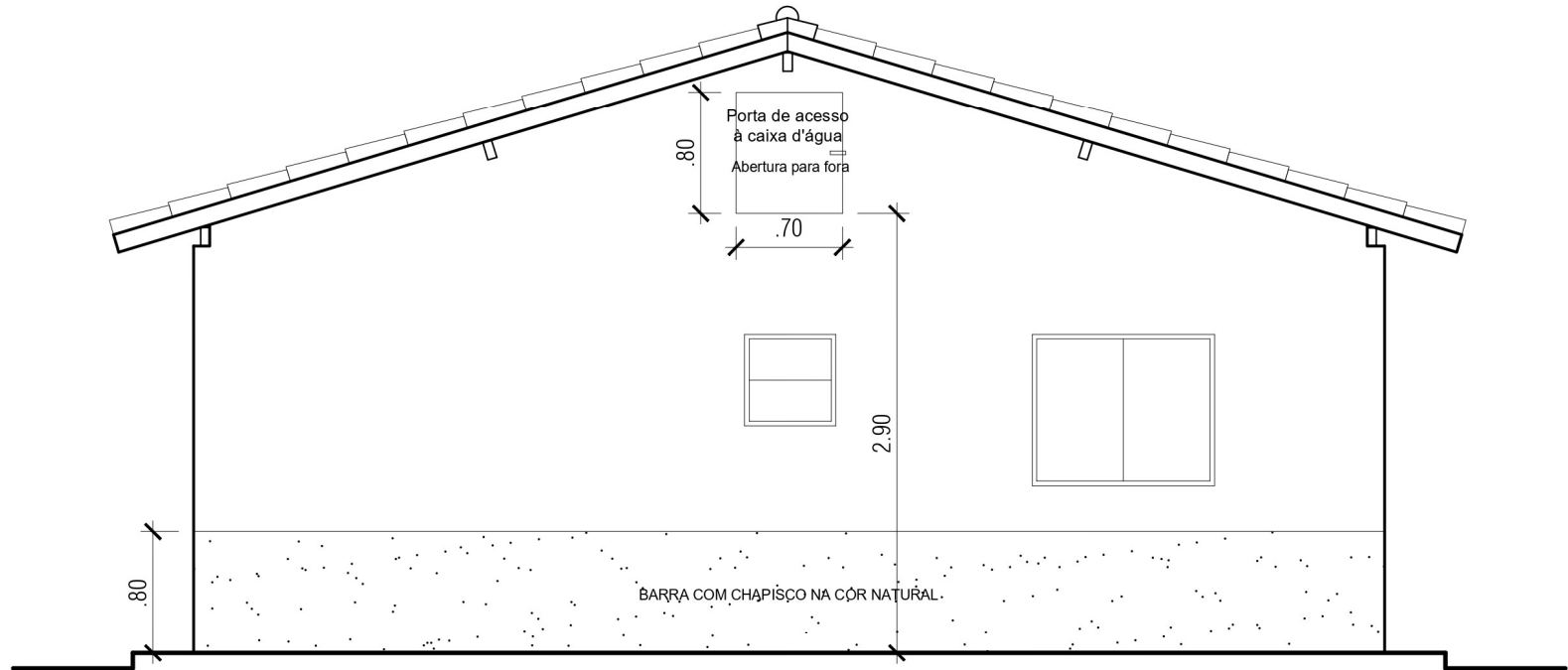
Corte BB

Esc.: 1/50



Dets. painel cerâmico cozinha e serviço

Esc.: 1/50



Fachada Lateral

Esc.: 1/50



MINISTÉRIO DA SAÚDE
FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

PROJETO

MELHORIAS SANITÁRIAS HABITACIONAIS PARA O
CONTROLE DA DOENÇA DE CHAGAS (MHCDCh)

HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

PROJETO ARQUITETÔNICO 02 QUARTOS

FL.N.º / N.º FL.

04/06

CONTEÚDO

FACHADA

DATA

FEV. 2020

ESCALA:

INDICADA

VISTO: