



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NATHANA LUIZA PINTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM USO DE ADIÇÃO LEVE EM
GRANULADO DE CORTIÇA**

MOSSORÓ/RN

2017

NATHANA LUIZA PINTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM USO DE ADIÇÃO LEVE EM
GRANULADO DE CORTIÇA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - DCAT para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA.

Co-Orientador: Prof. MSc. Alisson Gadelha de Medeiros – UFERSA.

MOSSORÓ/RN

2017

NATHANA LUIZA PINTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM USO DE ADIÇÃO LEVE EM
GRANULADO DE CORTIÇA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido – UFRSA,
Departamento de Ciências Ambientais e
Tecnológicas - DCAT para obtenção do
título de Bacharela em Engenharia Civil.

APROVADA EM: 19 / 05 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Marília Pereira de Oliveira

Profª Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFRSA

Thales Henrique S Costa

Prof. Thales Henrique Silva Costa - UFRSA

Marineide Jussara Diniz

Profª Dra. Marineide Jussara Diniz - UFRSA

MOSSORÓ/RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732a Lima, Nathana Luiza Pinto de.
Avaliação de argamassa cimentícia com uso de
adição leve em granulado de cortiça / Nathana Luiza
Pinto de Lima. - 2017.
86 f. : il.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira.
Coorientador: Alisson Gadelha de Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. Desempenho. 2. Argamassa térmica. 3.
Cortiça. I. Oliveira, Marília Pereira de, orient.
II. Medeiros, Alisson Gadelha de, co-orient. III.
Título.

A José Nazareno da Costa Lima (*in memoriam*), meu querido Pai, dedico a vitória da realização desse sonho, que por tanto tempo foi por nós esperado e compartilhado.

A Deus, quem me trouxe até aqui e me conduzirá a eternidade e minha família, meu apoio e alegria enquanto espero.

AGRADECIMENTOS

Como deve ser, primeiramente a Deus meu amor e plena gratidão, pela criação, redenção, atuação e afinal salvação da minha vida. Sua presença foi e é sentida através de suas respostas, que independente de serem imediatas ou demoradas, positivas ou negativa, me conduziu e me ensinam a cada dia a confiar na sua graça, porque através de minha fraqueza Seu poder é aperfeiçoado.

Agradeço a toda minha família, em especial minha querida mãe, Francisca Pinto, porque foi e sempre será meu pilar, animo e força para continuar. Nunca poderei agradecer ou minimamente retribuir tudo que me deu. Por isso a você meu amor e eterna gratidão. A minha irmã Nara Lima por me fazer conhecer o que realmente é amizade. A Gracon por ser neste trabalho, e na minha vida, meu professor, coescritor, pedreiro e sei que tudo mais que precisar. Obrigada em pôr ao meu dispor além de seu tempo e energia sua vida. Te amo.

Meu agradecimento à professora Marília Pereira de Oliveira, por ter aceitado partilhar do desafio desse trabalho. Por sua disponibilidade e ajuda continua durante todo o seu período construtivo. Muito obrigada por sua atenção e compressão. Agradeço também ao professor Alisson Gadelha de Medeiros, pelas ideias e pelo incentivo na pesquisa.

Agradeço a UFERSA, essa instituição que me proporcionou além de crescimento acadêmico, amadurecimento social e psicológico. Agradeço a todos os professores e técnicos que se disponibilizaram a dividir seu tempo e conhecimentos. Agradeço ao IFRN por disponibilizar sua estrutura e equipamentos para a realização dos ensaios requeridos nesse trabalho.

Agradeço em especial aos professores que comporão a banca de avaliação por gentilmente aceitarem participar na melhoria deste trabalho.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram para me proporcionar algo além de uma titulação, a realização de um sonho.

RESUMO

Na busca de materiais que possuam uma menor condutibilidade térmica, e assim, apresentem uma menor taxa de transferência de calor ao ambiente é necessário incorporar a eles materiais porosos os quais alterem as propriedades térmicas do material. Como solução é apresentada a utilização de argamassas cimentícias para revestimento, onde foi incorporada a adição de granulado de cortiça de maneira a obter uma argamassa mais leve e, conseqüentemente, térmica em relação ao material sem adição. Nesse trabalho foram realizadas avaliações qualitativas – térmicas e mecânicas da referida argamassa em diferentes concentrações de cortiça. Foi verificado que o aumento na porcentagem de cortiça reduziu os valores de massa específica com conseqüente redução da velocidade de propagação e módulo de elasticidade dinâmico. Quanto aos testes mecânicos, houve a redução dos valores de resistência à tração por flexão e uma variação dos valores de resistência à compressão. Nos ensaios de desempenho térmico foi constatado que as maiores temperaturas foram obtidas nas placas com revestimento de menor proporção de cortiça, além das diferenças observadas no tempo necessário para que o revestimento atingisse o equilíbrio térmico com a temperatura interna a câmara – aumento do tempo com o aumento na proporção de cortiça.

Palavras-Chaves: Desempenho. Argamassa térmica. Cortiça.

ABSTRACT

In the search for materials that have a lower thermal conductivity, and thus have a lower rate of heat transfer to the environment, it is necessary to incorporate porous materials that alter the thermal properties of the material. As a solution, the use of cement mortars for coating is presented, where the addition of cork granulate has been incorporated in order to obtain a lighter mortar and, consequently, a thermal mortar in relation to the material without addition. In this work, qualitative evaluations were performed - thermal and mechanical of said mortar in different concentrations of cork. It was verified that the increase in the percentage of cork reduced the values of specific mass with consequent reduction of the speed of propagation and dynamic modulus of elasticity. As for the mechanical tests, the values of tensile strength by flexion and a variation of the values of resistance to compression were reduced. In the thermal performance tests it was verified that the higher temperatures were obtained in the plates with a lower proportion of cork, besides the differences observed in the time required for the coating to reach the thermal equilibrium with the internal temperature of the chamber - increase of the time with the Increase in the proportion of cork.

Keywords: Performance. Thermal mortar. Cork.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das Argamassas.....	18
Quadro 2 – Classificação das Argamassas quanto à função.	18
Quadro 3 – Composição do Clínquer	24
Quadro 4 – Classificação dos Agregados	25
Quadro 5 – Densidade (d) e coeficientes de condutibilidade térmica (k) de materiais.	31
Quadro 6 – Características das cortiças.	36
Quadro 7 – Massas unitárias do cimento, areia e granulado de cortiça.....	38
Quadro 8 – Traços utilizados nas placas de alvenaria.....	41
Quadro 9 – Resultados de ensaio de massa específica e ultrassom e obtenção dos valores de módulo de elasticidade dinâmico.....	56
Quadro 10 – Resultados de ensaio de compressão e tração por flexão e obtenção de suas médias.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação Condutividade/Densidade de materiais.	32
Gráfico 2 – Comparativo dos valores de massa específica real das amostras.	57
Gráfico 3 – Comparativo dos valores de velocidade de propagação de onda das amostras.....	57
Gráfico 4 – Comparativo dos valores de módulo de elasticidade dinâmico das amostras.....	58
Gráfico 5 – Comparativo dos valores de média de resistência a tração por flexão das amostras.....	60
Gráfico 6 – Comparativo dos valores de média de resistência a compressão das amostras.....	60
Gráfico 7 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – PR.....	62
Gráfico 8 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P10%.	63
Gráfico 9 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P50%.	63
Gráfico 10 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P75% ¹	64
Gráfico 11 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P75% ²	64
Gráfico 12 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – PR e P10%.	66
Gráfico 13 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – P50% e P75% ¹	67
Gráfico 14 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – P50% e P75% ²	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Panteão de Roma	16
Figura 2 – Arqueduto de <i>Pont-du-Gard</i>	16
Figura 3 – Linha do tempo da argamassa.....	17
Figura 4 – Adesão inicial da argamassa.	19
Figura 5 –Fissuras devido a retração em argamassa de revestimento.	21
Figura 6 – Tipos de revestimentos de paredes.	27
Figura 7 – Chapisco tradicional.....	28
Figura 8 – Chapisco Rolado.....	28
Figura 9 – Mestras guias para execução de emboço.....	28
Figura 10 – Proporção entre espessuras de camadas de revestimento.	29
Figura 11 – Transporte de energia por convecção em diferentes estados físicos.....	30
Figura 12 – Vermiculite.	33
Figura 13 – ETICS com fixação por colagem.....	34
Figura 14 – Danificações em sistemas ETICS.	34
Figura 15 – Sobreiro após retirada da casca.....	35
Figura 16 –Celular ocas constituintes da cortiça.	35
Figura 17 – Granulado de cortiça com granulometria entre 0,5 e 2 mm.	37
Figura 18 – Cimento CP II Z 32 de fabricação Mizu e Areia Lavada Média.	39
Figura 19 – Granulado de cortiça	39
Figura 20 – Realização de ensaio em mesa de consistência por queda – PR.....	40
Figura 21 – Corpos de prova prismáticos – PR.....	40
Figura 22 – Realização de ensaio em mesa de consistência para determinação de relação água/cimento das argamassas com adição.....	42
Figura 23 – Tipos de transmissões no ensaio de velocidade de propagação de onda: (A) Direta; (B) Indireta; (C) Semidireta.	43
Figura 24 – Aparelho de Ultrassom Pudít Lab - Proceq.	43
Figura 25 – Colocação de par de transdutores para obtenção da velocidade do pulso ultrasonico.	43
Figura 26 –Equipamento para determinação da resistência a tração na flexão.....	45

Figura 27 – Equipamento para determinação da resistência a compressão.	45
Figura 28 – Acessório para determinação de resistência a tração por flexão.	46
Figura 29 – Acessório para determinação de resistência a compressão na prensa.	46
Figura 30 – Corpo de Prova PR – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.	47
Figura 31 – Corpo de Prova P10% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.	47
Figura 32 – Corpo de Prova P50% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.	48
Figura 33 – Corpo de Prova P75% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.	48
Figura 34 – Placa 1.	49
Figura 35 – Placa 2.	49
Figura 36 – Placa 3.	49
Figura 37 – Placa 4.	49
Figura 38 – Placa de alvenaria com chapisco.	50
Figura 39 – Placa de alvenaria com mestras para aplicação de camada única.	50
Figura 40 – Aplicação de argamassa padrão em placa de alvenaria.	50
Figura 41 – Placa de argamassa padrão com acabamento final.	51
Figura 42 – Placas de argamassas térmicas com acabamento final – (A) P10%; (B) P50%; (C) P75%.	51
Figura 43 – Câmara térmica com revestimento em EPS.	52
Figura 44 – Instalação das lâmpadas incandescentes no fundo da câmara térmica.	53
Figura 45 – Vedação entre placa de alvenaria e câmara térmica.	54
Figura 46 – Sistema de aquisição de dados térmicos.	54
Figura 47 – Fixação de sensores sobre a placa com fita crepe.	55
Figura 48 – Colocação de placas de EPS sobre os sensores.	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 ARGAMASSA.....	15
3.1.1 Histórico das Argamassas	15
3.1.2 Classificação das Argamassas	17
3.1.3 Propriedades das Argamassas	19
3.1.4 Argamassas de Revestimento Externo	22
3.1.4.1 Componentes da Argamassa de Revestimento Externo	23
3.1.4.2 Camadas das Argamassas de Revestimento Externo	27
3.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	29
3.2.1 Mecanismos de Transmissão de Calor	30
3.2.1.1 Materiais e Sistemas Isolantes	32
3.2.2 Conforto Térmico	37
4 METODOLOGIA	38
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS	38
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	39
4.2.1 Preparação das argamassas	39
4.2.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido	42
4.2.2.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico – Ensaio de Ultrassom.....	42
4.2.2.2 Resistência à tração por flexão e compressão.....	44
4.2.3 Placas de alvenaria	48
4.2.4 Câmara de calor	51
4.2.5 Propriedades térmicas das argamassas.....	53
5 RESULTADOS.....	56
5.1 ENSAIO DE ULTRASSOM – MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	56
5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO E COMPRESSÃO	59
5.3 TESTES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA.....	61

6 CONCLUSÃO	69
7. REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A região nordeste do país é caracterizada pelo clima quente e seco com elevadas temperaturas e baixos índices de umidade do ar. Essas condições favorecem o desconforto de usuários das edificações e tratando-se da aquisição ou utilização de qualquer imóvel, se tornam um parâmetro de extrema importância.

Nesse contexto nos deparamos com a problemática: Como fazer nas condições críticas de temperatura, ambientes mais isolados termicamente, de maneira a oferecer ao usuário melhores condições térmicas e assim mais conforto em sua utilização.

Sabemos que a transferência de calor através de uma alvenaria, na qual são executadas a maior parte das vedações existentes no país, é feita através do processo de condução que ocorre devido a colisões durante o movimento randômico das partículas. Essa transferência é diretamente proporcional ao coeficiente de condutibilidade térmica k , que é determinado em função da estrutura interna do material em análise, se tornando menor, quanto mais poroso (BOABAID NETO, 2010).

Empregando a formulação citada, o mercado disponibiliza algumas soluções para a problemática apresentada, principalmente em forma de sistemas compósitos de revestimentos e adições em elementos pré-fabricados de vedação. Essas soluções são dificilmente empregadas, já que são de difícil localização e execução, apresentam custos elevados e ao mesmo tempo apresentam altas ocorrências de patologias.

Um recurso que vem sendo utilizado em alguns países como Portugal, é o uso de adição de granulado de cortiça em argamassas cimentícias de revestimento. Esse é um material relativamente barato, orgânico, não necessita de processos dispendiosos para sua confecção, além de ser biodegradável (LEAL, 2012). Embora seja uma solução bastante interessante, devido a sua execução ser idêntica ao de um revestimento em argamassa utilizado normalmente e não necessitar de mão de obra e materiais específicos, essa prática ainda tem pouco espaço e estudo no Brasil.

Diante da falta de soluções qualitativamente viáveis no mercado brasileiro, que atendam requisitos térmicos e outras propriedades, surge a interrogação: Podemos adotar o granulado de cortiça como adição de revestimentos

como uma solução térmica eficiente, de modo a melhorar a isolação térmica do ambiente, seja de fácil execução e atenda as demais solicitações que lhe forem demandadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar as propriedades da argamassa cimentícia, obtida através da adição de granulado de cortiça, quanto ao seu desempenho térmico e propriedades em seu estado endurecido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir argamassas cimentícias com adição de granulado de cortiça nos percentuais de 0%, 10%; 50% e 75%;
- Estudar as propriedades, ensaios avaliativos e procedimentos executivos dos revestimentos externos em argamassas;
- Avaliar as propriedades da argamassa produzida quanto às propriedades físicas e mecânicas em seu estado endurecido;
- Avaliar as propriedades das argamassas produzidas quanto a condutibilidade térmica.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ARGAMASSA

A argamassa é um material de construção produzida através da mistura de um ou mais aglomerantes¹, agregado² miúdo e água (PETRUCCI, 1976). Além desses componentes básicos a argamassa poderá conter outros produtos com a finalidade de melhorar determinadas propriedades do conjunto (FRIEDRICH, 2010).

A argamassa consiste basicamente num material ativo – pasta composta pelo aglomerante e água, e um material inerte que consiste nos agregados miúdos (FRIEDRICH, 2010). Ela desenvolve na construção civil a responsabilidade de união de elementos de alvenaria e auxílio à resistência dos esforços horizontais que surgem em paredes, absorção de certas deformações que a alvenaria ou juntas sofrem naturalmente, acabamento de tetos e paredes, regularização de pavimentos e outros (ALMEIDA, 2010).

A composição e proporção dos materiais utilizados em argamassas são definidas através do traço. O traço de uma argamassa é a proporção dos componentes relativos ao aglomerante. Usualmente o traço é calculado em massa, dando origem ao traço em volume, sendo este o mais usado em obras de construção civil (LEAL, 2012).

3.1.1 Histórico das Argamassas

As primeiras argamassas foram descobertas em *Yftah'el*, Galileia, hoje estado de Israel, e foram produzidas a mais de 10.000 anos devido à necessidade do homem primitivo de um material aglutinante para unir os demais elementos utilizados na elaboração de abrigos (ALVAREZ; SEQUEIRA; COSTA, 2005). Ao longo do tempo, com a descoberta do fogo e do seu efeito nos calcários e gessos, as propriedades das argamassas foram sendo melhoradas (LEAL, 2012).

1 Aglomerante: Material ativo, ligante, em geral pulverulento, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, [s.d]).

2 Agregado: Material granular geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto (ABNT, 2011).

A partir da civilização romana houve a introdução de adições nas argamassas através da utilização de cinza vulcânicas ou outras pozolanas e demais materiais, que fizeram as argamassas possuírem maior durabilidade (LEAL, 2012). As argamassas com pozolanas permitiram construções de maior porte, dando assim a introdução das abóbadas na arquitetura romana. Os espaços interiores dos edifícios também aumentaram grandemente, possibilitando a construção de edifícios públicos de grande dimensão, tais como aquedutos, pontes, basílicas, banhos públicos, teatros, mercados, templos e palácios (Figura 1 e 2) (ALVAREZ; SEQUEIRA; COSTA, 2005).

Figura 1 - Panteão de Roma



Fonte: Alvarez; Serqueira; Costa (2005).

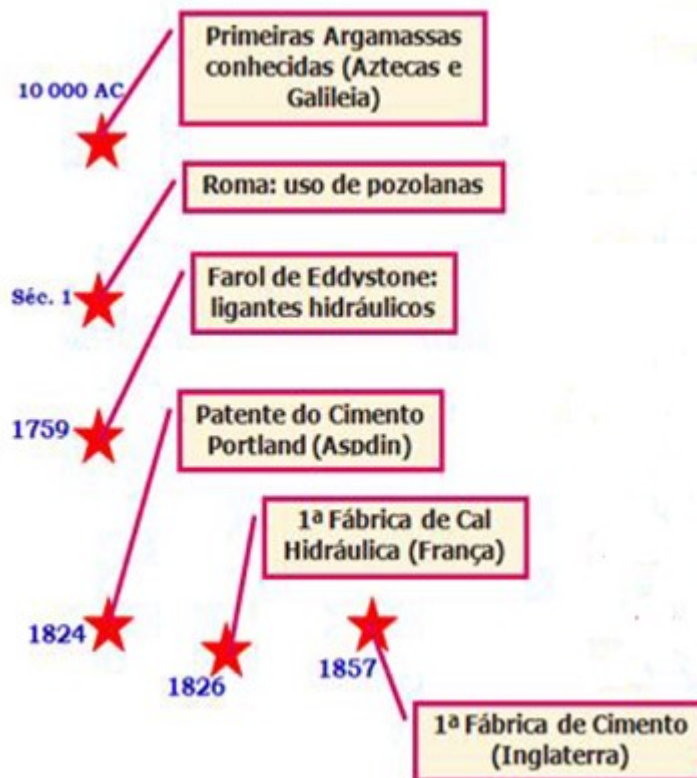
Figura 2 – Arqueduto de *Pont-du-Gard*



Fonte: Alvarez; Serqueira; Costa (2005).

A Figura 3 mostra o esquema com linha do tempo relativo a argamassas, mostrando os principais acontecimentos a nível mundial.

Figura 3 – Linha do tempo da argamassa.



Fonte: Adaptado de Monteiro (2008).

No Brasil há registros do uso de argamassas para assentamento de pedras desde o primeiro século de sua colonização. Atualmente o mercado apresenta diversas argamassas com ampla variação de propriedades químicas e mecânicas, sendo estas adaptadas as mais diversas construções.

3.1.2 Classificação das Argamassas

As argamassas podem ser classificadas em função de diversos critérios (CARASEK, 2007), conforme apresentado em quadro 1 e 2.

Quadro 1 – Classificação das Argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	• Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	• Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	• Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	• Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	• Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	• Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	• Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: Carasek (2007).

Quadro 2 – Classificação das Argamassas quanto à função.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias (ver item 26.3.1)	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos (ver item 26.3.2)	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2007).

3.1.3 Propriedades das Argamassas

As propriedades das argamassas variam conforme o estado que a mesma se apresenta. O estado fresco compreende o período entre a mistura dos componentes (aglomerantes, agregados e água) e o início das reações de pega (COSTA, 2014).

As propriedades desse estado interferem na qualidade final da argamassa (LEAL, 2012). As principais são:

- **Adesão Inicial:** Capacidade de união da argamassa, no estado fresco, ao substrato. A argamassa deve fixar a superfície de aplicação sem escorrer ou desprender, permitindo o contato efetivo entre os materiais (Figura 4) (CARASEK, 2007). De acordo com o mesmo autor essa propriedade caracterizará o comportamento futuro do conjunto base-revestimento;

Figura 4 – Adesão inicial da argamassa.



Fonte: Adaptado de Meia Colher (2016).

- **Trabalhabilidade:** Trata-se da facilidade que a argamassa apresenta de ser misturada, transportada, aplicada e acabada em condição homogênea (CARASEK, 2007). A trabalhabilidade da argamassa irá variar conforme a função que irá desempenhar. Esta intimamente relacionada às propriedades de plasticidade e consistência;

- Retenção de Água: Capacidade da argamassa em dificultar a perda de água para o meio ou superfície de aplicação (LOPES, 2015). Essa propriedade está intimamente ligada à capacidade de manter a trabalhabilidade quando sujeita a solicitações de perda de água (ISAIAS, 2007);
- Coesão e Tixotropia: As duas propriedades estão intimamente relacionadas. A coesão é a capacidade da argamassa em manter seus componentes homogêneos sem sofrer segregação (ROCHA e XAVIER, 2000). Refere-se às forças físicas de tração que existem entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta ligante. A tixotropia é a capacidade de ganhar consistência de modo aparentemente rápido quando em repouso voltando à configuração fluída quando em movimento (LEAL, 2012);
- Exsudação: Separação da água de amassamento da argamassa fresca, quando a mesma ainda não sofreu vibrações ou choques. Um fenômeno que ocorre com mais frequência em argamassas com consistência entre plástica e fluida (LOPES, 2015);
- Consistência: Capacidade da argamassa de manter sua fluidez durante o tempo de aplicação, a qual é influenciada diretamente pela quantidade de água introduzida na argamassa (LEAL, 2012). Um dos métodos aplicados para determinação da consistência é através do ensaio da mesa de espalhamento, normatizado através da NBR 13276 (2002).

O estado endurecido compreende o período entre a mistura de aglomerantes e agregados com a água e o fim das reações de pega (COSTA, 2014). As propriedades no estado endurecido estão relacionadas com o comportamento entre a argamassa e a base (LEAL, 2012). As principais são:

- **Aderência:** Capacidade de fixação da argamassa ao substrato (ROCHA e XAVIER, 2000). É um fenômeno mecânico que depende da interação entre a argamassa e o substrato, e que está diretamente ligado às características dos materiais que os constitui. Isso ocorre por meio da resistência do sistema em relação às tensões normais e tangenciais (LOPES, 2015).
- **Resistencia Mecânica:** Capacidade da argamassa em resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, oriundas de cargas atuantes das edificações ou de efeitos das condições ambientais (COSTA, 2014). Essa propriedade é influenciada pela proporção dos constituintes, suas características e sua pureza (LEAL, 2012). O principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento é o cimento, sendo que o aumento do teor deste melhora as propriedades mecânicas (BAUER, 2005);
- **Retração:** Diminuição do volume da argamassa durante seu endurecimento (LEAL, 2012). Esse fenômeno é mais frequente nas primeiras idades. A retração gera esforços de tração e está relacionado ao movimento da água no interior da pasta desencadeando além da redução de volume o processo de fissuração (Figura 5) (LOPES, 2015).

Figura 5 –Fissuras devido a retração em argamassa de revestimento.



Fonte: Silva; Fortes [s.d].

- **Módulo de Elasticidade Dinâmico:** Esse módulo relaciona-se intimamente com a deformabilidade, sendo que quanto maior for o módulo de elasticidade dinâmico menos deformável será a argamassa. Caso esse valor seja superior ao do suporte, há de se esperar a ocorrência de fissuras e a perda de aderência dos revestimentos devido às tensões geradas entre os materiais. A determinação desse valor é realizada através da propagação de impulsos ultrassônicos, onde se verifica o tempo e a velocidade que a onda se propaga no corpo (LEAL, 2012). A onda ultrassônica, como onda mecânica, apresenta maiores velocidades de propagação em meios mais densos;
- **Condutibilidade Térmica:** A condutibilidade térmica quantifica a habilidade da argamassa em conduzir energia térmica (LEAL, 2012). Diante do clima quente da região nordeste do Brasil, a propriedade de condutibilidade térmica é de extrema importância ao conforto térmico dos ocupantes de uma edificação, sendo melhor quando menor a condutividade térmica da argamassa.

3.1.4 Argamassas de Revestimento Externo

As argamassas de revestimento são usadas como acabamento de elementos estruturais ou divisórios devendo atender a requisitos proteção e estéticos.

As argamassas de revestimento externo podem ser classificadas, conforme Carasek (2007), em:

- Quanto à natureza do aglomerante: Argamassas hidráulicas;
- Quanto ao tipo de aglomerante: Argamassa de Cimento;

A argamassa de uso externo deverá necessariamente ser hidráulica. Argamassa hidráulica é uma argamassa que contém um aglomerante hidráulico que

possui a característica de endurecer na presença de água bem como resistir a sua ação no estado endurecido (LEAL, 2012).

O aglomerante hidráulico mais utilizado na produção de argamassas é o cimento, uma vez que quando comparado com as cals apresenta melhores resistências mecânicas e menor sensibilidade às condições ambientais (MARTINS, 2010).

Para um bom desempenho essas argamassas necessitam garantir que se adequem a base, terem resistência mecânica suficiente, serem relativamente deformáveis além de apresentar impermeabilidade suficiente e bom comportamento aos sais (LEAL, 2012).

Além dessas propriedades frisaremos a otimização das argamassas externas sob o ponto de vista térmico, proporcionando conforto aos usuários.

3.1.4.1 Componentes da Argamassa de Revestimento Externo

A argamassa é basicamente composta por um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia), água além da possível presença de aditivos e adições que agem de modo a alterar suas propriedades.

a) Aglomerante: Cimento Portland

O cimento é um aglomerante hidráulico inorgânico, finamente moído, que uma vez amassado com água forma uma pasta através de reação de hidratação. Posteriormente endurece e mantém sua resistência tanto em contato com o ar como a água (LEAL, 2012).

É o aglomerante mais utilizado em argamassas externas, visto sua propriedade hidráulica e melhor resistência mecânica.

Para a obtenção do cimento a matéria-prima (calcário e argila) é moída e misturada sendo posteriormente aquecida a uma temperatura aproximada de 1450°. Esse processo forma pedaços arredondados conhecido como clínquer, que é seu principal componente (SILVA, 2014). Sendo este formado por quatro minerais principais (Quadro 3) (LEAL, 2012).

Quadro 3 – Composição do Clínquer

Nome de composto	Composição	Abreviatura	Percentagem
Silicato tricálcico (*)	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	20% a 80%
Silicato bicálcico (*)	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	10% a 55%
Aluminato tricálcico (*)	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0% a 15%
Aluminoferrato tetracálcico (*)	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5% a 15%

(*) – Minerais na forma impura

Fonte: Leal (2012).

O sulfato de cálcio é introduzido na composição do cimento com o objetivo de regular o tempo de pega, nos primeiros instantes provocados pelo C_3A e pelo C_4AF (VIEIRA, 2010). Ainda podem ser feitas adições com escorias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos, que misturados ao material formam diversos tipos de cimento (SILVA, 2014).

b) Agregado Miúdo: Areia

O uso unicamente de pasta de cimento como material de construção seria impensável, pois apesar de apresentar resistência mecânica aceitável, haveria valores elevados de retração e custo. Dessa forma, o objetivo na definição do traço será de utilizar a máxima quantidade de agregados de granulometria adequada, permitindo a maior compactação possível, minimizando o volume de vazios e permitindo utilizar uma quantidade mínima de pasta de cimento (ALMEIDA, 2010).

De acordo com a ABNT (2011) agregado é um material granular geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassas ou concretos. Através da NBR 7211 (2005) temos a definição de agregados miúdos com sendo aqueles 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 de granulometria padrão.

Nas argamassas o agregado mais utilizado é a areia que é um material granular obtido através da desagregação natural ou da britagem de rochas. (MARTIS, 2010). Além da dimensão já mencionada, os agregados podem ser classificados quanto a sua origem, sua densidade e rocha originária (ALMEIDA, 2010), conforme mostra quadro 4.

Quadro 4 – Classificação dos Agregados

Classificação segundo origem			
Naturais	Agregado de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico, ou seja, se encontram tal como são na natureza (ALMEIDA, 2010).		
Artificiais	Agregado de origem mineral resultante de um processo industrial envolvendo modificações térmicas ou outros (ALMEIDA, 2010).		
Reciclados	Agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção (ALMEIDA, 2010).		
Classificação segundo densidade			
Agregados Leves	Agregados Leves ($<2000 \text{ kg/m}^3$)	Agregados Normais ($2000 - 3000 \text{ kg/m}^3$)	Agregados Pesados ($>3000 \text{ kg/m}^3$)
Classificação segundo rocha originária			
Provenientes de rios, areeiro ou pedreiras.	Proveniente de areeiros	Com origem em pedreiras	

Fonte: Autoria Própria (2015).

Conforme Almeida (2010) os agregados para constituição de argamassas e concretos devem respeitar os seguintes fatores:

- Forma, dimensão máxima e mínima e composição granulométrica adequada: A areia de granulometria muito uniforme, independente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa, devido a esse fator ocorre um consequente enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos da areia entre si, ocasionando um maior consumo da pasta de cimento;
- Não reagir com agentes externos;
- Compatibilidade química com os constituintes da argamassa;
- Resistências mecânicas suficientes às necessidades impostas;
- Ausência de materiais nocivos, como matéria orgânica, partículas demasiado finas ou quantidade excessiva de argila: Os agregados tornam-se mais eficaz caso estes estejam livres de sais ou matéria orgânica. A presença de argila também se torna danoso, pois o seu excesso colabora para uma maior retração (MARTINS, 2010).

c) Água de Amassamento

A água é o elemento indispensável para promover as reações de hidratação, desencadeando assim as propriedades aglutinantes do aglomerante (LEAL, 2012). Ela deve ser adequada às suas finalidades, sendo necessários cuidados no tocante à sua qualidade. A utilização de água inadequada pode ocasionar diversos problemas, entre eles alteração do tempo de pega, diminuição da resistência, eflorescência, corrosão das armaduras e outros (COSTA, 2014).

A água deve encontrar-se limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para não comprometer o desempenho da argamassa devido a uma degradação acelerada (MARTINS, 2010).

A quantidade de água é outro aspecto importante para o desenvolvimento das características das argamassas. A água deve ser sempre em quantidade superior à necessária para a hidratação haja vista dever garantir a fluidez da argamassa para a sua aplicação e contar ainda com eventual sucção da base e evaporação (LEAL, 2012). Essa é calculada através da relação água/aglomerante. Esta relação deve ser criteriosamente calculada, visto não ter apenas influência no seu estado fresco, como também influenciar nas características da argamassa no estado endurecido, como a porosidade, absorção de água, retração de secagem, resistência mecânica entre outras (LEAL, 2012).

d) Adições

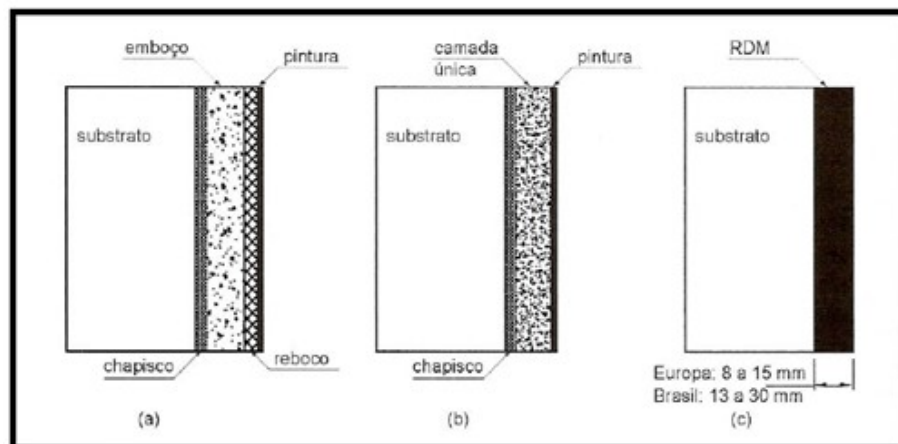
A adição é um material utilizado em argamassas com a finalidade de melhorar certas propriedades. Diversas propriedades podem ser modificadas com as adições, podendo elas ser físicas, químicas e mecânicas. Ao realizar uma adição com determinada finalidade, deve-se verificar todas as propriedades da argamassa, pois a adição poderá melhorar certa propriedade da argamassa, em detrimento de outra propriedade (LEAL, 2012).

De acordo com Almeida (2010), existem diversos tipos de aditivos entre eles cargas (*fillers*) minerais, pigmentos orgânicos, materiais pozolânicos naturais, cinzas volantes (central térmica), sílica de fumo, escórias dentre outras.

3.1.4.2 Camadas das Argamassas de Revestimento Externo

Conforme classificação de Caresek (2007) as argamassas de revestimentos de paredes podem ser classificadas em argamassa de chapisco, emboço, reboco, camada única e revestimento decorativo monocamada (RDM) (Figura 6). Na região nordeste os sistemas mais adotados são o de duas camadas – emboço e reboco e a camada única, que serão tratados a seguir.

Figura 6 – Tipos de revestimentos de paredes.



Fonte: Carasek (2007).

O chapisco é um procedimento de preparação de base e não se constitui uma camada de revestimento (ANTUNES, 2010). Trata-se de uma camada irregular obtida pela projeção de argamassa de cimento e areia, cujo objetivo é melhorar a aderência ao suporte, através da aspereza da base, e homogeneizar a absorção de água através da base.

O traço que habitualmente é utilizado para a preparação do chapisco é de 1:3 (cimento;areia) podendo variar para 1:4 (cimento;areia). Essa camada normalmente é executada de forma tradicional com o lançamento da argamassa a base, com auxílio da colher de pedreiro, de forma a garantir rugosidade à mesma. Além dessa forma ainda poderá ser executado o chapisco rolado, que é executado com o rolo de pintura ou projetado (Figura 7 e 8) (ANTUNES, 2010).

Figura 7 – Chapisco tradicional.



Fonte: Casa e Construção (2016).

Figura 8 – Chapisco Rolado.

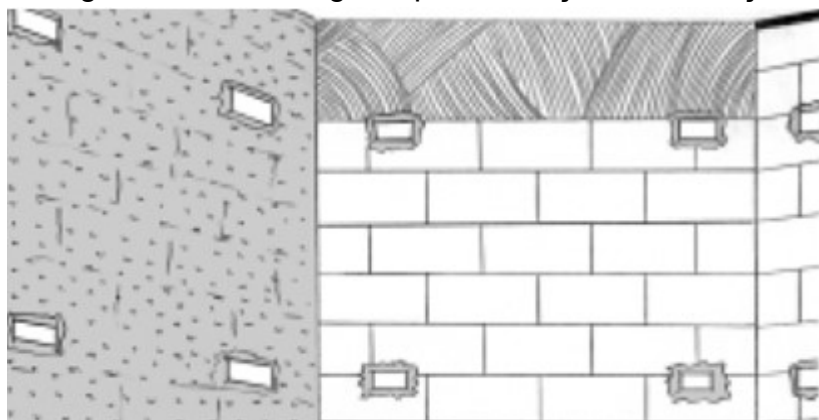


Fonte: Casa e Construção (2016).

A primeira camada de revestimento é o emboço. A principal função dessa camada é regularização garantindo o alinhamento de prumo das paredes. Além dessa função o emboço também atua dificultando a penetração da água e assim futuros problemas com infiltrações (AZEREDO, 2004).

Para execução de emboços devem-se utilizar mestras que servirão de guia para prumo e alinhamento das paredes (Figura 9) (FRIEDRICH, 2010). Para paredes que receberão revestimentos cerâmicos, estes poderão ser aplicados diretamente sobre o emboço. A espessura média do emboço é de 2,5 cm a 3 cm.

Figura 9 – Mestras guias para execução de emboço.

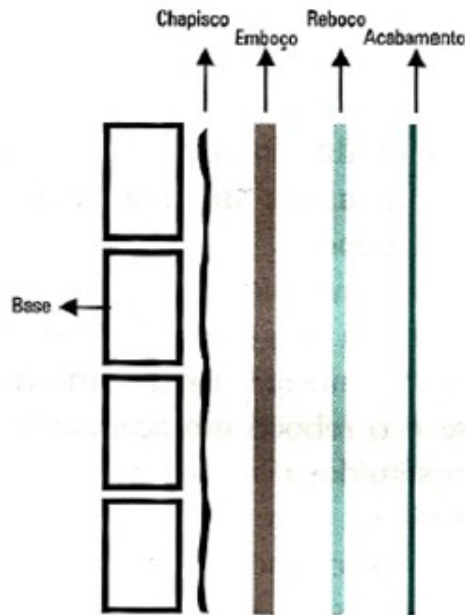


Fonte: Friedrich (2007).

A segunda camada de revestimento é o reboco. Ele é aplicado na parede antes do seu acabamento final (pintura). Sua função é nivelar e alisar com uma camada pouco porosa. Deve possuir uma pequena espessura e areia de

granulometria fina (AZEREDO, 2004). Segue abaixo figura 10 com representação das camadas de revestimento com proporção entre espessuras.

Figura 10 – Proporção entre espessuras de camadas de revestimento.



Fonte: Friedrich (2007).

O revestimento ainda poderá ser realizado através do método de camada única, onde o revestimento em argamassa terá acabamento final em pintura e cumpre a função de regularização e acabamento (ANTUNES, 2010). O traço adotado para esse sistema é igual aos de emboço sendo adotado usualmente 1:2:8 (cimento:cal: areia) (JUNIOR, [s.d]).

3.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é a energia em transito devido a uma diferença de temperatura. A segunda lei da termodinâmica requer que o calor transferido seja na direção da diminuição de temperatura e a taxa de transferência irá depender da magnitude da diferença de temperatura desta direção (SILVESTRINI, 2015).

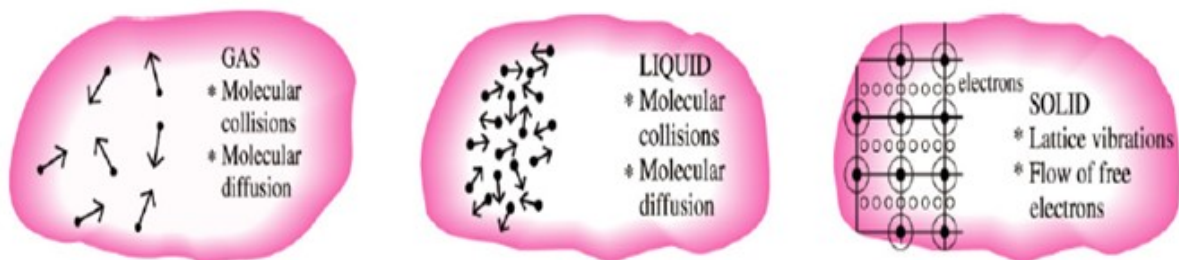
3.2.1 Mecanismos de Transmissão de Calor

O calor poderá ser transferido por três processos básicos: Convecção, Radiação e Condução.

A convecção é o processo de transferência de calor entre uma superfície sólida e um líquido ou gás adjacente (SILVESTRINI, 2015), já a radiação é energia transmitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas. Nesse tipo de transferência não é necessário à presença de um meio para que ocorra a transferência, ao contrário do que ocorre nos demais formas de transferência de calor.

A condução é o processo de transferência de calor que ocorre pela agitação molecular no interior de um material ou entre dois corpos (OLIVEIRA; RIBAS, 1995). A transferência ocorre de partículas mais energéticas para às menos energéticas e ela poderá acontecer em sólidos, líquidos e gases. Nos gases e líquidos a condução ocorre devido a colisões durante o movimento randômico das partículas. Já nos sólidos a condução ocorre pela vibração das moléculas e a energia transportada por elétrons livres (Figura 11) (SILVESTRINI, 2015).

Figura 11 – Transporte de energia por convecção em diferentes estados físicos.



Fonte: Silvestrini (2015).

O fluxo de calor que é transferido pelo processo de condução é dado pela Lei de Fourier:

$$q = k \cdot A \cdot \Delta T / L$$

Onde:

L= espessura do objeto (m);

ΔT = variação de temperatura (K);

A= área sob a ação do calor (m²);

k= coeficiente de condutibilidade térmica

O coeficiente de condutibilidade térmica é a propriedade fundamental de um material quanto à transmissão de calor por condução. Ele é determinado em laboratório e depende de sua estrutura molecular, sua densidade e temperatura.

Em geral materiais com elevada massa específica possuem uma maior condutibilidade que os materiais com baixa massa específica, conforme quadro 5 que indica a densidade e condutibilidade dos principais materiais de construções (BOABAID NETO, 2010).

Quadro 5 – Densidade (d) e coeficientes de condutibilidade térmica (k) de materiais.

Material	d	k
Concreto	2.200	1,74
Concreto Celular	500	0,20
Tijolo Maciço	1.600	0,81
Madeira	800	0,19
Vidro	2.600	1,20

Fonte: Boabaid Neto (2010).

Materiais que possuem altos valores de k, ou seja, altos valores de condutibilidade térmica são chamados condutores. Já materiais que possuem um valor baixa de k, ou seja, um baixo valor de condutibilidade térmica, são chamados de isolantes (SILVESTRINI, 2015).

A condução de calor através de paredes sólidas de alvenaria é realizada pelo processo de condução. Devido às diversas camadas de materiais constituintes dessa alvenaria, a mesma possuirá em cada camada um coeficiente de condutibilidade diferente, ou seja, as taxas de transferências de energia de cada camada da alvenaria serão distintas.

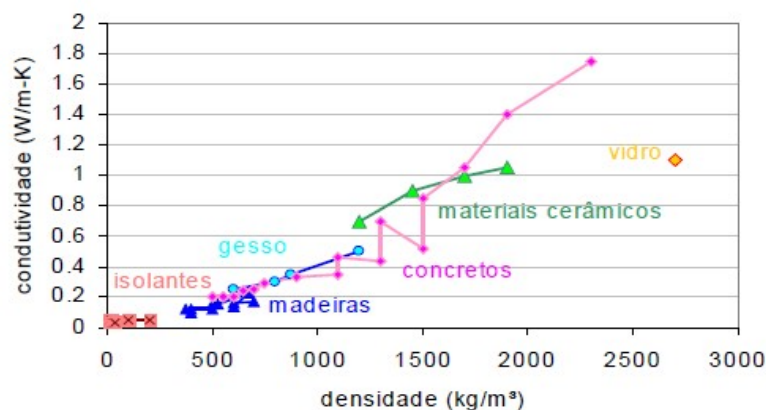
Quando menor o coeficiente de condutibilidade k das camadas, menor será a taxa de transferência de calor na alvenaria, gerando por consequência uma redução de calor adquirido pelo ambiente interno e seus ocupantes, já que ocorre também a transferência de calor da face interna da parede aos usuários da edificação através do ar circundante.

3.2.1.1 Materiais e Sistemas Isolantes

O uso de materiais de construção seja para conduzir ou não calor, é melhorada quando são combinadas características de diferentes materiais a fim de obter um melhoramento quando a isolação ou condução térmica deste material (OLIVEIRA; RIBAS, 1995).

Materiais isolantes são materiais que dificultam a fluxo de calor através dele. Esses materiais são caracterizados por um coeficiente de condutibilidade k baixo, fazendo assim com que o fluxo de calor q da equação da Lei de *Fourier* seja reduzido. Normalmente são materiais de baixa massa específica, ou seja, possuem uma relação massa/volume baixa (Gárfico 1).

Gráfico 1 – Relação Condutividade/Densidade de materiais.



Fonte: Westphal; Marinowski; Lamberts (2012).

Para que se obtenham materiais com pequenos valores de massa específica há a necessidade que esses materiais sejam porosos, ou seja, com um alto volume de vazios (FERREIRA; BRITO; BRANCO, [s.d]).

A seguir alguns materiais isolantes que podem ser utilizados na construção civil:

a) Vermiculita Expandida:

A vermiculita é um mineral da família da mica composto por silicatos de alumínio ferro e magnésio. Ela resulta do tratamento térmico a temperaturas na ordem dos 700°C, expandindo-se e esfoliando-se de forma a aumentar o seu volume inicial de 20 a 30 vezes (SOUZA, 2010) (Figura 12).

Figura 12 – Vermiculite.



Fonte: Souza (2010).

Sua aplicação na construção civil se dá em elementos pré-fabricados, ou não, ou em materiais onde o objetivo é aperfeiçoar o comportamento térmico ou a proteção contra incêndio. Também é feito uso deste material em argamassas onde foi verificada sua forte tendência de retração, daí a principal restrição quanto a seu uso (SOUZA, 2010).

b) Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS):

É uma solução de isolamento térmico aplicado em faces externas de alvenarias. Eles integram uma camada de isolante térmico fixada por um produto de colagem ou fixação mecânica. Essa camada possui uma espessura variável em função da resistência térmica que se pretende obter, normalmente variando entre 40 e 100 mm.

Entre os tipos de isolantes mais utilizados estão o XPS (poliestireno expandido extrudido), o ICB (placas de aglomerado de cortiça) e principalmente o EPS (poliestireno expandido moldado). Sobre o isolante é aplicado uma camada de argamassa de cimento com resinas sintéticas e incorporação de armaduras para contribuir com o ganho de resistência a fissuração e resistência a choques (Figura 13) (VEIGA; MALANHO, [s.d]).

Figura 13 – ETICS com fixação por colagem.



Fonte: Veiga; Malanho [sd].

A aplicação dessa solução apresenta frequentemente anomalias principalmente devido à necessidade de mão de obra especializada, por se tratar de um sistema com especificidade na metodologia de implementação, o que reduz drasticamente a eficiência do sistema. Esses fatores podem comprometer a durabilidade da edificação e onerar bastante sua manutenção posterior (Figura 14) (GONÇALVES; FRADE; BRITES, [s.d]).

Figura 14 – Danificações em sistemas ETICS.



Fonte: Gonçalves; Frade; Brites [s.d].

c) Granulado de Cortiça:

Cortiça é proveniente do revestimento exterior do tronco e ramos do sobreiro, uma árvore de crescimento lento e de grande longevidade, capaz de

atingir os 250-350 anos (Figura 15). A União Europeia é o maior produtor de cortiça, produzindo mais de 80% da cortiça a nível mundial (LEAL, 2012). No Brasil esse material é disponível em diversas faixas granulométricas.

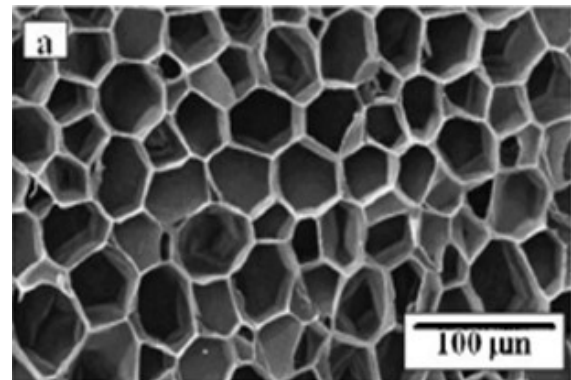
Ela é constituída por materiais celulares, constituídos por células ocas, sendo o volume de sólido das células inferior a 30% do total. As células da cortiça apresentam-se em forma de prismas hexagonais (Figura 16) (MARTINS, 2010).

Figura 15 – Sobreiro após retirada da casca.



Fonte: Sommelier (2016).

Figura 16 –Células ocas constituintes da cortiça.



Fonte: Leal (2012).

A cortiça é um material anisotrópico, devendo ser analisada segundo as três direções principais, sendo suas propriedades semelhantes nas duas direções não radiais (LEAL, 2012). Suas principais características são:

- Leveza;
- Flutuabilidade;
- Compressibilidade;
- Elasticidade;
- Imputrescível;
- Inodora;
- Durabilidade;
- Resistente ao fogo;
- Reciclável e biodegradável;
- Baixa condutividade térmica;
- Grande capacidade de absorção de energia (em impacto);
- Resistente ao desgaste.

A seguir as principais características físicas e mecânicas da cortiça:

Quadro 6 – Características das cortiças.

Características	Valor Médio
Massa Volumétrica	180 kg/m ³
Módulo de Young (compressão)	13 MPa
Módulo de Young (tração)	18 MPa
Coefficiente de Poisson	0,18
Coefficiente de Precipitação de Energia	0,2
Coefficiente de Atrito	0,3
Calor Específico	35 J.Kg ⁻¹ . K ⁻¹
Condutividade Térmica	0,0045 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Tensão de Ruptura a Tração	19 MPa

Fonte: Leal (2012).

A introdução do granulado de cortiça em substituição da areia nas argamassas irá alterar diversas propriedades. Entre elas podemos citar a resistência mecânica, que sofrerá redução já que a areia tem função estrutural, o consumo de água, que deverá ser aumentado devido à estrutura porosa da cortiça, sendo as principais alterações quanto a características térmicas devido ao material ser um ótimo isolante em relação às areias (LEAL, 2012) (FERREIRA; BRITO; BRANCO, [s.d]).

O granulado de cortiça é comercializado principalmente nas granulometrias entre 0,50 a 2 mm, podendo ser comercializado em sacos de 50 lt ou a granel. Também são vendidas argamassas secas compostas de cimento, areia e granulado de argila em diversas proporções (Figura 17).

Figura 17 – Granulado de cortiça com granulometria entre 0,5 e 2 mm.



Fonte: DataPixel (2016).

Do ponto de vista ambiental, é importante salientar a sustentabilidade de seu uso, já que poderá ser advinda de reuso, ser biodegradável, além de razoavelmente econômica.

3.2.2 Conforto Térmico

Conforto Térmico é o estado que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o cerca. A insatisfação poderá ser causada pela sensação de calor ou frio, ou seja, quando o balanço térmico não é estável de modo que o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o meio ambiente sejam diferentes (MONTEIRO et al, 2004).

Entre os princípios das edificações, frisados por Oliveira e Ribas (1995), está facilitar a transmissão lenta do calor adquirido pelas superfícies externas. Isso se dará através do uso de materiais isolantes entre o meio externo – em contato com a radiação solar, e o meio interno.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo a primeira o levantamento bibliográfico referente ao assunto e o segundo, o procedimento experimental.

O procedimento experimental foi realizado em dois locais: Laboratório de Materiais de Construção do IFRN do Campus Natal-Central e Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA do Campus Mossoró.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados, para a confecção dos traços de revestimento, os seguintes materiais: Cimento Portland CP II Z RS da marca Mizu, em virtude da alta disponibilidade do produto na região, areia lavada média (passante na peneira 1,2 mm e retida na peneira 0,3 mm) (Figura 18), água proveniente do sistema de abastecimento da CAERN e cortiça granulada (passante na peneira 2 mm e retida na peneira 0,3) (Figura 19). Os dados relativos à massa unitária do cimento, areia e cortiça utilizados são descritos no quadro 7. Estes foram obtidos conforme NBR 7251(1982).

Quadro 7 – Massas unitárias do cimento, areia e granulado de cortiça.

Descrição	Massa Unitária (kg/m³)
Cimento Portland CP II Z RS da marca Mizu	1023,81 kg/m³
Areia Lavada (passante na peneira 1,2 mm e retida na peneira 0,3 mm)	1366,72 kg/m³
Cortiça Granulada (passante na peneira 2 mm e retida na peneira 0,3mm)	125,00 kg/m³

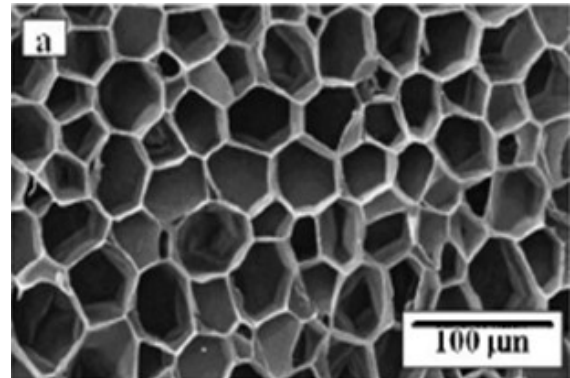
Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 18 – Cimento CP II Z 32 de fabricação Mizu e Areia Lavada Média.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 19 – Granulado de cortiça



Fonte: Autoria Própria (2017).

4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.2.1 Preparação das argamassas

Foram produzidos quatro traços de argamassa para a execução de revestimentos em camada única e corpos de prova, sendo o primeiro de referência, o qual serviu de parâmetro para comparação de resultados das propriedades das argamassas térmicas, e três com diferentes proporções de adições de granulado de cortiça - 10%, 50% e 75% em relação ao volume de areia da argamassa de referência.

A argamassa padrão de referência foi executada no Laboratório de Materiais de Construções da UFERSA, com mistura manual, a partir do traço 1:3 (cimento:areia) em massa, de forma a manter semelhante a proporção mais usual entre aglomerantes e agregados, visto que os traços de camada única utilizam normalmente a proporção de 1:2:8 (cimento:cal:areia) (LEAL, 2012).

Foi utilizada a mesa de consistência para determinação da relação água/cimento a ser utilizada, de forma a obter um índice de consistência de 255 ± 10 mm.

De acordo com a NBR 13276 (2002) o índice de consistência será a média entre três determinações do diâmetro do espalhamento que uma argamassa terá, após ser moldada em molde tronco cônico (conforme NBR 7215:1996), em três camadas de espessuras iguais e adensadas através de 15, 10 e 5 golpes respectivamente. O espalhamento será produzido através do acionamento da

manivela da mesa de consistência, de modo que a mesma suba e caia trinta vezes em trinta segundos de maneira uniforme (ABNT, 2002). Dessa forma, foi obtida a relação de 0,77 l/kg de cimento (Figura 20).

Figura 20 – Realização de ensaio em mesa de consistência por queda – PR.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Foi realizada a moldagem de três corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm) (Figura 21) sob a mesa de adensamento. A moldagem é realizada em duas camadas intercaladas por 30 quedas, conforme NBR 13279 (2005). Após 28 dias da moldagem, mantendo os corpos de prova em local em temperatura ambiente, eles foram encaminhados para a realização dos ensaios de massa específica, ultrassom, resistência à tração por flexão e compressão.

Figura 21 – Corpos de prova prismáticos – PR.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Posteriormente foram confeccionados três traços utilizando adição de granulado de cortiça, de maneira a verificar a alteração das propriedades analisadas conforme a variação na quantidade de material na mistura. Houve a substituição de 10%, 50% e 75% do volume de areia por volume de granulado de cortiça, seguindo a proporção entre aglomerantes e agregados de 1:3 (cimento:areia) em massa, conforme traço utilizado para confecção da argamassa de referência.

Para conversão do traço de massa para volume foi utilizada a massa unitária do cimento e da areia, obtidos através de ensaios laboratoriais normatizados e disponibilizados na seção 4.1. Os traços obtidos em massa e volume, em função das substituições são descritas no quadro 8 a seguir:

Quadro 8 – Traços utilizados nas placas de alvenaria.

Identificação das Placas	Porcentagem de substituição	Traço Padrão (Em massa)	Traço com Substituição (Em volume)	Traço com Substituição (Em massa)
PR – Revestimento de Referência	0%	1:3	-	-
P10% - Revestimento com 10% de substituição	10%	1:3	1:2,022:0,2247	1:2,700:0,027
P50% - Revestimento com 50% de substituição	50%	1:3	1:1,123:1,123	1:1,500:0,137
P75% - Revestimento com 75% de substituição	75%	1:3	1:0,562:1,685	1:0,750:0,206

Fonte: Autoria Própria (2017).

Foi utilizada a mesa de consistência para determinação da relação água/cimento a ser utilizada, de forma a obter um índice de consistência de 255 ± 10 mm. As relações utilizadas para os traços P10%, P50% e P75% foram respectivamente, 0,67, 0,73 e 0,76 l/kg de cimento (Figura 22).

Figura 22 – Realização de ensaio em mesa de consistência para determinação de relação água/cimento das argamassas com adição.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Foi realizada a moldagem de três corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm), para cada traço de argamassa, conforme procedimento descrito anteriormente.

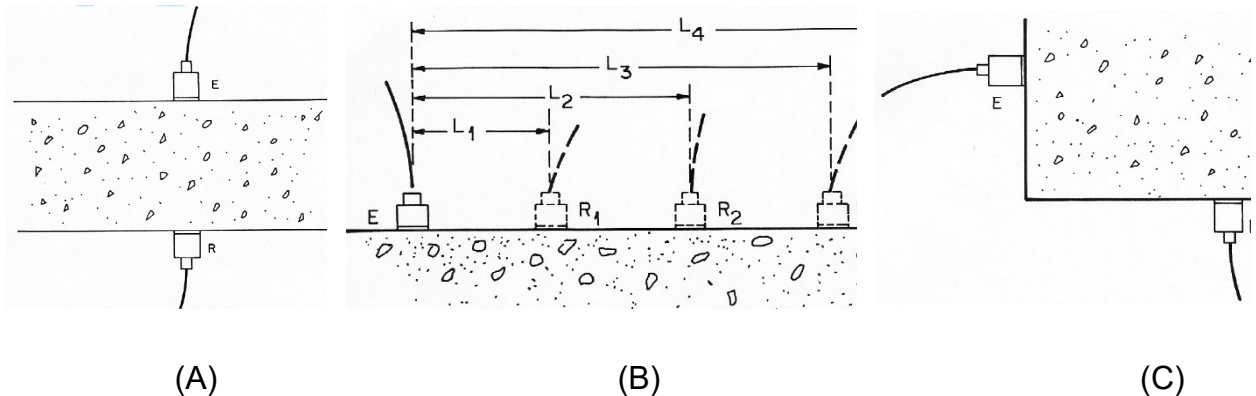
4.2.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

4.2.2.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico – Ensaio de Ultrassom

O ensaio para a determinação da velocidade de propagação de onda através de ultrassom é normatizado pela NBR 8802 (1994), a qual determina os materiais e procedimentos adotados para a realização do mesmo.

Foram posicionados os transdutores na superfície lisa da amostra a ser ensaia, através de fina camada de gel acoplante. O posicionamento poderá ser feito de forma que haja uma transmissão direta, indireta ou semidireta, conforme arranjos descritos em norma (Figura 23) (ABNT, 1994).

Figura 23 – Tipos de transmissões no ensaio de velocidade de propagação de onda:
(A) Direta; (B) Indireta; (C) Semidireta.



Fonte: ABNT (1994).

Os ensaios de ultrassom foram realizados de maneira a obter os módulos de elasticidade dinâmicos das argamassas. O ensaio foi feito através dos corpos de prova prismáticos de cada traço de argamassa com idade mínima de 28 dias. Neles foram utilizados o equipamento de ultrassom Puditt Lab da fabricante Proceq e o gel condutor sendo utilizado o método de transmissão direta (Figura 24 e 25). As leituras utilizadas foram as médias entre duas leituras consecutivas com variação menor de 1% entre elas.

Figura 24 – Aparelho de Ultrassom Puditt Lab - Proceq.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 25 – Colocação de par de transdutores para obtenção da velocidade do pulso ultrassônico.



Fonte: Autoria Própria (2017).

O módulo de elasticidade dinâmico (MPa) das peças foi obtido através da seguinte fórmula:

$$Ed = \rho V^2 * 0,9$$

Onde:

V= velocidade de propagação da onda (Km/s);

ρ = massa específica real da amostra (Kg/m³).

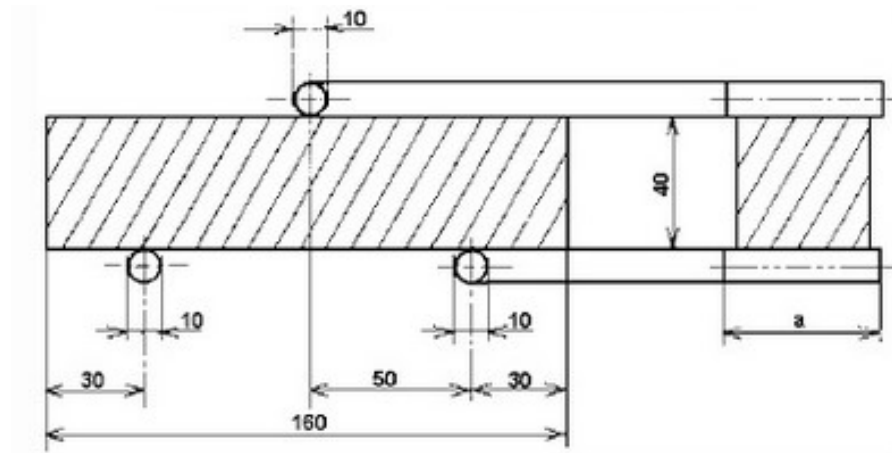
Sendo adotado o coeficiente de Poisson de 0,2. A massa específica foi obtida através do procedimento descrito na NBR 9778 (1987), a qual especifica a obtenção dos dados de massa da amostra seca em estufa por 72 horas e a massa saturada obtida através da imersão da amostra em água por 72 horas. Com esses dados a massa específica real é obtida pela relação entre a massa seca em estufa e a subtração entre a mesma e a massa saturada em água. Foram utilizados para essas determinações os corpos de prova prismáticos.

4.2.2.2 Resistência à tração por flexão e compressão

Para avaliação das propriedades mecânicas foram realizados os ensaios de determinação de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismático e posteriormente o ensaio de compressão normal, normatizados através das NBR 13279 (2005). Nesse ensaio foram utilizados os corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm) de cada traço de argamassa.

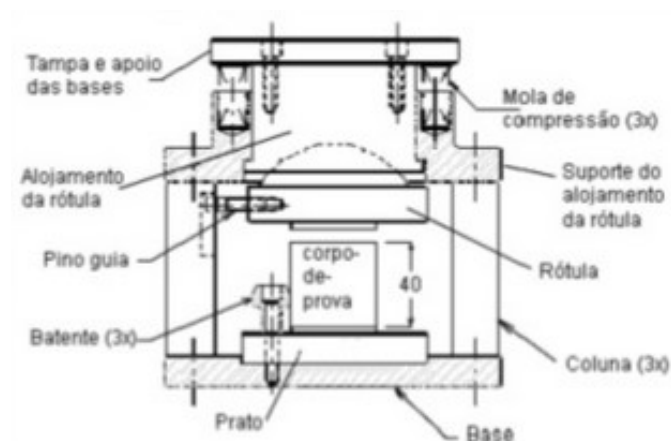
Após 28 dias da moldagem os corpos de prova foram encaminhados ao equipamento de ensaio de resistência a tração na flexão (Figura 26), onde é aplicada uma carga de 50 ± 50 N/s até a ruptura da peça. Utilizando as metades dos corpos de prova foi realizado o ensaio de compressão normal (Figura 27), aplicando uma carga de 500 ± 50 N/s até a ruptura da amostra (ABNT, 2005).

Figura 26 –Equipamento para determinação da resistência a tração na flexão.



Fonte: ABNT (2005).

Figura 27 –Equipamanto para detyerminação da resistência a compressão.



Fonte: ABNT (2005).

Os testes referentes à determinação da resistência a compressão e a tração por flexão foram realizados através de corpos prismáticos e prensa elétrica hidráulica para ensaios de tração e compressão de marca Pavitest Conteco e seus dispositivos para ensaio de tração por flexão (Figura 28) e compressão em corpos de prova prismáticos (Figura 29). Inicialmente foram realizados os testes de tração por flexão e posteriormente os de compressão, conforme descrição na NBR 13279 (2005).

Figura 28 – Acessório para determinação de resistência a tração por flexão.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

Figura 29 – Acessório para determinação de resistência a compressão na prensa.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

A resistência à tração por flexão (MPa) foi calculada através da seguinte fórmula:

$$R_t = (1,5 \times F \times L) / 40^3$$

Onde:

F= carga vertical aplicada no centro (N);

L = distância entre os suportes (100 mm)

A resistência à compressão (MPa) utilizou a metade dos corpos de prova rompidos à flexão, sendo calculada através da seguinte fórmula:

$$R_c = F/1600$$

Onde:

F= carga vertical aplicada no centro (N);

1600= área da seção (mm²).

Ao final destes ensaios foram obtidas as frações dos corpos de provas rompidos, conforme figuras 30, 31, 32 e 33.

Figura 30 – Corpo de Prova PR – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.



(A)



(B)

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Figura 31 – Corpo de Prova P10% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.



(A)



(B)

Fonte: Autoria Própria, 2017.

Figura 32 – Corpo de Prova P50% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.



(A)



(B)

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 33 – Corpo de Prova P75% – (A) Ruptura do CP; (B) Seção do CP.



(A)



(B)

Fonte: Autoria Própria (2017).

4.2.3 Placas de alvenaria

Foram confeccionadas quatro placas de alvenaria de meia vez nas dimensões de 80x80 cm (Figura 34, 35, 36 e 37).

Elas foram executadas no Laboratório de Materiais de Construções da

UFERSA, a partir de blocos cerâmicos de oito furos, nas dimensões de 19x19x9 cm. Foi utilizado um traço para assentamento dos blocos de 1:5 (cimento:areia) em volume. Elas foram executadas sem a fixação do piso, de tal forma, que após a secagem fosse possível realizar seu transporte.

Figura 34 – Placa 1.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 35 – Placa 2.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 36 – Placa 3.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 37 – Placa 4.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Após a secagem da argamassa de assentamento das placas, foi executado o chapisco em uma das faces das quatro placas. Ele foi executado de forma tradicional através da colher de pedreiro, com traço de 1:3 em volume e alta relação água/cimento (Figura 38).

Figura 38 – Placa de alvenaria com chapisco.



Fonte: Autoria Própria (2017).

A execução da camada única foi iniciada com a colocação de mestras, de modo a obter uma espessura de 2,0 cm sobre a face (Figura 39). Posteriormente foi iniciada a aplicação da argamassa sobre a placa (Figura 40), logo após sarrafeamento com régua de alumínio e desempeno (Figura 41).

Figura 39 – Placa de alvenaria com mestras para aplicação de camada única.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 40 – Aplicação de argamassa padrão em placa de alvenaria.



Fonte: Autoria Própria (2017).

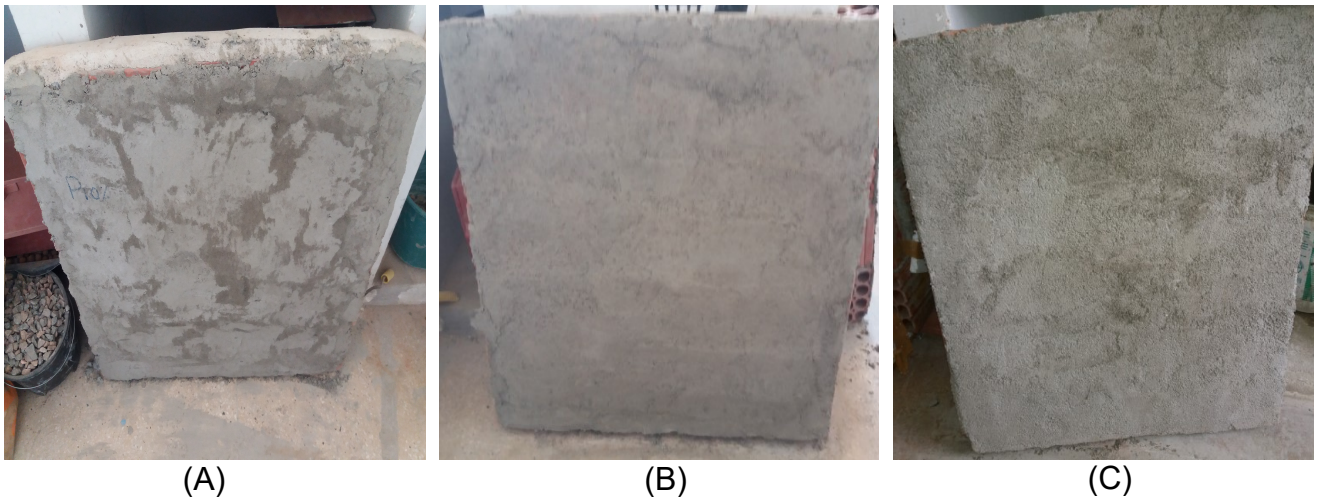
Figura 41 – Placa de argamassa padrão com acabamento final.



Fonte: Autoria Própria (2017).

A produção dos traços e revestimentos de argamassas térmicas foi confeccionada utilizando o mesmo procedimento da camada única de referência (Figura 42).

Figura 42 – Placas de argamassas térmicas com acabamento final – (A) P10%; (B) P50%; (C) P75%.



Fonte: Autoria Própria (2017).

4.2.4 Câmara de calor

Para a realização do ensaio relativo à determinação da eficiência térmica, foi utilizada uma câmara térmica, de modo que foi possível obter a situação de uma das faces inserida num ambiente aquecido – com temperaturas internas variando conforme dados do anexo B, e outra num ambiente resfriado – com temperaturas

médias entre 13,4 e 19,5 °C, conforme indicado em anexo B. Diante dessa situação foi possível verificar a transferência de calor entre elas.

Foi produzida uma câmara com uma base em madeira MDF (*Medium-Density Fiberboard*) com espessura 1,5 cm, nas dimensões de 1,00x1,00x0,50 m. A placa de fundo possui menor espessura (0,5 cm) afim de facilitar a perfuração necessária à passagens de fiação para instalação das lâmpadas.

Em toda área interna da mesma foi aplicado um revestimento em EPS de 10Kg/m³ com espessura de 10 cm de fabricação Isoplac. As placas foram aplicadas de maneira a não haver brechas entre as mesmas e de forma que houvesse fixação apenas pelo encaixe entre elas, não utilizando cola ou qualquer outro tipo de fixador (Figura 43). Entre as placas foi aplicada cola quente de modo a fazer a vedação entre elas.

Figura 43 – Câmara térmica com revestimento em EPS.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Com a finalização do revestimento, foram instalados cinco soquetes plásticos para o funcionamento de lâmpadas incandescentes de 25 W que serviram de fonte de calor. As mesmas foram fixadas no fundo da câmara, através da perfuração da placa traseira para a passagem do condutor elétrico, conforme apresentado na figura 44.

Figura 44 – Instalação das lâmpadas incandescentes no fundo da câmara térmica.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Com a finalização da confecção da câmara, ela foi transportada para o Laboratório de Materiais de Construção na UFERSA, onde permaneceu até a finalização dos ensaios. Os ensaios foram realizados em períodos onde o laboratório não estivesse em funcionamento, de tal forma a apresentar um ambiente refrigerado por aparelho ar condicionado, durante as 24 horas de ensaio, e não houvesse a abertura de portas e janelas durante esse período.

4.2.5 Propriedades térmicas das argamassas

Após a finalização do revestimento de camada única nas placas de alvenaria e atingida idade de 28 dias, as mesmas foram acopladas a câmara térmica de modo que o revestimento estivesse voltando à parte interna. A vedação das lacunas entre elas foi feita através da colocação de EPS, de modo a garantir a máxima isolamento do calor interno (Figura 45).

Figura 45 – Vedação entre placa de alvenaria e câmara térmica.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Para a obtenção dos dados de temperatura das faces das placas de alvenaria, foi utilizado um sistema de aquisição de dados térmicos, composto por uma placa Arduino Mega 2560 com LCD, fonte de alimentação e 11 sensores térmicos conectados a placa Arduino através de cabo constantan (Figura 46).

Figura 46 – Sistema de aquisição de dados térmicos.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Foram instalados cinco sensores em cada face da placa de forma a obter posições simétricas entre os sensores das duas faces. O layout de instalação deles seguiu o mesmo das lâmpadas internas a câmara, e foram fixados através de fita tipo crepe sob placa de EPS com 1,5 cm de espessura. As placas foram colocadas sobre os sensores de modo que a leitura feita seja referente a temperatura da placa não sofrendo influência do ambiente (Figura 47 e 48).

Figura 47 – Fixação de sensores sobre a placa com fita crepe.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 48 – Colocação de placas de EPS sobre os sensores.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Os dados das leituras de temperatura dos dez sensores instalados na placa mais um sensor externo a câmara, foram automaticamente gravados em cartão SD a cada minuto durante 24 horas de ensaio e então concluído o recolhido os dados. Na placa P75% o ensaio foi realizado durante 48 horas.

5 RESULTADOS

5.1 ENSAIO DE ULTRASSOM – MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Conforme descrito na seção 4.2.2.1 os ensaios de ultrassom foram realizados nos corpos de prova prismáticos nas dimensões de 4x4x16 cm, sendo obtidas as velocidades de propagação de onda. Para a obtenção dos valores de módulo de elasticidade dinâmicos das argamassas foram necessários os valores de massas específicas reais. Os resultados de velocidade, massa específica real e por fim módulo de elasticidade dinâmico dos traços, resultante da manipulação destes, seguem em quadro 9.

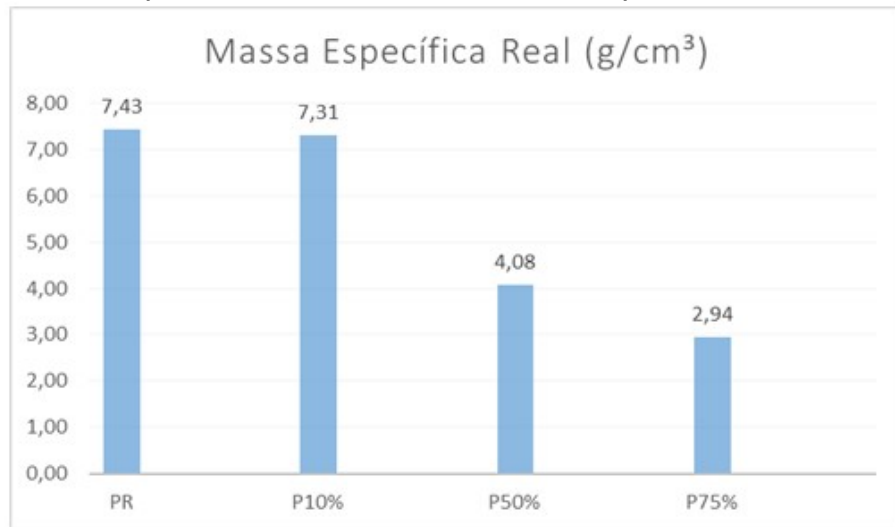
Quadro 9 – Resultados de ensaio de massa específica e ultrassom e obtenção dos valores de módulo de elasticidade dinâmico.

Corpo de Prova	Massa Seca em Estufa (g)	Massa Saturada (g)	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Específica Média (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	Velocidade Média (m/s)	Mód. Elasticidade Dinâmica (MPa)
PR1	467,30	529,2	7,55	7,43	349,00	346,00	800,54
PR2	461,60	524,1	7,39		340,00		
PR3	461,00	523,6	7,36		349,00		
P10%1	457,20	519,5	7,34	7,31	349,00	346,33	789,11
P10%2	458,60	522,1	7,22		349,00		
P10%3	457,70	519,9	7,36		341,00		
P50%1	333,80	415	4,11	4,08	256,00	254,67	238,15
P50%2	333,70	416,5	4,03		254,00		
P50%3	333,70	415	4,10		254,00		
P75%1	253,70	339,6	2,95	2,94	192,00	197,33	103,03
P75%2	251,90	336,3	2,98		205,00		
P75%3	249,50	335,7	2,89		195,00		

Fonte: Autoria Própria (2017).

Abaixo segue os gráficos comparativos entre valores (Gráficos 2,3 E 4):

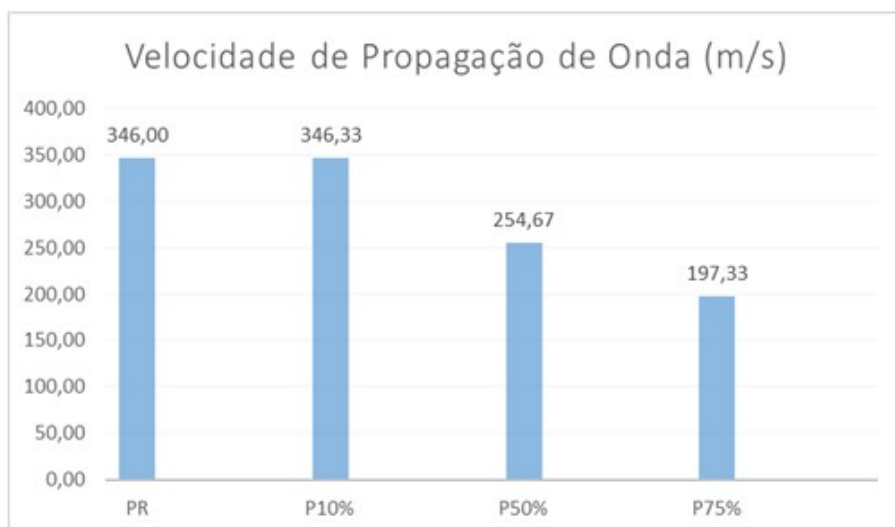
Gráfico 2 – Comparativo dos valores de massa específica real das amostras.



Fonte: Autoria Própria (2017).

No gráfico 2 é possível observar a redução da massa específica real em função da variação da quantidade de cortiça no traço. O comportamento foi esperado visto que, com uma maior substituição de areia por cortiça, que possui massa específica menor, resultaria em um material mais leve em relação à anterior. Porém, é visto que a redução da massa específica não é constante já que a taxa é acentuada na região entre P10% e P50%, sendo de 0,0806 g/cm³% o que é maior que a taxa entre PR e P10% e P50% e P75%, 0,013 e 0,046 g/cm³% respectivamente.

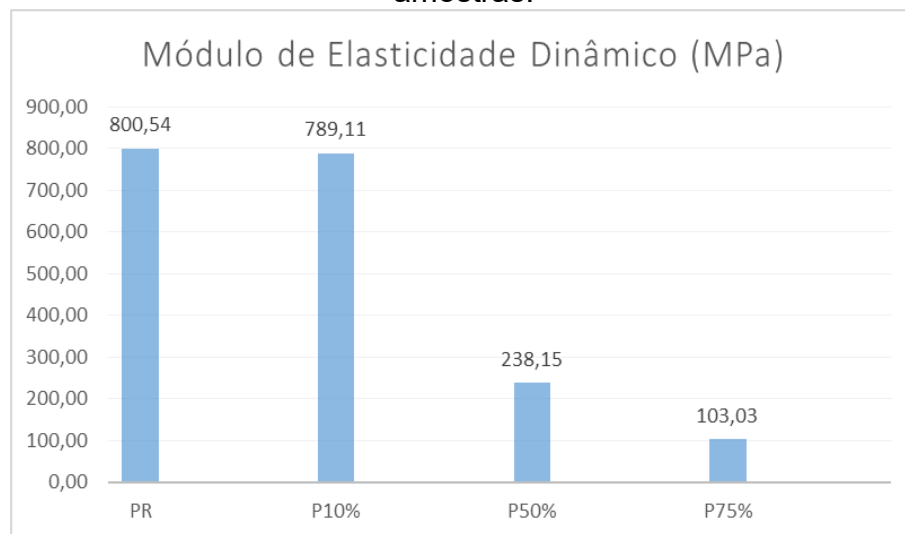
Gráfico 3 – Comparativo dos valores de velocidade de propagação de onda das amostras.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Conforme esperado, as velocidades de propagação da onda através dos corpos de prova foram sendo reduzidas com o aumento da quantidade de cortiça no traço. Isso ocorre em virtude da porosidade do material que cresce em função da substituição da areia por cortiça. Entre as amostras PR e P10% foi verificado valores aproximadamente iguais, sendo possível perceber a pouca variação na porosidade da amostra com 10% de substituição em relação à amostra de referência.

Gráfico 4 – Comparativo dos valores de módulo de elasticidade dinâmico das amostras.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Os índices de módulos de elasticidade dinâmico das argamassas foram obtidos através de fórmula apresentada na seção 4.2.2.1 Os valores foram sendo reduzidos com o aumento da substituição de cortiça na argamassa. Seguindo o mesmo padrão de decrescimento da massa específica real, a maior taxa de redução está entre P10% e P50%, de 15 MPa/%, sendo as taxas entre PR e P10% e P50% e P75% de 1 e 6 MPa/% respectivamente.

As reduções dos valores de módulos de elasticidade dinâmicos resultam em uma argamassa de maior flexibilidade a movimentações termo-higroscópicas e estruturais, de maneira a sofrer menos com fissuras. Com os dados foi possível comprovar que um revestimento com maiores quantidades de cortiça torna-se menos rígido e mais deformável, comparativamente a argamassas de referência, adaptando-se melhor a deformações impostas (LEAL, 2012). A redução de fissuras

em argamassas de revestimento é um importante parâmetro, pois a partir delas ocorrem diversos ataques ao próprio revestimento ou sua base.

5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO E COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à tração por flexão foram realizados conforme descrito na seção 4.2.2.2, sendo obtidas as resistências à flexão de três amostras e a resistência a compressão de seis amostras – dois lados de cada corpo de prova, de cada traço. Os gráficos de todos os resultados de tração e compressão das amostras estão disponíveis no Anexo A. Através da média aritmética foram obtidas as resistências médias de tração por flexão e compressão, conforme quadro 10 abaixo:

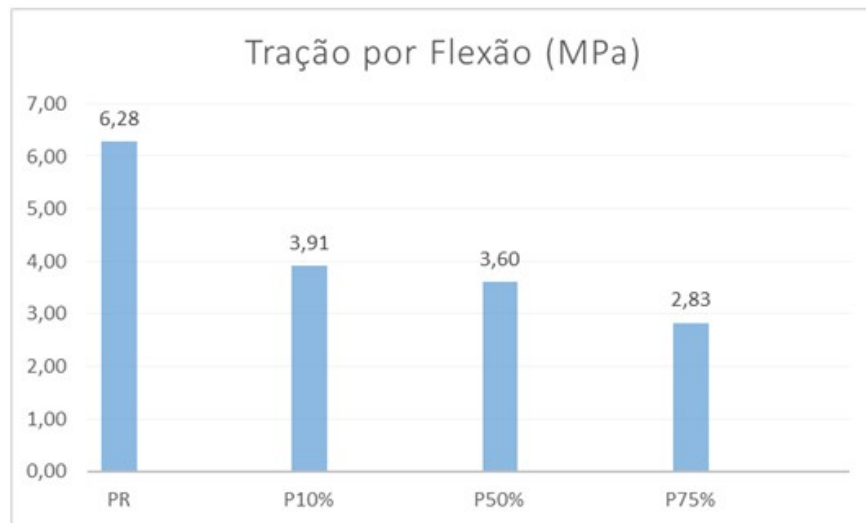
Quadro 10 – Resultados de ensaio de compressão e tração por flexão e obtenção de suas médias.

Amostras	Traço	Fator a/c	CP's	Tração (Mpa)	Compressão (Mpa)		Tração média (Mpa)	Compressão média (Mpa)
PR	1:3	0,77	PR1	3,68	10,79	13,12	6,28	13,11
			PR2	5,29	15,87	14,22		
			PR3	9,88	11,95	12,69		
P10%	1:2,700:0,022	0,67	P10%1	-	14,71	17,16	3,91	14,46
			P10%2	4,14	13,67	15,02		
			P10%3	3,68	10,66	15,57		
P50%	1:1,500:0,111	0,73	P50%1	1,61	9,13	8,21	3,60	8,27
			P50%2	7,58	8,09	9,32		
			P50%3	1,61	8,52	6,37		
P75%	1:0,750:0,166	0,76	P75%1	2,53	17,84	-	2,83	18,17
			P75%2	2,30	8,15	15,08		
			P75%3	3,68	18,69	31,07		

Fonte: Autoria Própria (2017).

Foram confeccionados gráficos para facilitar a comparação visual entre os dados apresentados anteriormente (Gráficos 5 e 6):

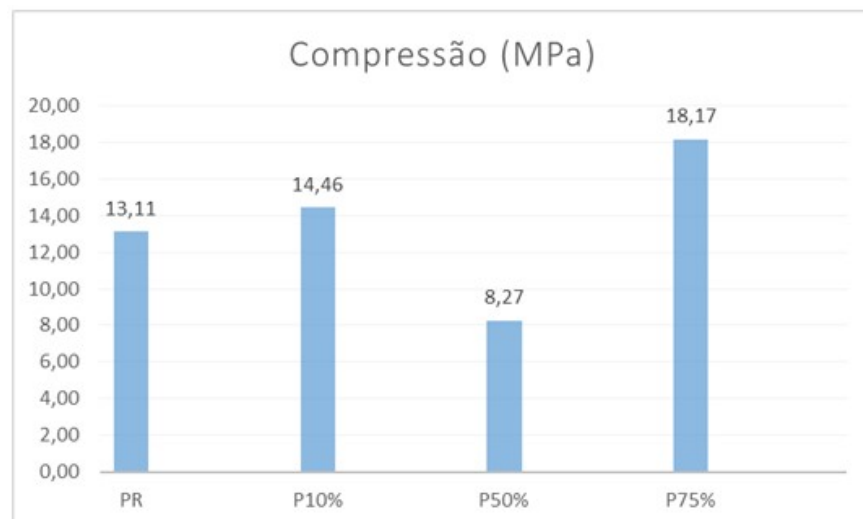
Gráfico 5 – Comparativo dos valores de média de resistência a tração por flexão das amostras.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Os resultados dos testes de tração por flexão indicam a redução da resistência das peças em função do aumento na substituição da areia por cortiça. Esses resultados foram esperados, visto que com o aumento do teor de cortiça a porosidade da mesma aumenta. Com a taxa de 75% de substituição a resistência a tração por flexão reduziu 54,93% em relação à argamassa de referência.

Gráfico 6 – Comparativo dos valores de média de resistência a compressão das amostras.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Diferente dos resultados dos ensaios de tração por flexão e módulo de elasticidade dinâmico, onde os valores dos resultados foram tendo quedas gradativas com o aumento do teor de cortiça na amostra, através do ensaio de resistência a compressão foram obtidos valores variáveis, sendo que a amostra P75% obteve a maior resistência à compressão.

Esse fenômeno ocorre devido ao ganho em ductilidade do composto com o acréscimo de cortiça – material elástico, sendo possível verificar sua máxima deformação durante a realização do ensaio com a amostra de maior concentração de cortiça.

Nos gráficos referentes à amostra de 75% de adição de cortiça (Anexo A), é possível verificar o alongamento horizontal dos gráficos em relação aos das demais amostras, devido à presença nítida da faixa de escoamento sob tensão constante, caracterizando que o material adquiriu propriedades dúcteis.

A amostra com 75% de substituição por cortiça obteve um aumento de 38,60% em resistência a compressão, em relação à argamassa padrão.

5.3 TESTES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

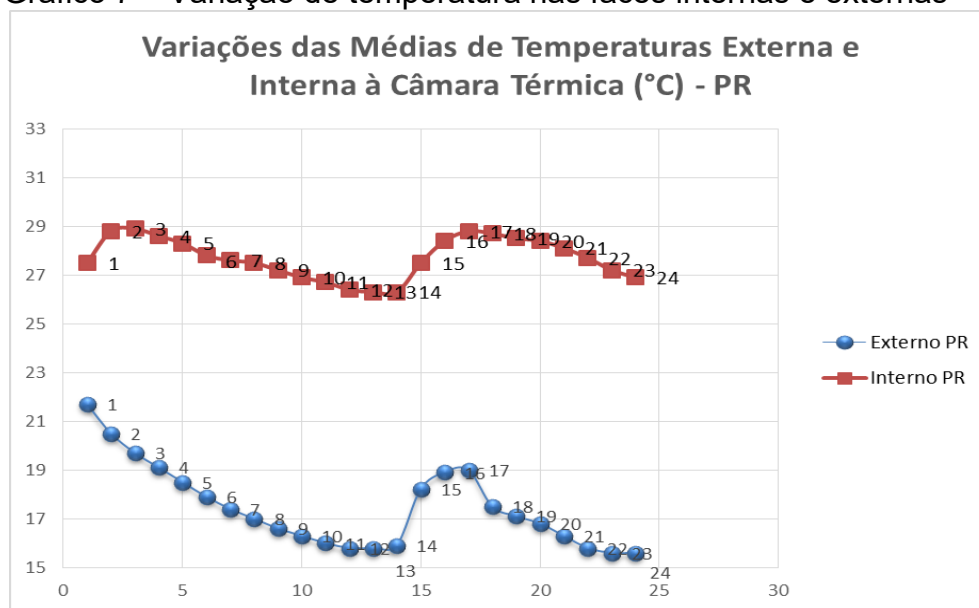
Após a finalização dos ensaios na câmara térmica foram adquiridas as temperaturas das faces internas e externas a câmara a cada minuto. Os dados foram transferidos para planilha eletrônica para realização do tratamento.

Os dados relativos ao ensaio foram separando por data, hora e temperaturas. Foi então determinada a temperatura média interna e externa a cada minuto de ensaio. Posteriormente foram determinadas as médias horárias e verificadas as diferenças entre os valores internos e externos a cada hora. Os dados estão disponíveis no anexo B.

Os dados relativos à placa P75% foram obtidos em duas etapas seguidas (P75%¹ e P75%²) cada uma com 24 horas, de modo a se obter uma diferença significativa entre as temperaturas internas e externas. A propriedade isolante do revestimento da referida placa fez com que a transferência - entre a câmara e revestimento, se desse de forma mais lenta, sendo possível verificar que as diferenças entre as temperaturas internas e externas aumentaram na segunda etapa – P75%².

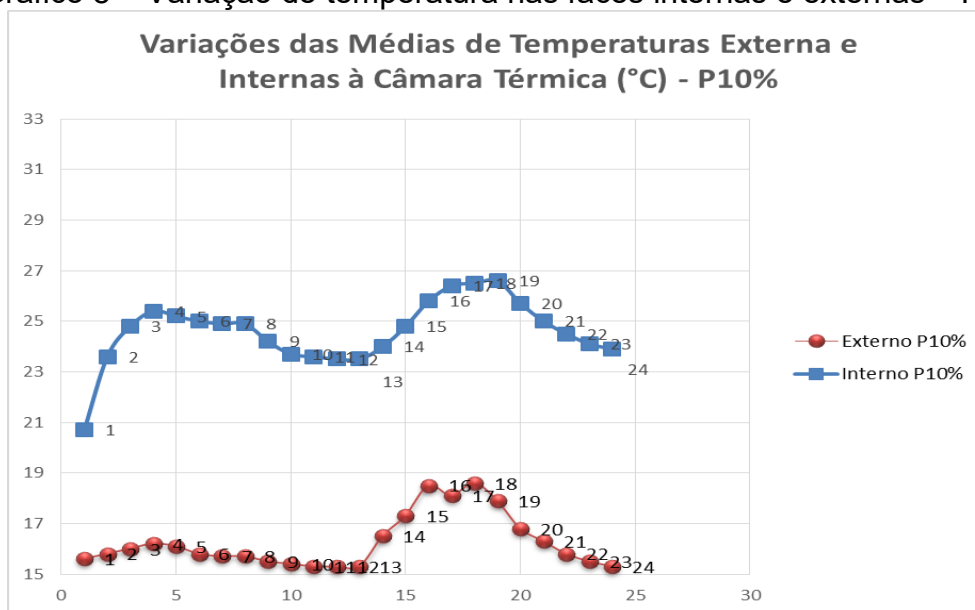
Com os dados descritos acima foram confeccionados gráficos (Gráficos 7, 8, 9, 10 e 11) que indicam a variação térmica nas faces das placas entre os horários de medição. É possível constatar que houve variação na temperatura do ambiente, acarretando o mesmo nas faces das placas, em função das temperaturas externas normalmente verificadas na região. Essas variações não influenciaram nos dados térmicos aqui analisados, logo que o intuito é comparar o comportamento entre as placas em condições semelhantes.

Gráfico 7 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – PR.



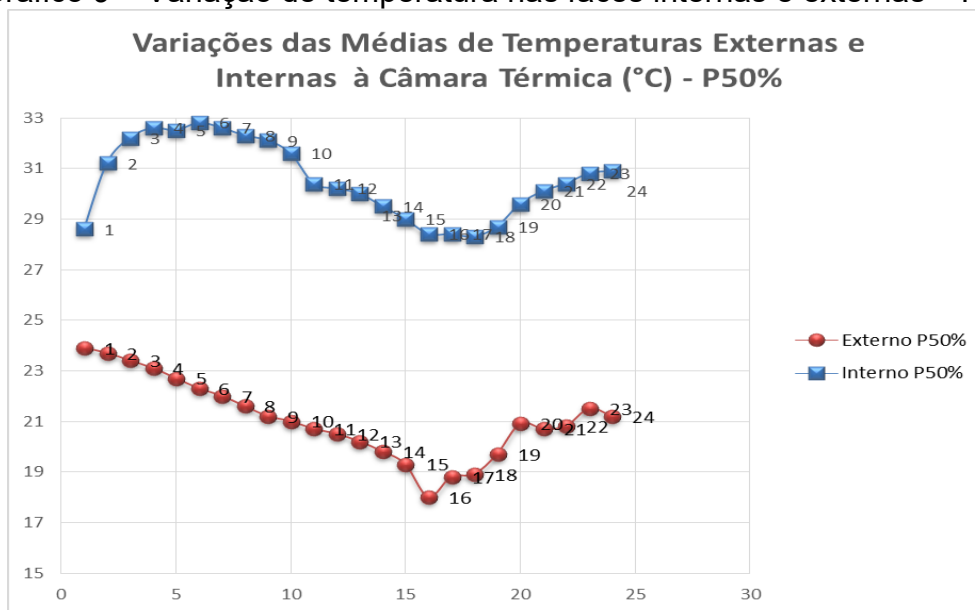
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico 8 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P10%.

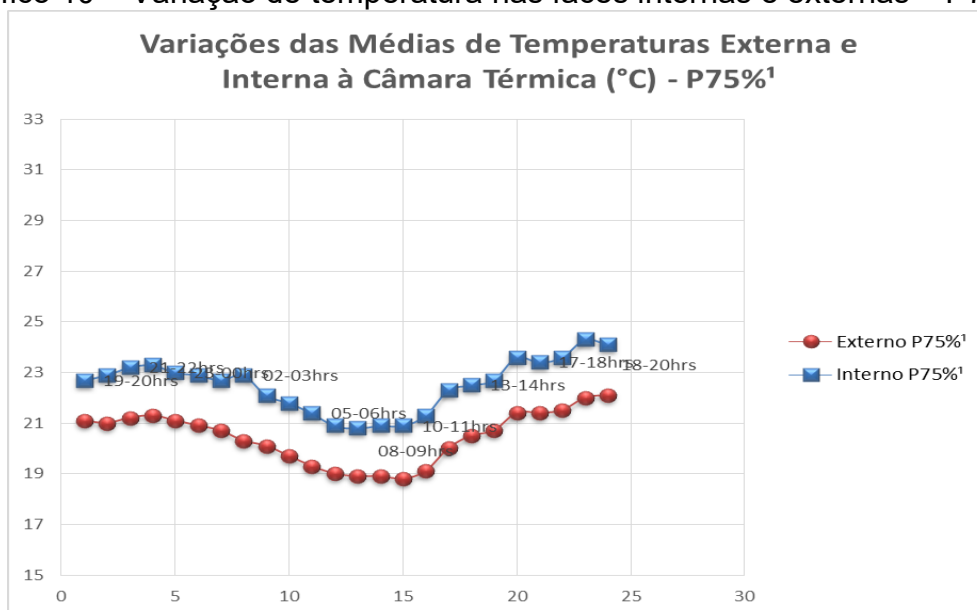


Fonte: Autoria Própria (2017).

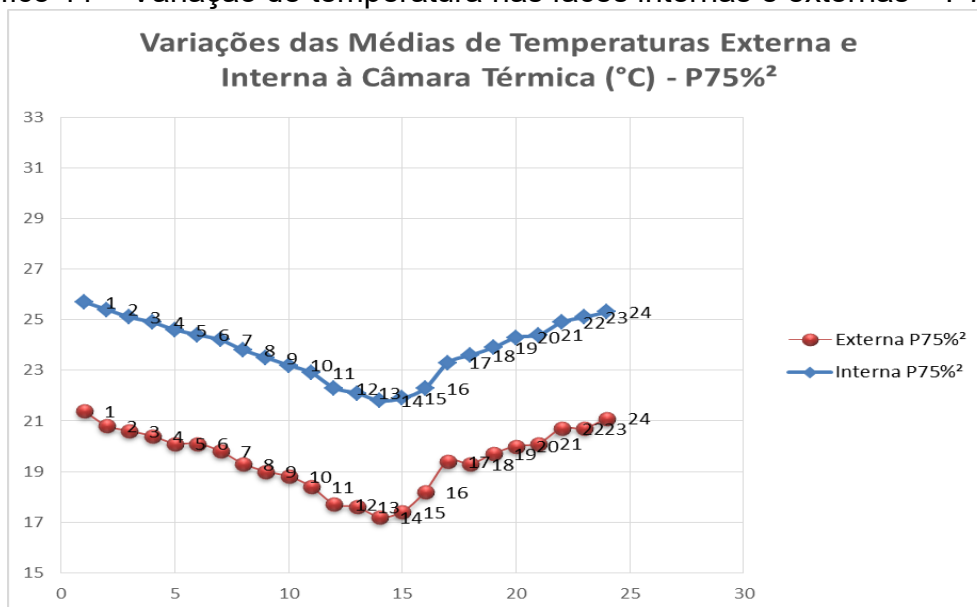
Gráfico 9 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P50%.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico 10 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P75%¹.

Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico 11 – Variação de temperatura nas faces internas e externas – P75%².

Fonte: Autoria Própria (2017).

Através dos gráficos verificamos que durante a medição as linhas de temperaturas internas e externas se mantiveram paralelas, de forma que ocorrem apenas pequenas variações entre as diferenças de temperatura a partir do momento que a temperatura da face interna entra em equilíbrio com a temperatura interna à câmara.

É possível verificar que o momento do equilíbrio térmico varia em função da composição do revestimento externo, sendo mais rápido quanto menor a quantidade de cortiça no traço do revestimento. O equilíbrio da placa PR ocorre nas proximidades do segundo ponto, ou seja, com duas horas do início do ensaio, na placa P10% ocorre no terceiro ponto, na placa P50% aproximadamente no quinto ponto. A variação média da diferença de temperatura das placas é de 9,6 °C e o desvio padrão de 0,87 °C.

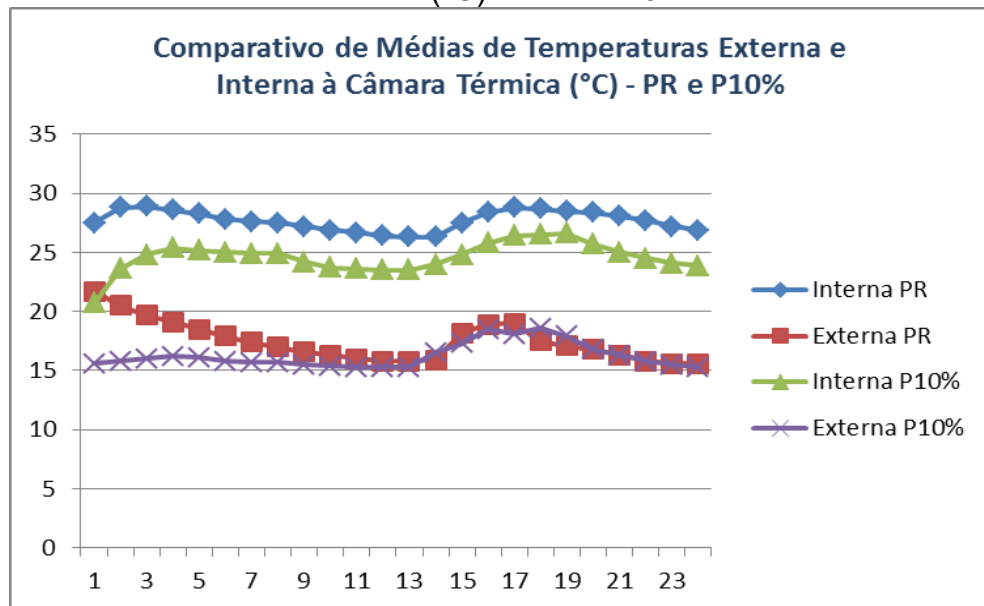
Foi constatada que a média da diferença inicial – primeiras 24 horas, de temperatura entre as faces da placa P75% foi de 2,1 °C, bastante inferior às demais, de forma que se continuou a medição por mais 24 horas, se obtendo o aumento no valor médio da diferença de temperatura para 4,4 °C, verificando que não foi obtido o equilíbrio de temperatura nessa placa durante o período de ensaio.

Com base nessas informações, verifica-se que o tempo para o equilíbrio de temperatura da face interna das placas e a câmara, ocorre proporcionalmente ao aumento na porcentagem de cortiça do revestimento. Devido à impossibilidade de continuar o ensaio da placa P75%, não foi possível determinar qual o tempo necessário para a constância da diferença de temperatura entre as faces da placa, sendo verificado um tempo muito superior ao da placa P50%.

Essa propriedade é um requisito importante na escolha do material para utilização em edificações, visto que de acordo com Oliveira e Ribas (1995) a velocidade de transferência de calor deve ser baixa de modo a proporcionar um maior conforto térmico ao usuário.

Foram confeccionados gráficos comparativos (Gráficos 12, 13 e 14) entre as placas PR e P10% e P50% e P75%, em virtude de as temperaturas ambientais durante seus ensaios serem próximas, conforme quadros no Anexo B.

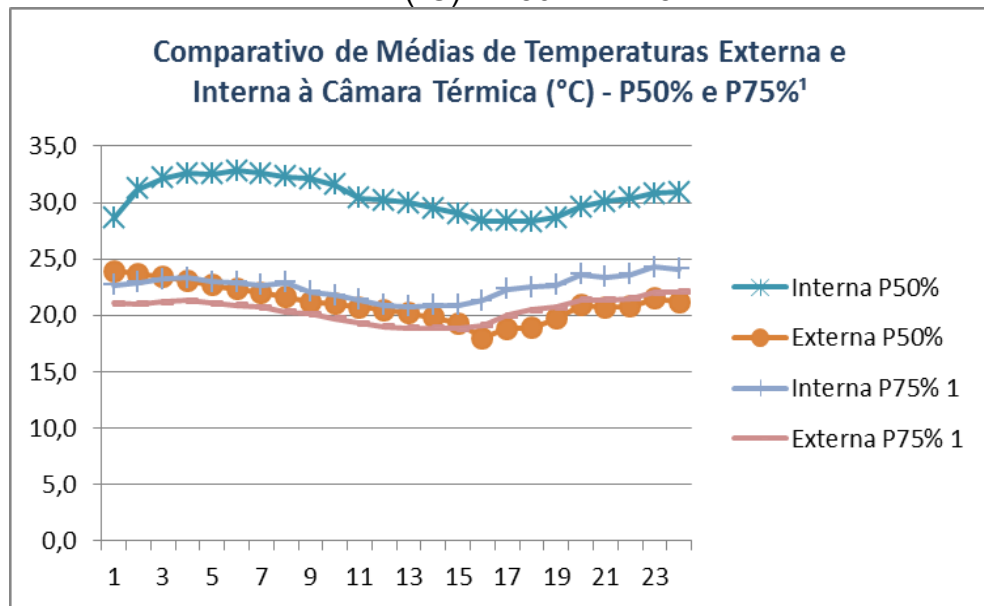
Gráfico 12 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – PR e P10%.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

Foi observado que além da diferença de uma hora entre o tempo de equilíbrio da temperatura interna a câmara e a face externa da placa, nas placas PR e P10%, as temperaturas internas à câmara na placa PR foram em média 3°C superiores aos valores verificados na placa P10%, já as temperaturas internas foram aproximadamente iguais.

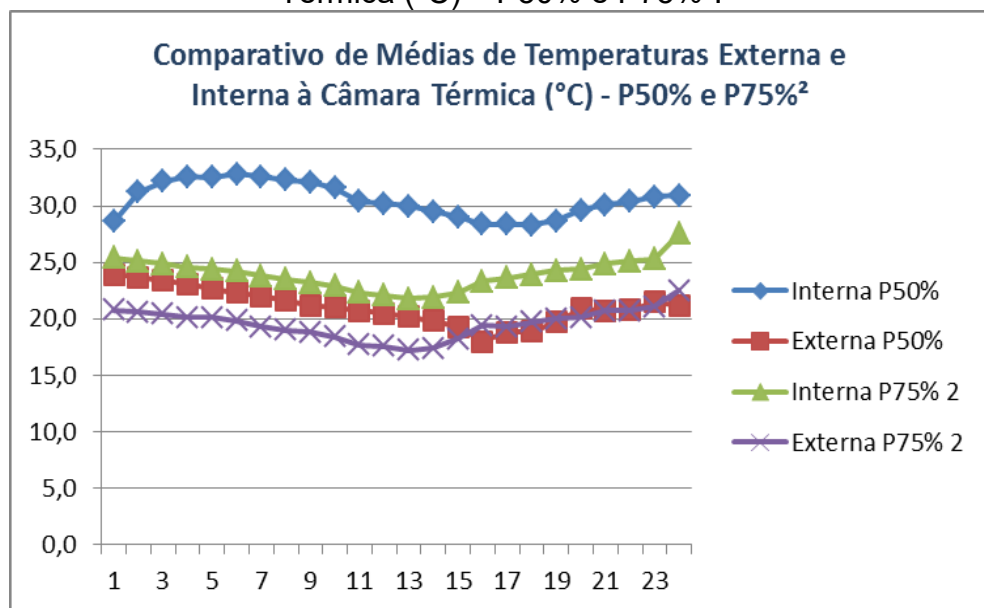
Gráfico 13 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – P50% e P75%¹.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Entre as placas P50% e P75%¹ foi verificada que a temperatura da face interna na placa P50% após o equilíbrio é 8 °C superior ao da placa P75%¹, já as temperaturas internas foram aproximadamente iguais.

Gráfico 14 – Comparativo de Médias de Temperaturas Externa e Interna à Câmara Térmica (°C) – P50% e P75%².



Fonte: Autoria Própria (2017).

Já comparando a placa P50% com a placa P75%² - medição das últimas 24 horas do ensaio da placa P75%, a temperatura da face interna na placa P50% após o equilíbrio é 6,7 °C superior ao da placa P75%², já as temperaturas internas continuam aproximadamente iguais.

Nas comparações realizadas foi verificado que as temperaturas nas faces internas das placas são superiores nos revestimentos de menores proporções de cortiça - comparando placas sob temperaturas ambientais próximas.

6 CONCLUSÃO

No panorama atual da construção civil há uma crescente exigência quanto ao desempenho dos materiais. Diante disso, a cortiça surge como uma alternativa em busca de propriedades isolantes. Através desse estudo foi possível se familiarizar com este material, ainda pouco estudado no país, cujo desempenho foi em muitos resultados satisfatórios.

Na análise dos resultados da argamassa no estado endurecido, os dados de massa específica, velocidade de propagação de onda e módulo de elasticidade dinâmica foram compatíveis ao esperado. De forma que, com o aumento na porcentagem de cortiça, houve a redução da massa específica com consequente redução da velocidade de propagação e módulo de elasticidade dinâmico. A redução desse último resulta numa argamassa flexível a movimentações, de forma a ocorrer menos fissuras e consequente melhoria na proteção do substrato e acabamento superficial.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão seguiram o comportamento esperado quanto à redução da resistência no aumento da porcentagem de cortiça no traço. A redução é significativa a partir da primeira substituição, sendo de 37,7%, chegando aos 54,93% com 75% de substituição por cortiça.

Durante a realização do ensaio de resistência a compressão foi constatada uma variação nas resistências, em função da alteração gradativa do comportamento do material – de frágil para dúctil. De modo que na substituição de 75% por cortiça foi obtida uma resistência 38,6% superior ao valor da argamassa padrão.

Através dos ensaios térmicos, foi verificada na prática a diferença de fluxo de calor que ocorre quando comparamos materiais com diferentes coeficientes de condutividade, e como as propriedades de massa específica interferem nesses resultados.

Foi constatado, através da comparação das placas com temperaturas ambientais parecidas, que as maiores temperaturas foram obtidas nas placas com revestimento de menor proporção de cortiça, além das diferenças observadas no tempo necessário para que o revestimento atingisse o equilíbrio térmico com a temperatura interna a câmara – aumento do tempo com o aumento na proporção de

cortiça. Essa variação foi de duas horas para a placa PR chegando a cinco horas na placa P50%.

Na placa P75% foi evidenciada uma relevante diferença entre as demais. Nela não foi possível determinar o momento do equilíbrio térmico, em vista que as mudanças de temperatura ocorreram de forma muito lenta, verificando variação entre as diferenças de temperatura interna e externa após 48 horas de ensaio.

Os ensaios térmicos realizados, embora a pouca disponibilidade de uma estrutura adequada para a prática, obtiveram resultados importantes, que embora não esclareçam completamente o comportamento adquirido pela argamassa, abre uma visão acerca do uso da cortiça na argamassa e dos estudos ainda necessários. Um aspecto importante a se aprofundar futuramente é o comportamento mecânico e térmico do revestimento com substituição a partir de 75%, onde os resultados obtiveram um caráter anômalo.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, José Luiz Mesquita dos Santos Lima. **Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios**. 2000. 90 p. Dissertação. (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2010.

ALVAREZ, José; SEQUEIRA, Cristina; COSTA, Marta. **Ensino a retirar do passado histórico das argamassas**. Artigo Científico. Portugal, 2005.

ANTUNES, Giselle Reis. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos**. 2010. 178 p. Dissertação. (Mestrado em estruturas e construção civil) – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2010.

ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS. **Materiais de Construção**. Material Didático [s.d]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 9935: Agregados -Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 8802: Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7251: Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.

AZEREDO, H. A. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. 2004.

BAUER, E. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades**. 1. ed.B Brasília: LEM-UnB – SINDUSCON/DF. 2005

BOABAID NETO, Carlos. **Transferência de Calor**. Material Didático. Área Técnica de Refrigeração e Condicionamento de Ar. Instituto Federal de Santa Catarina, São José/SC, 2010.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: Material de Construção Civil e Princípios de Ciências dos Materiais. 1º Edição, Volume 2. São Paulo. Ed. Geraldo C. Isaia, 2007.

CASA E CONSTRUÇÃO, **Como fazer um chapisco no muro?** Sítio: <http://www.cecorienta.com.br/perguntas/como-fazer-chapisco-no-muro/371>. Acessado em: 07/12/2016.

COSTA, Ada Catarina Soares de Sena. **Utilização de aditivos à base de cacto em argamassa de cimento portland**. 2014. 52 p. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró/RN, 2014.

DATAPIXEL, Granulado de Cortiça 052. Sítio: <http://datapixel.pt/granulado-de-cortica-05-a-25mm-kg>. Acessado em: 07/12/2016.

FERREIRA, Ana Sofia; BRITO, Jorge de; BRANCO, Fernando. **Desempenho relativo das argamassas de argila expandida na execução de camadas de forma**. Artigo Científico. IST. Portugal. [s.d]

FRIEDRICH, Adriana Flores. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolamento sonora de paredes de alvenaria**. 2010. 117 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2010.

GONÇALVES, Paulo Jerónimo; FRADE, Dina Filipe; BRITES, Joana. **Argamassas Térmicas: Uma solução no cumprimento do RCCTE**. Artigo Científico. Secil Martingança, S.A., Portugal. [s.d].

LEAL, Márcio Manuel Rodrigues. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado**. 2012. 144 p. Dissertação. (Mestre em construção civil) – Instituto Politécnico de Setúbal – Portugal, 2012.

LOPES, Sthefanny Talita Cabral da Silva. **Estudo preliminar (estado fresco) sobre a formulação de uma argamassa ecológica com aproveitamento do resíduo do pó da britagem de rocha granítica**. 2015. 41 p. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2015.

MARTINS, Miguel. **Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça**. 2010. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MEIA COLHER, **Aprenda como fazer Chapisco, Emboço e Reboco**. Sítio: <http://www.meiacolher.com/2016/04/aprenda-como-fazer-chapisco-emboco-e.html>. Acessado em: 07/12/2016.

MONTEIRO, David Manoel Pereira. **Avárias em argamassas – Causas, prevenção e reparação**. 2008. 59 p. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Fernando Pessoa, Porto – Portugal, 2008.

MONTEIRO, José M. et al. **Argamassas com Desempenho Térmico Melhorado**. 2004. Artigo Científico. Portugal, 2004.

OLIVEIRA, Tadeu Almeida de; RIBAS; Otto Toledo. **Sistemas de Controle das Condições Ambientais de Conforto**. 92 p. Ministério da Saúde. Secretaria de

Assistência à Saúde. Série Saúde & Tecnologia — Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde — Sistemas de Controle das Condições Ambientais de Conforto. Brasília, 1995.

PETRUCCI, Eládio G R. **Materiais de construção**. 4ª edição. Porto Alegre- RS: Editora Globo, 1979. 435p.

ROCHA, J. C.; XAVIER, L. L. **Materiais de Construção**. Material didático. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2000.

SILVA, Juliana S. G.; FORTES, Adriano S. **Fissuração nas argamassas de revestimento em fachadas**. 13p [s.d]

SILVA, Valdeir Tavares da. **Estudo da viabilidade de utilização do pó de pedra em argamassa de revestimento**. 2014. 45 p. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi Árido, Angicos/RN, 2014.

SILVESTRINI, Jorge Hugo. **Transferência de Calor**. Material Didático. Laboratório de Simulação de Escoamentos Turbulentos – Faculdade de Engenharia. Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2015.

SOMMELIER WINE, **Sobreiro, a árvore da cortiça**. Sítio: <http://www.sommeliervine.com.br/2016/09/21/sobreiro-a-arvore-da-cortica/>. Acessado em: 08/12/2016.

SOUZA, Armindo José Coelho de. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. 2010. 83 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2010.

TÉCHNE. **Concreto Auto Adensável** – Características e Aplicações. PINI. Sítio: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/135/concreto-auto-adensavel-caracteristicas-e-aplicacao-285721-1.aspx>. Acessado em: 07/12/2016

VEIGA, Maria do Rosário; MALANHO, Sofia. **Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes**. Artigo Científico. Portugal, [s.d].

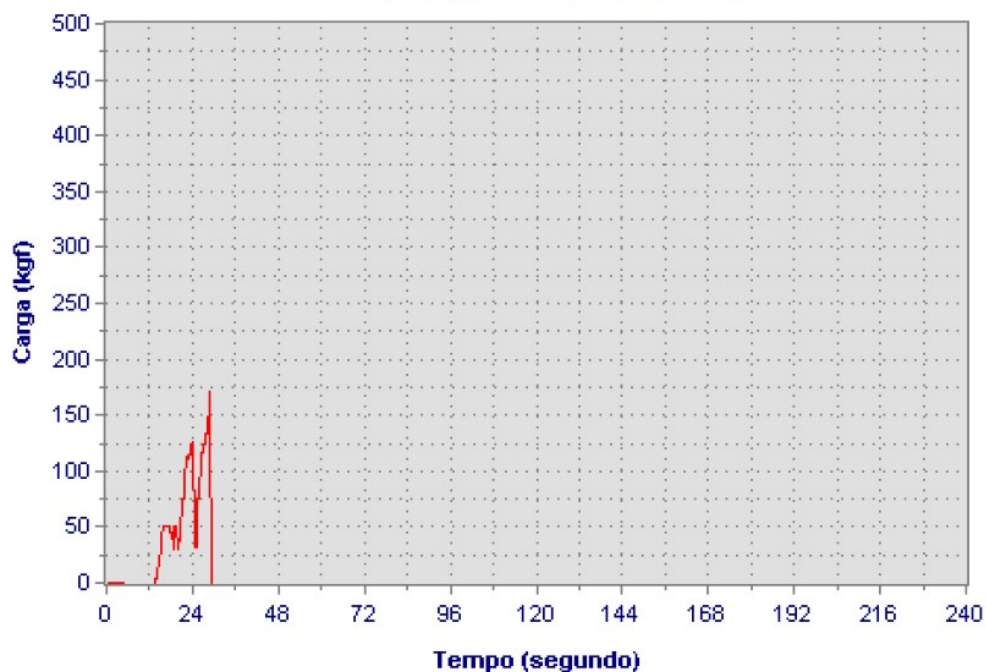
VIEIRA, Júlia. **Interação Cimento - Superplastificante – Avaliação da estabilidade do comportamento**. 2010. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

WESTPHAL, Fernando Simon; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Isolantes Térmicos e Acústicos para Construção Civil**. Material Didático. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2012.

ANEXO A

Gráfico – Resistência a tração por flexão – PR 01.

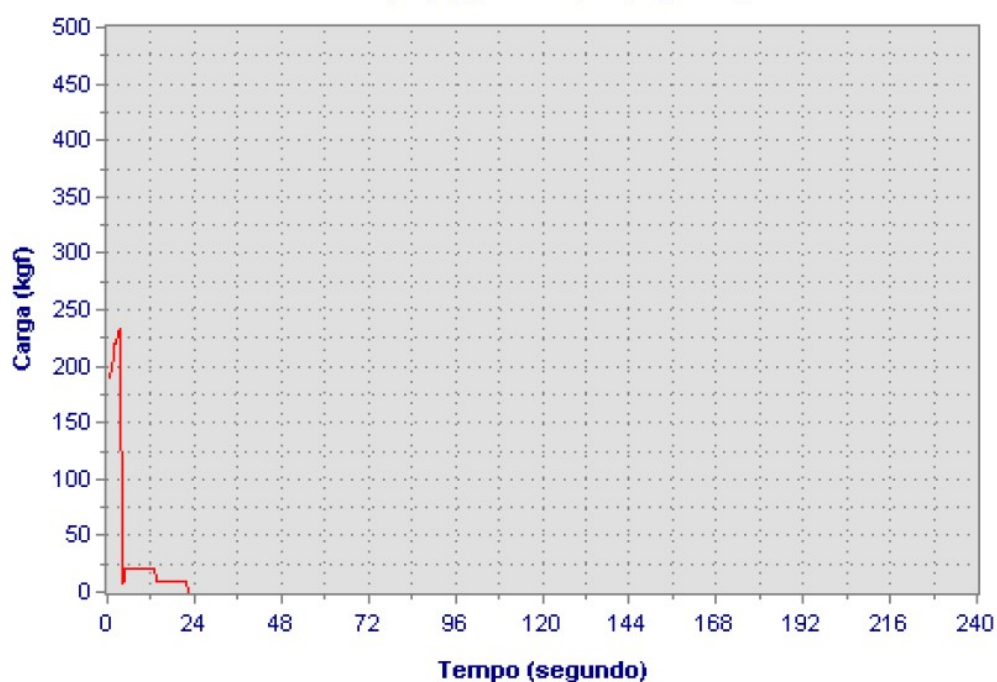
Carga (kgf) x Tempo (segundo)



Fonte: Autoria Própria (2017).

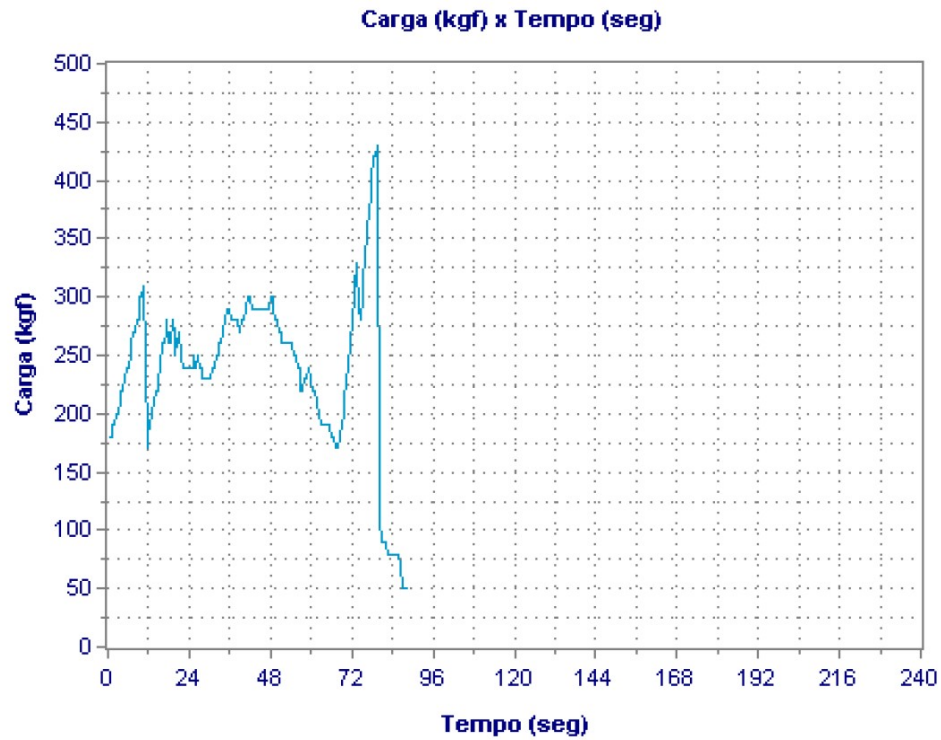
Gráfico – Resistência a tração por flexão – PR 02.

Carga (kgf) x Tempo (segundo)



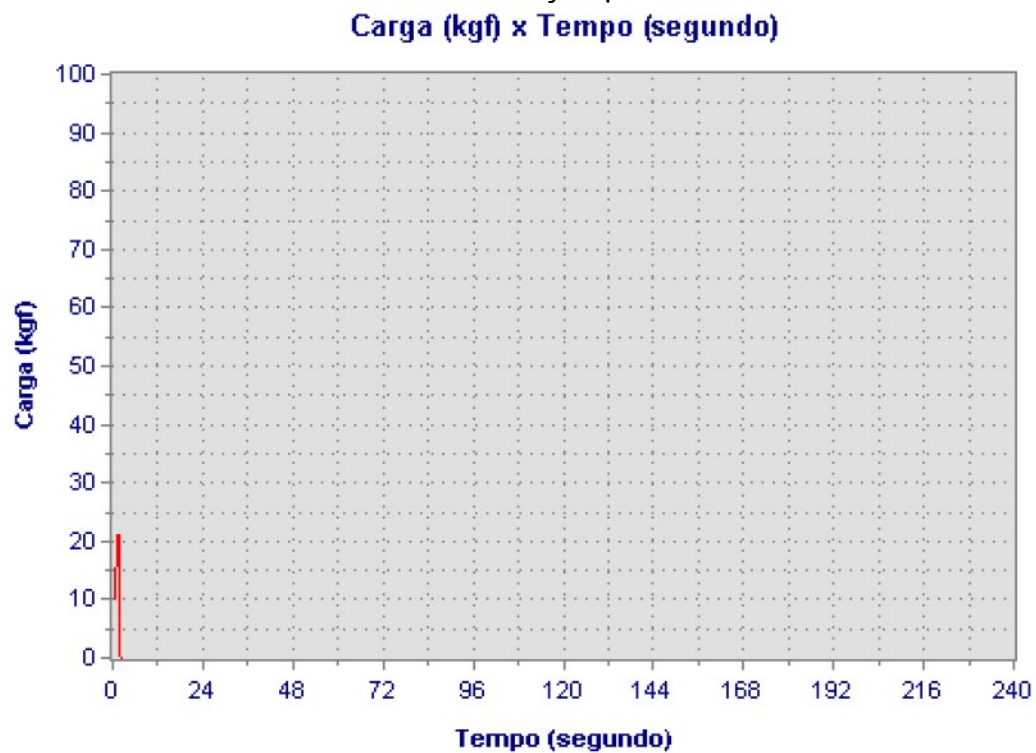
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão – PR 03.



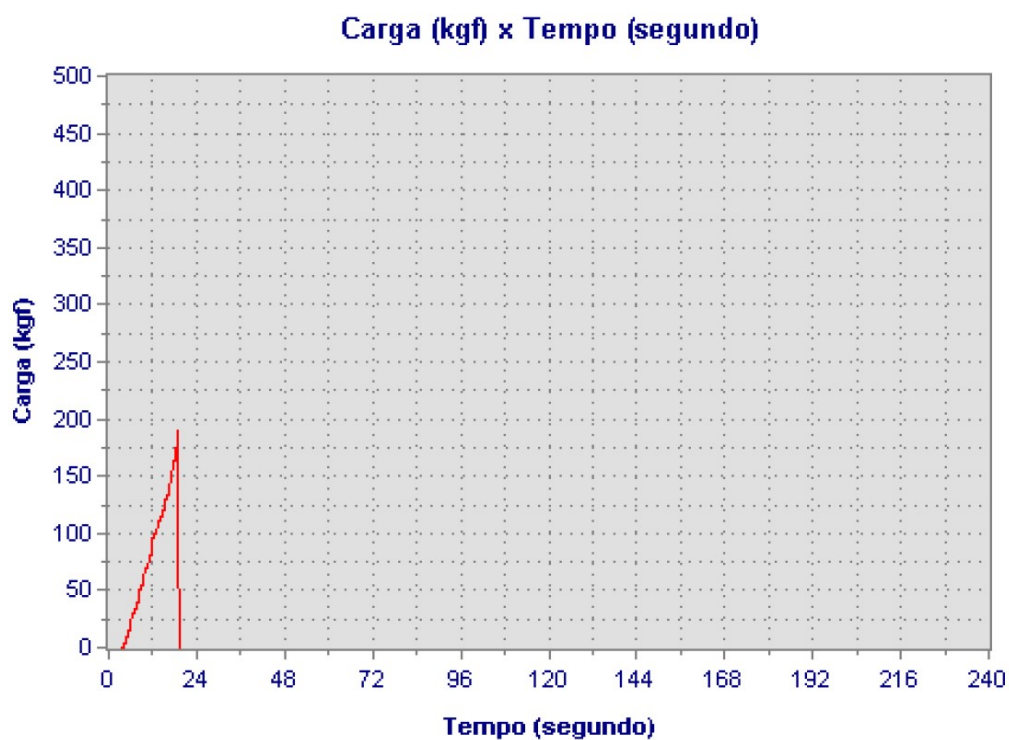
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão – P10% 1.



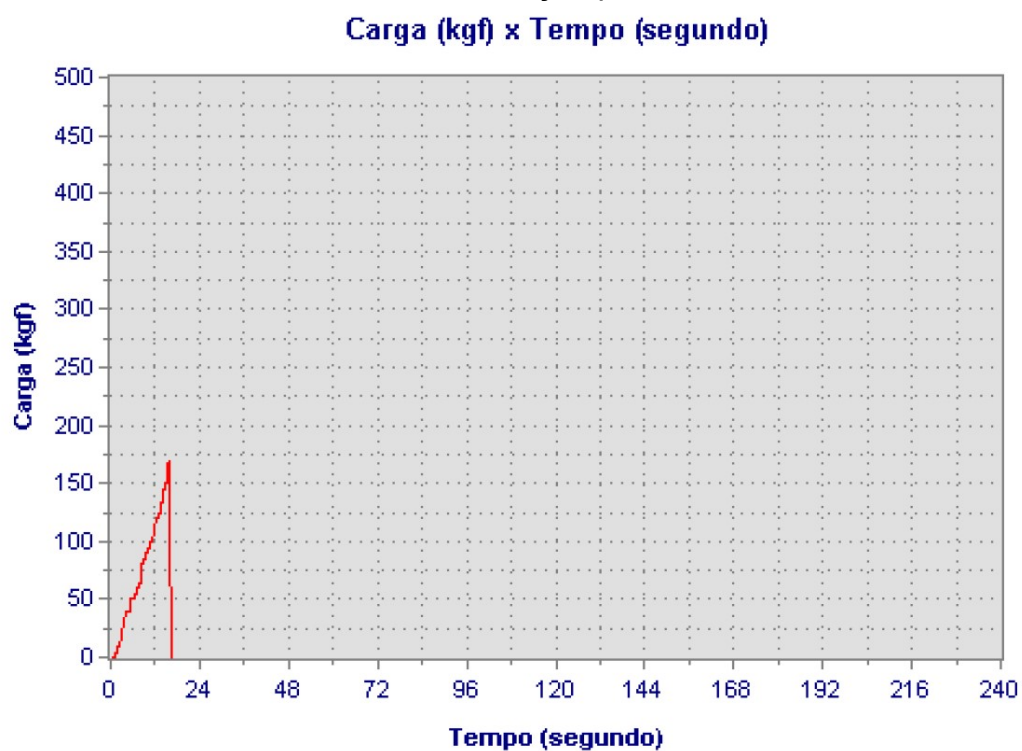
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão – P10% 2.



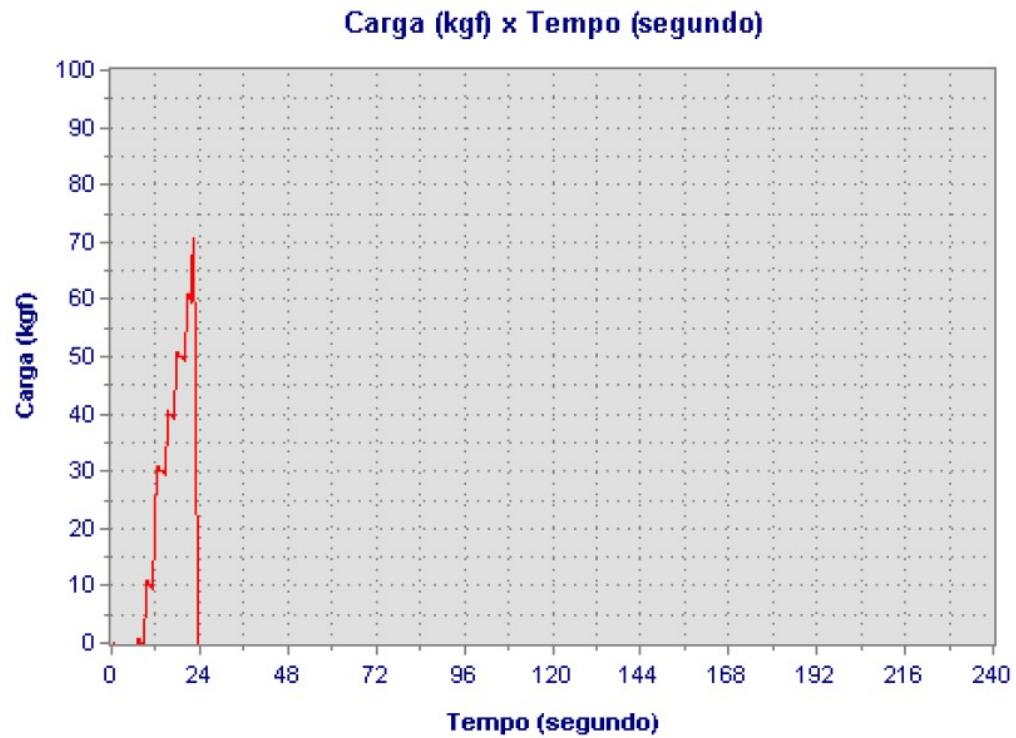
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P10% 3.



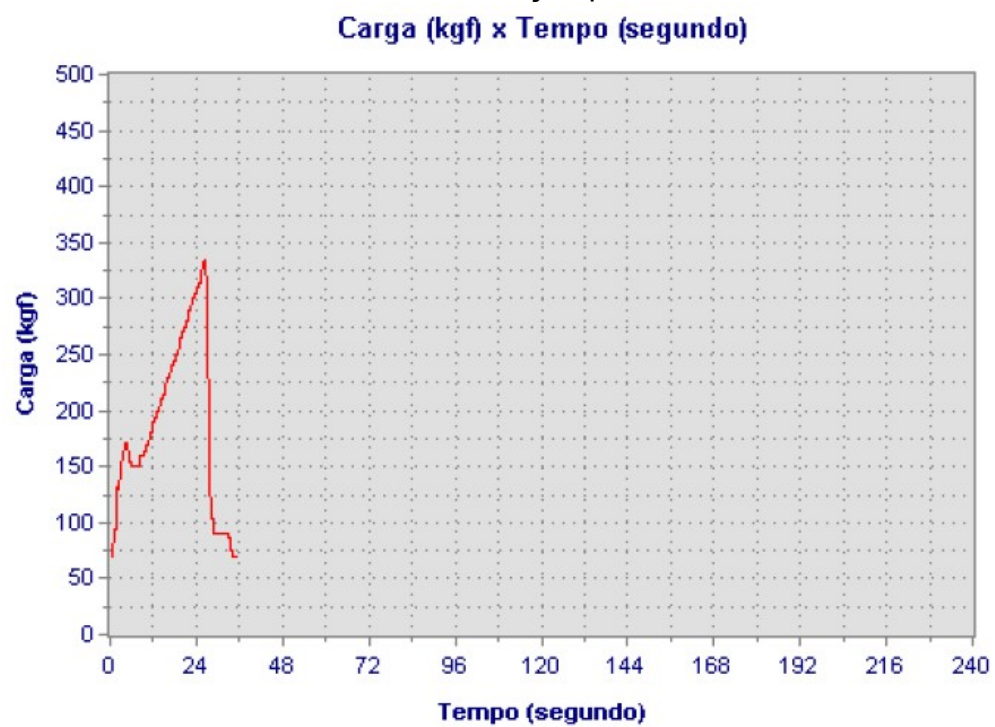
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P50% 1.



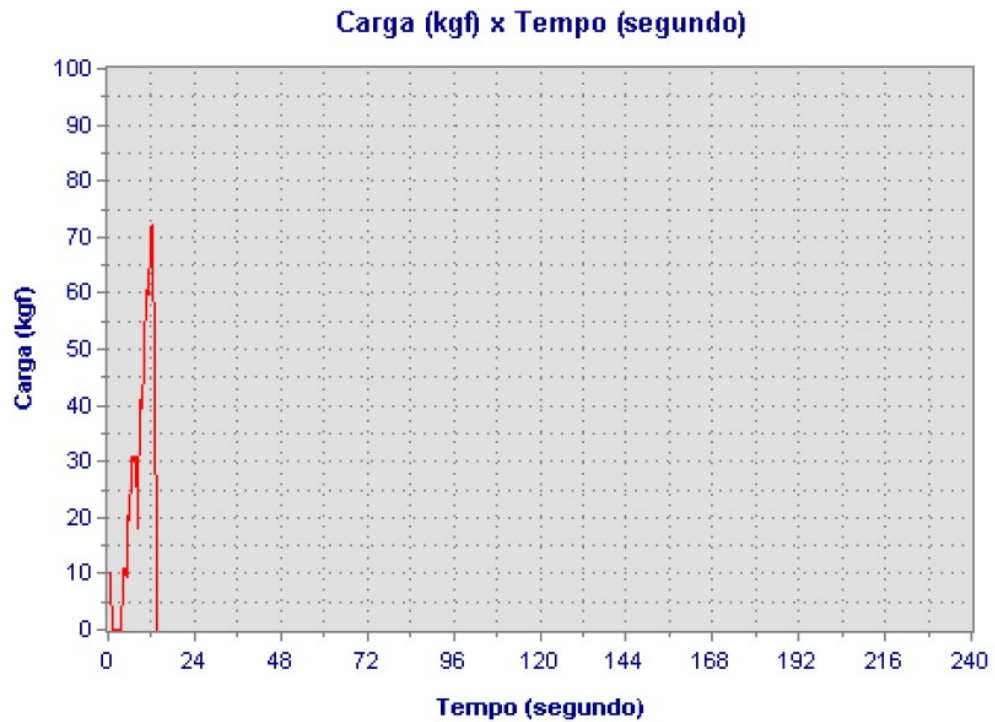
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P50% 3.



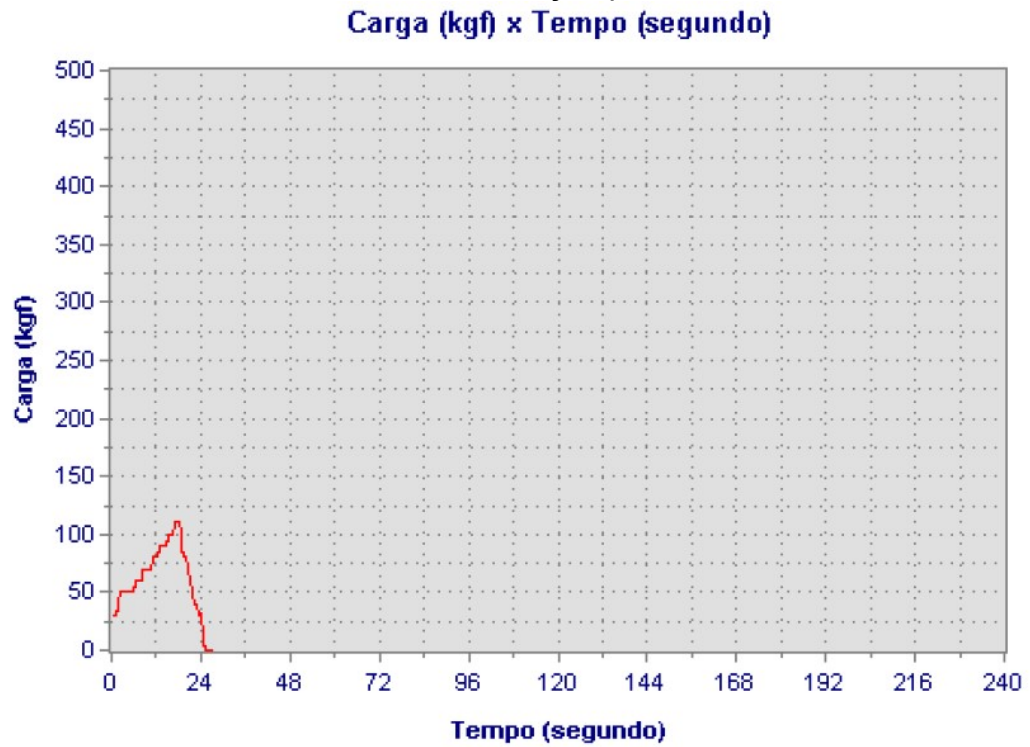
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P75% 1.



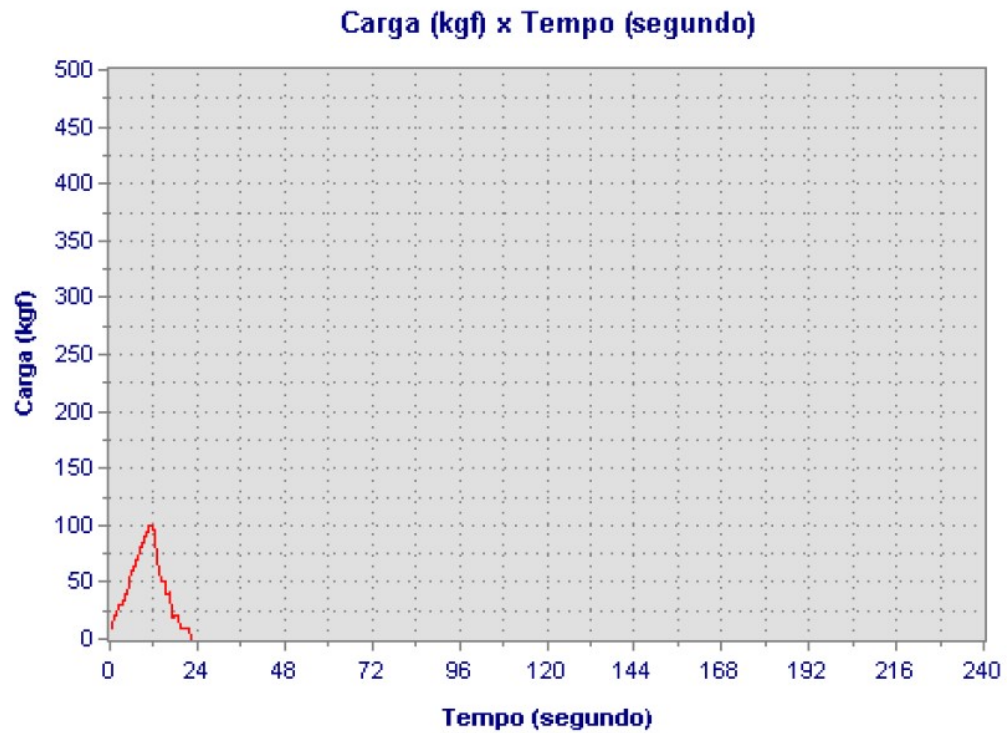
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P75% 2.



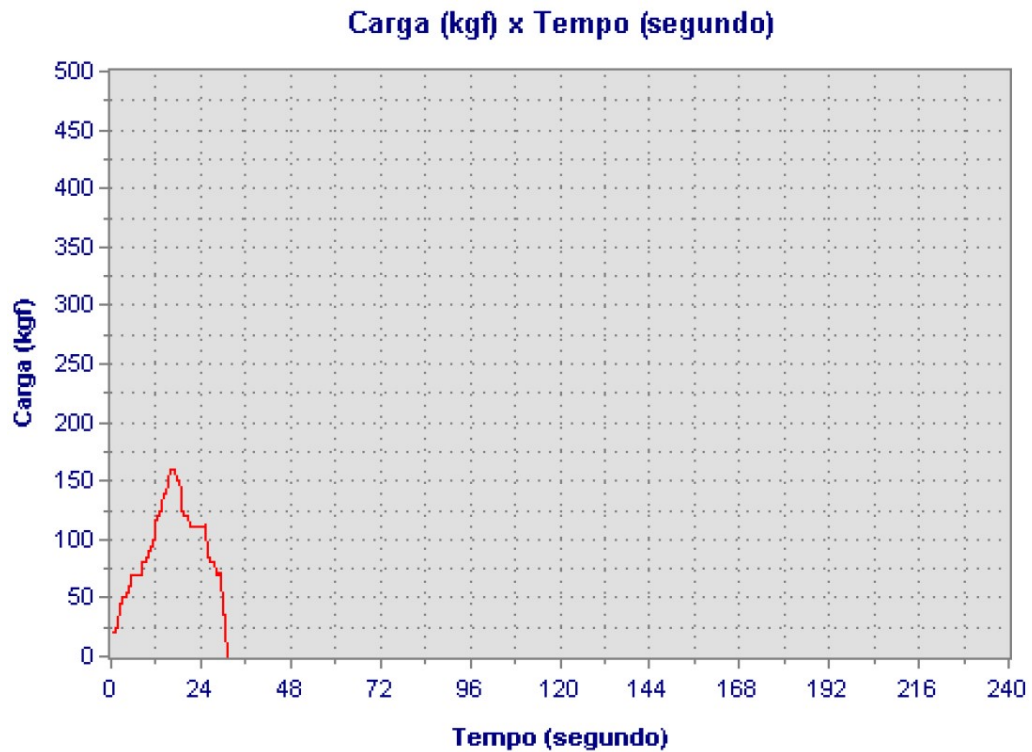
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P75% 2.



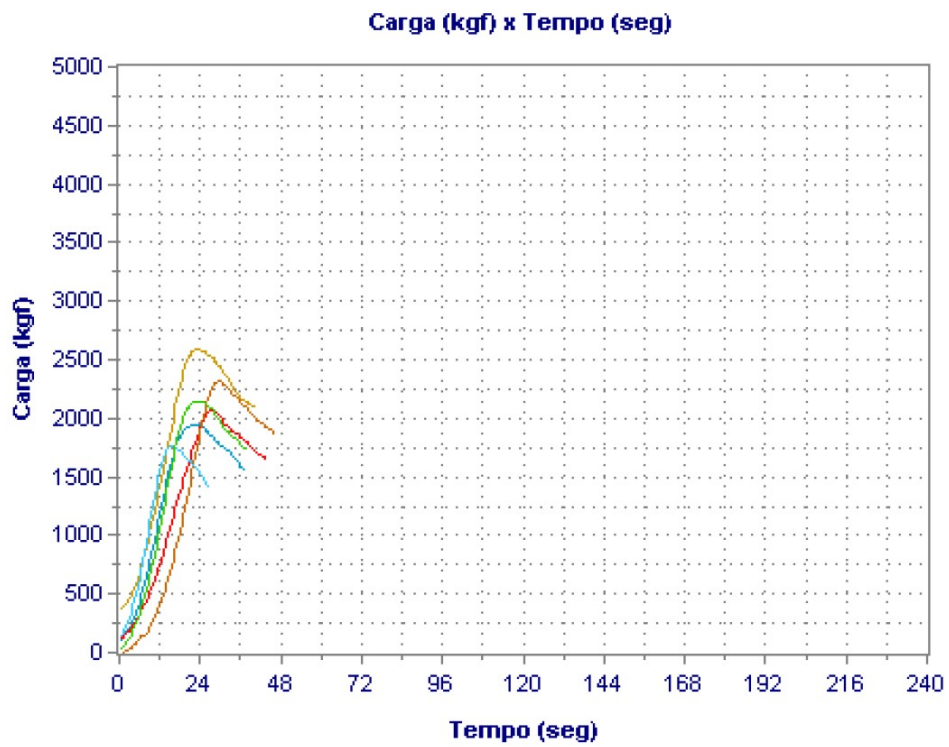
Fonte: Autoria Própria (2017)

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P75% 3.



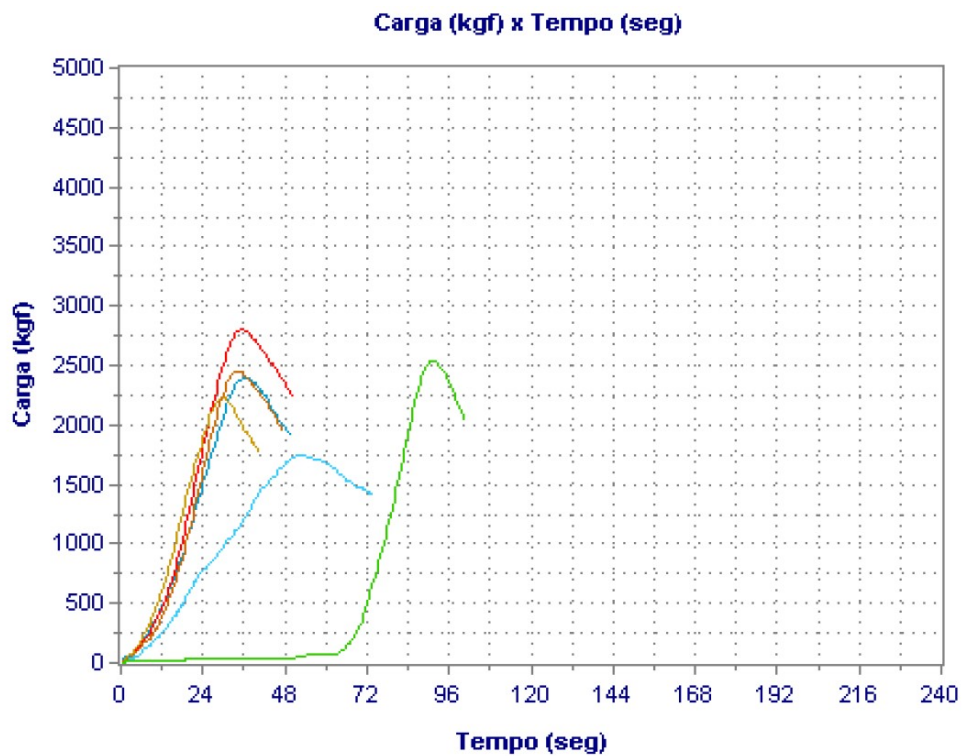
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a compressão – PR.



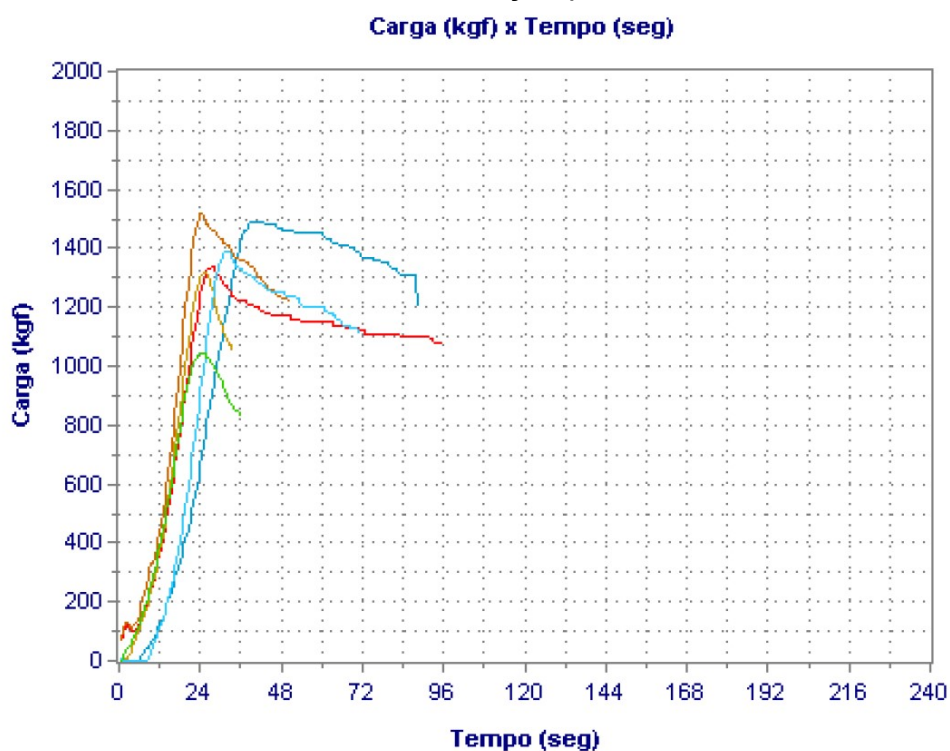
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P10%.



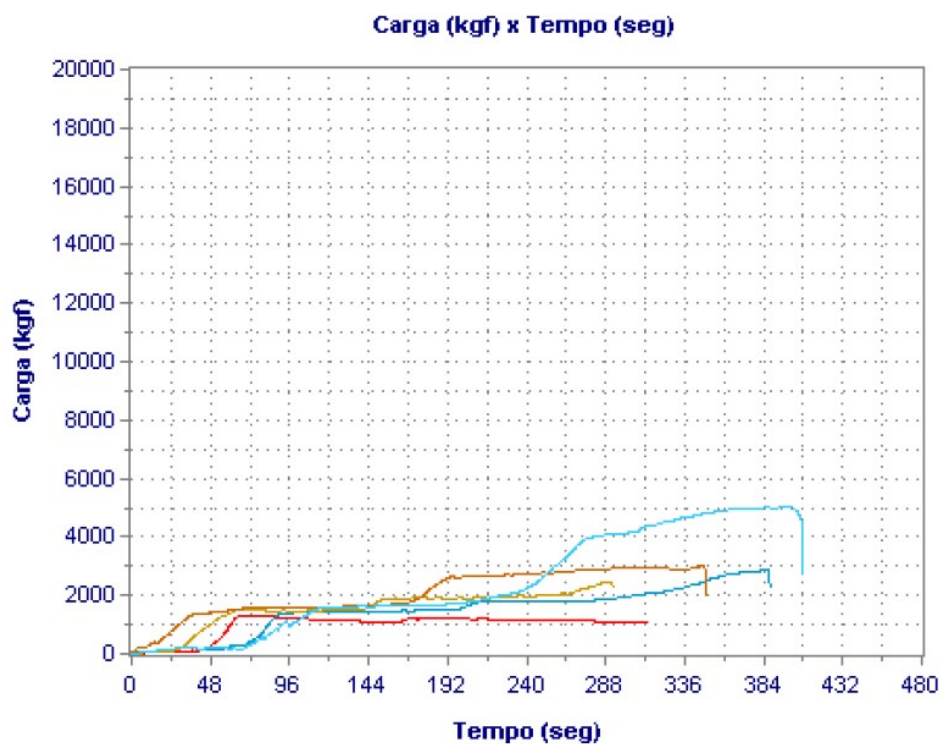
Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P50%.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Gráfico – Resistência a tração por flexão –P75%.



Fonte: Autoria Própria (2017).

ANEXO B

Quadro – Médias de temperaturas internas e externas horárias e diferença entre elas – PR.

Média de Leituras - PR			
Hora	Médias Internas (°C)	Médias Externas (°C)	Diferença entre leituras (°C)
1	27,5	21,7	5,8
2	28,8	20,5	8,3
3	28,9	19,7	9,2
4	28,6	19,1	9,5
5	28,3	18,5	9,8
6	27,8	17,9	9,9
7	27,6	17,4	10,2
8	27,5	17	10,5
9	27,2	16,6	10,6
10	26,9	16,3	10,6
11	26,7	16	10,7
12	26,4	15,8	10,6
13	26,3	15,8	10,5
14	26,3	15,9	10,4
15	27,5	18,2	9,3
16	28,4	18,9	9,5
17	28,8	19	9,8
18	28,7	17,5	11,2
19	28,5	17,1	11,4
20	28,4	16,8	11,6
21	28,1	16,3	11,8
22	27,7	15,8	11,9
23	27,2	15,6	11,6
24	26,9	15,6	11,3

*Média do ambiente 15,3 °C

Fonte: Autoria Própria (2017).

Quadro – Médias de temperaturas internas e externas horárias e diferença entre elas – P10%.

Média de Leituras – P10%			
Hora	Médias Internas (°C)	Médias Externas (°C)	Diferença entre leituras (°C)
1	20,7	15,6	5,1
2	23,6	15,8	7,8
3	24,8	16	8,8
4	25,4	16,2	9,2
5	25,2	16,1	9,1
6	25	15,8	9,2
7	24,9	15,7	9,2
8	24,9	15,7	9,2
9	24,2	15,5	8,7
10	23,7	15,4	8,3
11	23,6	15,3	8,3
12	23,5	15,3	8,2
13	23,5	15,3	8,2
14	24	16,5	7,5
15	24,8	17,3	7,5
16	25,8	18,5	7,3
17	26,4	18,1	8,3
18	26,5	18,6	7,9
19	26,6	17,9	8,7
20	25,7	16,8	8,9
21	25	16,3	8,7
22	24,5	15,8	8,7
23	24,1	15,5	8,6
24	23,9	15,3	8,6

*Média do ambiente 13,4 °C

Fonte: Autoria Própria (2017).

Quadro – Médias de temperaturas internas e externas horárias e diferença entre elas – P50%.

Média de Leituras – P50%			
Hora	Médias Internas (°C)	Médias Externas (°C)	Diferença entre leituras (°C)
1	28,6	23,9	4,7
2	31,2	23,7	7,5
3	32,2	23,4*	8,8
4	32,6	23,1	9,5
5	32,5	22,7	9,8
6	32,8	22,3	10,5
7	32,6	22	10,6
8	32,3	21,6	10,7
9	32,1	21,2	10,9
10	31,6	21	10,6
11	30,4	20,7	9,7
12	30,2	20,5	9,7
13	30,0	20,2	9,8
14	29,5	19,8	9,7
15	29,0	19,3	9,7
16	28,4	18	10,4
17	28,4	18,8	9,6
18	28,3	18,9	9,4
19	28,7	19,7	9,0
20	29,6	20,9	8,7
21	30,1	20,7	9,4
22	30,4	20,8	9,6
23	30,8	21,5	9,3
24	30,9	21,2	9,7

*Média do ambiente 19,5 °C

Fonte: Autoria Própria (2017).

Quadro – Médias de temperaturas internas e externas horárias e diferença entre elas – P75%¹.

Média de Leituras – P75% ¹			
Hora	Médias Internas (°C)	Médias Externas (°C)	Diferença entre leituras (°C)
1	22,7	21,1	1,6
2	22,9	21	1,9
3	23,2	21,2	2,0
4	23,3	21,3	2,0
5	23,0	21,1	1,9
6	22,9	20,9	2,0
7	22,7	20,7	2,0
8	22,9	20,3	2,6
9	22,1	20,1	2,0
10	21,8	19,7	2,1
11	21,4	19,3	2,1
12	20,9	19	1,9
13	20,8	18,9	1,9
14	20,9	18,9	2,0
15	20,9	18,8	2,1
16	21,3	19,1	2,2
17	22,3	20	2,3
18	22,5	20,5	2,0
19	22,7	20,7	2,0
20	23,6	21,4	2,2
21	23,4	21,4	2,0
22	23,6	21,5	2,1
23	24,3	22	2,3
24	24,1	22,1	2,0

*Média do ambiente 18,4 °C

Fonte: Autoria Própria (2017).

Quadro – Médias de temperaturas internas e externas horárias e diferença entre elas – P75%².

Média de Leituras – P75% ²			
Hora	Médias Internas (°C)	Médias Externas (°C)	Diferença entre leituras (°C)
1	25,7	21,4	4,3
2	25,4	20,8	4,6
3	25,1	20,6	4,5
4	24,9	20,4	4,5
5	24,6	20,1	4,5
6	24,4	20,1	4,3
7	24,2	19,8	4,4
8	23,8	19,3	4,5
9	23,5	19	4,5
10	23,2	18,8	4,4
11	22,9	18,4	4,5
12	22,3	17,7	4,6
13	22,1	17,6	4,5
14	21,8	17,2	4,6
15	21,9	17,4	4,5
16	22,3	18,2	4,1
17	23,3	19,4	3,9
18	23,6	19,3	4,3
19	23,9	19,7	4,2
20	24,3	20	4,3
21	24,4	20,1	4,3
22	24,9	20,7	4,2
23	25,1	20,7	4,4
24	25,3	21,1	4,2

*Média do ambiente 18,5 °C

Fonte: Autoria Própria (2017).