

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
CAMPUS SERTÃO  
ENGENHARIA CIVIL

ÉLITON AMORIM ROMÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM TIJOLO ECOLÓGICO  
CONFECCIONADO COM USO DE ARGILA EXPANDIDA**

Delmiro Gouveia/AL

2019

ÉLITON AMORIM ROMÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM TIJOLO ECOLÓGICO  
CONFECCIONADO COM USO DE ARGILA EXPANDIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos

Delmiro Gouveia/AL

2019

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

R758a Romão, Éliton Amorim

Análise do desempenho térmico em tijolo ecológico confeccionado com uso de argila expandida / Éliton Amorim Romão. - 2020.  
65 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Rogério de Jesus Santos.  
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.  
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2020.

1. Tijolo de solo-cimento. 2. Tijolo ecológico. 3. Análise térmica. 4. argila expandida. I. Santos, Rogério de Jesus. II. Universidade Federal de Alagoas. III. Título.

CDU: 624.157.8

## Folha de Aprovação

ÉLITON AMORIM ROMÃO

### ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM TIJOLO ECOLÓGICO CONFECCIONADO COM USO DE ARGILA EXPANDIDA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão e aprovado em 21 de agosto de 2019.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos

Banca Examinadora:



---

Professor Mestre Rogério de Jesus Santos.  
UFAL (Orientador)

---

Doutora Viviane Regina Costa Sá  
Universidade Federal de Alagoas  
Campus Delmiro Gouveia  
Examinador



---

Eng. Civil Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira  
Universidade Federal de Alagoas  
Campus Delmiro Gouveia  
Examinador

Dedico este trabalho ao meu pai, por incentivar e acreditar num futuro promissor obtido por meio dos estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

A princípio, eu gostaria de agradecer a Deus por ter me dado tanta resiliência para realização desta pesquisa. Foram tantas situações adversas, tudo parecia que iria dar errado, mas no fim deu tudo certo.

À memória do meu Pai que embora tenha partido precocemente, desde cedo me transmitiu valores e princípios que me ajudam na realização dos meus objetivos.

A minha mãe, por todo suporte, apoio, esforço e dedicação que me permitiu concluir a graduação em engenharia civil.

A minha avó, por todo o ensinamento e educação, fazendo de mim uma pessoa íntegra.

Aos meus irmãos pelo companheirismo, amizade e união.

A minha prima Emanuela Vaneto, por todo o esforço em obter a argila expandida – material vindo da cidade de Joinville – SC.

Ao técnico de laboratório Arnon, por sempre estar disponível em me ajudar durante a realização dos ensaios no laboratório de materiais.

Ao Edton e ao João Paulo, alunos que compõe o PEC – Programa Especial de Capacitação Discente, que me ajudaram durante a fabricação dos tijolos.

Ao meu orientador e mestre Rogério, por disponibilizar o tema para que eu pudesse realizar a pesquisa, pela paciência e por sempre estar disposto a me ajudar, mesmo nos finais de semana.

Ao Adeilton, por disponibilizar a prensa manual para produção dos tijolos.

Aos meus amigos da Universidade Juliano, Ericson, Leandro, Rafael Santana, Rafael Alves, Eleilton, James, Anne Karolyne, Ana Luiza, Ana Clara, Rayanne e Lais por todo esse tempo de convivência e aprendizado que passamos durante a graduação.

## RESUMO

Apesar de ser um dos setores com maior representatividade no PIB brasileiro, a construção civil ainda apresenta técnicas construtivas antigas, que consomem de forma exacerbada os recursos naturais, como utilizam materiais de construção bastante poluentes. Na contramão dessa ideia, a tendência tem sido o surgimento de materiais sustentáveis e que otimizem o processo construtivo. Este trabalho teve como finalidade confeccionar um tijolo de solo-cimento com adição de argila expandida e analisar, a partir de alguns parâmetros, a forma como ele se comporta quando comparado com outros tijolos/blocos usualmente empregados na construção civil. Os parâmetros analisados foram a caracterização do solo, índice de absorção de água, resistência à compressão e um teste prático para análise da transferência de calor. O teste prático consisti num método comparativo de análise térmica entre 4 tipos de alvenaria, sendo elas de bloco cerâmico, bloco de concreto, tijolo de solo-cimento e tijolo de solo-cimento com adição de argila expandida. Por meio desse teste, foi possível constatar que a alvenaria com tijolos de argila expandida apresentou o melhor desempenho térmico. Outros resultados obtidos por meio dos ensaios são promissores no que se diz respeito à baixa massa (gramas) e resistência à compressão do tijolo ecológico. Vale também ressaltar as questões ambientais para produção desse tipo de tijolo ecológico, que durante o seu processo de fabricação, não faz uso de nenhum tipo de fonte de energia, como também não emite gases que agredem ao meio ambiente.

**Palavras chaves:** tijolos de solo-cimento; tijolo ecológico; análise térmica; argila expandida.

## ABSTRACT

Despite being one of the most representative field in the Brazilian GDP, the civil construction still has old construction techniques that exacerbate the natural sources and use polluting materials. On the other hand, new sustainable materials that optimize the construction process are coming up. The soil-cement brick with expanded clay addition was created in order to get a final product that has good heat resistance characteristics. It is worth mentioning the environmental aspects for the production of this type of ecological brick that during its fabrication process no electricity is needed and no environmentally harmful gases are released. The parameters analyzed were the soil description, water absorption index, compressive strength and a practical test for heat transfer analysis. This test is a comparative method between four types of masonry that are ceramic block, concrete block, soil-cement brick and soil-cement brick with expanded clay addition. Then it is possible to detect which masonry has the best thermal comfort. Other results obtained through the tests with ecological bricks with expanded clay addition are promising related to compressive strength, thermal resistance and its final mass of ecological brick.

**Keywords:** soil-cement brick; ecological brick; thermal analysis; expanded clay

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pirâmide de Gizé.....	17
Figura 2 - Dimensões da caixa de madeira.....	20
Figura 3 - Execução de casa com parede monolítica de solo-cimento. ....	23
Figura 4 - Diagrama da construção sustentável.....	25
Figura 5 - Geometria da argila expandida. ....	27
Figura 6 - Estrutura interior da argila expandida. ....	27
Figura 7 - Métodos de transmissão de calor. ....	30
Figura 8 - Esquema do procedimento experimental.....	32
Figura 9 - Local de onde foi retirada a amostra de solo. ....	33
Figura 10 - Argila expandida laminada de 2,5 mm. ....	37
Figura 11 - Prensa manual e tijolo ecológico.....	39
Figura 12 - Testes para umidade ideal da mistura de solo-cimento.....	40
Figura 13 - Modelo do tijolo ecológico.....	41
Figura 14 - Sobreposição e capeamento nas faces de trabalho do tijolo ecológico. .	42
Figura 15 - Etapas do capeamento. ....	42
Figura 16 – Alvenarias. ....	44
Figura 17 - Execução do experimento.....	45
Figura 18 - Aparelho de Casagrande. ....	48
Figura 19 - Teste da caixa.....	49
Figura 20 – Imagens da câmara térmica.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	34
Tabela 2 - Propriedades da argila expandida.....	37
Tabela 3 - Análise química da argila expandida.....	38
Tabela 4 – Características geométricas dos blocos e tijolos.....	44
Tabela 5 - Limites granulométricos do agregado. ....	46
Tabela 6 - Resistência à compressão (BTC).....	50
Tabela 7 - Resistência à compressão (BTC+A). ....	51
Tabela 8 - Absorção de água - tijolo de solo-cimento. ....	52
Tabela 9 - Absorção de água - tijolo de solo-cimento com argila expandida .....	53
Tabela 10 - Desempenho térmico apresentado pelas alvenarias.....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica.....	47
Gráfico 2 - Desempenho térmico apresentado pelas alvenarias.....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

BTC – Bloco de terra comprimida;

BTC+A – Bloco de terra comprimida com adição de argila expandida;

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia;

CP II-Z-32 – Cimento Portland composto por pozolana;

EUA – Estados Unidos da América;

IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura;

IEP – Instituto Educacional Piracicabano;

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo;

MF – Módulo de finura;

NBR – Normas Técnicas;

NM – Normalização do Mercosul;

PIB – Produto interno bruto;

UFAL – Universidade Federal de Alagoas.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 Os avanços das edificações e dos materiais de construção .....	16
3.2 Solo-cimento .....	18
3.2.1 Tijolo de solo-cimento .....	19
3.2.2 O solo ideal .....	19
3.2.3 A escolha do cimento .....	20
3.2.4 Métodos de dosagem para mistura de solo-cimento .....	21
3.2.5 Uso do solo-cimento nas construções .....	22
3.3 Sustentabilidade na construção civil – comparativo entre o processo de produção do tijolo ecológico com o bloco cerâmico .....	24
3.4 Argilas .....	26
3.4.1 Argilas expandidas .....	26
3.4.2 Uso de argila expandida na construção civil .....	29
3.5 Transferência de calor e isolamento térmico .....	29
3.5.1 Condução .....	30
3.5.2 Convecção .....	31
3.5.3 Radiação .....	31
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	32
4.1 Extração do solo .....	33
4.2 Caracterização do solo .....	34
4.2.1 Análise Granulométrica .....	34

4.2.2 Massa específica .....	35
4.2.3 Limite de plasticidade.....	35
4.2.4 Limite de liquidez .....	36
4.2.5 Teor de material pulverulento .....	36
4.3 Teste da caixa.....	36
4.4 O Tipo de cimento .....	36
4.5 Tipo de argila .....	37
4.6 Prensa manual para tijolo ecológico .....	38
4.7 Confeção do BTC e do BTC+A .....	39
4.8 Resistência à compressão e absorção de água.....	40
4.8.1 Ensaio de resistência à compressão .....	41
4.8.2 Ensaio de absorção de água .....	43
4.9 Desempenho térmico das alvenarias – método prático .....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
5.1 Caracterização do solo.....	46
5.2 Teste da caixa.....	49
5.3 Ensaio de resistência à compressão.....	50
5.4 Ensaio de absorção de água.....	52
5.5 Desempenho térmico das alvenarias – método prático .....	54
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista econômico, a construção civil é uma das indústrias que têm uma maior representatividade com relação ao PIB de um país, ou seja, está diretamente atrelada a geração de emprego e renda, proporcionando o desenvolvimento econômico. Em contrapartida, tem sido uma grande vilã, pelo fato de ser uma das atividades humanas que mais consomem recursos naturais, como também ultrapassam os limites de poluição na produção de materiais.

O tijolo de solo-cimento (conhecido como BTC, tijolo ecológico ou tijolo modular) é considerado um produto ecologicamente correto porque em seu processo de fabricação não existe nenhum tipo de fonte de energia proveniente da degradação do meio ambiente, como também não há emissão de nenhum tipo de gás poluente.

O tijolo ecológico desta pesquisa tem como elemento fundamental a argila expandida. Este tipo de material, apresenta como uma das principais vantagens o isolamento térmico – que tem como função, reduzir a transferência de calor incidente.

Conhecer a transmitância térmica de tijolos/blocos utilizados na construção civil é de grande importância para o estudo da eficiência energética de edificações. Além do isolamento térmico, a argila expandida também apresenta uma série de vantagens, destacando-se: agregado 60% mais leve do que o convencional, durabilidade, isolamento acústico, resistência ao fogo e resistência mecânica.

Quando se projeta materiais de construção que apresentam boas características de isolamento térmico, as residências das quais fazem uso desse tipo de produto irão se beneficiar com relação ao bem-estar dos moradores, pelo fato de se manter uma temperatura interna equilibrada, além de um menor consumo de energia elétrica e ruídos adivinhos de ambientes externos.

O seguinte trabalho tem como finalidade produzir tijolos com solo-cimento e analisar, a partir de ensaios de absorção de água e resistência à compressão, a forma como ele se comporta quando se adiciona 30% de argila expandida a essa mistura. Um outro parâmetro analisado é a transferência de calor em quatro tipos de alvenarias distintas produzidas com tijolo de solo-cimento, tijolo de solo-cimento com adição de argila expandida, bloco de concreto e bloco cerâmico.

A estrutura do trabalho é composta por 6 capítulos, os quais são divididos em: introdução, objetivos, referencial teórico, metodologia, resultados e discussões e considerações finais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar um tijolo de solo-cimento com adição de argila expandida que apresente desempenho satisfatório com relação à transferência de calor.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar termicamente os blocos de concreto, blocos cerâmicos, tijolos de solo-cimento com e sem adição de argila expandida;
- Realizar ensaio de absorção de água nos tijolos de solo-cimento com e sem adição de argila expandida;
- Analisar a resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento com e sem adição de argila expandida;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Os avanços das edificações e dos materiais de construção

Segundo Bauer (2000) os materiais de construção são tão importantes, que a história do homem desde o princípio, foi dividida com base no uso do objeto que estava sendo empregado na época, como por exemplo: a Idade do Bronze, a Idade da Pedra Lascada e a Idade da Pedra Polida. A evolução histórica das edificações desde os primórdios até os dias atuais, está diretamente relacionada com o avanço tecnológico empregado para a confecção de novos materiais na construção civil.

Os avanços tecnológicos dos materiais de construção se deram pelo surgimento de novas necessidades do homem em fazer edificações que possam atender às exigências que são pedidas, levando principalmente em consideração a sua resistência, aparência, durabilidade e o custo final.

O período evolutivo das edificações e dos materiais de construção na pré-história, durante a Idade da Pedra Lascada é marcado pelo surgimento de uma machadinha feita a partir de uma pedra bruta, que possibilitou a construção dos abrigos rústicos há mais de 2 milhões de anos (BAZZO; PEREIRA, 2010).

Na Idade da Pedra Polida, novas técnicas e descobertas surgiram, o que possibilitou uma organização social mais consistente. Nesse período, apareceram a modelagem cerâmica, a domesticação de animais e a machadinha de sílex, proporcionando ao homem a construção de obras de maior porte. Servem como exemplo dessas grandes obras, as pirâmides de Gizé, Figura 1, tendo 148 metros de altura, existindo até os dias atuais, desafiando séculos da ação abrasiva de ventos e chuvas (BAZZO; PEREIRA, 2010).

**Figura 1 - Pirâmide de Gizé.**



Fonte: Colégio Marista. Disponível em [encurtador.com.br/iyABM](http://encurtador.com.br/iyABM). Acesso em 10 abr. de 2019.

Passadas a Idade da Pedra Lascada e da Pedra Polida, surge uma nova era conhecida como a Idade do Bronze. Nesse contexto histórico, o homem passa a conhecer, trabalhar e utilizar os metais, como também há o surgimento das primeiras máquinas simples. Essas transformações e descobertas, facultaram o surgimento de cidades governadas, tendo como construções: templos, aquedutos, estradas e palácios (BAZZO; PEREIRA, 2010).

No Brasil, quando se compara os processos evolutivos das edificações no período colonial até os dias atuais, observa-se que os materiais brutos que edificam as construções não se limitam somente aos materiais convencionais como pedras e tijolos.

No período colonial brasileiro, as edificações dos indígenas resumiam-se em modelar os objetos retirados da natureza. Geralmente essas residências eram feitas em formato circular, conhecidas como cabanas, cujo material principal era extraído das Palmeiras (VARGAS, 1994).

Nesse mesmo período pode-se também destacar as residências das classes dirigentes e das classes mais pobres. Sendo a primeira feita com tijolo de barro cozido e pedra-canjica; e a segunda, em algumas regiões utilizava-se a técnica do pau a pique e em outras regiões a técnica da taipa de pilão (VARGAS, 1994).

A técnica do pau a pique, consiste em um sistema construtivo, formado por uma fileira de paus verticais com as pontas em formato de lança. Essas pontas são

dispostas em furos dos baldrames, que são vigas horizontais de madeira amarradas aos esteios verticais (VARGAS, 1994).

A taipa de pilão é uma técnica que utiliza camadas de terra com sua umidade natural, com espessura de 10 a 15 cm, que são depositadas em fôrmas de madeira, através do movimento ritmado de pilão de madeira (VARGAS, 1994).

Atualmente, novos materiais de construção têm ganhado cada vez mais espaço no mercado da construção civil, apesar de se haver uma certa restrição por serem produtos novos. São materiais inovadores que têm como objetivo tornar a construção mais eficaz, barata e menos poluente. Dentre eles pode-se destacar o concreto biológico, madeira transparente, solo estabilizado (sem adição de cimento) e espuma de alumínio que aos poucos vêm substituindo os materiais convencionais.

### **3.2 Solo-cimento**

O solo-cimento é um material homogêneo obtido a partir da mistura íntima e bem proporcionada de solo, cimento Portland e água (ALBUQUERQUE, et al., 2008). Recebe esse nome, porque em sua composição a quantidade de solo é bem superior ao teor de cimento (IEP, 2016).

Para que o produto final de solo-cimento atinja boas condições de durabilidade e resistência através da hidratação do cimento é necessária levar em consideração alguns fatores.

Bauer (2005) afirma que os fatores que dão boas características ao solo-cimento são: a dosagem de cimento, natureza do solo, teor de umidade e a compactação ou prensagem. O autor ainda ressalta que o solo é o elemento que apresenta maior influência na composição e quando utilizado de forma inadequada, o produto final pode ser insatisfatório. Outra causa que pode ser destacada são os sulfatos e as matérias orgânicas que são alguns dos tipos de impurezas que podem aparecer na água e serem agressivas ao cimento.

De acordo com Albuquerque, et al., (2008), ao se adicionar cimento ao solo, o produto final adquire algumas vantagens:

- A absorção e a perda de umidade do material não causam variações volumétricas consideráveis;
- Ao ser submerso em água, o material não degrada;

- Ganho de resistência à compressão;
- Quanto menor a permeabilidade, mais durável é o composto.

### 3.2.1 Tijolo de solo-cimento

Com a utilização do solo-cimento, adicionando-se ou não aditivos é possível produzir tijolos a partir de prensas manuais, prensas hidráulicas ou caixas de madeira. Os tijolos de solo-cimento, são também conhecidos como BTC (bloco de terra comprimida), tijolos ecológicos ou tijolo modular (ABNT – NBR 8491, 2013).

A produção de tijolos ecológicos tem ganhado grande destaque na construção de alvenaria em habitações. É um material que apresenta algumas vantagens econômicas com relação aos blocos convencionais (blocos cerâmicos).

IEP (2016), fala que as vantagens desse produto são as seguintes:

- Bom conforto térmico e acústico;
- Não se utiliza de nenhum tipo de energia para a fabricação;
- Quando bem compactado, requer pequenas quantidades de argamassa de revestimento ou em alguns casos não fazem uso de argamassa (o próprio tijolo é utilizado como decoração);
- Pode ser produzido no local da obra, reduzindo os custos com transporte;
- Dispensa mão de obra qualificada;
- Pode chegar a uma economia de 40% quando comparado com sistemas construtivos tradicionais.

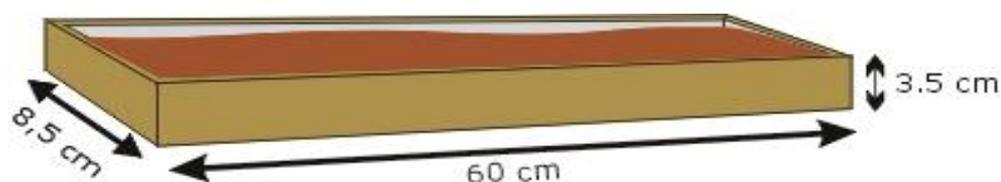
### 3.2.2 O solo ideal

Os solos mais adequados para serem utilizados na obtenção do solo-cimento são os que apresentam um teor de areia entre 45% a 50%, 25% de argila e 25% de silte, podendo ser utilizado qualquer tipo de solo, exceto os que contêm matéria orgânica em sua composição (solo de cor preta), (ABCP, 2009).

IBDA (2019), afirma que para saber qual o tipo de solo ideal para a produção do BTC, é importante realizar um teste simples, conhecido como “teste de caixa” que consiste em fazer um corpo de prova da seguinte forma:

1. A princípio, retira-se uma amostra de aproximadamente 4 kg do solo que será analisado. É importante enfatizar, que não pode ser utilizada a camada superficial do solo, pois esta possui materiais orgânicos que atrapalham o desempenho do bloco. Por fim, espera a amostra secar para em seguida passar por uma peneira com malha entre 4 a 6 mm;
2. Adicionar água no solo aos poucos e ir pressionando com uma colher de pedreiro. O ponto ideal, ocorre quando o material estiver grudando na lâmina;
3. Utilizar uma caixa de madeira, com dimensões de 60 x 3,5 x 8,5 cm, conforme Figura 2, untada com óleo na parte interna, e em seguida, encher a fôrma com o solo umedecido;

**Figura 2 - Dimensões da caixa de madeira.**



Fonte: IBDA. Disponível em [encurtador.com.br/vBN36](http://encurtador.com.br/vBN36). Acesso em 28 abr. de 2019.

4. Com o uso da colher de pedreiro, pressionar e alisar a amostra, certificando-se que não existe nenhum espaço vazio;
5. Feita todas as etapas anteriores, a caixa de madeira com o exemplar deve ser reservada por 7 dias em local que não tenha interferências da luz do sol e nem de chuvas. O material deve ser molhado diariamente. Transcorridos os 7 dias, será analisado e aferido a retração do solo em todas as dimensões da caixa. Caso não apareça trincas no corpo de prova e se o somatório da retração em todos os lados for inferior a 2 cm, o solo é adequado para o uso e pode ser utilizado.

### **3.2.3 A escolha do cimento**

O cimento Portland comum e o cimento Portland de alta resistência inicial são os mais utilizados para a fabricação de tijolos ecológicos. O critério para escolha do primeiro leva em consideração a disponibilidade do produto no mercado, como também os preços acessíveis. Já a escolha do segundo é com base na tecnologia

apresentada pelo mesmo, pois é possível obter uma maior saturação de cal, fazendo com que a alcalinidade ataque a porção argilosa do solo, estimulando a formação de silicatos e aluminatos hidratados (FRANCISCO, 2010).

O cimento Portland comum é um tipo de aglomerante obtido a partir da moagem de clínquer Portland, podendo acrescentar a este, materiais pozolânicos, escórias de alto forno e/ou materiais carbonáticos. Pode ser utilizado nas mais diversas etapas construtivas, exceto quando se exigir algum tipo de característica específica (ABNT – NBR 16697, 2018).

O cimento Portland de alta resistência inicial, difere do cimento Portland comum pelo fato de conter como característica específica a alta resistência inicial. Sua produção ocorre por meio da moagem de clínquer Portland, contendo em sua maior parte materiais de cálcio hidráulico. É possível adicionar ao composto materiais carbonáticos (ABNT – NBR 16697, 2018).

### **3.2.4 Métodos de dosagem para mistura de solo-cimento**

Para determinação da dosagem de solo-cimento é necessário fazer uma série de ensaios a fim de obter resultados que possam estabelecer a fixação de três quesitos básicos, são eles: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca a ser alcançada pós-compactação. Dessas três proporções, a quantidade adequada de cimento é o objetivo maior do método de dosagem, visto que o teor de água e a massa específica passam a ser critérios de controle da mistura depois de fixados os seus valores (ABCP, 2004).

De acordo com a ABCP (2004), existem duas normas as quais abordam a dosagem do material de solo-cimento, são elas: a norma geral e a norma simplificada:

- a) A norma geral de dosagem aplica-se a qualquer tipo de solo, cuja dosagem de cimento é baseada na perda de massa de corpo de prova submetidos a 12 ciclos (1 ciclo = 48 horas) de ensaios padronizados pela NBR 12253 ou pela ABCP. Esta regulamentação apresenta uma desvantagem prática muito importante para a construção civil – o tempo de duração dos ensaios, principalmente os de durabilidade;
- b) A norma simplificada de dosagem é aplicada a solos com estrutura granular com no máximo 50% do material com diâmetro inferior a 0,05mm (fração

silte e argila) e no máximo 20% de material com diâmetro inferior a 0,005 mm (fração silte e argila). Tem como vantagem correlacionar ensaios (compressão simples da mistura) que apresentam o mesmo resultado da normal geral de dosagem, porém em um período menor de tempo.

A determinação da dosagem de solo-cimento aplicado à confecção de blocos, tijolos e paredes monolíticas, deve ser baseado nos ensaios preconizados por norma, com o objetivo de se obter os valores mínimos de resistência à compressão e absorção de água (GRANDE, 2003).

ABPC, 1988 apud Francisco, 2010, afirma que o volume de cimento e solo para moldar os tijolos deve ser respectivamente 1:10, 1:12 e 1:14; um percentual de cimento que varia entre 5% a 10% do volume de solo. ABNT – NBR 12253 (2012) elucida que o traço ideal será aquele que atenda conjuntamente aos critérios estabelecidos por norma e que apresente o menor consumo de cimento.

### **3.2.5 Uso do solo-cimento nas construções**

Segundo o engenheiro Márcio Rocha Pitta, da ABPC, as primeiras aplicações desse tipo de material ocorreram nos EUA, no ano de 1915, quando o engenheiro Bert Reno misturou conchas marinhas, areia e cimento para fazer a pavimentação de uma rua, no entanto, só em 1932 iniciou-se os primeiros estudos em grande escala sobre essa tecnologia (BAUER, 2005).

No Brasil, a primeira edificação a ser construída utilizando o solo-cimento foi uma casa de bombas para abastecimento das obras do aeroporto de Santarém – PA, no ano de 1945 (BAUER, 2005).

De acordo com Mercado, 1990 apud Grande, 2003, as pesquisas com solo-cimento no Brasil se intensificaram na década de 1970, tendo como pioneiras a ABCP, o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

São várias as finalidades da utilização do solo-cimento na construção civil, dentre as quais, destacam-se:

- Sub-base de pavimento rígido: quando se compara sub-bases que são feitas com materiais granulares e as que são feitas com solo-cimento, esta proporciona o decréscimo de pressão transmitida ao subleito, diminuindo

consequentemente a sua deformação (PITTA, 1998 apud PARENTE, 2002). Segundo ABPC (2009), a primeira obra de pavimentação utilizando este tipo de composto no Brasil, ocorreu em 1939 com a construção da estrada Caxambu-Areias. Sharp, (1977) apud Parente, (2002), afirma que sub-bases estabilizadas com cimento é uma prática bastante difundida em vários países da Europa e EUA;

- Tijolo de solo-cimento: **a definição está na seção 3.2.1;**
- Paredes monolíticas: é um tipo de parede feita “in situ” com solo-cimento cuja técnica é fundamentada com base no estilo de execução da taipa de pilão. As diferenças entre esses dois estilos de construção é que a primeira contém moldes mais leves, menores espessuras de parede e incorporação do cimento à terra. A execução das fôrmas de madeira é umas das etapas mais difíceis para a elaboração das paredes monolíticas, visto que sua instalação deve ser suficientemente rígida para que não possa ocorrer o rompimento e nem a mudança de direção (BAUER, 2005).

De acordo com a Figura 3, a execução da parede ocorre por etapas, onde são feitas camadas sucessivas com o uso do solo-cimento que são apiloados nas fôrmas.

**Figura 3 - Execução de casa com parede monolítica de solo-cimento.**



Fonte: Campo Grande News. Disponível em [encurtador.com.br/fNW34](http://encurtador.com.br/fNW34). Acesso em 28 abr. de 2019.

Vale ressaltar também outros tipos de construções o qual se utiliza o solo-cimento como material base (ROCHA, 1996 apud GRANDE, 2003):

- Camadas de fundações;
- Base para pavimento rígido e flexíveis de estradas e aeroportos;
- Valetas de drenagem;
- Revestimentos de canais;
- Diques;
- Reservatórios e barragens de terra;
- Estabilização e proteção superficial de taludes.

### **3.3 Sustentabilidade na construção civil – comparativo entre o processo de produção do tijolo ecológico com o bloco cerâmico**

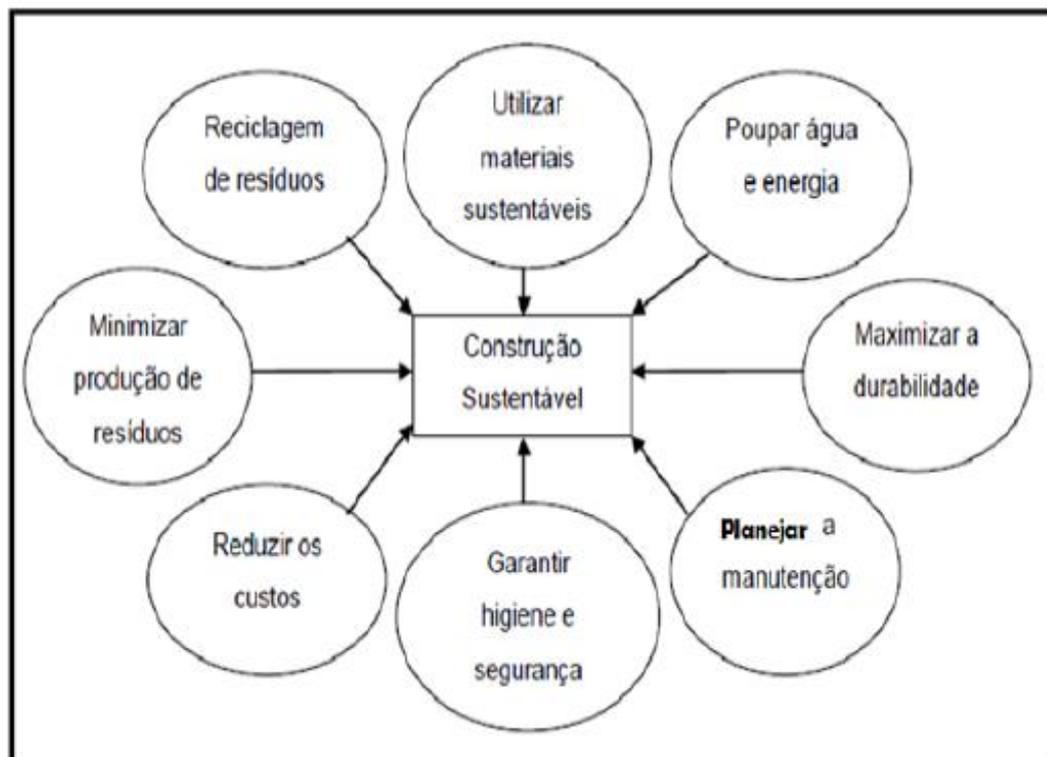
A construção civil é uma das atividades que mais contribuem para o desenvolvimento econômico de um país atualmente, por outro lado, ainda é a atividade que mais gera impactos ambientais.

A demanda contínua por maiores índices de produtividades na construção civil, em muitos casos utilizam-se de processos não adequados e que afetam diretamente no decréscimo dos recursos naturais (MENEZES, et al.,2007). As discussões sobre a sustentabilidade é um dos temas que têm sido bastante debatidos por profissionais de diversas áreas, com o intuito de buscar soluções para esse desafio.

O desenvolvimento sustentável está ligado ao conceito de as pessoas poderem usufruir dos recursos naturais sem comprometê-los para as gerações futuras, tendo como alicerce, três pilares independentes e mutuamente sustentadores: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental (CORRÊA, 2009).

O objetivo da sustentabilidade não é fazer com que a natureza permaneça intocável, o que se busca é um equilíbrio entre construção e meio ambiente sem prejudicar o processo evolutivo tecnológico. Para se enquadrar no termo conhecido como “construção sustentável” é importante se ater às prioridades que devem ser consideradas durante a fase de projeto, conforme a Figura 4, (TEODORO, 2011 apud ANGST, 2013).

Figura 4 - Diagrama da construção sustentável.



Fonte: Teodoro, 2011 apud Angst, 2013.

Com base no que foi exposto e fazendo uma comparação dos processos construtivos do tijolo de solo-cimento e o bloco cerâmico, percebe-se que este apresenta etapas que põe em risco os recursos naturais.

Uma das fases que tem chamado bastante atenção de forma negativa na confecção dos blocos cerâmicos é o cozimento desse material para que o mesmo possa adquirir suas propriedades finais. Esse processo propicia significativamente na emissão de gases  $CO$  e  $CO_2$  que provocam o efeito estufa, como também no aumento das taxas de desmatamento, pois a madeira utilizada para se fazer a queima, em muitos casos é retirada de forma ilícita da natureza (SAVARIS; SILVA; SANTOS, 2018).

Já o processo de produção do tijolo de solo-cimento é considerado de forma ecologicamente correta, pois sua secagem se dá de forma natural, não sendo necessário o cozimento, e o material mais utilizado (solo) pode ser adquirido diretamente no local da obra. É importante enfatizar que mesmo sendo um produto que causa menor impacto ao meio ambiente, a extração dos componentes deve ser feita de forma consciente – a fim de evitar danos à natureza (IEP, 2016).

### **3.4 Argilas**

As argilas são materiais provenientes das rochas feldspáticas, presentes na crosta terrestre e que sofreram o processo de decomposição durante milhões de anos. O mineral básico das argilas é a caulinite e elas são consideradas um silicato de alumínio hidratado, composto por alumínio (óxido de alumínio), sílica (óxido de sílica) e água. São classificadas de acordo com dois grupos: argilas primárias e argilas secundárias ou sedimentares (SILVA, 2007).

As argilas primárias são formadas no mesmo local da rocha mãe, com pouca influência dos agentes atmosféricos. Possuem como características, partículas grossas, com coloração mais clara, sendo um material pouco plástico, porém com grande dureza e alto nível de fusão (SILVA, 2007).

As argilas secundárias foram formadas em locais diferentes da rocha mãe, sendo transportadas por agentes atmosféricos. A água é um dos agentes que mais provocam mudanças nesse tipo de material. A princípio, ocorre o processo de trituração, transformando a argila em partículas com diferentes dimensões. Essas partículas acabam sendo depositadas em alguns locais, no qual as mais pesadas fixam primeiro, seguidas posteriormente das partículas mais leves. Apresentam como características, elementos mais finos e plásticos, que podem ou não conter impurezas. (SILVA, 2007).

#### **3.4.1 Argilas expandidas**

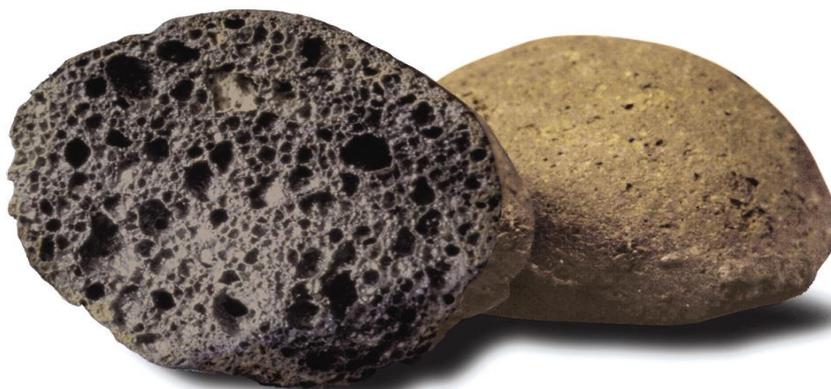
A argila expandida é um agregado leve e isolante, em formato de esfera, conforme Figura 5, com uma estrutura interior alveolar ou porosa, de acordo com a Figura 6, e com camada superficial microporosa rígida e de alta resistência (CONGRESSO NACIONAL DA PREFABRICAÇÃO EM BETÃO, 2008).

**Figura 5 - Geometria da argila expandida.**



Fonte: Leroy Merlin. Disponível em [encurtador.com.br/fqFGK](http://encurtador.com.br/fqFGK). Acesso em 19 de maio de 2019.

**Figura 6 - Estrutura interior da argila expandida.**



Fonte: Minasit. Disponível em [encurtador.com.br/dhKX7](http://encurtador.com.br/dhKX7). Acesso em 19 de maio de 2019.

A argila expandida é um produto obtido a partir do aquecimento de grânulos de argila previamente formados por moldagem ou fragmentação, em altas temperaturas, próximas de 1200 °C. Ao se atingir essas temperaturas elevadas, dois processos acontecem: parte constituinte do material irá se fundir, formando uma pasta viscosa; enquanto a outra parte se desfaz quimicamente, liberando gases que são absorvidos por esta massa sinterizada (CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2004).

Por conta da fase líquida da argila, causada pelo aquecimento, os gases liberados não podem sair e ficam retidos em seu interior, que acabam contribuindo para a formação de estruturas porosas. Ao final do processo, quando a argila esfria,

as estruturas porosas são mantidas e a massa unitária do material resultante torna-se menor. (CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2004).

De acordo com a Cinexpan (2019), as argilas expandidas quando comparadas com outros agregados convencionais apresentam uma série de vantagens, dentre as quais, destacam-se:

- Leveza: é um material 60% mais leve do que os agregados convencionais. Isso ocorre porque durante o processo de fabricação, a argila expandida aumenta em até 5 vezes o seu volume inicial, o que acarreta na formação de um composto mais leve;
- Durabilidade: não se deteriora com a ação do tempo, pelo fato de não reagir quimicamente com outros materiais de construção, como também não emite gases e odores;
- Isolamento térmico: é considerada uma das características mais importante. Esse fato ocorre devido a estrutura interior microporosa das argilas expandidas, o que possibilita o acúmulo de ar e ao mesmo tempo, cria uma barreira que impede a transferência de calor de fora para dentro do ambiente. Essa redução na temperatura pode chegar em até 5°C;
- Isolamento acústico: sua estrutura microporosa reduz a dissipação da energia acústica. Com a aplicação de 5 cm de espessura de argila expandida em concreto estrutural leve, a redução é de aproximadamente 25dB de ruído;
- Incombustível: é um material que apresenta baixos coeficientes de condutividade térmica e quando exposto a altas temperaturas não emitem gases tóxicos. Essas propriedades lhes garantem resistência ao fogo e evita a propagação de chamas;
- Boa resistência mecânica: apresenta boas resistências à tração e compressão devido a sua geometria esférica com camada externa vitrificada.

A argila expandida também é utilizada em jardinagem com a finalidade de manter a umidade adequada da terra, além de permitir que a drenagem ocorra de forma rápida e por igual, criando, assim, condições ideais para que as plantas tenham um completo desenvolvimento.

### 3.4.2 Uso de argila expandida na construção civil

Apesar de sua utilização no Brasil não ser bastante difundida, as argilas expandidas têm uma série de aplicações na construção civil. Essa crescente aplicação está relacionada com as vantagens desse material que pode substituir parcialmente ou totalmente os agregados convencionais, mantendo as propriedades de durabilidade, semelhança na resistência à compressão, como também proporcionando uma redução econômica por conta de sua leveza que minimiza os carregamentos atuantes nas estruturas, com diminuição significativa de custos de fundação (BORJA, 2011).

Nas construções, as argilas expandidas são utilizadas em:

- Concreto estrutural leve: difere do concreto convencional pelo fato de substituir o agregado graúdo por agregado leve, tendo como característica uma massa específica seca abaixo de  $2000 \text{ Kg/m}^3$ . Podem ser utilizados em paredes monolíticas in loco, cujo sistema construtivo, também com função estrutural, é feito no local da obra, com o auxílio de fôrmas duplas. Outras utilizações do concreto leve são em edifícios de múltiplos andares, pontes, recuperação estrutural e plataforma marítima (SACHT; ROSSIGNOLO; SANTOS, 2010);
- Argamassa: são utilizados os mesmos elementos da argamassa tradicional, no entanto, com a adição da argila expandida, empregada basicamente como isolante térmico (TRENTIN, 2017);
- Telhados verdes: a argila expandida é utilizada para drenar o excesso de água e ao mesmo tempo combater a irradiação direta dos raios solares no telhado (CINEXPAN, 2019).

### 3.5 Transferência de calor e isolamento térmico

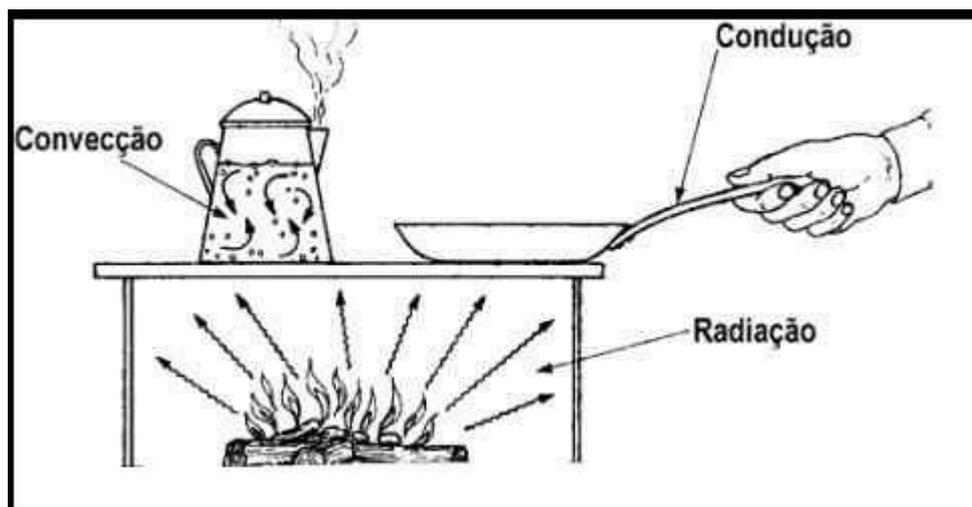
A transferência de calor está ligada ao processo de transporte de energia térmica a partir de regiões com temperaturas distintas. Vale ressaltar que a transmissão da energia em forma de calor sempre ocorre do local de maior temperatura para o de menor temperatura, e essa ação só cessa a partir do momento que ambos os meios apresentam temperaturas equivalentes (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

A ideia de entender a transferência de calor em elementos de construção é de grande importância para se poder projetar materiais que possam apresentar boas características de resistência térmica – proporcionando conforto térmico às edificações. É o caso dos blocos de solo-cimento com argila expandida.

Os materiais que apresentam baixo isolamento térmico (boa resistência térmica) normalmente são leves – com baixa densidade, a qual a alta resistência térmica está associada ao grande número de vazios contido em seu interior, o que possibilita um acúmulo de ar e dificulta a troca de calor entre o meio externo e interno de uma construção (SANTOS, 2008).

Na engenharia existem três métodos diferentes de transmissão de calor que serão apresentados de forma sucinta nas seções seguintes e podem ser facilmente representados pela Figura 7, são eles: condução, convecção e radiação.

Figura 7 - Métodos de transmissão de calor.



Fonte: Universidade Federal do Paraná. Disponível em [encurtador.com.br/lyAKM](http://encurtador.com.br/lyAKM). Acesso em 04 de jun. de 2019.

### 3.5.1 Condução

A condução pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases sendo definida como a transferência de energia entre as partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações que ocorrem entre elas (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Quanto maior for a temperatura, mais energéticas serão as partículas, o que acarretará em colisões e transferência de energia com partículas menos energéticas presentes na vizinhança. É o caso de líquido e gases o qual a condução ocorre devido as colisões e difusões das partículas em movimentos aleatórios. Já em sólidos, a condução está associada à atividade atômica na forma de vibrações dos retículos (INCROPERA, et al, 2012).

### **3.5.2 Convecção**

A convecção ocorre quando há o movimento entre uma superfície sólida e líquida ou um gás adjacente. Quanto maior for a velocidade de escoamento do fluido que está em contato com a superfície, maior será a transferência de calor por convecção. A convecção pode ser classificada de acordo com dois tipos: convecção forçada e convecção natural. A convecção forçada acontece quando existe algum agente externo (ventilador, bomba e vento) que força o fluido a percorrer a superfície. A convecção natural acontece quando a movimentação do fluido na superfície ocorre de forma natural através das forças de flutuação induzidas por diferença de densidade (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Os fatores que influenciam a transferência de calor por convecção são densidade, viscosidade e velocidade do fluido, como também o calor específico e a condutividade térmica (KREITH; BOHN, 2011).

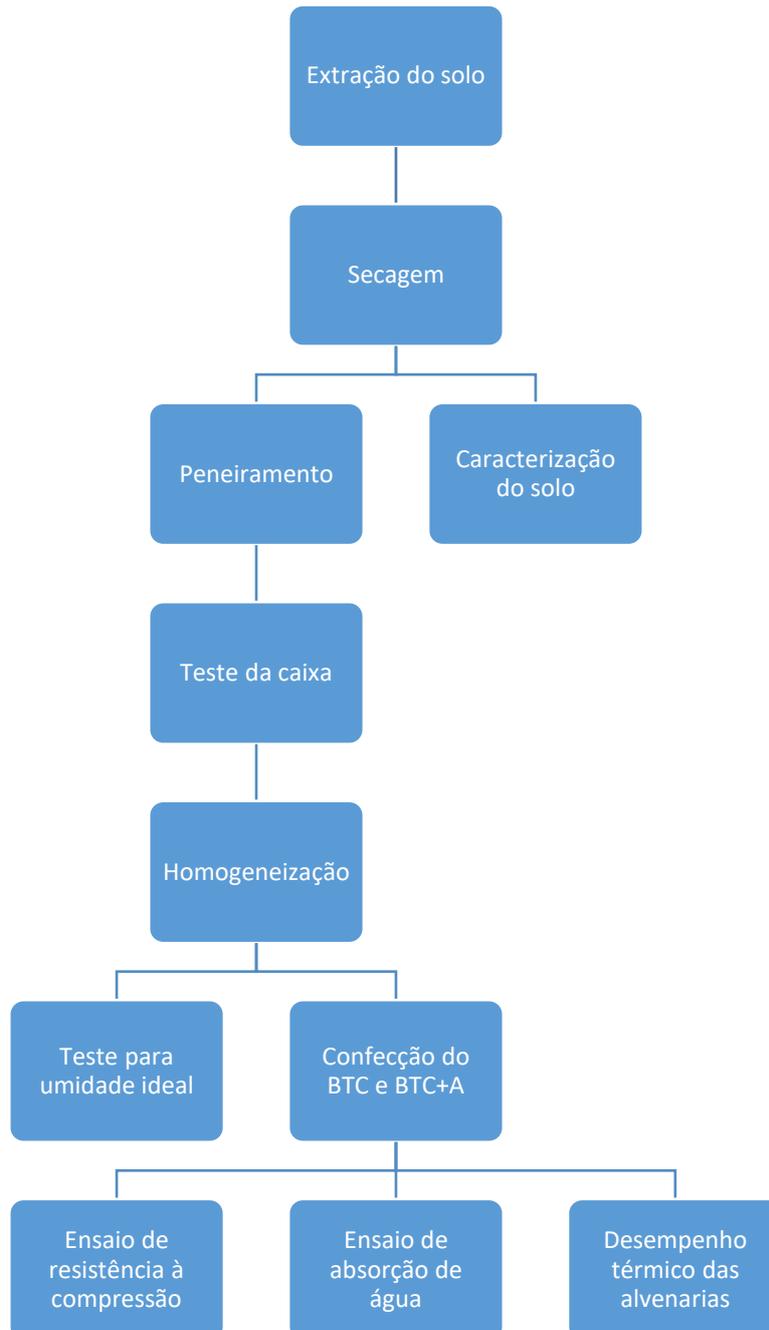
### **3.5.3 Radiação**

A radiação é uma energia emitida pela matéria em forma de ondas eletromagnéticas que podem ocorrer tanto em superfícies sólidos, líquidos e gases. A emissão de energia pode ser atribuída a alteração nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que formam a matéria (INCROPERA, et al, 2012).

## 4 METODOLOGIA

O fluxograma da Figura 8, mostra o procedimento experimental utilizado para a confecção dos tijolos, bem como os ensaios tecnológicos realizados no decorrer da pesquisa.

**Figura 8 - Esquema do procedimento experimental**



Fonte: Autor, (2019).

A seguir, serão apresentados e explicados os procedimentos de cada etapa para a fabricação e análise de tijolos ecológicos, produzidos a partir de prensas manuais, sendo alguns com misturas de solo, cimento e água; e outros com solo, cimento, água e argila expandida.

O local escolhido para extração da amostra de solo foi em torno da UFAL – Campus Sertão, localizado na cidade de Delmiro Gouveia – Alagoas, região que tem como características o clima seco e quente.

Quando se trabalha com solo-cimento é de grande importância determinar a estrutura física do solo, pois, dependendo do material que contém nele, será necessária uma maior ou menor quantidade de cimento.

#### **4.1 Extração do solo**

Como é uma região quente e seca, foi necessário molhar o solo durante alguns dias para depois extrair-lo. A princípio foi descartada a camada superficial, pelo fato de poder haver matéria orgânica que atrapalhasse no processo de hidratação do cimento. A Figura 9 mostra o local escolhido para retirada da amostra de solo.

**Figura 9 - Local de onde foi retirada a amostra de solo.**



Fonte: Autor, (2019).

## 4.2 Caracterização do solo

A seguir serão apresentados todos os ensaios laboratoriais realizados para caracterização do solo:

### 4.2.1 Análise Granulométrica

A determinação da composição granulométrica do solo (agregado miúdo) foi realizada com base na ABNT – NBR NM 248 (2003), por meio do método de peneiramento, com uma amostra de 846,3g de solo.

ABNT – NBR 6502 (1995), classifica os grãos encontrados numa amostra de solo, conforme a variação do diâmetro, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1 - Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos**

<b>Tipo de solo</b>	<b>Fração limite</b>
Matacão	De 200 mm a 1 m
Pedra-de-mão	De 60 mm a 200 mm
Areia grossa	De 0,6 mm a 2,0 mm
Areia média	De 0,2 mm a 0,6 mm
Areia fina	De 0,06 mm a 0,2 mm
Silte	De 0,002 mm a 0,06 mm
Argila	Inferior a 0,002mm

Fonte: ABNT – NBR 6502, (1995).

Para determinar o agregado miúdo será utilizado a classificação de Abrams, que tem como base o módulo de finura. O módulo de finura corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Quanto maior o módulo de finura, mais grosso é o material (ABNT – NBR 7211, 2019).

De acordo com Abrams (1922), o agregado miúdo é classificado com base no seu módulo de finura (MF) da seguinte forma:

- Areia grossa MF > 3,90;

- Areia média  $3,90 > MF < 2,40$
- Areia fina  $MF < 2,40$

#### 4.2.2 Massa específica

De acordo com a ABNT – NBR NM 52 (2009), a massa específica de uma amostra é definida como sendo a relação entre a massa do agregado em seu estado seco e seu volume, eliminado os poros permeáveis. Segundo a norma, a massa específica é calculada de acordo com a Equação 1:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (1)$$

Onde:

$m$  = massa da amostra seca em estufa (g);

$V$  = volume do frasco ( $\text{cm}^3$ );

$V_a$  = volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a Equação 2:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (2)$$

Onde:

$m_2$  = massa total (frasco + agregado + água) (g);

$m_1$  = massa do conjunto (frasco + agregado) (g);

$\rho_a$  = massa específica da água ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Para determinação da massa específica foi utilizado 500g do agregado miúdo ( $m$ ) e um frasco com capacidade de 500 ml ( $V$ ).

#### 4.2.3 Limite de plasticidade

O método para determinação do limite de plasticidade do solo foi baseado na ABNT – NBR 7180 (2016).

#### 4.2.4 Limite de liquidez

De acordo com a ABNT – NBR 6459 (2016), versão corrigida (2017) foi executado o método para determinação do limite de liquidez do solo.

#### 4.2.5 Teor de material pulverulento

Materiais pulverulentos são partículas minerais com dimensões inferiores a  $75\mu\text{m}$ , inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados. Para determinação do teor de material pulverulento foi utilizado o procedimento A, com 500g de amostra de material, conforme estabelece a ABNT – NBR NM 46 (2003).

A porcentagem do material mais fino que a peneira de  $75\mu\text{m}$  é calculado de acordo com a Equação 3:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$m_i$  – massa original da amostra seca (g);

$m_f$  – massa da amostra seca após a lavagem (g).

#### 4.3 Teste da caixa

O teste da caixa foi realizado conforme as prescrições do IBDA (2013).

#### 4.4 O Tipo de cimento

O cimento Portland composto com pozolana foi o produto utilizado para confecção dos tijolos. O motivo da escolha se deu pela disponibilidade do material na região, como também os preços mais acessíveis.

Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. De acordo com a ABNT – NBR 16697 (2018), o CP II-Z-32 leva em sua

composição, de 6 a 14% de pozolana, podendo conter uma ou mais formas de material carbonático (até 15%) e sulfato de cálcio.

#### 4.5 Tipo de argila

A argila expandida utilizada foi a do tipo laminada de 2,5 mm, conforme Figura 10, cujas propriedades e características químicas estão nas Tabela 2 e Tabela 3.

**Figura 10 - Argila expandida laminada de 2,5 mm.**



Fonte: Autor, (2019).

**Tabela 2 - Propriedades da argila expandida.**

<b>Densidade aparente</b>	750 kg/m <sup>3</sup> (base seca). Pode haver variação de +/- 10%.
<b>Resistência mecânica</b>	2,27 MPa ou 22 kgf/cm <sup>2</sup> .
<b>Consistência</b>	Agregado nodulizado de argila.
<b>Inércia química</b>	Absolutamente inerte.
<b>Isolamento térmico</b>	Variação de até 5 °C para uma espessura de 10 cm de material.
<b>Condutibilidade térmica</b>	0,11 Kcal/hm°C.
<b>Isolamento acústico</b>	Pode chegar a uma redução média de 44 DB.

Fonte: Cinexpan, (2019).

De acordo com as propriedades da argila expandida apresentadas na Tabela 2, pode-se destacar a condutibilidade térmica como uma das principais vantagens desse material. Quanto menor a condutibilidade, mais difícil é a transferência de calor. A título de exemplificação, o cobre apresenta uma condutibilidade térmica de  $398 \text{ w/m.k (27}^\circ\text{C) = 342,22 Kcal/hm}^\circ\text{C}$ , valor bem superior quando comparado com a argila expandida. Isso significa que é mais fácil a transferência de calor pelo cobre.

**Tabela 3 - Análise química da argila expandida.**

Perda ao fogo	0,20%
Silício ( $SiO_2$ )	63,19 %
Alumínio ( $Al_2O_3$ )	18,02%
Ferro ( $Fe_2O_3$ )	7,63%
Titânio ( $TiO_2$ )	0,92%
Cálcio ( $CaO$ )	0,64%
Magnésio ( $MgO$ )	3,26%
Sódio ( $Na_2O$ )	0,61%
Potássio ( $K_2O$ )	4,91%
Óxido de Fósforo ( $P_2O_5$ )	0,20%
Óxido de Manganês ( $MnO$ )	0,08%
Óxido de Bário ( $BaO$ )	0,09%

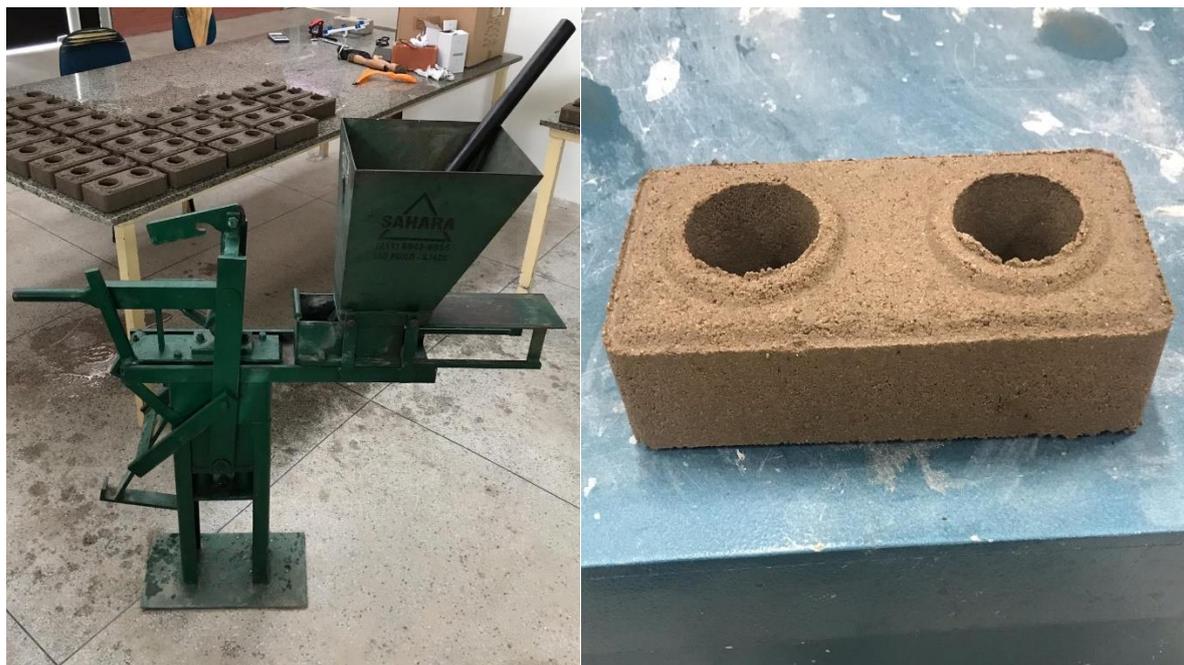
Fonte: Cinexpan, (2019).

Já de acordo com a análise química apresentada pela Tabela 3, observa-se que a maior parte da composição da argila expandida é formada pelo silício. Este material garante as características de dureza e durabilidade – resistente a maioria dos ácidos.

#### **4.6 Prensa manual para tijolo ecológico**

Para produção dos tijolos ecológicos com fundo vazado foi utilizado uma prensa manual, cujas dimensões dos tijolos são 10 cm de largura, 4,8 cm de altura e 20 cm de comprimento. A Figura 11 mostra a prensa manual e o BTC produzido.

**Figura 11 - Prensa manual e tijolo ecológico.**



Fonte: Autor, (2019).

#### **4.7 Confeção do BTC e do BTC+A**

Com base no IEP (2016), a metodologia utilizada para produção dos tijolos ecológicos prosseguiu da seguinte forma:

A princípio, o solo retirado foi exposto ao sol, secando por cerca de dois dias. Para se obter uma melhor secagem, a terra foi espalhada em uma camada de até 30 cm. A secagem é importante para que as partículas finas não grudem durante o processo de peneiramento. Deve-se atentar a qualquer objeto estranho presente no solo, como também a presença de material orgânico para eliminá-los.

A primeira etapa para fabricação dos tijolos ecológicos foi misturar em seco o solo e o cimento. Quanto mais seco e fino o solo, a mistura será homogênea e se obterão os melhores resultados na estabilização.

Em seguida, adiciona-se água ao composto, o qual a umidade adequada é analisada por meio da coesão apresentada pela massa, ou seja, deve-se pegar um pouco da mistura e fazer uma bolinha com as mãos. Ao apertar e certificar a marca dos dedos na amostra, a massa está no ponto ideal. Um outro teste que também deve ser realizado para saber a umidade ideal da mistura é fazer uma outra bolinha e jogar

da altura de 1m. Se a bolinha se desfazer em alguns pedaços, a massa está no ponto ideal. A representação dos dois testes está na Figura 12.

**Figura 12 - Testes para umidade ideal da mistura de solo-cimento.**



Fonte: Autor, (2019).

Feito os procedimentos anteriores, pega-se a mistura e coloca na prensa manual para confeccionar os BTC. Para produção dos BTC, o traço adotado de cimento e solo foi na proporção de 1:10. Já a fabricação do BTC com adição de argila expandida, o traço de cimento e solo foi o mesmo, porém foi adicionado 30% de argila expandida com relação ao traço.

Após a moldagem dos tijolos ecológicos, os mesmos foram encaminhados ao processo de cura (molhados duas vezes ao dia) durante o período de 7 dias.

#### **4.8 Resistência à compressão e absorção de água**

A ABNT – NBR 8491 (2013), aborda as condições exigíveis de recebimento de um determinado lote de tijolo vazado de solo-cimento sem função estrutural para vedação em alvenaria. Dentre essas condições, a norma especifica que deve ser feito o ensaio de resistência à compressão e de absorção de água.

Ainda com base na ABNT – NBR 8491 (2013), a amostragem ensaiada deve apresentar uma resistência à compressão média  $\geq 2,0$  Mpa e individual  $\geq 1,7$  Mpa

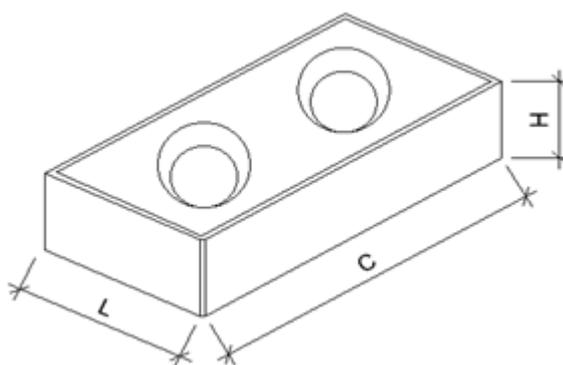
aos 7 dias. Já com relação a absorção de água, os blocos devem apresentar valores médios  $\leq 20\%$  e valores individuais  $\leq 22\%$ , também aos 7 dias.

#### 4.8.1 Ensaio de resistência à compressão

Com base na ABNT – NBR 8491 (2013) e NBR 8492 (2013), o ensaio de resistência à compressão em tijolo de solo-cimento, passados os 7 dias de cura prosseguiu da seguinte forma:

A princípio, mediu-se 3 vezes cada face (largura, comprimento e altura), conforme a Figura 13. A dimensão em cada face, será a média dos 3 valores obtidos.

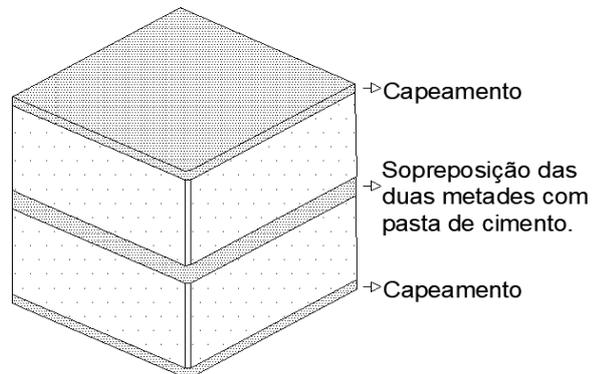
**Figura 13 - Modelo do tijolo ecológico.**



Fonte: Autor, (2019).

Em seguida, os tijolos foram cortados ao meio, perpendicular à sua maior dimensão e sobreposto com pasta de cimento Portland. Também foi feito o capeamento de cada face de trabalho do tijolo com pasta de cimento Portland, de modo que seja possível obter faces planas e paralelas. Primeiro faz o capeamento de uma face e espera endurecer (aproximadamente 6 horas), em seguida faz o mesmo procedimento na outra face. A Figura 14 representa a junção dos tijolos partidos ao meio e o capeamento.

**Figura 14 - Sobreposição e capeamento nas faces de trabalho do tijolo ecológico.**



Fonte: Autor, (2019).

Observação: para execução do capeamento foi utilizada uma folha de papel untada com óleo velho de carro. O óleo facilita a retirada do papel durante o processo do capeamento. Já o papel, evita que a pasta de cimento Portland fique grudada na superfície. O nível de bolha foi empregado para deixar as faces planas e paralelas, de modo que a força possa ser distribuída igualmente, durante o ensaio de compressão. A Figura 15 mostra as etapas do capeamento.

**Figura 15 - Etapas do capeamento.**



Fonte: Autor, (2019).

Após o endurecimento da pasta de cimento, o próximo passo foi identificar cada tijolo e imergi-los durante 6 horas em um tanque com água. Transcorrido esse tempo, retira-se individualmente o tijolo, enxuga-o e coloca-o imediatamente na prensa para coletar os dados de resistência à compressão. Essa operação deve ser realizada em no máximo 3 minutos.

#### 4.8.2 Ensaio de absorção de água

Com base na ABNT – NBR 8491 (2013) e NBR 8492 (2013), o ensaio de absorção de água em tijolos de solo-cimento prosseguiu da seguinte forma:

Após a cura dos tijolos, os mesmos foram colocados em estufa com temperatura entre 105 °C e 110 °C, para se obter a massa seca  $m_1$ , em g. Depois dessa etapa, os tijolos foram imersos em um tanque com água durante 24 horas (a imersão só deve ser feita após os corpos de provas atingirem a temperatura ambiente). Transcorrido esse tempo, retira-se os tijolos e enxuga-os para obter a massa saturada  $m_2$ , em g. Essa operação deve ser realizada em no máximo 3 minutos.

O cálculo da absorção de água é dado de acordo com a Equação 4:

$$A\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

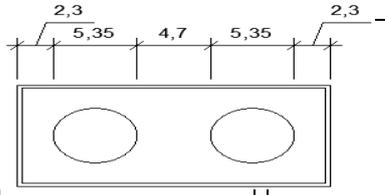
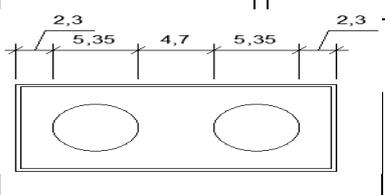
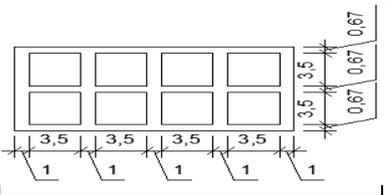
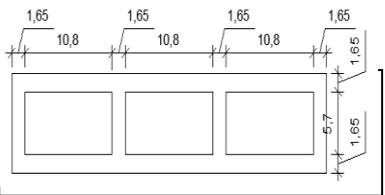
$m_1$  – massa seca (g);

$m_2$  – massa saturada (g).

#### 4.9 Desempenho térmico das alvenarias – método prático

Nesta etapa foi realizado o procedimento compreendido pelo método prático, que tem como objetivo analisar a transferência de calor em diferentes alvenarias, conforme Figura 16. Os blocos/tijolos utilizados nas alvenarias foram BTC, BTC com adição de argila expandida, bloco de concreto e bloco cerâmico. A Tabela 4 mostra o formato geométrico e dimensões dos tijolos e blocos utilizados nas alvenarias.

Tabela 4 – Características geométricas dos blocos e tijolos.

Modelo de tijolo/bloco	Tipo de Tijolo/bloco	Dimensões (cm)			Vista a partir dos furos
		Largura - L	Altura - H	Comprimento - C	
	Tijolo de solo-cimento	10	4,8	20	
	Tijolo de solo-cimento com argila expandida	10	4,8	20	
	Bloco cerâmico	9	19	19	
	Bloco de concreto	9	19	39	

Fonte: Autor, (2019).

Figura 16 – Alvenarias.



Fonte: Autor, (2019)

A transferência de calor em cada alvenaria foi analisada em um período determinado de 20 minutos, simulando situações as quais elas foram expostas a uma fonte de calor (soprador térmico) com temperatura constante. O soprador térmico ficou a uma distância de 38 cm de cada alvenaria. Com o auxílio de uma câmera térmica, anotava-se a temperatura a cada 1 minuto no lado da parede onde não estava o soprador. Este método foi executado em laboratório (sala fechada) para que não houvesse a interferência do clima nos resultados do ensaio. A Figura 17, mostra a execução do experimento.

**Figura 17 - Execução do experimento.**



Fonte: Autor, (2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização do solo

- **Análise Granulométrica**

Durante o ensaio granulométrico, constatou-se que nenhuma massa do agregado ficou retida nas peneiras da série intermediária, como também pouca partícula ficou retida na peneira de 4,8 mm, logo, o agregado foi classificado como miúdo (ABNT – NBR 7211, 2019).

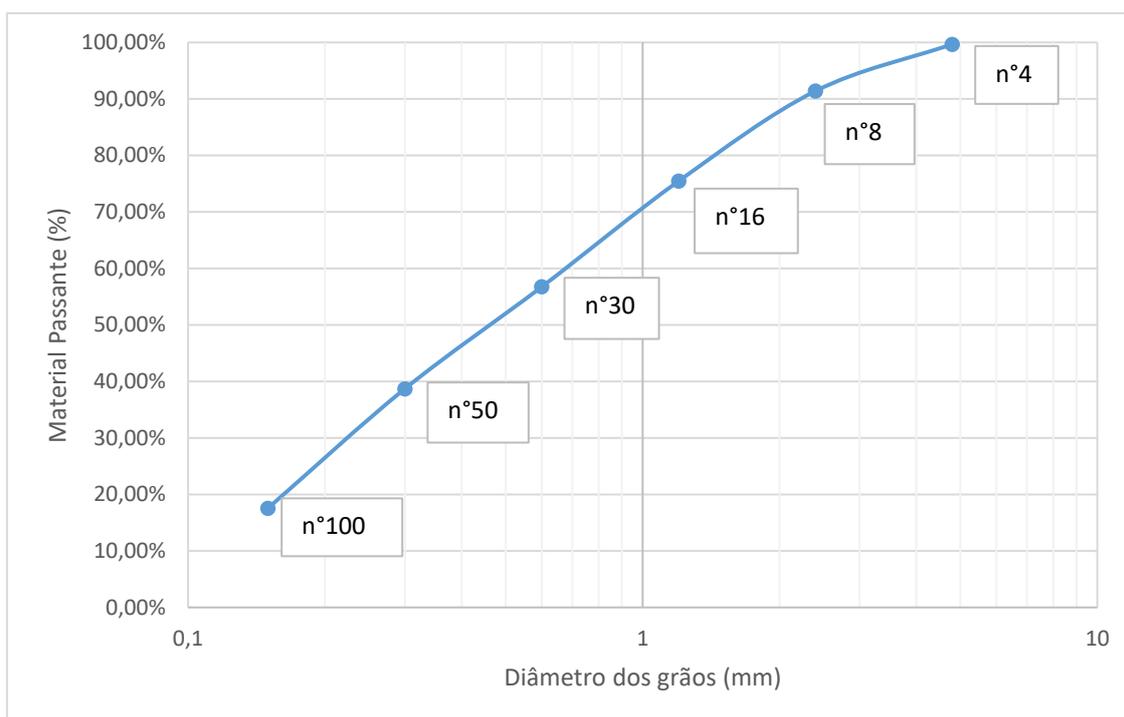
Com base nos resultados obtidos a partir da massa confinada em cada peneira, foi possível efetuar os cálculos do percentual de material retido, material retido acumulado e material passante, conforme apresentado na Tabela 5, para posteriormente, realizar o traço da curva granulométrica de acordo com o Gráfico 1. A curva mostra a relação do tamanho das peneiras (diâmetro dos grãos em escala logarítmica) e o percentual de material passante. Por meio dessa curva é possível determinar algumas características físicas do solo.

**Tabela 5 - Limites granulométricos do agregado.**

<b>Agregado Miúdo</b>					
Peneira n°	Abertura (mm)	Material retido (g)	Material retido (%)	Material retido acumulado (%)	Material Passante (%)
4	4,8	2,6	0,31%	0,31%	99,69%
8	2,4	70,2	8,29%	8,60%	91,40%
16	1,2	134,9	15,94%	24,54%	75,46%
30	0,6	158,3	18,70%	43,25%	56,75%
50	0,3	152,7	18,04%	61,29%	38,71%
100	0,15	178,8	21,13%	82,42%	17,58%
fundo		148,8	17,58%	100%	0,00%
<b>Total</b>		<b>846,3</b>	<b>100%</b>		
<b>Módulo de finura</b>					<b>3,20%</b>

Fonte: Autor, (2019).

Gráfico 1 - Curva Granulométrica.



Fonte: Autor, (2019).

Com base na Tabela 5, é possível constatar que a amostra contém em sua maior totalidade um grande percentual de materiais com diâmetros entre 0,15 mm a 1,2 mm. Desta forma, observa-se que o solo apresenta grãos que são classificados como areia grossa, areia média e areia fina, de acordo com a Tabela 1, (ABNT – NBR 6502, 1995).

Fazendo uma análise da curva granulométrica é possível definir que a mesma se apresenta de forma bem graduada e contínua, isto é, com quantidade de material fino, suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores e com distribuição granulométrica contínua. Sendo um tipo de solo classificado com graduação densa.

Conforme a classificação de Abrams, o solo utilizado para confecção dos tijolos ecológicos desta pesquisa é classificado como areia média. Pois o mesmo apresenta módulo de finura de 3,2%.

- **Massa específica**

Diante dos dados apresentados na Metodologia, a massa específica foi calculada da seguinte forma:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} = \frac{960,3 - 667,9}{1} = \boxed{292,4 \text{ cm}^3}$$

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} = \frac{500}{500 - 292,4} = \boxed{2,41 \text{ g/cm}^3}$$

- **Limite de plasticidade**

Com relação à plasticidade do material, o mesmo foi classificado como não plástico, porque não foi possível executar o ensaio prescrito na (ABNT – NBR 7180, 2016).

- **Limite de liquidez**

Quanto ao limite de liquidez, não foi possível concluir o ensaio pelo fato do solo apresentar textura arenosa. Com uso do aparelho Casagrande, Figura 18, o número máximo de golpes obtidos foram 9 para fechar a ranhura, o que impossibilitou a conclusão do ensaio.

**Figura 18 - Aparelho de Casagrande.**



Fonte: Autor, (2019).

- **Teor de material pulverulento**

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 = \frac{500 - 385}{500} \cdot 100 = \boxed{23\%}$$

O resultado mostra que 23% da amostra de solo é composta por partículas que apresentam granulometria menor que 0,075 mm, sendo formada por argila, materiais solúveis em água e outros materiais que se dispersam por lavagem. Isso mostra que o solo utilizado continha pouco material fino, principalmente argila. Por isso que a ranhura feita fechou com apenas 9 golpes durante o ensaio de limite de liquidez.

## 5.2 Teste da caixa

Conforme prescrito no referencial teórico, foi utilizado uma caixa de madeira com dimensões de 60 x 3,5 x 8,5 cm, untada com óleo na parte interna. Passados os 7 dias do teste, o qual o solo era molhado diariamente, constatou-se que o somatório da retração em todos os lados foi muito pequeno, de aproximadamente 4 mm (1 mm em todos os lados). Também não houve nenhum aparecimento de trincas. Portanto, a amostra de solo está apta a ser utilizada como material para produção de BTC. O teste final da caixa está representado na Figura 19.

**Figura 19 - Teste da caixa.**



Fonte: Autor, (2019).

### 5.3 Ensaio de resistência à compressão

A Tabela 6 e a Tabela 7 mostram todos os resultados obtidos durante o ensaio de resistência à compressão, após 17 dias da produção dos tijolos, de 15 corpos de provas de BTC e 15 corpos de provas de BTC+A.

Observação: no cálculo da resistência à compressão (tensão), foi considerada a área bruta do tijolo (desprezando o furo), com comprimento e largura iguais a 10 cm.

**Tabela 6 - Resistência à compressão (BTC).**

<b>Tijolo de solo-cimento (BTC)</b>							
Corpo de prova	Face de trabalho				Resistência à compressão		
	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de ruptura		Tensão (Mpa)
					(tnf)	(KN)	
<b>1</b>	0,2	0,1	0,047	0,01	4,42	43,35	4,33
<b>2</b>	0,2	0,1	0,047	0,01	3,96	38,83	3,88
<b>3</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	4,91	48,15	4,82
<b>4</b>	0,2	0,1	0,05	0,01	4,79	46,97	4,70
<b>5</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	4,14	40,60	4,06
<b>6</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	3,79	37,17	3,72
<b>7</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	2,83	27,75	2,78
<b>8</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	4,28	41,97	4,20
<b>9</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	4,21	41,29	4,13
<b>10</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	3,99	39,13	3,91
<b>11</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	2,95	28,93	2,89
<b>12</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	3,76	36,87	3,69
<b>13</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	3,54	34,715	3,47
<b>14</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	4,18	40,99	4,10
<b>15</b>	0,2	0,1	0,048	0,01	3,75	36,77	3,68
	<b>Média</b>						<b>3,89</b>

Fonte: Autor, (2019).

Tabela 7 - Resistência à compressão (BTC+A).

<b>Tijolo de solo-cimento com adição de 30% de argila expandida (BTC+A)</b>							
Corpo de prova	Face de trabalho				Resistência à compressão		
	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de ruptura		Tensão (Mpa)
					(tnf)	(KN)	
1	0,2	0,1	0,048	0,01	4	39,23	3,92
2	0,2	0,1	0,048	0,01	4,33	42,46	4,25
3	0,2	0,1	0,048	0,01	3,8	37,27	3,73
4	0,2	0,1	0,048	0,01	3,9	38,25	3,82
5	0,2	0,1	0,048	0,01	4,77	46,78	4,68
6	0,2	0,1	0,048	0,01	2,89	28,34	2,83
7	0,2	0,1	0,049	0,01	4,26	41,78	4,18
8	0,2	0,1	0,049	0,01	4,43	43,44	4,34
9	0,2	0,1	0,048	0,01	3,81	37,36	3,74
10	0,2	0,1	0,048	0,01	4,54	44,52	4,45
11	0,2	0,1	0,048	0,01	4,45	43,64	4,36
12	0,2	0,1	0,049	0,01	4,05	39,72	3,97
13	0,2	0,1	0,049	0,01	3,65	35,79	3,58
14	0,2	0,1	0,048	0,01	4,24	41,58	4,16
15	0,2	0,1	0,048	0,01	3,22	31,58	3,16
<b>Média</b>							<b>3,94</b>

Fonte: Autor, (2019).

Ambos os tijolos apresentaram resistência à compressão média e individual superior ao estabelecido pela ABNT – NBR 8491 (2013), mostrando ser resultados satisfatórios. Esses desempenhos estão relacionados principalmente com a quantidade de água adicionada à mistura, com o teor de cimento, como também com o tipo de solo utilizado, o qual foi classificado como areia média, com 23% de material pulverulento. Ou seja, de acordo com a ABCP (2009), esse material apresenta boas características de um solo ideal para produção de tijolos de solo-cimento.

Analisando individualmente, ambos os tijolos apresentaram resistência à compressão semelhante. Logo, é possível afirmar que com a adição da argila expandida, a resistência à compressão do BTC+A permaneceu praticamente inalterada.

#### 5.4 Ensaio de absorção de água

A Tabela 8 e Tabela 9, mostram os resultados obtidos a partir do ensaio de absorção de água.

Como os resultados foram bastantes dispersos com valores que vão de 3,98 a 18,18% na Tabela 8, foi preferível fazer uma análise mais detalhada de ambas as tabelas, a partir do cálculo de desvio-padrão e coeficiente de variação, que são medidas de dispersão que indicam a regularidade de um conjunto de dados em função da média aritmética.

**Tabela 8 - Absorção de água - tijolo de solo-cimento.**

<b>Tijolo de solo-cimento</b>					
Corpo de prova	Massa seca - m1 (g)	Massa saturada - m2 (g)	Absorção de água (%)	Absorção - Absorção (22%)	Quadrado da diferença de absorção
1	1489	1642	10,28	-11,72	137,47
2	1480	1648	11,35	-10,65	113,39
3	1458	1628	11,66	-10,34	106,92
4	1484	1659	11,79	-10,21	104,19
5	1500	1680	12,00	-10,00	100,00
6	1463	1729	18,18	-3,82	14,58
7	1525	1704	11,74	-10,26	105,31
8	1556	1662	6,81	-15,19	230,67
9	1583	1646	3,98	-18,02	324,73
10	1510	1620	7,28	-14,72	216,54
<b>Total</b>	<b>15048</b>	<b>16618</b>			
<b>Média das massas</b>	<b>1504,8</b>	<b>1661,8</b>			
<b>Média (absorção de água)</b>					<b>10,51</b>
<b>Variância</b>					<b>145,38</b>
<b>Desvio-padrão</b>					<b>12,06</b>

Fonte: Autor, (2019).

Tabela 9 - Absorção de água - tijolo de solo-cimento com argila expandida

<b>Tijolo de solo-cimento com argila expandida</b>					
Corpo de prova	Massa seca - m1 (g)	Massa saturada - m2 (g)	Absorção de água (%)	Absorção -Absorção (22%)	Quadrado da diferença de absorção
1	1286	1506	17,11	- 4,89	23,94
2	1289	1459	13,19	- 8,81	77,64
3	1294	1471	13,68	- 8,32	69,25
4	1326	1492	12,52	- 9,48	89,89
5	1306	1476	13,02	- 8,98	80,70
6	1289	1445	12,10	- 9,90	97,96
7	1285	1463	13,85	- 8,15	66,39
8	1321	1492	12,94	- 9,06	82,00
9	1274	1507	18,29	- 3,71	13,77
10	1312	1468	11,89	- 10,11	102,21
Total	12982	14779			
Média das massas	1298,2	1477,9			
Média (absorção de água)					13,86
Variância					70,37
Desvio-padrão					8,39

Fonte: Autor, (2019).

O desvio-padrão apresentado pelo BTC e BTC+A foram respectivamente 12,06% e 8,39%, ou seja, esses resultados mostram o quanto em média a absorção de água ficou abaixo da absorção individual exigida por norma (22%). Quanto maior o desvio-padrão, menor será a absorção de água. Certifica-se que os tijolos atingiram valores satisfatórios médios e individuais de absorção de água conforme estabelecido pela ABNT – NBR 8491 (2013) e NBR 8492 (2013).

São tijolos que apresentam baixa permeabilidade, conseqüentemente são mais duráveis. Fazendo um comparativo, observa-se que o tijolo de argila expandida apresentou uma média de absorção de água um pouco maior. Isso ocorre porque uma das propriedades da argila expandida é de manter a umidade, absorvendo um pouco mais de água do que o tijolo de solo-cimento.

Um outro dado que chama bastante atenção e que está atrelado a uma das vantagens da argila expandida é a diferença de massa entre os dois tijolos. Fazendo

um comparativo entre as médias das massas, chega-se à conclusão de que o tijolo de argila expandida no estado seco e saturado é respectivamente 206,6 g e 183,9 g mais leve, ou seja, apresenta um decréscimo de massa de 13,73% no estado seco e 11,07% no estado saturado.

Trazendo esses dados para uma construção, a carga atuante na estrutura terá uma redução significativa, o que acarretará na economia da obra, proporcionando uma diminuição da sapata e redução da bitola de aço.

### 5.5 Desempenho térmico das alvenarias – método prático

A Tabela 10 evidencia o desempenho térmico apresentado pelas diferentes alvenarias utilizadas no experimento caracterizado como método prático. A partir desses resultados foi possível construir o Gráfico 2, que analisa de forma mais ampla e objetiva essa transferência de calor.

Durante o experimento, constatou-se que a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar variavam, o que influenciaria nos resultados, por isso foi necessário fazer todas essas anotações que seguem abaixo:

- BTC+A (umidade relativa = 70%, temperatura ambiente = 24,4%);
- Bloco cerâmico = (umidade relativa = 64%, temperatura ambiente = 26°C);
- BTC = (umidade relativa = 26,9%, temperatura ambiente = 60%);
- Bloco de concreto = (umidade relativa = 64%, temperatura ambiente = 25,3°C);

Como a temperatura ambiente e umidade relativa do ar eram distintas durante cada experimento, para análise térmica foi considerada a diferença de temperatura apresentada em 20 minutos e 1 minuto de cada alvenaria. Com isso, os resultados foram os seguintes:

- $BTC+A = 29,5 - 25,3 = 4,2^{\circ}C$ ;
- $Bloco\ cerâmico = 30,4 - 26 = 4,4^{\circ}C$ ;
- $BTC = 34,5 - 27,3 = 7,2^{\circ}C$ ;
- $Bloco\ de\ concreto = 36,8 - 25,8 = 11^{\circ}C$ ;

Tabela 10 - Desempenho térmico apresentado pelas alvenarias.

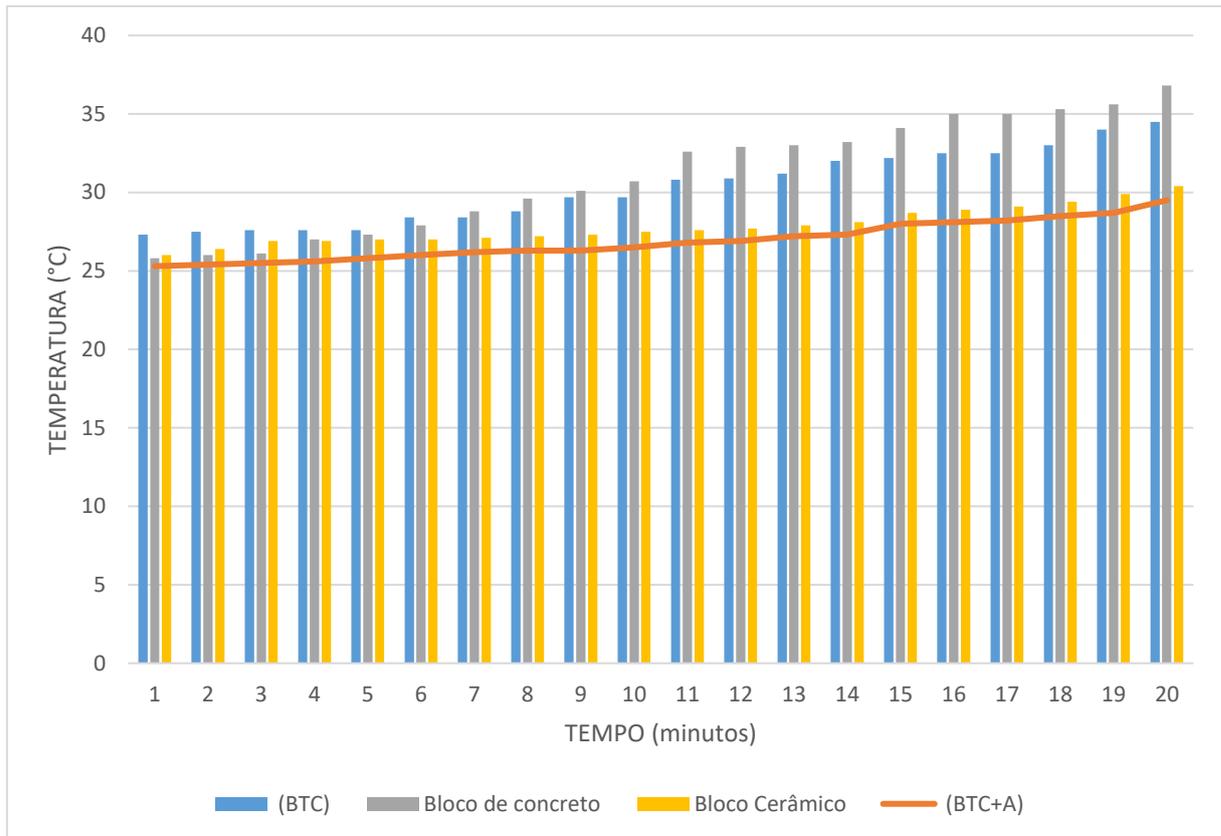
Tempo (minutos)	Temperatura (°C)			
	BTC	BTC+A	Bloco de concreto	Bloco Cerâmico
1	27,3	25,3	25,8	26
2	27,5	25,4	26	26,4
3	27,6	25,5	26,1	26,9
4	27,6	25,6	27	26,9
5	27,6	25,8	27,3	27
6	28,4	26	27,9	27
7	28,4	26,2	28,8	27,1
8	28,8	26,3	29,6	27,2
9	29,7	26,3	30,1	27,3
10	29,7	26,5	30,7	27,5
11	30,8	26,8	32,6	27,6
12	30,9	26,9	32,9	27,7
13	31,2	27,2	33	27,9
14	32	27,3	33,2	28,1
15	32,2	28	34,1	28,7
16	32,5	28,1	35	28,9
17	32,5	28,2	35	29,1
18	33	28,5	35,3	29,4
19	34	28,7	35,6	29,9
20	34,5	29,5	36,8	30,4

Fonte: Autor, (2019).

A princípio, é possível constatar que a alvenaria composta por BTC+A apresentou o melhor conforto térmico, enquanto que a alvenaria de blocos de concreto obteve o pior resultado. Fazendo uma comparação da alvenaria de BTC+A com as de bloco cerâmico, BTC e bloco de concreto, nota-se que houve uma redução de temperatura respectivamente de 0,2°C, 3°C e 6,8°C.

O mais interessante é que dois tijolos geometricamente iguais, porém um contendo 30% de argila expandida, apresentou uma redução de temperatura de 3°C.

**Gráfico 2 - Desempenho térmico apresentado pelas alvenarias.**

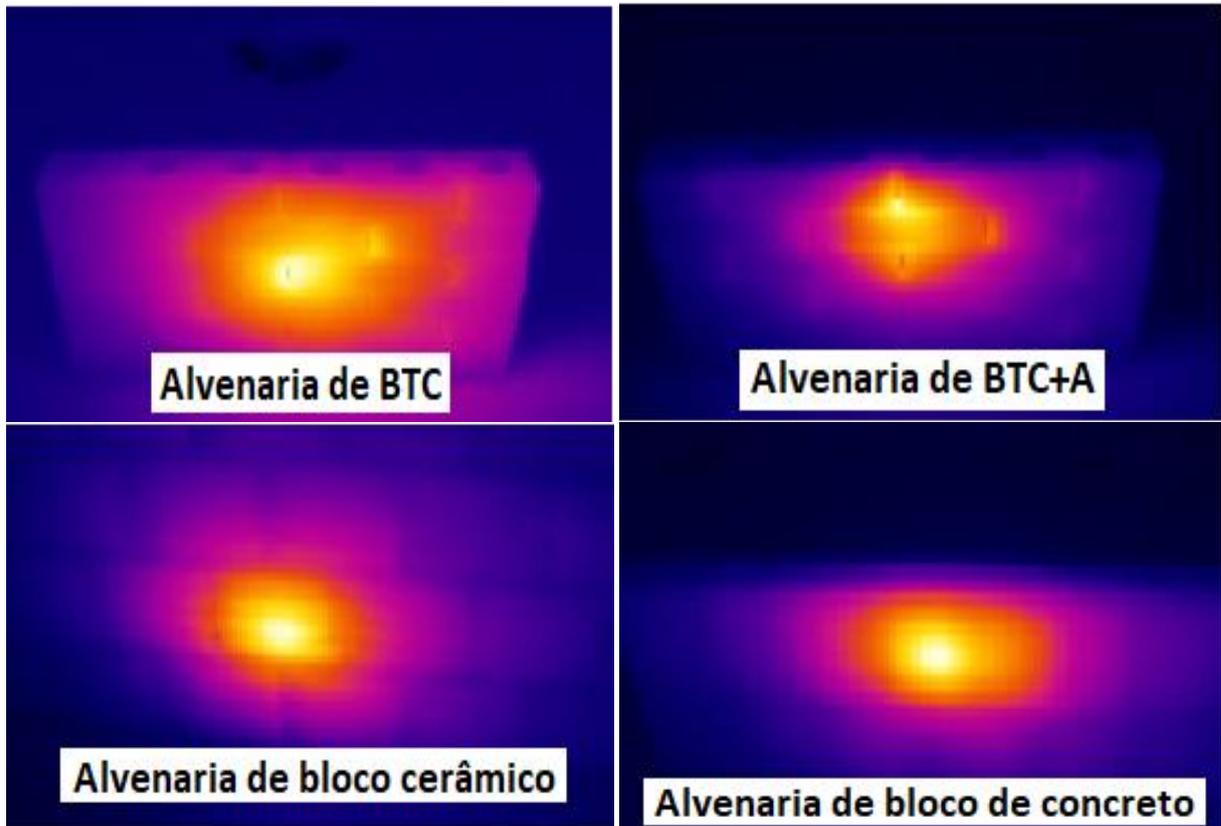


Fonte: Autor, (2019).

Analisando o Gráfico 2, nota-se que a curva de dispersão, representada pelo BTC+A, ficou abaixo de todos os gráficos de coluna representados pelo BTC, bloco de concreto e bloco cerâmico. Isso confirma o melhor desempenho apresentada pela alvenaria de BTC+A.

A Figura 20 representa os resultados finais da transferência de calor nas alvenarias, por meio do uso de uma câmera térmica. Quanto mais próximo do amarelo e laranja for a imagem, mais quentes são esses pontos, o contrário ocorre para a cor azul.

Figura 20 – Imagens da câmera térmica.



Fonte: Autor, (2019).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Efetivamente, o trabalho conseguiu demonstrar por meio do método prático, que quando se adiciona argila expandida a tijolos de solo-cimento, o mesmo apresenta uma redução com relação à transferência de calor quando comparado com outros tipos de materiais.

Foi possível produzir tijolos ecológicos economicamente viáveis, com baixo teor de cimento, sendo o traço de 1:10 e o solo adquirido no próprio local. A alta durabilidade é avaliada por meio do índice de absorção de água, que também obteve valores satisfatórios conforme estabelecido por norma.

Para fabricação dos tijolos, não foi necessário fazer uso de energia elétrica, sendo todo o trabalho manual, feito com o auxílio de uma prensa manual. Também não houve emissão de gases poluidores, pois o processo de cura requer apenas água para que os tijolos adquiram suas propriedades finais.

O BTC+A, quando comparado com o BTC não apresentou redução com relação à resistência à compressão, ultrapassando todos os limites mínimos exigidos por norma.

Com relação as dificuldades surgiram várias ao longo do desenvolvimento da pesquisa, as quais destacam-se:

- Por ser um assunto relativamente novo no Brasil, há uma escassez de trabalhos técnicos relacionado a tijolos de solo-cimento com adição de argila expandida. Na verdade, não foi encontrado nada específico acerca do tema, toda a pesquisa foi bastante experimental e baseada em resultados de trabalhos voltados para concreto leve;
- Baixa disponibilidade de argila expandida laminada de 2,5 mm no Brasil;
- Após a prensagem dos tijolos, havia muito cuidado em retirá-los, pois os mesmos eram muito frágeis e acabavam quebrando.

As recomendações para os futuros trabalhos são as seguintes:

- Devido à escassez, recomenda-se que os assuntos sejam pesquisados de forma separada, ou seja, a princípio procura-se algo relacionado a solo-cimento e a argila expandida;

- Ver a disponibilidade da argila expandida laminada de 2,5 mm na região. Caso não seja encontrada, deve-se fazer a procura através da internet;
- Utilizar aditivos que melhorem a coesão inicial dos tijolos, tornando possível a sua retirada da prensa manual com maior facilidade.

## REFERÊNCIAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Dosagem da Misturas de Solo-Cimento – Normas de Dosagem e Métodos de Ensaios**. São Paulo, 2004. 57 p.

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Solo-Cimento**. 2009. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12253: **Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018. 12p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016, versão corrigida 2017. 5p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016. 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2019. 9p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: **Tijolo de solo-cimento**. Rio de Janeiro, 2013. 5p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: **Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. 4p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003. 6p

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009. 6p.

ABRAMS, Duff A. **Effect of Fineness of Cement**. Structural Materials Research Laboratory - Lewis Institute, Chicago. 1922. 86 p.

ALBUQUERQUE, et al. Resistência a Compressão de Tijolos de Solo-Cimento Fabricados com o Montículo do Cupim. **Ciênc. Agrotec**, Lavras, MG, v. 32, n. 2, p. 553 – 560, 2008.

ANGST, Eliana Reis. **Análise comparativa entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento**. 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2013.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2005. Volume 2.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2000. Volume 1.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à Engenharia: Conceitos, Ferramentas e Comportamentos**. 2. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2010. 270 p.

BORJA, Edilberto Vitorino. **Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis**. 2011. 231 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

Campo Grande News. **Versões modernas de casas feitas de terra tem o charme da cor natural à mostra.** Disponível em: <[encurtador.com.br/fNW34](http://encurtador.com.br/fNW34)>. Acesso em: 28 de abril de 2019.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa.** 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012. 902 p.

CINEXPAN. **Ficha Técnica da Argila Expandida – Referência Laminado de 2,5 mm.** Disponível em <<https://www.cinexpan.com.br/argila-expandida-lam-cinexpan.html>> Acesso em: 06 de maio de 2019.

Colégio Marista. **Crianças estudam o Egito em projeto de pesquisa.** Disponível em: <[encurtador.com.br/iyABM](http://encurtador.com.br/iyABM)>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

Congresso Brasileiro de Cerâmica, 48., 2004, Curitiba. **Caracterização Microestrutural de Argila Expandida para Aplicação como Agregado em Concreto Estrutural Leve.** Belo Horizonte, 2004. 12 p.

Congresso Nacional da Prefabricação em Betão, 2., 2008, Lisboa. **Betões Estruturais de Agregados Leves.** Lisboa: ANIPB, 2008. 16 p.

CORRÊA, Roberto Lázaro. **Sustentabilidade na Construção Civil.** 2009. 70 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, BH, 2009.

FRANCISCO, José Rosa. **Estudo da produção de tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de desconstrução e de um composto orgânico derivado de resina vegetal.** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, 2010.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa.** 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Parede de Painéis Monolíticos de Solo-Cimento.** Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=449>> Acesso em: 28 de abril de 2019.

IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Solo-Cimento, Solução Para Economia e Sustentabilidade**. Disponível em: <encurtador.com.br/vBN36> Acesso em: 28 de abril de 2019.

IEP, Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista. **Cartilha produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba: Editora UNIMEP, 2016. 73 p.

INCROPERA, et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012. 643 p.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **Princípios de Transferência de Calor**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda, 2011. 623 p.

Leroy Merlin. **Argila Expandida**. Disponível em: <encurtador.com.br/fqFGK>. Acesso em 19 de maio de 2019.

MENEZES, et al. Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos. **Revista Matéria**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 1, p. 226 – 236, 2007.

Minasit. **Argila expandia**. Disponível em: <encurtador.com.br/dhKX7>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

PARENTE, Everton Bezerra. **Avaliação do Comportamento Mecânico das Misturas de Solo-Cimento e Fosfogesso e Cimento para uso na Construção Rodoviária**. 2002. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A.; SANTOS, W. N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 031 – 039, 2010. ISSN 1517 – 7076.

SANTOS, Luís Manoel dos. **Melhoria do Comportamento Térmico de Elementos para Alvenaria da Envolvente: aplicação de blocos de argila expandida**. 2008. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

SAVARIS, W. K.; SILVA, L. O.; SANTOS, G. N. Tijolo solo-cimento: fabricação e utilização em construções que visam o equilíbrio ambiental. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, MS, v. 15, n. 1. 2018.

SILVA, Bruno Miguel Martins. **Betão Leve Estrutural com Agregados de Argila Expandida**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

TRENTIN, et al. Argamassa ecológica leve para regularização de contrapiso. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**. v. 05, n. 12, p. 80 – 91, 2017. ISSN 2317 – 8604.

Universidade Federal do Paraná. **Mecanismo de Transferência de Calor**. Disponível em <[encurtador.com.br/lyAKM](http://encurtador.com.br/lyAKM)> Acesso em: 04 de junho de 2019.  
VARGAS, Milton. **História da Técnica e da Tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994. 412 p.