



## **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Luana Izumi Santos

USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ETA 006 DA CIDADE  
DE PALMAS – TO, NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE  
VEDAÇÃO: avaliação do desempenho térmico através da construção do protótipo.

Palmas - TO

2017

Luana Izumi Santos

USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ETA 006 DA CIDADE  
DE PALMAS – TO, NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE  
VEDAÇÃO: avaliação do desempenho térmico através da construção do protótipo.

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof<sup>a</sup>.M.Sc. Maria Carolina D'Oliveira.

Palmas - TO

2017

Luana Izumi Santos

USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ETA 006 DA CIDADE  
DE PALMAS – TO, NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE  
VEDAÇÃO: avaliação do desempenho térmico através da construção do protótipo.

Monografia elaborada e apresentada como  
requisito parcial da disciplina Trabalho de  
Conclusão de Curso II (TCC) do título de bacharel  
em Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Profª.M.Sc. Maria Carolina D'Oliveira.

Aprovado em: 17, 05, 2017

BANCA EXAMINADORA



---

Profª.M.Sc. Maria Carolina D'Oliveira  
Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP



---

Prof. Dr (a) Ângela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas



---

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO

2017

Dedico este trabalho ao meu pai Carlos da Hora Santos e ao meu esposo Bruno Santana Amorim Silva de Oliveira.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força, coragem e perseverança para caminhar até aqui;

Ao meu pai, Carlos, por me incentivar e dando forças para concluir o curso. Além de ter dedicado seu tempo, mesmo em dias ocupado, para me ajudar na regularização dos blocos, como também na construção do protótipo;

Ao meu esposo, Bruno, por toda paciência e compreensão nos momentos em que eu entrava em desespero, no desânimo e cansaço, e achando soluções quando parecia impossível. Por ter me ajudado na coleta do lodo, no transporte dos blocos e na construção do protótipo. O apoio do meu esposo foi o fator fundamental para a conclusão do trabalho e do curso;

Ao laborista do CEULP/ULBRA Miller e também ao auxiliar de laboratório João Pedro, pela atenção dada na realização dos ensaios de caracterização dos materiais, ensaio de resistência à compressão dos blocos, secagem dos lodos e entre outros;

Ao Antenor, dono da indústria de blocos de concreto cedida para confecção dos blocos e toda sua equipe. Dispôs todo o seu material e equipamentos para a confecção dos blocos;

A Adriana, responsável pela ETA 006 de Palmas-TO, pela disponibilidade em me atender na coleta do lodo;

A minha orientadora Maria Carolina D'Oliveira pelos ensinamentos e confiança, os avaliadores Fernando Moreno Suarte Junior e Denis Cardoso Parente, pelas dicas e informações, e também a minha colega Michelly Menezes.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, os meus sinceros agradecimentos.

“A vida não é um quadro pronto, e sim uma obra de arte que se revela com uma nova pincelada a cada dia.”

(Roberto Shinyashiki).

## RESUMO

SANTOS, I. L. (2017). **USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ETA 006 DA CIDADE DE PALMAS – TO, NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DE VEDAÇÃO: avaliação do conforto térmico através da construção do protótipo.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre reutilização do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água 006 da cidade de Palmas – TO, na fabricação de blocos de concreto de vedação, como forma de substituir parcialmente o agregado miúdo, visando a sustentabilidade, tendo como uma das alternativas para minimizar o problema do impacto ambiental. Para determinar o percentual de lodo a ser empregado nos blocos de concreto, foi adotado substituição parcial de 1,2 e 4%, os blocos foram submetidos à ensaio de resistência à compressão e todas as substituições atenderam a NBR 6136 (2007). Adotou-se então percentual de 4%, e foi construído um protótipo para a realização do desempenho térmico do sistema, aferindo as temperaturas ambiente externas e internas, tal como das fachadas de acordo com a NBR 15575 (2013) e também efetuou os cálculos de resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica conforme a NBR 15220-2 (2005). As temperaturas obtidas dos blocos em estudo através das medições foram comparadas com a alvenaria estrutural de blocos de concreto convencional, por meio do trabalho realizado por Silva (2012) apud Vezaro (2016) na cidade de Palmas - TO. Após toda a análise pode-se admitir que os blocos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo, têm aplicabilidade em alvenaria de vedação, visto que, os blocos alcançaram a resistência mínima exigida.

**Palavras-chave:** Lodo, Blocos de concreto, Sustentabilidade, Desempenho térmico.

## ABSTRACT

SANTOS, I. L. (2017). **USE OF WATER TREATMENT STATION 006 OF THE CITY OF PALMAS – TO, IN THE MANUFACTURE OF SEALING CONCRETE BLOCKS:** assessment of thermal comfort through the construction of the prototype. 2017. Course Completion Work (Graduation). Civil Engineering Course. Lutheran University Center Palmas, Palmas/TO/BR, 2017.

The present work presents a study about reuse of the sludge generated at the Water Treatment Station 006 of the city of Palmas - TO, in the manufacture of sealing concrete blocks, as a way of partially replacing the small aggregate, aiming at sustainability, having as one of the alternatives to minimize the problem of environmental impact. To determine the percentage of sludge to be used in concrete blocks, was adopted partial substitution of 1, 2 and 4%, the blocks were subjected to the compressive strength test, and all substitution have met NBR 6136 (2007). Then was adopted a percentage of 4%, and a prototype was built to perform the thermal performance of the system, checking internal and external ambient temperatures, such as the facades according to NBR 15575 (2013) and also performed the thermal resistance calculations, thermal transmittance and thermal capacity as NBR 15220-2 (2005). The temperatures obtained from the blocks under study through the measurements were compared to conventional structural block masonry, through the work carried out by Silva (2012) apud Vezaro (2016) in the city of Palmas - TO. After all the analysis it can be admitted that the concrete blocks with partial replacement of the small aggregate by the sludge, seeing that, The blocks achieved a minimum required strength.

**Key words: Sludge, Concrete blocks, Sustainability, Thermal performance.**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Injeção da coagulação. ....	20
Figura 2: Processo de coagulação/Floculação.....	21
Figura 3: Demonstração de floculadores mecânicos.....	21
Figura 4: Decantador Horizontal.....	22
Figura 5: Decantador Vertical.....	22
Figura 6: Sistema de filtragem da água.....	23
Figura 7: Bag geotêxtil horizontal e vertical.....	23
Figura 8: Demonstração da etapa de Fluoretação. ....	24
Figura 9: Etapas de uma ETA convencional e o local de geração de resíduos. ....	25
Figura 10: Ilustração das frações da água em um floco de lodo de uma ETA. ....	26
Figura 11: Lançamento irregular do lodo proveniente do ETA sem tratamento. ....	27
Figura 12: Bloco Vazado .....	34
Figura 13: Bloco tipo canaleta. ....	34
Figura 14: Vista aérea ETA 006. ....	37
Figura 15: Lodo da ETA 006 condicionado no bag. ....	38
Figura 16: Lodo da ETA 006 condicionado no bag. ....	38
Figura 17: Coleta do lodo para o galão. ....	39
Figura 18: Lodo úmido antes de ser colocado na estufa.....	39
Figura 19: Lodo seco após 24 h na estufa. ....	40
Figura 20: Lodo seco com o volume reduzido.....	40
Figura 21: Todo o lodo seco.....	41
Figura 22: Triturador.....	41
Figura 23: Lodo em pó. ....	42

Figura 24: Amostra transferida para o picnômetro para determinação da massa específica do lodo .....	43
Figura 25: Massa do bloco no misturador. ....	47
Figura 26: Massa sobre a esteira. ....	47
Figura 27: Blocos moldados. ....	47
Figura 28: Amostras de blocos. ....	48
Figura 29: Cura dos blocos. ....	49
Figura 30: Requisitos para resistência à compressão, absorção e retração. ....	49
Figura 31: Ensaio resistência à compressão. ....	50
Figura 32: Dimensões do protótipo. ....	52
Figura 33: Termo-higrômetro, Modelo HT - 700. ....	53
Figura 34: Termômetro digital infravermelho com mira laser. Modelo TG167. ....	53
Figura 35: Análise granulométrica do lodo. ....	58
Figura 36: Análise granulométrica do agregado miúdo. ....	60
Figura 37: Análise granulométrica do agregado graúdo. ....	61
Figura 38: Representação gráfica das médias obtidas dos blocos referencial. ....	64
Figura 39: Representação gráfica das médias obtidas. ....	65
Figura 40: Espalhando a massa do contrapiso. ....	68
Figura 41: Regularização do contrapiso. ....	68
Figura 42: Contrapiso finalizado. ....	68
Figura 43: Assentamento da primeira fiada. ....	69
Figura 44: Assentamento dos blocos. ....	69
Figura 45: Abertura na fachada oeste. ....	70
Figura 46: Telha fibrocimento (fachada Sul e Leste). ....	70
Figura 47: Fachada Norte e Oeste. ....	71

Figura 48: Variações de temperatura ambiente. ....	72
Figura 49: Variações de temperatura ambiente. ....	72
Figura 50: Variações de temperatura ambiente .....	73
Figura 51: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Oeste. ....	75
Figura 52: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste. ....	75
Figura 53: Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Oeste...	76
Figura 54: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste. ....	76
Figura 55: Vista em perspectiva. ....	78
Figura 56: Imagens ilustrativas e propriedades.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões reais.....	35
Tabela 2: Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos.....	36
Tabela 3: Dosagem de concreto.....	46
Tabela 4: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas.....	56
Tabela 5: Resistência térmica superficial interna e externa.....	56
Tabela 6: Resultado da massa específica do lodo.....	57
Tabela 7: Composição granulométrica do lodo.....	58
Tabela 8: Resultado da massa unitária do lodo.....	59
Tabela 9: Composição granulométrica do agregado miúdo.....	60
Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo.....	61
Tabela 11: Resultado da massa unitária do agregado miúdo.....	62
Tabela 12: Resultado da massa unitária do agregado graúdo.....	62
Tabela 13: Resultado da massa específica do agregado miúdo.....	63
Tabela 14: Resultado da massa específica do agregado graúdo.....	63
Tabela 15: Médias referencial.....	64
Tabela 16: Médias.....	65
Tabela 17: Resultados índice de absorção de água (AA %).....	66
Tabela 18: Resultados índice de absorção de água inicial (AAI).....	67
Tabela 19: Variações de temperatura ambiente.....	71
Tabela 20: Variações de temperatura ambiente.....	72
Tabela 21: Variações de temperatura ambiente.....	73
Tabela 22: Média da variação de temperatura do período matutino.....	74
Tabela 23: Média da variação de temperatura do período vespertino.....	74
Tabela 24: Diferenças de temperaturas no período matutino em construções de alvenaria estrutural.....	75
Tabela 25: Diferenças de temperaturas no período vespertino em construções de alvenaria estrutural.....	75

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Massa específica dos grãos do solo ( $\delta$ ).....	44
Equação 2: Índice de absorção de água (AA).....	50
Equação 3: Índice absorção de água inicial (AAI).....	51
Equação 4: Resistência térmica (R).....	54
Equação 5: Resistência térmica de superfície a superfície ( $Rt$ ).....	54
Equação 6: Resistência térmica ambiente a ambiente ( $RT$ ).....	55
Equação 7: Transmitância térmica (U).....	56
Equação 8: Capacidade térmica ( $CT$ ).....	56
Equação 9: Capacidade térmica de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas ( $CT$ ).....	56

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS .....	15
1.1.1. Objetivos Gerais .....	15
1.1.2. Objetivos Específicos .....	15
1.2. JUSTIFICATIVA .....	16
1.3. PROBLEMA .....	16
1.4. HIPÓTESE .....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE .....	18
2.1.1. Sustentabilidade na construção civil .....	18
2.2. TRATAMENTO DE ÁGUA.....	19
2.2.1. Estação de Tratamento de Água (ETA) .....	19
2.3. ETAPAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	19
2.3.1. Capitação .....	20
2.3.2. Coagulação .....	20
2.3.3. Floculação .....	20
2.3.4. Sedimentação .....	21
2.3.5. Filtração.....	22
2.3.6. Desaguamento .....	23
2.3.7. Desinfecção.....	24
2.3.8. Correção de pH .....	24
2.3.9. Fluoretação .....	24
2.4. LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	25
2.4.1. Características do lodo de ETA.....	25
2.4.2. Impactos causados pelo lodo de ETA .....	27
2.5. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVO .....	28
2.5.1. Confeção de blocos de concreto como forma de disposição final do lodo de ETA .....	28
2.5.2. Blocos e peças de concreto com inserção de lodo de ETA.....	29
2.5.3. Utilizações benéficas do lodo das ETAs na mistura de concreto .....	29
2.5.4. Incorporação de lodo ETA nas propriedades tecnológicas tijolos solo-cimento.....	30

2.5.5. Incorporação do lodo em mistura de argilas para produção de cerâmica vermelha .....	30
2.5.6. Aplicação do lodo de ETA na fabricação de bloco cerâmico.....	31
2.6. BLOCOS DE CONCRETO .....	32
2.6.1. Cimento Portland.....	32
2.6.2. Agregado.....	33
2.7. BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA....	34
2.8. CLASSIFICAÇÃO E DIMENSÕES DO BLOCO .....	35
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
3.1. OBJETO DE ESTUDO .....	36
3.2. MATERIAIS .....	37
3.2.1. Lodo da ETA .....	37
3.2.2. Cimento Portland.....	42
3.2.3. Agregado.....	42
3.2.4. Água da mistura .....	42
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	43
3.3.1. Lodo da ETA .....	43
3.3.2. Agregados .....	45
3.4. CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	46
3.4.1. Traço do concreto .....	46
3.4.2. Moldagem dos blocos .....	46
3.5. AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO .....	48
3.6. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO....	48
3.6.1. Cura do bloco .....	48
3.6.2. Resistência mecânica à compressão das amostras de blocos de concreto.....	49
3.6.3. Aferição da massa seca e do índice de absorção de água (AA).....	50
3.6.4. Aferição do índice de absorção de água inicial (AAI) .....	51
3.7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	51
3.8. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA .....	52
3.8.1. Desempenho através da NBR 15575.....	52
3.8.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do através da NBR 15220-2 .....	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>57</b>

4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	57
4.1.1.	Determinação da massa específica do lodo.....	57
4.1.2.	Determinação granulométrica do lodo.....	58
4.1.3.	Massa unitária do lodo .....	59
4.1.4.	Determinação do limite de plasticidade do lodo .....	59
4.1.5.	Cimento .....	59
4.1.6.	Determinação granulométrica do agregado miúdo e graúdo.....	60
4.1.7.	Massa unitária do agregado miúdo e graúdo .....	62
4.1.8.	Massa específica do agregado miúdo e graúdo.....	62
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO NO ESTADO ENDURECIDO.....	63
4.2.1.	Resistência mecânica à compressão simples das amostras de blocos de concreto de vedação. ....	63
4.3.	PROTÓTIPO .....	67
4.3.1.	Execução do contrapiso .....	67
4.3.2.	Assentamento dos blocos .....	69
4.3.3.	Cobertura .....	70
4.4.	CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA .....	71
4.4.1.	Desempenho através da NBR 15575.....	71
4.4.2.	Comparação do desempenho térmico dos blocos com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo com sistema de alvenaria estrutural de blocos de concreto convencional, por meio de bibliografias anteriores. ....	73
4.4.3.	Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do protótipo através da NBR 15220-2 .....	77
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>93</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A cada ano que passa, fica convicto de que são gerados grandes volumes de resíduos sólidos, e que a disposição final da maioria deles é irregular, contribuindo para o aumento do impacto ambiental. Pode-se dizer que um dos contribuintes dessa geração de resíduos sólidos é o processo de sistema de abastecimento de água, que por sua vez é essencial para melhor qualidade de vida para as pessoas.

Para obter a água tratada, é preciso que a água captada passe pelos processos da Estação de Tratamento de Água (ETA), que tem a finalidade de transformar a água denominada bruta (sem tratamento e imprópria ao consumo humano) em água denominada potável. (tratada e adequada ao consumo humano). Nesses processos é introduzida produtos químicos, o aliado para obter um produto final de qualidade.

No Brasil existem cerca de 7.500 unidades de ETAs e em sua grande maioria é o método convencional. Métodos estes em que a água captada passa por sete etapas chamados de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH. Os resíduos sólidos gerados nomeados de lodo de ETA, são originados da descarga dos decantadores e na lavagem de filtros, por consequência da utilização do produto químico.

Segundo Iwaki (2014) os lodos têm sido dispostos em cursos de água sem nenhum tipo de tratamento e que essa prática tem gerado questionamento pelos órgãos ambientais devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática, contribuindo no impacto ambiental. E a disposição final inadequada pode ser entendido por decorrência da falta da lei específica para um possível gerenciamento adequado do descarte desses lodos.

Para combater o impacto ambiental causados pelos lançamentos destes resíduos, é necessário estudar uma forma de reutilizá-los para beneficiar o meio ambiente e aplica-los, por exemplo, como um material alternativo na construção civil.

No cenário atual da construção civil, tem se preocupado com geração de grandes volumes de resíduos sólidos e com o passar do tempo, pessoas envolvidas nessa área tem se conscientizado na reutilização desses resíduos. Além disso, o reuso desses materiais pode também beneficiar o custo de uma construção, um quesito de suma relevância quando se trata de uma execução de qualquer tipo de obra.

O estudo apresentado tem a participação do Núcleo de Empreendedorismo e Inovação (NEI) do CEULP/Ulbra que pesquisa e trabalha uma construção de uma ECOVILA, uma cooperativa habitacional em sistema de mutirão, visando conceitos sustentáveis chamada construção verde.

“Mutirão, também conhecido como sistema de ajuda mútua, é a alternativa habitacional baseada no esforço coletivo e organizado da comunidade – os chamados “mutirantes” – para a construção de suas próprias moradias.” (ABIKO, 2006). Que também tem por objetivo principalmente a redução do custo de edificação.

Nesse sentido, o presente trabalho avaliará a adição do lodo gerado na ETA 006 da cidade de Palmas no Estado de Tocantins, como substituição parcial do agregado na composição de blocos de concreto de vedação.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivos Gerais**

Avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado pelo lodo proveniente de decantadores e da lavagem de filtros da Estação de Tratamento de Água 006 da cidade de Palmas – TO, na composição de blocos de concreto de vedação, como construção alternativa e de disposição final adequada para este resíduo sólido.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- a) Caracterização do lodo.
- b) Confeccionar bloco de concreto de vedação, contendo substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo proveniente de ETA;
- c) Definir, por meio de ensaio de resistência à compressão, a proporção ideal de lodo para incorporação no bloco de concreto de vedação;
- d) Avaliar o desempenho térmico do material alternativo escolhido através de um protótipo;

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

A intensa expansão urbana e o crescimento populacional requisita um aumento de qualidade de vida dos seus cidadãos. Nesse sentido, a água é primordial para todos seres vivos que habitam o Planeta. Com isso surge a necessidade do aumento da demanda por água tratada, e como consequência, a geração de materiais sólidos provenientes do tratamento de água fluviais nas estações de tratamento de água, chamados de lodo de ETA é inevitável.

A disposição final irregular desse material pode acarretar sérios problemas como relata R. Tartari (2011), que os lodos de ETA contêm concentrações elevadas de elementos químicos (Al, Fe, Si, Ti, Mg, entre outros) que, quando dispostos de forma inadequada, podem gerar impactos de ordem ambiental e social.

Por outro lado, a construção civil que está diretamente ligada a essa expansão, gera grandes volumes de resíduos sólidos, além de ser também responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais que contribui no impacto ambiental. Sabendo das limitações desses recursos naturais, surge a necessidade das pessoas se conscientizarem e assim procurar outras alternativas para minimizar o problema do impacto ambiental.

Assim, não só na construção civil, mas em outras áreas também surge novos estudos voltados para a reutilização de resíduos. No caso da construção civil em sua maior parte são os resíduos sólidos. Esses estudos visam solucionar a redução da geração de resíduos, e, além disso, pode possibilitar, por exemplo, redução do custo de uma obra que poderá beneficiar a população de baixa renda.

## **1.3. PROBLEMA**

Os lodos gerados na Estação de Tratamento de Água (ETA) por meio de inserção de produtos químicos no tratamento da água segundo a pesquisa realizada pela Achon (2015) em município de Minas Gerais, os resultados demonstraram que apenas 9% das ETAs da sub-bacia destinam o lodo para Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) e dispõem este lodo desaguado em aterro industrial, 86% das ETAs dispõem o lodo sem tratamento em corpos d'água e 5% encaminham o lodo para uma das ETEs do município. Portanto, podemos concluir que a maior parte do lodo

são em geral despejados para os cursos d'água, impactando negativamente o meio ambiente.

Com o objetivo de tentar reduzir o impacto ambiental da geração de resíduos sólidos, no caso do presente estudo, lodo proveniente da ETA. Como a adição parcial desse material na confecção de blocos de concreto pode ajudar na redução dos resíduos, que por consequente poderá reduzir o consumo de seus insumos como: os agregados miúdos e cimento, de forma que, a extração e emprego desses também contribui no impacto ambiental?

#### **1.4. HIPÓTESE**

As hipóteses para o presente estudo são:

- Redução na utilização dos insumos utilizados para confecção de blocos de concreto;
- A substituição parcial do resíduo sólido a ser estudado irá contribuir no conforto térmico no interior;
- A reutilização dos resíduos sólidos na fabricação de blocos contribuirá no impacto ambiental.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SUSTENTABILIDADE

Como é de conhecimento, a questão ambiental tem sido o motivo da discussão na atualidade pelos vários autores sociais, tais como, governo, sociedade civil, empresas, instituições multilaterais, mídia e entre outros. Essa preocupação com a questão ambiental sempre esteve presente na história da humanidade, porém nas últimas quatro décadas, percebe-se que a tal preocupação vem aumentando. (GONDIM, 2011)

Por conta do crescimento populacional, houve a expansão territorial urbana, ampliação da prática de produção e consumo industrial. E como consequência o comportamento social e institucional modificado, foram contribuindo para o agravamento das condições ambientais. (MARCHI, 2015)

Embora o aumento nas escalas de produção tenha trazido benefícios para a humanidade, como geração de riquezas e crescimento econômico, carregou consigo impactos negativos para o meio ambiente. E tratar do assunto de gestão ambiental e sustentabilidade é uma tarefa que gera uma importância econômica, social e ambiental. (GONDIM, 2011)

#### 2.1.1. Sustentabilidade na construção civil

No cenário da construção civil, tem motivado discussões quanto à necessidade de aplicar o desenvolvimento sustentável por estar atuando como grande consumidora de recursos naturais e geradora de grandes volumes de resíduos. O setor da construção civil é responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais, e como consequência responsável pela geração em grandes volumes de resíduos de toda a sociedade. (ROTH e GARCIAS, 2009).

Conselho internacional da construção (CIB) afirma que a indústria da construção é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intenso, gerando uma grande parcela de impactos ambientais. (Ministério de Meio Ambiente)

Os desafios para o setor da construção são vários, resumidamente, consistem na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído. (Ministério de Meio Ambiente)

Fernandes e Amorim (2014) também ressalta que o progresso da tecnologia e do sistema econômico globalizado forneceram uma produção em larga escala de todos os setores. Entre os mais importantes investimentos é a construção civil, pois está diretamente ligada em qualquer desenvolvimento urbano. Desta forma, passou a ser responsável por praticamente a metade do consumo de recursos naturais, gerando preocupação para os ambientalistas, não somente pelo intenso consumo de matéria-prima, mas também pelos processos de fabricação dos materiais.

Portanto, a construção sustentável tem como objetivo a utilização de materiais renováveis e naturais para poder preservar o meio ambiente e garantir condições melhores de vida para gerações futuras.

## **2.2. TRATAMENTO DE ÁGUA**

Tornar a água bruta para a água distribuída habilitada ao consumo pela população, é necessário que passe por certas etapas de tratamento da mesma.

Tratamento de água é um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados na água para que esta fique em condições adequadas para o consumo, ou seja, para que a água se torne potável. O processo de tratamento de água a livra de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças. (CASTRO, 2010).

### **2.2.1. Estação de Tratamento de Água (ETA)**

As Estações de Tratamento de Água (ETA) têm funcionamento semelhante a uma indústria onde uma determinada matéria prima (água bruta) é trabalhada, através de diversas operações e processos, resultando em um produto final (água tratada). (ACHON et al., 2008).

Em sua maioria possuem um sistema de tratamento de água convencional compostos em sete etapas.

## **2.3. ETAPAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Neste subitem do Referencial Teórico visa explicar brevemente sobre etapas de tratamento.

### 2.3.1. Captação

É constituída pelo conjunto de bombas e motores, que possibilitam a retirada de água do rio para o tratamento.

### 2.3.2. Coagulação

Ao chegar à ETA, nesta etapa a água bruta recebe substância química coagulante (sulfato férrico) já pré dosada conforme a figura 1, afim de obter a eficiência desejada de remoção das impurezas de forma econômica. (SANTOS, 2011).

Figura 1: Injeção da coagulação.

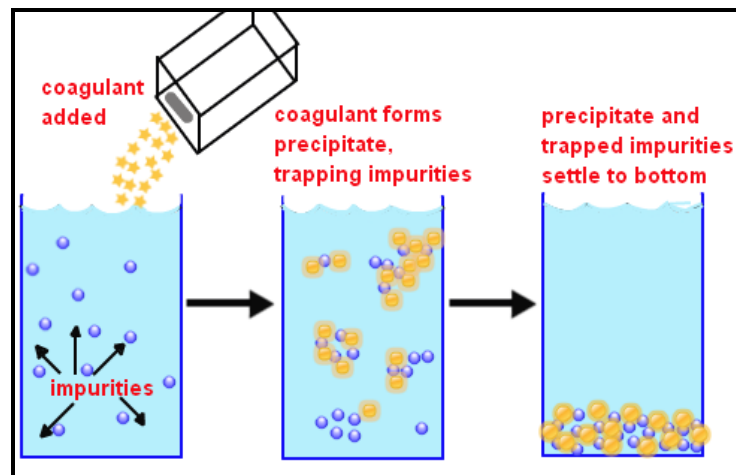


Autor: Heloíse G. Knapik, *online*

### 2.3.3. Floculação

Segundo Costa (2011), é o estado pelo qual as partículas já consolidadas pela coagulação colidem umas com as outras para formar coágulos ou flocos maiores. E ainda reforça que para obter melhor ação do coagulante, deve ser munida de uma grande agitação da água chamada de mistura rápida, para propiciar a união das partículas de sujeira, formando flocos conforme mostra a figura 2.

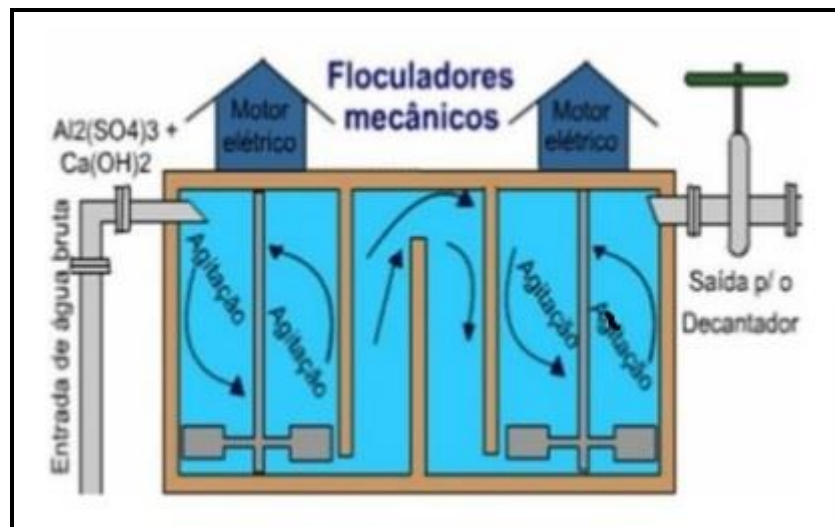
Figura 2: Processo de coagulação/Floculação.



Autor: Heloise G. Knapik, *online*

Na figura abaixo demonstra-se o processo de funcionamento de floculadores mecânicos.

Figura 3: Demonstração de floculadores mecânicos.



Autor: Secretaria de Vigilância em Saúde, *online*

#### 2.3.4. Sedimentação

É a etapa que consiste na separação dos sólidos ou partículas, já em estado de flocos, retidos na água. O fenômeno acontece nos decantadores onde são separados os flocos mais densos do que a água, por deposição para o fundo do decantador. (SANTOS, 2011).



Nesta etapa existem dois tipos de Sedimentação, decantador horizontal e decantador vertical. As figuras a seguir mostram os processos de cada um respectivamente.

Figura 4: Decantador Horizontal.



Autor: Secretaria de Vigilância em Saúde, *online*

Figura 5: Decantador Vertical.

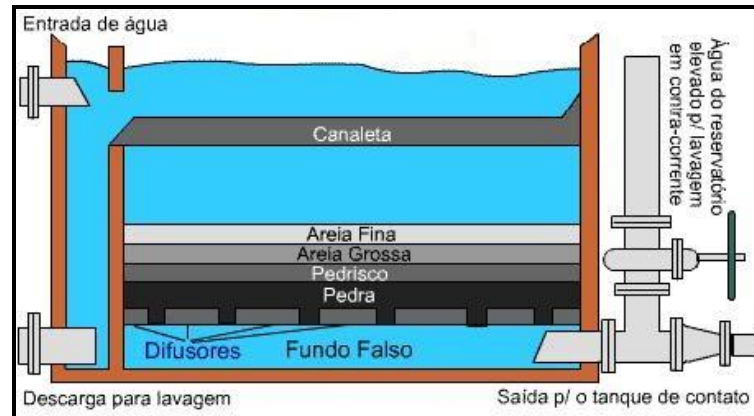


Autor: AREA1 - Nelson Carvalho, *online*

### 2.3.5. Filtração

Etapa em que a água é submetida a passar através de uns materiais porosos, geralmente composto por cascalho/areia/antracito (carvão mineral), onde segundo Santos (2011) relata que nessa passagem verifica-se: a) remoção de materiais em suspensão e substâncias coloidais; b) alteração de características da água, principalmente, cor e turbidez; c) redução de bactérias e algas presentes.

Figura 6: Sistema de filtragem da água.



Autor: AREA1 - AQUASTORE, *online*

### 2.3.6. Desaguamento

Para Silveira (2012), o desaguamento de água visa aumentar o teor de sólidos totais que tem como por seguinte a redução do volume de lodo, esse processo pode ser realizado pelo uso de sistemas naturais e/ou mecânicos de remoção de água.

“Dentre os sistemas naturais podem-se citar as lagoas de lodo, leito de secagem, leito de drenagem e *bag* de geotêxtil. Os sistemas mecânicos comumente utilizados são as centrífugas, filtros prensa de esteira e filtro de placas.” (SILVEIRA, 2012).

A ETA 006 em estudo, utiliza o sistema *bag* de geotêxtil, e conforme Silveira (2012) explica que o processo de tratamento em *bags* de geotecido se baseia no acondicionamento do lodo em containers ou bolsas fabricadas de material geotêxtil.

Existem *bags* horizontais e verticais como mostram a figura 7.

Figura 7: Bag geotêxtil horizontal e vertical.



Autor: Silveira (2012), *online*

### 2.3.7. Desinfecção

Etapa em que constitui um procedimento que deve ser realizada em todos os sistemas de abastecimento, tanto para uma correção quanto para uma prevenção, a fim de eliminar microorganismos patogênicos, causadores de enfermidades infecciosas no homem. (SANTOS, 2011).

### 2.3.8. Correção de pH

Quando a água é admitida num encanamento, a presença de corrosão é inevitável. Para isso será necessária a correção do pH, um método preventivo da corrosão do encanamento que consisti na alcalinização da água para a remoção do gás carbônico livre e para ocasionar a formação de uma camada de carbonato na superfície interna nas canalizações. (LEVI, 2014?).

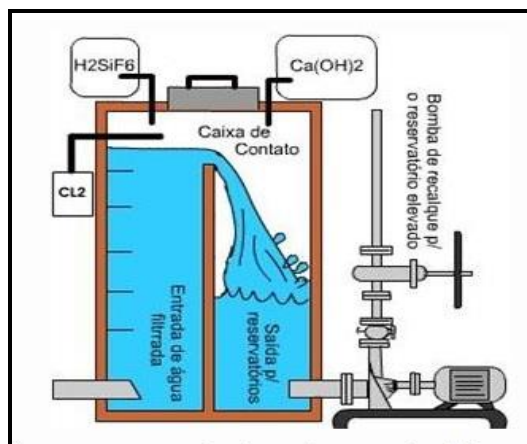
Para essa formação da camada protetora eleva-se o pH da água ao estado de saturação, utilizando geralmente o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), conhecida também como cal hidratada.

### 2.3.9. Fluoretação

Nesta etapa, consiste na adição, por meio de dosadores, de ácido fluossilícico ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ) e do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) na etapa final do tratamento de água. Esse processo é feito para diminuir a ocorrência de cárie dental na população, especialmente no período de formação de dentes das crianças.

A figura 8 a seguir demonstra a adição desses dois produtos nessa etapa final de tratamento, admitindo que a água presente pronta ao consumo humano.

Figura 8: Demonstração da etapa de Fluoretação.



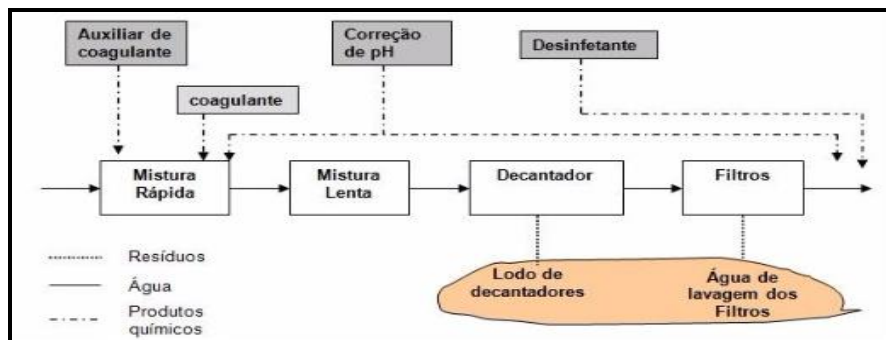
## 2.4. LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A ETA, como várias indústrias, há também uma matéria-prima, neste caso, a água bruta que passa por diversos processos de tratamento para se chegar ao produto final, a água potável, que em consequência faz gerar resíduos.

De acordo com Achon e outros (2013) no processo de obtenção de água potável, uma das etapas da ETA, há geração de resíduos devido à presença de impurezas na água bruta e a adição de produtos químicos. Onde esses resíduos possuem características e propriedades diversificadas e desconhecidas, dificultando a solução do problema.

A geração de resíduos ocorre principalmente em razão das limpezas e descargas dos decantadores e lavagem de filtros, como demonstra a figura 9.

Figura 9: Etapas de uma ETA convencional e o local de geração de resíduos.



Fonte: BARROSO apud MONTEIRO, 2014, p.25

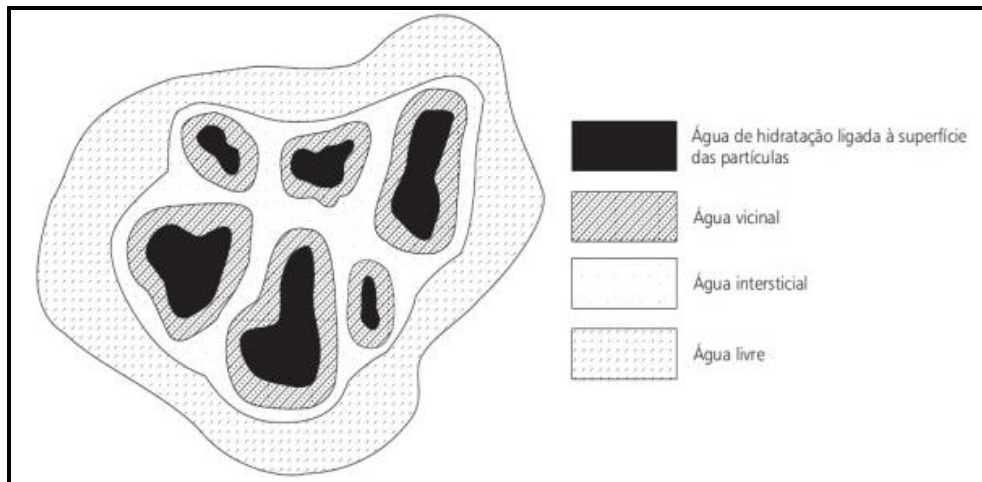
### 2.4.1. Características do lodo de ETA

O lodo que tem como sua formação nos decantadores e nas águas de lavagem de filtros têm características diversos, dependendo basicamente das condições apresentadas pela água bruta, dosagens dos produtos químicos adicionados e também da forma de lavagem dos decantadores. (TSUTIYA; HIRATA apud PEREIRA, 2011, p.1).

De acordo com a NBR 10004 (2004) os lodos oriundos de estações de tratamento de água são classificados como resíduos sólidos, mais especificamente Classe II A - não inerte, o qual pode apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Por essa razão, a disposição final desse resíduo, deve obedecer às leis ambientais vigentes.

Em geral o lodo constitui em uma combinação entre uma fase sólida e uma porção de líquido. Segundo Di Bernardo, Dantas e Voltan apud Maraschin (2016) mostra um modelo fracionário de distribuição da água em um floco de lodo como demonstra a figura 10.

Figura 10: Ilustração das frações da água em um floco de lodo de uma ETA.



Fonte: SMOLLEN e KAFAAR apud MARASCHIN, 2016, p.18

Barroso (2007) cita um modelo geral proposto por Versilind e Hsu (1997) e Smollem e Kafaar (1994) apud Silveira (2012, p.28), que define cada estado físico da água mostrada na figura anterior como:

- ❖ Água livre: água não associada aos sólidos e que pode ser facilmente separada por sedimentação gravitacional simples;
- ❖ Água intersticial ou capilar: água presente no interior ou intimamente ligada aos flocos. Esta água pode ser liberada quando há quebra do floco, mediante aplicação de força mecânica, tais como centrífugas;
- ❖ Água vicinal: associada às partículas sólidas por virtude da estrutura molecular da água, pontes de hidrogênio;
- ❖ Água de hidratação: água quimicamente ligada às partículas sólidas e pode ser liberada somente por destinação termoquímica das partículas.

Segundo Reali apud Silveira (2012, p.27), que um manancial pode apresentar variações sazonais significativas na qualidade da água, tais como, mudanças na turbidez que pode persuadir significativamente na quantidade e qualidade do lodo produzido.

#### 2.4.2. Impactos causados pelo lodo de ETA

A disposição final dos lodos gerados nas ETAs estabelece um dos principais passivos ambientais do setor de saneamento, pois envolve transporte e restrições do meio ambiente.

Segundo Silveira (2012, p.35) de maneira histórica, os resíduos gerados em ETA's tem sido despejado diretamente nos corpos de água, geralmente na mesma fonte que a ETA processa água. Mas o lançamento de qualquer resíduo líquido ou sólido, acarreta significativamente a qualidade do corpo receptor. A figura 11 a seguir, demonstra as formas indevidas de despejo desses resíduos nos corpos de água.

Figura 11: Lançamento irregular do lodo proveniente do ETA sem tratamento.



Fonte: DI BERNARDO et al, apud VIELA 2014, p.41

A alta quantidade de sólidos, a alta turbidez, as elevadas concentrações de metais e produtos químicos no lodo, são os principais parâmetros que ocasionam danos nos corpos receptores e principalmente à fauna aquática e à saúde humana.

O lançamento ilegal do lodo de ETAs nos corpos d'água desrespeitam a Resolução nº 20 do CONAMA de 18 de junho de 1986, e ainda a Lei de Crimes Ambientais (lei 9605 de 12/02/98).

As opções de disposição adequadas e de maior potencial de utilização no Brasil, que são encontradas nos estudos realizados são: destino final em aterro, emprego controlada no solo, compostagem, fabricação de material cerâmico, aplicação em concreto e lançamento em processos de tratamento de esgoto. (WAGNER e PEDROSO, 2014)

## 2.5. MATERIAL DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVO

Para reduzir o impacto ambiental causado pela geração de resíduos sólidos, a indústria da construção civil vem realizando vários estudos e testes de viabilidade utilizando esses resíduos como um material alternativo.

### 2.5.1. Confeção de blocos de concreto como forma de disposição final do lodo de ETA

No setor de construção civil, o lodo de ETA pode ser reaproveitado na fabricação de concreto e podendo também ser aplicado na confecção de peças cerâmicas, como telhas e blocos.

O lodo de ETA possui grande variabilidade em seu reaproveitamento, sobretudo quando levada em consideração a possibilidade de utilizá-lo simultaneamente com o solo e/ou cimento. (COSTA, 2011, p.41)

Os principais componentes do cimento Portland são os óxidos de cálcio, sílica alumínio e ferro. E esses são os mesmos componentes que são retirados da natureza na forma de carbonatos ou sulfatos. Os lodos de ETAs também têm estes mesmos componentes em sua formação e, portanto, há possibilidade de substituir parte da matéria prima utilizada na fabricação do cimento. (WAGNER e PEDROSO, 2014)

Com base no que foi citado anteriormente, uma destinação final que poderia ser aproveitada bem estas características do lodo também, é a incorporação desse material na confecção de bloco de concreto como substituição parcial de agregados.

Segundo Hoppen et al (2006) averiguaram a adição do lodo centrifugado da ETA Passaúna, em Curitiba – PR, em matriz de concreto, e chegou à conclusão de que há viabilidade técnica e ambiental para este tipo de disposição, na proporção de 4 a 8% de lodo em relação ao peso seco de areia. Embora ocorram reduções na qualidade do concreto, o seu uso na construção civil em funções não estruturais demonstrou bastante propício, com resultados obtidos de resistência superiores a 27 Mpa, aos 28 dias, além da redução do consumo de matéria prima. Essa substituição parcial do lodo de ETAs mostrou-se viável também na recomposição de calçadas. (HOPPEN et al, 2006)

### 2.5.2. Blocos e peças de concreto com inserção de lodo de ETA

Segundo o estudo do Araújo et al (2015) a caracterização do lodo de ETA, tem indício de que existe uma variedade de propriedades analisadas, as quais interferem diretamente nas eventualidades de seu uso. Onde após análises dos resultados e da caracterização do lodo da ETA Passaúna em Curitiba – PR, fez o experimento da inserção do lodo em percentual de 5% na fabricação de artefatos como blocos e peças de concreto.

Com o experimento, certificou-se que a durabilidade do concreto e o seu desempenho com 5% de resíduo foi similar às amostras sem resíduo. Observou-se também o comportamento de resíduo incluindo como matéria-prima para o fabrico de cimento Portland com variação percentual de 10% a 30%, e percebeu que o resíduo diminuiu a resistência mecânica das argamassas produzidas com esse cimento em comparação com as amostras feitas com o cimento Portland tradicional. (ARAÚJO et al. 2015)

### 2.5.3. Utilizações benéficas do lodo das ETAs na mistura de concreto

A estação de tratamento de água Taipei localizada em Taiwan, trata 3.400.000 m<sup>3</sup>/ dia de água bruta e como consequência no decorrer das etapas desse tratamento, gera 70.200 toneladas de lodo anualmente. Várias tecnologias foram desenvolvidas para a reutilização do lodo de ETA, tais como, eco tijolo e cimento tem sido demonstrada e aplicada. (LEE et al, 2011)

Segundo Lee et al (2011) a fonte principal da geração de lodo na ETA são nas etapas de sedimentação das lamas durante a purificação de água e nas lavagens dos filtros. O lodo em estado fresco contém 30% a 40% de água, e depois de secar naturalmente de 7 a 14 dias o teor de umidade média do lodo é de cerca de 13% em peso.

Após caracterização físico-químico do lodo, obteve resultados de que o lodo de ETA Taipei não há indícios de lixiviação de substância tóxicas. Por possuir tamanho significativamente menor que 3,2 mm, quando adicionado no concreto provoca redução de resistência do concreto. De acordo com a norma local ASTM C117-04 (2004), a porcentagem de agregado menor que 75 mm deve ser inferior a 5%. Caso contrário partículas finas excessivo no agregado vai envolve-los em torno



da superfície da mistura maior, e reduzir a coesão entre o cimento diminuindo a resistência.

#### 2.5.4. Incorporação de lodo ETA nas propriedades tecnologias tijolos solo-cimento

Rodrigues e Holanda (2013), relata que nos últimos anos o setor da indústria de cerâmica tem sido uma alternativa propício para a disposição final de resíduos poluentes. Isso devido ao fato de que as massas cerâmicas são por natureza heterogênea, principalmente as que são usadas na produção de produtos cerâmicas para construção civil.

Entretanto, a aplicação do lodo de ETA na fabricação de tijolo solo-cimento tem sido pouco estudada, apesar de ser uma opção de importância ambiental e econômica. O solo-cimento consiste em um produto cerâmico oriundo da mistura de solo arenoso, cimento e água em proporções pré-determinadas e que após a cura adquire bom desempenho termo acústico, resistente, durável e de baixo custo. (RODRIGUES e HOLANDA, 2013)

No estudo realizado pelo Rodrigues e Holanda (2013) com quatro traços de solo-cimento contendo até 5% em peso de lodo de ETA em substituição parcial do solo, seguindo a recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), resultados mostraram que o lodo de ETA pode ser utilizado como uma matéria-prima alternativa de baixo custo em substituição parcial de até 1,25% em peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento.

“Foi demonstrado que o lodo de ETA e o solo apresentam características física, química e mineralógica muito distintas. A incorporação do lodo de ETA provocou alterações significativas nas propriedades tecnológicas (absorção de água, massa específica bulk e resistência compressão) dos corpos cimentício de solo-cimento. O lodo de ETA tende a aumentar o teor de partículas finas (principalmente de caulinita), matéria orgânica e plasticidade da mistura solo-cimento, o qual interfere na hidratação do cimento. Assim, o reuso de lodo de ETA em tijolo solo-cimento é muito limitado.” (RODRIGUES e HOLANDA, 2013)

#### 2.5.5. Incorporação do lodo em mistura de argilas para produção de cerâmica vermelha

As jazidas de argilas formadas geologicamente localizada no município de Foz de Iguaçu – PR, um levantamento realizado pela Mineropar em 1990, as capacidades minerais foram estimadas de três milhões de toneladas de argilas com

características tecnológicas satisfatórias para fabricação de cerâmica vermelha. (TARTARI et al, 2011)

Por encontrar argilas consideradas de alta plasticidade e de qualidade, as empresas ceramistas atuantes no município utilizaram na confecção de telhas e tijolos, um consumo médio de argilas lavradas nos últimos 15 anos de 3.200 ton/ano, girando o total em torno de 41.657 toneladas. Por consequência, a estimativa de esgotamento das jazidas de argilas, recurso mineral para o setor de ceramista local é de até 100 anos. (TARTARI et al, 2011)

Tartari et al (2011) alerta que para que a indústria ceramista possa dar continuidade nas atividades, torna-se fundamental a busca de outros materiais alternativos passíveis de substituição parcial das argilas. E que o lodo gerado na ETA Tamanduá de Foz do Iguaçu precisa de uma destinação adequada, e que com forme os resultados obtidos na caracterização do lodo, houve semelhanças com as argilas indicando possibilidade de aplicá-lo, nas massas para produção de cerâmica vermelha.

Experimentos realizados pelo Tartari et al (2011) concluiu que adições de lodo superiores a 8% nas composições, altera de maneira negativa das propriedades físico-mecânicas favorecendo aparição de trincas e deformações nas peças cerâmicas.

#### 2.5.6. Aplicação do lodo de ETA na fabricação de bloco cerâmico

Segundo Vilela (2014) após toda a caracterização físico-químico do lodo de ETA 006 de Palmas – TO, utilizando 2% do lodo na confecção de bloco cerâmico, obteve seguintes dados abaixo:

- a) Atendeu a Norma no que se refere ao índice de absorção d'água, pois permaneceram entre 8 a 22%;
- b) No ensaio de resistência à compressão, obteve valores maiores ou iguais a 1,5 Mpa, em que está em conformidade com a Norma vigente;
- c) Ainda no ensaio de resistência à compressão, nos indicadores de força de ruptura em kgf e resistência à compressão em Mpa, os coeficientes de variação dos corpos de provas de amostras contendo 2% de lodo ficou inferior aos coeficientes de variação das amostras com 100% de argila.

Essa variação indica que as amostras contendo 2% de lodo são mais homogêneas do que as de 100% argila;

- d) Ao conseguir estabelecer esta destinação final de lodo de ETA na composição da massa dos blocos cerâmicos, proporcionará um aumento da vida útil das jazidas e, portanto, conservará os espaços para disposição de resíduos em aterro sanitário e também em aterro industrial.

## **2.6. BLOCOS DE CONCRETO**

Blocos de concreto são componentes de grande aceitação na atualidade. É um componente industrializado, produzidos em máquinas que vibram e prensam e podendo ser fabricados com várias variedades de composição.

O uso do bloco de concreto na construção civil é bastante comum e sua aplicação pode ser feito para levantar as paredes ou edifícios de vários tipos. Os blocos têm como vantagem algumas variedades de tipos que podem ser usados em situações distintas, tais como, os blocos estruturais que são usados para fazer a sustentação das paredes que neste caso dispensa uso de colunas de concreto ou de vedação, o que é usado apenas para fazer o fechamento das paredes neste caso existe as colunas de concreto para sustentação.

Cimento Portland, agregado graúdo e miúdo e água são basicamente materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto. Dependendo da exigência específica, a dosagem do concreto poderá também aplicar outros componentes, tais como adições de minerais, pigmentos, aditivos e entre outros. (FILHO, 2007, p. 47)

### **2.6.1. Cimento Portland**

“O cimento Portland pode ser definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer obtido através da calcinação e clinquerização da mistura de calcário e argila.” (FILHO, 2007)

De forma mais simplificada Neville (2016) explica que no sentido geral, a palavra “concreto” pode ser descrito como um material com características adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta.

Quando misturado à água, obtém características adesivas aglomerando areia e agregado graúdo na mistura de concreto. Fenômeno que ocorre devido a reação química do cimento com água, chamada de hidratação do cimento, em que gera produtos que possuem propriedades de pega e endurecimento. (FILHO, 2007)

### 2.6.2. Agregado

Para Filho (2007) compreende-se por agregado o material angular, sem forma e volume definidos, de tamanhos e características adequadas para o uso em obras de construção civil. As propriedades dos agregados são de suma importância na produção de blocos de concreto, pois interferem na aderência com a pasta de cimento, modificando a homogeneidade e a resistência do concreto. Além disso, podem ser classificados quanto à origem, à massa unitária e às dimensões de suas partículas.

Segundo ABNT NBR 7211 (2009) o agregado pode ser miúdo ou graúdo:

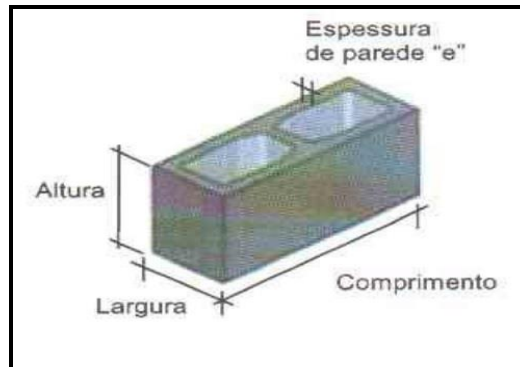
- Agregado miúdo: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
- Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Ainda reforça que os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não deve possuir substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento.

## 2.7. BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA

Para ABNT NBR 6136 (2016) defini bloco vazado como componente de alvenaria cuja área é igual ou superior a 75% da área bruta, conforme mostra a figura 12.

Figura 12: Bloco Vazado

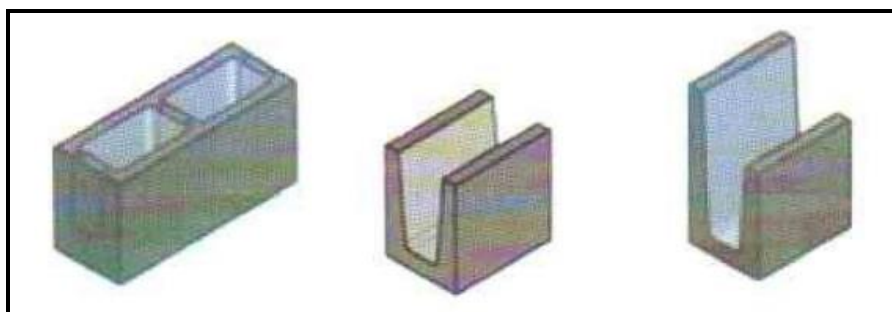


Fonte: NBR 6136 (2007).

Existem três tipos de blocos: estruturais, vedação e canaleta.

- **Bloco estrutural**: Usados para compor a estrutura de uma casa e dispensa a criação das colunas de concreto e ferro como é comum em outras edificações. Além de permitir a embutir as instalações elétricas e hidráulicas sem necessidade de quebras.
- **Boco de vedação**: Funciona como os tijolos cerâmicos e é usado para fazer o fechamento das paredes, sendo necessário as colunas para dar a sustentação a edificação.
- **Bloco tipo canaleta**: Componentes de alvenaria vazados ou não, com conformação geométrica conforme mostra a figura 13, criados para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas. (NBR 6136, 2016).

Figura 13: Bloco tipo canaleta.



Fonte: NBR 6136 (2007).

## 2.8. CLASSIFICAÇÃO E DIMENSÕES DO BLOCO

Os blocos de concreto, de acordo com o especificado na norma 6136 (2007), devem atender, quanto ao seu uso, às classes descritas a baixo e as dimensões indicadas na tabela 1 e 2.

- ✓ Classe A - Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo.
- ✓ Classe B - Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
- ✓ Classe C - Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
- ✓ Classe D – Sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Tabela 1: Dimensões reais.

Famílias de blocos												
Designação	Nominal	20		15		12,5			10			7,5
	Módulo	M - 20		M - 15		M - 12,5			M - 10			M - 7,5
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	
	Linha	20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	10 x 30	7,5 x 40	
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65	
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390	
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190	
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-	
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-	
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-	
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90	
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40	

NOTA As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na tabela 1 são de  $\pm 2,0$  mm para a largura e  $\pm 3,0$  mm para a altura e para o comprimento.

Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com as ABNT NBR 5706 e ABNT NBR 5726.

Fonte: NBR 6136 (2007).

Tabela 2: Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos.

Classe	Designação	Paredes longitudinais <sup>1)</sup> mm	Paredes transversais	
			Paredes <sup>1)</sup> mm	Espessura equivalente <sup>2)</sup> mm/m
A	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
B	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
C	M-10	18	18	135
	M-12,5	18	18	135
	M-15	18	18	135
	M-20	18	18	135
D	M-7,5	15	15	113
	M-10	15	15	113
	M-12,5	15	15	113
	M-15	15	15	113
	M-20	15	15	113

<sup>1)</sup> Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

<sup>2)</sup> Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: NBR 6136 (2007).

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo foram descritos os processos, os equipamentos e os locais que foram utilizados para a obtenção do lodo de ETA ao longo do projeto, para fabricação dos blocos de concreto de vedação com dimensões de 14x19x39 cm com substituição parcial do agregado pelo lodo.

#### 3.1. OBJETO DE ESTUDO

O presente estudo teve finalidade de testar a viabilidade técnica da fabricação de blocos de concreto de vedação com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo de ETA. Intuito de obter uma disposição final adequada para este lodo, afim de contribuir na preservação do meio ambiente.

A realização dos ensaios, construção do protótipo, e entre outros, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

### 3.2. MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho foram os que seguem:

#### 3.2.1. Lodo da ETA

Neste tópico serão abordados o local, a forma de coleta e secagem, determinação da massa específica, massa unitária, granulometria e caracterização do lodo extraído da ETA 006 e as etapas de preparação do material.

##### 3.2.1.1. Local da coleta do lodo

O lodo, proveniente dos resíduos de estação de tratamento de água, que foi utilizado como uma das matérias-primas na confecção de blocos de concreto neste projeto, foram fornecidos pela Saneatins Odebrecht Ambiental da ETA 006 da cidade de Palmas – TO.

A estação localiza-se nas coordenadas  $10^{\circ} 17' 14,35''$  Sul e  $48^{\circ} 17' 40,45''$  Oeste à margem esquerda da rodovia TO-050, km 13, sentido Palmas – Taquaralto, como mostra a figura 14.

Figura 14: Vista aérea ETA 006.



Fonte: Google Earth (acesso em 01. out. 2016)



### 3.2.1.2. Coleta do lodo da ETA

Para a realização da coleta do lodo foram necessários dois galões de 80 litros e pá. O lodo já estava condicionado em bag horizontal conforme as figuras 15 e 16.

Figura 15: Lodo da ETA 006 condicionado no bag.



Fonte: Autora, 2017

Figura 16: Lodo da ETA 006 condicionado no bag.



Fonte: Autora, 2017

A partir do rasgo que fizeram no bag, foi enchido dois galões até a boca como mostra a figura 17.

Figura 17: Coleta do lodo para o galão.



Fonte: Autora, 2017

### 3.2.1.3. Secagem do lodo da ETA

Após a coleta do lodo, os tambores foram deslocados até o laboratório do CEULP/ULBRA, onde foi realizada secagem do lodo com o auxílio de estufa. O lodo ainda úmido foi colocado nas bandejas metálicas como mostra a figura 18, e colocado na estufa durante aproximadamente 24h.

Figura 18: Lodo úmido antes de ser colocado na estufa.



Fonte: Autora, 2017

Após 24h o lodo foi retirado da estufa e como mostram as figuras 19 e 20, percebe-se que o volume do lodo diminui bastante. E a figura 21 mostra todo o lodo dos dois tambores secos contidos em 4 recipientes.

Figura 19: Lodo seco após 24 h na estufa.



Fonte: Autora, 2017

Figura 20: Lodo seco com o volume reduzido.



Fonte: Autora, 2017

Figura 21: Todo o lodo seco.



Fonte: Autora, 2017

#### 3.2.1.4. Processo de tritura do lodo

Após a secagem, o lodo foi triturado em um triturador da marca TRAPP modelo TRF 400 F conforme a figura 22, e a figura 23 mostra o lodo já triturado em forma de pó.

Figura 22: Triturador.



Fonte: Autora, 2017

Figura 23: Lodo em pó.



Fonte: Autora, 2017

### 3.2.2. Cimento Portland

Foi utilizado Cimento Portland composto CP II Z - 32 em acordo com a NBR 11578 (1991).

### 3.2.3. Agregado

Foram utilizados na confecção de blocos concreto de vedação, dois tipos de agregados: graúdo e miúdo. O graúdo utilizou-se a brita 0 e o miúdo a areia grossa.

Os materiais citados foram caracterizados e ensaiados por meio de granulometria, da massa unitária e massa específica.

### 3.2.4. Água da mistura

A água utilizada nos procedimentos foi coletada no Laboratório do CEULP/ULBRA proveniente de poço artesiano.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.3.1. Lodo da ETA

##### 3.3.1.1. Determinação da massa específica do lodo

Para determinação da massa específica dos grãos do lodo foi utilizado como referência a NBR 6508 (1984), não foi utilizado NBR NM 52, o que seria a nova norma para ensaio de massa específica, devido à falta de materiais no laboratório do CEULP ULBRA.

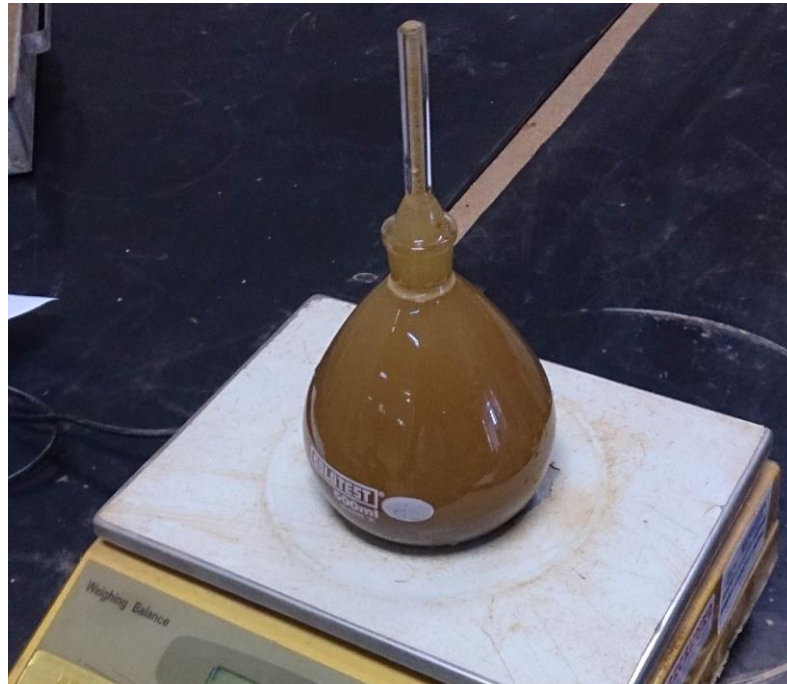
Para o ensaio foi preparada uma amostra de 50g de lodo seco que foi pesada com resolução de 0,01g.

A amostra foi transferida para o copo de dispersão e logo em seguida, acrescentou-se água até cobrir a amostra e dispersada aproximadamente 5 min.

Após a dispersão a amostra foi transferida para o picnômetro, com auxílio do funil de vidro. Na sequência é acrescentada a água até o topo do picnômetro e fechada com a tampa.

O conjunto picnômetro + solo + água foi pesado conforme a figura 24.

Figura 24: Amostra transferida para o picnômetro para determinação da massa específica do lodo



Fonte: Autora, 2017

A massa específica dos grãos foi calculada por meio da fórmula a seguir:

Equação 1:

$$\delta = \frac{MSS}{(MSS + MPCA - MPSA)}$$

Onde:

$\delta$  = massa específica dos grãos do solo, em g/cm<sup>3</sup>

MSS = massa do solo seco

MPCA = massa picnômetro cheio de água

MPSA = massa picnômetro + solo + água

São considerados satisfatórios quando os resultados não diferirem mais que 0,01 g/cm<sup>3</sup>. Quanto ao resultado final, média obtida foi de pelo menos dois ensaios considerados satisfatórios.

#### 3.3.1.2. Massa unitária

Tendo como referência NBR NM 45 (2006), foi realizado ensaio da massa unitária do lodo, no qual estabelece a determinação da densidade a granel e do volume de vazios, em compacto ou solto.

Para cada material, foram realizadas três amostras e o resultado individual de cada ensaio não deve apresentar desvio maior que 1% em relação à média.

#### 3.3.1.3. Análise granulométrica do lodo

Para a determinação da composição granulométrica do lodo, o ensaio foi realizado conforme a NBR NM 248 (2003). Em que foi feita a distribuição granulométrica por meio de peneiramento, que deve atender aos limites estabelecido da norma citada, e também verificação do limite máximos em porcentagem de substâncias nocivas.

Para cada material foram realizadas duas amostras de ensaios. As amostras devem apresentar necessariamente a mesma dimensão máxima características e, nas demais peneiras os valores de porcentagens retida individualmente não devem diferir mais que 4%.

#### 3.3.1.4. Determinação do limite de plasticidade

Foi realizado a determinação do limite de plasticidade do lodo, tendo como referência a NBR 7180 (2016). A fim de verificar se o lodo apresenta característica argiloso ou arenoso.

#### 3.3.1.5. Calcinação do lodo

Antes da confecção do bloco de concreto, o lodo foi tratado através do processo de calcinação. Processo em que consiste na remoção das substâncias voláteis ou para remover a água ou determinadas impurezas.

Nesse tratamento, fez-se a mistura da cal no lodo, em que foi adicionado 30% de cal em cima do peso do lodo, como por exemplo, para cada 1000g de lodo foi adicionado 300g de cal. E posteriormente submetido à uma temperatura de aproximadamente 110°C durante 24h.

### 3.3.2. Agregados

#### 3.3.2.1. Granulometria

Para a granulometria dos agregados graúdo e miúdo foi utilizada a mesma norma aplicada na granulometria do lodo, a ABNT NBR NM 248 (2003).

#### 3.3.2.2. Massa unitária

O ensaio da massa unitária dos agregados graúdo e miúdo foi determinado tendo como referência a mesma norma aplicada na determinação da massa unitária do lodo, a NBR NM 45 (2006).

#### 3.3.2.3. Massa específica

Foi realizado a determinação da massa específica do agregado tendo como base a NBR 6508 (1984) em que classifica o agregado em leve, normal e pesado.

Foi realizado duas amostras e os resultados com a mesma amostra não devem diferir em mais que 0,02g/cm<sup>3</sup>.



### 3.4. CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

#### 3.4.1. Traço do concreto

O traço do concreto foi utilizado o mesmo já empregado na indústria de blocos conforme a tabela 3, no qual produz aproximadamente 45 blocos.

Tabela 3: Dosagem de concreto.

<b>QUANTIDADE</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>1 Saco</b>	Cimento Portland Ciplan CP II Z – 32
<b>230 litros</b>	Brita 0 (agregado graúdo)
<b>230 litros</b>	Areia grossa (agregado miúdo)
<b>18 litros</b>	Água
<b>86 ml</b>	Aditivo (Sikament RM 300)

Fonte: Autora, 2017

Aditivo Sikament RM 300 citado na tabela 4, tem como característica líquido de pega normal, plastificante com alto poder de redução de água para concreto, permitindo trabalhar diversos tipos de concreto. Além de possuir componentes especiais que permiti otimizar os ganhos de resistências tanto nas primeiras idades como nas idades finais. Também compatível com a maioria dos cimentos, não tendo nenhuma restrição prévia quanto ao tipo do cimento.

#### 3.4.2. Moldagem dos blocos

Foram confeccionados blocos de concreto de vedação com substituição parcial do agregado miúdo por lodo como material alternativo, com dimensões 14x19x39 cm (largura x altura x comprimento) e tendo dois furos em acordo com a NBR 6136 (2016).

Os blocos foram confeccionados em uma indústria de blocos da capital com o auxílio de um vibro prensa. Primeiramente, o material foi colocado dentro do misturador como mostra a figura 25, e posteriormente através da esteira a mistura foi para a prensa conforme a figura 26 e 27.

Figura 25: Massa do bloco no misturador.



Fonte: Autora, 2017

Figura 26: Massa sobre a esteira.



Fonte: Autora, 2017

Figura 27: Blocos moldados.



Fonte: Autora, 2017

### 3.5. AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO

Foram feitos três tipos de substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo:

- Substituição parcial com 1,0% do lodo;
- Substituição parcial com 2,0% do lodo;
- Substituição parcial com 4,0% do lodo;

Conforme a NBR 6136 (2007), a quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão são 6 unidades.

Portanto, foram confeccionadas 7 amostras de blocos para cada idade de rompimento em cada uma das substituições, a fim de obter uma média com maior precisão. E posteriormente foi adotado maior teor de substituição possível que tenha obtido a resistência mínima para blocos de concreto de vedação conforme a mesma norma referida.

Figura 28: Amostras de blocos.



Fonte: Autora, 2017

### 3.6. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.6.1. Cura do bloco

A cura é o processo que tem como objetivo evitar a perda de água de amassamento de qualquer produto à base de cimento. Os blocos foram curados de forma natural em ambiente aberto, porém coberto por uma lona para manter a umidade conforme a figura 29.

Os blocos foram molhados duas vezes ao dia, pela manhã e no final da tarde, durante 7, 14 e 28 dias.

Figura 29: Cura dos blocos.



Fonte: Autora, 2017

### 3.6.2. Resistência mecânica à compressão das amostras de blocos de concreto.

A análise da resistência à compressão das amostras de blocos de concreto foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção de CEULP/ULBRA, utilizando a prensa hidráulica modelo PC200C da marca EMIC, com capacidade máxima de 200 toneladas.

Foram feitas as análises nas idades de 7 (sete), 14 (quatorze) e 28 (vinte e oito) dias, rompendo 7 (sete) amostras para cada idade em cada uma das substituições conforme caracterizado no item 5.5 da presente metodologia, obedecendo as exigências da NBR 12118 (2013).

A resistência à compressão dos blocos deve estar dentro dos limites estabelecido pela norma NBR 12118 (2013), conforme a figura 30.

Figura 30: Requisitos para resistência à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial <sup>a</sup> MPa	Absorção %				Retração <sup>d</sup> %
			Agregado normal <sup>b</sup>		Agregado leve <sup>c</sup>		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

<sup>a</sup> Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.  
<sup>b</sup> Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).  
<sup>c</sup> Blocos fabricados com agregado leve. (ver definição na ABNT NBR 9935).  
<sup>d</sup> Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT NBR 6136 (2007).

Para o ensaio, as faces dos blocos foram regularizadas com a lixadeira para uma melhor obtenção de resultados de resistência à compressão.

Figura 31: Ensaio resistência à compressão.



Fonte: Autora, 2017

### 3.6.3. Aferição da massa seca e do índice de absorção de água (AA)

Consisti na determinação da massa seca e no índice de absorção de água dos blocos de acordo com a ABNT NBR 15270-3 (2005). Para o ensaio foi utilizado três amostras de blocos e antes da primeira aferição, os blocos foram submetidos à secagem em estufa por 24h com temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Após a secagem, foi realizado duas medições da massa do bloco em intervalos de uma hora. Na segunda aferição, os blocos foram imergidos em um tanque com a água em temperatura ambiente por um período de 24h. O índice de absorção de água será determinado pela equação:

Equação 2:

$$AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Sendo:

AA: é índice de absorção de água;

Um: é a massa úmida;

Ms: é a massa seca.

#### 3.6.4. Aferição do índice de absorção de água inicial (AAI)

Os blocos empregados nesse ensaio foram os mesmos ensaiados anteriormente, conforme recomendado pela norma NBR 15270-3 (2005). No qual as amostras foram novamente submetidas a secagem em estufa no mínimo 24h. Retirada os blocos e após 2h, os blocos foram colocados em uma lâmina de água de aproximadamente 3 a 2mm por um período de 60 segundos, como mostra a figura ().

A massa foi medida antes e depois do bloco ter sido submetido a este último procedimento. O índice de absorção de água inicial dos blocos poderá ser aferido de acordo com a equação:

Equação 3:

$$AAI = 193,55 * \frac{\Delta p}{\text{Área}}$$

Onde:

AAI: é o índice de absorção d'água inicial (sucção) da face ensaiada, expresso em (g/193,55cm<sup>2</sup>) / min;

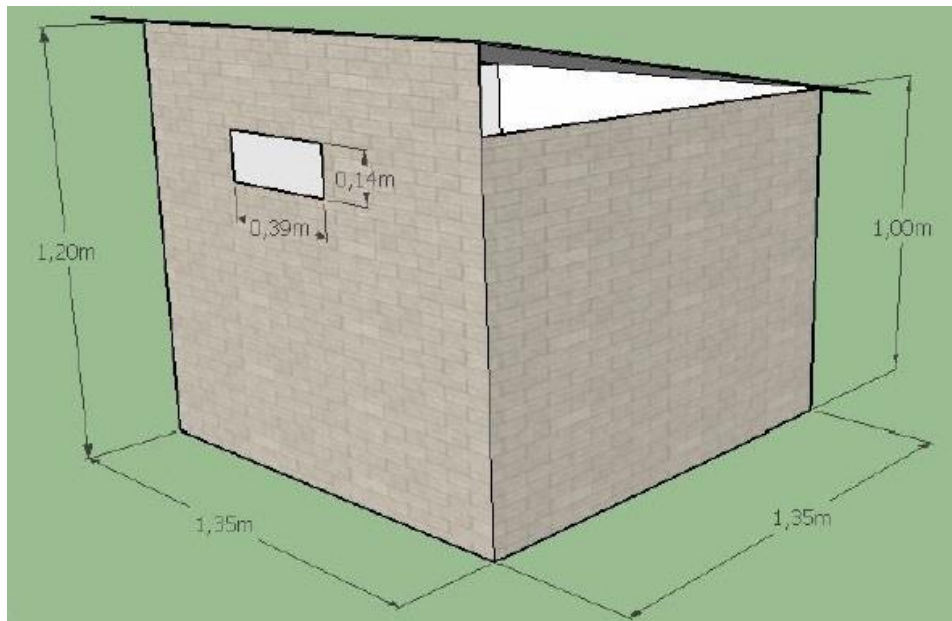
$\Delta p$ : é a variação de massa obtida no ensaio, em gramas;

Área: é a área bruta ou líquida dos blocos ensaiados, em centímetros quadrados.

### 3.7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

Foi construído um protótipo com os blocos do presente estudo, no Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). As dimensões do protótipo serão baseadas no trabalho realizado por Xavier (2016) e a janela voltada para oeste, tendo também como referência a NBR 15575 - 1 (2013) como mostra a figura 32, para analisar o conforto térmico nas residências. Entretanto, adaptando para as dimensões do bloco adotado de 14x19x39 cm.

Figura 32: Dimensões do protótipo.



Fonte: XAVIER (2016).

### 3.8. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA

#### 3.8.1. Desempenho através da NBR 15575

Levantamentos de dados de temperatura interna e externa do protótipo foi realizado *in loco*, seguindo recomendações da NBR 15575 (2013). A norma recomenda que o dia tomada para a análise deve corresponder a um dia típico de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. E também trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Entretanto, para um bom resultado, foram realizados ensaios térmicos durante três dias às 9h, 12h, 15h, 18h.

Foi utilizado um termo-higrômetro digital modelo HT – 700 da marca Instrutherm, conforme a figura 33, para medições das temperaturas internas e externas. E para medições das temperaturas internas e externas das paredes, foi utilizado termômetro digital infravermelho com mira laser modelo TG167 da marca FLIR, conforme a figura 34, para verificar o calor por irradiações do sistema.

Estes equipamentos foram cedidos pelo curso de Arquitetura e Urbanismo do CEULP/ULBRA.

Figura 33: Termo-higrômetro, Modelo HT - 700.



Fonte: Autora, 2017

Figura 34: Termômetro digital infravermelho com mira laser. Modelo TG167.



Fonte: Autora, 2017



### 3.8.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do através da NBR 15220-2

A NBR 15220-2 (2008) apresenta os métodos de cálculo da resistência térmica, transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Para a realização destes cálculos, são necessárias as propriedades térmicas dos materiais, que são apresentadas na norma.

#### 3.8.2.1. Resistência térmica

A resistência térmica ( $R$ ) de um material corresponde à dificuldade de transmissão de calor e é determinada pela equação abaixo:

Equação 4: Resistência térmica ( $R$ )

$$R = e/\lambda$$

Onde:

$e$ : espessura do bloco;

$\lambda$ : coeficiente de condutividade térmica do material.

A resistência térmica total de um componente é determinada pelas equações 5 e 6. A equação 5 determina a resistência térmica de superfície a superfície e a equação 6 de ambiente a ambiente.

Equação 5: Resistência térmica de superfície a superfície ( $R_t$ )

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Onde:

$R_a, R_b, \dots, R_n$  são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção, determinadas pela expressão 1;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

Equação 6: Resistência térmica ambiente a ambiente ( $RT$ )

$$RT = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 2;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna.

Para os elementos que não apresentarem câmaras de ar ventiladas deverá ser determinada a resistência térmica do ar, por meio da tabela 4. E para o cálculo de resistência térmica de superfície considerando o fluxo de ar deve-se considerar a tabela 5, conforme apresentados na norma NBR 15220 – 2 (2003).

Tabela 4: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: NBR 15220 (2003).

Tabela 5: Resistência térmica superficial interna e externa.

$R_{si}$ ( $m^2.K/W$ )			$R_{se}$ ( $m^2.K/W$ )		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (2003).

### 3.8.2.2. Transmitância térmica

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente é o inverso da resistência térmica total, conforme a equação 7.

Equação 7: Transmitância térmica ( $U$ )

$$U = 1 / R_T$$

### 3.8.2.3. Capacidade térmica

A capacidade térmica determina o calor necessário para produzir variação térmica em um sistema, e pode ser determinada pela equação 8.

Equação 8: Capacidade térmica ( $CT$ )

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Onde:

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada  $i^a$ ;

$R_i$  é a resistência térmica da camada  $i^a$ ;

$e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ ;

$c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ,

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

A capacidade térmica de um componente constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela equação 9.

Equação 9: Capacidade térmica de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas ( $CT$ )

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}}$$

Onde:

$C_{Ta}$ ,  $C_{Tb}$ , ...,  $C_{Tn}$  são as capacidades do componente para cada seção, determinadas pela expressão 5;

$A_a$ ,  $A_b$ , ...,  $A_n$  são as áreas de cada seção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1. Determinação da massa específica do lodo

Foram realizados dois ensaios para obtenção da massa específica conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6: Resultado da massa específica do lodo.

#### MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm – NBR 6508

Picnômetro nº (#)	1	2
Teor de umidade (%)	0	0
Massa solo úmido (g)	76	76
Massa picnômetro + solo + água, 24 °C de Ensaio (g)	662,4	656,8
Massa picnômetro cheio de água (g)	634,5	634,5
Temperatura de ensaio (°C)	24	24
Massa de solo seco (g)	50,00	50,00
Massa específica da água, 24 °C de ensaio (g/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	1,88
Massa específica dos grãos média (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1,87</b>	

Fonte: Autora, 2017

Os resultados foram considerados satisfatórios, pois não diferiram mais que 0,02 g/cm<sup>3</sup>.

Portanto, o resultado final foi obtido a média de 1,87 g/cm<sup>3</sup> de massa específica do lodo.

#### 4.1.2. Determinação granulométrica do lodo

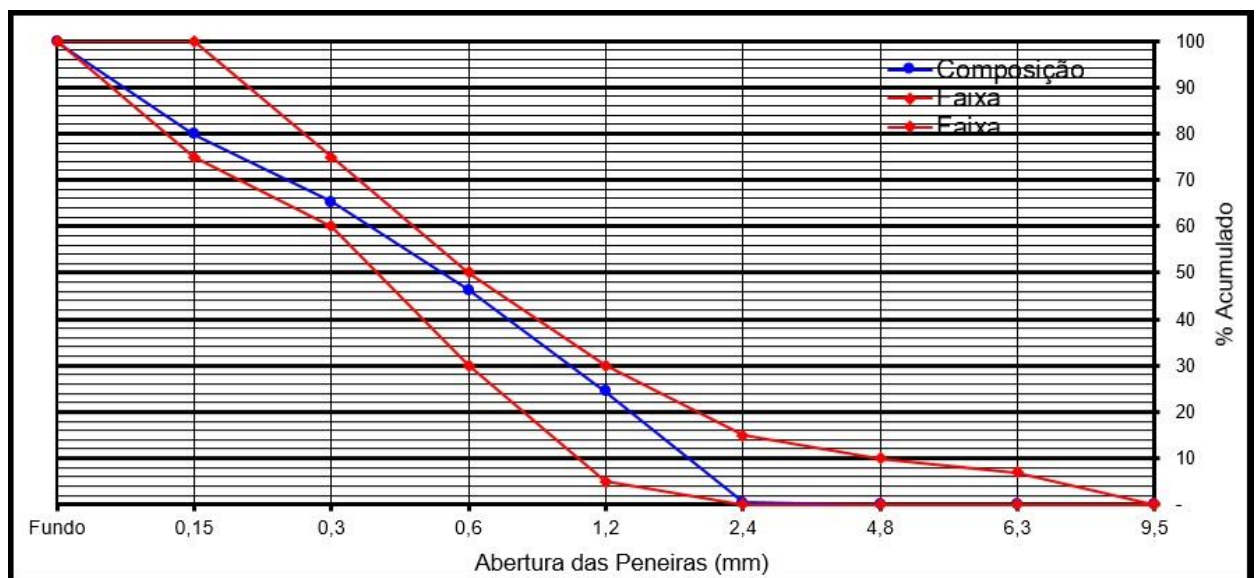
A composição granulométrica encontrada na tabela 7, e o gráfico conforme a figura 35, o lodo caracteriza-se como solo fino, conforme estabelece a norma NBR NM 248 (2003), pois está situado dentro da faixa granulométrica 2, que indica o tipo do agregado.

Tabela 7: Composição granulométrica do lodo.

Peneira (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumul.	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumul.	% Retida Simples	% Retida Acumul.
4,8	-	-	-	-	-	-	-	-
2,4	2,10	0,42	0,42	2,70	0,54	0,54	0,48	0,48
1,2	115,90	23,18	23,60	123,60	24,72	25,26	23,95	24,43
0,6	108,80	21,76	45,36	110,50	22,10	47,36	21,93	46,36
0,3	98,00	19,60	64,96	91,10	18,22	65,58	18,91	65,27
0,15	74,90	14,98	79,94	71,10	14,22	79,80	14,60	79,87
FUNDO	99,30	19,86	99,80	100,00	20,00	99,80	19,93	99,80
TOTAL	499,00	99,80	-	499,00	99,80	-	99,80	-

Fonte: Autora, 2017

Figura 35: Análise granulométrica do lodo.



Fonte: Autora, 2017

Os resultados das amostras obtiveram pequenas variações na quantidade de material retido em cada peneira.

#### 4.1.3. Massa unitária do lodo

Foram realizadas três determinações individuais conforme a tabela 8, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, expresso em quilogramas por metro cúbico.

Tabela 8: Resultado da massa unitária do lodo.

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	12,70	15,00	0,35
<b>2</b>	12,71		0,34
<b>3</b>	12,70		0,35
<b>Média</b>			<b>0,35</b>

Fonte: Autora, 2017

Os resultados foram considerados satisfatórios, pois cada ensaio não apresentou desvio maior que 1% em relação à média.

#### 4.1.4. Determinação do limite de plasticidade do lodo

Não foi possível realizar o ensaio de limite de plasticidade, porque o lodo apresentou-se um solo NP (não plástico). Ao umedecer e misturar o lodo, não houve coesão, o que impossibilitou dar continuidade no ensaio.

Pode-se concluir que o lodo é um conjunto de composição proveniente de resíduos da ETA (resíduos de impurezas), o que não tem vínculo com o solo.

#### 4.1.5. Cimento

O cimento utilizado é Cimento Portland composto CP II Z – 32, atendendo às exigências das normas vigentes.

#### 4.1.6. Determinação granulométrica do agregado miúdo e graúdo

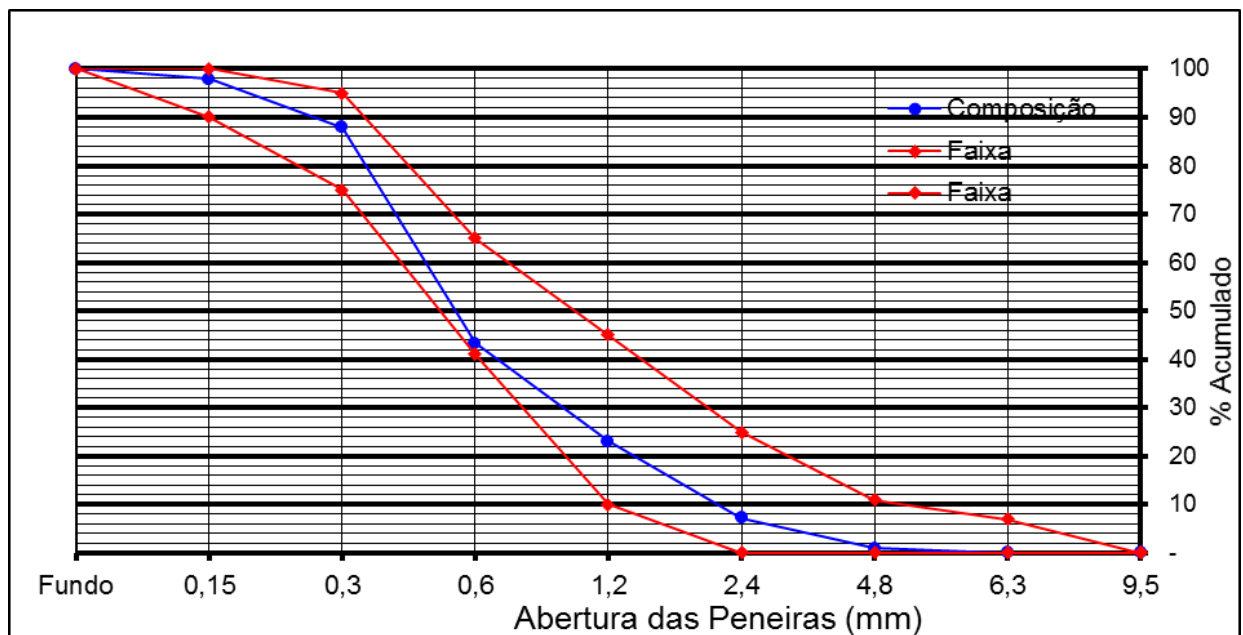
O agregado miúdo e graúdo foram caracterizados da mesma forma que o lodo, onde se caracteriza como areai média e pedrisco por estar dentro da faixa granulométrica 3 e 0, que indica o tipo do agregado. Seus resultados encontram-se nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Composição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumul.	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumul.	% Retida Simples	% Retida Acumul.
4,8	5,6	1,12	1,12	4,8	0,96	0,96	1,04	1,04
2,4	32,30	6,46	7,58	30,30	6,06	7,02	6,26	7,30
1,2	81,80	16,36	23,94	76,30	15,26	22,28	15,81	23,11
0,6	99,50	19,90	43,84	102,20	20,44	42,72	20,17	43,28
0,3	220,10	44,02	87,86	226,50	45,30	88,02	44,66	87,94
0,15	49,80	9,96	97,82	49,80	9,96	97,98	9,96	97,90
FUNDO	10,90	2,18	100,00	10,10	2,02	100,00	2,10	100,00
TOTAL	500,00	100,00	-	500,00	100,00	-	100,00	-

Fonte: Autora, 2017

Figura 36: Análise granulométrica do agregado miúdo.



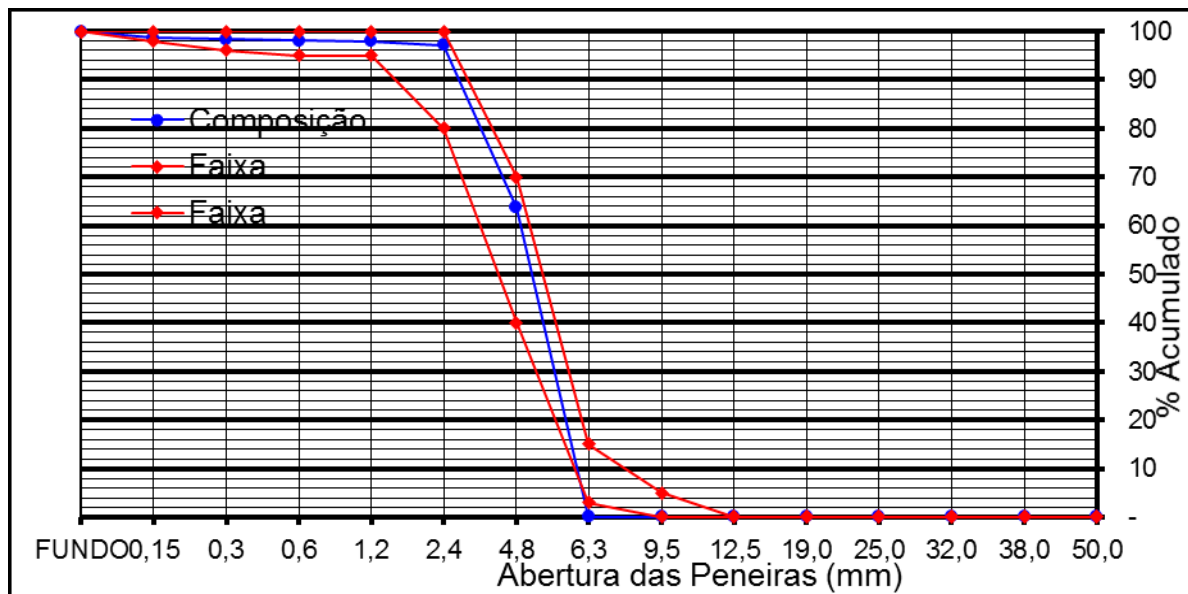
Fonte: Autora, 2017

Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa Retida (g)	% Retida		Massa Retida (g)	% Retida		Simple	Acumul.
4,8	597,7	59,77	59,77	676,6	67,66	67,66	63,715	63,715
2,4	368,20	36,82	96,59	300,40	30,04	97,70	33,43	97,15
1,2	11,00	1,10	97,69	4,60	0,46	98,16	0,78	97,93
0,6	2,10	0,21	97,90	1,40	0,14	98,30	0,18	98,10
0,3	2,20	0,22	98,12	1,70	0,17	98,47	0,20	98,30
0,15	3,30	0,33	98,45	2,80	0,28	98,75	0,31	98,60
FUNDO	15,50	1,55	99,67	12,50	1,25	100,00	1,40	100,00
TOTAL	1000,00	100,00	-	1000,00	100,00	-	100,00	

Fonte: Autora, 2017

Figura 37: Análise granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autora, 2017

Os resultados das amostras obtiveram pequenas variações na quantidade de material retido em cada peneira. Conforme a ABNT NBR NM 248 (2003) os resultados obtidos são classificados como satisfatórios, já que a diferença do somatório do material retido não diferiu mais que 0,3% da massa da amostra, as porcentagens individuais retidas não diferiram mais que 4% entre si e o módulo de finura não variou mais que 0,2% para as duas amostras.



#### 4.1.7. Massa unitária do agregado miúdo e graúdo

Os resultados encontram-se nas tabelas 11 e 12, e os resultados foram considerados satisfatórios.

Tabela 11: Resultado da massa unitária do agregado miúdo.

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	1,6533	1,00	1,65
<b>2</b>	1,6750		1,68
<b>3</b>	1,6854		1,69
<b>Média</b>			<b>1,67</b>

Fonte: Autora, 2017

Tabela 12: Resultado da massa unitária do agregado graúdo.

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	1,3722	1,00	1,37
<b>2</b>	1,3764		1,38
<b>3</b>	1,4078		1,40
<b>Média</b>			<b>1,39</b>

Fonte: Autora, 2017

Conforme ABNT NBR NM 45 (2006) os resultados de massa unitária obtidos não devem diferir mais que 1% em relação à média. Dessa forma tanto para os resultados do agregado miúdo quanto para os resultados do agregado graúdo a determinação foi considerada satisfatória.

#### 4.1.8. Massa específica do agregado miúdo e graúdo

Foi realizado duas amostras e os resultados foram satisfatórios, pois a mesma amostra não diferiram em mais que 0,02g/cm<sup>3</sup> conforme a exigência da NM 52 (2009). Os resultados encontram-se nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Resultado da massa específica do agregado miúdo.

<b>MASSA ESPECÍFICA - - NM 52 (2009)</b>			
<b>Picnômetro Nº</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Massa Picnômetro+Areia+Água,T°C de Ensaio</b>	<b>(g)</b>	2831,30	2822,90
<b>Massa Picnômetro Cheio de Água</b>	<b>(g)</b>	2514,00	2514,00
<b>Temperatura de Ensaio</b>	<b>(°C)</b>	24	24
<b>Massa Material Seco</b>	<b>(g)</b>	500,00	500,00
<b>Massa Específica da Água, T°C de Ensaio</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,9981	0,9981
<b>Massa Específica</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,74</b>	<b>2,76</b>
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,75</b>	

Fonte: Autora, 2017

Tabela 14: Resultado da massa específica do agregado graúdo.

<b>MASSA ESPECÍFICA - - NM 52 (2009)</b>			
<b>Picnômetro Nº</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Massa Picnômetro+Brita+Água,T°C de Ensaio</b>	<b>(g)</b>	2816,90	2818,80
<b>Massa Picnômetro Cheio de Água</b>	<b>(g)</b>	2514,00	2514,00
<b>Temperatura de Ensaio</b>	<b>(°C)</b>	24	24
<b>Massa Material Seco</b>	<b>(g)</b>	500,00	500,00
<b>Massa Específica da Água, T°C de Ensaio</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,9981	0,9981
<b>Massa Específica</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,54</b>	<b>2,56</b>
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,55</b>	

Fonte: Autora, 2017

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. Resistência mecânica à compressão simples das amostras de blocos de concreto de vedação.

Os blocos de vedação com suas respectivas substituições e blocos de referência, foram avaliados segundo sua resistência à compressão no laboratório de materiais de construção civil do CEULP/ULBRA, seguindo as exigências da NBR 15270-3 (2005). A resistência é a capacidade que a parede de alvenaria possui de suportar as diversas ações mecânicas previstas em projeto, tais como as cargas da estrutura, vento, deformações, choques e entre outros.

As tabelas que ilustram os resultados de resistência à compressão dos blocos de referência e os blocos com suas respectivas substituições se encontram no Apêndice A.

#### 6.2.1.1 Blocos traço referencial de 7, 14 e 28 dias

Os blocos nas três idades obtiveram resistência satisfatória, como mostra a tabela 15, atendendo ao mínimo necessários de 3,0Mpa para alvenaria de vedação, conforme as exigências da NBR 6136 (2007).

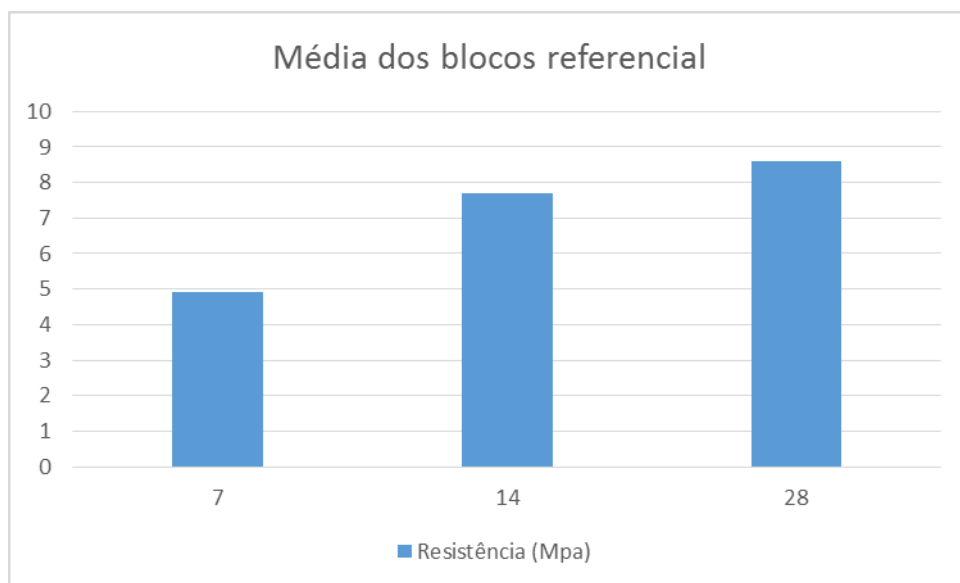
Tabela 15: Médias dos blocos referencial.

<b>Médias</b>	
<b>Idade</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
<b>7</b>	4,9
<b>14</b>	7,7
<b>28</b>	8,6

Fonte: Autora, 2017

Observando a figura 38, percebe-se que conforme avança a idade, ou seja, quanto maior o tempo de cura dos blocos maior é a resistência dos mesmos. Pode-se concluir que a cura é um fator determinante na resistência à compressão dos blocos.

Figura 38: Representação gráfica das médias obtidas dos blocos referencial.



Fonte: Autora, 2017

#### 6.2.1.4 Blocos com suas respectivas substituições

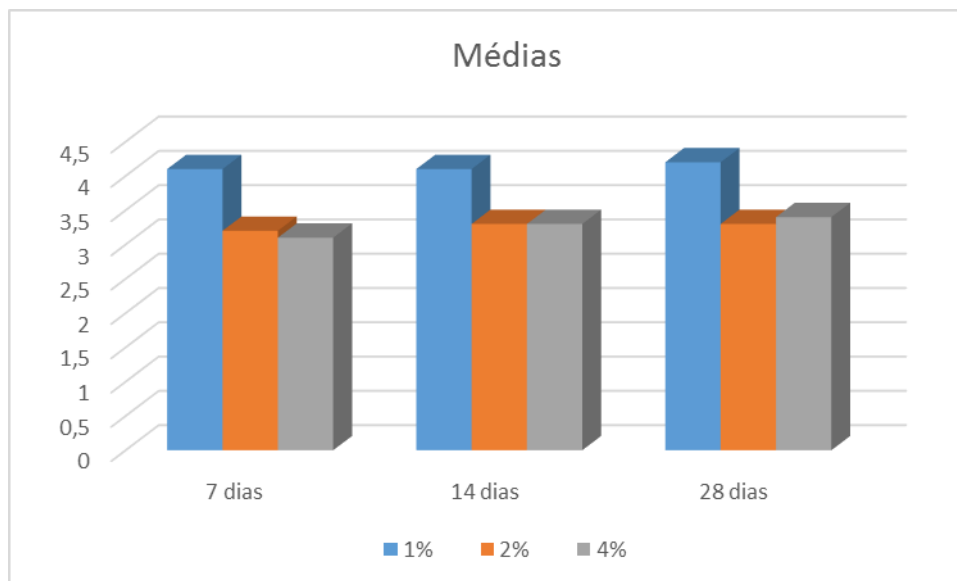
Com os resultados obtidos de todas as substituições, a tabela 16 ilustra as médias, relacionando o percentual da substituição com a idade.

Tabela 16: Médias.

<b>Médias</b>			
<b>%</b>	<b>7 dias (Mpa)</b>	<b>14 dias (Mpa)</b>	<b>28 dias (Mpa)</b>
<b>1</b>	4,1	4,1	4,2
<b>2</b>	3,2	3,3	3,3
<b>4</b>	3,1	3,3	3,4

Fonte: Autora, 2017

Figura 39: Representação gráfica das médias obtidas.



Fonte: Autora, 2017

Os blocos obtiveram resistência satisfatória, atendendo ao mínimo necessários de 3,0Mpa para alvenaria de vedação dentro das exigências da NBR 6136 (2007). Ao averiguar as médias obtidas conforme ilustra a tabela 16 e o gráfico da figura 39, percebe-se que entre as idades de cada substituição não houve diferença relevante. Já em relação às porcentagens, somente o teor de 1% teve uma relevância com relação às outras duas porcentagens.

A diminuição da resistência do bloco em estudo com relação à blocos de traço referencial, pode ser ocasionado devido à adição de finos na composição do

concreto, neste caso o lodo que foi caracterizado como um solo fino. O excesso de finos em combinação com o cimento acarreta maior consumo de água de amassamento, gerando maior retração por secagem comprometendo então a resistência do concreto.

No entanto, o objetivo principal do presente estudo é adotar maior teor de substituição possível que tenha atingido a resistência mínima para blocos de concreto de vedação conforme a NBR 6136 (2007). Tendo também como objetivo reduzir o impacto ambiental da geração de resíduos, através da reutilização do lodo proveniente da ETA.

Portanto, para execução do protótipo e para avaliação do conforto térmico, foram utilizados teor de 4% do lodo como substituição parcial de agregado miúdo.

#### 6.2.1.4 Índice de absorção de água (AA %)

Está diretamente relacionada à impermeabilidade dos produtos, ao acréscimo imprevisto de peso à parede saturada e à durabilidade. A verificação de índice de absorção de água de blocos de concreto estrutural, tem como referência NBR 6136 (2007).

O resultado do ensaio encontra-se na tabela 17, nota-se que os índices entre os blocos do mesmo lote, obteve percentuais próximos.

Tabela 17: Resultados índice de absorção de água (AA %).

<b>BLOCO</b>	<b>MASSA SECA (kg)</b>	<b>Massa úmida (kg)</b>	<b>Índ. Abs. Água (AA %)</b>
<b>1</b>	11,45	12,15	6,1
<b>2</b>	11,65	12,30	5,8
<b>3</b>	11,25	11,90	5,8
	<b>MÉDIA</b>		<b>5,9</b>

Fonte: Autora, 2017

O índice de absorção é utilizado como um indicador de durabilidade. A absorção Individual de blocos de concreto deve ser menor ou igual a 10%, sendo assim, os resultados obtidos são satisfatórios.

### 6.2.1.5 Índice de absorção de água inicial (AAI)

Absorção inicial corresponde à capacidade de sucção do bloco. É um indicador importante para definir o potencial de aderência do bloco com uma argamassa com retenção adequada

Para o ensaio, foi utilizado os mesmos blocos utilizado para o ensaio de índice de absorção de água, conforme a recomendação da NBR 15270 – 3 (2005). Os resultados desse ensaio, encontram-se na tabela 18.

Tabela 18: Resultados índice de absorção de água inicial (AAI).

<b>BLOCO</b>	<b>MASSA SECA (g)</b>	<b>Massa úmida (g)</b>	<b>Índ. Abs. Água Inic. ((g/193,55cm<sup>2</sup>)/min)</b>
<b>1</b>	11.450	11.550	35,4
<b>2</b>	11.650	11.700	17,7
<b>3</b>	11.250	11.300	17,7

Fonte: Autora, 2017

Conforme a NBR 15270-1 (ABNT, 2005), caso a absorção de água inicial (AAI) dos blocos estruturais e de vedação seja superior a (30 g/193,55cm<sup>2</sup>)/min, os blocos devem ser umedecidos antes do assentamento para o seu melhor desempenho. Se o valor encontrado no ensaio resultar menor que o limite mencionado, os blocos podem ser assentados sem ser previamente umedecidos.

## 4.3. PROTÓTIPO

### 4.3.1. Execução do contrapiso

Para o contrapiso foi adotado traço 1:6 (cimento:areia), de acordo com Cichinelli (2006) onde afirma que para pisos internos de edifícios habitacionais e comerciais utiliza normalmente 1:5 a 1:7 para execução do contrapiso.

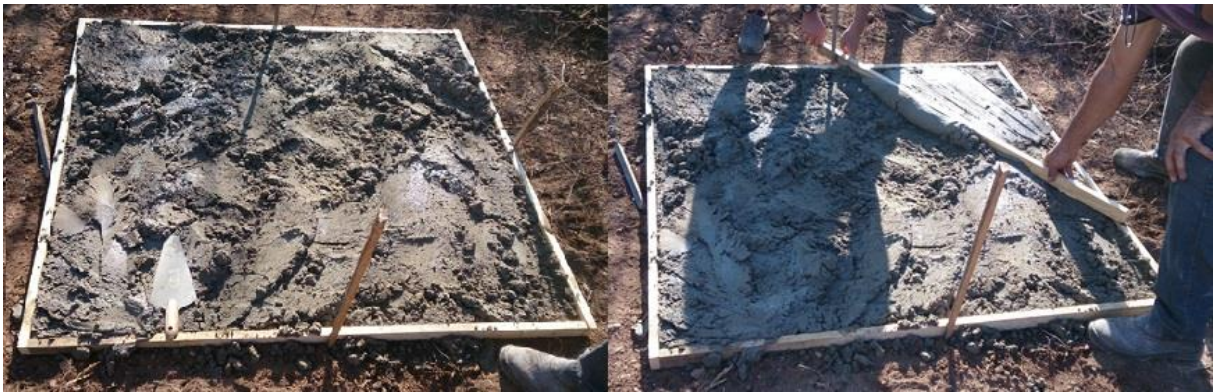
Foi adotado dimensões de 1,40 m de comprimento, 1,40 m de largura e 5 cm de espessura. Abaixo, segue as etapas de execução do contrapiso como mostram as figuras 40,41 e 42.

Figura 40: Espalhando a massa do contrapiso.



Fonte: Autora, 2017

Figura 41: Regularização do contrapiso.



Fonte: Autora, 2017

Figura 42: Contrapiso finalizado.



Fonte: Autora, 2017

#### 4.3.2. Assentamento dos blocos

As fiadas dos blocos foram assentadas utilizando argamassa de assentamento produzida *in loco* com traço 1:6 (cimento:areia), ilustradas nas figuras 43 e 44.

Figura 43: Assentamento da primeira fiada.



Fonte: Autora, 2017

Figura 44: Assentamento dos blocos. A imagem mostra a construção de uma parede de blocos de concreto em duas perspectivas. A parede está sendo construída sobre uma base de argamassa e já possui algumas camadas de blocos assentadas.



Fonte: Autora, 2017



Na fachada oeste, foi feita uma abertura retirando um bloco para a realização dos ensaios de desempenho térmico, conforme ilustrado na figura 45.

Figura 45: Abertura na fachada oeste.



Fonte: Autora, 2017

#### 4.3.3. Cobertura

O encunhamento das paredes para receber a cobertura, os tijolos da última fiada foram seccionados em diagonal para que não haja nenhuma fresta entre telhado e parede. Uma boa vedação entre a cobertura e parede pode influenciar diretamente na hora da realização dos ensaios de desempenho térmico.

Enfim, foram utilizadas telhas de fibrocimento na cobertura do protótipo, conforme a figura 46 e 47.

Figura 46: Telha fibrocimento (fachada Sul e Leste).



Fonte: Autora, 2017

Figura 47: Fachada Norte e Oeste.



Fonte: Autora, 2017

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA

##### 4.4.1. Desempenho através da NBR 15575

Para avaliação do desempenho térmico do sistema construtivo, foram feitas medições das temperaturas ambientes, tal como das temperaturas nas fachadas do protótipo construído, tanto externas quanto internas, em 3 (três) dias típicos de verão na cidade de Palmas – TO. As tabelas que ilustram as medições nas fachadas se encontram no Apêndice B.

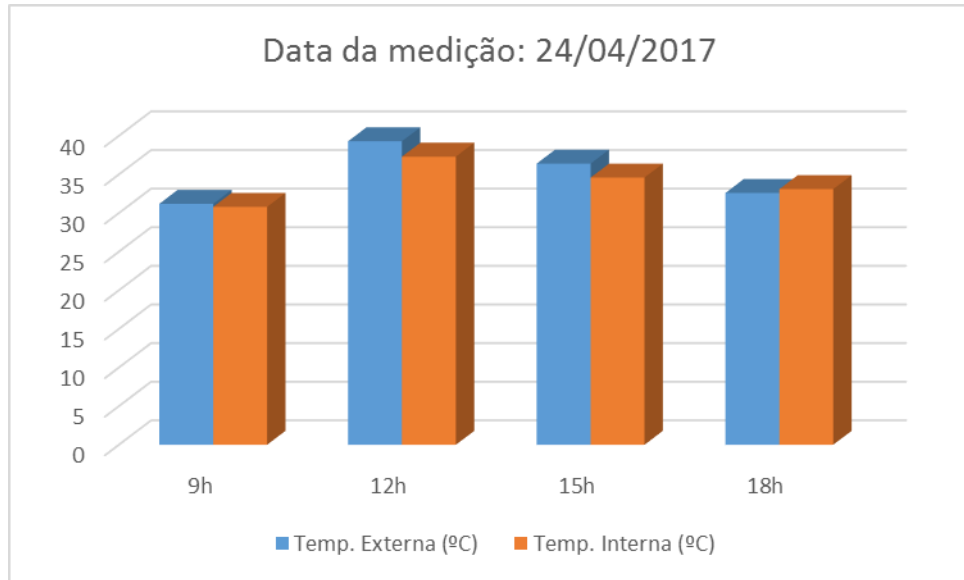
As tabelas e figuras a seguir, mostram as variações de temperatura ambiente registrada às 9h, 12h, 15h e 18h

Tabela 19: Variações de temperatura ambiente.

24/04/217	Horário de medições			
	9h	12h	15h	18h
Temp. Externa (°C)	31,2	39,3	36,4	32,6
Temp. Interna (°C)	30,8	35,2	34,6	33,1
Varição da temp. (°C)	-0,4	-4,1	-1,8	+0,5

Fonte: Autora, 2017

Figura 48: Variações de temperatura ambiente.



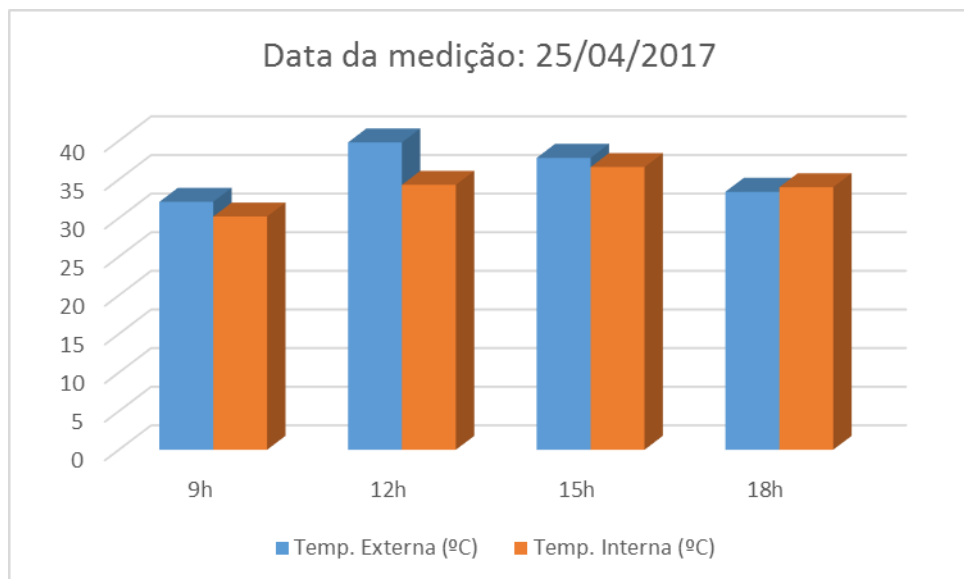
Fonte: Autora, 2017

Tabela 20: Variações de temperatura ambiente.

25/04/2017	Horário de medições			
	9h	12h	15h	18h
Temp. Externa (°C)	32,1	39,8	37,8	33,4
Temp. Interna (°C)	30,2	34,3	36,6	34,0
Varição da temp. (°C)	-1,9	-5,5	-1,2	+0,6

Fonte: Autora, 2017

Figura 49: Variações de temperatura ambiente.



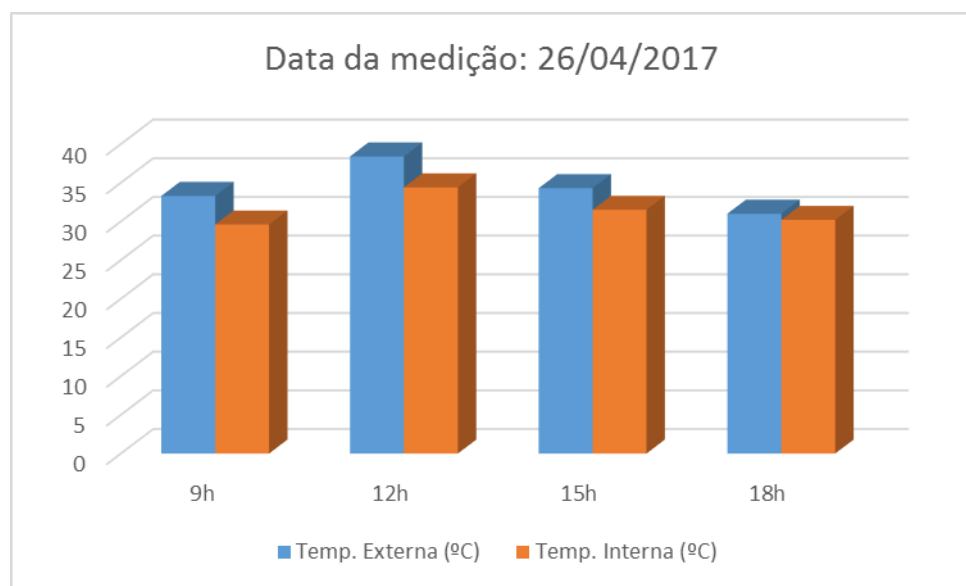
Fonte: Autora, 2017

Tabela 21: Variações de temperatura ambiente.

26/04/2017	Horário de medições			
	9h	12h	15h	18h
Temp. Externa (°C)	33,3	38,4	34,3	31,0
Temp. Interna (°C)	29,6	34,4	31,5	30,2
Varição da temp. (°C)	-3,7	-4,0	-2,8	- 0,8

Fonte: Autora, 2017

Figura 50: Variações de temperatura ambiente



Fonte: Autora, 2017

A maior variação de temperatura foi notada no dia 25 de abril de 2017, como pode ser observada na tabela 20, às 12 horas da manhã, obtendo 5,5°C de diferença. Por coincidência, a maior temperatura registrada durante as medições, também foi no mesmo dia e horário, atingindo 39,8°C (temperatura externa), e a temperatura interna no mesmo momento, foi de 34,3°C.

Então, analisando as variações das temperaturas obtidas, pode-se concluir que não houve uma variação muito significativa, sendo assim, deixando a desejar a melhoria do conforto térmico.

4.4.2. Comparação do desempenho térmico dos blocos com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo com sistema de alvenaria estrutural de blocos de concreto convencional, por meio de bibliografias anteriores.

Na comparação do desempenho térmico, foi aplicado dados do trabalho Silva (2012) apud Vezaro (2016), no qual foi realizado um estudo comparativo de desempenho térmico em edificações verticais de alvenaria estrutural em Palmas – TO.

Silva (2012) apud Vezaro (2016), aferiu as temperaturas internas e externas das paredes de edifícios em construção de alvenaria estrutural de blocos de concreto com paredes rebocadas.

Segundo Vezaro (2016), o autor Silva (2012) fez medições no período matutino e vespertino, e devido às medições terem sido feitas em épocas diferentes do autor, foram exploradas as diferenças de temperatura somente das fachadas leste e oeste.

Diante disso, as tabelas 22 e 23, constataam as variações de temperaturas dos blocos com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo nos períodos matutinos e vespertino.

Tabela 22: Média da variação de temperatura do período matutino.

<b>Fachada</b>	<b>24/04/2017</b>	<b>25/04/2017</b>	<b>26/04/2017</b>	<b>Média</b>
<b>Oeste</b>	-0,8	-1,7	-1,5	<b>1,33</b>
<b>Leste</b>	-13,0	-7,0	-11,8	<b>10,60</b>

Fonte: Autora, 2017

Tabela 23: Média da variação de temperatura do período vespertino.

<b>Fachada</b>	<b>24/04/2017</b>	<b>25/04/2017</b>	<b>26/04/2017</b>	<b>Média</b>
<b>Oeste</b>	+0,2	-10,1	+1,0	<b>3,77</b>
<b>Leste</b>	+3,5	-1,1	-0,8	<b>1,8</b>

Fonte: Autora, 2017

As tabelas 24 e 25 expressa as variações de temperatura analisadas por Silva (2012) apud Vezaro (2016), em sistemas construtivos de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Tabela 24: Diferenças de temperaturas no período matutino em construções de alvenaria estrutural.

<b>Diferenças de Temperaturas (° C)</b>				
	Norte (1)	Oeste (2)	Sul (3)	Leste (4)
Cid. Jardim	-2,28	-0,92	-1,62	-3,46

Fonte: Silva (2012) apud Vezaro (2016).

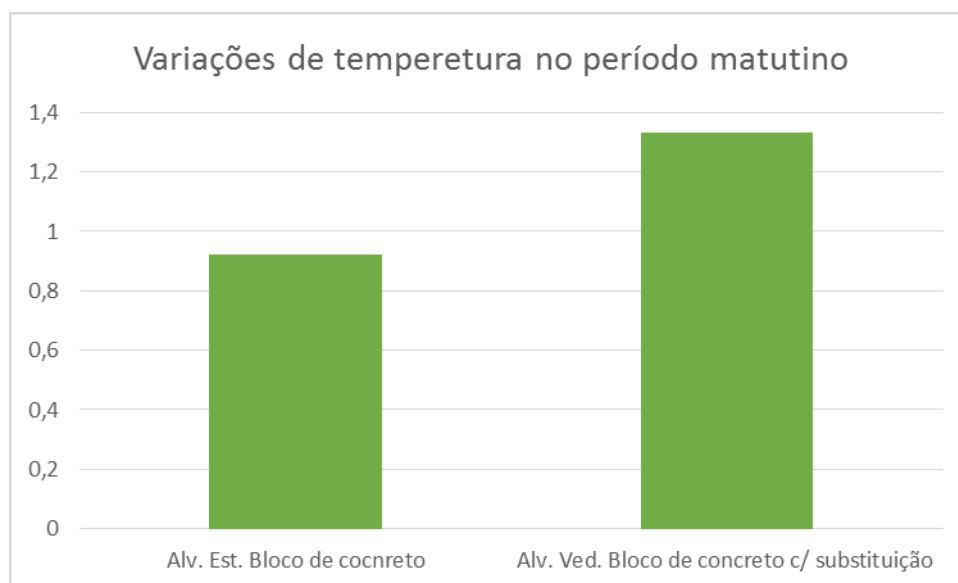
Tabela 25: Diferenças de temperaturas no período vespertino em construções de alvenaria estrutural.

<b>Diferenças de Temperaturas (° C)</b>				
	Norte (1)	Oeste (2)	Sul (3)	Leste (4)
Cid. Jardim	-1,43	-4,44	-1,42	-1,03

Fonte: Silva (2012) apud Vezaro (2016).

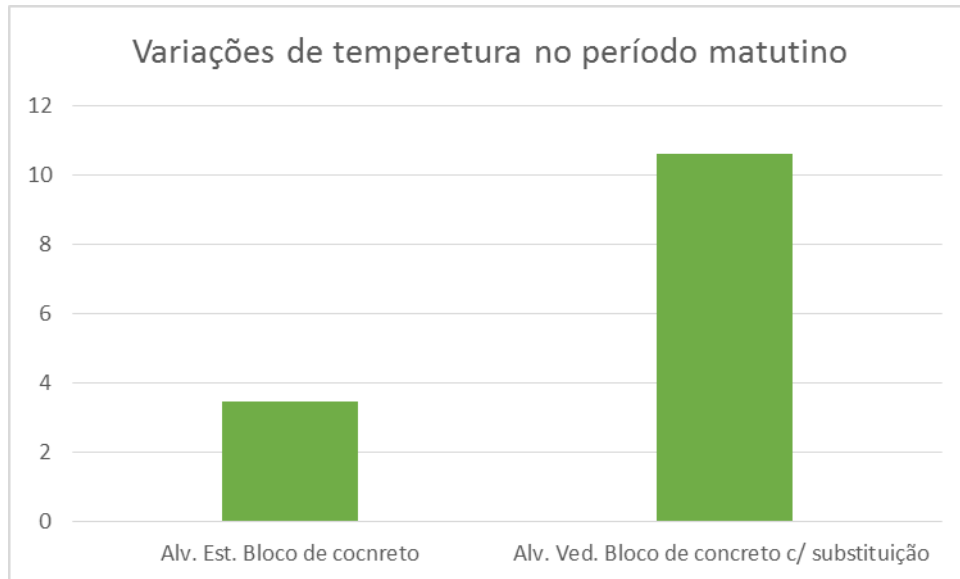
Com base destes dados, fez-se uma comparação do desempenho térmico destes sistemas, das fachadas Leste o Oeste. As figuras 51 e 52 mostram as variações de temperatura no período matutino.

Figura 51: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Oeste.



Fonte: Autora, 2017

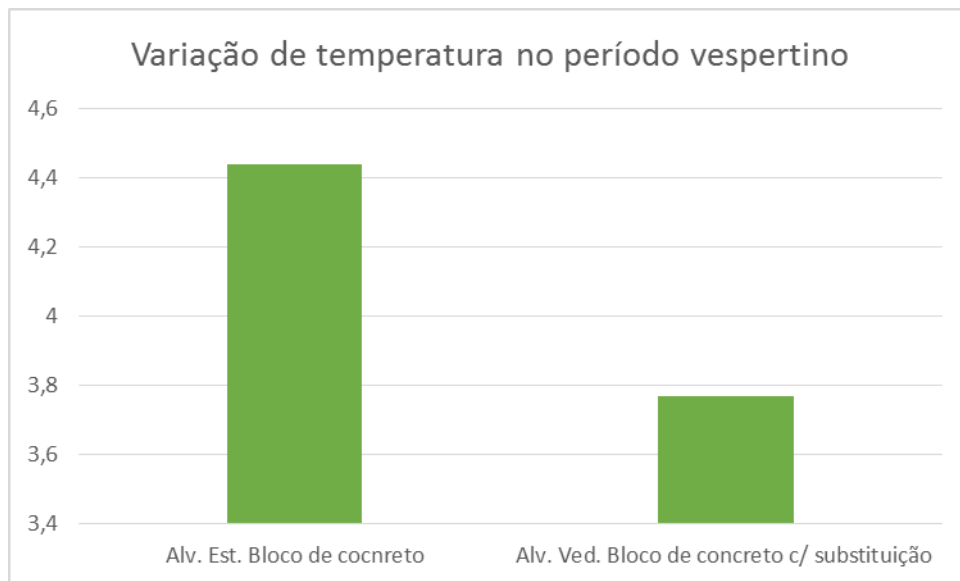
Figura 52: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste.



Fonte: Autora, 2017

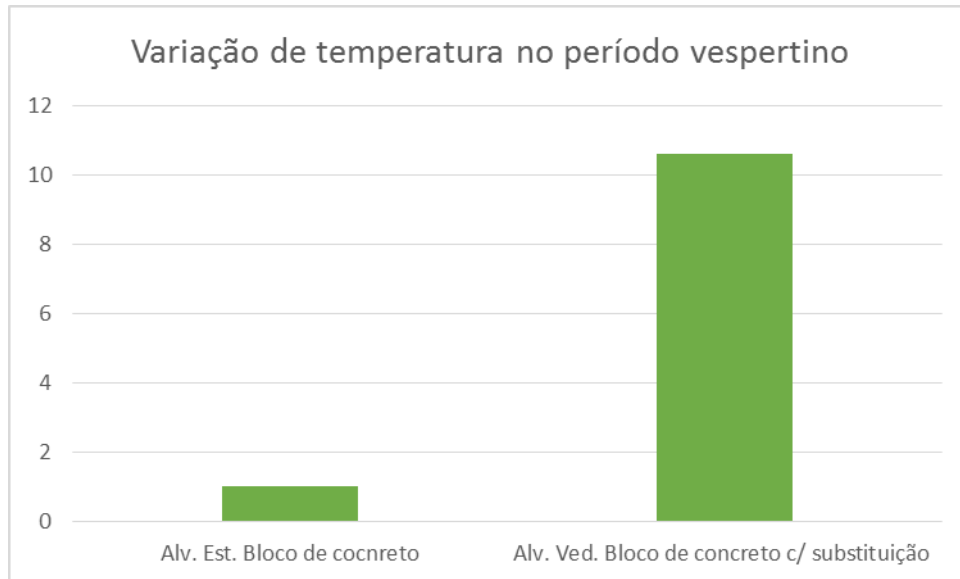
Em seguida, as figuras 53 e 54 mostram as variações de temperatura no período vespertino.

Figura 53: Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Oeste.



Fonte: Autora, 2017

Figura 54: Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste.



Fonte: Autora, 2017

Foi constatado que nas fachadas Leste, tanto no período matutino e vespertino, houve uma variação grande favorecendo o bloco de concreto com substituição. Já nas fachadas Oeste no período da manhã, houve uma pequena variação e no período vespertino, houve uma variação grande favorecendo alvenaria estrutural de bloco de concreto.

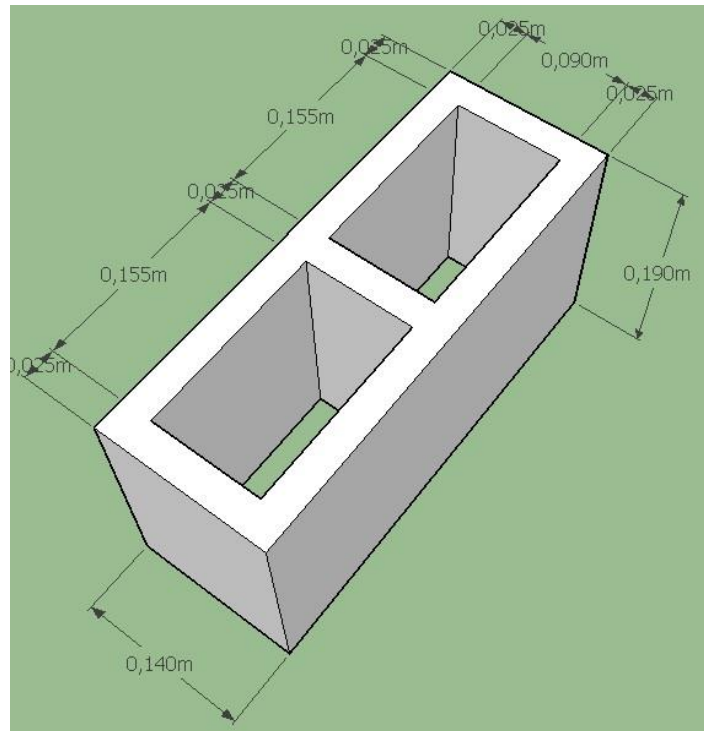
Diante de todas as análises realizados, pode-se admitir que os blocos de concreto com substituição parcial de agregado miúdo pelo lodo, pode contribuir, mesmo pouco, no conforto térmico. Vale lembrar que as medições de temperatura realizada no protótipo, não recebeu nenhuma camada de revestimento.

#### 4.4.3. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do protótipo através da NBR 15220-2

Para a realização dos cálculos, foi feito as medições do bloco, como mostra a figura 55, para obtenção da área de seção.



Figura 55: Vista em perspectiva.



Fonte: Autora, 2017

Dados:

Dimensões do bloco = 39cm x 19cm x 14cm

 $\rho$  concreto = 2400 kg/m<sup>3</sup> $\lambda$  concreto = 1,75 W/(m.K) (valor obtido tabela B.3 da norma vigente)

C concreto = 1,00 kJ/(kg.K) (valor obtido tabela B.3 da norma vigente)

Para a câmara de ar,  $R_{ar} = 0,17$  (m<sup>2</sup>.k)/W (Tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0cm, fluxo horizontal).

#### 6.4.2.1 Resistência térmica

a) Resistência térmica da parede:

➤ Seção A:

$$A_a = 0,025 \times 0,39 = 0,00975 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,14}{1,75} = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{k)/w}$$

➤ Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$Ab = 0,155 \times 0,39 = \mathbf{0,06045 \text{ m}^2}$$

$$Rb = \frac{e \text{ concreto}}{\lambda \text{ concreto}} + R_{ar} + \frac{e \text{ concreto}}{\lambda \text{ concreto}} = \frac{0,025}{1,75} + 0,17 + \frac{0,025}{1,75}$$

$$= \mathbf{0,1986 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/w}}$$

Logo, a resistência térmica da parede é:

$$Rt = \frac{3xAa + 2xAb}{\frac{3xAa}{Ra} + \frac{2xAb}{Rb}} = \frac{3 \times 0,00975 + 2 \times 0,0645}{\frac{3 \times 0,00975}{0,08} + \frac{2 \times 0,0645}{0,1986}} = \frac{0,1683}{0,6495}$$

$$= \mathbf{0,2591 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/w}}$$

b) Resistência térmica total:

$$RT = R_{si} + Rt + R_{se} = 0,13 + 0,2591 + 0,04 = \mathbf{0,4291 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/w}}$$

#### 6.4.2.2 Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,4291} = \mathbf{2,33 \text{ w/(m}^2\cdot\text{k)}}$$

#### 6.4.2.3 Capacidade térmica

➤ Seção A:

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} = 0,14 \times 1,00 \times 2400 = \mathbf{336 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{k)}}$$

➤ Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot p_i = (e_i \cdot c_i \cdot p_i)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot p)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot p)_{\text{concreto}}$$

Desconsiderando a capacidade térmica da câmara de ar, tem-se:

$$C_{Tb} = 0,025 \times 1,00 \times 2400 + 0 + 0,025 \times 1,00 \times 2400 = 120 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$$

Logo, a capacidade térmica da parede é:

$$C_t = \frac{3 \times A_a + 2 \times A_b}{\frac{3 \times A_a}{C_{Ta}} + \frac{2 \times A_b}{C_{Tb}}} = \frac{3 \times 0,00975 + 2 \times 0,0645}{\frac{3 \times 0,00975}{336} + \frac{2 \times 0,0645}{120}}$$

$$= \mathbf{216,65 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})}$$

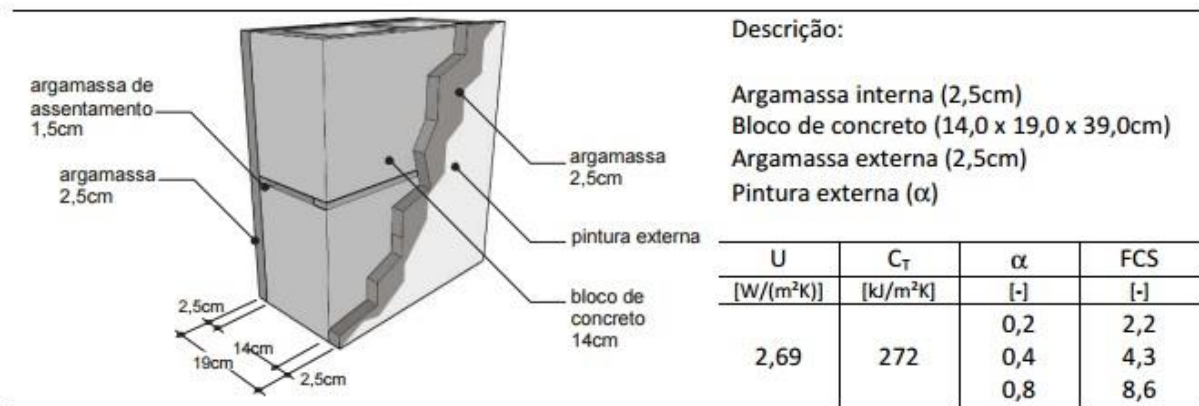
A resistência térmica é a dificuldade imposta ao calor atravessar um determinado elemento, já a transmitância térmica é a facilidade, visto que, é seu inverso. Em razão disso, quanto menor seu valor, maior o desempenho térmico. A capacidade térmica é a quantidade de calor necessária que um corpo necessita para sofrer alternância de temperatura, ou melhor, quanto maior o valor, torna-se mais lento o resfriamento desse corpo, afetando dificultosamente o desempenho térmico.

A NBR 15220 – 3 (2003) apresenta as tabelas com os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para algumas paredes. Porém os cálculos realizados para os blocos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo, não consideraram nenhuma camada de revestimento, e também nas tabelas não tem nenhuma representação com os blocos de concreto vazado.

Por conta disso, para verificar se há uma diferença relevante, foi utilizado dados do catálogo: Propriedades térmicas de paredes e coberturas (V.5) elaborados por 6 (seis) profissionais da área de construção civil, da Universidade federal de Santa Catarina - Florianópolis (2011).

A figura 56, ilustra a transmitância térmica e capacidade térmica do bloco de concreto com as mesmas dimensões utilizados para o protótipo, porém possui emboço em ambos os lados.

Figura 56: Imagens ilustrativas e propriedades.



Fonte: Morishita et al. (2011)

Logo, os blocos utilizados no protótipo, sem considerar o revestimento, apresentou valores inferiores que os da parede ilustrada. Provavelmente se considerar o revestimento em ambos os lados, apresente valores próximos não tendo uma variação significativa.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme apresentado, o objetivo principal deste trabalho foi encontrar uma solução para a disposição final do lodo da ETA 006 do município de Palmas – TO, aplicando como substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo na confecção de blocos de concreto de vedação.

Os valores de resistência à compressão e verificação do desempenho térmico possibilitam concluir que:

Todas as substituições adotadas inicialmente de 1, 2 e 4% apresentaram valores de resistência mecânica acima exigida pela NBR 6136 (2007), servindo, então, para aplicação como alvenaria de vedação.

O protótipo construído desempenhou conforme esperado, possibilitando a aferição do desempenho térmico do sistema;

O desempenho térmico do sistema mostrou variações da temperatura interna do ambiente com o meio externo próximos, não apresentando uma melhoria do conforto térmico significativa;

Da mesma forma que o desempenho térmico do ambiente, a comparação de temperaturas entre faces aquecida e resfriadas das fachadas com os blocos estrutural de vedação com os blocos em estudo, mostrou variações pouco significativas;

Os blocos em estudo apresentaram valores de transmitância térmica e capacidade térmica próximos que as paredes convencionais, como mostrada na figura 58, comprovada matematicamente pelos cálculos expressos na NBR 15220-2 (2005);

Portanto, o estudo apresentado, o lodo da ETA 006 tem mais benefício em ser reutilizado com o intuito de ter uma destinação final adequada, do que em benefício para conforto térmico.

Em contrapartida, recomenda-se adotar o uso com o teor de 4% de lodo pois, embora o custo para reutilizar o lodo não seja tão vantajoso, mas em questão de sustentabilidade, preservação ambiental e redução de resíduos são pontos positivos de optar por reutilizar o lodo.

Para futuros estudos é sugerido a reutilização do lodo na tentativa de substituir parcialmente o cimento; aplicar nos blocos solo-cimento; artefatos de

concreto, tais como, elementos vazados, bloquetes, pisograma entre outros, que não exija uma resistência elevada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO A. K; COELHO L.O. **Mutirão habitacional: Procedimentos de gestão.** Porto Alegre 2006. <[http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/capitulos\\_rt\\_2.pdf](http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/capitulos_rt_2.pdf)> Acesso em: 01/09/2016.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.** São Paulo 2014. <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2016.

ACHON C. L.; CORDEIRO J.S. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA – Lei 12.305/2010.** <<http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1a2015.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2016.

ACHON C.L.; BARROSO M.M; CORDEIRO J.S. **Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água.** <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522008000100008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000100008)> Acesso em: 31/08/2016.

ACHON C.L.; BARROSO M.M; CORDEIRO J.S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro.** São Paulo 2013, 115 p. <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a03v18n2>> Acesso em: 06/09/2016.

ARAÚJO F.C. et al. **Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção.** São Paulo – SP, 2015. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000400450&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000400450&lang=pt)> Acesso em 03/09/2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10004 de maio de 2004. **Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro/RJ, 2004.

\_\_\_ NBR 7211 de abril de 2009. **Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro/RJ, 2009.

\_\_\_ NBR 6136 de janeiro de 2016. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.** Rio de Janeiro / RJ, 2016.

\_\_\_ NBR 11578 de julho de 1997. **Cimento Portland Composto.** Rio de Janeiro / RJ, 1997.

\_\_\_ NBR 5732 de julho de 1991. **Cimento Portland Comum.** Rio de Janeiro / RJ, 1991.

\_\_\_ NBR 5735 de julho de 1991. **Cimento Portland de Alto Forno.** Rio de Janeiro / RJ, 1991.

\_\_\_ NBR 5736 de julho de 1999. **Cimento Portland de Pozolânico.** Rio de Janeiro / RJ, 1999.

\_\_\_ NBR 6508 de outubro de 1984. **Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm- Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro / RJ, 1984.

\_\_\_ NBR 15575 - 1 de 2013. **Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro / RJ, 2013.

\_\_\_ NBR 15270 – 3 de 2005. **Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro / RJ, 2005.

\_\_\_ NBR 15220 – 2 de 2008. **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 / RJ, 2008.

\_\_\_ NBR 12118 de 2013. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro / RJ, 2013.

\_\_\_ NBR NM 248 de 2003. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro / RJ, 2003.

\_\_\_ NBR NM 45 de 2006. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro / RJ, 2006.

\_\_\_ NBR NM 46 de 2003. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75mm, por lavagem.** Rio de Janeiro / RJ, 2003.

CASTRO M.A. **Importância do tratamento de água ETA 006 Saneatins Palmas-TO.** Palmas (2010). <[http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs\\_gestaoambiental/projetos2010-2/4-periodo/Importancia do tratamento de agua eta 006 saneatins.pdf](http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2010-2/4-periodo/Importancia%20do%20tratamento%20de%20agua%20eta%20006%20saneatins.pdf)> Acesso em: 06/09/2016.

CICHINELLI G. **Contrapiso - Todas as dicas para executar uma boa base de regularização.** Equipe de Obra Ed. 1, 2006. <<http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/1/artigo27363-1.aspx>> Acesso em: 14/11/2016.

COSTA A.J.C. **Análise de viabilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP.** São Carlos 2011. <[file:///C:/Users/luana/Downloads/COSTA Alvaro.pdf](file:///C:/Users/luana/Downloads/COSTA_Alvaro.pdf)> Acesso em: 28/09/2016.

FEENANDES A.V.B e AMORIM J.R.R. **CONCRETO SUSTENTÁVEL APLICADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Caderno de Graduação, Aracajú – SE, 2014. <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/1093/728>> Acesso em: 05/10/2016.



FILHO J.A.A.S. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas.** São Carlos 2007. <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29012009-104204/pt-br.php>> Acesso em: 28/09/2016.

GONDIM F.M. **As ações da sustentabilidade empresarial como suporte à gestão de projetos.** Serra Tralhada – PE, 2011. <<http://www.fis.edu.br/resac/artigos/vol01/gondim2011.pdf>> Acesso em: 01/10/2016

HOOD R. S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção dos blocos de concreto para pavimentação.** Porto Alegre – RS, 2006. <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12112>> Acesso em: 19/10/2016.

HOPPEN C. et al. **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental.** Curitiba – PR, 2006. <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n1/27861.pdf>> Acesso em: 28/09/2016.

IWAKI G. **Destinação final de lodos de ETAs e ETEs.** São Paulo 2014. <<http://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-etas-e-etes/>> Acesso em: 27/08/2016.

JUNIOR R.J.M.; NARVAI P.C. **Aspectos históricos e perspectivas da fluoretação de águas de abastecimento público no Estado de São Paulo.** São Paulo 2011, 25 p. <<http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/bepa/v8n90/v8n90a04.pdf>> Acesso em: 06/09/2016.

LESSA G.T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil.** Porto Alegre – RS, 2005. <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4863/000505750.pdf?sequence=1>> Acesso em: 17/10/2016.

LEVI. **TRATAMENTO DE ÁGUA OBJETIVO: Evitar a poluição da água por detritos, impurezas e mesmo lançamentos de origem doméstica, agrícola ou industrial.** <<http://slideplayer.com.br/slide/1877421/>> Acesso em: 05/09/2016.

MARCHI C.M.D.F. **Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos.** Salvador – BA, 2015. <<http://www.scielo.br/pdf/urbe/v7n1/2175-3369-urbe-7-1-0091.pdf>> Acesso em: 01/10/2016.

MAREMGO J.A. **Água e mudança climática.** São Paulo 2008. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)> Acesso em: 31/08/2016.

MORISHITA C. et al. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (v.5).** Florianópolis – SC, 2011.

<[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/catalogo\\_propriedades\\_termicas\\_parede\\_e\\_cobertura\\_out2011\\_2.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/catalogo_propriedades_termicas_parede_e_cobertura_out2011_2.pdf)> Acesso em: 24/04/2017.

NEVILLE A.M. **Propriedades do concreto**. 5ª Edição, São Paulo, 2016.

PEDROSO K.; WAGNER L.F. **Disposição de resíduos das estações de tratamento de água**. Revista TechnoEng 10ª Ed. Vol. I, 2014. <<http://www.faculdadespontagrossa.com.br/revistas/index.php/technoeng/article/view/110/111>> Acesso em: 28/09/2016.

PEREIRA S.L.M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA gramame**. Paraíba 2011, 1p. <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5450/1/arquivototal.pdf>> Acesso em: 09/09/2016.

RODRIGUES L.P. e HOLANDA J.N.F. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento**. Cerâmica vol.59 nº 352, São Paulo Out./Dec. 2013. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132013000400010&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132013000400010&lang=pt)> Acesso em: 03/10/2016.

ROTH C.G. e GARCIAS C.M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. PUC – PR, 2009. <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169/125>> Acesso em: 01/10/2016.

SANTOS S.S. A. **Caracterização e utilização de resíduo sólido: LODO DE ETA, COMO MATÉRIA PRIMA PARA CONFECÇÃO DE ELEMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Salvador 2011. <<http://www.repositorio.ufba.br:8080/ri/bitstream/ri/10930/4/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Selma%20S%20A%20Santos.pdf>> Acesso em: 01/09/2016.

SAGARIONE M. **Quanto tempo o corpo aguenta sem água?** 2004. <[http://www.assine.abril.com.br/portal/assinar/revistasuperinteressante?origem=sr\\_si\\_botaocapa\\_lateral&utm\\_source=editoriais&utm\\_medium=sites\\_editoriais&utm\\_campaign=sr\\_si\\_botaocapa\\_lateral](http://www.assine.abril.com.br/portal/assinar/revistasuperinteressante?origem=sr_si_botaocapa_lateral&utm_source=editoriais&utm_medium=sites_editoriais&utm_campaign=sr_si_botaocapa_lateral)> Acesso em: 30/08/2016.

SIVEIRA C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil**. Paraná 2012. <<http://www.uel.br/pos/enges/dissertacoes/74.pdf>> Acesso em: 02/09/2016.

SOUZA F.R. **Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto**. São Carlos 2010. <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29052010-161311/en.php>> Acesso em: 28/09/2016.

TARTARI R.; Dias-Mora N.; Módenes A.N; Pianaro S.A. **Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas**

**para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense.** Departamento de engenharia química (2011). <<http://scielo.br/pdf/ce/v57n343/06.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2016.

**VEZARO S. SISTEMA CONSTRUTIVO ISOPET: estudo das propriedades mecânicas e térmicas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas Tocantins, 2016.

**XAVIER M. A. AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA CONSTRUÇÃO VERDE DE BAIXA RENDA: um estudo de embalagens Tetra pak e garrafas PET.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas Tocantins, 2014.

## APÊNDICE A

### Resultados de resistência à compressão dos blocos de vedação

#### A.1. Traço referencial de 7 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	24150	4,4
02	390	190	140	26360	4,8
03	390	190	140	31170	5,7
04	390	190	140	30080	5,5
05	390	190	140	25020	4,6
06	390	190	140	22690	4,1
07	390	190	140	29090	5,3
<b>Média</b>	-	-	-	-	4,9

Fonte: Autora, 2017

#### A.2. Traço referencial de 14 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	39780	7,2
02	390	190	140	41210	7,5
03	390	190	140	40120	7,3
04	390	190	140	45010	8,2
05	390	190	140	39880	7,3
06	390	190	140	46510	8,5
07	390	190	140	43180	7,9
<b>Média</b>	-	-	-	-	7,7

Fonte: Autora, 2017

#### A.3. Traço referencial de 28 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	51770	9,5
02	390	190	140	44820	8,2
03	390	190	140	46770	8,6
04	390	190	140	45330	8,3
05	390	190	140	48340	8,9
06	390	190	140	50080	9,2
07	390	190	140	43320	7,9
<b>Média</b>	-	-	-	-	8,6

Fonte: Autora, 2017

## A.4. Substituição parcial de 1 % com 7 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	21480	3,9
02	390	190	140	11850	2,2
03	390	190	140	30780	5,6
04	390	190	140	24090	4,4
05	390	190	140	28180	5,2
06	390	190	140	20920	3,8
07	390	190	140	21710	4,0
<b>Média</b>	-	-	-	-	4,1

Fonte: Autora, 2017

## A.5. Substituição parcial de 1 % com 14 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	31743	5,7
02	390	190	140	18343	3,3
03	390	190	140	24924	4,5
04	390	190	140	18863	3,4
05	390	190	140	21639	3,9
06	390	190	140	19796	3,6
07	390	190	140	24609	4,4
<b>Média</b>	-	-	-	-	4,1

Fonte: Autora, 2017

## A.5. Substituição parcial de 1 % com 28 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	33781	6,1
02	390	190	140	22083	4,0
03	390	190	140	19655	3,5
04	390	190	140	21758	3,9
05	390	190	140	19893	3,6
06	390	190	140	26008	4,7
07	390	190	140	18668	3,4
<b>Média</b>	-	-	-	-	4,2

Fonte: Autora, 2017

## A.6. Substituição parcial de 2 % com 7 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	15880	2,9
02	390	190	140	22110	4
03	390	190	140	17660	3,2
04	390	190	140	16100	2,9
05	390	190	140	18420	3,4
06	390	190	140	14370	2,6
07	390	190	140	20960	3,8
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,2

Fonte: Autora, 2017

## A.7. Substituição parcial de 2 % com 14 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	23016	4,1
02	390	190	140	19904	3,6
03	390	190	140	14050	2,5
04	390	190	140	23211	4,2
05	390	190	140	16728	3,0
06	390	190	140	14256	2,6
07	390	190	140	18582	3,3
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,3

Fonte: Autora, 2017

## A.8. Substituição parcial de 2 % com 28 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	16088	2,9
02	390	190	140	20370	3,7
03	390	190	140	20349	3,7
04	390	190	140	16619	3,0
05	390	190	140	16782	3,0
06	390	190	140	15589	2,8
07	390	190	140	24349	4,4
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,3

Fonte: Autora, 2017

## A.9. Substituição parcial de 4 % com 7 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	19620	3,5
02	390	190	140	19700	3,6
03	390	190	140	20710	3,8
04	390	190	140	21360	3,9
05	390	190	140	13280	2,4
06	390	190	140	14560	2,6
07	390	190	140	10500	1,9
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,1

Fonte: Autora, 2017

## A.9. Substituição parcial de 4 % com 14 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	14560	2,6
02	390	190	140	20685	3,7
03	390	190	140	16901	3,0
04	390	190	140	16771	3,0
05	390	190	140	17530	3,1
06	390	190	140	20468	3,7
07	390	190	140	23341	4,2
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,3

Fonte: Autora, 2017

## A.10. Substituição parcial de 4 % com 28 dias

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força da ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	390	190	140	28154	5,1
02	390	190	140	18061	3,2
03	390	190	140	20056	3,6
04	390	190	140	14755	2,7
05	390	190	140	14885	2,7
06	390	190	140	14354	2,6
07	390	190	140	21292	3,8
<b>Média</b>	-	-	-	-	3,4

Fonte: Autora, 2017

## APÊNDICE B

### Medições de temperatura externa e interna nas fachadas do protótipo

B.1. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 24 de abril de 2017

24/04/2017	Horário das medições			
	9h	12h	15h	18h
<b>Norte</b>				
Temp. Externa (°C)	34,9	49,1	36,1	34,0
Temp. Interna (°C)	28,9	38,2	38,8	34,9
Varição de temp. (°C)	-6,0	-10,9	+2,7	-0,9
<b>Leste</b>				
Temp. Externa (°C)	44,0	41,9	33,9	31,9
Temp. Interna (°C)	31,0	38,0	37,4	34,5
Varição de temp. (°C)	-13,0	-3,9	+3,5	-2,6
<b>Sul</b>				
Temp. Externa (°C)	28,9	36,1	33,4	32,0
Temp. Interna (°C)	27,9	34,9	35,8	33,6
Varição de temp. (°C)	-1,0	-1,2	+2,4	-1,6
<b>Oeste</b>				
Temp. Externa (°C)	28,6	35,2	36,6	37,5
Temp. Interna (°C)	27,8	33,7	36,8	33,9
Varição de temp. (°C)	-0,8	-1,5	+0,2	-3,6

Fonte: Autora, 2017



B.2. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 25 de abril de 2017

25/04/2017	Horário das medições			
	9h	12h	15h	18h
<b>Norte</b>				
Temp. Externa (°C)	32,2	48,1	43,2	36,8
Temp. Interna (°C)	28,0	37,0	36,9	38,1
Variação de temp. (°C)	-4,2	-11,1	-6,3	+1,3
<b>Leste</b>				
Temp. Externa (°C)	36,2	42,9	37,6	34,1
Temp. Interna (°C)	29,2	36,7	36,5	37,2
Variação de temp. (°C)	-7,0	-6,2	-1,1	+3,1
<b>Sul</b>				
Temp. Externa (°C)	29,3	37,3	36,7	34,2
Temp. Interna (°C)	27,3	34,2	35,6	36,4
Variação de temp. (°C)	-8,0	-3,1	-1,1	+ 2,2
<b>Oeste</b>				
Temp. Externa (°C)	29,2	38,0	46,3	40,3
Temp. Interna (°C)	27,5	33,4	36,2	39,7
Variação de temp. (°C)	-1,7	-4,6	-10,1	-0,6

Fonte: Autora, 2017

B.3. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 26 de abril de 2017

2604/2017	Horário das medições			
	9h	12h	15h	18h
<b>Norte</b>				
Temp. Externa (°C)	33,2	50,7	36,7	39,2
Temp. Interna (°C)	27,3	38,9	37,3	34,3
Variação de temp. (°C)	-5,9	-11,8	+0,6	- 4,9
<b>Leste</b>				
Temp. Externa (°C)	39,5	44,2	35,3	32,1
Temp. Interna (°C)	27,7	38,2	36,1	34,1
Variação de temp. (°C)	-11,8	-6,0	-0,8	+ 2,0
<b>Sul</b>				
Temp. Externa (°C)	28,6	37,3	34,2	32,3
Temp. Interna (°C)	26,8	34,5	35,3	33,4
Variação de temp. (°C)	-1,8	-2,8	+1,1	- 1,1
<b>Oeste</b>				
Temp. Externa (°C)	28,6	36,0	34,2	31,9
Temp. Interna (°C)	27,1	35,1	35,2	33,3
Variação de temp. (°C)	-1,5	-0,9	+1,0	-1,4

Fonte: Autora, 2017