

## **Análise de Desempenho Térmico de Bioconstrução em COB**

### *Thermal performance analyzes of a bioconstruction in COB*

Ana Laura Alves Mendonça<sup>1</sup>, Danilo Guimarães Almeida<sup>2</sup>

#### **Resumo**

Os impactos ambientais negativos oriundos da atividade humana se agravaram nas últimas décadas, e para se evitar estragos ainda maiores ao planeta, surge a necessidade de se repensar quesitos relacionados principalmente aos processos mais danosos ao meio ambiente. No setor da construção civil, técnicas de bioconstrução são empregadas com tal objetivo. A finalidade desta pesquisa é analisar o desempenho térmico das vedações bioconstruídas em cob para uma capela localizada na cidade de Rio Verde/GO. As vedações apresentam espessura média de 40 centímetros na base variando até 30 centímetros no topo. Desta forma, foram feitas análises para as espessuras da base, topo, e valor médio de 35 centímetros de acordo com procedimentos elucidados pelas ABNT NBR 15575:2013 seguindo o método simplificado da ABNT NBR 15220:2003. Devido à pouca informação relacionada às propriedades térmica do cob, também se fez necessária a realização de ensaios para que se pudesse determinar o calor específico, massa específica e condutividade térmica do material construtivo em análise. Através dos exames realizados foi possível averiguar que a edificação atende às exigências normativas para os três valores de espessura. Além disso, em relação às especificações quanto às aberturas para ventilação, a capela também atendeu aos requisitos garantindo conforto térmico adequado ao imóvel.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável. Bioconstrução. cob. Desempenho térmico. Vedações verticais externas.

---

<sup>1</sup> analauraalvesss@gmail.com, Graduanda, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

<sup>2</sup> dalmeida@unirv.edu.br, Professor Adjunto, Mestre, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

## 1. Introdução

A construção civil representa métodos milenares indispensáveis para os seres humanos devido à necessidade de se abrigar e proteger das intempéries da natureza. Diversas técnicas construtivas vêm sendo empregadas durante um longo período da história da humanidade. Segundo Lourenço e Branco (2013), desde então o homem buscava cavernas para se acomodar temporariamente. Porém, logo veio à necessidade de se estabelecer em um único local, portanto passou a se pensar em melhores tipos de moradias e houve grande aprimoramento dos métodos e dos materiais construtivos a fim de reduzir o tempo no processo da construção e elevar seu grau de qualidade. A partir do desenvolvimento de novos materiais de construção, percebeu-se que alguns deles apresentavam impactos ambientais negativos, como emissão de gases poluentes, consumo de recursos naturais e energéticos e o descarte inadequado (NAVARRO, 2006).

Dentre todos os setores geradores de resíduos sólidos, o da construção é um dos que apresentam maiores impactos devido a seu enorme desperdício. Um estudo feito por Pinto (1999) em cidades do estado de São Paulo mostra que a contribuição do setor da construção civil é responsável por mais de 50% da geração de resíduos sólidos urbanos. Além disso, segundo o IBGE no ano de 2016 o índice de RCD (resíduo de construção e demolição) foi de 123.619 tonelada/dia. A produção do cimento também traz dados preocupantes relacionados a poluição por emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). No ano de 2005 houve emissão de 14349 milhares de toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  ( $\text{GgCO}_2\text{eq}$ ) e no ano de 2012 25309 milhares de toneladas equivalente de  $\text{CO}_2$ , totalizando uma variação de 76,4% (MCTI, 2014).

Segundo o Censo de 2010 (IBGE), houve um aumento na urbanização de 53,12% se comparado ao ano de 1940, ao longo desses 70 anos o percentual aumentou consideravelmente refletindo no acréscimo da produção de resíduos pela indústria da construção civil. Para que se possa reduzir o impacto negativo dos materiais utilizados na construção e conciliar progresso e sustentabilidade é preciso pensar novas formas de construir que sejam menos agressivas ao Planeta. A técnica de bioconstrução vem com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável na construção civil estimulando a mentalidade de redução e reutilização dos resíduos, empregando sistemas construtivos que respeitem o meio ambiente com o uso de materiais de baixo impacto (MMA, 2008).

Um material clássico com importância histórica e de caráter universal muito utilizado no passado é o solo. Foi empregado em diversos tipos de construções e entrou em desuso

devido ao desenvolvimento de novos materiais. A construção com terra crua atende ao que propõem o desenvolvimento sustentável, pois utiliza matéria prima local diminuindo o consumo energético e a geração de entulho (RODRIGUES, 2014). Segundo a cartilha de bioconstrução do Ministério do Meio Ambiente (2008) há diversas técnicas construtivas com terra, como: superadobe, adobe, cob, taipa de mão e taipa de pilão.

Em busca de uma alternativa que favoreça ao meio ambiente a técnica construtiva cob que tem como material principal a terra crua, a palha e a água, é muito eficiente nos termos da sustentabilidade, pois no caso de reformas ou demolições os rejeitos podem ser remodelados, e podem também voltar a virar solo. Além do que é um material sem utilização de carbono tanto para sua produção como para transporte. Como outras vantagens, alega-se que possui bom desempenho termo-acústico e seu custo de implantação é mais vantajoso que os métodos tradicionais, porém duas de suas principais limitações são a resistência sísmica e vulnerabilidade em relação à água (GONÇALVES;GOMES, 2012). Minke (1994) corrobora com as vantagens de construções em terra alegando que em países industrializados em que a exploração dos recursos ocorre de forma desenfreada, a terra ressurgiu como meio de construir em harmonia com o meio ambiente e traz qualidades melhores que alguns materiais industrializados.

Em contrapartida, segundo Soares (2008), uma das principais desvantagens em construir com terra é devido ao material não ser padronizado mudando as características do solo, em função da região em que este foi coletado, além de ser um material muito permeável e sofrer de retração durante o período de secagem. Para evitar esses problemas se faz necessário a criação de metodologias construtivas e parâmetros para que os solos utilizados atendam, além da disseminação de técnicas que protejam o material contra retrações, e por fim fazer análise do desempenho de edificações construídas com esse tipo de material de acordo as normas vigentes.

Todo sistema construtivo deve apresentar bom desempenho quanto a alguns requisitos para que se torne habitável, a ABNT NBR 15575 (2013) estabelece que toda edificação deve ser capaz de proporcionar um mínimo de conforto térmico estabelecido pelo item 11.2.1 de acordo com sua zona bioclimática definida pela ABNT NBR 15220-3.

Técnicas de bioconstrução, incluindo-se o cob, geralmente são utilizadas em ecovilas, ambientes rurais, e locais afastados de centros urbanos. Como consequência, são realizadas de forma empírica com baixo controle das técnicas construtivas e materiais utilizados, e raramente se verifica se estas edificações atendem a requisitos de desempenho

estabelecidos por normas. Vistas as vantagens do cob, este trabalho se propõe a determinar se uma construção onde esta técnica foi empregada, atende aos critérios de desempenho térmico estabelecidos pelas NBR 15575:2013 e NBR 15220:2003 com o intuito de difundir esta técnica de bioconstrução.

O bom desempenho térmico das vedações proporciona conforto nos ambientes de maior permanência. Logo esse trabalho visa avaliar o desempenho térmico das alvenarias externas, para proporcionar bem-estar aos usuários, visto que as vedações externas são as que mais sofrem com a variação de temperatura e incidência de radiação solar.

### 1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho térmico da edificação construída em COB pelo método simplificado da NBR 15575:2013.

### 1.2 Objetivo Específico

- Determinar o calor específico e condutividade térmica do material;
- Determinar a transmitância e a capacidade térmica;
- Comparar o desempenho térmico da edificação com o desempenho mínimo exigido pela ABNT NBR 15575.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Material

A obra estudada é uma capela localizada no município de Rio Verde/GO, na fazenda Céu do Beija Flor. Foi aplicada a técnica da bioconstrução em cob utilizando-se um traço de seis partes de argila, duas partes de areia grossa, uma parte de esterco de gado, meia parte de palha e água foi adicionada até que se atingisse trabalhabilidade adequada para moldar a estrutura. As paredes foram confeccionadas com espessura de 40 cm na base e 30 cm no topo. A edificação tem área total de 136 m<sup>2</sup> com pé direito de 3 m e abertura para ventilação correspondente a 30 m<sup>2</sup>. Está situada na região da zona bioclimática 6. A projeção hexagonal prevista no projeto arquitetônico foi adaptada para a bioconstrução como mostram as Figuras 1 e 2.

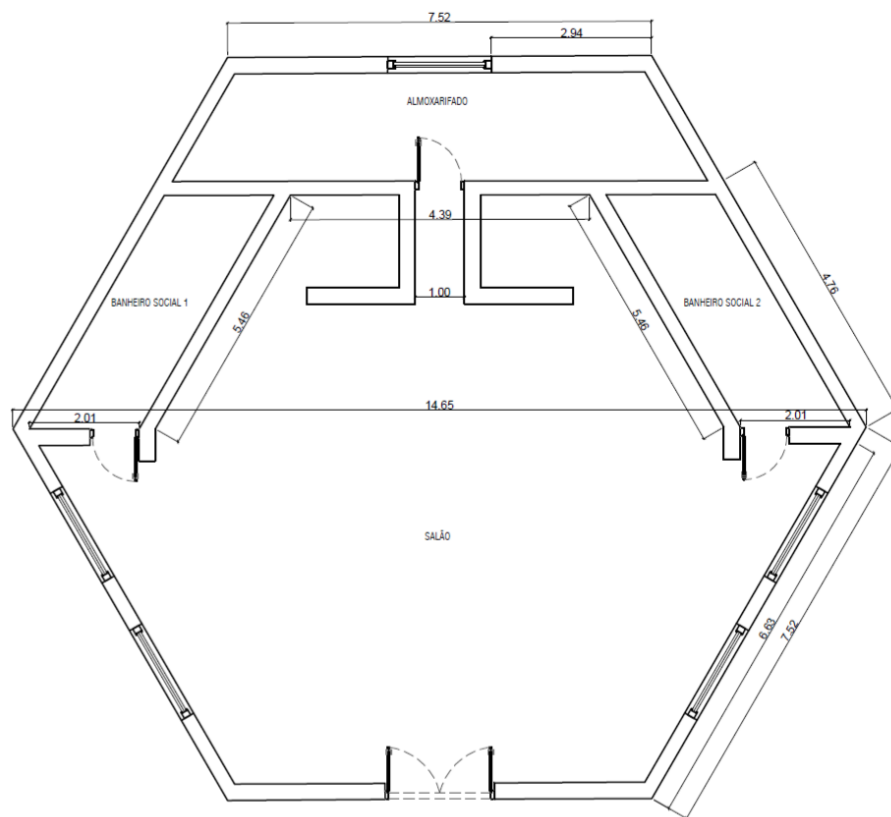


Figura 1 – Projeto Arquitetônico Original.

Fonte: Cedido pelo Proprietário da Edificação (2018).



Figura 2 – Capela em Fase de Construção.

Fonte: Própria (2019).

## 2.2 Métodos

Conforme a NBR 15575 (ABNT,2013) a construção deve unir características que atendam ao desempenho térmico considerando a zona bioclimática indicada na ABNT NBR 15220-3:2003 como mostra a Figura 3. Para a avaliação da conformidade com a norma há três formas de medir o desempenho térmico das edificações, sendo o método simplificado ou normativo, o procedimento de medição em campo e a simulação computacional.

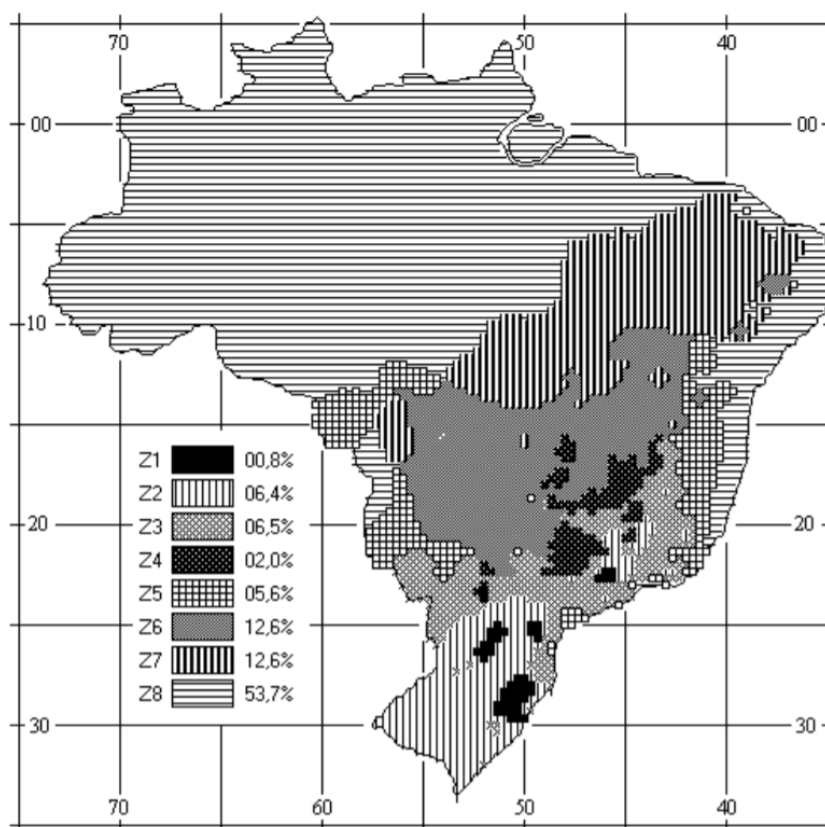


Figura 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro.

Fonte: ABNT NBR 15220 (2003).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) especifica os níveis de aceitação para o desempenho mínimo, que é avaliado pelo método simplificado, entretanto em situações em que esse mínimo não é atingido é aplicado o método de simulação computacional. As vedações devem apresentar valores para a transmitância e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho mínimo determinado por norma.

A metodologia de cálculo é apresentada pela ABNT NBR 15220-2 e os parâmetros para a capacidade e a transmitância térmica são apresentados nos Quadros 1 e 2. Depois

de realizados os cálculos é possível verificar se a construção atende aos requisitos para um bom desempenho térmico. Para a avaliação da transmitância térmica é necessário definir a absorvância à radiação das superfícies expostas, levando em consideração a cor das paredes expostas.

Quadro 1 – Transmitância térmica.

<b>Transmitância térmica U (W/m<sup>2</sup>. K)</b>		
Zona 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
$\alpha^a$ é a absorvância a radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013).

Quadro 2 – Capacidade térmica de paredes externas.

<b>Capacidade térmica (CT) (kJ/m<sup>2</sup>. K)</b>	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013).

Do mesmo modo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) apresenta critérios para a abertura adequada nas fachadas em ambientes de longa permanência, como salas e dormitórios, a fim de proporcionar a ventilação interna dos ambientes. As aberturas para ventilação devem ter áreas que atendam a legislação local, códigos de obras e códigos sanitários. Caso não disponha de nenhuma determinação de ordem legal, serão utilizados os valores apresentados na Quadro 3.

Quadro 3 – Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

<b>Nível de desempenho</b>	<b>Abertura para ventilação (A)</b>	
	<b>Zonas 1 a 7 - Aberturas médias</b>	<b>Zona 8 - Aberturas grandes</b>
Mínimo	A ≥ 7% da área do piso	A ≥ 12% da área de piso - região norte do Brasil
		A ≥ 8% da área de piso - região nordeste e sudeste do Brasil
NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período frio.		

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013).

A fim de avaliar o desempenho térmico das vedações construídas em bioconstrução foram necessários realizar ensaios para obtenção do calor específico, densidade da massa aparente e condutividade térmica do composto, visto que não foi possível encontrar na literatura esses valores para o material utilizado. Tais informações são necessárias para os cálculos da transmitância e capacidade térmica.

Segundo Atkins e Jones (2001), a densidade de um gás assim como de qualquer substância é a razão entre a massa pelo volume. A densidade aparente de um sólido considera o volume total da amostra incluindo o espaço de vazios, portanto a determinação dessa propriedade consiste na medida do volume e pesagem de uma determinada amostra como mostra a Equação 1 (JOÃO ALVES; SILVIA CRISTINA ALVES; PAULO FERNANDO ALMEIDA, 2007).

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

d: Densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>)

m: Massa (kg)

V: Volume (m<sup>3</sup>)

Para a determinação da densidade aparente do material foi utilizado um recipiente de volume e massa conhecido, acrescido do elemento em estudo e pesado para obter a densidade.

Partindo do conceito do calor específico citado por Çengel e Ghajar (2012), em que ele é definido como a energia necessária para aumentar a temperatura em um grau de uma unidade de massa de um dado elemento, e considerando que o material permaneça com volume praticamente constante durante o processo pode-se aproximá-lo das substâncias incompressíveis cujo volume não varia com mudanças na temperatura, sendo assim, a variação de energia necessária será expressa pela Equação 2.

$$\Delta U = m * C_{med} * \Delta T \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$\Delta U$ : Variação de Energia (kJ)

m: Massa (kg)

$C_{med}$ : Calor específico médio calculado no intervalo de temperatura considerado (kJ/kg.°C)



$\Delta T$ : Variação de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

O calorímetro é um isolante térmico e tem a finalidade de evitar que a mistura perca calor para o meio externo. Utilizou-se a água como substância de comparação com o COB, pois seus parâmetros térmicos são conhecidos. Desta forma o somatório do calor trocado dentro do equipamento entre a água e cob será igual a zero, desconsiderando a capacidade térmica do calorímetro temos então a Equação 3.

$$m_{H_2O} * C_{H_2O} * \Delta T_{H_2O} + m_{cob} * C_{cob} * \Delta T_{cob} = 0 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$C_{cob}$ : Calor específico do COB (cal/g. $^{\circ}\text{C}$ )

$m_{cob}$ : Massa do COB (g)

$\Delta T_{cob}$ : Variação de temperatura do COB ( $^{\circ}\text{C}$ )

$m_{H_2O}$ : Massa da água (g)

$C_{H_2O}$ : Calor específico da água (cal/g. $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T_{H_2O}$ : Variação de temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ )

O primeiro passo dos cálculos consiste em isolar o calor específico do cob da Equação 3, conforme ilustrado na Equação 4.

$$C_{cob} = \frac{m_{H_2O} * C_{H_2O} * \Delta T_{H_2O}}{m_{cob} * \Delta T_{cob}} \quad \text{Equação 4}$$

Para o ensaio foi construído um calorímetro, como mostra a Figura 4, utilizando um recipiente de alumínio isolado, com isopor de 50 mm de espessura, em que foram colocadas 198g de água a uma temperatura conhecida, e aquecido o corpo de prova em estufa por 24h com temperatura também conhecida. Quando água e COB a temperaturas diferentes, foram postos dentro de um recipiente isolado termicamente, a mistura tende atingir o equilíbrio térmico. Desse modo, conseguiu-se obter o valor da temperatura já estabilizada depois de passados 90 segundos. Este ensaio foi repetido três vezes para se obter a média do valor encontrado para o calor específico.

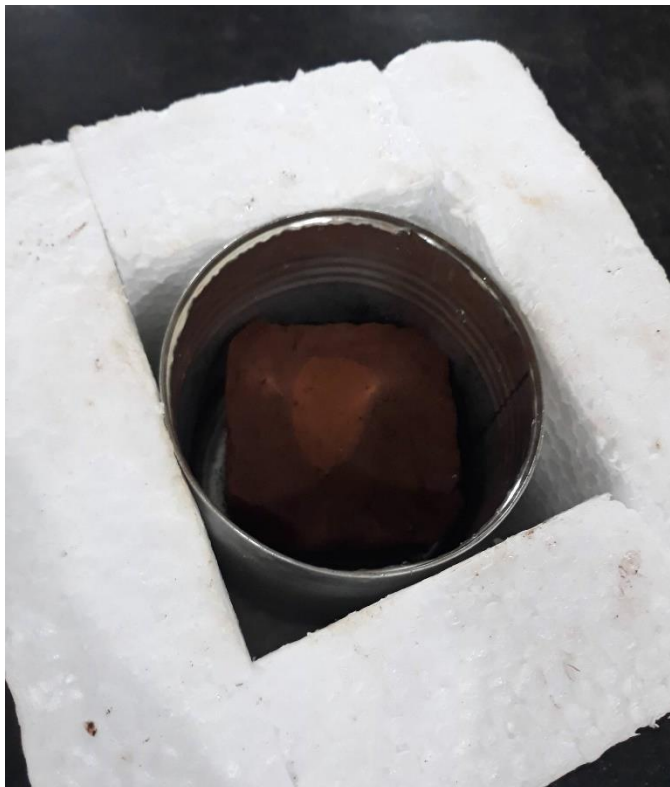


Figura 4 – Calorímetro com COB para análise

Fonte: Própria (2019).

Consequente ao ensaio de calor específico foi realizado o ensaio de condutividade térmica, que é constante de proporcionalidade característica do meio condutor. Partindo do conceito de que um material de espessura e área conhecidas quando aquecidos em uma de suas faces, se isolado a outra face apropriadamente, é possível determinar a condutividade medindo a temperatura em ambas as superfícies e quando a transferência de calor em regime permanente é atingida pode-se então aplicar a Equação 5 para à obtenção da condutividade térmica (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

$$\frac{dQ}{dT} = \lambda A * \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} = -\lambda A * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$\frac{dQ}{dT}$ : Taxa de transferência de calor por um intervalo de tempo (W)

$\lambda$ : Condutividade térmica (W/m.K)

T1: Temperatura inicial (°C)

T2: Temperatura final (°C)

$\Delta x$ : Espessura (m)

$\Delta T$ : Variação de temperatura (°C)

O ensaio de condutividade foi realizado aplicando o conceito apresentado por Cavalcante (2005), em que o objetivo é gerar uma variação de temperatura conhecida junto a um equipamento que contenha o material a ser testado, gerando um fluxo de energia e, por meio de cálculos determinar a condutividade térmica do material. Uma variação térmica facilmente obtida é a de 100°C, que pode ser conseguida utilizando gelo em fusão e o sistema água-vapor de água, desprezando as ações de umidade, temperatura ambiente e pressão, considerando então o primeiro a 0°C e o segundo a 100°C. Essa divergência de temperatura faz o gelo derreter e através da massa de gelo transformada em água é possível obter a quantidade de calor fornecida ao gelo pela definição do processo isobárico em que a pressão permanece constante, e sabendo que para fundir 1 kg de gelo é preciso fornecer-lhe uma quantidade de calor L, chamada calor latente, então temos:

$$dQ = L_{\text{gelo}} * m \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$dQ$ : Quantidade de calor necessária para mudança de estado físico (Joule)

m: Massa de água (Kg)

$L_{\text{gelo}}$ : Calor latente do gelo (J/Kg)

Desta forma, pode-se substituir a Equação 6 na Equação 5 como mostra a Equação 7.

$$\lambda = \frac{L_{\text{gelo}} * m * \Delta x}{A * \Delta T * \Delta t}$$

Equação 7

Onde:

$\lambda$ : Condutividade térmica (W/m°C)

L<sub>gelo</sub>: Calor latente do gelo (J/Kg)

m: Massa da água (Kg)

$\Delta x$ : Espessura (m)

A: Área do corpo de prova (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$ : Variação de temperatura (°C)

$\Delta t$ : Variação do tempo (s)

Foi construído um sistema para se obter a variação térmica de 100°C, utilizando dois recipientes cilíndricos de isopor com espessura de 2 cm, uma mangueira com 1 m de comprimento resistente a altas temperaturas, um balão volumétrico, um termômetro e um fogareiro. Um dos recipientes foi lubrificado com graxa, abastecido de água e submetido ao congelamento por 24 horas, se tornando a câmara fria do experimento. A embalagem foi lubrificada para permitir o escorregamento do gelo até o corpo de prova evitando a formação de uma bolsa de ar entre o gelo e o corpo de prova. O ar é um excelente isolante térmico, e sua presença iria influenciar nos resultados obtidos.

A câmara quente foi ocupada por vapor de água gerado pela ebulição da água, em um balão volumétrico e conduzido até o recipiente pela mangueira, como mostram as Figuras 5 e 6. Para ter maior precisão nos resultados foi adaptado um termômetro próximo ao corpo de prova, para aferir a real temperatura do vapor devido as perdas de calor pelo sistema para o meio externo ao longo da mangueira. Sabendo a variação de temperatura e medindo a massa de gelo derretida em intervalos de tempo de um minuto durante um período total de 6 minutos, foi possível realizar os cálculos para obtenção da condutividade térmica. Foram utilizados corpos de provas cilíndricos com espessura de 0,02 m, diâmetro de 0,102 m e área de 0,008 m<sup>2</sup>.

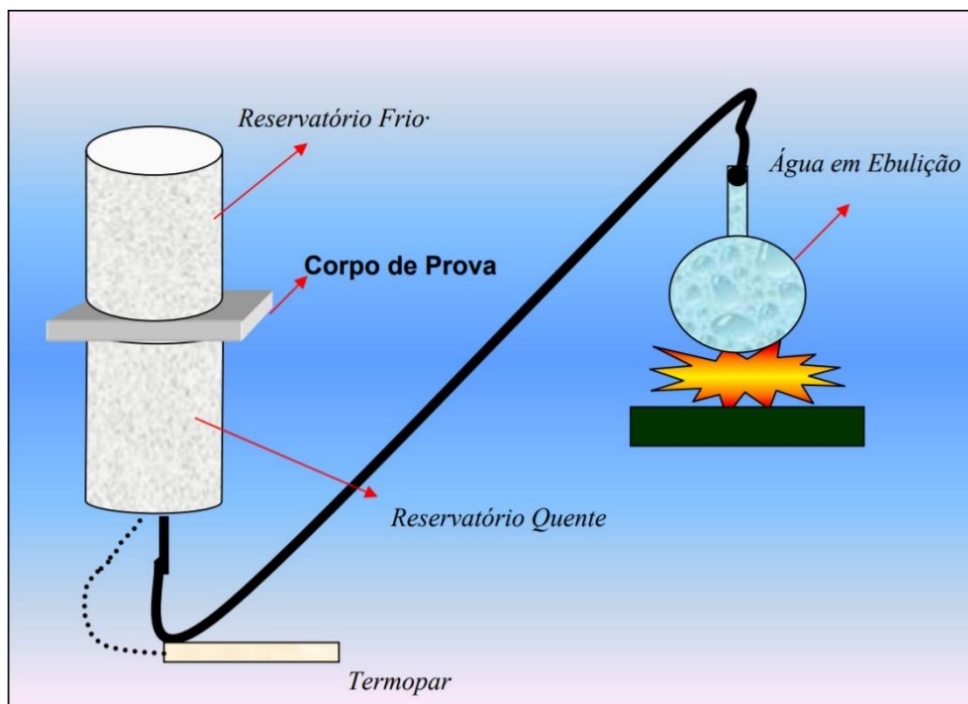


Figura 5 – Esquema do experimento da condutividade térmica

Fonte: Cavalcante (2005).



Figura 6 – Experimento da condutividade térmica

Fonte: Própria (2019).

Para os resultados da transmitância e capacidade térmica utilizou-se a média dos resultados obtidos com os experimentos. Os cálculos iniciaram-se para definição da resistência térmica, através das Equações 8 e 9 apresentadas na ABNT NBR 15220-2. Quando a alvenaria é assentada por blocos, rebocadas com argamassa e pintura, é necessário realizar o procedimento de cálculo por seções. Por este trabalho tratar de um material uniforme sem revestimento, será realizado o cálculo da resistência e da resistência total sem o dividir em seções.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Equação 8}$$

$$RT = R_{si} + R + R_{se} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

R: Resistência térmica de um componente ( $m^2.K/W$ )

e: Espessura (m)

$\lambda$ : Condutividade térmica ( $W/m.K$ )

RT: Resistencia térmica total ( $m^2.K/W$ )

Rsi: Resistencia térmica superficial interna ( $m^2.K/W$ )

Rse: Resistencia térmica superficial externa ( $m^2.K/W$ )

Em seguida é realizado o cálculo da transmitância térmica, definido pela Equação 10.

$$U = \frac{1}{RT} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

U: Transmitância térmica de um componente ( $W/m^2.K$ )

RT: Resistencia térmica total ( $m^2.K/W$ )

Tendo em conta a alvenaria em estudo, o cálculo da capacidade térmica foi realizado por meio da Equação 11 e os resultados apresentados no Quadro 5.

$$CT = \sum(ei) * (ci) * (\rho i)$$

Equação 11

Onde:

CT: Capacidade térmica de um componente (kJ/m<sup>2</sup>. K)

e: Espessura de uma camada (m)

c: Calor específico (kJ/kg. K)

$\rho$ : Densidade da massa aparente do material (kg/m<sup>3</sup>)

O cálculo relacionado às aberturas de acordo com a zona bioclimática local é apresentada pela Equação 12, não podendo apresentar abertura inferior a 7% da área do piso avaliado, como mostra a Tabela 3.

$$A = 100 * \left[ \frac{Aa}{Ap} \right] \%$$

Equação 12

Onde:

A: Área (%)

Aa: Área efetiva de abertura de ventilação do ambiente (m<sup>2</sup>)

Ap: Área de piso do ambiente (m<sup>2</sup>)

### 3. Resultados e discussões

Os resultados atingidos pelo método exposto na norma tratam a influência da capacidade e transmitância térmica das alvenarias externas com o intuito de verificar a possibilidade de se obter um mínimo desempenho térmico. O valor encontrado para a densidade de massa aparente do material foi de 1800 kg/m<sup>3</sup> similar ao encontrado na literatura, para terra argilosa seca de 1700 kg/m<sup>3</sup>. Em seguida encontrou-se valores para o calor específico do material utilizando três amostras para se obter uma média entre os valores encontrados, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Cálculo do Calor Específico.

<b>Calor Específico</b>			
-	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>
Massa da Água (g)	198	198	198
Massa do COB (g)	397	419	441
T inicial Água (°C)	25.1	25	24.9
T inicial COB (°C)	105	104.1	105.2
T final Água (°C)	49	56.5	53
T final COB (°C)	49	56.5	53
$\Delta T$ Água (°C)	23.9	31.5	28.1
$\Delta T$ COB (°C)	-56	-47.6	-52.2
C Água (cal/g.°C)	1	1	1
C COB (cal/g.°C)	0.22	0.32	0.25
C COB (kJ/kg.K)	0.93	1.34	1.05
Média Ccob (kJ/kg.K)	1.11		

Fonte: Própria (2019).

O resultado obtido da média das três amostras de cob foi considerado razoável visto que não foi levado em consideração a capacidade térmica do calorímetro. Quando comparado ao valor do calor específico da terra argilosa seca de 0,84 kJ/kg.K apresentado na ABNT NBR 15220-2, que é o material com maior proporção no traço utilizado apresenta uma diferença de 30% em relação ao encontrado para o cob. Levando em consideração que o material estudado é uma mistura heterogênea e o valor encontrado está próximo ao referencial da norma.

Em seguida encontraram-se valores para a condutividade térmica do material, sendo estudadas duas amostras em um período de 360 segundos. Para o cálculo da condutividade foi utilizado o calor latente de fusão da água, que é a quantidade de energia necessária para fundir 1,0 quilograma de dada substância. Para a água o calor latente de fusão é 334944 J/kg. Os valores encontrados para a condutividade estão apresentados no Quadro 5 e 6.



Quadro 5 – Cálculo da condutividade térmica da amostra 1.

Condutividade Térmica								
Tempo	Amostra 1							
	Massa (kg)	T quente (°C)	T gelo (°C)	Massa derretida (kg)	$\Delta T$	K [W/m°C]	K [W/m.K]	Média
INICIAL	0.343	-	-	-	-	-	-	0.583
60 s	0.339	94	0	0.004	94	0.72	0.72	
120 s	0.336	93	0	0.003	93	0.546	0.546	
180 s	0.334	92	0	0.002	92	0.368	0.368	
240 s	0.33	90	0	0.004	90	0.752	0.752	
300 s	0.327	91	0	0.003	91	0.558	0.558	
360 s	0.324	92	0	0.003	92	0.552	0.552	

Fonte: Própria (2019).

Quadro 6 – Cálculo da condutividade térmica da amostra 2.

Condutividade Térmica								
Tempo	Amostra 2							
	Massa (kg)	T quente (°C)	T gelo (°C)	Massa derretida (kg)	$\Delta T$	K [W/m°C]	K [W/m.K]	Média
INICIAL	0.472	-	-	-	-	-	-	0.433
60 s	0.467	92	0	0.005	92	0.872	0.872	
120 s	0.464	93	0	0.003	93	0.518	0.518	
180 s	0.463	93	0	0.001	93	0.173	0.173	
240 s	0.46	93	0	0.003	93	0.518	0.518	
300 s	0.459	93	0	0.001	93	0.173	0.173	
360 s	0.457	94	0	0.002	94	0.342	0.342	

Fonte: Própria (2019).

O resultado obtido é a média da condutividade para cada intervalo de 60 s como estão listados. Logo, fazendo a média final das duas amostras obtém-se 0,51 W/m.K. O valor encontrado na bibliografia para terra argilosa seca que é um material similar ao em estudo é de 0,52 W/m.K. Com os resultados do calor específico e condutividade térmica obtidos e aplicando o método simplificado da NBR 15220-2 conforme a NBR 15575-4 foram realizados os cálculos da transmitância e capacidade térmica.

Como a alvenaria estudada apresenta variações verticais de espessura, fez-se os cálculos da resistência, transmitância e capacidade térmica para as três situações como

mostra o Quadro 7. Onde a espessura de 0,3 m representa a região superior da parede, a de 0,35 e seção média, e a de 0,4 m a base. Para o cálculo da resistência térmica total foi considerada a direção do fluxo de calor horizontal para obtenção dos valores de resistência superficial interna e externa apresentados no Anexo A da NBR 15220-2.

Quadro 7 – Cálculo da Resistência, Transmitância e Capacidade Térmica.

<b>Cálculo da Resistência Térmica</b>			
-	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Espessura (m)	0.3	0.35	0.4
Condutividade Térmica (W/(m.K))	0.51	0.51	0.51
Resis. Térmica Superficial Interna (RSI)	0.13	0.13	0.13
Resis. Térmica Superficial Externa (RSE)	0.04	0.04	0.04
Resistência Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0.59	0.69	0.79
Resistência Térmica Total (m <sup>2</sup> K/W)	0.76	0.86	0.96
<b>Cálculo da Transmitância Térmica</b>			
-	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Transmitância Térmica (W/m <sup>2</sup> K)	1.32	1.17	1.05
<b>Cálculo da Capacidade Térmica</b>			
-	Situação 1	Situação 2	Situação 3
Capacidade Térmica Ct (kJ/m <sup>2</sup> )	599.4	699.3	799.2

Fonte: Própria (2019).

A Figura 7 exibe os resultados da transmitância térmica obtidos para as três situações de cálculo comparado-se com os requisitos mínimos denotados pela norma. Considerando o valor da absorvância a radiação das alvenarias externas ( $\alpha=0,7$ ), que é o valor dado pela norma para cores escuras. Os resultados encontrados para a transmitância térmica nas três situações foram satisfatórios, visto que para atender ao que pede a norma a transmitância deve ser menor ou igual a 2,5 W/m<sup>2</sup>.K. Observa-se que para a situação mais crítica (espessura igual a 30 cm), o valor da transmitância térmica é 47,2% inferior ao limite normativo.

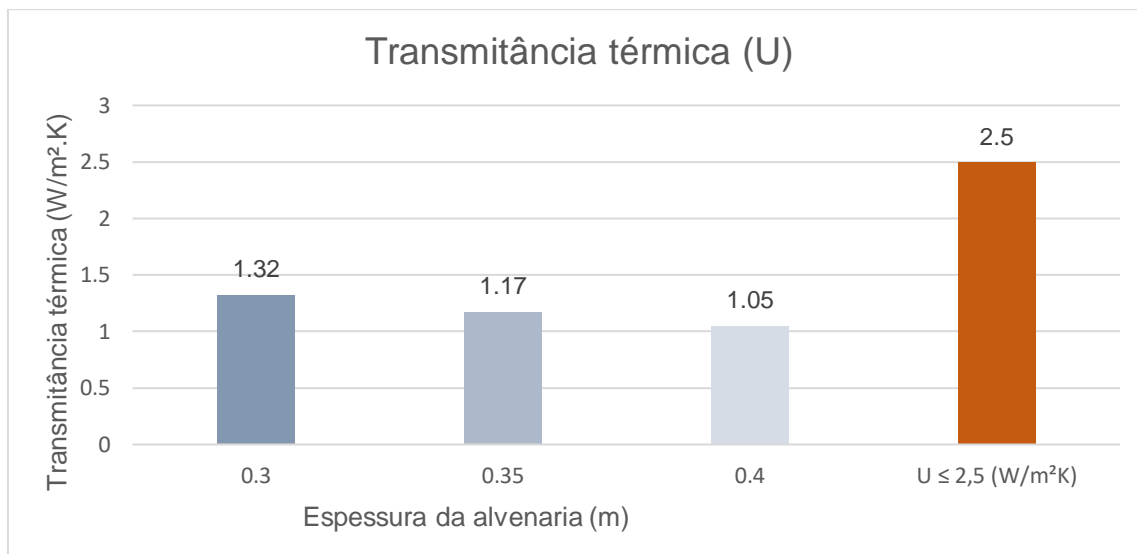


Figura 7 – Verificação de desempenho de transmitância térmica.

Fonte: Própria (2019).

Na Figura 8 são apresentados os resultados para a capacidade térmica para as três situações de cálculo. Os dados obtidos para a capacidade térmica atendem ao que é determinado pela norma sendo nas três situações maiores que 130 kJ/m<sup>2</sup>.K. Deste modo, a situação mais crítica representada pela parede com espessura de 30 centímetros apresenta valor de capacidade térmica 461,07% acima do valor mínimo exigido pela norma.

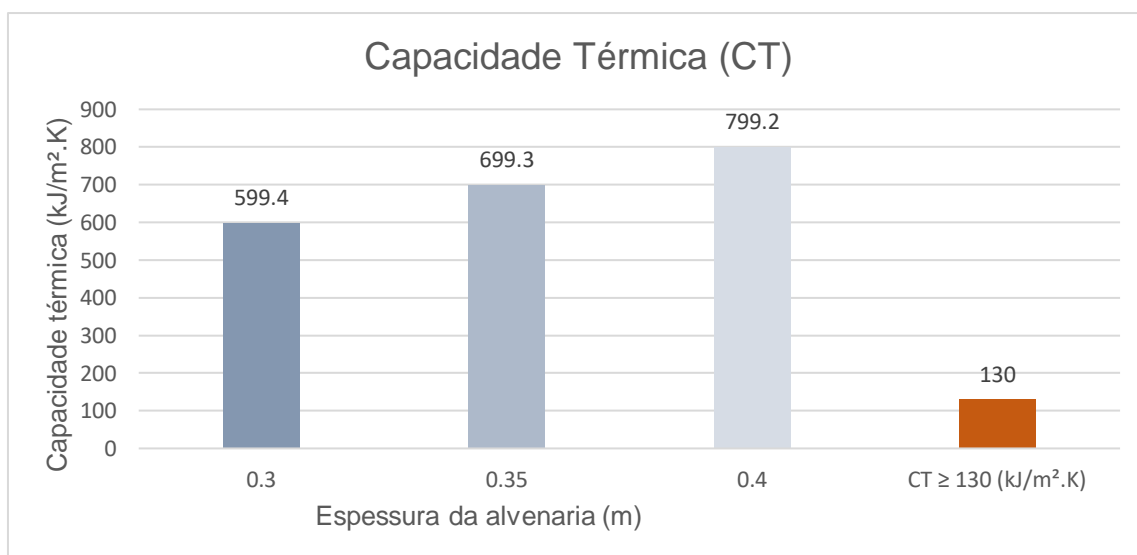


Figura 8 – Verificação de desempenho de capacidade térmica.

Fonte: Própria (2019).

Com base nos estudos realizados para a transmitância e capacidade térmica das alvenarias externas construídas com a técnica bioconstrutiva COB evidencia-se que o material utilizado atende com folga aos requisitos recomendados pela ABNT NBR 15575:2013. Nota-se que na condição em que a espessura da vedação é de quarenta centímetros são apresentados resultados mais satisfatórios quanto ao desempenho, demonstrando que as espessuras da alvenaria estão diretamente relacionadas com um bom desempenho térmico. No entanto, as paredes mais finas, com espessura igual a trinta centímetros, já atendem com folga aos requisitos normativos. Desta forma, apenas sob a ótica do desempenho térmico, pode-se afirmar que seria possível executar toda a edificação com paredes de trinta centímetros de espessura ou com doze centímetros, que é a espessura mínima para que a alvenaria em cob atenda aos requisitos da norma.

Na verificação quanto as aberturas para ventilação é estabelecido por norma que os ambientes de longa permanência possuam aberturas iguais ou superiores a 7% da área do piso considerando a zona bioclimática 6, como mostra a Figura 3. Como a edificação em estudo se trata de uma capela, o ambiente de longa permanência adotado foi o salão principal, em que a área do piso e as áreas de abertura para ventilação correspondem, respectivamente a 91,80 m<sup>2</sup> e 27,91 m<sup>2</sup>. Assim sendo, a edificação atende ao requisito da ventilação tendo 30,41% de abertura em relação à área do piso.

#### **4. Conclusões**

A busca por bem-estar e qualidade de vida através das edificações são fatores primordiais na hora de se optar pela técnica construtiva. O aperfeiçoamento de técnicas em consonância com aspectos ambientais alinha-se com a necessidade de estudos que determinam se tal técnica atende aos requisitos mínimos de conforto dos usuários.

O material estudado apresentou em todas as situações de cálculo valores para transmitância e capacidade térmica, que atendem com folga os valores exigidos pela ABNT NBR 15575. Constatou-se também, que a espessura das paredes é diretamente proporcional ao bom desempenho térmico da edificação. Comparando as três situações de cálculo, nota-se que a medida em que a espessura varia, os valores para transmitância e capacidade modificam-se de forma proporcional e apresentam melhor desempenho para paredes mais espessas. Além disso, no que se refere as aberturas de ventilação, a edificação em questão atende ao critério de mínima ventilação exigido.

O estudo trata do desempenho térmico de uma técnica construtiva com mínimo impacto ambiental. Através do qual é possível comprovar a eficiência da bioconstrução em COB quanto ao desempenho térmico de acordo com especificações normativas. Espera-se que esta pesquisa sirva como incentivo para que esse tipo de técnica construtiva seja mais disseminado e o setor da construção civil apresente redução nos impactos ambientais gerados.

Como sugestão de futuros estudos pode-se fazer estudos comparativos dos resultados apresentados por esse artigo, com técnicas mais tradicionais de alvenaria, como blocos cerâmicos e de concreto. Além disso, sugere-se também, estudos que analisem construções em COB, em relação a outros parâmetros especificados pela 15575:2013, como desempenho em relação à estanqueidade, acústico e mecânico.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:2003: Desempenho térmico de edificações: parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:2003: Desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2003: Desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2013: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:2013: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas.** Rio de Janeiro, 2013.

ATKINS, Peter; JONES, Lorena (ed.). **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente.** [S. l.]: Bookman, 2001.

CAVALCANTE, Flávio Gonçalves. Um Método Simples de Medida de Condutividade Térmica de Materiais de Construção, para Laboratório de Ensino. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Alagoas, 2005.

ÇENGEL, Yunus A. ; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Nova York: AMGH Editora Ltda., 2012.

GONÇALVES, Teresa D; GOMES, Maria I. **Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto**, 2012. 7p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Censo Demográfico, 2016**. Disponível em <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 out. 2018.

JOÃO ALVES, Sampaio; SILVIA CRISTINA ALVES, França; PAULO FERNANDO ALMEIDA, Braga (ed.). **Tratamento de minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

LOURENÇO, Paulo B.; BRANCO, Jorge M. **Dos Abrigos da Pré-História aos Edifícios de Madeira do Século XXI**. [S.l.: s.n.], 2013. 14 p. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26503/1/Lourenco\\_Branco.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26503/1/Lourenco_Branco.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2018.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília-DF: [s.n.], 2014. 188 p. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>>. Acesso em: 09 out. 2018.

MINKE, Gernot. **Manual de Construcción en Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual**. 1. ed. [S.l.]: Fin de Siglo, 1994. 222 p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Curso de Bioconstrução** - Brasília: MMA, 2008. 64 p.; 21 cm.



NAVARRO, R.F. **A Evolução dos Materiais: Parte 1: da Pré-história ao início da Era Moderna**. 2006. ed. Campina Grande - PB: Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 2013. 11 p. v. 1. Disponível em: <<https://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/32246.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2018.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RODRIGUES, Paulina Faria. **Construção com Terra: Tradição e inovação**, 2014. 6p.

SOARES, André. **Soluções Sustentáveis: Construção Natural**. 2. ed. Pirinópolis, GO: Mais Calango, 2008. 64 p.