



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Análise comparativa entre construção convencional e construção em terra (BTC) - Utilização da terra de escavação in-situ**

Guilherme Bortolotto Pansanato

## **Dissertação**

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira  
Professor Doutor José Alberto Cerri

Fevereiro de 2024



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Análise comparativa entre construção convencional e construção em terra (BTC) - Utilização da terra de escavação in-situ**

Guilherme Bortolotto Pansanato

## **Dissertação**

Mestrado em Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira  
Professor Doutor José Alberto Cerri

Fevereiro de 2024

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio em momentos difíceis e pela felicidade nos momentos de comemoração.

Agradeço aos meus professores orientador e coorientador, António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira e José Alberto Cerri, pelo suporte e conhecimento oferecidos para o desenvolvimento da dissertação.



## RESUMO

Atualmente, o mercado da construção civil é responsável por um elevado impacto ambiental em todo o planeta, com grande parte de suas emissões e consumo de energia vinculados a produção e aplicação de insumos não renováveis. Para amenizar esses valores, devem ser promovidos materiais menos ambientalmente impactantes e que não demonstrem risco de esgotamento, ou seja, sustentáveis.

A terra é um recurso abundante e reaproveitável, o que a torna uma matéria-prima inesgotável, conceito ideal para insumos de construção. Obras com utilização de solo são comuns a milhares de anos e em todo o planeta por suas vantagens econômicas, ecológicas, sociais e de conforto, porém estas perderam popularidade devida à associação a populações de menor poder aquisitivo.

Estudos atuais têm demonstrado a eficiência e vantagens ambientais de algumas das técnicas com utilização da terra como material de construção, uma das mais relevantes dessas é o bloco de terra comprimida (BTC). Metodologia que consiste na estabilização mecânica do solo a partir de prensagem em moldes para criação de blocos de maior resistência, podendo ou não contar, também, com estabilização química.

Tendo em vista que, atualmente, a maior parte das edificações de grandes polos populacionais segue a tendência da utilização de solos, grandes escavações se tornam comuns. Volume de solo que é transportado para aterros, gerando custos e impactos ambientais, esta pesquisa busca analisar a viabilidade da utilização da terra de escavação in-situ para confecção de blocos de terra comprimida, posteriormente utilizados para construção, no local, de edificações complementares ao edificado principal.

Para tal, desenvolve-se uma análise comparativa geral entre a utilização de alvenaria de bloco de terra comprimida e cerâmica convencional, contemplando estimativas orçamentárias, de tempo de obra, de emissões de dióxido de carbono e de demanda de energia primária.

**Palavras-chave:** Construção em terra crua; Bloco de terra comprimida (BTC); Análise de impacto ambiental; Análise de produtividade; Análise econômica.

## ABSTRACT

Currently, the civil construction market is responsible for a high environmental impact worldwide, with a significant portion of its emissions and energy consumption linked to the production and use of non-renewable inputs. To mitigate these values, less environmentally impactful materials that do not demonstrate a risk of depletion, or in other words, sustainable materials, should be promoted.

Earth is an abundant and reusable resource, which makes it an inexhaustible raw material, an ideal concept for construction inputs. Earth-based projects have been common for thousands of years and throughout the planet due to their economic, ecological, social, and comfort advantages, but they have lost popularity due to their association with lower-income populations.

Current studies have demonstrated the efficiency and environmental advantages of some earth-based construction techniques, such as compressed earth blocks (CEB). This methodology involves mechanically stabilizing the soil by pressing it into molds to create blocks with greater strength, which may or may not also involve chemical stabilization.

Considering that the majority of buildings in densely populated areas currently follow the tendency of using basements, large excavations become common. The volume of soil that is transported to landfills generates costs and environmental impacts. This research seeks to analyze the feasibility of using in-situ excavated soil to create compressed earth blocks, which can then be used for the on-site construction of complementary buildings to the main structure.

To do so, a general comparative analysis is conducted between the use of compressed earth blocks and conventional ceramics, including budget estimations, construction time, carbon dioxide emissions, and primary energy demand.

**Keywords:** Raw construction; Compressed earth block (CEB); Environmental impact analysis; Productivity analysis; Economic analysis.

# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE SIGLAS .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Enquadramento .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos da investigação .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Abordagem metodológica .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Estrutura da dissertação .....</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Construção em terra .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1 Contextualização histórica .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2 Arquitetura vernácula .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.3 Vantagens ecológicas .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.4 Vantagens sociais .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.5 Sistemas construtivos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.6 Casos de estudo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Bloco de terra comprimida (BTC) .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1 Contextualização .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Terra como matéria-prima .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Requisitos para produção de BTC .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.4 Estabilização .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.5 Produção de BTC .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.6 Argamassas de assentamento e revestimento .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.7 Características mecânicas .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.8 Características acústicas .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.9 Características térmicas .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10 Comportamento higroscópico .....</b>	<b>45</b>
<b>2.2.11 Comportamento sísmico .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.12 Comportamento ao fogo .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.13 Durabilidade .....</b>	<b>46</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Projeto padrão .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Adequação do projeto padrão às técnicas construtivas .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1 Canteiro de obras .....</b>	<b>52</b>

3.2.2 Aquisição do material de construção.....	53
3.2.3 Destinação do resíduo de escavação.....	53
3.2.4 Serviços preliminares.....	53
3.2.5 Estrutura.....	53
3.2.6 Alvenaria.....	53
3.2.7 Esquadrias.....	54
3.2.8 Cobertura.....	54
3.2.9 Revestimentos.....	54
3.2.10 Pisos e pavimentos.....	55
3.2.11 Instalações hidrossanitárias.....	55
3.2.12 Instalações elétricas.....	55
3.2.13 Pintura.....	55
3.2.14 Limpeza final.....	55
3.3 Análise econômica.....	55
3.4 Análise de produtividade.....	56
3.5 Análise ambiental.....	58
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 Análises adicionais.....	61
4.2 Análise econômica.....	62
4.3 Análise de produtividade.....	64
4.4 Análise ambiental.....	66
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação granulométrica .....	25
Tabela 2: Composição granulométrica ideal para BTC .....	28
Tabela 3: Horizonte de solo orgânico que deve ser retirado .....	29
Tabela 4: Teor de água ótimo.....	30
Tabela 5: Limites de consistência ideais.....	30
Tabela 6: Estudos sobre BTC e atendimento às dimensões da norma brasileira .....	31
Tabela 7: Dimensões BTC .....	32
Tabela 8: Teor de cimento.....	33
Tabela 9: Teor de cal aérea .....	34
Tabela 10: Razões atômicas para ligantes ativados alcalinamente.....	35
Tabela 11: Razão de matriz ligante .....	36
Tabela 12: Razão de ativador alcalino.....	37
Tabela 13: Tempos de cura .....	40
Tabela 14: Orçamentos completos .....	63
Tabela 15: Parâmetros temporais para alvenarias .....	65
Tabela 16: Estimativa ambiental alvenaria cerâmica .....	66
Tabela 17: Estimativa ambiental alvenaria BTC.....	67
Tabela 18: Análise comparativa ambiental .....	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Templo de Ramsés II .....	8
Figura 2: Muralha da China .....	8
Figura 3: Castelo de Paderne .....	9
Figura 4: Cidade de Shibam do Líbano .....	9
Figura 5: Mesquita de Djenné .....	10
Figura 6: Casa "popular" construída em pau-a-pique .....	10
Figura 7: Casa com vedações em pau-a-pique .....	11
Figura 8: Parcela de construções nas emissões globais de energia e processos.....	13
Figura 9: HiLoTec Self-building Manual for Sustainable Housing .....	15
Figura 10: Diagrama classificativo de técnicas construtivas com terra.....	16
Figura 11: Taipa (monolítica) .....	18
Figura 12: Adobe (unidade) .....	18
Figura 13: Pau-à-pique (enchimento).....	18
Figura 14: Centro para cegos e deficientes visuais (1).....	19
Figura 15: Centro para cegos e deficientes visuais (2).....	19
Figura 16: Casa Peñalolén .....	19
Figura 17: Casa Flury .....	20
Figura 18: Black 40 House (1) .....	20
Figura 19: Black 40 House (2) .....	20
Figura 20: Casa Rauch .....	21
Figura 21: Centro Sharanam (1) .....	21
Figura 22: Centro Sharanam (2) .....	21
Figura 23: Casa Pacheco (1).....	22
Figura 24: Casa Pacheco (2).....	22
Figura 25: Nouveau pisé, por François Cointeraux.....	23
Figura 26: Prensa manual CINVA-Ram .....	23
Figura 27: BTCs com encaixe .....	24
Figura 28: Prensa manual .....	39
Figura 29: Prensa Hidráulica .....	39
Figura 30: Teste de queda .....	41
Figura 31: Cosa popular dos Cadernos CAIXA .....	50
Figura 32: Modelo de BTC vazado.....	54



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADAC	Avaliação do Desempenho Ambiental da Construção
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BTC	Bloco de Terra Comprimida
CO2	Dióxido de Carbono
CRATerra	Centro Internacional de Construção em Terra
FCK	Resistência Característica do Concreto à Compressão
GIDUR	Gerência de Apoio ao Desenvolvimento Urbano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PEI	Porcelain Enamel Institute
PVA	Acetato de Polivinila
PVC	Policloreto de Vinila
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
SIDAC	Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
$\sigma$	Desvio padrão



# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Enquadramento**

A sustentabilidade, como referido por Bruntland et al. (1987, p. 51), é “o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades”.

Para garantir a possibilidade de satisfação às necessidades futuras, é imprescindível que a sociedade aplique conceitos vinculados à sustentabilidade em todos os setores do desenvolvimento global. Neste estudo será aprofundado o conceito do desenvolvimento sustentável na construção civil, mais especificamente na produção e aplicação de materiais de construção.

## Introdução

Uma parcela das emissões vinculadas à construção civil é originária da produção e aplicação de materiais de construção. A partir do relatório, citado anteriormente, pode constatar-se que, a produção de concreto, aço, alumínio, vidro e tijolos, em 2021, é responsável por entre 8 e 10% das emissões globais (United Nations Environment Programme, 2022). Índices que podem ser reduzidos a partir de mudanças na produção e aplicação desses materiais, mas também devem ser reduzidos a partir da utilização de insumos de menor impacto ambiental que mantenham os benefícios dos convencionais.

Para garantir menores emissões de forma sustentável, materiais devem utilizar recursos naturais sem constituir riscos de esgotamento aos mesmos. Devem ser compostos por matérias-primas renováveis, por insumos que permitam reaproveitamento ou por materiais reciclados e ainda garantir índices reduzidos de emissões em todos os processos de produção, transporte, execução e utilização (Torgal & Jalali, 2007).

A terra é um recurso abundante e reaproveitável, o que a caracteriza como uma matéria-prima inesgotável. Sua natureza universal garante, ainda, a possibilidade de produção local, minimizando as emissões vinculadas ao processo de transporte de seus insumos.

A construção em terra é utilizada há milhares de anos e as características citadas anteriormente fazem com que esta seja muito comum em todos os continentes do planeta. Como comentado por Torgal et al. (2009, p. 17), “Vários autores (Rael, 1971; Dethier, 1986; Eires & Jalali, 2008) referem que quase 50% da população mundial vive em habitações feitas com terra”. No Brasil a construção em terra se mostra, principalmente, a partir do pau-a-pique, que, para Olender (2013, p. IX), “representa uma das primeiras técnicas construtivas utilizadas no Brasil, tendo sido usado em uma considerável parcela dos edifícios que integram o patrimônio cultural brasileiro, muitos deles fazendo parte de núcleos urbanos reconhecidos mundialmente pela UNESCO como patrimônio da humanidade”.

Apesar de sua eficiência e de suas vantagens econômicas, ecológicas e sociais, a construção em terra teve redução em sua popularidade, provavelmente ocasionada por seu vínculo a parcelas populacionais de menores recursos econômicos, panorama que vem sendo alterado nos últimos anos a partir de estudos que analisam a aplicabilidade e sustentabilidade destas construções (Torgal et al., 2009).

A construção em terra, caracterizada por sua concepção vernácula, engloba diversas técnicas construtivas, variando de acordo com especificações geográficas e culturais. São exemplos de construções em terra a taipa, o pau-a-pique, o adobe, o superadobe, o tabique, o cob, a terra escavada, as argamassas de terra e o bloco de terra comprimida (BTC).

Este estudo tem enfoque na técnica do BTC, esta consiste na estabilização do solo por meios mecânicos ou mecânicos e químicos, prensando-o em moldes, criando blocos de terra comprimida, com maior resistência mecânica e à presença de água. Como descrito por Torgal et al. (2009, p. 48), “Este tipo de construção permite uma rápida execução, facilidade de montagem e uma diminuição dos resíduos de construção”. Os blocos de terra comprimida permitem, ainda, a prensagem em diferentes moldes, garantindo diferentes formas e possibilitando a atribuição de reforços, tubagens e mais.

Atualmente, a maioria das edificações de grandes polos populacionais segue a tendência da utilização de subsolos, visando ganhar espaços valiosos em zonas de metragem economicamente expressiva. São comuns escavações, com seu volume variando de acordo com a área e necessidade do projeto. Tendo em vista que, normalmente, o volume de solo escavado é transportado para aterros, gerando custos e emissões, esta pesquisa busca analisar a viabilidade da utilização da terra de escavação *in-situ* para confecção de blocos de terra comprimida, posteriormente utilizados para construção, no local, de edificações complementares ao edificado principal.

### **1.2 Objetivos da investigação**

O estudo busca analisar a produtividade, a viabilidade econômica e o impacto ambiental do uso de terra de escavação como matéria-prima principal na produção de blocos de terra comprimida (BTC). Para tal, objetiva comparar projetos semelhantes, diferenciando-os na destinação do resíduo terra e na criação de edifícios complementares a partir de métodos construtivos diferentes, em alvenaria convencional ou de BTC.

Desta forma, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- 1) Revisão bibliográfica sobre temas relevantes para a elaboração da dissertação;
- 2) Desenvolvimento de enquadramento e conceitos necessários para o entendimento e interpretação da dissertação;
- 3) Escolha de projeto base de edificação complementar convencional para a elaboração do estudo;
- 4) Análise de viabilidade econômica:
  - a. Orçamento da destinação da terra de escavação a aterro somada a construção complementar em alvenaria convencional;
  - b. Orçamento do uso da terra de escavação para produção de BTC somada a construção complementar em alvenaria do mesmo;

- 5) Análise de produtividade:
  - a. Cálculo do tempo de obra com alvenaria convencional;
  - b. Cálculo do tempo de obra com alvenaria de BTC;
- 6) Análise de impacto ambiental:
  - a. Cálculo das emissões de dióxido de carbono e da demanda de energia primária da destinação da terra de escavação a aterro somada a construção complementar em alvenaria convencional;
  - b. Cálculo das emissões de dióxido de carbono e da demanda de energia primária do uso da terra de escavação para produção de BTC somada a construção complementar em alvenaria do mesmo;
- 7) Análise de resultados e conclusões sobre o tema.

### **1.3 Abordagem metodológica**

A partir de uma metodologia científica quali-quantitativa, a dissertação apresenta uma pesquisa teórica aplicada, com viés exploratório.

A fase inicial desta pesquisa, que se desenvolveu por toda sua realização, foi de pesquisa bibliográfica através de dissertações, artigos, legislações, relatórios e mais.

Posteriormente foi escolhido o projeto base para desenvolvimento do estudo, este foi adequado para as tecnologias construtivas abordadas no estudo e dividido em etapas para a realização da análise.

A partir deste projeto base pôde-se iniciar o processo de análise da utilização de alvenaria de bloco de terra comprimida e de tijolos cerâmicos, a partir das estimativas orçamentárias, de tempo de obra, de emissões de dióxido de carbono e de demanda de energia primária.

Por fim foram comparadas as características de cada técnica construtiva, determinando suas vantagens e desvantagens e relacionando seus resultados como forma de avaliar a viabilidade da utilização da alvenaria de BTC e extrair conclusões sobre o tema.

### **1.4 Estrutura da dissertação**

A dissertação discorre a partir de 6 capítulos, o capítulo presente apresenta um enquadramento ao tema abordado, descreve as principais motivações de sua escolha e os objetivos do estudo. Por fim o capítulo estrutura a dissertação, descrevendo sua metodologia de trabalho e exposição.

## *Introdução*

O segundo capítulo apresenta referências bibliográficas importantes para o desenvolvimento da pesquisa. Descreve principais conceitos da construção em terra relacionando-os ao panorama da construção atual, além de dissertar de forma mais criteriosa sobre a técnica construtiva do bloco de terra comprimida (BTC), tendo em vista que este constitui o enfoque do estudo.

É no terceiro capítulo que a metodologia da pesquisa toma forma, a partir da escolha do projeto padrão e do estudo das características de cada processo construtivo, contemplando os cálculos das análises econômicas, de produtividade e ambiental.

Os capítulos quarto, quinto e sexto, apresentam os resultados obtidos através da pesquisa comparando-os, analisando-os e extraindo conclusões acerca das vantagens e desvantagens de cada técnica e avaliando a viabilidade da utilização de alvenaria de bloco de terra comprimida para o caso estudado.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Construção em terra**

Este subcapítulo tem como objetivo a apresentação de conceitos introdutórios, porém importantes, sobre a construção em terra. Inicialmente, o conteúdo abrangerá as diversas técnicas construtivas com uso do solo, enquadrando sua história, arquitetura e principais características globais vinculadas a estas construções.

#### **2.1.1 Contextualização histórica**

Construções em terra carregam consigo a capacidade de reversibilidade, sua matéria-prima permite a fácil reutilização e quando abandonada, esta se desfaz totalmente mais rapidamente que a maioria das construções. Esta característica torna mais difícil a datação exata da primeira construção em terra, como citado por Torgal et al. (2009, p. 10), “não é consensual a data em que o homem começou a utilizar a terra na construção ... porém, não se estará muito longe da verdade se se admitir que a construção em terra tenha tido o seu início

juntamente com o início das primeiras sociedades agrícolas num período cujos conhecimentos atuais remontam entre 12.000 e 7.000 a.C.”

São diversas, as construções em terra executadas a centenas ou milhares de anos que se mantiveram até o século XXI, algumas destas citadas nos próximos parágrafos.

O templo de Ramsés II, apresentado na figura 1, localizado em Gourná, no Egito. Construído, em torno de 1200 a.C., a partir da técnica construtiva adobe.



*Figura 1: Templo de Ramsés II  
Fonte: Norton, 1973*

A muralha da China, ilustrada na figura 2, a qual apresenta diversas parcelas construídas a partir da técnica construtiva taipa. Não há data precisa da construção destas partes, porém sabe-se que a construção da muralha teve início perto de 1000 a.C.



*Figura 2: Muralha da China  
Fonte: Schneemayer, 2017*

O castelo do Paderne, exposto na figura 3, situado no Algarve, em Portugal é um exemplo da arquitetura militar islâmica, construído em taipa, revestida com pedra vermelha. Sua constituição data em torno de 1200 d.C. e seus maiores danos são vinculados à ação de sismos.



*Figura 3: Castelo de Paderne  
Fonte: Oliveira, 2011*

A cidade histórica de Shibam do lémen, figura 4, ainda habitada até os dias atuais, originou-se em torno de 300 d.C., porém a maior parte dos seus edifícios é datada próxima há 1600 d.C. A cidade destaca-se pela presença de edifícios de 5 a 11 andares, construídos em terra, mais especificamente em adobe.



*Figura 4: Cidade de Shibam do lémen  
Fonte: Giorgi, 2014*

A mesquita de Djenné, em Mali, apresentada na figura 5 e citada por Barroso (2016, p. 12) como “a maior obra arquitetônica de barro do mundo”, teve sua origem próxima a 1200 d.C.,

porém, foi reconstruída em torno de 1900 d.C. Está foi constituída em adobes e reboco de terra, integrando a arquitetura de mesquitas às técnicas construtivas locais.



*Figura 5: Mesquita de Djenné  
Fonte: Herring, 2005*

No Brasil, as primeiras construções em terra conhecidas foram originadas a partir da integração das técnicas construtivas lusitanas aos costumes indígenas e africanos. Como citado por Olender (2013, p. 1), “uma das técnicas mais encontradas na arquitetura brasileira, à qual é atribuída a feitura dos primeiros edifícios construídos pelos portugueses no Brasil, é aquela conhecida como pau-a-pique ou taipa de mão”. Esta técnica, ilustrada pelas figuras 6 e 7, é culturalmente vinculada a condições econômicas precárias, o que, por muito tempo, fez com que esta fosse considerada uma “técnica efêmera”, como descrito pela mesma autora.



*Figura 6: Casa "popular" construída em pau-a-pique  
Fonte: Laurini, 2010*

Ainda assim, o Brasil conta com diversos edifícios construídos, parcial ou totalmente, com paredes de pau-a-pique e elevado valor cultural, muitos, inclusive, reconhecidos pela UNESCO como patrimônio mundial (Olender, 2013). Barroso (2016) complementa discorrendo sobre o uso, além da técnica construtiva do pau-a-pique, do adobe e da taipa de pilão, utilizadas, principalmente, nas regiões de São Paulo, Minas Gerais e Goiás.



Figura 7: Casa com vedações em pau-a-pique  
Fonte: Lima, 2008

Comumente, as construções em terra são relacionadas a zonas áridas ou quentes, porém, como explicado por Ferreira (2015, p. 19), “cruzando a localização das zonas com maior densidade de construção em terra, com as informações relativas aos valores de precipitação e temperaturas médias anuais a nível mundial, não se pode afirmar que existe relação óbvia e direta entre ambas”.

Como explicado por Torgal e Jalali (2010, p. 19 citado por Ferreira, 2015):

“Por um lado, podem encontrar-se construções em terra nos países do Báltico como a Estónia onde se verificam anualmente temperaturas muito baixas ou nas regiões equatoriais de África e América do Sul, com temperaturas médias mais elevadas. Por outro lado, a precipitação ou umidade intensa, não parecem ser determinantes quando se observa a construção em terra empilhada no Reino Unido ou na região da Normandia no norte de França, regiões de reconhecida precipitação elevada.”

### **2.1.2 Arquitetura vernácula**

Como descrito por Figueira (2016, p. 44), ao referenciar conceitos de Oliver (1998):

“A arquitetura vernácula representa o arquétipo de construção popular espontânea resultante do progresso de apropriação humana ao local onde se assenta, contextualizando-a a nível climático, material e cultural.”

O caráter vernáculo, na arquitetura, pode ser relacionado a um sistema de concepção natural, com seu desenvolvimento vinculado ao máximo proveito dos recursos disponíveis e das características locais, como consequência de um processo evolutivo multifatorial e milenar (Figueira, 2016).

A construção em terra, como exemplificado no subcapítulo anterior, varia, em sua técnica construtiva e arquitetura, de acordo com as características geográficas e culturais locais. Sua vernacularidade se torna ainda mais diversa a partir do momento que sua principal matéria-prima é abundante no globo e que este material permite a modelação, facilitando a expressão cultural por meio da construção.

No entendimento de Rudofsky (1981, p. 36 citado por Figueira, 2016), “na arquitetura vernácula, tradicionalmente confinada pelos limites naturais e sociais, sustentabilidade era uma propriedade inerente ao ato de construir, situando o objeto em conformidade com os condicionalismos locais, ao invés de os tentar conquistar”. Desta forma, a reintegração do componente vernáculo na construção contemporânea, traz consigo, além dos benefícios culturais, diversas vantagens ecológicas.

### **2.1.3 Vantagens ecológicas**

A construção em terra conta com diversas vantagens em relação a impactos ambientais, esta, normalmente, está ligada a baixas emissões e baixos gastos de energia, porém tais características variam, principalmente, de acordo com a técnica construtiva utilizada. Nos próximos parágrafos apresentam-se as características positivas globais ao uso da terra como material de construção, em relação ao caráter ecológico.

Como citado anteriormente, o Relatório do Status Global de Edificação e Construção de 2022 (United Nations Environment Programme, 2022), ilustrado pela figura 8, vincula entre 8 e 10% das emissões de dióxido de carbono globais a produção de materiais de construção (especificamente concreto, aço, alumínio, vidro e tijolos), porém além deste valor já bastante relevante, o documento ainda atribui 22% das emissões globais a transportes (dados de 2021).

A utilização de insumos de produção menos emissora de CO<sub>2</sub> é importante, mas a redução de emissões no transporte desses também é significativa.

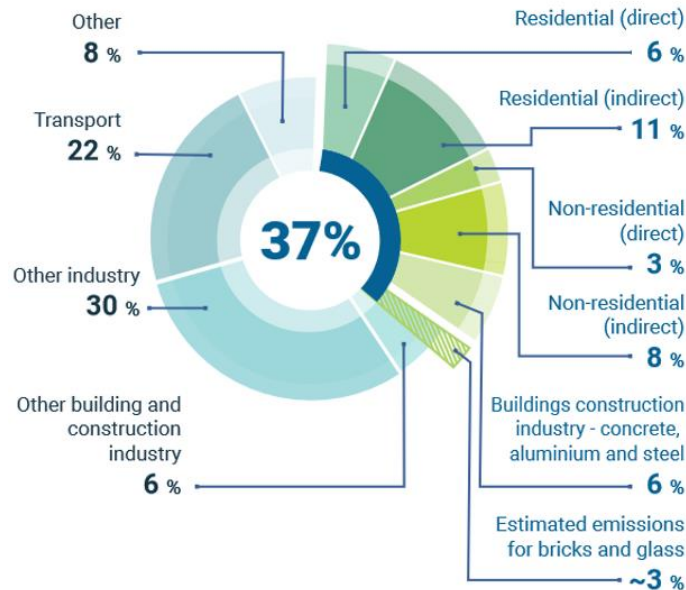


Figura 8: Parcela de construções nas emissões globais de energia e processos em 2021  
Fonte: United Nations Environment Programme, 2022

A terra é um recurso abundante e que se encontra apto ao uso em construções no seu estado original, sem grandes processos industrializados de produção. Características que, em diversos casos, permitem a extração da matéria-prima no próprio local da obra ou muito próximo do mesmo. Desta forma uma considerável parcela do impacto econômico e ambiental da construção, vinculados ao transporte de materiais é reduzida, tanto na etapa de construção, quanto em possível caso de demolição e destinação dos resíduos (Torgal et al., 2009; Falcão, 2014; Figueira, 2016; Gomes, 2021).

Em relação a possibilidade de demolição, a construção em terra apresenta, ainda, a mais valia de ter sua durabilidade majoritariamente atribuída à manutenção adequada. Em primeiro momento esta propriedade pode soar inconveniente ou exigente, porém construções convencionais também necessitam de manutenção para manter a eficiência de suas funções. A grande diferença entre as construções é que, ao fim de seu uso, pelo elevado custo de sua demolição, uma construção convencional pode ser destinada ao abandono, muitas vezes impossibilitando novas aplicações ao local, a construção em terra, por sua vez, como citado por Fonseca (2007, p. 51 citado por Figueira, 2016), “depois de abandonada e iniciado o processo de degradação tem um curto prazo até a ruína e destruição completa”, facilitando a reabilitação do local.

Vale ressaltar que a construção em terra crua praticamente não gera resíduos, tendo em vista que os desperdícios de sua construção permitem a deposição no local da construção sem qualquer risco ambiental. Mesmo quando estabilizada a partir da aplicação de cal ou cimento, as reduzidas concentrações não criam risco de contaminação dos terrenos envolventes, quando estabilizadas a partir de ativação alcalina as características de baixa solubilidade e capacidade de lixiviação garantem o baixo risco de contaminação (Torgal et al., 2009; Torgal & Jalali, 2009; Bestraten et al., 2011 citado por Falcão, 2014).

Por fim, a terra como matéria-prima, quando não cozida, mantém suas características originais, garantindo a possibilidade de reaproveitamento absoluto como material de construção sem nenhuma redução de eficiência, mesmo após estabilização com cal, cimento ou ligantes obtidos por ativação alcalina (Torgal et al., 2009; Torgal & Jalali, 2009; Teodoro, 2011; Figueira, 2016).

#### **2.1.4 Vantagens sociais**

Historicamente, a terra, como material de construção, foi constantemente utilizada por sociedades de menor expressividade econômica, o que não é um vínculo absoluto, porém uma relação coerente. A terra é um recurso abundante e reaproveitável, seus meios de produção não exigem, necessariamente, ferramentas elaboradas e suas técnicas construtivas são simples, o que permite a construção com recursos econômicos mínimos (Figueira, 2016; Barroso, 2016).

Esta capacidade confere à terra, como matéria-prima, relevância no cenário de autoconstrução (processo de construção com autonomia da população), metodologia pertinente para comunidades em momentos de crise, reconstrução ou desenvolvimento (Duarte, 2013; Figueira, 2016).

Um exemplo de aplicação social da construção em terra, a partir da autoconstrução, é o projeto HiLoTec (Universidade do Minho e Mota-Engil S.A.), desenvolvendo uma solução construtiva de baixo custo, a partir de blocos de terra comprimida (BTC), e por fim, criando um manual de autoconstrução de residências sustentáveis (Ramos et al., 2011), figura 9.

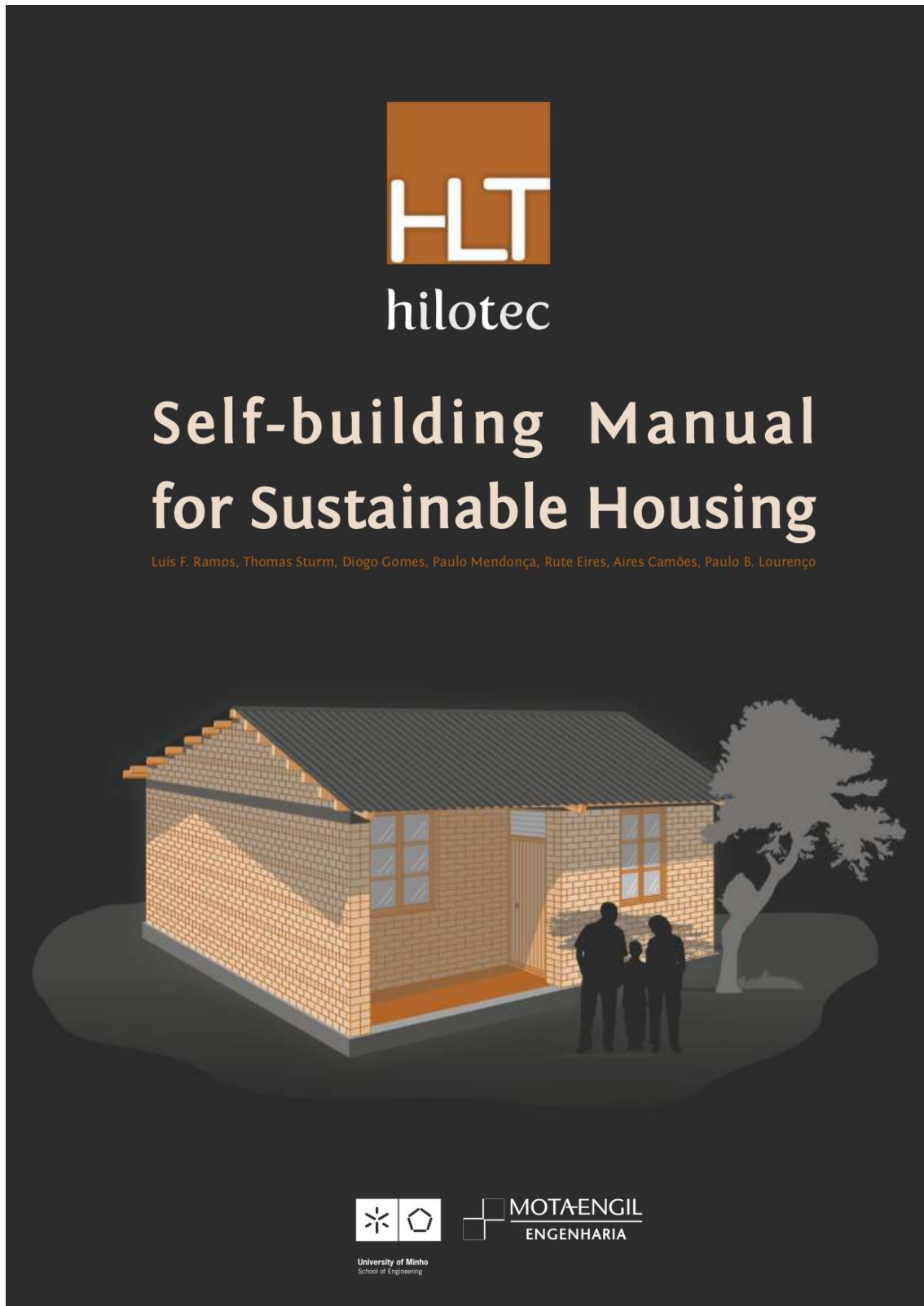


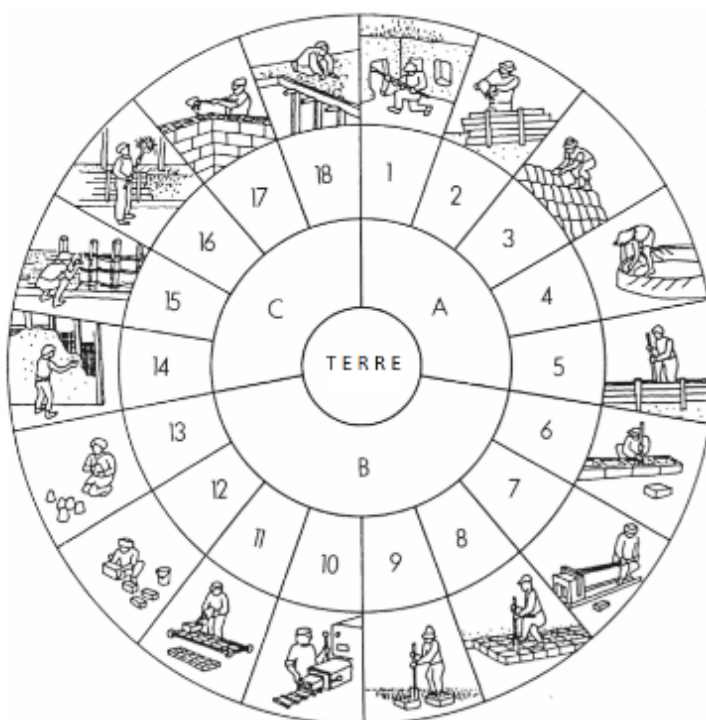
Figura 9: HiLoTec Self-building Manual for Sustainable Housing  
Fonte: Ramos et al., 2014

### 2.1.5 Sistemas construtivos

A construção em terra inclui diversas técnicas construtivas, Torgal et al. (2009) as distribui em três sistemas fundamentais:

- Monolítica (*in situ*);
- Por unidades (alvenaria);
- Por enchimento e revestimento.

Sistemas representados pelo diagrama elaborado por CRATerre (1989) e referenciado por Rodrigues (2019), citando 18 diferentes técnicas construtivas em terra, apresentadas na figura 10.



A	B	C
Terra como elemento monolítico e portante	Terra como alvenaria portante	Terra como preenchimento de uma estrutura de suporte
1 - Terra escavada	6 - Blocos apilados	14 - Terra de recobrimento
2 - Terra plástica	7 - Blocos prensados	15 - Terra sobre engradado
3 - Terra empilhada	8 - Blocos cortados	16 - Terra palha
4 - Terra modelada	9 - Torrões de terra	17 - Terra de enchimento
5 - Taipa	10 - Terra extrudida	18 - Terra de cobertura
	11 - Adobe mecânico	
	12 - Adobe manual	
	13 - Adobe moldado	

Figura 10: Diagrama classificativo de técnicas construtivas com terra  
 Fonte: CRATerre citado por Rodrigues, 2019

### **Monolítica:**

A terra como elemento monolítico e portante, figura 11, é caracterizada por não haver diferenciação entre o material e o elemento construtivo. Este sistema abrange, por exemplo, construções em terra escavada, terra armada, cob e taipa (Torgal et al., 2009; Gomes, 2021).

Destaca-se, por sua arquitetura e eficiência, o sistema construtivo taipa, que consiste, de forma simplificada, na compactação de camadas de terra, a partir de pilões ou compactadores pneumáticos, em formas ou cofragens.

### **Por unidades:**

A terra como alvenaria portante, figura 12, é característica pela execução a partir de unidades pré-fabricadas secas ao ambiente. Este sistema abrange, por exemplo, terra extrudida, adobe e tijolo ecológico, também conhecido como tijolo de solo-cimento (no caso de estabilização com cimento) ou bloco de terra comprimida (BTC). O último é uma técnica construtiva, relativamente, recente e de crescente relevância no cenário mundial (Torgal et al., 2009; Gomes, 2021).

### **Por enchimento e revestimento:**

Em sistemas de terra como preenchimento de estrutura de suporte, figura 13, o material tem função secundária na construção, constituindo funções de vedação e proteção à estrutura principal. Este sistema abrange técnicas de argamassa de revestimento em terra, tabique e pau-a-pique (Torgal et al., 2009; Gomes, 2021).

Vale ressaltar a aplicação de argamassas de terra como composto de ligação, normalmente entre unidades de alvenaria, citado por Gonçalves e Gomes (2012) ao julgar pertinente a criação de uma quarta família para este sistema.



Figura 11: Taipa (monolítica)  
Fonte: *Arquitecturas de Terra*, 2009



Figura 12: Adobe (unidade)  
Fonte: *Picorelli*, 2011



Figura 13: Pau-à-pique (enchimento)  
Fonte: *Guedes*, 2018

### 2.1.6 Casos de estudo

Com o objetivo de exemplificar as diversas técnicas construtivas, demonstrando seu potencial arquitetônico e sua relevância no cenário mundial, além de reduzir preconceitos relacionados ao seu vínculo a sociedades de menor poder econômico e a estéticas, necessariamente, tradicionais, neste capítulo são apresentadas obras contemporâneas concebidas a partir dos sistemas construtivos em terra de maior expressão.

#### **Centro para cegos e deficientes visuais, Cidade do México, México (2000):**

Com 14000 m<sup>2</sup>, o centro para cegos e deficientes visuais, ilustrado pelas figuras 14 e 15, foi construído a partir de uma técnica construtiva típica do México, o *tapetate*. Este consiste na produção de blocos de terra com solo compactado naturalmente, aplicando-os diretamente na construção. Vale ressaltar que, neste caso, os elementos em terra não são estruturais, aplicados apenas como alvenaria não portante em estrutura em concreto armado (Duarte, 2013).



Figura 14: Centro para cegos e deficientes visuais (1)  
Fonte: Duarte, 2013



Figura 15: Centro para cegos e deficientes visuais (2)  
Duarte, 2013

### **Casa Peñalolén, Peñalolén, Chile (2005):**

Residência construída a partir de técnica denominada *quincha metálica*, apresentada na figura 16, caracterizada por Duarte (2013, p. 104) como “uma interpretação moderna do tabique de terra”, técnica que utiliza vigas metálicas estruturais e vedações definidas por telas metálicas, com uso de argamassa de terra, estabilizada com cal, como preenchimento.



Figura 16: Casa Peñalolén  
Fonte: Duarte, 2013

### **Casa Flury, Deitingen, Suíça (2009):**

A residência, apresentada na figura 17, construída em zona rural da Suíça conta com paredes construídas a partir de terra empilhada, estabilizada com fibras vegetais (cob), com 80 cm e não estruturais, sendo a estrutura constituída em madeira. A construção destaca-se pela eficiência das paredes em regular higroscopicamente o ambiente, além de conservar o calor do sistema de aquecimento pela alta inércia térmica das paredes em terra (Falcão, 2014).



Figura 17: Casa Flury  
Fonte: Falcão, 2014

### **Black 40 House, Tucson, Arizona, E.U.A (2006):**

Inspirada em antigas habitações de nativos de desertos americanos, a casa é parcialmente enterrada, em torno de 60 cm, e a partir da terra de escavação foram construídas as paredes de 45 cm de espessura de taipa, estabilizada com 4% de cimento. A construção, ilustrada pelas figuras 18 e 19, ainda conta com a particularidade de a cobertura ser ancorada à fundação, a partir de varões metálicos que atravessam o centro da parede de taipa (Duarte, 2013).



Figura 18: Black 40 House (1)  
Fonte: Duarte, 2013



Figura 19: Black 40 House (2)  
Fonte: Duarte, 2013

### **Casa Rauch, Schlins, Áustria (2008):**

A habitação, apresentada na figura 20, conta com 85% do material originário do local da construção, majoritariamente terra. Nesta foram aplicadas diversas técnicas construtivas, utilizando do solo na constituição do piso, paredes e cobertura. Destacam-se as vedações de taipa, porém com a particularidade da aplicação de camadas espaçadas de tijolo cerâmico externo para prevenção de erosão (Duarte, 2013; Falcão, 2014).



Figura 20: Casa Rauch  
Fonte: Falcão, 2014

### **Centro Sharanam para desenvolvimento rural, Pondicherry, Índia (2004):**

O edifício de caráter multifuncional foi construído a partir de mais de 2000 blocos de terra comprimida (BTC), estabilizados com 5% de cimento e compactação manual, ilustrado pelas figuras 21 e 22. Além das paredes em BTC, as fundações foram constituídas completamente em taipa, os rebocos em argamassa de terra e as coberturas estruturadas em abóbodas de alvenaria de BTC autoportante (Lad, 2020).



Figura 21: Centro Sharanam (1)  
Fonte: Lad, 2020



Figura 22: Centro Sharanam (2)  
Fonte: Lad, 2020

### **Casa Pacheco, Caucaia, Ceará, Brasil (2021):**

No Brasil, um edifício que se destaca é a casa Pacheco, exposto pelas imagens 23 e 24, construída a partir de blocos de terra comprimida (BTC) estabilizados com cimento, citados como tijolos ecológicos, além de madeira e vidros reaproveitados (Eco Tijolo Fortaleza, 2021).



Figura 23: Casa Pacheco (1)  
Fonte: Portal Eco Tijolo Fortaleza, 2021



Figura 24: Casa Pacheco (2)  
Fonte: Portal Eco Tijolo Fortaleza, 2021

## 2.2. Bloco de terra comprimida (BTC)

Por sua vez, este subcapítulo objetiva o enquadramento técnico à tecnologia construtiva do bloco de terra comprimida (BTC). De forma mais específica e criteriosa, são apresentados conceitos relacionados à produção, aplicação, funcionalidade e eficiência do material, além de características que este carrega para a construção final.

### 2.2.1 Contextualização

O desenvolvimento da técnica do bloco de terra comprimida teve início em torno de 1785, por François Cointeraux, que, de forma semelhante a taipa, produziu blocos modulares de terra apiloada em moldes (*nouveau pisé*), técnica caracterizada pela figura 25. Em 1806 a tecnologia foi aprimorada, quando Cointeraux, inspirado por prensas vinícolas, criou a que é considerada a primeira prensa de BTC (Rodrigues, 2019).

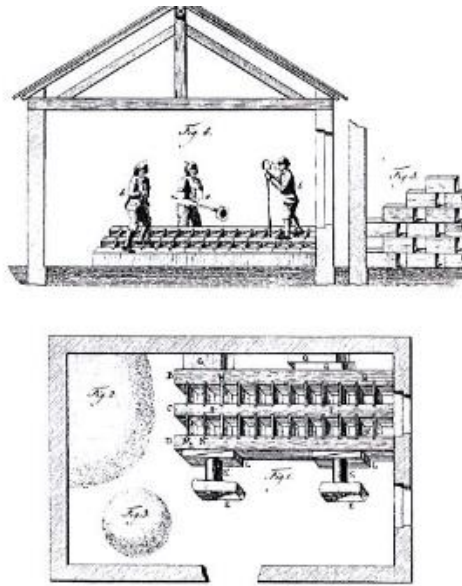


Figura 25: Nouveau pisé, por François Cointeraux  
Fonte: Rodrigues, 2019

Apesar das aparições anteriores, foi apenas a partir de 1952 que a técnica de blocos de terra comprimida se tornou global. A partir da criação da prensa manual CINVA-Ram, figura 26, por Raúl Ramirez, que as vantagens do BTC foram mundialmente reconhecidas, nomeadamente portabilidade, facilidade de utilização e eficiência na produção (Rodrigues, 2019).



Figura 26: Prensa manual CINVA-Ram  
Fonte: Torgal et al., 2009

Atualmente, encontram-se diversas prensas para estabilização mecânica do BTC, destacam-se as manuais, pelo baixo custo e portabilidade, e as hidráulicas, pela produtiva e eficiente fabricação de blocos (Torgal et al., 2009).

O desenvolvimento dessas diferentes prensas proporciona, ainda, a produção de diversos modelos de blocos, ilustrados pela figura 27, variando de acordo com suas funções na construção. Mais do que diferentes tamanhos e formas, a aplicação de protótipos de blocos

furados, por exemplo, permite a passagem de tubulações hidráulicas e elétricas, além de possibilitar o reforço da estrutura, diversificando suas aplicações (Torgal et al., 2009).

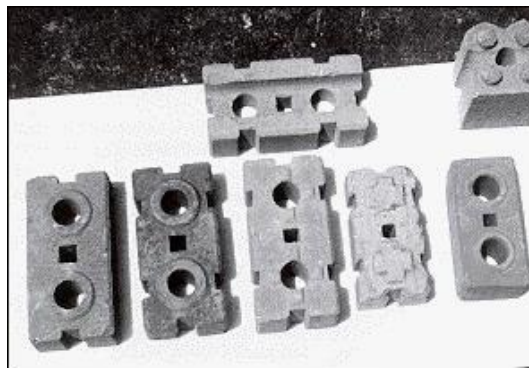


Figura 27: BTCs com encaixe  
Fonte: Torgal et al., 2009

A evolução na estabilização dos blocos de terra comprimida não está vinculada somente ao avanço tecnológico das prensas, a aplicação de materiais ligantes misturados a terra se tornou comum, por gerar aumento da resistência mecânica e impermeabilidade, consecutivamente elevando sua durabilidade. Os estabilizantes químicos mais comuns são a cal, o cimento Portland e os ligantes de ativação alcalina (Torgal et al., 2009; Araujo, 2015; Simões, 2015).

Resumidamente, os blocos de terra comprimida, também conhecidos como tijolos ecológicos ou tijolos de solo-cimento (quando estabilizados quimicamente a partir deste), são unidades de solo estabilizados mecânica e quimicamente, que constituem uma tecnologia de alvenaria acessível, versátil e eficiente.

### **2.2.2 Terra como matéria-prima**

O solo, por ser um material natural proveniente da sedimentação de rochas, tem espessuras altamente variáveis, porém com composições genéricas de perfil semelhantes, constituídas por horizontes bem definidos (Houben & Guillaud, 1989 citado por Rodrigues, 2019). O horizonte superficial é rico em matéria orgânica, de rápida decomposição, o que é prejudicial para seu uso como material de construção, desta forma, para atingir a camada de solo adequada, deve ser retirada sua porção superficial (Rodrigues, 2019).

Juntamente a concentração de matéria orgânica e a consistência, a classificação de mais relevância para a terra como material de construção é referente a dimensão de suas partículas. A norma ABNT NBR 6502 (2022) classifica os solos, de acordo com sua granulometria a partir dos intervalos apresentados na tabela 1:

Tabela 1: Classificação granulométrica

Classificação do solo		Granulometria
Pedregulho	Pedregulho grosso	60 mm - 20 mm
	Pedregulho médio	20 mm – 6 mm
	Pedregulho fino	6 mm - 2 mm
Areia	Areia grossa	2 mm - 0,6 mm
	Média	0,6 mm - 0,2 mm
	Areia fina	0,2 mm - 0,06 mm
Silte	Silte	0,06 mm - 0,002 mm
Argila	Argila	< 0,002 mm

As concentrações de partículas de diferentes dimensões, de matéria orgânica e de água, moldam o comportamento da terra como material de construção. Desta forma, para garantir a eficiência do material, o solo deve ser devidamente caracterizado e corrigido, quando necessário (Ferreira, 2015; Rodrigues, 2019).

Tendo em vista a necessidade de caracterização do solo, cientificamente sustentada, torna-se imprescindível a realização de ensaios de campo e/ou laboratoriais que certifiquem sua aplicabilidade como material de construção (Ferreira, 2015).

#### **Ensaio de campo:**

Os ensaios preliminares de campo, propostos pelo laboratório CRATerre, centro internacional de pesquisa de construção em terra, permitem a identificação inicial de características importantes referentes à terra.

- a. Observação da cor:** Solos escuros constatarem, normalmente, elevada presença de matéria orgânica, solos claros caracterizam areias quártzicas ou feldspáticas e solos avermelhados têm elevados níveis de óxidos de ferro.
- b. Identificação do odor:** Solos com intenso odor de húmus são caracterizados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica, vale ressaltar que neste caso os odores aumentam gradualmente com o aumento de temperatura ou umidade.

- c. **Teste do gosto:** Este pode permitir a identificação de sais, carbonatos ou elementos químicos, porém como referido por Ferreira (2015, p. 23), “não é recomendável”.
- d. **Teste do tato:** Para análise, deve-se esfregar a amostra de solo entre as mãos, se este se mostrar áspero é caracterizado como mais arenoso, enquanto solos plásticos ou viscosos são, predominantemente, argilosos.
- e. **Teste de sedimentação:** Para análise, deve-se encher um quarto de um recipiente, de em torno de um litro, com solo e o restante com água. Agita-se, energeticamente, o frasco e deixa-o repousar por uma hora, repete-se o processo duas vezes, por fim, criam-se camadas de areia, silte e argila bem definidas, podendo medi-las e determinar suas proporções.
- f. **Teste de aderência:** Para análise deve ser moldada esfera de solo umedecido e penetrá-la com uma espátula. No caso de a espátula entrar com dificuldade e de o solo aderir na espátula têm-se uma amostra argilosa, por outro lado, ao entrar com facilidade têm-se uma terra saibrosa.
- g. **Teste de brilho:** Com esfera moldada de forma semelhante ao ensaio de aderência, corta-a em duas e observam-se as superfícies de corte. Em caso de aparência brilhosa constata-se a predominância de argila, por outro lado se esta apresentar aspecto opaco, certifica-se a maior presença de silte.
- h. **Teste de coesão:** Para este ensaio molda-se uma concavidade, assemelhando uma taça, e enche-a de água. Se a água for absorvida rapidamente, o solo é arenoso, já no caso de a água manter-se, este é argiloso.
- i. **Teste do rolo:** Deve ser rolada, uma amostra de solo umedecido, em superfície plana, moldando-se um cilindro de 2,5 cm de diâmetro e comprimento entre 20 e 30 cm. Faz-se correr o rolo, perpendicularmente, pela fronteira da mesa até que este se parta, a concentração de argila na amostra é diretamente proporcional ao tamanho do pedaço do primeiro rompimento. Se o primeiro fragmento rompido tiver menos de 5 cm o solo é pouco argiloso, entre 5 e 15 cm a amostra é mediamente argilosa, maior que 15 cm a porção é excessivamente argilosa.

### **Ensaio laboratoriais:**

Mesmo que os ensaios de campo tragam conclusões adequadas sobre o solo, principalmente quando acompanhados por profissionais experientes, Torgal et al. (2009) recomendam a aplicação de ensaios laboratoriais com resultados mais criteriosos.

- a. **Teor de água:** Consiste, simplesmente, na comparação de amostras de solo anterior e posteriormente a secagem em estufa, recomenda-se a temperatura de 105 °C. Vale ressaltar que o Anexo A da norma ABNT NBR 6457 (2016) descreve o ensaio de determinação do teor de umidade de solos.
- b. **Matéria orgânica:** A partir da comparação entre massas de uma amostra, anterior e posteriormente ao seu aquecimento a 400 °C, de forma a calcinar a matéria orgânica presente. A diferença entre as massas permite a determinação de quantidade de material calcinado.
- c. **Análise de granulometria:** Esta consiste na peneiração de amostra de solo por diversas peneiras normalizadas, caracterizando-a em dimensões de grão maiores ou iguais a 0,074 mm. Para partículas menores deve ser realizado o ensaio de sedimentação ou semelhante. Vale ressaltar que a norma ABNT NBR 7181 (2016) descreve o ensaio de análise de granulometria.
- d. **Limites de consistência:** Limites de consistência são constantes físicas que caracterizam o comportamento de frações de solo menores que 0,4 mm, quando em contato com a água. Compreendendo o limite de liquidez, limite de plasticidade, limite de retração e índice de plasticidade, o conjunto de ensaios determina informações importantes sobre o comportamento entre as partículas do solo, importante característica para garantia de segurança e durabilidade na construção em terra. Vale ressaltar que as normas ABNT NBR 6459 (2016) e ABNT NBR 7180 (2016) descrevem, respectivamente, os ensaios de determinação do limite de liquidez e do limite de plasticidade de solos.
- e. **Ensaio Proctor:** O ensaio de compactação com ensaio Proctor é utilizado para determinar o teor de água ótimo para compressão da terra. Para tal, em amostra de solo de granulometria inferior a 4,76 mm, adicionam-se teores de água crescentes em 2%, compactam-se as amostras em 3 camadas com 25 pancadas por camada (compactação com aparelho manual de 2,49 kg e altura de 30,5 cm, ou aparelho mecânico), por fim determina-se o teor de água ótimo pela amostra de maior massa volúmica.  
  
Vale ressaltar que diferentemente de outras técnicas construtivas, que tem compactação dinâmica, o BTC é produzido a partir de compressão estática, desta forma, para a produção de blocos de terra comprimida é recomendável a realização de ensaio semelhante a partir da própria prensa de compactação.

- f. Ensaio de resistência à compressão simples:** De forma semelhante a ensaios de resistência a compressão em concreto, blocos cerâmicos ou outros materiais, provetes de terra devem ser levados a ruptura a partir de crescente carga axial, determinando no momento de ruptura, sua máxima resistência. Vale ressaltar que as normas ABNT NBR 8492 (2012) e ABNT NBR 10836 (2012) descrevem o ensaio de resistência à compressão simples para blocos de solo-cimento estruturais e não estruturais, respectivamente.

### 2.2.3 Requisitos para produção de BTC

No Brasil, as normas ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10833 (2012) estabelecem os requisitos para blocos de solo-cimento, blocos de terra comprimida estabilizados com cimento, mas não para fabricação com os demais possíveis estabilizantes, como cal ou ligantes de ativação alcalina. Tendo isso em vista, neste subcapítulo são comentadas as recomendações brasileiras e de outros estudos reconhecidos internacionalmente para produção de BTC.

#### Granulometria:

A produção de blocos de terra comprimida necessita de frações de solo arenoso para compor o corpo dos blocos, além de parcelas de solo em silte ou argila que aumentam a consistência da amostra agindo como ligantes (Adam, 2001).

A norma ABNT NBR 10833 (2012) destaca que 100% do solo utilizado deve ter dimensões inferiores a 4,75 mm (majoritariamente pedregulhos finos ou menores), além de entre 10 e 50% deste ter granulometria inferior a 0,075 mm (majoritariamente siltes e argilas).

Porém, como comentado por Nunes (2013), a composição granulométrica ideal varia moderadamente de acordo com os autores, assim como caracterizado pela tabela 2.

*Tabela 2: Composição granulométrica ideal para BTC  
Fonte: Nunes, 2013*

Classificação granulométrica	CRATerre (1996)	NORTON (1997)	BARBOSA (2002)	DELGADO (2006)
Argila	8-30%	10-25%	10-20%	10-40%
Silte	10-25%	15-30%	10-20%	10-40%
Areia/Pedregulho	25-80%	45-75%	50-70%	<70%

Em casos de solos de granulometria inadequada para produção de blocos de terra comprimida, é possível a correção destes a partir da fragmentação das partículas de maior dimensão ou pela adição de frações de solo de granulometria adequada. Solos excessivamente argilosos podem ser corrigidos com a adição de areia, por sua vez solos excessivamente arenosos podem ser corrigidos com adição de material fino ou com limite superior ao recomendado do ligante escolhido (Adam, 2001; Nunes, 2013).

A correção pode ainda ser realizada, para solos de elevada quantidade de elementos grossos, a partir de peneiração. Assim como, para solos de elevada quantidade de elementos finos, a partir de processo de lavagem, este tem o inconveniente de retirar elevadas parcelas dos elementos finos (Torgal et al., 2009).

### **Concentração de matéria orgânica:**

Em relação à concentração de matéria orgânica no solo, quando presente, esta decompõe-se rapidamente e reduz a resistência e durabilidade dos blocos, além de, em blocos estabilizados a partir de cimento, prejudicar seu processo de hidratação. Desta forma se esta for identificada no solo a partir dos ensaios já descritos, este não deve ser utilizado.

A ABNT NBR 10833 (2012, p. 2) recomenda, para produção de tijolos de solo-cimento, “o solo não pode conter matéria orgânica em quantidade que prejudique a hidratação do cimento”.

Para garantir a inexistência de material orgânico na terra, recomenda-se, ainda, a retirada da camada superficial de solo, como apresentado na tabela 3, atingindo o subsolo, comumente com baixa concentração de matéria orgânica.

*Tabela 3: Horizonte de solo orgânico que deve ser retirado*

<b>Fonte</b>	<b>Espessura do horizonte superficial que deve ser retirado</b>
<b>Ramos et al. (2014)</b>	50 cm
<b>Rodrigues (2019)</b>	30 – 40 cm

### **Teor de água:**

A proporção de água na terra utilizada para produção de blocos de terra comprimida tem influência direta em diversas características físico-químicas do BTC, como trabalhabilidade, homogeneidade, coesão, absorção, porosidade, durabilidade e desempenho. Quando muito alto, o bloco pode sofrer alta retração no processo de secagem, favorecendo o aparecimento de

fissuras, quando demasiado baixo, a terra pode não se unir de forma homogênea (Nunes, 2013; Gomes, 2021).

O teor de água ótimo, como destacado no ponto 2.2.2, deve ser determinado a partir de ensaio de compactação semelhante ao Proctor, determinando a maior massa volúmica para diferentes umidades, mas alguns autores apontam como ideais, as proporções apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Teor de água ótimo  
Fonte: Nunes, 2013

	CRATerre	BAHAR (2004)
Teor de água ótimo	9-17%	9,5-11%

### Limites de consistência:

Os limites de consistência têm grande influência no comportamento físico do solo como material de construção, principalmente sobre efeito da água.

Em relação à construção em terra de forma geral, Doat et al. (1979) citado por Torgal et al. (2009) recomendam valores para os limites de consistência, apresentados na tabela 5, que devem ser respeitados.

Tabela 5: Limites de consistência ideais  
Fonte: Torgal et al., 2009

Limites de consistência	Recomendados	Mínimos e máximos
Índice de plasticidade	7-18	7-29
Limite de liquidez	30-35	25-50
Limite de plasticidade	12-22	10-25
Limite de retração	<Teor de água ótimo	8-18

Em relação a blocos de solo-cimento, a norma ABNT NBR 10833 (2012) requisita um limite de liquidez inferior ou igual a 45%, além de um índice de plasticidade inferior ou igual a 18%. Ao tratar de blocos de terra comprimida em geral, Nunes (2013), também, recomenda um limite de liquidez inferior a 45%.

### Dimensões:

A terra como material de construção carrega consigo a capacidade de fácil modelação, nos blocos de terra comprimida, esta é traduzida pela possibilidade de produção de blocos de diversas formas, com diferentes benefícios. A simples alteração do molde possibilita a criação de blocos maciços, ocós, de encaixe, alveolares, entre outros (Rodrigues, 2019).

A ABNT NBR 8491 (2012) e a ABNT NBR 10834 (2012) descrevem requerimentos e recomendações dimensionais para blocos de terra comprimida, especificamente, estabilizados com cimento, porém ao analisar estudos de diversos autores para diferentes estabilizações químicas, Tabela 6, entende-se que os requerimentos dimensionais das normas brasileiras podem ser aplicáveis aos demais métodos de estabilização.

Tabela 6: Estudos sobre BTC e atendimento às dimensões da norma brasileira

Artigo	Estabilização	Atendimento aos requerimentos dimensionais	Atendimento às recomendações dimensionais
Gomes (2021)	Cimento	✓	✓
Ramos et al. (2011)	Cimento	✓	✗
Edris et al. (2021)	Cimento & cal	✓	✗
Nunes, (2013) *	Cal	✓	✗
Izemouren et al. (2015)	Cal & ativação alcalina	✓	✗
Ongpeng et al. (2020)	Cimento & ativação alcalina	✓	✗
Soares et al. (2016)	Ativação alcalina	✓	✗
Araujo (2015)	Ativação alcalina	✓	✗
Simões (2015)	Ativação alcalina	✓	✗
Silva et al. (2014)	Ativação alcalina	✓	✗
Idriss et al. (2022)	Ativação alcalina	✓	✗

\*O estudo de Nunes (2013) não atinge a resistência à compressão mínima requisitada pelas normas ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10834 (2012)

As normas ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10834 (2012) requerem blocos de forma externa de um paralelepípedo retangular com a altura menor que a largura para blocos de função estrutural, e altura menor ou igual a largura para blocos não estruturais. Além de distanciamentos e profundidades mínimos para blocos com reentrâncias, estas devem situar-se a 25 mm, no mínimo, a partir das arestas das faces das reentrâncias, e ter uma profundidade máxima de 13 mm, e para blocos com furos, estes devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, a espessura mínima das paredes no seu entorno deve ser de 25 mm e a distância mínima entre os dois furos de 50 mm.

As normas ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10834 (2012), ainda, recomendam, para blocos de solo-cimento, as dimensões descritas na tabela 7.

Tabela 7: Dimensões BTC

Tipos - Função	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A – Estrutural	200	100	50
B – Estrutural	240	120	70
A - Não Estrutural	300	150	150

#### 2.2.4 Estabilização

Como citado por Adam (2001, p. 23), “a adoção e uso do método de estabilização correto pode melhorar a resistência à compressão do solo em até 400 a 500%, além de aumentar sua resistência à erosão e danos mecânicos”.

A estabilização de solos consiste na alteração de suas características, melhorando seu comportamento mecânico e físico. Esta pode ser dividida em duas principais categorias, a estabilização mecânica e a estabilização química (Torgal et al., 2009).

A **estabilização mecânica** melhora as características do solo a partir da reorganização de suas moléculas ou de alterações em sua composição. Fazem parte dessa categoria a compactação do solo, adição de fibras e correção granulométrica, por exemplo (Torgal et al., 2009; Nunes, 2013; Araujo, 2015).

Por sua vez, a **estabilização química** melhora o comportamento do solo através de adições que modificam as ligações químicas entre as moléculas do solo. Os aditivos mais comuns são o cimento, a cal e os ligantes obtidos por ativação alcalina (Torgal et al., 2009; Nunes, 2013; Araujo, 2015).

### **Compactação:**

A compactação objetiva, basicamente, a redução do volume de vazios no solo, aumentando sua densidade, consecutivamente melhorando sua resistência e reduzindo sua permeabilidade. Vale ressaltar que a eficácia dessa estabilização depende da granulometria e do teor de água do solo utilizado, além do valor de compressão aplicado (Adam, 2001).

Nos blocos de terra comprimida, a estabilização mecânica por compactação é obtida a partir das prensas, sejam manuais ou hidráulicas.

### **Cimento:**

A estabilização a partir da adição de cimento consiste na mistura de solo, cimento e água, em proporções pré-definidas, esta pode ocorrer por dois diferentes processos, a partir da ação aglutinante do aditivo ou pela modificação das características da parcela argilosa do solo. A primeira é comum em composições de elevados teores de cimento ou solos pouco argilosos, a segunda é frequente em solos excessivamente argilosos e não, necessariamente, é vinculada a um aumento da resistência mecânica (Adam, 2001; Torgal et al., 2009).

Recomenda-se a aplicação de teores maiores de cimento para solos mais argilosos e o aumento de sua concentração pode ser utilizada como forma de correção granulométrica, porém, como citado por Nunes (2013), os teores recomendados são os descritos na tabela 8.

*Tabela 8: Teor de cimento  
Fonte: Nunes, 2013*

	<b>CRATerre (1998)</b>	<b>BARBOSA (2002)</b>	<b>BUSON (2009)</b>
<b>Teor de cimento</b>	4-6%	4-12%	0-12%

A norma brasileira ABNT NBR 8491 (2012), apenas refere-se à produção de blocos de terra comprimida com o uso da técnica de estabilização cimentícia, vale ressaltar que o regulamento não requisita teor específico de cimento Portland.

O cimento constitui o método de estabilização química mais difundido para produção de BTC, porém seu uso está vinculado a um consumo de energia significativo e elevadas emissões. A partir disto, técnicas de estabilização mais sustentáveis, com uso de cal ou ligantes obtidos por ativação alcalina, por exemplo, têm ganhado visibilidade no meio acadêmico e da construção civil (Torgal et al., 2009; Nunes, 2013; Araujo, 2015; Gomes, 2021).

### **Cal:**

O processo de estabilização do solo a partir da cal provoca aglutinação de partículas e modificação de suas características, fenômenos criados por diversas reações. A permuta iônica e floculação são responsáveis pela redução de plasticidade, coesão e expansibilidade, aumentando sua trabalhabilidade. A reação pozolânica, a partir de um conjunto de reações, a longo prazo, gera produtos cimentícios que interligam as partículas argilosas. Por fim, a carbonatação é a reação da cal com o dióxido de carbono atmosférico, esta é prejudicial para a estabilização, pois prejudica a reação pozolânica, citada anteriormente, e deve ser evitada (Adam, 2001; Torgal et al., 2009; Araujo, 2015).

Recomendada para estabilização de solos argilosos, como citado por Nunes (2013), a cal aérea tem como recomendados os teores apresentados na tabela 9.

*Tabela 9: Teor de cal aérea  
Fonte: Nunes, 2013*

	<b>CRATerre (1996)</b>	<b>TORGAL (2009)</b>	<b>HOLMES (2000)</b>	<b>NORTON (1997)</b>
<b>Teor de cal aérea</b>	6-12%	3-10%	3-10%	3-10%

### **Ligantes obtidos por ativação alcalina:**

Esta técnica de estabilização consiste na mistura de componentes de ligação (cinzas volantes ou metacaulim, por exemplo) com o solo e na posterior adição de um ativador alcalino (hidróxidos alcalinos, por exemplo), acarretando um conjunto de reações destrutivas e construtivas que dão origem ao ligante (Torgal & Jalali, 2009).

Ligantes ativados alcalinamente, também conhecidos por geopoliméricos, formam-se a partir de reações mineralógicas que ocorrem em meio aquoso de pH elevado. As substâncias ricas em silício e alumínio quebram-se a partir do meio alcalino, criado pela adição do ativador,

reorganizando-se em estruturas químicas de resistências elevadas (Torgal & Jalali, 2009; Felix et al., 2022).

A escolha por estabilizantes de álcali-ativação configura diversas vantagens, nomeadamente ambientais. A inércia química dos produtos garante baixos níveis de lixiviação, sua produção e utilização são menos emissoras, quando comparadas ao cimento Portland, e esta conta com elevada capacidade de imobilizar metais pesados, resíduos tóxicos radioativos, entre outros (Torgal & Jalali, 2009; Araujo, 2015; Soares et al., 2016; Felix et al., 2022).

Em teoria, todo material composto por sílica e alumina pode ser ativado alcalinamente, porém vale ressaltar que isso não garante sua eficiência na estabilização de materiais de construção. As pesquisas do uso de ligantes obtidos por ativação alcalina abrangem, principalmente, os seguintes (Torgal & Jalali, 2009):

- Argilas caulínicas;
- Metacaulim;
- Cinzas volantes;
- Escórias de alto forno;
- Misturas com os componentes já citados.

Como recomendado por Davidovits (2005) citado por Torgal & Jalali (2009), para assegurar a eficiência das matrizes ligantes, devem ser respeitados limites para as razões atômicas das composições finais, assim como apresentado na tabela 10.

Tabela 10: Razões atômicas para ligantes ativados alcalinamente

Razão atômica	Limites
Si: Al	2,047 a 5,570
K: Al	0,306 a 0,756
Si: K	3,096 a 9,691
Ca: Al	0,107 a 0,401
Si: Ca	4,882 a 41,267

A proporção de matriz ligante que deve ser aplicada é variável de acordo com o tipo do elemento ligante e com a resistência final requirida, porém pesquisadores encontraram

resultados mais eficientes com os valores, descritos na tabela 11, para determinados componentes ligantes:

Tabela 11: Razão de matriz ligante

Pesquisadores	Matriz ligante	Razão entre massa de matriz ligante e de solo
Ongpeng et al. (2020)	Cinzas volantes	10-15%
Thiviya et al. (2020)	Metacaulim	15%
Preethi & Venkatar (2020)	Escórias de alto forno	15%
Payá et al. (2020)	Mistura de escórias de alto forno com cinzas volantes	10% (escórias) 4% (cinzas volantes)

Para alteração do meio e ativação do processo de reações, devem ser adicionados os ativadores alcalinos, sendo esses, preferencialmente, combinações entre hidróxidos e silicatos em solução. Os componentes mais utilizados são (Torgal & Jalali, 2009):

- Hidróxido de sódio (NaOH) e silicato de sódio ( $n\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ );
- Hidróxido de potássio (KOH) e silicato de potássio ( $n\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$ ).

A quantidade e concentração da solução de ativadores alcalinos que deve ser aplicada no processo varia de acordo com seus componentes e com os materiais de ligação (Torgal & Jalali, 2009), assim como apresentado na tabela 12. Preethi e Venkatar (2020) ressaltam a relevância da molaridade da solução de ativadores alcalinos na produção de blocos de terra comprimida, encontrando valores adequados para valores de NaOH de 8 mol/l e 12 mol/l.

Tabela 12: Razão de ativador alcalino

Pesquisadores	Matriz ligante	Ativador Alcalino	Razão entre massa de ativador alcalino e matriz ligante
Ongpeng et al. (2020)	Cinzas volantes	Solução de NaOH	20%
Sore et al. (2018)	Metacaulim	Solução de NaOH	80%
Larbi et al. (2022)	Escórias de alto forno	Solução de NaOH	20-80%

### 2.2.5 Produção de BTC

#### Extração do solo:

O processo de obtenção de terra deve ser, preferencialmente, realizado no local da produção e construção, para minimizar impactos vinculados ao transporte. Vale ressaltar a importância da não utilização da camada superficial de solo (30 cm - 50 cm) rica em matéria orgânica e da realização de ensaios de caracterização do solo para determinar, no mínimo, o teor de água, granulometria, consistência e concentração de matéria orgânica (Nunes, 2013; Ramos et al., 2014; Rodrigues, 2019).

#### Preparação do solo:

O solo deve passar por processo de secagem para garantir eficiência na mistura dos materiais, pode ser realizado a partir da deposição da terra em camadas menos espessas (Rodrigues, 2019).

Partículas de dimensões maiores que 4,75 mm devem ser retiradas ou quebradas, para tal, utilizam-se processos de peneiração e pulverização, o segundo processo é satisfatório, porém mais complexo (Adam, 2001; ABNT NBR 10833, 2012; Rodrigues, 2019).

#### Proporções de materiais:

Mesmo após a retirada de partículas de grande dimensão, pode ainda ser necessária a correção da granulometria da terra, normalmente realizada a partir da adição de solos com partículas faltantes. No caso de solos muito arenosos, a peneiração é uma solução, já no caso de solos muito argilosos, a lavagem pode ser uma opção (Adam, 2001; Torgal et al., 2009; Nunes, 2013).

O solo corrigido deve ser medido, para determinação da quantidade de água e estabilizantes necessária. Recomenda-se, ainda, a realização dos ensaios de compactação do Proctor e de determinação da resistência a compressão simples, para avaliação dos teores de água e estabilizantes mais eficientes (Adam, 2001; Nunes, 2013; Rodrigues, 2019).

### **Mistura:**

O processo de mistura dos materiais pode ser dividido em duas etapas, a primeira a seco, com diferentes granulometrias de solo e adjuvantes físicos (fibras vegetais e granulado de cortiça, por exemplo) e a segunda úmida, adicionando ao composto anterior os estabilizantes e a água (Adam, 2001; Rodrigues, 2019).

Em relação à metodologia de mistura dos componentes, Adam (2001) comenta que betoneiras não são eficientes para misturas úmidas, pois estas costumam grudar-se as laterais do equipamento, o autor recomenda métodos de mistura à mão. No entanto, ao utilizar estabilizantes de ativação alcalina, como citado por Teixeira (2017) citado por Fernandes (2020), a mistura por pás e enxadas não é eficaz, por conta das rápidas reações do estabilizante. Desta forma um equipamento de mistura eficiente deve ter pás giratórias que se movam separadamente do reservatório (Adam, 2001; Simões, 2015).

### **Prensagem:**

O processo de compactação inicia com a dosagem de mistura necessária para a produção de bloco de terra comprimida com a densidade pretendida. Posteriormente, deve ser aplicado óleo descofrante em toda a superfície do molde, para facilitar sua desmoldagem. Os passos seguintes consistem no enchimento do molde com a massa de terra necessária e na prensagem deste a partir do mecanismo escolhido (Simões, 2015; Araujo, 2015; Rodrigues, 2019).

Existem diversos equipamentos de compactação do solo para produção de BTC, destacam-se as prensas manuais e hidráulicas, cada uma com benefícios específicos, com efetividade variante entre diferentes projetos.

**Prensas manuais**, ilustradas pela figura 28, tem as vantagens de exigir menor investimento inicial e constituir baixo consumo de energia durante a produção, porém este método demanda elevada mão de obra. O processo costuma aplicar pressões de em torno de 2 Mpa na compactação dos blocos e conta com diversos modelos de prensas no mercado, são exemplos destas a CINVA-Ram, Brepak e Terstaram (Adam, 2001; Torgal et al., 2009; Gomes, 2021).

**Prensas hidráulicas**, ilustradas pela figura 29, exigem maior investimento inicial e constituem relevante consumo de energia, porém aplica maiores pressões, produzindo blocos

de resistências mecânica e à água substancialmente maiores, com menos mão de obra, maior produtividade e possibilidade de automação (Adam, 2001; Torgal et al., 2009; Gomes, 2021).



Figura 28: Prensa manual  
Fonte: Alibaba, 2020 citado por Gomes, 2021



Figura 29: Prensa Hidráulica  
Fonte: Alibaba, 2020 citado por Gomes, 2021

Outras consoantes do processo de prensagem dos blocos de terra comprimida são as dimensões pretendidas, como citado anteriormente, no setor “**Dimensões**” do ponto 2.2.3, as normas brasileiras ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10834 (2012) tem exigências e recomendações específicas para a produção de blocos de solo-cimento, aplicáveis, também, com ressalvas, aos blocos constituídos a partir dos demais métodos de estabilização.

### **Cura:**

O processo de cura de blocos de terra comprimida pode ser dividido em duas fases, a cura úmida e a cura seca. A primeira é responsável pela eficácia das reações físico-químicas de estabilização, já a segunda é quando ocorre a secagem dos blocos e aquisição de máxima resistência (Adam, 2001; Rodrigues, 2019).

Para desenvolvimento da **cura úmida**, imediatamente após a prensagem dos blocos, estes devem ser empilhados, com altura máxima de 1,5 m (ABNT NBR 10833, 2012) ou um máximo de 7 blocos (Ramos et al., 2014), e mantidos úmidos, para tal recomenda-se a utilização de lona plástica para cobrir completamente a pilha de tijolos e impossibilitar a saída da água (Adam, 2001; Nunes, 2013; Ramos et al., 2014; Gomes, 2021).

No processo de **cura seca**, a lona plástica deve ser retirada para secagem dos blocos, aquisição da máxima resistência e adequação às características convenientes para a construção, esta pode desenvolver-se de forma natural ou forçada, recorrendo a estufas de secagem (Adam, 2001; Nunes, 2013; Ramos et al., 2014; Rodrigues, 2019).

O tempo de cura necessário para produção de blocos de qualidade e aquisição de máxima resistência varia de acordo com o solo utilizado, mas, principalmente, de acordo com o método de estabilização aplicado (Adam, 2001). Apresenta-se, na tabela 13, tempos de cura considerados adequados de acordo com o tipo de estabilização, para cura sem acréscimo de temperatura.

Tabela 13: Tempos de cura

Estudo	Estabilização	Cura úmida (dias)	Cura seca (dias)
ABNT NBR 10833 (2012)	Cimento	7	7
Ramos et al. (2014)	Cimento	7	28
Rodrigues (2019)	Cimento & cal	≥7	≥15
Nunes (2013)	Cal	14	21
Idriss et al. (2022)	Ativação alcalina	2	≥14
Miranda et al. (2017)	Ativação alcalina	-	28

Vale ressaltar que atualmente diversos estudos têm analisado a influência da temperatura de cura na resistência de blocos de terra comprimida estabilizados a partir de ligantes obtidos por ativação alcalina e pode ser concluído que um aumento controlado da temperatura confere maior resistência aos tijolos (Rodrigues, 2019; Idriss et al., 2022). Como estudado por Jaarsveld et al. (2002) citado por Fernandes (2020) e por Idriss et al. (2022), a temperatura de cura de 70 °C constitui um aumento na resistência à compressão do BTC, já estudos como de Villa et al. (2010) citado por Fernandes (2020) destacam os melhores resultados para a temperatura de 40 °C.

O aumento e controle de temperatura gera, porém, um aumento no consumo de energia. Desta forma, para garantir baixo impacto ambiental e monetário, estudos, como o de Miranda et al. (2017), analisam a substituição de curas forçadas em alta temperatura para blocos de terra

comprimida estabilizados a partir de ligantes obtidos por ativação alcalina, por curas naturais mais extensas, encontrando resultados significativos.

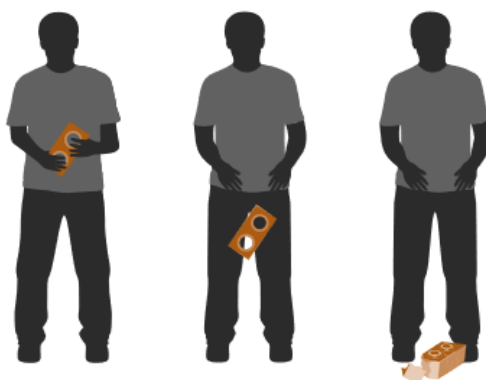
### **Armazenamento:**

Após a cura, os blocos devem ser armazenados em pilhas, respeitando os requisitos de altura de 1,5 m (ABNT NBR 10833, 2012) ou 7 blocos (Ramos et al., 2014). A norma ABNT NBR 10833 (2012), ainda recomenda o uso de paletes para armazenamento e transporte dos blocos de solo-cimento, recomendações adequadas para tijolos constituídos por outros métodos de estabilização.

### **Verificação de qualidade:**

Blocos de terra comprimida variam sua produção em diversos quesitos, como características do solo, padrão de prensagem, método de estabilização química, tempo de cura e mais. Desta forma, os tijolos podem atingir diferentes propriedades físico-químicas e, para garantir uma adequabilidade mínima para utilização na construção, análises devem ser realizadas.

O **teste de queda**, ilustrado pela figura 30, é um ensaio simples que consiste em derrubar 3 blocos finais, para cada produção realizada, de uma altura de em torno de 1 m, se os blocos permanecerem intactos ou rompidos apenas nos cantos de primeiro contato com o solo, a produção é considerada adequada, caso algum dos blocos fragmente-se além do citado, a produção não pode ser considerada adequada (Ramos et al., 2014).



*Figura 30: Teste de queda  
Fonte: Ramos et al., 2014*

As normas ABNT NBR 8491 (2012) e ABNT NBR 10834 (2012), por sua vez, requisitam ensaios de caracterização mais complexos para garantia de qualidade de blocos de terra comprimida estabilizada com cimento, adequados também aos demais métodos de estabilização. São estes, os ensaios de análise dimensional, resistência à compressão e absorção de água.

A **análise dimensional** é importante para garantir um padrão de forma entre os blocos, assegurando sua qualidade como integrante de alvenaria. Para tal, 10 tijolos de cada produção devem ser medidos 3 vezes em cada uma de suas faces, em suas extremidades e no meio da unidade, com exatidão de 0,5 mm. A dimensão da face é dada pela média entre os 3 valores medidos e a amostra deve satisfazer as dimensões nominais de  $\pm 1,00$  mm para altura, largura e comprimento (ABNT NBR 8491, 2012; ABNT NBR 8492, 2012; ABNT NBR 10834, 2012; ABNT NBR 10836, 2012).

O ensaio de **resistência à compressão** é importante para certificação da possibilidade de segurança mínima com uso dos blocos de terra comprimida como unidade de alvenaria. Para tal, 7 dos 10 tijolos com dimensões analisadas devem ser ensaiados de acordo com as normas ABNT NBR 8492 (2012) e ABNT NBR 10836 (2012). A amostra não pode apresentar média dos valores de resistência à compressão inferiores a 2,0 MPa, nem valores individuais menores que 1,7 MPa, com idade mínima de 7 dias (ABNT NBR 8491, 2012; ABNT NBR 8492, 2012; ABNT NBR 10834, 2012; ABNT NBR 10836, 2012).

O ensaio de **absorção de água** tem o objetivo de certificar a baixa permeabilidade, garantindo a qualidade e durabilidade dos blocos de terra comprimida. Para tal, 3 dos 10 tijolos com dimensões analisadas devem ser ensaiados de acordo com as normas ABNT NBR 8492 (2012) e ABNT NBR 10836 (2012). A amostra não pode apresentar média dos valores superiores a 20%, nem valores individuais maiores que 22%, com idade mínima de 7 dias (ABNT NBR 8491, 2012; ABNT NBR 8492, 2012; ABNT NBR 10834, 2012; ABNT NBR 10836, 2012).

### **2.2.6 Argamassas de assentamento e revestimento**

Em paredes de alvenaria, argamassas aparecem na forma de assentamentos e de revestimentos. A função do primeiro é a solidarização da estrutura, garantindo a distribuição uniforme das tensões, o segundo objetiva a proteção dos blocos de alvenaria, além do possível melhoramento de características como isolamento termoacústico e resistência a água (Adam, 2001; Rodrigues, 2019).

Alvenarias de blocos de terra comprimida de encaixe podem ser construídas sem a aplicação de argamassas de assentamento, porém como estudado por Miranda et al. (2017), sua introdução aumenta a resistência à compressão e ao cisalhamento, além de melhorar a transmissão de tensões na estrutura. A composição ideal das argamassas de assentamento aproxima-se ao máximo da constituição dos blocos da alvenaria, para blocos de terra comprimida, estas são preferencialmente executadas a partir do mesmo solo e estabilizante

utilizados na produção do BTC, garantindo um comportamento físico-químico-mecânico homogêneo na estrutura (Adam, 2001; Nunes, 2013; Soares et al., 2016).

Argamassas de revestimento podem ser constituídas por diversos materiais, misturas de areia, cal e cimento são as mais comuns, porém argamassas a base de terra também são soluções interessantes, principalmente pela manutenção do comportamento higroscópico da parede, característica que também pode ser mantida a partir da não aplicação de revestimento (Adam, 2001).

### **2.2.7 Características mecânicas**

As características mecânicas dos blocos de terra comprimida variam de acordo com diversos aspectos de sua produção, a granulometria do solo, o tipo e concentração do estabilizante, as condições e tempo de cura, e a tensão aplicada na prensagem são alguns destes. Blocos com diferentes funções devem ter diferentes características, porém como já citado, requisitos mínimos de resistência devem ser atendidos para garantia de segurança das construções.

O BTC conta com baixas resistências à tração e a abrasão ou impactos, este deve ser evitado em situações que exijam características relacionadas. Em compensação, elevadas resistências mecânicas viabilizam seu uso como alvenaria, vale ressaltar a ocorrência de arcos e abóbodas na necessidade de vãos (Adam, 2001; Lad, 2020).

Como citado anteriormente, a resistência a compressão dos blocos de terra comprimida é bastante variável, com grandes alterações de acordo com especificações de sua produção e cura. Adam (2001) especifica um intervalo de 1 a 40 Mpa para este material, valores confirmados por diversos estudos, com grande maioria das resistências entre 2 e 20 Mpa para blocos com 7 a 28 dias de cura (Izemmouren et al., 2015; Soares et al., 2016; Miranda et al., 2017; Lavanya et al., 2020; Ongpeng et al., 2020; Fernandes, 2020; Payá et al., 2020; Edris et al., 2021; Idriss et al., 2022).

### **2.2.8 Características acústicas**

Ao estudar as resistências acústicas e índices de isolamento acústico, Simões (2015) concluiu que paredes de BTC (estudadas com juntas secas, com betume e com camada de isolamento) tem valores bastante mais baixos que paredes de tijolo tradicionais.

Isso não impede que paredes de alvenaria de BTC cumpram com requisitos de normas acústicas e garantam qualidade e conforto. Simões (2015), ao estudar o atendimento de paredes de bloco de terra comprimida ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), encontrou valores satisfatórios para paredes de fachada, com soluções com preenchimento de

junta em betume ou com camada de isolamento de 2 cm em cortiça. Vale ressaltar que o mesmo autor verificou, ainda, um aumento significativo da atenuação acústica para paredes com juntas preenchidas em relação a paredes com juntas secas.

Os requisitos acústicos para vedações verticais no Brasil, são representados pelas normas ABNT NBR 15575.1 (2021) e ABNT NBR 15575.4 (2021). Ao estudar o atendimento aos requisitos acústicos de edificação construída a partir de blocos de terra comprimida estabilizados com cimento, Rossi et al. (2015) constatou comportamentos acústicos adequados para paredes constituídas inteiramente por BTC, reboco e tinta de terra crua, menos quanto ao isolamento de divisórias internas, neste os valores de diferença de nível padronizada ponderada se mostraram inferiores aos requisitados.

As características acústicas não são unicamente dependentes da estrutura da parede. Desta forma, a atenuação acústica e isolamento sonoro podem ser aperfeiçoados com adição de camadas isolantes, paredes duplas, sistemas compósitos e mais, atingindo as características acústicas desejadas.

### **2.2.9 Características térmicas**

De forma semelhante às características acústicas, a resistência térmica, estudada por Araujo (2015), mostrou-se relativamente inferior ao bloco cerâmico furado, porém muito semelhante ao bloco cerâmico maciço. A autora ressalta que os resultados para paredes de BTC encontram-se no intervalo de valores correntes para soluções convencionais.

Araujo (2015, p. 114) constatou aumento pouco significativo da resistência térmica para paredes com junta preenchida em relação a paredes de alvenaria de junta seca, porém aumento bastante expressivo para paredes com 2 cm de isolante térmico de cortiça, concluindo que o bloco de terra comprimida “apresenta valores de resistência térmica e valores de coeficiente de transmissão térmica bastante próximos das ditas soluções convencionais”.

As normas brasileiras ABNT NBR 15575.1 (2021) e ABNT NBR 15575.4 (2021) descrevem os requisitos para comportamento térmico de paredes externas, sendo relevantes para a avaliação dos blocos de terra comprimida, a transmitância e capacidade térmicas. Ao estudar o atendimento aos requisitos por blocos de terra comprimida estabilizados com cimento, através de simulações computacionais, Iskandar et al. (2019) constatou que, não somente, as paredes de BTC atingiram os requisitos mínimos, mas apresentaram o melhor desempenho térmico entre os materiais estudados (alvenaria de tijolo cerâmico furado, alvenaria de tijolo de solo-cimento e parede de concreto).

Além do isolamento térmico, construções em terra contam com outra característica eficiente na garantia de obtenção do conforto térmico. A inércia térmica consiste na absorção e liberação de calor, em, respectivamente, elevadas e baixas temperaturas, pelo material de construção, melhorando o comportamento térmico do edifício. Cagnon et al. (2014), ao estudar a efusividade térmica de blocos de terra comprimida, constatou ser um material de elevada inércia térmica, comportamento eficaz para garantia de conforto e redução de gastos de energia com aquecimento e resfriamento.

### **2.2.10 Comportamento higroscópico**

Em geral, construções em terra tem a capacidade de absorver e liberar umidade do ar em, respectivamente, ambientes excessivamente úmidos e secos, aumentando o conforto e reduzindo o aparecimento de fungos e ácaros nocivos à saúde (Cagnon et al., 2014; Franke, 2017). A higroscopicidade de blocos de terra comprimida, estudada por Cagnon et al. (2014), mostrou-se eficiente em equilibrar a umidade relativa do ar interno, os blocos apresentaram, também, outra característica relevante, a capacidade de regular rapidamente o vapor de água do ambiente. Franke (2017, p. 111) acrescenta, “A propriedade higroscópica da terra tem ainda a capacidade de capturar cheiros e substâncias nocivas que estejam a circular no ar, contribuindo assim significativamente para um elevado conforto atmosférico”.

Importante ressaltar a variação da capacidade higroscópica da construção de acordo com o revestimento aplicado à mesma. Como citado por Volhard (2016) citado por Franke (2017), rebocos a base de terra absorvem mais umidade que os constituídos por materiais convencionais. Em outro estudo, Eckermann e Ziegert (2007) citado por Franke (2017), ensaiaram a influência de pinturas na higroscopicidade de paredes de terra, encontrando reduções de até 50% (para pinturas de óleo de linhaça), destacando a importância do revestimento adequado para a manutenção dessas características.

O comportamento higroscópico dos blocos de terra comprimida também é reduzido pela aplicação de estabilizações químicas. Como estudado por Touré et al. (2017) e por Arrigoni et al. (2017), os tijolos estabilizados com cimento, cal e ligantes obtidos por ativação alcalina, mostraram higroscopicidades inferiores aos não estabilizados quimicamente, porém os autores ressaltam que os blocos ainda apresentaram melhores valores que os materiais de construção tradicionais (e.g. tijolo, placa de gesso, concreto), constituindo boa capacidade de regular a umidade interior.

### **2.2.11 Comportamento sísmico**

Construções em terra, geralmente, contam com baixa resistência a ações horizontais, característica particularmente perigosa em regiões de elevada incidência sísmica. Blocos de terra comprimida costumam apresentar comportamento mais resistente, quando comparados às demais técnicas construtivas com terra, porém, ainda podem se mostrar pouco eficientes em situações muito exigentes (Torgal et al., 2009; Nunes, 2013).

Modelos de blocos furados que permitem aplicação de reforços, normalmente na forma de armaduras metálicas, surgiram como forma de aumentar as capacidades mecânicas da alvenaria de BTC, principalmente a esforços horizontais. Blocos parasísmicos, por sua vez, podem ou não contar com reforços estruturais, mas apresentam formas que melhoram o comportamento mecânico da alvenaria.

### **2.2.12 Comportamento ao fogo**

Blocos de terra comprimida são incombustíveis e seus produtos de combustão não são nocivos à saúde humana, essas características somadas à baixa condutividade térmica dos tijolos garantem uma eficiente resistência inicial a incêndios (Lima, 2017; Soares et al., 2018).

A segurança global do BTC em estruturas, tendo em vista a eficácia da construção no tempo de usuários retirarem-se do edifício, foi estudada por Soares et al. (2018), ao analisar a resistência termomecânica de amostras no intervalo entre 20 °C e 800 °C com diferentes estabilizantes e composições. Os autores concluíram que os blocos obtiveram aumento de resistência quando submetidos a temperaturas superiores à 400 °C, garantindo segurança em caso de incêndios.

### **2.2.13 Durabilidade**

Uma das principais vantagens da construção com terra está justamente em sua reversibilidade e facilidade de demolição, entendendo essa característica, para o edifício constituído em terra manter-se eficiente e seguro deve passar por manutenções com periodicidade regular e adequada (Torgal et al., 2009; Ponte, 2012).

A intempérie de maior agressividade às construções em terra é a umidade, principalmente através do impacto das chuvas diretas. Como forma de proteger a construção desses agentes, alvenarias de blocos de terra comprimida tem aumento da durabilidade associado a estabilizações mecânicas e químicas adequadas, além da aplicação e manutenção de revestimentos protetores (Torgal et al., 2009; Consoli et al., 2022).

## *Revisão de literatura*

Ao estudar a durabilidade de blocos de terra comprimida, Nina (2022) verificou que construções em terra podem ser duráveis. O estudo validou que pequenas quantidades de estabilizantes químicos no processo de produção e/ou revestimentos aplicados sobre a construção podem ser suficientes para manter a estrutura eficiente e segura por um período de vida útil conveniente.



### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Projeto padrão**

Inicialmente, foram analisados projetos padrões e escolhido design para construção complementar mais adequado para o estudo de viabilidade da utilização de blocos de terra comprimida como vedações verticais. Posteriormente foi verificado o volume de escavação necessário para aquisição do solo para produção integral dos tijolos necessários.

Para o projeto complementar, optou-se por estudar uma construção versátil, com diversas possibilidades de utilização, como salão recreacional, espaço organizacional ou almoxarife, por exemplo. Para tal, um projeto padrão de casa popular de 42 m<sup>2</sup> de área construída e 37 m<sup>2</sup> de área útil, obtida nos Cadernos CAIXA (Equipe GIDUR/VT, 2007), apresentou o design mais adequado, retratado nas figuras 31 e 32.

## Metodologia

O projeto de casa modulada em blocos de concreto conta com um banheiro, uma cozinha e três cômodos internos de aproximadamente 10 m<sup>2</sup>, requalificado para estudo na forma de alvenaria de tijolos cerâmicos e de blocos de terra comprimida, para mais informações direcionar-se ao Anexo A. Vale ressaltar que o foco do estudo é o impacto da envoltória vertical, desta forma os demais objetos de construção, como cobertura e fundação, foram, simplesmente, mantidos.



Figura 31: Cosa popular dos Cadernos CAIXA

Fonte: Equipe GIDUR/VT, 2007

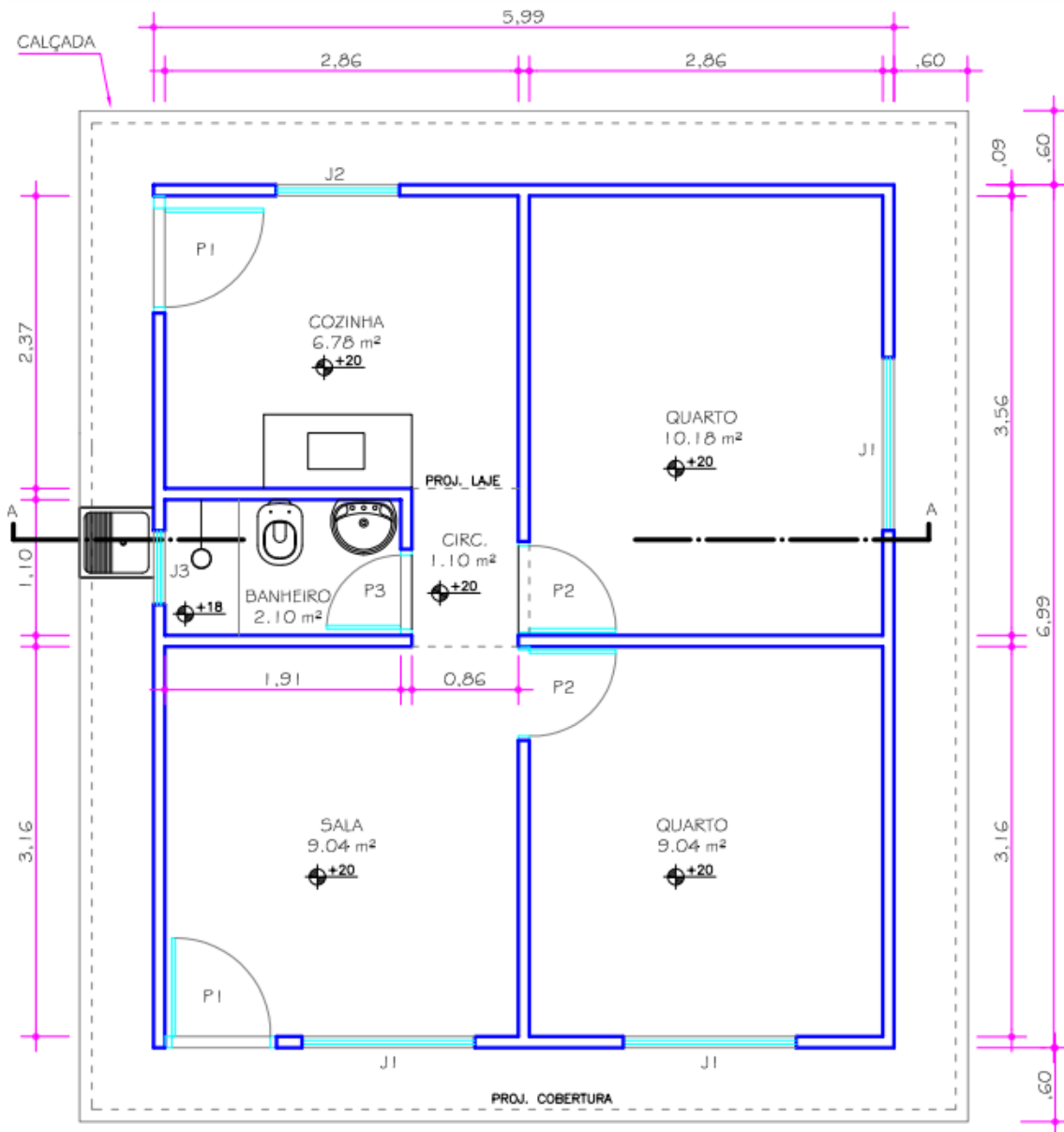


Figura 32: Planta baixa casa popular dos Cadernos CAIXA  
 Fonte: Equipe GIDUR/VT, 2007

Em relação ao edifício do qual a escavação seria fonte de solo para produção dos blocos de terra comprimida, a única variável relevante para a análise de viabilidade é o volume da escavação. Tendo em vista que os resíduos de escavação de um edifício são bastante variáveis, de acordo com a qualidade do solo para fundações, tipos de estrutura e presença de subsolos, optou-se pela descrição do edifício apenas a partir desta grandeza.

A determinação do volume necessário de resíduos de escavação utilizáveis, para produção dos blocos de terra comprimida para toda a edificação complementar, se faz pela quantificação de blocos precisos, seguida de estimativa da massa fundamental para produção de um bloco, possibilitando o cálculo de massa total de solo necessária. Por fim, relaciona-se este valor com

a massa específica de solo de granulometria adequada para produção de BTC (solo arenoso), para determinação do volume de escavação.

Desta forma, a pesquisa estuda viabilidade de utilização do solo de escavação para produção de BTC, na etapa de construção de edifício que contenha resíduos de escavação utilizáveis com volume de pelo menos 12,25 m<sup>3</sup>.

### **3.2 Adequação do projeto padrão às técnicas construtivas**

Neste subcapítulo o método construtivo do projeto padrão será dividido em etapas, tanto para a edificação estruturada a partir de tijolos cerâmicos, como a partir de blocos de terra comprimida. Baseando-se no referido no projeto padrão, porém diferenciando e adequando o método, quando necessário, às técnicas construtivas estudadas.

O método construtivo de alvenaria cerâmica convencional consiste na sobreposição de blocos cerâmicos, assentados por argamassa cimentícia, com estruturas complementares em concreto armado, além de revestimento em chapisco e reboco estabilizados com cimento e cal.

A alvenaria de blocos de terra comprimida, por sua vez, conta com a produção de BTC, admitindo solo de características adequadas, estabilizado através de ligantes obtidos por ativação alcalina, mais especificamente com matriz ligante de cinzas volantes e ativador alcalino de hidróxido de NaOH. Após cura adequada dos tijolos, sua sobreposição é feita com auxílio de argamassa de assentamento de constituição semelhante aos blocos, garantindo homogeneidade da estrutura. Já como revestimento, optou-se por chapisco e reboco convencionais, estabilizados a partir de cimento e cal.

Como citado anteriormente, o foco do estudo está na análise comparativa das alvenarias, desta forma, parcelas da construção pouco relevantes ao estudo, como coberturas, pisos e fundações são descritos, porém de forma sucinta.

#### **3.2.1 Canteiro de obras**

Tendo em vista que o edificado complementar será construído simultaneamente ao desenvolvimento de edifício primário, do qual, inclusive, será adquirida a terra de escavação, torna-se conveniente que a responsabilidade de implantação, manutenção e desmobilização do canteiro de obras seja da empresa executora das obras do edifício principal.

### **3.2.2 Aquisição do material de construção**

Para a construção com tijolos cerâmicos, a aquisição dos materiais de construção consiste na compra de todo material necessário e estoque adequado destes, para posterior utilização na construção.

Por sua vez, na construção com BTC, a aquisição dos materiais de construção consiste na produção dos blocos de terra comprimida a partir do resíduo de escavação do edifício principal com estabilização química a partir de cinzas volantes e hidróxido de NaOH, além da compra do restante material necessário e armazenamento adequado destes para posterior utilização na construção.

### **3.2.3 Destinação do resíduo de escavação**

Tendo em vista que a construção a partir de tijolos cerâmicos não utiliza a terra de escavação do edifício principal, esta etapa consiste na mobilização de caçambas para armazenamento e transporte do resíduo para aterro, vale ressaltar a importância da correção do volume de solo a partir de fatores de empolamento.

Este mesmo resíduo, para construção com alvenaria de BTC, é utilizado na produção dos blocos de terra comprimida, sendo esta etapa desconsiderada.

### **3.2.4 Serviços preliminares**

Considerando terreno sem necessidade de terraplanagem, os serviços preliminares contemplam a limpeza do terreno de construção, além da execução da locação da obra, a partir de gabaritos de madeira nas dimensões do projeto padrão.

### **3.2.5 Estrutura**

Com exceção das paredes de alvenaria, a estrutura é executada a partir de concreto armado. Composta por fundação direta em vigas baldrame impermeabilizadas, viga de travamento na última fiada de alvenaria, laje sobre banheiro e circulação, além de vergas e contravergas nas caixilharias.

### **3.2.6 Alvenaria**

As paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, constituídas por blocos simples de dimensões 90:190:190 mm (largura:altura:comprimento), aplicam-se diretamente sobre a estrutura, sem necessidade da execução de pilares. Os tijolos devem ser assentados por argamassa de rejunte com traço 1:2:8 (cimento:cal:areia) em todas as suas faces.

A alvenaria de blocos de terra comprimida estabilizados alcalinamente com matriz ligante de cinzas volantes e ativador alcalino de hidróxido de NaOH, por sua vez, é constituída por tijolos vazados de dimensões 100:50:200 mm (largura:altura:comprimento), caracterizados pela figura 32, aplicados diretamente sobre a estrutura. Os blocos devem ser assentados por argamassa de rejunte, com traço semelhante ao utilizado na produção dos blocos, em todas as suas faces.

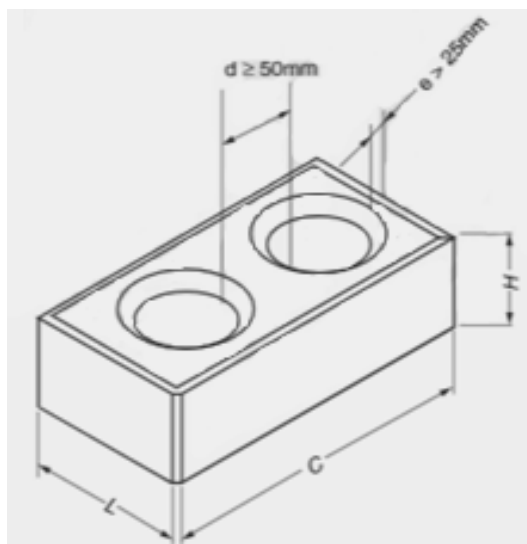


Figura 32: Modelo de BTC vazado  
Fonte: ABNT NBR 8491 (2012)

### 3.2.7 Esquadrias

O projeto conta com portas almofadadas e de compensado, em madeira com espessura de 35 mm, com fechadura em latão cromado, além de janelas com esquadria em alumínio anodizado fosco, seguindo dimensões e especificações de projeto. Importante ressaltar que as esquadrias devem apresentar verga e contraverga em concreto armado.

### 3.2.8 Cobertura

A cobertura estruturada a partir de treliças de madeira é coberta por telhas cerâmicas tipo plan, assentadas assim como descrito pelo fabricante. Devem ser respeitadas as dimensões e inclinações apresentadas em projeto.

### 3.2.9 Revestimentos

Todas as paredes recebem chapisco com argamassa de traço 1:3 (cimento:areia) e espessura de 5 mm, além de reboco com argamassa de traço 1:2:8 (cimento:cal:areia) e espessura entre 20mm para vedações internas e 25mm para externas. Vale ressaltar que se optou pela utilização de argamassa cimentícia pela versatilidade do projeto, porém argamassas de terra podem ser uma solução de revestimento de qualidade para paredes de BTC.

As paredes de áreas molhadas contam com revestimento em azulejo (200:200 mm) junta prumo a prumo assentado com argamassa colante. A edificação apresenta, ainda, forro de PVC branco instalado em estrutura de perfis metálicos por toda sua extensão.

### **3.2.10 Pisos e pavimentos**

Os pisos de toda a construção são de concreto de 150 mm (FCK 30 Mpa), além de acabamento em piso cerâmico esmaltado (350:350 mm) assentado com argamassa colante com regularização de 20 mm. O projeto também apresenta calçada em concreto magro, com espessura de 50 mm e largura de 600 mm no contorno da edificação.

### **3.2.11 Instalações hidrossanitárias**

Com caixa de água de 500 l, vaso e lavatório em louça branca, bancada de pia e tanque em mármore sintético, torneiras de plástico, caixa de descarga e chuveiro. Instalações hidráulicas, esgoto e água pluvial seguindo normas ABNT referentes, assim como descrito em projeto padrão.

### **3.2.12 Instalações elétricas**

Com eletrodutos em PVC, disjuntores termo-magnéticos, tomadas e interruptores de embutir e condutores de cobre, as instalações elétricas devem seguir as quantidades e localizações apresentadas no projeto padrão, respeitando as normas ABNT.

### **3.2.13 Pintura**

Todas as paredes internas e externas, além do teto da laje são revestidas por duas demãos de pintura Látex PVA sobre uma camada de selador. Portas recebem duas demãos de pintura em esmalte sintético sobre uma demão de fundo nivelador.

### **3.2.14 Limpeza final**

A limpeza final consiste na remoção de entulhos, além do varrimento, polimento e lustração final da edificação, retirando resquícios do processo de construção e garantindo qualidade do edifício.

## **3.3 Análise econômica**

Este subcapítulo objetiva a análise econômica das construções do edifício complementar em alvenarias de tijolo cerâmico e bloco de terra comprimida, criando orçamentos para cada técnica construtiva.

Com objetivo de comparar as diferentes técnicas construtivas para um caso e edificado específicos, realiza-se a orçamentação completa para ambas, porém com variações fundamentais para a análise econômica. Desta forma o orçamento da alvenaria cerâmica incorpora a destinação do resíduo de escavação, desnecessário para a outra metodologia. Enquanto a alvenaria de blocos de terra comprimida abrange a produção dos tijolos ecológicos, posteriormente utilizados na obra.

O desenvolvimento dos orçamentos tem como base a utilização dos relatórios SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2023), que reúnem informações atualizadas sobre custos unitários de insumos, serviços e mão de obra, além de composições que ao relacionar os anteriores a unidades de medida específicas estruturam estimativas adequadas.

A metodologia tem início com a coleta de dados, que consiste, basicamente, no acesso aos relatórios disponibilizados pelos órgãos públicos brasileiros IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e Caixa Econômica Federal, com seleção dos documentos de localização adequada e informações mais atualizadas.

Após a seleção dos insumos e composições apropriados para o orçamento deve ser realizado o dimensionamento do projeto, utilizando as etapas construtivas descritas anteriormente, quantificando materiais e serviços que, relacionados aos itens selecionados dos relatórios SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2023), constituem custos específicos para cada elemento selecionado.

Por fim, deve ser realizada somatória de todos os custos unitários calculados, para determinação do orçamento total da obra. Estimativa que garante gestão eficiente dos recursos financeiros envolvidos na construção.

### **3.4 Análise de produtividade**

Este subcapítulo tem como objetivo a análise da produtividade das construções do edifício complementar em alvenarias de bloco cerâmico e BTC, quantificando a diferença dos tempos de obra entre os diferentes processos.

Ao analisar a produtividade, as etapas construtivas, descritas anteriormente, distinguem-se, para cada método construtivo, apenas na aquisição do material de construção, destinação do resíduo de escavação e execução da alvenaria. Desta forma, estas são as etapas relevantes para determinação da variação de produtividade entre as construções.

O tempo de construção varia, também, de acordo com o número de trabalhadores. Ou seja, o número de horas trabalhadas deve ser utilizado como referência para determinação do tempo mínimo de obra, que por sua vez, é o conceito relevante para definição da variação de produtividade entre os processos construtivos.

O total de horas trabalhadas para cada processo é mensurado através dos relatórios disponibilizados pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2023), a partir da relação entre etapas construtivas e unidades de medida específicas.

O tempo mínimo de obra para cada processo construtivo é estimado a partir da correspondência entre diversos conceitos. O total de horas trabalhadas, o período de estabilização de materiais produzidos no local e a dependência a serviços externos são os pertinentes ao estudo.

A aquisição dos insumos da construção de alvenaria cerâmica consiste na compra e armazenamento de materiais juntamente ao início da obra, sem necessidade de diária de trabalho específica. A destinação dos resíduos de escavação é interpretada lado a lado aos relatórios SINAPI, relacionando a periodização de obras de escavação convencionais, o volume de solo a ser destinado e a capacidade de transporte do caminhão basculante. Por fim, na etapa de alvenaria, também com auxílio dos documentos SINAPI, determinam-se as horas trabalhadas necessárias, que associadas ao número de trabalhadores e às horas laborais diárias, resultam no tempo de obra da etapa em dias (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2023).

Diferentemente, para construção de alvenaria de blocos de terra comprimida, a aquisição de materiais de construção consiste, além da compra e armazenamento dos insumos, na produção dos tijolos BTC, com tempo de obra relacionando o número de blocos necessários e o tempo médio de produção de blocos, além dos tempos de cura mínimos estipulados pela norma brasileira ABNT NBR 8491 (2012). O método construtivo com solo, por sua vez, não conta com destinação do resíduo de escavação. Já a alvenaria tem o tempo de obra calculado de forma semelhante a outra técnica construtiva, com os relatórios SINAPI, relacionando horas trabalhadas necessárias e o número de trabalhadores (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2023).

A partir da somatória dos tempos de obra específicos de cada etapa construtiva relevante, cria-se um parâmetro temporal total, significativo ao estudo, para cada técnica de construção analisada.

Tendo em vista que esta unidade temporal não constitui um tempo de obra completo, seu resultado deve ser apresentado na forma de relação direta entre os resultados das diferentes técnicas construtivas, compondo um parâmetro de diferença de produtividade entre as construções.

### **3.5 Análise ambiental**

Por fim, a análise ambiental das obras do edifício complementar em alvenarias de bloco cerâmico e BTC, desenvolve-se a partir da quantificação das emissões de dióxido de carbono e demanda de energia primária em seus processos construtivos relevantes, incluindo produção de materiais, transporte de insumos e a construção do edifício. Constituindo, por fim, a diferença de emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia entre a alvenaria cerâmica e de blocos de terra comprimida.

A partir do conhecimento que a análise ambiental abrange todo o processo de extração, transporte e fabricação dos materiais, as etapas construtivas de cada técnica diferem-se apenas na composição das alvenarias e na destinação do resíduo de escavação. Desta forma, apenas estas etapas se mostram expressivas para investigação das metodologias estudadas.

A pesquisa tem como referência o SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção), plataforma informativa sobre impacto no ambiente de materiais, processos e serviços da construção civil. O sistema compreende indicadores para estimativa da exploração de recursos naturais, emissões de poluentes, consumo de energia e geração de resíduos, constituindo uma ampla avaliação do desempenho ambiental do objeto estudado. Possibilitando ainda a comparação de projetos e fornecedores, promovendo a adoção de práticas e materiais sustentáveis.

O SIDAC utiliza a metodologia ADAC (Avaliação do Desempenho Ambiental da Construção), uma versão simplificada da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida), mantendo seus principais conceitos e indicadores, porém com foco em dados primários de inventário, mais simples e abrangentes, garantindo uma estimativa adequada e representativa da realidade para diversos casos construtivos.

O cálculo das emissões e demanda de energia utiliza a calculadora de produtos do sistema SIDAC, que com fatores de conversão previamente estabelecidos e validados, gerados a partir da base de dados da plataforma de informações, estabelece um intervalo de valores prováveis para os parâmetros avaliados. A operação contempla fatores como recursos naturais, carbono absorvido, combustível, energia, processos fabris e transporte.

## *Metodologia*

Considera-se, para a estimativa das emissões e consumo de energia dos resíduos da escavação, uma distância de 25 km entre a obra e o aterro sanitário, com um total de 6 viagens para disposição total dos 15,3 m<sup>3</sup> de resíduo. As emissões dos processos de escavação não são significativas ao estudo por serem realizadas para ambas as técnicas construtivas.

A estimativa de emissões e do consumo de energia da alvenaria de blocos cerâmicos abrange os materiais processados (bloco cerâmico, argamassa produzida em obra, malha e pinos de aço) e a eletricidade vinculada a utilização de betoneira para produção de argamassa. Métricas estimadas a partir do dimensionamento do projeto e adequadas as unidades exigidas com parâmetros e coeficientes descritos em composições SINAPI.

Para a alvenaria de blocos de terra comprimida, a estimativa contempla, além dos materiais processados (argamassa produzida em obra, cinzas volantes, malha e pinos de aço), a eletricidade ligada a utilização da betoneira, da peneira rotativa e do misturador de solo. Métricas, também, estimadas com dimensionamento do projeto e ajustadas a partir de parâmetros e coeficientes de composições SINAPI. Importante ressaltar que o processo de ativação alcalina da matriz ligante está vinculado a emissões diretas, porém não relevantes para a análise de desempenho ambiental simplificada utilizada.

Utilizou-se, ainda, como meio de transporte padrão para os insumos das construções, um caminhão carreta convencional de 4 eixos. Além da distância diretriz comum de 100 km entre o fornecedor e a obra.

Por fim, a diferença do total de emissões e do total demandado de energia devem ser avaliados de forma separada, porém seu cálculo é similar. As diferenças dos totais entre os métodos construtivos consistem no módulo da subtração dos valores adquiridos para blocos de terra comprimida, pela soma dos valores da alvenaria cerâmica e da destinação dos resíduos de escavação. Tendo em vista que os resultados são intervalares, ressalta-se a importância da propagação de erros, além da análise dos valores para identificação da técnica construtiva de menor impacto.



## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Análises adicionais**

Adicionalmente às 3 análises realizadas, os blocos de terra comprimida incorporam vantagens e desvantagens aos processos construtivos e construções finais que devem ser considerados no momento de escolha da técnica mais adequada ao caso em avaliação.

Apesar de serem comuns blocos de terra comprimida de 10 a 20 MPa de resistência à compressão, a presença de BTC com entre 2 e 3 Mpa, dependendo da estabilização e controle de qualidade, também é frequente. Desta forma, para as tecnologias atuais, os tijolos ecológicos ainda exigem mais atenção neste parâmetro, quando comparado aos insumos convencionais. Vale ressaltar, ainda, que suas construções detêm baixa resistência a esforços horizontais, o que pode resultar na necessidade de aplicação de reforços estruturais. De forma contrária, essas estruturas representam alta resistência ao fogo, além de serem incombustíveis e com produtos de combustão não nocivos, os blocos apresentam aumento de resistência em altas temperaturas, o que constitui elevada segurança em caso de incêndios.

Os blocos de terra comprimida detêm, ainda, valores relativamente inferiores de resistência termoacústica, quando comparados aos tijolos cerâmicos, porém é importante ressaltar que a alvenaria de BTC, quando realizada de forma adequada, atende aos requisitos das normas construtivas brasileiras e de diversas legislações internacionais relevantes, além de destacar que esta variação de conforto térmico e acústico pode ser compensada com a aplicação de estreitas camadas de isolamento.

Em relação ao conforto na habitação, construções constituídas por terra, em geral, possuem um comportamento higroscópico, característica capaz de controlar a umidade no interior da habitação, além de absorver odores e substâncias nocivas, garantindo níveis confortáveis, dos parâmetros citados, aos usuários.

#### **4.2 Análise econômica**

A partir dos orçamentos completos realizados para os diferentes métodos construtivos (alvenaria cerâmica e alvenaria BTC), incluindo aspectos específicos do caso estudado, como contabilização da destinação do resíduo de escavação e da produção de blocos de terra comprimida para os processos vinculados a esses, obteve-se resultados com pouca variação.

O orçamento da construção com alvenaria de blocos cerâmicos, incluindo a destinação dos resíduos de escavação, resultou em um valor total de R\$99.145,20 para o ano de 2023. Já a estimativa da construção com blocos de terra comprimida, incluindo a produção dos tijolos ecológicos, resultou em um valor total de R\$112.113,89 para a mesma data, assim como apresentado pela tabela 14.

Tabela 14: Orçamentos completos, 2023

Etapa construtiva	Alvenaria cerâmica	Alvenaria de blocos de terra comprimida
	Valor monetário vinculado	Valor monetário vinculado
Destinação do resíduo de escavação	R\$5232,27	-
Produção do BTC	-	R\$18464,09
Serviços preliminares	R\$3331,88	R\$3331,88
Estrutura	R\$16175,63	R\$15954,95
Alvenaria	R\$10339,99	R\$10297,54
Esquadrias	R\$11928,69	R\$11928,69
Cobertura	R\$8442,29	R\$8442,29
Revestimentos	R\$19064,46	R\$19064,46
Pisos e pavimentos	R\$9855,72	R\$9855,72
Instalações hidrossanitárias	R\$4033,67	R\$4033,67
Instalações elétricas	R\$5401,08	R\$5401,08
Pintura	R\$5106,29	R\$5106,29
Limpeza final	R\$233,23	R\$233,23
<b>Valor total da construção</b>	<b>R\$99145,20</b>	<b>R\$112113,89</b>

Apesar da construção de BTC não exigir compra dos blocos e nem contratação do serviço de destinação dos resíduos, verificou-se uma elevação no custo geral da obra. Isso ocorre pelo atual elevado custo da aquisição da prensa manual, da qual foi atribuído o custo completo de compra do equipamento, tendo em vista que o mesmo não se encontra, com facilidade, para aluguel, além da característica dos tijolos ecológicos terem, para manter eficiência e ergonomia, metade

do tamanho dos tijolos cerâmicos convencionais, dobrando também as horas trabalhadas para os aplicadores da alvenaria. Vale ressaltar a possibilidade de reutilização do equipamento ou venda posterior ao uso, reduzindo o custo prático da construção.

Ao comparar o custo dos processos construtivos em 2023, verifica-se um aumento de 13,08% no valor na obra de BTC em relação a alvenaria cerâmica. Com redução de R\$12.968,69, a construção a partir de blocos cerâmicos se mostra mais econômica para a localização e momento do estudo de caso.

Apesar do resultado promissor para alvenaria cerâmica, a variação entre os recursos monetários vinculados a cada processo construtivo praticamente iguala-se ao custo da aquisição da prensa mecânica de blocos de terra comprimida. A oportunidade de locação diária da máquina possibilitaria uma redução drástica na variação entre os orçamentos.

De forma paralela, a aplicação de projetos a partir da metodologia construtiva de alvenaria de blocos de terra comprimida possibilita a evolução tecnológica do sistema e dos equipamentos envolvidos em seus processos. Ao entender que esta melhoria técnica pode viabilizar a redução do tempo de produção do BTC e o aumento nas dimensões dos tijolos ecológicos, reduzindo as horas trabalhadas para execução das paredes, conclui-se uma perspectiva de maior eficiência e menor impacto econômico vinculado a este processo construtivo.

#### **4.3 Análise de produtividade**

A análise do tempo de obra, por sua vez, resultou em uma diferença considerável entre a construção a partir de blocos de terra comprimida e tijolos cerâmicos para o caso estudado. A partir da contabilização das etapas significativas para a investigação, como produção dos BTC, destinação do resíduo de escavação e execução da alvenaria, determinou-se um parâmetro temporal de comparação entre os processos. Vale ressaltar que o produto não permite a avaliação em relação ao tempo total de estruturação do edifício.

A somatória dos valores relacionados às etapas relevantes para alvenaria cerâmica, incluindo destinação do resíduo de escavação e execução da alvenaria, resultou em um parâmetro temporal de 8 dias. Já, a partir dos valores vinculados aos blocos de terra comprimida, incluindo a produção dos BTC e a execução da alvenaria, obteve-se um resultado de 23 dias, como apresentado pela tabela 15.

Tabela 15: Parâmetros temporais para alvenarias

Etapa construtiva	Alvenaria cerâmica	Alvenaria de blocos de terra comprimida
	Tempo de obra (dias)	Tempo de obra (dias)
Aquisição do material de construção	-	18,2
Destinação do resíduo de escavação	3	-
Execução da alvenaria	5	4,8
<b>Valor total da construção</b>	<b>8</b>	<b>23</b>
<b>Diferença entre os tempos de obra</b>		<b>15</b>

A grande variação entre os processos construtivos está vinculada a produção dos BTC, mais especificamente aos tempos de cura necessários para produção de blocos de terra comprimida com eficiência. Identificou-se, também, uma variação considerável entre as horas trabalhadas necessárias para construção das diferentes alvenarias, porém esta é facilmente compensada pela adição de um trabalhador.

Ao relacionar os parâmetros temporais, verificou-se um tempo de obra superior em 15 dias para a construção com blocos de terra comprimida, estabelecido previamente ao início da construção, para produção dos blocos. Desta forma, a alvenaria cerâmica se mostra mais produtiva para o local, momento e características do projeto estudado.

Tendo em vista que a grande variação nos tempos de obra se estabelece em processos iniciais à construção, cria-se a possibilidade de fabricação e cura dos blocos de terra comprimida anteriormente a data inicial da constituição do edifício.

Um edifício complementar a uma edificação principal, comumente, tem a sua construção no período final da obra central, já o processo de escavação se dá no início da mesma. Desta forma a produção de BTC é mais eficiente, produtiva e garante maior organização, se realizada logo após a escavação, garantindo tempos de cura suficientes até o momento de execução da alvenaria.

Com a fabricação e cura dos blocos de terra comprimida, estabelecida previamente ao início da execução do projeto, as construções com alvenarias a partir de tijolos cerâmicos e BTC passam a possuir tempos semelhantes de obra. Associando às diferentes técnicas construtivas, produtividades relativamente semelhantes.

#### 4.4 Análise ambiental

A análise da variação de emissões de dióxido de carbono e de demanda de energia primária, realizadas a partir da calculadora de produtos Sidac, resultou em valores bastante discrepantes entre os processos construtivos. Inicialmente obteve-se um valor unitário para as etapas de destinação de resíduos de escavação (por m<sup>3</sup>), alvenaria de tijolos cerâmicos (por m<sup>2</sup>) e alvenaria de bloco de terra comprimida (por m<sup>2</sup>), multiplicados às dimensões de projeto para criação de parâmetro absoluto vinculado a cada projeto, que permite determinação da variação de emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia para as diferentes obras.

O parâmetro absoluto relacionado a construção com blocos cerâmicos, incluindo as etapas de destinação dos resíduos de escavação, produção dos insumos e execução da alvenaria, resultou em um intervalo de possibilidade entre 708,96 e 1.217,95 kg de CO<sub>2</sub> emitidos, além de 17.760,38 e 28.818,14 MJ de energia demandadas, tabela 16.

Tabela 16: Estimativa ambiental alvenaria cerâmica

<b>Estimativa ambiental para construção de blocos cerâmicos</b>		
<b>Parâmetros vinculados a destinação dos resíduos de escavação</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	10,20	$\sigma=0$
Demanda de energia primária (MJ)	156,83	$\sigma=0$
<b>Parâmetros vinculados a produção e execução da alvenaria cerâmica</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	951,76	$\sigma=253,00$
Demanda de energia primária (MJ)	23.132,44	$\sigma=5.528,88$
<b>Parâmetro absoluto relacionado a construção com blocos cerâmicos</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	961,96	$\sigma=253,00$
Demanda de energia primária (MJ)	23.289,26	$\sigma=5.528,88$

## Análise dos resultados

Já a estimativa para construção com blocos de terra comprimida, compreendendo a produção dos insumos e execução da alvenaria de BTC, resultou em um intervalo de possibilidade entre 285,58 e 340,37 kg de emissão de CO<sub>2</sub>, além de 3.778,40 e 4.301,67 MJ de consumo de energia, tabela 17.

Tabela 17: Estimativa ambiental alvenaria BTC

<b>Estimativa ambiental para construção de blocos de terra comprimida</b>		
<b>Parâmetros vinculados a produção e execução da alvenaria BTC</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	312,97	$\sigma=27,40$
Demanda de energia primária (MJ)	4.040,03	$\sigma=261,63$
<b>Parâmetro absoluto relacionado a construção com BTC</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	312,97	$\sigma=27,40$
Demanda de energia primária (MJ)	4.040,03	$\sigma=261,63$

Ao relacionar os parâmetros ambientais absolutos, verificou-se uma variação com intervalo de possibilidade entre 394,51 e 903,46 kg para emissões de CO<sub>2</sub>, além de 13.714,17 e 24.784,30 MJ para energia primária demandada, tabela 18. Estabelecendo a construção de alvenaria de blocos de terra comprimida como a de menor impacto ambiental tanto em relação ao dióxido de carbono emitido quanto ao consumo energético.

Tabela 18: Análise comparativa ambiental

<b>Diferenças entre as emissões vinculadas às técnicas construtivas</b>		
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	648,99	$\sigma=254,47$
Demanda de energia primária (MJ)	19.249,23	$\sigma=5.535,07$

## *Análise dos resultados*

A alvenaria cerâmica possui as emissões de dióxido de carbono e demandas de energia primária, mais relevantes, vinculadas ao transporte de insumos e a fabricação dos materiais processados, sendo mais impactante, a produção de blocos cerâmicos. A última compreende a extração do recurso natural, a queima de combustíveis, a calcinação de carbonato de cálcio, o uso de eletricidade e mais.

Ao reduzir ou anular os quesitos citados, a alvenaria de blocos de terra comprimida, por sua vez, possui menores emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de energia primária associados à sua produção, sendo a maior parte do impacto ambiental causado pela utilização de argamassa cimentícia, que, como citado anteriormente, pode ser alterada em projeto por revestimento de terra estabilizada de forma semelhante ao BTC. Vale ressaltar também que há maior utilização de eletricidade em obra pelo sistema construtivo de tijolos ecológicos, porém esse consumo torna-se pouco relevante quando comparado a demanda em produções fabris de materiais processados.

Ao comparar os processos construtivos, verifica-se uma redução na emissão de dióxido de carbono de em torno de 650 kg com a utilização de blocos de terra comprimida. Relacionando esta variação com os valores vinculados a, somente, a alvenaria cerâmica, constata-se uma diminuição de 67%, com a aplicação de BTC.

Em relação a demanda de energia primária, verifica-se uma redução de, aproximadamente, 20.000 MJ com a execução da alvenaria a partir de blocos de terra comprimida. Ao relacionar esta diferença com o consumo vinculado a, somente, a alvenaria cerâmica, constata-se diminuição de 83%, com uso do BTC.

## **5. CONCLUSÃO**

A pesquisa objetivou desenvolver uma análise completa da viabilidade e eficiência da aplicação da alvenaria de blocos de terra comprimida, com produção de materiais a partir dos resíduos de escavação em obra, para construção de edifício complementar de 42 m<sup>2</sup>. A investigação compreende o estudo geral da técnica construtiva, ressaltando suas qualidades e dificuldades mais significativas, e quantificando parâmetros econômicos, temporais e ambientais, comparando-os com obra convencional de tijolos cerâmicos, como forma de relacionar os resultados ao mercado usual no local e momento adotados.

A partir da análise econômica, realizada através da orçamentação completa do projeto para ambas as técnicas construtivas, concluiu-se que a alvenaria cerâmica convencional é, para o local e momento de estudo, mais econômica que a mesma em blocos de terra comprimida. Com aumento de R\$12.968,69, a aplicação de BTC se mostrou mais custosa, devido, principalmente, a compra da prensa mecânica e ao aumento do número de trabalhadores para mantimento do tempo de obra.

A comparação entre os tempos de construção, demonstrou que o período de produção dos blocos de terra comprimida, se realizado durante a obra reduz muito a produtividade do projeto, constituindo um aumento de 15 dias para a técnica construtiva com BTC, porém o caso estudado, por distanciar a escavação do terreno da construção do edifício complementar,

## Conclusão

permite a produção dos tijolos ecológicos previamente ao início da obra, mantendo tempos de obra e produtividades semelhantes entre as metodologias analisadas.

A análise ambiental, por sua vez, evidencia o menor impacto com a utilização de alvenaria de blocos de terra comprimida, em relação a tijolos cerâmicos. A estimativa de emissões de dióxido de carbono resultou em uma redução de aproximadamente 649 kg, com a utilização da técnica construtiva com BTC. Já o cálculo de demanda de energia primária, de forma paralela, demonstrou redução de em torno de 19.249 MJ, com o projeto de tijolos ecológicos.

A pesquisa permitiu, ainda, o entendimento que, apesar do projeto de alvenaria cerâmica se mostrar mais econômico e produtivo para o local e momento do estudo, a técnica de blocos de terra comprimida, com aumento do número de aplicações no mercado da construção civil, apresenta perspectiva de evolução tecnológica que pode resultar em menor tempo de produção, maior eficiência e redução de custos, com foco na possibilidade de aluguel da prensa mecânica e do aumento das dimensões dos tijolos, reduzindo as horas trabalhadas para constituição da alvenaria.

Além da maior utilização dos blocos de terra comprimida no mercado da construção civil, entende-se a importância do estudo contínuo da técnica construtiva para evolução da eficiência dessa. Desta forma, propõe-se a pesquisa dos seguintes trabalhos futuros:

- Analisar o impacto da utilização de revestimento em terra para as alvenarias de BTC, estudar a relevância da alteração para conforto térmico, acústico e higrotérmico, além da estimativa de variação econômica, temporal e ambiental, com sua aplicação substituindo argamassas cimentícias.
- Criar estimativa completa de produtividade para cada técnica construtiva, permitindo a comparação da variação entre alvenaria cerâmica e BTC, ao tempo total de cada obra, assim como realizado na análise econômica.
- Criar estimativa completa de emissões de dióxido de carbono e de demanda de energia primária para cada técnica construtiva, permitindo a comparação da variação entre alvenaria cerâmica e BTC, ao tempo total de cada obra, assim como realizado na análise econômica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 6457: Amostras de solo—Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). *NBR 6459: Solo—Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2022). *NBR 6502: Solos e rochas—Terminologia*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 7180: Solo—Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 7181: Solo—Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). *NBR 8491: Tijolo de solo-cimento—Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). *NBR 8492: Tijolo de solo-cimento—Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água—Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). *NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica—Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). *NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural—Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). *NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural—Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água—Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). *NBR 15270-1: Componentes cerâmicos—Blocos e tijolos para alvenaria—Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). *NBR 15270-2: Componentes cerâmicos—Blocos e tijolos para alvenaria—Parte 2: Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2021). *NBR 15575-1: Edificações habitacionais—Desempenho—Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2021). *NBR 15575-4: Edificações habitacionais—Desempenho—Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas—SVVIE*. Rio de Janeiro.
- Adam, E. A. (2001). *Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan*.

- Antunes, N. (2010). *Edifícios Verdes: Práticas Projectuais Orientadas para a Sustentabilidade*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto.
- Araujo, M. H. (2015). *Comportamento Térmico de Blocos de Terra Comprimida Ativada Alcalinamente*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- Arquitecturas de Terra. (2009). *Taipa*. Fotografia. <http://arquiteturasdetera.blogspot.com>
- Arrigoni, A., Grillet, A.-C., Pelosato, R., Dotelli, G., Beckett, C., Woloszyn, M., & Ciancio, D. (2017). *Reduction of Rammed Earth's Hygroscopic Performance Under Stabilisation: An Experimental Investigation*. *Building and Environment*, 115, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.034>
- Barroso, P. (2016). *Recuperação de Construções em Terra Crua*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). *Construcción con Tierra en el Siglo XX*. *Informes de la Construcción*, Vol. 63.
- Belizario-Silva, F., & Oliveira, L. (2023). *Emissões de CO2 Incorporadas em Sistemas Construtivos: Um Estudo de Caso para uma Parede de Alvenaria*. *Workshop De Tecnologia De Processos E Sistemas Construtivos*, 4. <https://doi.org/10.46421/tecsic.v4.2687>
- Belizario-Silva, F., Oliveira, L., Reis, D., Pato, G., Marinho, A., Degani, C., Caldas, L., Punhagui, K., Pacca, S., & John, V. (2022). *Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: Uma Ferramenta para Incorporar Indicadores Ambientais na Construção Civil Brasileira*. *Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído*, 19, 1–13. <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2034>
- Bernardes, A., Thomé, A., Prietto, P., & Abreu, Á. (2008). *Quantificação e Classificação dos Resíduos da Construção e Demolição Coletados no Município de Passo Fundo, RS*. *Ambiente Construído*, 8(3), Artigo 3.
- Bragança, L. *Sustentabilidade de Soluções Construtivas*.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2017). *Avaliação da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Brasil, C. (2016). *Estudo das Construções Tradicionais em Adobe na Região de Tomar*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Tomar.
- Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., Hauff, V., Lang, I., Shijun, M., Botero, M., Singh, N., Nogueira-Neto, P., Okita, S., Ramphal, S., Ruckelshaus, W., Sahnoun, M., Salim, E., Shaib, B., Sokolov, V., Stanouvik, j., Strong, M., & Macneill, J. (1987). *Development and International Economic Co-operation: Environment*. World Commission on Environment and Development.
- Cabrita, A. L. (2017). *Reabilitação Sustentável de um Edifício do Séc. XIX*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Tecnologia do Barreiro. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18081>
- Cagnon, H., Aubert, J., Coutand, M., & Magniont, C. (2014). *Hygrothermal Properties of Earth Bricks*. *Energy and Buildings*, 80, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.024>

- Caixa Econômica Federal. (2007). *Projeto Padrão—Casas Populares: 42m<sup>2</sup>—Cadernos Caixa*.
- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, & Programa Tecnologias de Habitação. (1984). *Manual de construção com solo-cimento*.
- Consoli, N., Silvano, L., Lotero, A., Scheuermann, H., Moncaleano, C., & Cristelo, N. (2022). *Key Parameters Establishing Alkali Activation Effects on Stabilized Rammed Earth*. *Construction and Building Materials*, 345, 128299. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128299>
- Cordeiro, C., Brandão, D., Durante, L., & Callejas, I. (2019). *Construções Vernáculas em Terra: Perspectiva Histórica, Técnica e Contemporânea da Taipa de Mão*. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 10, e019006–e019006. <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>
- Davidovits, J. (2005). *Geopolymer chemistry and sustainable development. The Poly(sialate) terminology: A very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry*. Proceedings of 2005 Geopolymere Conference.
- Deboucha, S., & Hashim, R. (2011). *A Review on Bricks and Stabilized Compressed Earth Blocks*. *Sci. Res. Essays*.
- Dethier, J. (1986). *Des Architectures de Terre*. In Edition de Centre Pompidou.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1979). *Construire em Terre*. CRAterre- École d'Architecture de Grenoble.
- Domingues, R. (2015). *Avaliação do Potencial Económico de Implementação da Construção em BTC*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- Duarte, S. (2013). *Construir com a Terra: Uma Proposta de Intervenção no Bairro do Barruncho, Odivelas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa.
- Eckermann, W., & Ziegert, C. (2007). *Auswirkungen von Lehmbaustoffen auf das Raumklima*. In H.Venzmer (Ed.), *Europäischer Sanierungskalender 2008*.
- Eco Tijolo Fortaleza. (2021). *Casa em Tijolo Ecológico e Madeira Reciclada*. Fotografia. <https://www.ecotijolo.com.br/projects.aspx>
- Edris, W., Matakah, F., Rbabah, B., Sbaih, A., & Hailat, R. (2021). *Characteristics of Hollow Compressed Earth Block Stabilized Using Cement, Lime, and Sodium Silicate*. *Civil and Environmental Engineering*, 17(1), 200–208. <https://doi.org/10.2478/cee-2021-0021>
- Eires, R., & Jalali, S. (2008). *Inovações Científicas de Construção em Terra Crua*. Conferência Internacional - Angola: Ensino, Investigação e Desenvolvimento (EIDAO 08).
- Falcão, J. M. (2014). *Arquitetura Contemporânea em Terra*. Dissertação de Mestrado. Técnico Lisboa.
- Farias, E., & Gomes, J. (2022). *Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional e Light Steel Frame em Habitação Unifamiliar de Interesse Social*. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/26830>
- Félix, A., Barbosa, N., Neto, J., Medeiros, B., Costa, L., & Medeiros, L. (2022). *Efeito da Percentagem de Finos na Ativação Alcalina de Adobes*.

- Fernandes, J. (2020). *Ativação Alcalina em Blocos de Terra Comprimidos Utilizando como Percursor o Metacaulim*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba.
- Ferreira, L. M. (2015). *Arquitetura de Terra: Das Técnicas Construtivas ao Desenvolvimento de Competências*. Dissertação de Mestrado. Universidade Fernando Pessoa.
- Ferreira, T. (2012). *Um Olhar Sobre os Processos de Produção das Culturas Construtivas Tradicionais*. Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), 16, Artigo 16. <https://doi.org/10.11606/issn.1984-4506.v0i16p78-87>
- Figueira, A. F. (2016). *O Caráter Vernáculo na Construção com Terra no Panorama Contemporâneo*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa.
- Fonseca, J. (2007). *Construção em Adobe na Murtosa, um Caso de Estudo*. Terra em Seminário 2007.
- Franke, L. (2017). *Arquitetura Contemporânea em Terra: Modos de Ver e de Fazer*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/108813>
- Giorgi, M. (2014) *Shiban the manhattam of the desert*. Fotografia. <https://www.juzaphoto.com/galleria.php?t=992340&l=en>
- Gomes, A. C. (2021). *Aplicação de Rejeito de Mineração de Ouro na Produção de Tijolo de Solo-Cimento*. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36665>
- Gomes, M. I., Santos, T., Gonilho-Pereira, C., & Faria, P. (2019). *Construção com Base em Terra: Contributo para a Ecoeficiência na Construção*. SGA'19 - Conferência Internacional sobre Sustentabilidade na Gestão Ambiental: Inovação e desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa. <https://run.unl.pt/handle/10362/83184>
- Gonçalves, T., & Gomes, M. I. (2012). *Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto*.
- Green Building Council Brasil. (2022). *GBC Brasil -Anuário 2022*.
- Guedes, R. (2018). *Arquitetura Sustentável: Casas de Pau-à-Pique*. Fotografia. <https://arqrodrigoguedes.blogspot.com/2016/02/arquitetura-sustentavel-casas-de-pau.html>
- Herring, A. (2005). *Grand Mosque of Djenne*. Fotografia. [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Great\\_Mosque\\_of\\_Djenn%C3%A9#/media/File:Grand\\_Mosque\\_of\\_Djenne\\_\(6863773\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Great_Mosque_of_Djenn%C3%A9#/media/File:Grand_Mosque_of_Djenne_(6863773).jpg)
- Idriss, E., Tome, S., Rolande, T., Nana, A., Nemaleu, J., Judicaël, C., Spieß, A., Fetzer, M., Janiak, C., & Etoh, M.-A. (2022). *Engineering and Structural Properties of Compressed Earth Blocks (CEB) Stabilized with a Calcined Clay-Based Alkali-Activated Binder*. Innovative Infrastructure Solutions, 7(2), 157. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00760-9>
- Iskandar, R., Resende, F., & Brandstetter, M. (2019). *Análise de Custo e Desempenho Térmico para um Projeto de Habitação de Interesse Social*. Simpósio Brasileiro De Gestão E Economia Da Construção, 11, 1–11. <https://doi.org/10.46421/sibragec.v11i00.22>

- Izemouren, O., Guettala, A., & Guettala, S. (2015). *Mechanical Properties and Durability of Lime and Natural Pozzolana Stabilized Steam-Cured Compressed Earth Block Bricks*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33(5), 1321–1333. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9904-6>
- Jaarsveld, J., Deventer, J., & Lukey, G. (2002). *The Effect of Composition and Temperature on the Properties of Fly Ash- and Kaolinite-Based Geopolymers*. *Chemical Engineering Journal*, Volume 89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894702000256>
- Lad, J. (2020). *Architecture from the Ground Up: Designing and Delivering Social Value in Southern India*. *Architectural Design*, 90(4), 82–87. <https://doi.org/10.1002/ad.2594>
- Larbi, S., Khaldi, A., Maherzi, W., & Abriak, N.-E. (2022). *Formulation of Compressed Earth Blocks Stabilized by Glass Waste Activated with NaOH Solution*. *Sustainability*, 14(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.3390/su14010102>
- Laurini, D. (2010). *Casa de Taipa no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão*. Fotografia. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Pau\\_a\\_pique#/media/Ficheiro:Casa\\_de\\_Adobe\\_na\\_Chapada\\_das\\_Mesas.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pau_a_pique#/media/Ficheiro:Casa_de_Adobe_na_Chapada_das_Mesas.jpg)
- Lavanya, B., Preet, K., Suganesh, S., Indrajith, R., & Ramesh, B. (2020). *Properties of Geopolymer Bricks Made with Fly ash and GGBS*.
- Lima, C. (2008). *Histórico da Casa da Cultura*. Fotografia. <https://imphic.ning.com/m/discussion?id=2394393%3ATopic%3A37>
- Lima, D. P. (2017). *Ensaio de Resistência Termomecânica em Regime Estacionário em Bloco de Terra Compactada (BTC)—ProQuest*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior de Tecnologia e de Gestão. <https://www.proquest.com/openview/c9204ec1d27d0c73d9d6dc368a1e65cc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Lourenço, P., Brito, J., & Branco, F. (2003). *Estudo Económico Comparativo entre Sistemas Construtivos em Terra e a Construção “Corrente” em Portugal*. *Arquitectura & Vida*, 76–81.
- Mateus, R., & Bragança, L. (2004). *Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Desenvolvimento de uma Metodologia para a Avaliação a Sustentabilidade de Soluções Construtivas*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Mendes, P. D. (2011). *A Sustentabilidade da Construção em Terra: Um Caso de Estudo*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra.
- Ministério de Minas e Energia. (2023a). *Balanço Energético Nacional 2023*.
- Ministério de Minas e Energia. (2023b). *Como Utilizar o Sidac para Calcular e Informar o Desempenho Ambiental dos Produtos*. <https://www.youtube.com/watch?v=Zax48Eee9ec>
- Ministério de Minas e Energia. (2023c). *Introdução ao Sidac*. <https://www.youtube.com/watch?v=F-783045SwI>
- Ministério de Minas e Energia. (2023d). *Por Dentro do Sidac*. <https://www.youtube.com/watch?v=b37vhrndU4>

- Miranda, T., Silva, R., Oliveira, D., Leitão, D., Cristelo, N., Oliveira, J., & Soares, E. (2017). *ICEBs Stabilised with Alkali-Activated Fly Ash as a Renewed Approach for Green Building: Exploitation of the Masonry Mechanical Performance*. *Construction and Building Materials*, 155, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.045>
- Nina, J. (2022). *Durabilidade da Construção em Terra – Contributo para uma Melhor Aceitação deste Material Sustentável*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/81503>
- Norton, J. (1973). *Vaults as Domes: Egypt – Ramasseum Granaries*. Fotografia. <https://dwarchive.com/archive/interior-vaults-ramesseum-granaries>
- Nunes, U. (2013). *Caracterização do Comportamento Estrutural de uma Casa em BTC*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Olender, M. C. (2013). *A Técnica do Pau-a-Pique: Subsídios para a sua Preservação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/12298>
- Oliveira, A. M. (2022a, 2023). *Material de Apoio UC de Gestão do Patrimônio: Cap Manutenção de Edifícios*.
- Oliveira, A. M. (2022b, 2023). *Material de Apoio UC de Gestão do Patrimônio: Cap Manutenção de Edifícios (Manuais de Utilização e Manutenção)*.
- Oliveira, A. M. (2022c, 2023). *Material de Apoio UC de Gestão do Patrimônio: Cap Manutenção de Edifícios (Vida Útil)*.
- Oliveira, V. (2011). *Castelo de Paderne - Portugal*. Fotografia. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Castelo de Paderne - Portugal %285652496417%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Castelo_de_Paderne_-_Portugal_%285652496417%29.jpg)
- Oliver, P. (1998). *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. Cambridge: University Press.
- Ongpeng, J., Gapuz, E., Andres, J., Prudencio, D., Cuadlisan, J., Tadina, M., Zacarias, A., Benauro, D., & Pabustan, A. (2020). *Alkali-Activated Binder as Stabilizer in Compressed Earth Blocks*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 849(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/849/1/012042>
- Otto, R., Cooper, M., & Mazza, J. (2017). *Densidade do Solo e Densidade de Partículas*.
- Pacheco, A., Oliveira, L., John, V., & Angulo, C. (2022). *Transportation Impact on CO2 Emissions of Concrete: A Case Study in Rio Branco/Brazil*. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 15(6), e15609. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952022000600009>
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2007). *Construção Sustentável: O Caso dos Materiais de Construção*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Payá, J., Monzó, J., Roselló, J., Borrachero, M., Font, A., & Soriano, L. (2020). *Sustainable Soil-Compacted Blocks Containing Blast Furnace Slag (BFS) Activated with Olive Stone BIOMASS Ash (OBA)*. *Sustainability*, 12(23), Artigo 23. <https://doi.org/10.3390/su12239824>
- Picorelli, L. (2011). *Construção em Terra: Adobe*. Fotografia. <https://lecympicorelli-bioarquitetura.blogspot.com/2011/06/construcao-de-terra-parte2-adobe.html>

- Ponte, M. M. (2012). *Arquitetura de Terra: O Desenho para a Durabilidade das Construções*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra.
- Preethi, R., & Venkatarama, B. (2020). *Experimental Investigations on Geopolymer Stabilised Compressed Earth Products*. *Construction and Building Materials*, 257, 119563. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119563>
- Rael, R. (1971). *Earth Architecture*. Princeton Architectural Press.
- Ramos, L., Mendonça, P., Camões, A., Sturm, T., Eires, R., Reis, P., Sousa, J., & Vasconcelos, G. (2011). *Construção Sustentável com Blocos de Terra Compactada: A Solução HILOTEC*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Ramos, L., Sturm, T., Gomes, D., Mendonça, P., Eires, R., Camões, A., & Lourenço, P. (2014). *Self-building Manual for Sustainable Housing—HiLoTec*.
- Rodrigues, R. (2019). *Otimização Geométrica do Bloco de Terra Comprimida*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/22296>
- Rossi, J., Ongaro, A., Pinheiro, M., Vagheti, M., & Paixão, D. (2015). *Avaliação de Propriedades Acústicas da “Casa Popular Eficiente”*.
- Rudofsky, B. (1981). *Architecture Without Architects—A Short Introduction to Non-Pedigreed Architecture*. Doubleday & Company, Inc.
- Schneemayer, A. (2017). *Grande Muralha da China*. Fotografia. <https://pixabay.com/pt/photos/grande-muralha-da-china-china-2030311/>
- Silva, R., Oliveira, D., Miranda, T., Esteves, P., Soares, E., & Cristelo, N. (2014). *Mechanical Behaviour of Compressed Earth Blocks Stabilised with Industrial Wastes*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31284>
- Simões, L. S. (2015). *Comportamento Acústico de Blocos de Terra Compactada Ativados Alcalinamente*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
- SINAPI: *Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil / Caixa Econômica Federal*. – 9ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2023
- Soares, E., Miranda, T., Ferreira, D., Lima, D., Mesquista, L., & Leitão, D. (2018). *Comportamento ao Fogo de Blocos de Terra Comprimida*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Soares, E., Silva, R., Miranda, T., Oliveira, D., Leitão, D., Cristelo, N., & Oliveira, J. (2016). *Desempenho Mecânico de Alvenaria de BTC Estabilizados Através da Ativação Alcalina de Cinzas Volantes*.
- Sore, S., Messan, A., Prud’homme, E., Escadeillas, G., & Tsobnang, F. (2018). *Stabilization of Compressed Earth Blocks (CEBs) by Geopolymer Binder Based on Local Materials from Burkina Faso*. *Construction and Building Materials*, 165, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Spaniol, N. (2018). *Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos Alvenaria Convencional e Wood Frame para Habitação de Interesse Social*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/14312>

- Stolz, C., Moraes, C., & Kelm, T. *Caracterização e Quantificação dos Resíduos Sólidos Produzidos nos Canteiros de Obra da Cidade de Ijuí-RS*. Recuperado 8 de abril de 2023, de <https://drive.google.com/drive/folders/1eJlIkCXd6TVsWwFvZQJekjQW-Yr0xqx9>
- Superintendência de Desenvolvimento da Capital. *Caderno de Encargos SUDECAP: Capítulo 3 - Trabalhos em Terra* (2022).
- Tainara, A., & Barreto, M. (2018). *Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf)*. E&S Engineering and Science, 7(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.18607/ES201876926>
- Tavares, S., & Bragança, L. (2016). *Índices de CO2 para Materiais de Construção em Edificações Brasileiras*. Fest.
- Teixeira, D. (2017). *Blocos de Terra Comprimidos Estabilizados com Ativação Alcalina do Metacaulim: Aspectos metodológicos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba.
- Teodoro, N. (2011). *Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. [https://drive.google.com/drive/folders/11MdWuX84LvixBi\\_yurnDk\\_cdzWDZhOWP](https://drive.google.com/drive/folders/11MdWuX84LvixBi_yurnDk_cdzWDZhOWP)
- Tessaro, A., Sá, J., & Scremin, L. (2012). *Quantificação e Classificação dos Resíduos Procedentes da Construção Civil e Demolição no Município de Pelotas, RS*. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200008>
- Thiviya, S., Krishnan, A., Kalanthuru, M., Sharma, A., & Kolathayar, S. (2020). *Strength Behavior of Rammed Earth Stabilized with Metakaolin*.
- Torgal, F., Eires, R., & Jalali, S. (2009). *Construção em Terra*. TecMinho.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2007). *Construção Sustentável: O caso dos materiais de construção*.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2009). *Ligantes Obtidos por Ativação Alcalina*. TecMinho.
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). *A sustentabilidade dos materiais de construção*. TecMinho.
- Touré, P., Sambou, V., Faye, M., Thiam, A., Adj, M., & Azilinson, D. (2017). *Mechanical and Hygrothermal Properties of Compressed Stabilized Earth Bricks (CSEB)*. Journal of Building Engineering, 13, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.08.012>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Global Status Report for Buildings and Construction: 2022*.
- Villa, C., Pecina, E., Torres, R., & Gómez, L. (2010). *Geopolymer Synthesis Using Alkaline Activation of Natural Zeolite*. Construction and Building Materials, vol.24.
- Volhard, F. (2016). *Light Earth Building. A Handbook for Building with Wood and Earth*. Basileia: Birkhäuser Verlag.

## **APÊNDICES**



## APÊNDICE A

### Planilha orçamentária de alvenaria cerâmica

Planilha orçamentária de alvenaria cerâmica						
Ítem	Referência SINAPI	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
<b>1</b>	<b>Canteiro de Obras</b>					
<b>2</b>	<b>Aquisição do Material de Construção</b>					
<b>3</b>	<b>Destinação do Resíduo de Escavação</b>					
3.1	5811	Caminhão basculante 6m <sup>3</sup> , peso bruto total 16000kg, carga útil máxima 13071kg, distância entre eixos 4,8m, potência 230CV inclusive caçamba metálica - CHP diurno. AF_06/2014	CHP	24	209,45	5026,8
3.2	89883	Caminhão basculante 6m <sup>3</sup> , peso bruto total 16000kg, carga útil máxima 13071kg, distância entre eixos 4,8m, potência 230CV inclusive caçamba metálica - CHI diurno. AF_06/2014	CHI	3	68,49	205,47
<b>3</b>	<b>Subtotal</b>					<b>5232,27</b>
<b>4</b>	<b>Serviços Preliminares</b>					
4.1	98524	Limpeza manual de vegetação em terreno com enxada. AF_05/2018	M <sup>2</sup>	150	3,84	576
4.2	99059	Locação convencional de obra, utilizando gabarito de tábuas corridas pontaleadas a cada 2m - 2 utilizações. AF_10/2018	M	41,87	65,82	2755,8834
<b>4</b>	<b>Subtotal</b>					<b>3331,88</b>
<b>5</b>	<b>Estrutura</b>					
5.1	96527	Escavação manual de vala para viga baldrame (incluindo escavação para colocação de fôrmas). AF_06/2017	M <sup>3</sup>	4,4	158,01	695,244
5.2	101616	Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5m acerto do solo natural). AF_08/2020	M <sup>2</sup>	17,6	7,72	135,872
5.3	96530	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em madeira cerrada, E=25mm, 1 utilização. AF_06/2017	M <sup>2</sup>	31,59	209,13	6606,4167
5.4	96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2017	KG	38,7002	16,68	645,51934

5.5	96555	Concretagem de blocos de coroamento e vigas baldrame, FCK 30MPA, com uso de jerica lançamento, adensamento e acabamento. AF_06/2017	M <sup>3</sup>	2,37	701,57	1662,7209
5.6	98557	Impermeabilização de superfície com emulsão asfáltica, 2 demãos. AF_09/2023	M <sup>2</sup>	31,59	43,35	1369,4265
5.7	104737	Reaterro manual de valas, com placa vibratória. AF_08/2023	M <sup>3</sup>	4,4	25,76	113,344
5.8	96386	Execução e compactação de aterro com solo predominantemente arenoso - exclusive solo, escavação, carga e transporte. AF_11/2019	M <sup>3</sup>	3,17	9,08	28,7836
5.9	92265	Fabricação de fôrma para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, E=17mm. AF_09/2020	M <sup>2</sup>	7,898	115,91	915,45718
5.10	92760	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2022	KG	38,7002	13,19	510,45564
5.11	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada resinada, E=17mm. AF_09/2020	M <sup>2</sup>	4,872	47,28	230,34816
5.12	92769	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2022	KG	17,576	12,54	220,40304
5.13	103675	Concretagem de vigas e lajes, FCK=25MPA, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_02/2022	M <sup>3</sup>	0,79	551,68	435,8272
5.14	93186	Verga moldada in loco em concreto para janelas com até 1,5m de vão. AF_03/2016	M	15,6	100,32	1564,992
5.15	93188	Verga moldada in loco em concreto para portas com até 1,5m de vão. AF_03/2016	M	11,2	92,93	1040,816
<b>5</b>	<b>Subtotal</b>					<b>16175,63</b>
<b>6</b>	<b>Alvenaria</b>					
6.1	103328	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19cm (espessura 9cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. AF_12/2021	M <sup>2</sup>	98,73	104,73	10339,993
<b>6</b>	<b>Subtotal</b>					<b>10339,99</b>

7		Esquadrias				
7.1	90845	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (pesada ou superpesada), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	2	1498,09	2996,18
7.2	90842	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 70x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	2	1177,74	2355,48
7.3	90841	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 60x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	1	1166,93	1166,93
7.4	94570	Janela de alumínio de correr com 2 folhas para vidros, com vidros, batente, acabamento com acetato ou brilhante e ferragens. Exclusive alisar e contramarco. Fornecimento e instalação. AF_12/2019	M <sup>2</sup>	5,88	595,60	3502,128
7.5	94569	Janela de alumínio tipo maxim-ar, com vidros, batente e ferragens. Exclusive alisar acabamento e contramarco. Fornecimento e instalação. AF_12/2019	M <sup>2</sup>	1,68	1135,70	1907,976
<b>7</b>	<b>Subtotal</b>					<b>11928,69</b>
8		Cobertura				
8.1	92541	Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha de encaixe de cerâmica capa-canal, incluso transporte vertical. AF_07/2019	M <sup>2</sup>	55,85	95,33	5324,1805
8.2	94445	Telhamento com telha cerâmica capa-canal, tipo plan, com até duas águas, incluso transporte vertical. AF_07/2019	M <sup>2</sup>	55,85	55,83	3118,1055
<b>8</b>	<b>Subtotal</b>					<b>8442,29</b>
9		Revestimentos				
9.1	87878	Chapisco aplicado em alvenarias e estruturas de concreto internas, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo manual. AF_10/2022	M <sup>2</sup>	138,03	5,52	761,9256

9.2	87904	Chapisco aplicado em alvenaria (com presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo manual. AF_10/2022	M <sup>2</sup>	72,69	9,91	720,3579
9.3	87530	Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm, com execução de taliscas. AF_06/2014	M <sup>2</sup>	138,03	46,79	6458,4237
9.4	87777	Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25mm. AF_08/2022	M <sup>2</sup>	72,69	65,25	4743,0225
9.5	90407	Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em teto, espessura de 20mm, com execução de taliscas. AF_03/2015	M <sup>2</sup>	3,98	60,77	241,8646
9.6	87265	Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada extra de dimensões 20x20cm aplicadas na altura inteira das paredes. AF_02/2023	M <sup>2</sup>	40,64	77,00	3129,28
9.7	96485	Forro em réguas de PVC, liso, para ambientes residenciais, inclusive estrutura unidirecional de fixação. AF_08/2023_PS	M <sup>2</sup>	35,04	85,89	3009,5856
<b>9</b>	<b>Subtotal</b>					<b>19064,46</b>
<b>10</b>	<b>Pisos e Pavimentos</b>					
10.1	103074	Execução de piso de concreto, sem acabamento superficial, espessura de 15cm, FCK=30MPA, com uso de formas de madeira serrada. AF_09/2021	M <sup>2</sup>	33,97	154,01	5231,7197
10.2	87622	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo manual, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, acabamento não reforçado, espessura 2cm. AF_07/2021	M <sup>2</sup>	29,04	36,92	1072,1568
10.3	87737	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo manual, aplicado em áreas molhadas sobre laje, aderido, acabamento não reforçado, espessura 2cm. AF_07/2021	M <sup>2</sup>	8,88	51,78	459,8064
10.4	87246	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35cm aplicada em ambientes de área menor que 5m <sup>2</sup> . AF_02/2023_PE	M <sup>2</sup>	3,2	71,77	229,664
10.5	87247	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões	M <sup>2</sup>	34,72	63,42	2201,9424

		35x35cm aplicada em ambientes de área entre 5m² e 10m². AF_02/2023_PE				
10.6	94990	Execução de passeio (calçada) ou piso de concreto com concreto moldado in loco, feito em obra, acabamento convencional, não armado. AF_08/2022	M³	0,85	776,98	660,433
<b>10</b>	<b>Subtotal</b>					<b>9855,72</b>
<b>11</b>	<b>Instalações Hidrossanitárias</b>					
11.1	9867	Tubo PVC, soldável, de 20mm, água fria (NBR 5648)	M	20	3,70	74
11.2	9868	Tubo PVC, soldável, de 25mm, água fria (NBR 5648)	M	7	4,18	29,26
11.3	7139	Tê soldável, PVC, 90 graus, 25mm, para água fria predial (NBR 5648)	UN	4	1,07	4,28
11.4	3542	Joelho PVC, soldável, 90 graus, 20mm, cor marrom, para água fria predial	UN	8	0,60	4,8
11.5	3529	Joelho PVC, soldável, 90 graus, 25mm, cor marrom, para água fria predial	UN	3	0,73	2,19
11.6	3515	Joelho PVC, soldável, com bucha de latão, 90 graus, 20mm x 1/2", para água fria predial	UN	5	6,55	32,75
11.7	828	Bucha de redução de PVC, soldável, curta, com 25x20mm, para água fria predial	UN	5	0,60	3
11.8	95	Adaptador PVC soldável, com flange e anel de vedação, 20mm x 1/2", para caixa d'água	UN	2	11,40	22,8
11.9	96	Adaptador PVC soldável, com flange e anel de vedação, 25mm x 3/4", para caixa d'água	UN	4	12,40	49,6
11.10	11871	Caixa d'água/reservatório em poliéster reforçado com fibra de vidro, 500l, com tampa	UN	1	493,44	493,44
11.11	6016	Registro gaveta bruto em latão forjado, bitola 3/4" (REF 1509)	UN	1	37,61	37,61
11.12	6005	Registro gaveta com acabamento e canopla cromados, simples, bitola 3/4" (REF 1509)	UN	1	91,75	91,75

11.13	6021	Registro pressão com acabamento e canopla cromada, simples, bitola 1/2" (REF 1416)	UN	1	83,71	83,71
11.14	11829	Torneira de bóia convencional para caixa d'água, água fria, 1/2", com haste e torneira metálicos e balão plástico	UN	1	29,84	29,84
11.15	10420	Bacia sanitária (vaso) convencional de louça branca, sifão aparente, saída vertical (sem assento)	UN	1	244,93	244,93
11.16	86943	Lavatório louça branca suspenso, 29,5x39cm ou equivalente, padrão popular, incluso sifão flexível em PVC, válvula e engate flexível 30cm em plástico e torneira cromada de mesa, padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	262,50	262,5
11.17	86934	Bancada de mármore sintético 120x60cm, com cuba integrada, incluso sifão tipo flexível em PVC, válvula em plástico cromado tipo americana e torneira cromada longa, de parede, padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	423,35	423,35
11.18	86927	Tanque de mármore sintético suspenso, 22l ou equivalente, incluso sifão tipo garrafa em PVC, válvula plástica e torneira de metal cromado padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	387,08	387,08
11.19	95546	Kit de acessórios para banheiro em metal cromado, 5 peças, incluso fixação. AF_01/2020	UN	1	300,95	300,95
11.20	95635	Kit cavalete para medição de água - entrada principal, em PVC soldável DN 25 (3/4") fornecimento e instalação (exclusive hidrômetro). AF_11/2016	UN	1	255,77	255,77
11.21	9836	Tubo PVC série normal, DN 100mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	10	15,49	154,9
11.22	9838	Tubo PVC série normal, DN 50mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	2	11,18	22,36
11.23	9835	Tubo PVC série normal, DN 40mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	12	6,77	81,24
11.24	1966	Curva PVC curta 90 graus, DN 100mm, para esgoto predial	UN	3	24,24	72,72

11.25	1933	Curva PVC curta 90 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	3	5,22	15,66
11.26	37951	Joelho PVC, soldável, PB, 45 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	2	2,56	5,12
11.27	37949	Joelho PVC, soldável, PB, 90 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	3	2,31	6,93
11.28	7091	Tê sanitário, PVC, DN 100x100mm, série normal, para esgoto predial	UN	2	16,62	33,24
11.29	3659	Junção simples de redução, PVC, DN 100x50mm, série normal para esgoto predial	UN	1	19,44	19,44
11.30	20086	Bucha de redução de PVC, soldável, longa, 50x40mm, para esgoto predial	UN	1	3,21	3,21
11.31	3897	Luva simples, PVC, soldável, DN 40mm, série normal, para esgoto predial	UN	3	1,66	4,98
11.32	3899	Luva simples, PVC, soldável, DN 100mm, série normal, para esgoto predial	UN	1	6,81	6,81
11.33	89707	Caixa sifonada, PVC, DN 100x100x50mm, junta elástica, fornecida e instalada em ramal de descarga ou em ramal de esgoto sanitário. AF_08/2022	UN	1	53,03	53,03
11.34	97897	Caixa enterrada hidráulica retangular, em concreto pré-moldado, dimensões internas: 0,6x0,6x0,5m. AF_12/2020	UN	2	300,62	601,24
11.35	98105	Caixa de gordura simples, circular, em concreto pré-moldado, diâmetro interno = 0,4m, altura interna = 0,4m. AF_12/2020	UN	1	119,18	119,18
<b>11</b>	<b>Subtotal</b>					<b>4033,67</b>
<b>12</b>	<b>Instalações elétricas</b>					
12.1	91831	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 20mm (1/2"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	19	20,99	398,81
12.2	91834	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 25mm (3/4"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	6	21,94	131,64

12.3	91836	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 32mm (1"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	30	25,21	756,3
12.4	91940	Caixa retangular 4"x2" média (1,3m do piso), PVC, instalada em parede - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	15	21,99	329,85
12.5	91937	Caixa octagonal 3"x3", PVC, instalada em laje - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	19,54	19,54
12.6	101876	Quadro de distribuição de energia em PVC, de embutir, sem barramento, para 6 disjuntores - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	94,76	94,76
12.7	103782	Luminária tipo paflon circular, de sobrepôr, com LED de 12/13W - fornecimento e instalação. AF_03/2022	UN	7	39,27	274,89
12.8	91953	Interruptor simples (1 módulo), 10A/250V, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	34,11	68,22
12.9	91959	Interruptor simples (2 módulo), 10A/250V, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	51,80	103,6
12.10	92023	Interruptor simples (1 módulo) com uma tomada de embutir 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	58,04	58,04
12.11	92000	Tomada baixa de embutir (1 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	4	35,72	142,88
12.12	91996	Tomada média de embutir (1 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	40,42	80,84
12.13	92004	Tomada média de embutir (2 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	64,42	64,42
12.14	91945	Suporte parafusado com placa de encaixe 4"x2" alto (2m do piso) para ponto elétrico - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	16,24	16,24
12.15	93653	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 10A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	2	12,21	24,42
12.16	93655	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 20A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	14,47	14,47

12.17	93657	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 32A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	16,29	16,29
12.18	91924	Cabo de cobre flexível isolado, 1,5mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	104	3,14	326,56
12.19	91926	Cabo de cobre flexível isolado, 2,5mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	49	4,48	219,52
12.20	91930	Cabo de cobre flexível isolado, 6mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	27	9,54	257,58
12.21	91933	Cabo de cobre flexível isolado, 10mm <sup>2</sup> , anti-chama 0,6/1kV, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	30	16,31	489,3
12.22	101489	Entrada de energia elétrica, aérea, monofásica, com caixa de sobrepor, cabo de 10mm <sup>2</sup> e disjuntor DIN 50A (não incluso o poste de concreto). AF_07/2020_PS	UN	1	1512,91	1512,91
<b>12</b>	<b>Subtotal</b>					<b>5401,08</b>
<b>13</b>	<b>Pintura</b>					
13.1	88415	Aplicação manual de fundo selador acrílico em paredes externas de casas. AF_06/2014	M <sup>2</sup>	72,69	3,68	267,4992
13.2	88484	Fundo selador acrílico, aplicação manual em teto, uma demão. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	39,92	5,54	221,1568
13.3	88485	Fundo selador acrílico, aplicação manual em parede, uma demão. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	97,39	4,40	428,516
13.4	95626	Aplicação manual de tinta látex acrílica em paredes externas de casas, duas demãos. AF_11/2016	M <sup>2</sup>	72,69	19,83	1441,4427
13.5	104639	Pintura látex acrílica econômica, aplicação manual em teto, duas demãos. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	39,92	13,02	519,7584
13.6	104641	Pintura látex acrílica econômica, aplicação manual em paredes, duas demãos. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	97,39	10,21	994,3519
13.7	102197	Pintura fundo nivelador alquídico branco em madeira. AF_01/2021	M <sup>2</sup>	22,68	35,95	815,346

13.8	102218	Pintura tinta de acabamento (pigmentada) esmalte sintético fosco em madeira, 2 demãos. AF_01/2021	M <sup>2</sup>	22,68	18,44	418,2192
<b>13</b>	<b>Subtotal</b>					<b>5106,29</b>
<b>14</b>	<b>Limpeza final</b>					
14.1	99802	Limpeza de piso cerâmico ou porcelanato com vassoura à seco. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	38,24	0,65	24,856
14.2	99803	Limpeza de piso cerâmico ou porcelanato com pano úmido. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	38,24	2,54	97,1296
14.3	99806	Limpeza de revestimento cerâmico em parede com pano úmido. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	40,64	1,04	42,2656
14.4	99815	Limpeza de pia inox com bancada de pedra, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	10,07	10,07
14.5	99816	Limpeza de tanque ou lavatório de louça isolado, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	10,73	10,73
	99817	Limpeza de lavatório de louça com bancada de pedra, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	6,17	6,17
14.6	99818	Limpeza de bacia sanitária, bidê ou mictório em louça, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	6,17	6,17
14.7	99821	Limpeza de janela de vidro com caixilho em aço/alumínio/PVC. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	7,56	3,51	26,5356
14.8	99822	Limpeza de porta de madeira. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	7,56	1,23	9,2988
<b>14</b>	<b>Subtotal</b>					<b>233,23</b>
<b>Total (R\$)</b>						<b>99145,20</b>

## APÊNDICE B

### Planilha orçamentária de alvenaria de bloco de terra comprimida

Planilha orçamentária de alvenaria de bloco de terra comprimida						
Ítem	Referência SINAPI	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
<b>1</b>						
<b>Canteiro de Obras</b>						
<b>2</b>						
<b>Aquisição do Material de Construção</b>						
2.1	92112	Peneira rotativa com motor elétrico trifásico de 2 CV, cilindro de 1mX0,6m, com furos de 3,17mm - CHP diurno. AF_05/2023	CHP	33,58	2,94	98,7252
2.2	92113	Peneira rotativa com motor elétrico trifásico de 2 CV, cilindro de 1mX0,6m, com furos de 3,17mm - CHI diurno. AF_05/2023	CHI	4	0,99	3,96
2.3	88386	Misturador de argamassa, eixo horizontal, capacidade de mistura 300kg, motor elétrico potência 5CV - CHP diurno. AF_05/2023	CHP	33,58	3,95	132,641
2.4	88392	Misturador de argamassa, eixo horizontal, capacidade de mistura 300kg, motor elétrico potência 5CV - CHI diurno. AF_05/2023	CHI	4	0,89	3,56
2.5	44537	Pozolana de classe C	T	1,837	381,33	700,50321
2.6	Custo médio	Hidróxido de NaOH	KG	367,4	10	3674
2.7	Gomes (2021), não presente na SINAPI	Prensa manual Permaq MTS-010	UN	1	11800	11800
2.8	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	33,58	34,03	1142,7274
2.9	88316	Servente com encargos complementares	H	33,58	26,19	879,4602
2.10	3777	Lona plástica pesada preta, E=150Micra	M <sup>2</sup>	23,9571429	1,19	28,509
<b>2</b>	<b>Subtotal</b>					<b>18464,09</b>
<b>3</b>						
<b>Destinação do Resíduo de Escavação</b>						

4						
Serviços Preliminares						
4.1	98524	Limpeza manual de vegetação em terreno com enxada. AF_05/2018	M <sup>2</sup>	150	3,84	576
4.2	99059	Locação convencional de obra, utilizando gabarito de tábuas corridas pontaletadas a cada 2m - 2 utilizações. AF_10/2018	M	41,87	65,82	2755,8834
4	Subtotal					<b>3331,88</b>
5						
Estrutura						
5.1	96527	Escavação manual de vala para viga baldrame (incluindo escavação para colocação de fôrmas). AF_06/2017	M <sup>3</sup>	4,4	158,01	695,244
5.2	101616	Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5m acerto do solo natural). AF_08/2020	M <sup>2</sup>	17,6	7,72	135,872
5.3	96530	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em madeira cerrada, E=25mm, 1 utilização. AF_06/2017	M <sup>2</sup>	31,59	209,13	6606,4167
5.4	96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2017	KG	38,7002	16,68	645,51934
5.5	96555	Concretagem de blocos de coroamento e vigas baldrame, FCK 30MPa, com uso de jerica lançamento, adensamento e acabamento. AF_06/2017	M <sup>3</sup>	2,37	701,57	1662,7209
5.6	98557	Impermeabilização de superfície com emulsão asfáltica, 2 demãos. AF_09/2023	M <sup>2</sup>	31,59	43,35	1369,4265
5.7	104737	Reaterro manual de valas, com placa vibratória. AF_08/2023	M <sup>3</sup>	4,4	25,76	113,344
5.8	96386	Execução e compactação de aterro com solo predominantemente arenoso - exclusive solo, escavação, carga e transporte. AF_11/2019	M <sup>3</sup>	3,17	9,08	28,7836
5.9	92265	Fabricação de fôrma para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, E=17mm. AF_09/2020	M <sup>2</sup>	7,898	115,91	915,45718
5.10	92760	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2022	KG	38,7002	13,19	510,45564
5.11	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada resinada, E=17mm. AF_09/2020	M <sup>2</sup>	4,872	47,28	230,34816

5.12	92769	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço CA-50 de 6,3mm - montagem. AF_06/2022	KG	17,576	12,54	220,40304
5.13	103675	Concretagem de vigas e lajes, FCK=25MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_02/2022	M <sup>3</sup>	0,39	551,68	215,1552
5.14	93186	Verga moldada in loco em concreto para janelas com até 1,5m de vão. AF_03/2016	M	15,6	100,32	1564,992
5.15	93188	Verga moldada in loco em concreto para portas com até 1,5m de vão. AF_03/2016	M	11,2	92,93	1040,816
<b>5</b>	<b>Subtotal</b>					<b>15954,95</b>
<b>6</b>	<b>Alvenaria</b>					
6.1	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M <sup>3</sup>	3,2016	120	384,192
6.2	1106	Cal hidratada CH-I para argamassas	KG	480,516	0,83	398,82828
6.3	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG	540,5736	0,68	367,59005
6.4	34557	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d=1,20 a 1,70mm, malha 15x15mm, (CxL) 50x7,5cm	M	41,4666	2,35	97,44651
6.5	37395	Pino de aço com furo, haste=27mm (ação direta)	CENTO	0,49365	38,74	19,124001
6.6	88830	Betoneira capacidade nominal de 400l, capacidade de mistura 280l, motor elétrico trifásico potência de 2CV sem carregador - CHP diurno. AF_05/2023	CHP	2,898	1,53	4,43394
6.7	88831	Betoneira capacidade nominal de 400l, capacidade de mistura 280l, motor elétrico trifásico potência de 2CV sem carregador - CHI diurno. AF_05/2023	CHI	9,522	0,33	3,14226
6.8	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	191	34,03	6514,6171
6.9	88316	Servente com encargos complementares	H	95,7681	26,19	2508,1665
<b>6</b>	<b>Subtotal</b>					<b>10297,54</b>

7		Esquadrias				
7.1	90845	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (pesada ou superpesada), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	2	1498,09	2996,18
7.2	90842	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 70x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	2	1177,74	2355,48
7.3	90841	Kit de porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 60x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, fechadura com execução do furo - fornecimento e instalação. AF_12/2019	UN	1	1166,93	1166,93
7.4	94570	Janela de alumínio de correr com 2 folhas para vidros, com vidros, batente, acabamento com acetato ou brilhante e ferragens. Exclusive alizar e contramarco. Fornecimento e instalação. AF_12/2019	M <sup>2</sup>	5,88	595,6	3502,128
7.5	94569	Janela de alumínio tipo maxim-ar, com vidros, batente e ferragens. Exclusive alizar acabamento e contramarco. Fornecimento e instalação. AF_12/2019	M <sup>2</sup>	1,68	1135,7	1907,976
<b>7</b>	<b>Subtotal</b>					<b>11928,69</b>
8		Cobertura				
8.1	92541	Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha de encaixe de cerâmica capa-canal, incluso transporte vertical. AF_07/2019	M <sup>2</sup>	55,85	95,33	5324,1805
8.2	94445	Telhamento com telha cerâmica capa-canal, tipo plan, com até duas águas, incluso transporte vertical. AF_07/2019	M <sup>2</sup>	55,85	55,83	3118,1055
<b>8</b>	<b>Subtotal</b>					<b>8442,29</b>
9		Revestimentos				
9.1	87878	Chapisco aplicado em alvenarias e estruturas de concreto internas, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo manual. AF_10/2022	M <sup>2</sup>	138,03	5,52	761,9256

9.2	87904	Chapisco aplicado em alvenaria (com presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com colher de pedreiro. Argamassa traço 1:3 com preparo manual. AF_10/2022	M <sup>2</sup>	72,69	9,91	720,3579
9.3	87530	Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm, com execução de taliscas. AF_06/2014	M <sup>2</sup>	138,03	46,79	6458,4237
9.4	87777	Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25mm. AF_08/2022	M <sup>2</sup>	72,69	65,25	4743,0225
9.5	90407	Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em teto, espessura de 20mm, com execução de taliscas. AF_03/2015	M <sup>2</sup>	3,98	60,77	241,8646
9.6	87265	Revestimento cerâmico para paredes internas com placas tipo esmaltada extra de dimensões 20x20cm aplicadas na altura inteira das paredes. AF_02/2023	M <sup>2</sup>	40,64	77	3129,28
9.7	96485	Forro em régua de PVC, liso, para ambientes residenciais, inclusive estrutura unidirecional de fixação. AF_08/2023_PS	M <sup>2</sup>	35,04	85,89	3009,5856
<b>9</b>	<b>Subtotal</b>					<b>19064,46</b>
<b>10</b>	<b>Pisos e Pavimentos</b>					
10.1	103074	Execução de piso de concreto, sem acabamento superficial, espessura de 15cm, FCK=30MPa, com uso de formas de madeira serrada. AF_09/2021	M <sup>2</sup>	33,97	154,01	5231,7197
10.2	87622	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo manual, aplicado em áreas secas sobre laje, aderido, acabamento não reforçado, espessura 2cm. AF_07/2021	M <sup>2</sup>	29,04	36,92	1072,1568
10.3	87737	Contrapiso em argamassa traço 1:4 (cimento e areia), preparo manual, aplicado em áreas molhadas sobre laje, aderido, acabamento não reforçado, espessura 2cm. AF_07/2021	M <sup>2</sup>	8,88	51,78	459,8064
10.4	87246	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35cm aplicada em ambientes de área menor que 5m <sup>2</sup> . AF_02/2023_PE	M <sup>2</sup>	3,2	71,77	229,664
10.5	87247	Revestimento cerâmico para piso com placas tipo esmaltada extra de dimensões 35x35cm aplicada em ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> . AF_02/2023_PE	M <sup>2</sup>	34,72	63,42	2201,9424

10.6	94990	Execução de passeio (calçada) ou piso de concreto com concreto moldado in loco, feito em obra, acabamento convencional, não armado. AF_08/2022	M <sup>3</sup>	0,85	776,98	660,433
<b>10</b>	<b>Subtotal</b>					<b>9855,72</b>
<b>11</b>	<b>Instalações Hidrossanitárias</b>					
11.1	9867	Tubo PVC, soldável, de 20mm, água fria (NBR 5648)	M	20	3,7	74
11.2	9868	Tubo PVC, soldável, de 25mm, água fria (NBR 5648)	M	7	4,18	29,26
11.3	7139	Tê soldável, PVC, 90 graus, 25mm, para água fria predial (NBR 5648)	UN	4	1,07	4,28
11.4	3542	Joelho PVC, soldável, 90 graus, 20mm, cor marrom, para água fria predial	UN	8	0,6	4,8
11.5	3529	Joelho PVC, soldável, 90 graus, 25mm, cor marrom, para água fria predial	UN	3	0,73	2,19
11.6	3515	Joelho PVC, soldável, com bucha de latão, 90 graus, 20mm x 1/2", para água fria predial	UN	5	6,55	32,75
11.7	828	Bucha de redução de PVC, soldável, curta, com 25x20mm, para água fria predial	UN	5	0,6	3
11.8	95	Adaptador PVC soldável, com flange e anel de vedação, 20mm x 1/2", para caixa d'água	UN	2	11,4	22,8
11.9	96	Adaptador PVC soldável, com flange e anel de vedação, 25mm x 3/4", para caixa d'água	UN	4	12,4	49,6
11.10	11871	Caixa d'água/reservatório em políester reforçado com fibra de vidro, 500l, com tampa	UN	1	493,44	493,44
11.11	6016	Registro gaveta bruto em latão forjado, bitola 3/4" (REF 1509)	UN	1	37,61	37,61
11.12	6005	Registro gaveta com acabamento e canopla cromados, simples, bitola 3/4" (REF 1509)	UN	1	91,75	91,75
11.13	6021	Registro pressão com acabamento e canopla cromada, simples, bitola 1/2" (REF 1416)	UN	1	83,71	83,71

11.14	11829	Torneira de bóia convencional para caixa d'água, água fria, 1/2", com haste e torneira metálicos e balão plástico	UN	1	29,84	29,84
11.15	10420	Bacia sanitária (vaso) convencional de louça branca, sifão aparente, saída vertical (sem assento)	UN	1	244,93	244,93
11.16	86943	Lavatório louça branca suspenso, 29,5x39cm ou equivalente, padrão popular, incluso sifão flexível em PVC, válvula e engate flexível 30cm em plástico e torneira cromada de mesa, padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	262,5	262,5
11.17	86934	Bancada de mármore sintético 120x60cm, com cuba integrada, incluso sifão tipo flexível em PVC, válvula em plástico cromado tipo americana e torneira cromada longa, de parede, padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	423,35	423,35
11.18	86927	Tanque de mármore sintético suspenso, 22l ou equivalente, incluso sifão tipo garrafa em PVC, válvula plástica e torneira de metal cromado padrão popular - fornecimento e instalação. AF_01/2020	UN	1	387,08	387,08
11.19	95546	Kit de acessórios para banheiro em metal cromado, 5 peças, incluso fixação. AF_01/2020	UN	1	300,95	300,95
11.20	95635	Kit cavalete para medição de água - entrada principal, em PVC soldável DN 25 (3/4") fornecimento e instalação (exclusive hidrômetro). AF_11/2016	UN	1	255,77	255,77
11.21	9836	Tubo PVC série normal, DN 100mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	10	15,49	154,9
11.22	9838	Tubo PVC série normal, DN 50mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	2	11,18	22,36
11.23	9835	Tubo PVC série normal, DN 40mm, para esgoto predial (NBR 5688)	M	12	6,77	81,24
11.24	1966	Curva PVC curta 90 graus, DN 100mm, para esgoto predial	UN	3	24,24	72,72
11.25	1933	Curva PVC curta 90 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	3	5,22	15,66
11.26	37951	Joelho PVC, soldável, PB, 45 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	2	2,56	5,12

11.27	37949	Joelho PVC, soldável, PB, 90 graus, DN 40mm, para esgoto predial	UN	3	2,31	6,93
11.28	7091	Tê sanitário, PVC, DN 100x100mm, série normal, para esgoto predial	UN	2	16,62	33,24
11.29	3659	Junção simples de redução, PVC, DN 100x50mm, série normal para esgoto predial	UN	1	19,44	19,44
11.30	20086	Bucha de redução de PVC, soldável, longa, 50x40mm, para esgoto predial	UN	1	3,21	3,21
11.31	3897	Luva simples, PVC, soldável, DN 40mm, série normal, para esgoto predial	UN	3	1,66	4,98
11.32	3899	Luva simples, PVC, soldável, DN 100mm, série normal, para esgoto predial	UN	1	6,81	6,81
11.33	89707	Caixa sifonada, PVC, DN 100x100x50mm, junta elástica, fornecida e instalada em ramal de descarga ou em ramal de esgoto sanitário. AF_08/2022	UN	1	53,03	53,03
11.34	97897	Caixa enterrada hidráulica retangular, em concreto pré-moldado, dimensões internas: 0,6x0,6x0,5m. AF_12/2020	UN	2	300,62	601,24
11.35	98105	Caixa de gordura simples, circular, em concreto pré-moldado, diâmetro interno = 0,4m, altura interna = 0,4m. AF_12/2020	UN	1	119,18	119,18
<b>11</b>	<b>Subtotal</b>					<b>4033,67</b>
<b>12</b>	<b>Instalações elétricas</b>					
12.1	91831	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 20mm (1/2"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	19	20,99	398,81
12.2	91834	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 25mm (3/4"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	6	21,94	131,64
12.3	91836	Eletroduto flexível corrugado, PVC, DN 32mm (1"), para circuitos terminais, instalado em forro - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	30	25,21	756,3
12.4	91940	Caixa retangular 4"x2" média (1,3m do piso), PVC, instalada em parede - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	15	21,99	329,85

12.5	91937	Caixa octagonal 3"x3", PVC, instalada em laje - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	19,54	19,54
12.6	101876	Quadro de distribuição de energia em PVC, de embutir, sem barramento, para 6 disjuntores - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	94,76	94,76
12.7	103782	Luminária tipo paflon circular, de sobrepôr, com LED de 12/13W - fornecimento e instalação. AF_03/2022	UN	7	39,27	274,89
12.8	91953	Interruptor simples (1 módulo), 10A/250V, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	34,11	68,22
12.9	91959	Interruptor simples (2 módulo), 10A/250V, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	51,8	103,6
12.10	92023	Interruptor simples (1 módulo) com uma tomada de embutir 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	58,04	58,04
12.11	92000	Tomada baixa de embutir (1 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	4	35,72	142,88
12.12	91996	Tomada média de embutir (1 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	2	40,42	80,84
12.13	92004	Tomada média de embutir (2 módulo), 2P+T 10A, incluindo suporte e placa - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	64,42	64,42
12.14	91945	Suporte parafusado com placa de encaixe 4"x2" alto (2m do piso) para ponto elétrico - fornecimento e instalação. AF_03/2023	UN	1	16,24	16,24
12.15	93653	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 10A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	2	12,21	24,42
12.16	93655	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 20A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	14,47	14,47
12.17	93657	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 32A - fornecimento e instalação. AF_10/2020	UN	1	16,29	16,29
12.18	91924	Cabo de cobre flexível isolado, 1,5mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	104	3,14	326,56

12.19	91926	Cabo de cobre flexível isolado, 2,5mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	49	4,48	219,52
12.20	91930	Cabo de cobre flexível isolado, 6mm <sup>2</sup> , anti-chama 450/750V, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	27	9,54	257,58
12.21	91933	Cabo de cobre flexível isolado, 10mm <sup>2</sup> , anti-chama 0,6/1kV, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. AF_03/2023	M	30	16,31	489,3
12.22	101489	Entrada de energia elétrica, aérea, monofásica, com caixa de sobrepôr, cabo de 10mm <sup>2</sup> e disjuntor DIN 50A (não incluso o poste de concreto). AF_07/2020_PS	UN	1	1512,91	1512,91
<b>12</b>	<b>Subtotal</b>					<b>5401,08</b>
<b>13</b>	<b>Pintura</b>					
13.1	88415	Aplicação manual de fundo selador acrílico em paredes externas de casas. AF_06/2014	M <sup>2</sup>	72,69	3,68	267,4992
13.2	88484	Fundo selador acrílico, aplicação manual em teto, uma demão. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	39,92	5,54	221,1568
13.3	88485	Fundo selador acrílico, aplicação manual em parede, uma demão. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	97,39	4,4	428,516
13.4	95626	Aplicação manual de tinta látex acrílica em paredes externas de casas, duas demãos. AF_11/2016	M <sup>2</sup>	72,69	19,83	1441,4427
13.5	104639	Pintura látex acrílica econômica, aplicação manual em teto, duas demãos. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	39,92	13,02	519,7584
13.6	104641	Pintura látex acrílica econômica, aplicação manual em paredes, duas demãos. AF_04/2023	M <sup>2</sup>	97,39	10,21	994,3519
13.7	102197	Pintura fundo nivelador alquídico branco em madeira. AF_01/2021	M <sup>2</sup>	22,68	35,95	815,346
13.8	102218	Pintura tinta de acabamento (pigmentada) esmalte sintético fosco em madeira, 2 demãos. AF_01/2021	M <sup>2</sup>	22,68	18,44	418,2192
<b>13</b>	<b>Subtotal</b>					<b>5106,29</b>
<b>14</b>	<b>Limpeza final</b>					

14.1	99802	Limpeza de piso cerâmico ou porcelanato com vassoura à seco. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	38,24	0,65	24,856
14.2	99803	Limpeza de piso cerâmico ou porcelanato com pano úmido. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	38,24	2,54	97,1296
14.3	99806	Limpeza de revestimento cerâmico em parede com pano úmido. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	40,64	1,04	42,2656
14.4	99815	Limpeza de pia inox com bancada de pedra, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	10,07	10,07
14.5	99816	Limpeza de tanque ou lavatório de louça isolado, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	10,73	10,73
	99817	Limpeza de lavatório de louça com bancada de pedra, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	6,17	6,17
14.6	99818	Limpeza de bacia sanitária, bidê ou mictório em louça, inclusive metais correspondentes. AF_04/2019	UN	1	6,17	6,17
14.7	99821	Limpeza de janela de vidro com caixilho em aço/alumínio/PVC. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	7,56	3,51	26,5356
14.8	99822	Limpeza de porta de madeira. AF_04/2019	M <sup>2</sup>	7,56	1,23	9,2988
<b>14</b>	<b>Subtotal</b>					<b>233,23</b>
<b>Total (R\$)</b>						<b>112113,89</b>



## APÊNDICE C

### Planilha de análise do tempo de obra de alvenaria cerâmica

Análise de produtividade da alvenaria cerâmica			
Etapa da construção	Processo construtivo	Horas trabalhadas	Tempo de obra (dias)
Aquisição do material de construção	-	-	-
Destinação do resíduo de escavação	Retirada do resíduo de escavação do local da construção por caminhão basculante com volume de 6m <sup>3</sup> . Executado por motorista de basculante com encargos complementares.	24	3
Alvenaria	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 90x190x190mm e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Executado por 4 pedreiros com encargos complementares e 4 serventes com encargos complementares.	159	5
<b>Tempo total mínimo de obra para as etapas citadas (dias)</b>			<b>8</b>



## APÊNDICE D

### Planilha de análise do tempo de obra de alvenaria de bloco de terra comprimida

Análise de produtividade da alvenaria de bloco de terra comprimida			
Etapa da construção	Processo construtivo	Horas trabalhadas	Tempo de obra (dias)
Aquisição do material de construção	Produção do bloco de terra comprimida	34	4,2
	Cura úmida do BTC	-	7
	Cura seca do BTC	-	7
Destinação do resíduo de escavação	-	-	-
Alvenaria	Alvenaria de vedação de blocos de terra comprimida de 100x50x200mm e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Executado por 5 pedreiros com encargos complementares e 5 serventes com encargos complementares.	191	4,8
<b>Tempo total mínimo de obra para as etapas citadas (dias)</b>			<b>23</b>

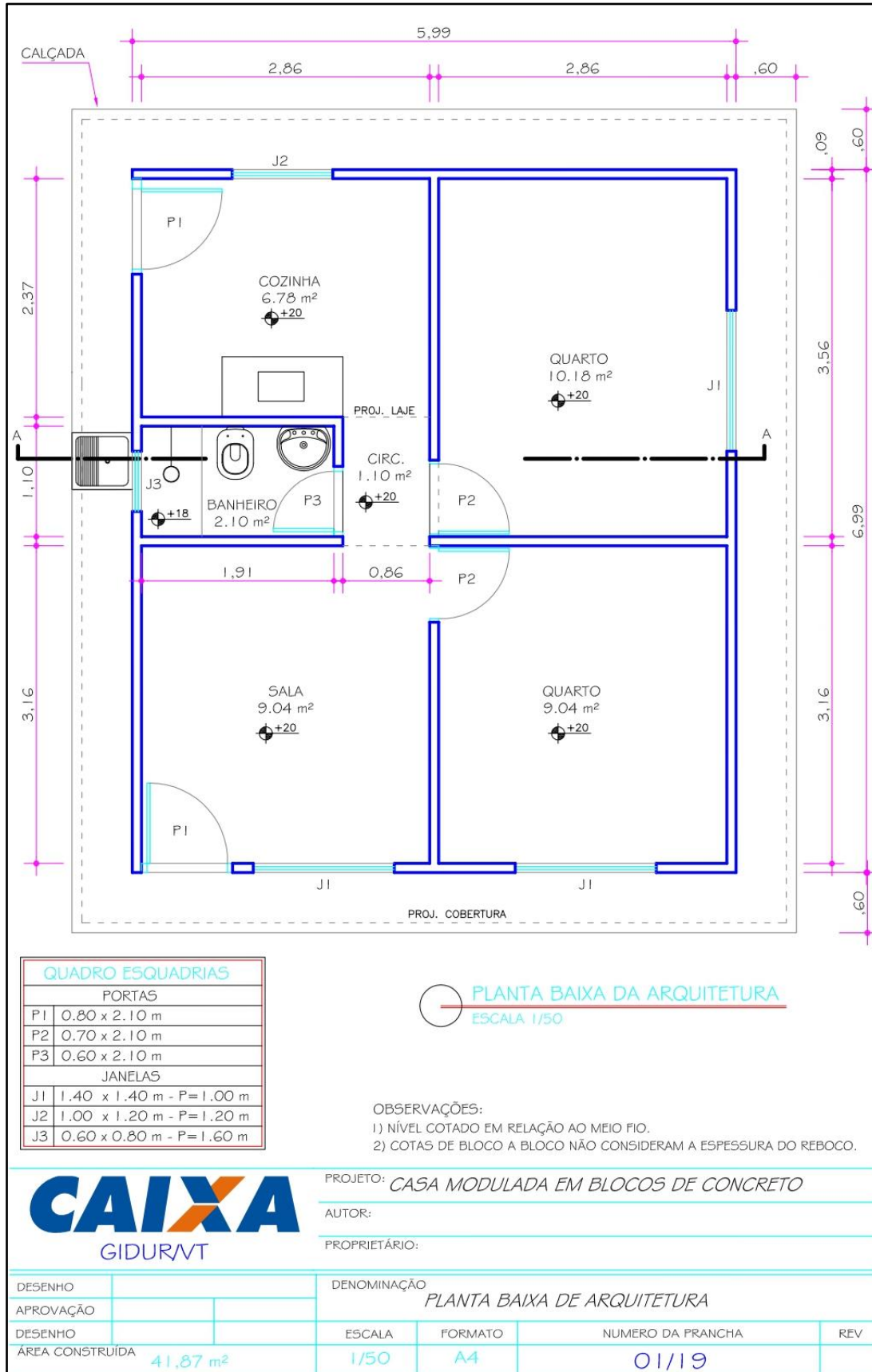


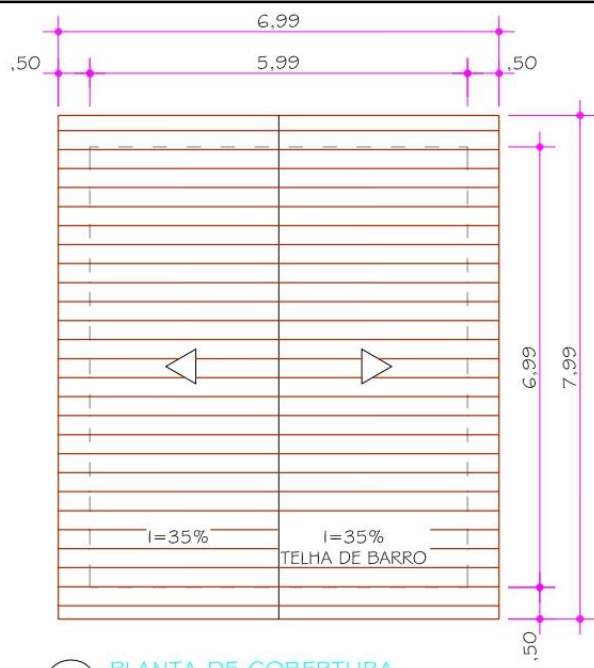
## **ANEXOS**



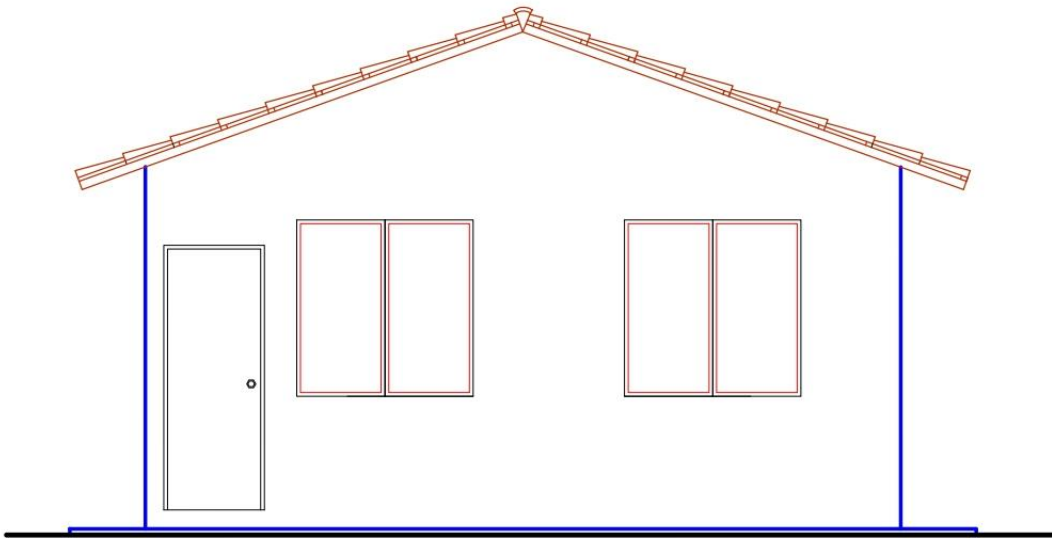
## ANEXO A

### Plantas do projeto padrão de casa popular relevantes ao estudo: Cadernos CAIXA (GIDUR/VT, 2007)





PLANTA DE COBERTURA  
ESCALA 1/100



FACHADA  
ESCALA 1/50

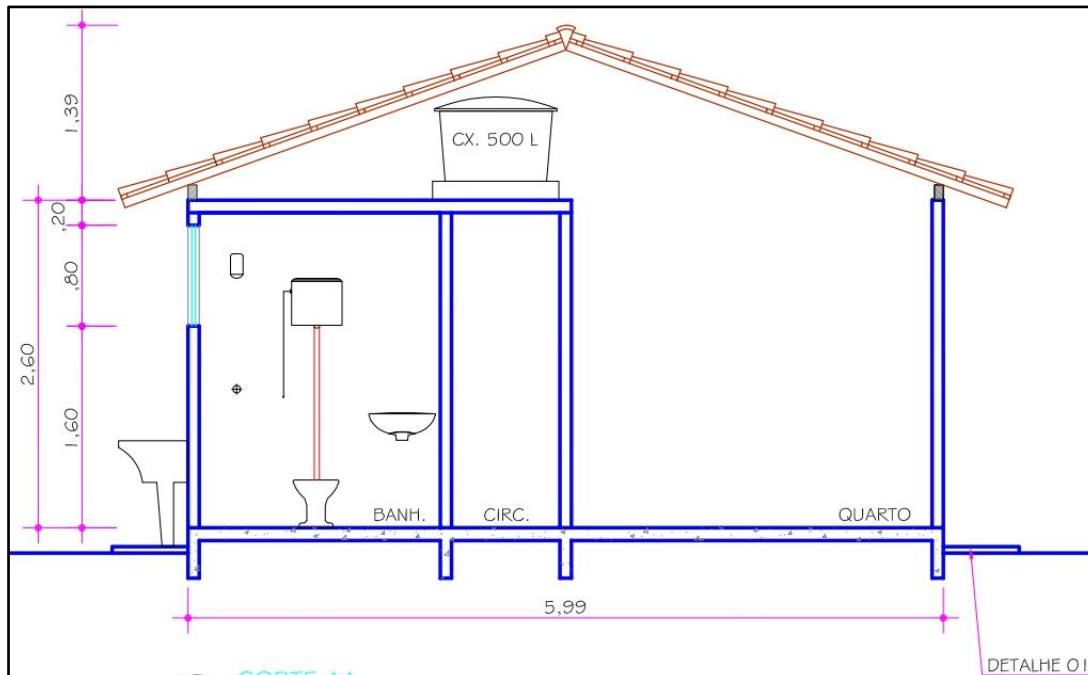
**CAIXA**  
GIDUR/VT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

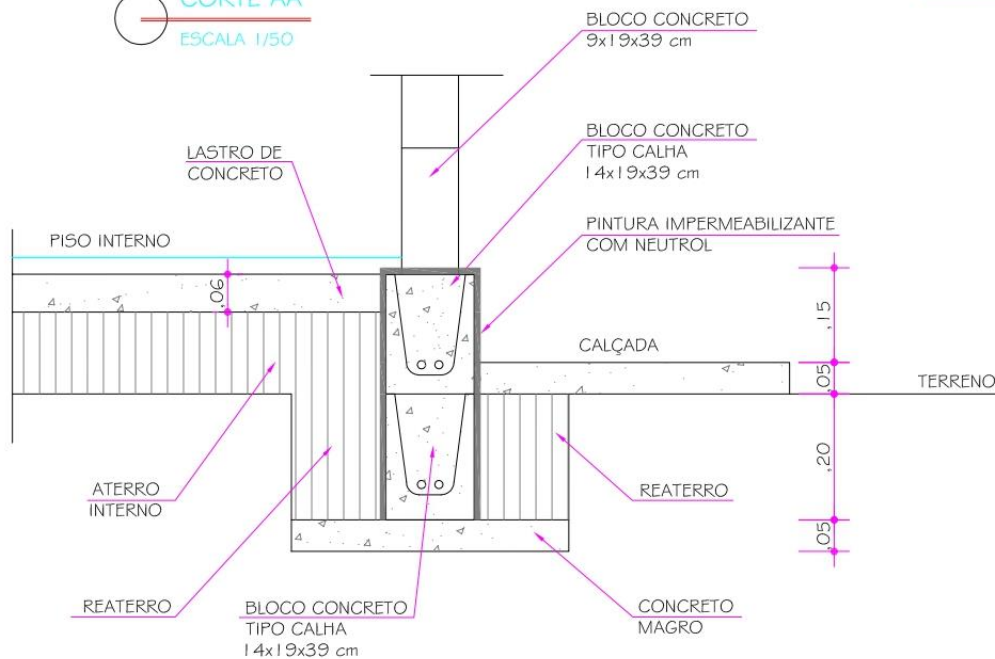
AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

DESENHO		DENOMINAÇÃO			
APROVAÇÃO		PLANTA DE COBERTURA E FACHADA			
DESENHO		ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV
ÁREA CONSTRUIDA	41,87 m <sup>2</sup>	INDICADA	A4	03/19	



**CORTE AA**  
ESCALA 1/50



**DETALHE 01**  
ESCALA 1/10

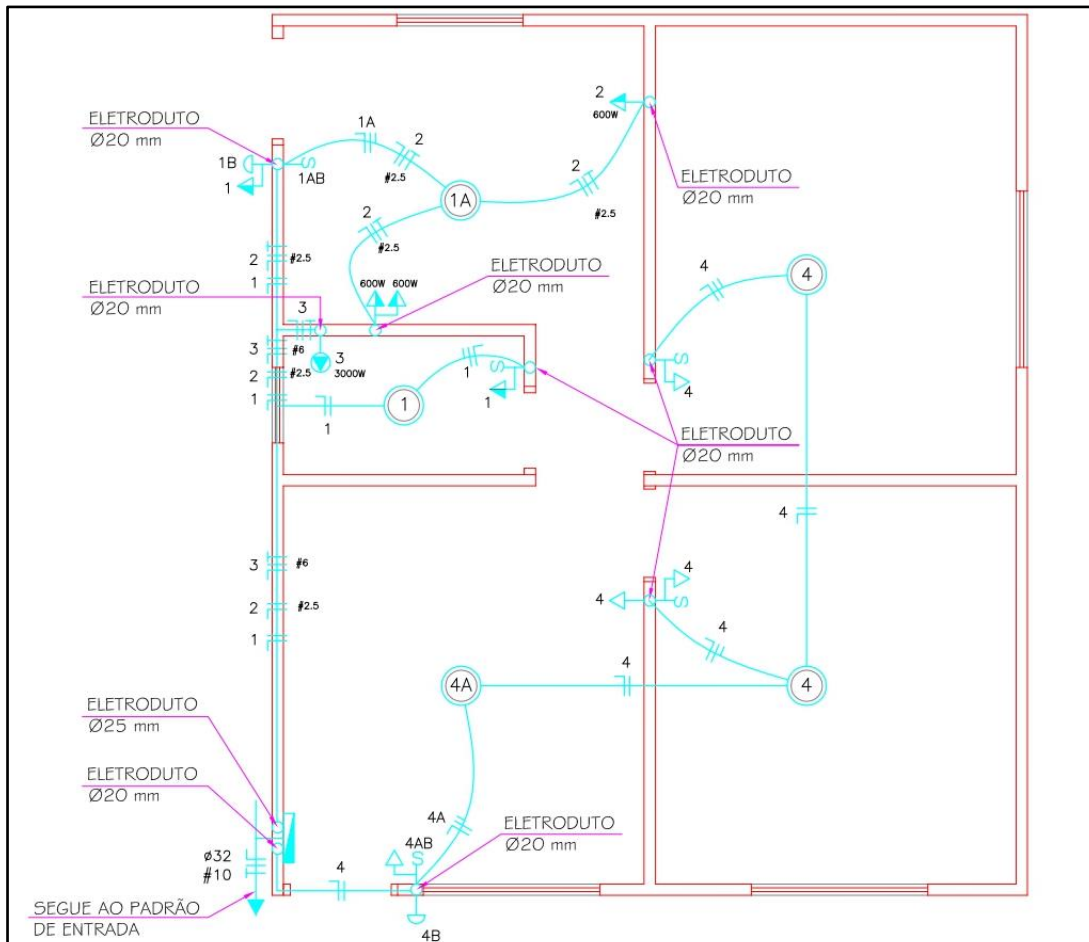
**CAIXA**  
GIDUR/VT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

AUTOR:

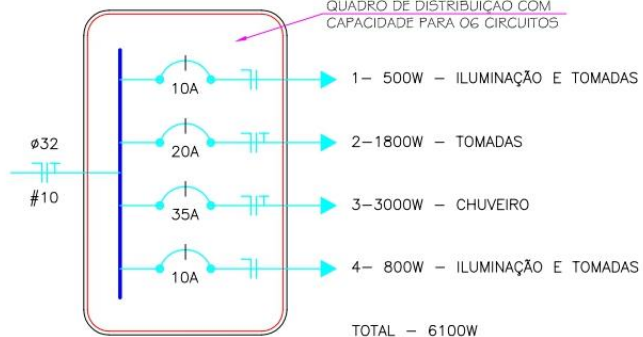
PROPRIETÁRIO:

DESENHO	DENOMINAÇÃO				
APROVAÇÃO	CORTE AA E DETALHE 01				
DESENHO	ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA		REV
ÁREA CONSTRUÍDA	INDICADA	A4	04/19		
41,87 m <sup>2</sup>					



PLANTA LOCAÇÃO PONTOS ELÉTRICOS  
ESCALA 1/50

LEGENDA DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA	
	CONDUTORES NEUTRO, FASE, RETORNO E TERRA
	INTERRUPTOR SIMPLES COM O NÚMERO DE SEÇÕES INDICADA (H=1.10 m)
	TOMADA UNIVERSAL BAIXA (H=0.30 m)
	TOMADA UNIVERSAL MEIO-ALTA (H=1.10 m) SOBRE BANCADE DE COZINHA E BANHEIRO (H=1.15 m)
	PONTO PARA CHUVEIRO (H=2.25 m)
	PONTO DE LUZ
	LUMINÁRIA DE SOBREPOR NA PAREDE ARANDELA (H=2.20 m)
	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA (H=1.70 m DA EXTREMIDADE SUPER. AO PISO)
	DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO - Nº DE FASES INDICADO



NOTAS:  
01- PARA A DISTRIBUIÇÃO DOS CIRCUITOS SERÁ UTILIZADO ELETRODUTO APENAS NAS FRUMADAS DOS PONTOS DE INTERRUPTOR OU TOMADA EMBUTIDOS EM ALVENARIA, OS FIOS SERÃO DISTRIBUÍDOS SOBRE AS PAREDES, LAJE DO BANHEIRO E MADEIRAMENTO DA COBERTURA  
02- TODOS OS FIOS NÃO COTADOS SÃO DE #1.5 mm<sup>2</sup>.  
03- TODAS TUBULAÇÕES NÃO COTADAS SÃO DE 20 mm.

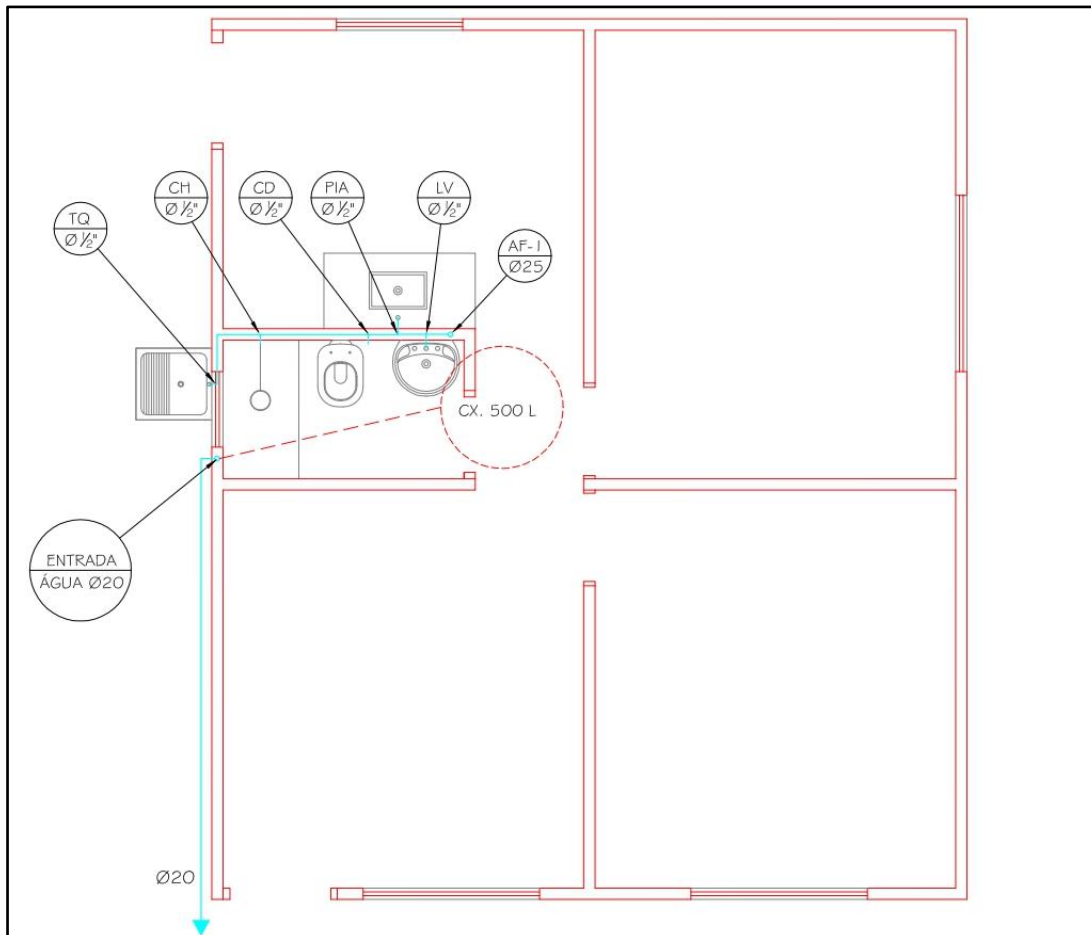
**CAIXA**  
GIDURVT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

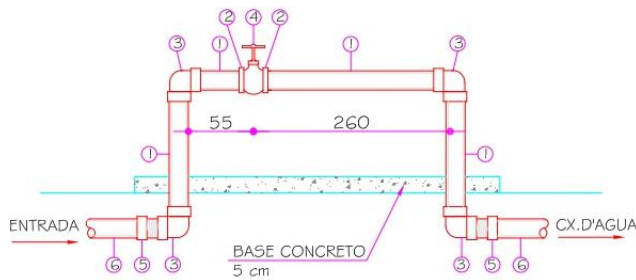
DESENHO	DENOMINAÇÃO			
APROVAÇÃO	PROJETO ELÉTRICO			
DESENHO	ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV
ÁREA CONSTRUÍDA	1/50	A4	09/19	
	41,87 m <sup>2</sup>			



SEGUIE À ENTRADA DE ÁGUA

**PROJETO HIDRÁULICO**  
ESCALA 1/50

LEGENDA	
AF	ÁGUA FRIA
CD	CAIXA DE DESCARGA
CH	CHUVEIRO
TQ	TANQUE



RELAÇÃO DE MATERIAIS

- 1- TUBO DE PVC SOLD. Ø25mm
- 2- ADAPTADOR SOLD. PARA REGISTRO Ø25x3/4"
- 3- JOELHO 90° PVC ROSC. Ø3/4"
- 4- REGISTRO DE ESFERA C/ BORBOLETA DE PVC Ø3/4"
- 5- ADAPTADOR PVC 20x3/4"
- 6- TUBO DE PVC SOLDÁVEL Ø 20 mm

**PADRÃO CESAN Nº 02**  
LIGAÇÃO DE ÁGUA COM CAIXA ENTERRADA PARA HIDRÔMETROS DE Ø 3/4"  
SEM ESCALA

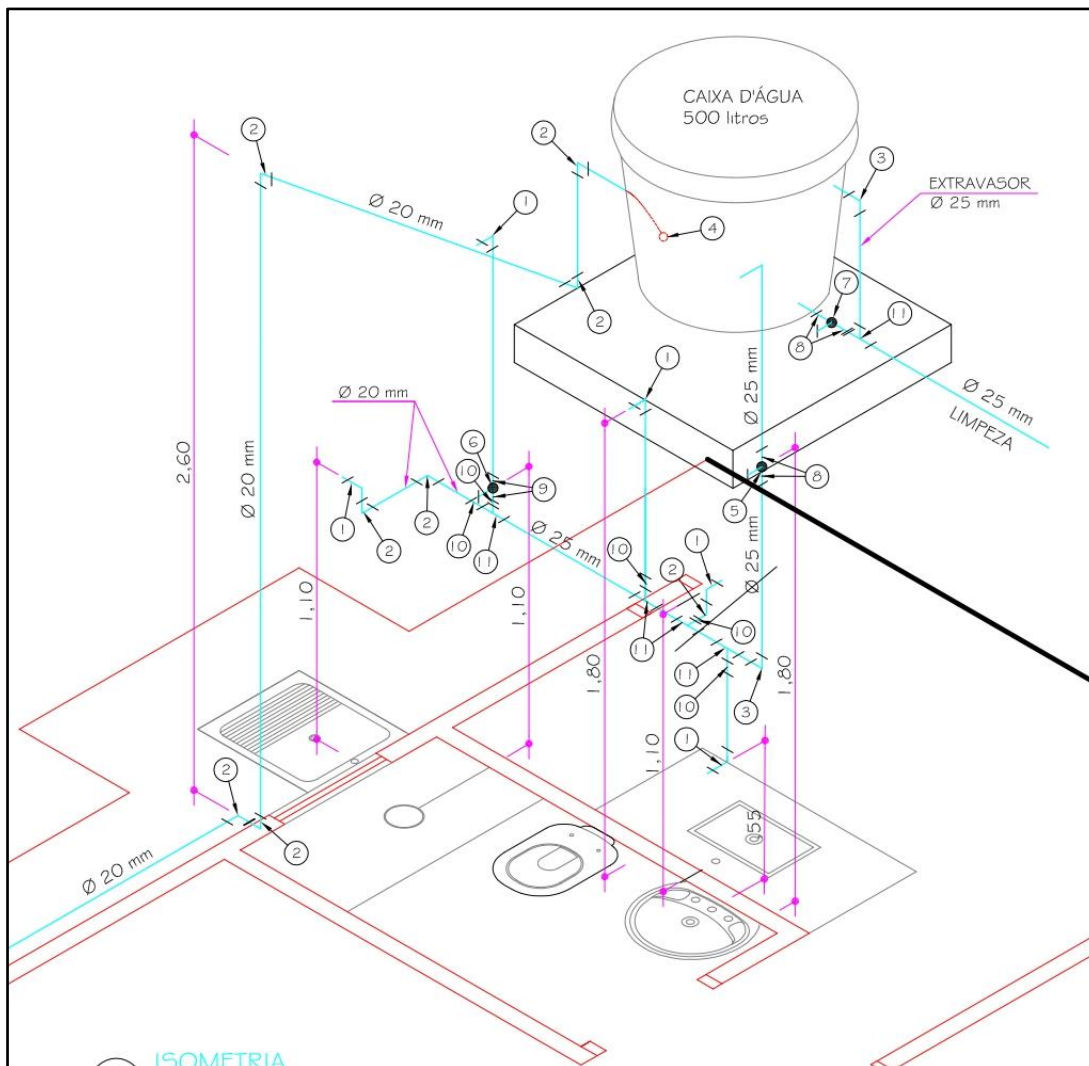
**CAIXA**  
GIDUR/VT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

DESENHO		DENOMINAÇÃO			
APROVAÇÃO		PROJETO HIDRÁULICO E PADRÃO CESAN			
DESENHO		ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV
ÁREA CONSTRUÍDA	41,87 m <sup>2</sup>	INDICADA	A4	10/19	



ISOMETRIA  
ESCALA 1/50

LEGENDA	
01	JOELHO PVC LR 90° COM BUCHA DE LATÃO Ø 20 mm x 1/2"
02	JOELHO PVC SOLDÁVEL 90° Ø 20 mm
03	JOELHO PVC SOLDÁVEL 90° Ø 25 mm
04	TORNEIRA DE BÓIA Ø 1/2"
05	REGISTRO DE GAVETA Ø 3/4"
06	REGISTRO DE PRESSÃO Ø 1/2"
07	REGISTRO DE GAVETA BRUTO Ø 3/4"
08	ADAPTADOR SOLDÁVEL CURTO PARA REGISTRO 25 mm x 3/4"
09	ADAPTADOR SOLDÁVEL CURTO PARA REGISTRO 20 mm x 1/2"
10	BUCHA REDUÇÃO PVC SOLDÁVEL Ø 25 mm x 20 mm
11	TÊ PVC SOLDÁVEL Ø 25 mm

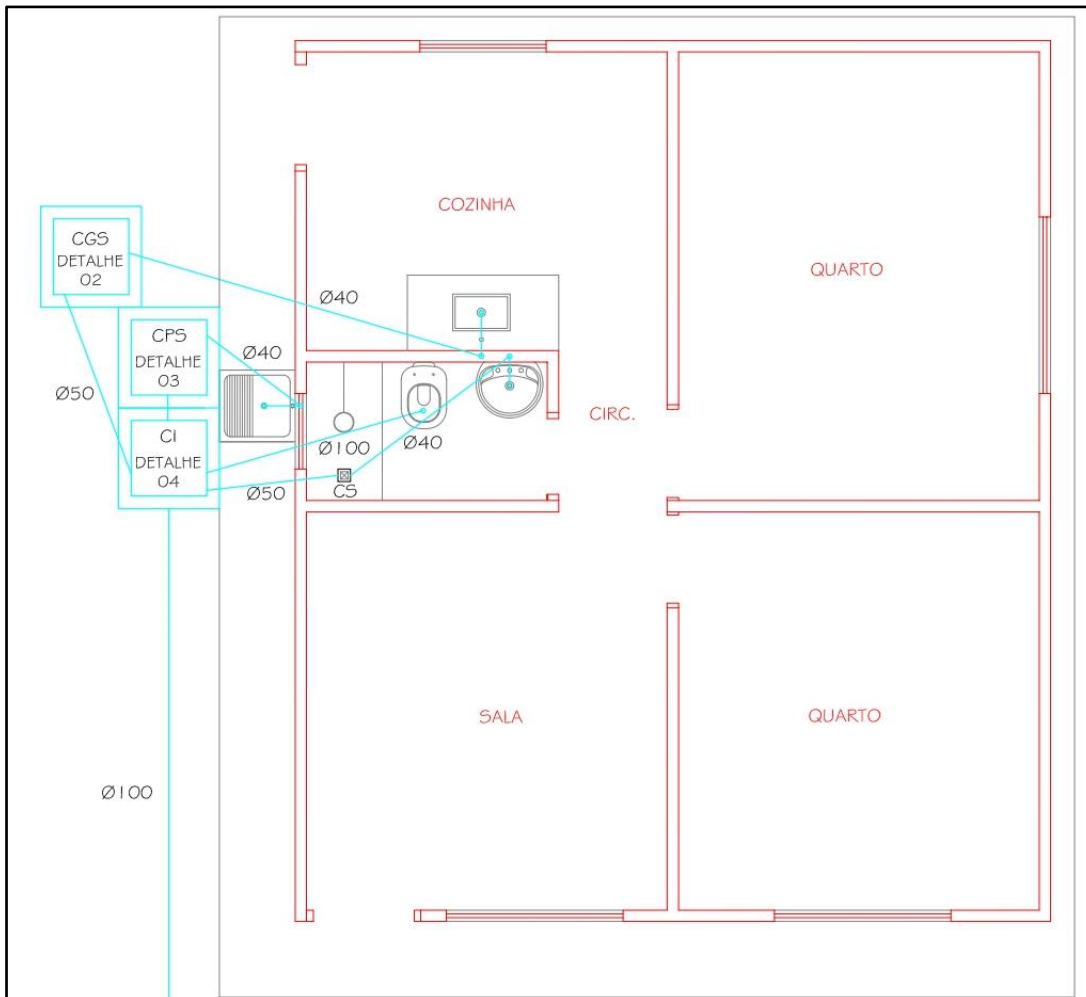
**CAIXA**  
GIDUR/VT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

DESENHO	DENOMINAÇÃO			
APROVAÇÃO	PROJETO HIDRÁULICO - ISOMETRIA			
DESENHO	ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV
ÁREA CONSTRUÍDA	1/50	A4	11/19	



SEGUIE AO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

**PROJETO SANITÁRIO**  
ESCALA 1/50

LEGENDA	
CI	CAIXA DE INSPEÇÃO
CGS	CAIXA DE GORDURA SIMPLES
CP5	CAIXA DE PASSAGEM SIFONADA
CS	CAIXA SIFONADA

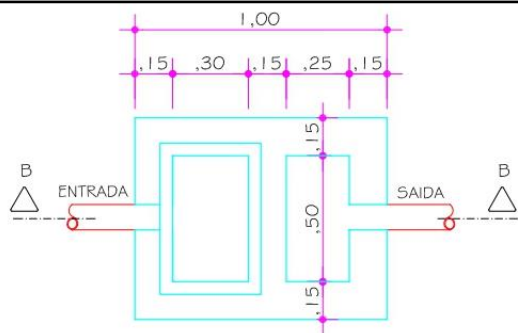


PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

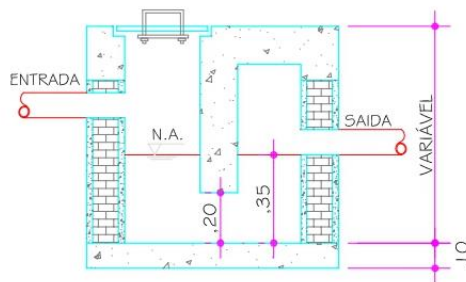
AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

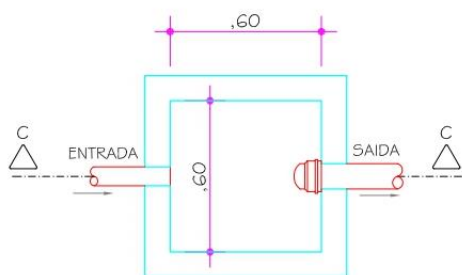
DESENHO	APROVAÇÃO	DENOMINAÇÃO			
		PROJETO SANITÁRIO			
DESENHO	ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV	
ÁREA CONSTRUÍDA 41,87 m <sup>2</sup>	1/50	A4	12/19	12/2006	



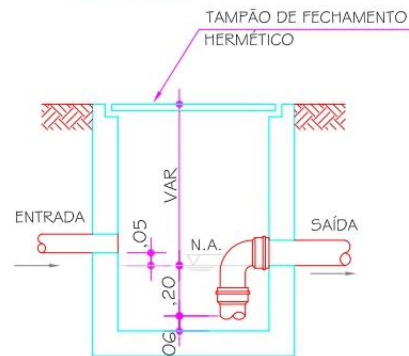
**DETALHE 02**  
CAIXA DE GORDURA  
ESCALA 1/25



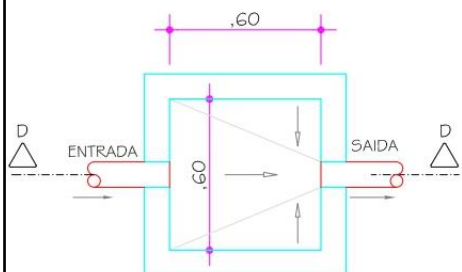
**CORTE BB**  
CAIXA DE GORDURA SIMPLES  
ESCALA 1/25



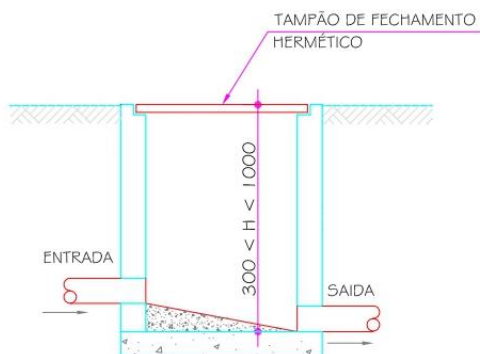
**DETALHE 03**  
CAIXA DE PASSAGEM SIFONADA  
ESCALA 1/25



**CORTE CC**  
CAIXA DE PASSAGEM SIFONADA  
ESCALA 1/25



**DETALHE 04**  
CAIXA DE INSPEÇÃO  
ESCALA 1/25



**CORTE DD**  
CAIXA DE INSPEÇÃO  
ESCALA 1/25

**CAIXA**  
GIDUR/VT

PROJETO: CASA MODULADA EM BLOCOS DE CONCRETO

AUTOR:

PROPRIETÁRIO:

DESENHO		DENOMINAÇÃO			
APROVAÇÃO		INSTALAÇÕES SANITÁRIAS DETALHES E CORTES			
DESENHO		ESCALA	FORMATO	NUMERO DA PRANCHA	REV
ÁREA CONSTRUÍDA	41,87 m <sup>2</sup>	1/25	A4	13/19	