

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

EVA MARIANA SOUZA GOMES

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E DE RESISTÊNCIA
AO FOGO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADITIVADAS COM
ARGILA EXPANDIDA**

Delmiro Gouveia

2020

EVA MARIANA SOUZA GOMES

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E DE RESISTÊNCIA
AO FOGO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADITIVADAS COM
ARGILA EXPANDIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos
Coorientador: Prof. Msc. Alverlando Silva Ricardo

Delmiro Gouveia

2020

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

Bibliotecária responsável: Sâmela Rouse de Brito Silva CRB-4/22063

G633a Gomes, Eva Mariana Souza

Análise do desempenho térmico, acústico e de resistência ao fogo em argamassas de revestimentos aditivadas com argila expandida / Eva Mariana Souza Gomes. - 2020.

97 f. : il.

Orientação: Rogério de Jesus Santos.

Coorientação: Alverlando Silva Ricardo.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2020.

1. Argamassas de revestimento. 2. Argila expandida. 3. Isolamento Térmico. 4. Isolamento acústico. 5. Resistência ao fogo. I. Título.

CDU: 624.014.2

Folha de Aprovação

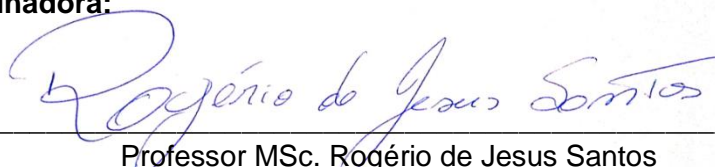
EVA MARIANA SOUZA GOMES

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADITIVADAS COM ARGILA EXPANDIDA

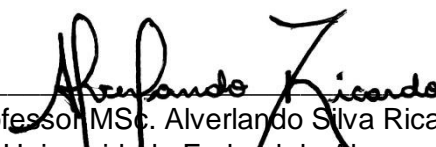
Trabalho de Conclusão de Curso
submetido a Banca Examinadora do
Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas –
Campus Sertão e aprovado em 18 de
dezembro de 2020.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos
Coorientador: Prof. Msc. Alverlando Silva Ricardo

Banca Examinadora:



Professor MSc. Rogério de Jesus Santos
Universidade Federal de Alagoas
Orientador



Professor MSc. Alverlando Silva Ricardo
Universidade Federal de Alagoas
Coorientador



MSc. Andréa Quaranta Barbosa
Engenheira Civil - Avaliadora Externa

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim” (Nikola Tesla)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados durante a minha formação, principalmente ao longo da realização deste trabalho;

Aos meus pais, principalmente minha mãe Neide, por todo o amor, dedicação, por tudo que foi confiado a mim e por não medirem esforços para que eu pudesse ter oportunidades na vida.

À minha irmã Paula, meu sobrinho Pedrinho, meu cunhado Wilker, minha tia Regina e prima Ana Clara, por todo o apoio, respeito, amizade e incentivo a mim prestados.

À Joana Carolina, pelo exemplo de pessoa, por toda determinação, pelo companheirismo, pela cumplicidade e pelo apoio em todos os momentos.

As minhas amigas Claudenise e Rayanne, pelas dicas, conselhos, puxões de orelha, risos, noites em claro, ensinamentos e por todo incentivo.

Ao meu amigo Geovânio Souza, por todo o apoio, conselhos, conversas, amizade e incentivo.

Aos meus amigos Fabíola, Lucas Gomes, Yago, Danilo, Priscila e Verônica, que estiveram ao meu lado durante essa caminhada, pela amizade e pelo companheirismo em frente aos obstáculos.

À Empresa Junior I9 Engenharia, por todas as oportunidades, pelo impacto que causaram na minha vida e por todas as experiências sensacionais que passei durante o período que fiquei na empresa.

À instituição de ensino UFAL, pelo acolhimento durante esses anos. Ao Laboratório de Materiais, ao qual me deu todo suporte para realização de tantas pesquisas, e proporcionou a realização desse trabalho, e ao amigo Arnon Berg, por toda paciência, apoio e dedicação doados durante o presente trabalho;

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, mestre e grande amigo Rogério de Jesus, por todo o apoio prestado durante nosso tempo de convivência, pelas conversas, pelo respeito e pela disponibilidade.

Ao meu coorientador Alverlando Ricardo, por todas as contribuições, ensinamentos e paciência.

E por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A construção civil passa por um processo de atualização em suas tecnologias, meios construtivos e mão-de-obra, afim de propiciar conforto, bem-estar e segurança para toda a população. Inovações tecnológicas assumem, cada vez mais, um papel fundamental nesse avanço, trabalhando diretamente com novas formulações e adições de materiais. Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo estudar a influência da adição da argila expandida laminada nas argamassas de revestimento, atuando em propriedades térmicas, acústicas e de resistência sob altas temperaturas. A metodologia desenvolvida dividiu-se em três partes, a primeira delas constituiu-se em analisar o comportamento térmico da argamassa de revestimento (revestimento convencional, com adição de 30% e 50% de argila expandida) aplicadas a paredes de alvenaria; na parte dois foi verificada a redução sonora ocasionada pela adição da argila no revestimento isolante em caixas de madeira; na terceira parte foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos, onde foram submetidos a cinco faixas de temperatura: ambiente; 250°C, 500°C, 750°C e 1000°C; posteriormente foram resfriados de forma brusca e testados quanto a resistência a compressão. Diante do estudo realizado foram obtidas reduções muito significativas em relação aos ensaios térmicos e acústicos, com reduções de 4dB e aproximadamente 3,8°C, respectivamente; para os ensaios submetidos a altas temperaturas, obteve-se um aumento na resistência dos corpos de prova, na temperatura de 750°C. Desta forma, ficou evidente que a adição da argila expandida promoveu melhoria significativa nos aspectos analisados, dentro da porcentagem escolhidas, reafirmando a excelência do material aditivado.

Palavra-chave: Argamassa de Revestimento; Argila Expandida; Isolamento Térmico; Isolamento Acústico; Resistência ao Fogo.

ABSTRACT

The civil construction goes through a process of updating technologies, construction methods and manpower, in order to provide comfort, well-being and security for the whole population. Technological innovations increasingly assume a fundamental role in this advance, working directly with new formulations and additions of materials. In this context, the present work aims to study the influence of the addition of laminated expanded clay to the coating mortars, acting in thermal, acoustic and resistance properties under high temperatures. The methodology developed was divided into three parts, the first consisted in analyzing the thermal behavior of the coating mortar (conventional coating, with addition of 30% and 50% expanded clay) applied to masonry walls; in part two, the sound reduction caused by the addition of clay to the insulating coating in wooden boxes was verified; in the third part, 15 cylindrical specimens were molded and submitted to five temperature ranges: ambient; 250 ° C, 500 ° C, 750 ° C and 1000 ° C; later they were abruptly cooled and tested for compressive strength. In view of the study carried out, significant reductions were obtained in relation to thermal and acoustic tests, with reductions of 4dB and approximately 3.8°C, respectively; for the tests submitted to high temperatures, an increase in the resistance of the test bodies was obtained, at a temperature of 750°C.

Keyword: Coating Mortar; Expanded Clay; Thermal insulation; Sound insulation; Fire resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Revestimento de argamassa e acabamento decorativo.....	19
Figura 2 - Camadas constituintes do revestimento de argamassa.....	20
Figura 3 - Teste de aderência em argamassas.....	22
Figura 4 - Pedra pome natural.....	32
Figura 5 - Esquema da produção do Poliestireno expandido.....	32
Figura 6 - Processo de produção da Argila expandida.....	33
Figura 7 - Forno rotativo.....	34
Figura 8 - Sinterização Contínua.....	34
Figura 9 - Granulometria da argila expandida.....	35
Figura 10 - Propagação do som em parede de alvenaria.....	37
Figura 11 - Condução Térmica.....	41
Figura 12 - Convecção Térmica.....	41
Figura 13 - Radiação Térmica.....	42
Figura 14 - Amostra da argila expandida de 2,5mm.....	52
Figura 15 - Disposição das paredes de alvenaria.....	57
Figura 16 - Aplicação da argamassa e sarrafeamento das paredes..	57
Figura 17 - Paredes finalizadas.....	58
Figura 18 - Demarcação de Pontos.....	59
Figura 19 - Caixas com aplicação de pregos em suas paredes.....	60
Figura 20 - Sarrafeamento e finalização das caixas.....	61
Figura 21 - Posicionamento da fonte de ruído.....	61
Figura 22 - Caixa fechada e decibelímetro coletando os ruídos.....	62
Figura 23 - Molde cilíndrico utilizado na moldagem dos CP's.....	63
Figura 24 - Preenchimento total do molde cilíndrico.....	64
Figura 25 - Corpos de Prova submetidos a cura.....	64
Figura 26 - Mufla utilizada nos experimentos.....	64
Figura 27 - CP's após serem submetidos 30min a alta temperatura (750°).....	65
Figura 28 - Separação de corpos de prova para rompimento.....	65
Figura 29 - Resfriamento brusco dos CP's.....	66
Figura 30 - Rompimento dos CP's.....	66
Figura 31 - Fissura em CP's após o aquecimento à 500°C.....	74
Figura 32 - Fissura profunda nos CP's com 0% de argila.....	75
Figura 33 - Esfarelamento superficial, adição de 30% de argila expandida.....	75
Figura 34 - Fissuras leves, adição de 50% de argila expandida.....	75
Figura 35 - Corpos de Prova após explosão dentro da mufla.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaios utilizados para verificar a consistência.	25
Tabela 2 - Temperatura X Efeitos na Argamassa	46
Tabela 3 - Pontos recomendados pela norma.	49
Tabela 4 - Elevação da Temperatura.	50
Tabela 5 - Requisitos químicos do Cimento Portland.	51
Tabela 6 - Requisitos físicos e mecânicos.	51
Tabela 7 - Características físicas da argila expandida.	52
Tabela 8 - Características químicas da argila em pó.	53
Tabela 9 - Quantidade de materiais para revestimento das paredes, em volume.	54
Tabela 10 - Quantidade de materiais para revestimento das caixas, em volume.	55
Tabela 11 - Quantidade de materiais utilizado por lote (5 unidades de cp's por lote) de corpos de prova.	55
Tabela 12 - Resultado médio da análise térmica do revestimento das paredes.	67
Tabela 13 - Desvio Padrão dos resultados do ensaio.	67
Tabela 14 - Coeficiente de variação.	67
Tabela 15 - Valores obtidos após utilização de equações de redução sonora.	70
Tabela 16 - Valores obtidos no rompimento dos CP's (Mpa).	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de comportamento térmico.....	68
Gráfico 2 - Relação de redução sonora encontrada nos 3 tipos de revestimento.	70
Gráfico 3 - Relação dos valores obtidos com os rompimentos do corpo de prova.	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Considerações Iniciais.....	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Histórico da Argamassa	17
2.2 Revestimentos Cimentícios para Alvenaria	18
2.2.1 Argamassa de Revestimento	19
2.3 Propriedades da Argamassa.....	20
2.3.1 Aderência.....	20
2.3.2 Trabalhabilidade.....	22
2.3.3 Resistência Mecânica	26
2.3.4 Capacidade de absorver deformações	27
2.3.5 Durabilidade.....	28
2.3.6 Especificidade da superfície.....	29
2.4 Argamassas com Agregados Leves	30
2.4.1 Pedra Pome.....	31
2.4.2 Poliestireno Expandido	32
2.4.3 Argila Expandida.....	33
2.5 Desempenho Acústico em Ambientes Internos	35
2.5.1 Transmissão do ruído aéreo	36
2.5.2 Transmissão do ruído de impacto	37
2.5.3 Isolamento Acústico	38
2.6 Desempenho Térmico do Revestimento Interno	40
2.7 Resistência ao Fogo em Materiais Cimentícios	42
2.7.1 Alta Temperatura em Propriedades Física e Químicas.....	44
2.7.2 Alta temperatura nas propriedades mecânicas	47
2.8 Normas Regulamentadoras.....	48
3. Materiais Utilizados	51

3.1	Matéria-Prima Utilizada	51
3.1.1	Cimento Portland	51
3.1.2	Argila expandida em pó	51
3.1.3	Agregado miúdo.....	53
4.1.4	Água	53
3.2	Definição dos Traços das Argamassas	53
4.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	56
4.1	Ensaio Térmico.....	56
4.1.1	Confecção das Paredes para Teste.....	56
4.1.2	Preparação da argamassa e revestimento das paredes.....	57
4.1.3	Desempenho térmico do revestimento	58
4.2	Ensaio Acústico	59
4.2.1	Confecção das caixas de madeira	59
4.2.2	Revestimento das caixas.....	60
4.2.3	Desempenho acústico do revestimento.....	61
4.3	Ensaio Resistência ao Fogo.....	63
4.3.1	Moldagem dos CP's	63
4.3.2	Desempenho do material a resistência ao fogo	64
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1	Ensaio Térmico.....	67
5.2	Ensaio Acústico	70
5.3	Resistência ao Fogo	72
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	78
	REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO	79
	APÊNDICES	89

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A construção civil passou por um período de grande crescimento nos últimos anos, advindo de investimentos da grande parcela emergente da classe C, que passou a adquirir imóveis através da política pública do governo federal em projetos como o Minha Casa Minha Vida. Como também a presença de grandes eventos no país, os Jogos Olímpicos e a Copa do Mundo, possibilitando oportunidades de investimento de iniciativas privadas e públicas, impulsionando o desenvolvimento de muitas tecnologias e produtos direcionados para essa área.

Paralelamente a esse desenvolvimento, pode-se observar a preservação de composições de produtos já existentes e que ainda disputam espaço com as novas tecnologias. Temos como exemplo, os revestimentos de argamassa, que apesar de já existirem aditivos para melhoras de diversas propriedades e novas formas de comercialização (argamassa industrializada), a mesma continua sendo empregada na sua forma mais popular (areia, cimento Portland e água), preparada in loco.

Os revestimentos de argamassa são vistos, em sua maioria, como materiais que trabalham a estética dos lugares que os mesmos compõem. Ao contrário do que se imaginam, eles têm função de proteger as principais partes, estrutura e alvenaria, das edificações. Normalmente os revestimentos trabalham em camadas sobrepostas, com uma grande diversidade de materiais e composições, que são arranjadas de acordo com a necessidade do local ou fatores que poderão alterar sua funcionalidade (causados pelo ambiente ou pelo homem).

A escolha correta dos materiais garantirá que o revestimento seja capaz de suportar as intempéries aos quais será submetido e auxiliarão no conforto térmico e acústico que as edificações devem oferecer para o bem-estar daqueles que as habitam (fatores diretamente ligados a qualidade de vida dos indivíduos). Destaca-se também a influência de argamassas aditivadas que podem atuar como barreira retardante em casos de incêndios, resistindo um tempo maior as chamas e atrasando o seu ataque a estrutura.

As consequências negativas dos ruídos e da alta temperatura para os seres humanos são comprovadas cientificamente. Segundo a Fiocruz - Fundação Oswaldo Cruz (1998), ao realizar estudos relacionados aos riscos físicos sofridos em decorrência do ambiente, as doenças resultantes da exposição de ruídos fora da faixa aceitável englobam aspectos genéticos, afetando a saúde mental e física dos indivíduos, podendo causar fadiga nervosa, dificuldade de coordenar ideias, estresse, modificação do ritmo cardíaco e do ritmo respiratório.

Para o caso dos incêndios a NBR 14432 (ABNT, 2001) estabelece condições a serem atendidas pelos elementos estruturais para evitar-se o colapso das mesmas. O revestimento não é um elemento estrutural, mas atua como uma proteção contra o contato direto das chamas nestes, deste modo é importantíssimo estudarmos configurações de materiais que permitam que a estrutura resista por um tempo maior quando submetidos a altas temperaturas. Isso permitirá que o tempo requerido de resistência ao fogo seja atendido e permita a fuga dos ocupantes da edificação e o combate do incêndio de forma segura.

Quando submetidos a um calor excessivo, o corpo humano sofre danos vasculares, causando queda da pressão arterial, sonolência, mal-estar e desânimo. Diante disso tem-se a necessidade de estudar e reforçar materiais que possibilitem a diminuição desses fatores e propiciem um ambiente mais agradável a vivência (CAMARGO E FURLAN, 2011).

Diante do exposto percebe-se a importância da utilização de novos materiais nas argamassas, afim de proporcionar uma temperatura equilibrada dentro do ambiente, diminuir os impactos dos ruídos advindos do meio externo e trazer mais segurança no caso da ocorrência de um incêndio.

Nesse âmbito podemos analisar o desempenho da argila expandida nas argamassas de revestimento. Material esse que anteriormente era utilizado apenas em jardinagem e que agora vem ganhando espaço nas construções. Esse fato deu-se pelas propriedades que encontramos em sua constituição, são eles: agregado 60% mais leve do que o convencional, durabilidade, resistência ao fogo, isolamento acústico, térmico e resistência mecânica.

Tendo em vista que não são realizados muitos estudos em argamassas de revestimentos e com o intuito de analisar a influência que a argila expandida exerce sobre ela, foi realizado esse trabalho. Para facilitar o entendimento sobre o assunto divide-se o trabalho em 6 capítulos, onde no primeiro apresenta-se a justificativa e motivação para a realização da pesquisa, bem como os objetivos. Na Seção 2 e 3 apresenta-se a fundamentação teórica sobre as argamassas em estudo. No capítulo 4 apresentam-se os materiais e procedimentos experimentais realizados. E na Seções 5 e 6 apresenta-se os resultados e as conclusões, respectivamente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as argamassas para revestimento com a adição da argila expandida laminada no desempenho térmico, acústico e de resistência ao fogo e comparar os resultados com os obtidos com a utilização da argamassa convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a redução acústica adquirida com a argamassa de revestimento após a adição da argila expandida laminada em sua composição;
- Verificar a atuação da alta temperatura nas propriedades mecânicas dos revestimentos aditivados com argila expandida, analisando a resistência a compressão após o resfriamento brusco;
- Avaliar o desempenho térmico dos revestimentos e a variação de temperatura, após a adição do material leve, dentro dos ambientes das edificações estudados.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da Argamassa

As argamassas utilizadas na construção civil partem, em sua maioria, de fabricações feitas em grandes indústrias e de misturas provenientes do cimento Portland. Do início da sua utilização, com equipamentos e técnicas primárias, foi possível recolher ensinamentos que são e/ou serão úteis no desenvolvimento atual deste material ou em futuros trabalhos que visam o melhoramento das suas propriedades e o alcance de resultados superiores aos obtidos nos dias atuais, uma evolução que veio de materiais como a cal aérea, gesso, pozolanas e da cal hidratada.

De acordo com Malinowisky (1982 e 1991), o início do emprego da cal apagada nas construções deu-se no período que corresponde a Idade da Pedra Polida (Período Neolítico), na cidade de Çatal Huyuk, na Turquia, por volta de 6.000 a. C. Ainda de acordo com o mesmo autor, as primeiras argamassas apenas de cal teriam sido empregadas em Jericó, na Palestina (7.000 a.C.).

Margalha (2011), em seus estudos refere-se a argamassa, proveniente da cal, que era usada em pavimentos, na Turquia, datando de 10.000 a 8.000 a. C. Nessa mesma época, foram encontrados registros de argamassa de gesso que eram usados como reboco de paredes.

De acordo com Boynton (1980), os primeiros testemunhos de que se tem relato no Egito é do uso da argamassa conhecida como estuques, que é uma mistura da cal, gesso e água, utilizada nas pirâmides (4000 a 2000 a.C.) apesar de que nessa época as construções eram realizadas com pedra sobre pedra sem o uso de qualquer colante.

Posteriormente, foram registradas a descoberta de restos de argamassas hidráulicas nas cisternas de Jerusalém, onde acredita-se terem sido construídas por fenícios. Um trabalho que consistia na produção da cal gorda (proveniente de calcários muito puros, contendo apenas 5% de argila), utilizada para consolidação de ligações das alvenarias ou utilizadas como acabamentos pintados, na maioria das vezes, com cores naturais (MARGALHA, 2000).

Alvarez; Sequeira e Costa (2005) relatam o acontecimento ocorrido a 1250 a.C. com o Vulcão *Tera*, onde uma terrível erupção ocorrida na Ilha de

Santorini resultou numa gigantesca nuvem de cinzas, tomando proporções que atingiram a casa dos 300 quilômetros quadrados. Esse material teve papel fundamental no melhoramento das características da argamassa utilizada até o momento, a adição dessa matéria-prima consolidou-se na época das civilizações clássicas romanas e gregas, ficando conhecida por Pozolanas (nome da população que habitava o local onde ocorreu o fenômeno descrito).

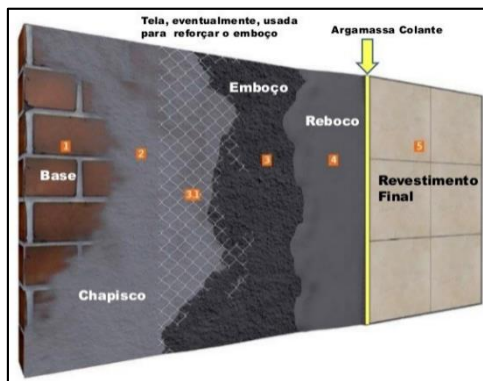
No decorrer dos anos fez-se necessário a adição de materiais que melhorassem o desempenho das argamassas existentes, afim de aplicá-las em ambientes fluviais. Depois de testes e estudos realizados em Paris na França, no ano de 1826, foi aberta a primeira fábrica de cal hidráulica artificial atingindo o objetivo dos estudos, porém a argamassa era notoriamente mais cara e por esse motivo teve sua venda limitada. Anos depois, no mesmo país, foi fundada a primeira fábrica de cimentícios a base do cimento Portland, tendo sua produção análoga a produzida na Inglaterra (ALVAREZ; SEQUEIRA E COSTA, 2005).

Alvarez; Sequeira e Costa (2005) expõem a trajetória final da argamassa que utiliza um único tipo de ligante, o cimento Portland, evitando o armazenamento de vários tipos de matéria-prima, simplificando o trabalho dos operadores que manipulam esse material ao longo de todo o dia. Até os dias atuais, esta alteração vem respondendo positivamente a vários processos construtivos, um deles é o encurtamento do tempo das etapas das obras. Outra melhoria que advém deste processo são as argamassas industriais, que possibilitam uma vasta criação de produtos, com especificações e alto grau de qualidade.

2.2 Revestimentos Cimentícios para Alvenaria

De acordo com a NBR 13529 (2013, p.10), os sistemas de revestimento, de uma forma geral, apresentam-se como o processo “formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo (Figura 01), compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto”.

Figura 1 - Revestimento de argamassa e acabamento decorativo.



Fonte: Revista equipe da obra, 2013.

Segundo Carasek (2007), “os revestimentos de parede são todos os procedimentos utilizados na aplicação de materiais de proteção e de acabamento sobre superfícies horizontais e verticais de uma edificação ou obra de engenharia, tais como: alvenarias e estruturas. ”

Guimarães (2002), também discorre sobre o assunto, declarando que o sistema de revestimento de alvenaria contribui significativamente a durabilidade e desempenho da parede. Além de buscar benefícios estéticos e de proteção para as edificações, proporcionando segurança e conforto dos usuários e evitando a degradação da alvenaria.

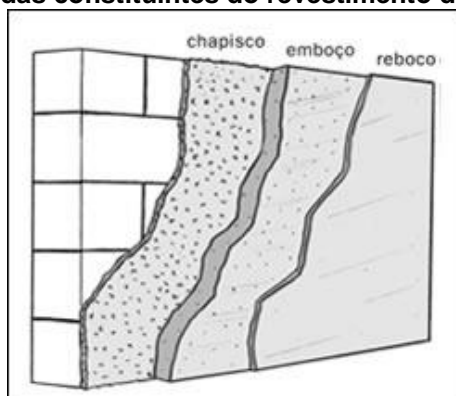
Santos; Amaral e Sommerfeld (2014) discutem sobre o mesmo assunto e comentam que os revestimentos de parede têm a função de preservar a alvenaria da construção, melhorar o isolamento térmico e desempenho acústico das edificações. Segundo os mesmos autores, essa etapa é uma das que mais sofre com cortes de custos, por ser uma das últimas a serem construídas, o que acarreta em má e/ou falta de planejamento na obra.

2.2.1 Argamassa de Revestimento

A argamassa é definida pela NBR 13281 (ABNT, 2005) como sendo uma combinação de agregados miúdos, com aglomerantes e água, podendo ser adicionado aditivos que melhorem sua trabalhabilidade e que possuam características de endurecimento ou aderência melhoradas. Essa argamassa pode ser dosada na própria localidade onde será empregada ou em indústrias específicas para tal finalidade.

Dentre os tipos de argamassas produzidas atualmente, encontramos a argamassa de revestimento, tendo como definição, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013, p.10), “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Esse revestimento possui camadas que se sobrepõem (Figura 02), normalmente uniformes e formam uma superfície que permite receber o acabamento ornamentado ou ser utilizado como o próprio acabamento final.

Figura 2 - Camadas constituintes do revestimento de argamassa.



Fonte: Comunidade da construção, 2016.

Segundo o Manual de Revestimentos da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), os revestimentos para cumprirem as suas funções adequadamente devem dispor de características, estado fresco e endurecido, e propriedades que garantirão o seu bom desempenho nas condições que será submetida. Isso está diretamente relacionada a qualidade do material, as circunstâncias de execução, a natureza da base, os critérios de desempenho e o acabamento final.

Dentre as principais propriedades que a argamassa de revestimento deve apresentar para que se tenha êxito em sua execução, encontramos: capacidade de aderência, resistência mecânica, trabalhabilidade, consistência, capacidade de absorver deformações, estanqueidade, especificidade da superfície e durabilidade (ABCP, 2002).

2.3 Propriedades da Argamassa

2.3.1 Aderência

Segundo Vaz e Carasek (2019), a aderência é uma das principais propriedades do revestimento de argamassas, retratando quanto a pasta

consegue unir-se ao substrato de contato (estado fresco) e a resistência que ela pode alcançar no estado endurecido. Desta forma, é importante estudá-la, levando em conta não apenas as suas características, mas todas as propriedades da superfície na qual ela será aplicada.

Segundo Selmo (1989), a aderência pode ser encontrada em dois estados, fresco e o endurecido, onde a adesão no estado fresco trata-se das características apresentadas pela pasta aglomerante, que se deve, em princípio, atender às características reológicas da pasta cimentícia; a baixa tensão superficial e o dispêndio dos aglomerantes, propiciando conexão física ao substrato, como também a adesão dos próprios agregados miúdos da mistura. As condições de limpeza do substrato, são fatores determinantes para a adesão da argamassa na superfície trabalhada.

De acordo com Costa (2016), aderência da argamassa ao substrato, no seu estado endurecido, pode ser definida como a capacidade que a junção superfície e argamassa possuem em resistir a tensões de cisalhamento e normais, sem que chegue ao rompimento. Estas dispõem de características que podem ser estudadas diretamente em testes “*in loco*” ligando a argamassa a área trabalhada ou em laboratório, por meio de corpos de prova.

A NBR 15258 (ABNT, 2005), descreve procedimentos de ensaios laboratoriais que determinam a resistência de aderência à tração das argamassas (Figura 03). A norma traz a definição de um novo tipo de aderência, a potencial, e padroniza condições de substrato que servirão como base, de forma a minimizar a influência que a superfície possa desempenhar sobre o revestimento, buscando assim, avaliar apenas o desempenho da argamassa quanto a sua aderência e à tração (ANTUNES, 2005).

Figura 3 - Teste de aderência em argamassas.



Fonte: UDESC Joinville, 2016.

De acordo com Gonçalves (2004), a análise dos resultados obtidos nos testes de resistência a tração deve ser examinada levando em consideração o tipo de ruptura ocorrida, pois o material pode romper tanto na interface argamassa/superfície quanto no interior dos materiais, representando fragmentação em seu sistema. Ainda segundo o autor, processos que envolvem a execução do revestimento, materiais utilizados e as condições climáticas ocasionam uma variação de até 33% nos resultados do ensaio.

2.3.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade faz relação principalmente com a consistência do material. Partindo de sua definição essa propriedade trata-se da facilidade no manuseio da mistura em questão, isto é, uma argamassa para ser trabalhável deve distribuir-se com facilidade ao ser aplicada sobre o substrato, não fica presa na ferramenta utilizada para sua aplicação, não segrega ao ser conduzida, permanece plástica até que seu uso seja finalizado e não enrijece em contato com superfícies absorptivas (BAIA E SABBATINI, 2008).

Carasek (2007) acrescenta ao conceito afirmando que essa propriedade deve assegurar um desempenho eficiente do material e uma boa execução. Ainda segundo a autora, a trabalhabilidade deve ser corrigida a cada aplicação da argamassa, onde esse ajuste mostra-se de suma importância e fator de mudança no resultado das demais propriedades do revestimento.

De acordo com Cascudo et al. (2005), descrever, mensurar e analisar a trabalhabilidade das argamassas por meio de testes laboratoriais ou *in loco* é um

exercício muito complicado, pois esses testes não dependem exclusivamente das características do material, dependendo também da habilidade de quem a manuseia e das características da superfície aplicada, além destas, ainda há a junção de inúmeras outras propriedades, tais como a plasticidade, retenção de água, coesão, endurecimento relacionado a sucção, consistência e tixotropia.

Segundo Cincotto et al. (1995), consistência é a propriedade pela qual a argamassa, no estado fresco, tende a resistir à deformação. Inúmeros autores categorizam as argamassas em três situações, de acordo com sua consistência, apresentando-se no estado seca (descrita como o modo onde a pasta ocupa os espaços vazios entre os grãos da mistura); plástica (quando a argamassa age como uma proteção fina nos grãos do agregado, agindo como lubrificantes dos mesmos); e fluida (acontece quando temos a imersão completa dos grãos da pasta).

De acordo com Silva (2006), “a consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: água/aglomerante, aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante”.

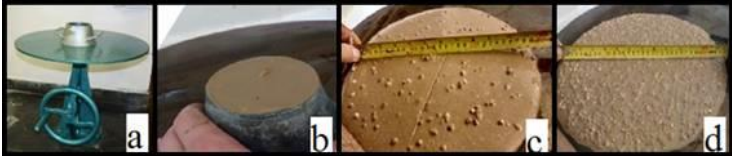
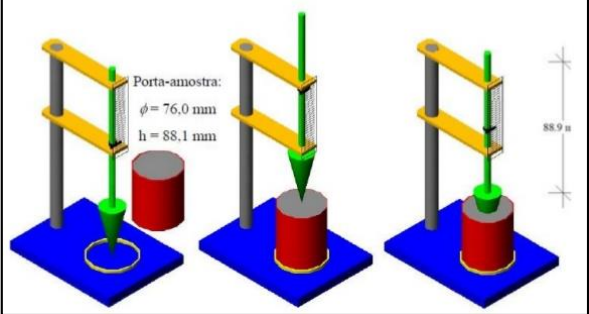
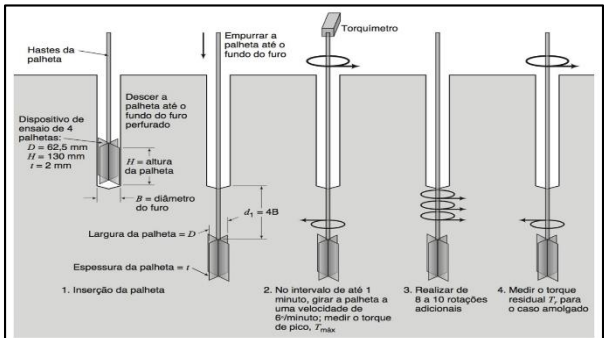
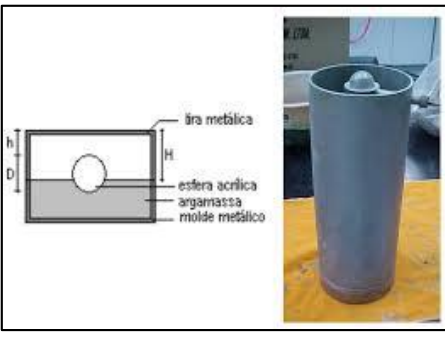
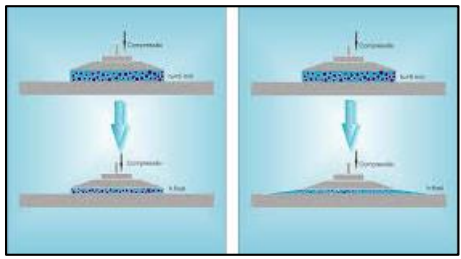
De modo geral as argamassas, em seu estado plástico e fluído, apresentam uma característica chamada de exsudação de água, que se refere ao deslocamento da água existente na composição da argamassa para a superfície deste material, levando consigo uma nata de cimento. Essa propriedade afeta a trabalhabilidade, necessitando de misturas constantes para a obtenção de uma mistura homogênea da pasta e pode alterar a capacidade de aderência do revestimento ao ser lançado ao substrato.

Para a análise da consistência da argamassa é usualmente aplicado, no Brasil, os ensaios com a mesa de consistência (*flow table*) determinada pela NBR 7215 (ABNT, 2019) e estabelecida pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Contudo, apesar de ser uma utilização tradicionalmente utilizada, este ensaio é criticado por diversos autores, que alegam que a mesa não tem sensibilidade para aferir a reologia¹ da argamassa (BAUER et al., 2005; ANTUNES, 2005).

¹ Ramo da física que estuda a viscosidade, a plasticidade, a elasticidade e o escoamento da matéria em geral.

Existem outros métodos utilizados para analisar essa propriedade, dentre eles tem-se: o ensaio da penetração do cone sugerido pela ASTM C 780 (1996); o método *vane test* (ensaio de palheta); ensaio de *dropping ball* (BS 4551), e o que vem sendo utilizado atualmente, o método *squeeze flow* (Esse método consiste em comprimir uma amostra cilíndrica do material em estudo entre duas placas paralelas, sendo capaz de avaliar os materiais em grande faixa de consistência e em graus de deformações diferentes), conforme tabela abaixo:

Tabela 1 - Ensaios utilizados para verificar a consistência.

Mesa de Consistência	 <p style="text-align: center;">Uniderp, 2015.</p>
Ensaio de penetração do cone	<p>J.H.</p>  <p style="text-align: center;">Filho, 2006.</p>
Método vane test (ensaio de palheta)	 <p style="text-align: center;">Budhu, 2017.</p>
Ensaio de Dropping Ball	 <p>Mello, 2014.</p>
Método Squeeze Flow	 <p style="text-align: center;">SBTA, 2009.</p>

Fonte: A autora, 2020.

A adesão do seu uso se dá pela sensibilidade que o mesmo apresenta em relação as variações comportamentais reológicas da argamassa, este experimento baseia-se na estrutura metodológica recomendada por Oshan et al. (1999), e compreende em suma na medição dos esforços comprimidos na suspensão entre duas placas em paralelo.

De acordo com Bauer et al. (2005), nos dias atuais pode-se contar com equipamentos sofisticados que proporcionam uma análise mais ampla do comportamento reológico das argamassas, possibilitando, inclusive, a obtenção de parâmetros fundamentais, como a viscosidade e a tensão de escoamento. Estes aparelhos não são largamente utilizados em laboratórios específicos para tecnologia de argamassas, isso ocorre pelo alto custo dos equipamentos e pelas dificuldades operacionais encontradas no seu manuseio.

2.3.3 Resistência Mecânica

Conforme o Manual de Revestimentos da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (2002, pg. 10CON), “A resistência mecânica é a capacidade dos revestimentos de suportar esforços das mais diversas naturezas, que resultam, em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento”. Esta característica relaciona-se a quantidade de agregados e de aglomerantes da argamassa, quanto mais aglomerantes for adicionado a sua mistura mais resistência ela apresentará. Outro fator que altera essa propriedade é a execução da mistura e aplicação (BAIA E SABBATINI, 2008).

Um processo habitual de avaliar a resistência mecânica, apesar de ser um método empírico, é a utilização de um prego ou objeto pontiagudo semelhante para riscar a argamassa aplicada a superfície, essa avaliação é utilizada em obras para qualificar a resistência dos revestimentos.

Os testes realizados internacionalmente adotam como material para a sua realização escovas elétricas de desgaste superficial, fitas adesivas para ensaios da massa de revestimento descolada e esferas de impacto. Não são especificados nenhum valor referencial para os ensaios citados acima (ABCP, 2002).

2.3.4 Capacidade de absorver deformações

Segundo o Manual de Revestimentos da ABCP (2002, p.10CON), “A capacidade de absorver deformações é a propriedade que o revestimento possui de absorver deformações intrínsecas (revestimento) ou extrínsecas (base) sem sofrer ruptura, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder aderência”.

Ainda segundo o mesmo autor, esta capacidade é dirigida pela resistência à tração e pela deformação do revestimento, uma das suas fundamentais ocorrências acontece quando a argamassa é colocada no substrato, isso se dá pela sucção da água contida na pasta pela base e por evaporação para o ambiente. A redução causada produz forças internas de tensão na camada inferior de tração, o revestimento pode ter ou não condições de resistir a essas forças, o que virá a regular o grau de fissuração que poderá ocorrer nas primeiras idades. Ao trabalhar com uma boa técnica e pessoal qualificado, é possível obter uma argamassa com menos água, trabalhável e que por consequência diminuirá sua retração.

As deformações podem ocorrer em grande ou pequena escala e caberá ao revestimento extinguir somente as menores aberturas, que podem ser causadas por umidade, como descrito acima, ou pela variação da temperatura. Cabe ressaltar que as deformações maiores, como as ocorridas por recalque estrutural, não conseguem ser absorvidas pela argamassa (BAIA E SABBATINI, 2008).

Segundo Baia e Sabbatini (2008) a absorção das deformações dependem dos seguintes fatores:

- I) Do módulo de deformação da argamassa: acontece quando a capacidade de deformação do material aumenta e o seu módulo diminui (menor consumo de cimento);
- II) Da espessura das camadas: acontece quando a capacidade de absorção dos esforços aumenta conforme o alargamento da espessura da camada. Esse crescimento deve acontecer de forma controlada para que não aja interferência em outras propriedades, como a aderência;

III) Das juntas de trabalho do revestimento: é quando acontece de maneira mais fácil a dissipação das tensões, decorrendo porque há uma divisão, em placas menores, das juntas do revestimento;

IV) Da técnica de execução: na hora da execução, o desempenho de quem realiza o serviço deve acontecer de forma habilidosa, com as ferramentas adequadas e respeitando o manuseio correto do material, isso fará com que o surgimento de fissuras diminua.

2.3.5 Durabilidade

Segundo Recena (2007), a durabilidade é a propriedade que trata da capacidade de manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo, ou seja, a argamassa deve ter eficiência em sua estabilidade química e física no decorrer dos anos, sofrendo com a exposição proveniente do ambiente que a mesma tenha sido exposta e intempéries que tenham sido consideradas em sua concepção, cumprindo todas as suas funções para qual foi implantada.

É uma propriedade complexa e depende de procedimentos adequados, desde o projeto até uso final. Para a etapa do projeto é importante especificar os materiais que serão utilizados e compatibilizá-los com a finalidade da argamassa, isso trará mais confiança durante sua vida útil; na etapa da execução é imprescindível que haja um controle na produção e a garantia de que as técnicas recomendadas sejam seguidas (ABCP, 2002).

Baia e Sabbatini (2008) acrescentam a ideia, falando sobre alguns motivos que tem influência na durabilidade na argamassa de revestimento, dentre eles temos: a fissuração, a espessura da camada de revestimento, a ação de microrganismos, a boa qualidade da argamassa e os reparos.

A deterioração da durabilidade da argamassa pode acontecer pela presença de sais solúveis encontrados nos materiais de construção, em terrenos, na poluição atmosférica e em águas marítimas. Esses sais são dissolvidos e conduzidos pela água no interior das misturas ou estruturas cimentícias (PCZIECZEK, 2017).

Sabe-se que o uso do cimento Portland na composição da maioria dos materiais utilizados na construção civil é cada vez maior, e esse uso pode causar

fissuras e trincas na estrutura das peças, ocasionado pela rigidez e retração do material comprometendo a durabilidade da mistura. Estudos mostram que é possível o melhoramento dessa propriedade, por meios de adições de materiais já conhecidos na sociedade e que muitas vezes são descartados (CINTRA, 2013).

De acordo com Silva Júnior (2014),

“Os agregados podem afetar a coesão, consistência e trabalhabilidade, em compósitos cimentícios no estado fresco, e a resistência à compressão, estabilidade dimensional, durabilidade, resistência à abrasão e aspecto visual no estado endurecido”. (2014, pg. 29)

2.3.6 Especificidade da superfície

A especificidade da superfície está diretamente relacionada com a rugosidade e a porosidade da mesma; são de extrema importância por relacionarem-se com as funções estéticas e com a compatibilização do revestimento com os sistemas de acabamentos, seja ele pintura ou outro revestimento de decoração. Influenciam diretamente na estanqueidade, na durabilidade e na resistência mecânica (ABCP, 2002).

Segundo o Manual de Revestimento da ABCP (2002, p. 12CON), “a rugosidade superficial pode variar de lisa a áspera sendo basicamente resultado do tipo de agregado, sua granulometria, do teor de agregado e da técnica de execução do revestimento”. Deve também haver compatibilidade química entre o revestimento e o acabamento final previsto. No caso de tintas a óleo ou revestimentos em laminados melamínicos, por exemplo, sabe-se que não há compatibilidade com revestimentos à base de argamassa de cal.

De acordo com Crescencio, Barros e Bottura (2005), “a utilização de revestimento de argamassa é uma realidade no canteiro de obra brasileiro e precisa haver uma produção racionalizada do material, de forma a evitar elevados custos”. Muitas construtoras passaram a modificar a forma na qual produzem e começaram a investir na racionalização da produção ou implantação de novas tecnologias.

Para Sabbatini (1989) racionalização construtiva consiste em:

[...] um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o recurso de materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases” e tecnologia construtiva é “um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão desse modo de construir. (1989, p.54)

Dentro desse contexto encontramos o Revestimento com argamassa monocapa, que permite proteger e decorar a alvenaria em um único produto. Além de apresentar vantagens de redução de custo e de tempo na obra, sendo possível pela utilização do método que elimina as multicamadas usualmente aplicadas (chapisco, emboço, reboco e pintura). Este novo sistema poupa estas etapas tradicionais dando velocidade ao canteiro de obra, resultando em alta produtividade e eficiência nos revestimentos (CRESCENCIO, BARROS E BOTTURA, 2005).

2.4 Argamassas com Agregados Leves

Segundo Sousa (2010), todas as argamassas são estruturas porosas e o seu desempenho está diretamente ligado as suas partes microscópicas, que são regidas por um conjunto de fatores, tais como: os materiais que a constituem, o traço, procedimentos de aplicação, a cura e o tipo de suporte. As estruturas das argamassas leves, enquadram-se assim nesse contexto, seguindo as mesmas condições, porém trazendo uma porosidade muito mais elevada do que nas argamassas convencionais.

Afim de aprimorar a qualidade dos revestimentos utilizados atualmente, surgiram propostas de introduzir novos constituintes capazes de melhorar o desempenho de argamassas em níveis mecânicos e físicos, e também em termos energéticos. Para tal tem-se adicionado agregados leves na constituição das argamassas, sejam na substituição de agregados naturais ou adicionados a traços já pré-estabelecidos, criando um material com baixa condutibilidade térmica.

Segundo Watanabe (2008), as primeiras indicações da utilização de agregados leves na construção civil datam aproximadamente 3000 anos, com a utilização da pedra pome em forma de ligantes à base de cinza volante e cal para elaboração de peças estruturais. Os agregados leves que são incorporados as argamassas podem ser provenientes de processos industriais ou de reciclagem. Sua granulometria e volume são determinantes para a formação da microestrutura morfológica da argamassa. Definindo sua dimensão, quantidade e forma dos poros, permitindo assim que em argamassas leves o papel da estrutura porosa seja fundamental (BARROCA, NEPOMUCENO E OLIVEIRA, 2015).

Vale ressaltar que uma das medidas de desempenho da argamassa de proteção térmica não se limita apenas ao isolamento da temperatura, estende-se a capacidade que estas possuem de se preservar o máximo possível a resistência dos concretos, diminuindo os riscos de “*spalling*” (lascamentos explosivos) (CUOGHI; FIGUEIREDO, 2007).

De acordo com Mai (2002), “argamassas com agregados leves são consideradas de bom desempenho com relação ao fogo devido a sua reduzida densidade e a sua baixa condutividade térmica”. Com essa característica (baixa densidade), as argamassas possuem inerentemente baixa resistência mecânica e isso resulta num ruim desempenho estrutural.

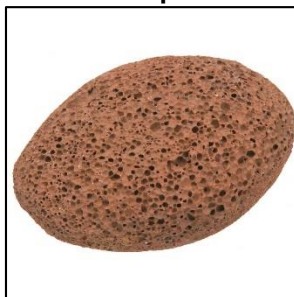
Ainda segundo o mesmo autor, esse tipo de revestimento tem como objetivo a proteção térmica, o que respondem eficientemente, produzindo menos calor para o interior da estrutura e uma resistência mecânica suficiente para garantir a aderência da mesma ao substrato. Para a produção de argamassa leve pode ser utilizado diversos agregados como: a pedra pome, o poliestireno expandido e a argila expandida.

2.4.1 Pedra Pome

Segundo Bevilacqua e Ferrara (1996), a pedra pome é uma rocha vulcânica porosa (Figura 04), leve, de grande resistência e que serve para polir superfícies. Sua natureza resulta de gases contidos em massas fundidas e que após reduções de pressão formam poros. Pode ser encontrada no mercado de forma natural ou sintética e sua aplicação se dá de diversas formas, podendo

ocorrer em metalúrgicas, borrachas, filtros, construção civil, vidros, curtumes, entre outros.

Figura 4 - Pedra pome natural.



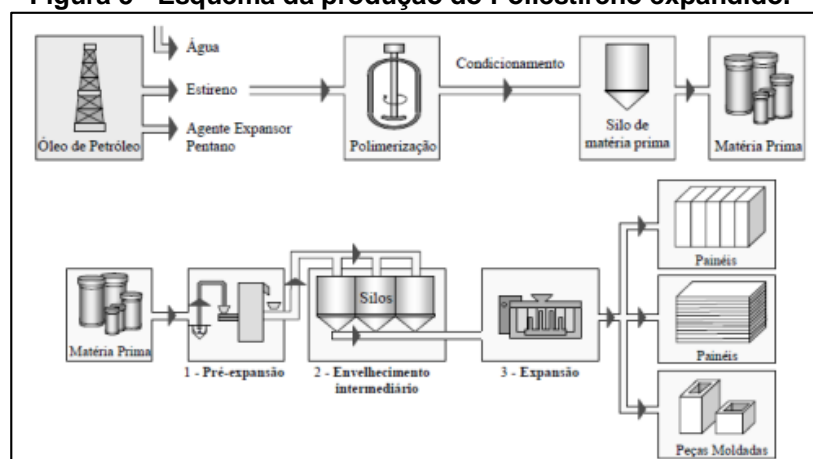
Fonte: elo7, 2019.

Foi utilizada como agregado ligante em concreto estrutural e argamassa para a construção de uma cúpula em formato de abóboda de um monumento com 44m de diâmetro e que se encontra, nos dias de hoje, em perfeito estado de conservação, mesmo possuindo mais de 2000 anos de existência (ROSSIGNOLO, 2003).

2.4.2 Poliestireno Expandido

Segundo a NBR 11752 (2007), o poliestireno expandido (EPS) é um material plástico rígido, de cor branca, produzido por meio da expansão de pérolas pré-expandidas de poliestireno (Figura 05), tendo variações nas condições de fabricação, podendo ser elaborado como não retardante à chama (classe P) e de retardante à chama (classe F).

Figura 5 - Esquema da produção do Poliestireno expandido.



Fonte: Grote e Silveira, 2002.

O poliestireno expandido tem diversas aplicações na construção civil, apresentando como vantagens a leveza, boa resistência mecânica,

condutividade térmica, versatilidade, fácil manuseio, durabilidade e absorção de impactos (ABRAPEX, 2017).

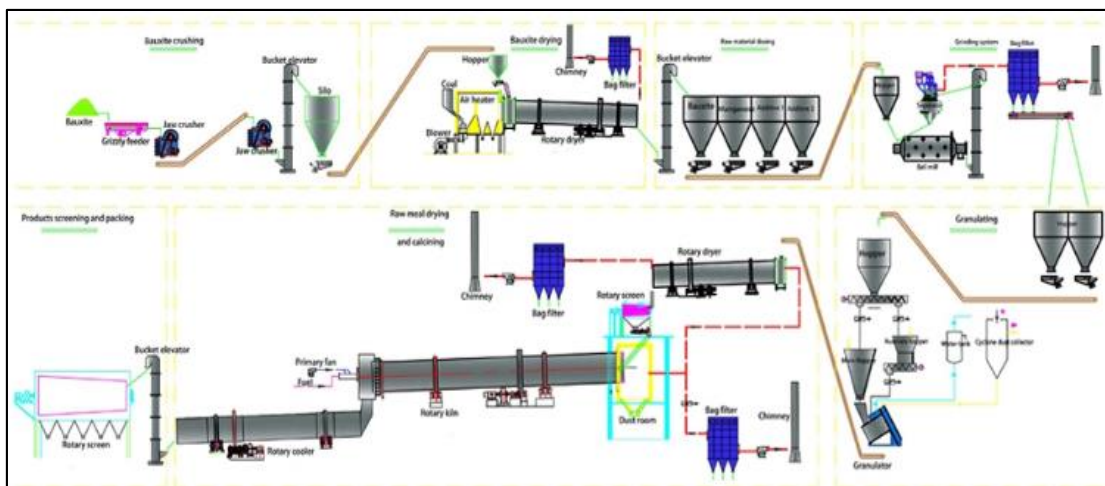
Ainda segundo o mesmo autor, a aplicação mais comum do material é na regularização de lajes, onde em muitos casos não possível utilizar outra composição. Além disso pode ser utilizado em concretos leves, pode auxiliar no desenvolvimento de painéis autoportantes para construção e em argamassas armadas com o núcleo de poliestireno (TESSARI, 2006).

2.4.3 Argila Expandida

De acordo com Coutinho (1988), a argila expandida foi descoberta em 1885, mas sua primeira utilização deu-se em meados de 1918, pelo americano S. J. Heyde, utilizando-a como agregado em concretos. Ainda de acordo com o mesmo autor, “o processo de fabricação do agregado de argila expandida, conhecido pela sigla LECA (light expanded clay aggregate), produzido em fornos rotativos foi patenteado na Dinamarca na década de 40”.

Segundo Moravia et al. (2006), a argila expandida tem seu processo de produção (Figura 06) por aquecimento de alguns tipos determinados de argila em temperatura de aproximadamente 1200°C. Ao alcançar a temperatura referida uma parte dos constituintes da argila funde-se e a outra parte e se decompõem quimicamente formando gases, esses por sua vez não conseguem sair do interior das partículas devido a uma fase líquida que as recobre. Desta forma, o gás incorpora-se na massa sintetizada e permite que a partícula se expanda por até sete vezes o seu volume inicial.

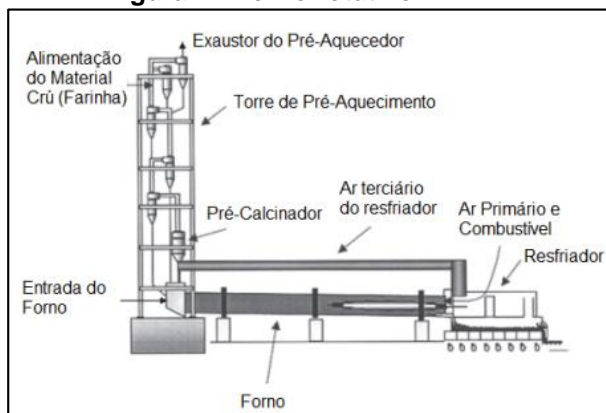
Figura 6 - Processo de produção da Argila expandida



Fonte: Alibaba, 2009.

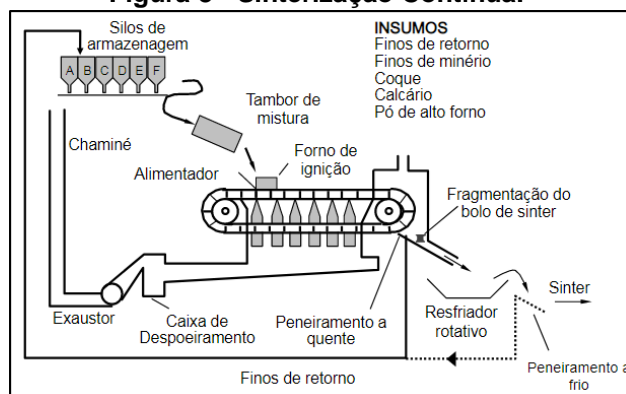
Rossignolo (2009), também discorre sobre o processo de formação da argila expandida, dando ênfase a dois processos industriais para a transformação da matéria-prima natural, são eles: o forno rotativo (Figura 07) e a sinterização contínua (Figura 08).

Figura 7 - Forno rotativo.



Fonte: Chinyama, 2011.

Figura 8 - Sinterização Contínua.



Fonte: PUC Rio, 2014.

Na sinterização ocorre a queima da argila, onde esta sofre expansão, criando poros mais abertos e conseqüentemente fazendo com que material resultante absorva muita água. No processo de forno rotativo, a massa de argila se funde formando uma massa viscosa e a outra parte se decompõe liberando gases, como eles não conseguem ser expelidos da partícula, o agregado se expande formando uma camada de proteção.

Os agregados de argila expandida produzidos pelo processo de sinterização contínua têm massa específica entre 650kg/m^3 e 900kg/m^3 e os produzidos em forno rotativo, entre 300kg/m^3 e 650kg/m^3 (NEVILLE, 1982).

De acordo com Calixto et al. (2001), a massa específica da argila expandida é de aproximadamente 2,63 g/cm³. Quando há moagem para obtenção de grãos menores que 0,075mm, a argila expandida volta as suas características iniciais, isto se dá, porque, a maioria dos poros constituintes dos grãos da argila possuem tamanhos maiores que 0,075 mm de diâmetro, Figura 09, e nesse processo de “quebra”, os mesmos são destruídos.

Figura 9 - Granulometria da argila expandida.



Fonte: CINEXPAN, 2019.

2.5 Desempenho Acústico em Ambientes Internos

Diante do crescente populacional nas cidades e da necessidade por espaço ser cada vez maior, surgiu a verticalização dos conjuntos habitacionais a fim de otimizar os espaços urbanos. Nesse contexto surgem também problemas relacionados a concentração das pessoas em ambientes muito menores, onde famílias tornam-se cada vez mais próximas umas das outras passando a conviver e partilhar de situações de infraestrutura.

Essa vizinidade gera reclamações constantes por parte dos moradores, que se queixam frequentemente sobre o conforto acústico do seu espaço privativo. Essas reivindicações partem principalmente dos ruídos causados no ambiente vizinho, estendendo-se a sons externos das edificações, o que acarreta insatisfação com o imóvel adquirido na indústria da construção civil.

Com o intuito de vender cada vez mais e reduzir prazos e custos das obras, tomou-se como não essenciais os cuidados com a acústica dos ambientes. O que levou a uma mudança comportamental do consumidor final,

forçando as construtoras a buscar processos, padrões e materiais, não utilizados anteriormente, que diminuíssem ou mitigassem esse problema. De acordo com Bistafa (2011), foi observado que na atualização dessa técnica deveria ser considerado características objetivas, que podem ser mensuradas, e características subjetivas, que variam de pessoa para pessoa.

Segundo a AMORL – Associação Mineira de Otorrinolaringologia (2018), os níveis de ruídos exagerados, acima de 85dB, por um tempo prolongado afetem diretamente na saúde humana, causando estresse, ansiedade e crises extensas de nervosismo, diminuindo assim a qualidade de vida destes. Além dos problemas citados, esses níveis elevados podem acarretar a problemas sociais ou de convívio pessoal, resultando em discursões e brigas entre os moradores de um mesmo conjunto habitacional.

De acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013, p.7-8), os ruídos podem ser classificados em dois tipos: o ruído aéreo e o ruído de impacto, definindo-os da seguinte forma: “o ruído aéreo é todo som produzido e transmitido através do ar, enquanto o ruído de impacto é todo som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar”.

Ampliando essa conceituação, Gerges (1992/1996), afirma que a energia sonora pode ser transmitida via aérea, quando o som é carregado pelo ar, e/ou via sólido, quando ocorre a transmissão por meio da estrutura. Elenca para resolução efetiva e mitigação dos problemas gerados por desconforto acústico, deve-se realizar estudos aprofundados que apontem o tipo de ruídos existentes no local e direcionar a solução encontrada considerando sua fonte e a sua transmissão.

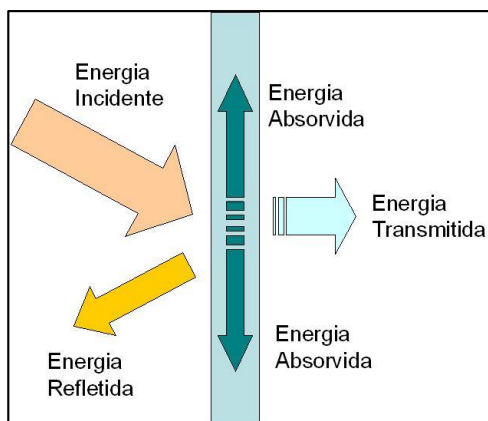
2.5.1 Transmissão do ruído aéreo

De acordo com a NBR 15575-3: 2013, o ruído aéreo é todo som produzido e transmitido através do ar. Complementando essa definição, Scherer (2005) afirma que esse tipo de ruído é produzido ao incidirmos algum objeto sobre uma superfície, provocando uma vibração na mesma, esta vibração irá irradiar energia para o outro lado qualquer, o que resultará em som dentro do recinto.

Segundo Garcia (2004, p.9), “a transmissão sonora aérea ocorre em ambientes abertos, passando por aberturas como janelas, portas, sistemas de

ventilação ou através de elementos divisórios, como as paredes de alvenaria”. Méndez et al. (1994), relata que a onda sonora de energia tende a dividir-se em duas partes após incidir sobre uma superfície, onde passará a agir como onda refletida e onda absorvida. Dentro da onda absorvida ainda podemos encontrar a energia dissipada no interior dos materiais e uma onda de transmissão, conforme Figura 10.

Figura 10 - Propagação do som em parede de alvenaria.



Fonte: CHRACUSTICA, 2008.

2.5.2 Transmissão do ruído de impacto

De acordo com a NBR 15575-3 (2013; p.8), “o ruído de impacto é todo som produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar”. Para Cornacchia (2009), o ruído de impacto trata-se de uma excitação por contato, onde a estrutura torna-se um eficiente sistema que irradia energia em uma faixa de frequência ampla, isso ocorre pelo movimento vibratório induzido pela excitação que se localiza com a queda de objetos, no caminhar das pessoas, na utilização de ferramentas que causam alguma pancada ou fazem dela sua energia de trabalho. Essa irradiação é conhecida como movimento ondulatório.

O movimento ondulatório pode ser determinado pela vibração do contato (impacto), o que causa um grande desconforto auditivo, isso acontece porque a frequência sonora é alterada, incluindo a crítica, independente se a pressão sonora inicial seja elevada ou não (PEDROSO, 2007).

Para Souza et al. (2006), as vibrações são transmitidas, inicialmente, sobre as estruturas, o que ocasionará uma posterior transmissão pelo ar. Esse

efeito pode ser observado ao derrubarmos alguma ferramenta sobre uma laje de um edifício qualquer, a superfície atingida vibrará e posteriormente ouviremos um ruído proveniente dessa queda. “A velocidade dessa transmissão é influenciada pelas propriedades físicas e mecânicas das superfícies impactadas” (CARVALHO, 2009).

2.5.3 Isolamento Acústico

De acordo com Penedo e Oiticica (2014), a arquitetura brasileira vem apresentando novas técnicas e materiais utilizados na construção civil, afim de subsidiar as exigências dos consumidores finais, que tem como objetivo o melhoramento da qualidade de vida nas edificações. Para o isolamento acústico nas habitações, essas inovações ainda não geraram ou não geram resultados satisfatórios, o que reforça a necessidade de estudar novos elementos que consigam amenizar esse problema.

Neste contexto, a NBR 15575 veio para nortear os profissionais que trabalham projetando essas edificações, estabelecer critérios que se relacionam diretamente com a qualidade para o mercado da construção civil e garantir que as pessoas que possuam esses imóveis ou os frequentem tenham um ambiente seguro e de qualidade. Trata dos níveis de desempenho acústico das paredes externas e internas que separam duas unidades, das esquadrias utilizadas, do conjunto de paredes e portas que separam duas unidades, e dos sistemas de pisos com relação ao ruído aéreo e de impacto.

A Norma de Desempenho não possui poder de lei quando trabalhada isoladamente, por esse motivo as ações que surgem nesse âmbito estão tomando como embasamento o Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.884, de 11.6.1994) e o Código Civil Brasileiro (Seção V - Dos Vícios Redibitórios), que dão efeito obrigatório ao atendimento desta Norma Técnica.

Além da NBR 15575, podemos buscar no Brasil, a NBR 10152, que tem como intuito embasar a realização de avaliações de desempenho das residências, em diversos aspectos, incluindo o conforto sonoro. Esta regulamenta os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes de diversos tipos, sua finalidade é evitar a interferência do ruído,

proporcionando ambientes mais salubres e convenientes ao trabalho, ao descanso ou ao lazer.

Para tal determinação é conhecido também, a lei de Berger (lei fundamental do isolamento acústico), onde a mesma trabalha com a finalidade de determinar um isolamento acústico eficaz, e para tal ela estabelece que para essa condição acontecer o material do isolamento deve apresentar uma resistividade acústica o mais distante possível da resistividade acústica do meio isolado. Segundo Neubauer (2009, p.18), “a resistividade de um material é obtida pela multiplicação entre a velocidade do som no elemento e a densidade deste”, e denomina que para altas resistividades os materiais são acusticamente “duros” e para baixas resistividades são denominados acusticamente “moles”.

Diante disso, temos que, para isolar o som que de propagação pelo ar (meio acusticamente mole), o material utilizado para o isolamento deve ser rígido e pesado (como exemplo as lajes de concreto), enquanto que para o material do isolamento pela propagação no meio sólido, devemos utilizar materiais leves (NEUBAUER, 2009).

Pedroso (2007), afirma que a energia sonora isolada dependerá ainda, da frequência crítica do material isolante empregado e da frequência sonora proveniente da fonte do som. Isso porque, com uma frequência do isolante abaixo da frequência crítica o isolamento atuará de forma negativa e gerará um aumento do som, ao invés de reduzi-lo. Diante disso, recomenda-se materiais isolantes com valores baixos de frequência crítica. Méndez *et al.* (1994, p.109), definem a frequência crítica “como aquela para qual a velocidade de propagação da onda no meio sólido coincide com a velocidade de propagação do som no ar”.

Segundo Pereyron (2008), o emprego de materiais, para os diversos casos, tem características e finalidades diferentes e não seguem apenas o intuito de “isolar”, mas também a função de absorver a onda sonora. Essa característica é comumente encontrada em materiais porosos e resilientes, aproveitando-os para fazer a correção acústica dos ambientes, propriedades estas que são possíveis encontrar nas argilas expandidas.

2.6 Desempenho Térmico do Revestimento Interno

Passos e Carasek (2018), ressaltaram sobre as discussões que aconteceram em 2000 sobre eficiência energética, ano esse que ocorreu crises de fornecimento de energia. Destacaram também a influência que o setor residencial tem sobre esse aspecto, chegando a atingir 23% do consumo energético brasileiro.

Lamberts; Dutra e Pereira (2012) afirmam que neste segmento cerca de 20% do consumo é proveniente do uso de condicionadores de ar. Segundo Carasek (2010), os revestimentos de argamassa convencionais podem ser responsabilizados por até 30% do isolamento térmico do sistema de vedação, variando de acordo com a espessura do revestimento empregado, sua composição e as características da parede de vedação.

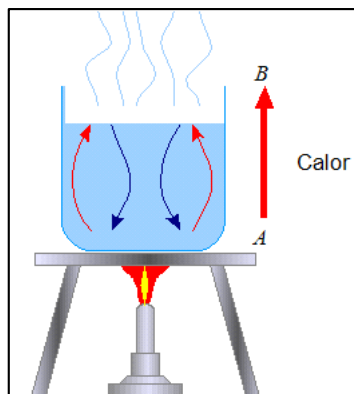
Diante disso, podemos apontar como ação para amenizar o uso destes condicionadores de ar o melhoramento das propriedades térmicas dos revestimentos das habitações. Vale ressaltar a importância de se conhecer as propriedades que trazem conforto térmico nos ambientes e os meios de troca de calor que podem ocorrer.

Segundo Rivero (1985), a troca de calor acontece por meio da condução, convecção e/ou radiação. Vale ressaltar que a transferência de calor acontece sempre do ambiente com maior temperatura para o ambiente de menor temperatura. A quantidade de calor trocada por cada um dos tipos acima citados dependerá de algumas variáveis, como o tipo e intensidade das atividades realizadas por cada pessoa e a temperatura superficial de cada elemento constituinte do ambiente.

Para que se tenha um entendimento básico de como funciona cada meio de transmissão, serão descritos abaixo, de forma sucinta, o processo de ocorrência de cada um deles, segue:

- **Condução:** “A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, Figura 11, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto” (KREITH; BOHN, 2003);

Figura 11 - Condução Térmica.

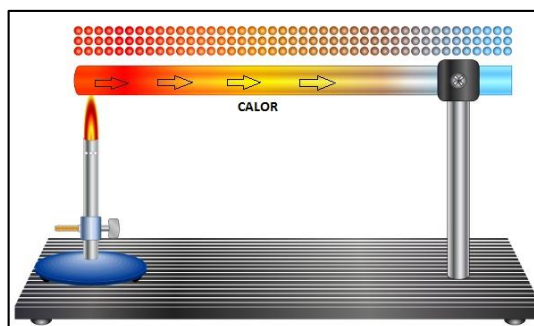


Fonte: Brasil Escola, 2020. Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/conducao-termica.htm>. Acesso em: 01/04/2020.

- **Convecção:** “A convecção é o transporte de energia combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. É importante principalmente como mecanismos de transferência de energia entre uma superfície sólida e uma líquida ou de gás”, Figura 12 (KREITH; BOHN, 2003);

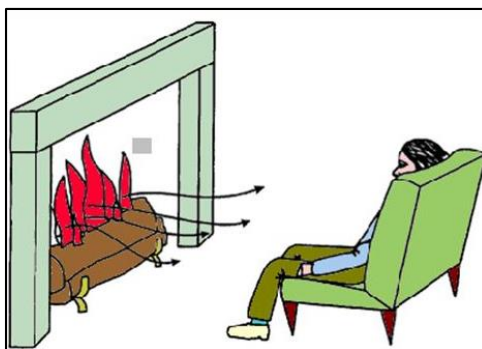
Figura 12 - Convecção Térmica.



Fonte: Melo, 2011. Disponível em:

<http://profwilker.blogspot.com/2011/09/conveccao-termica-e-o-funcionamento-da.html>. Acesso em: 28/03/2020.

- **Radiação:** “A radiação é um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa quando tais corpos estão separados no espaço, Figura 13, ainda que exista vácuo entre eles” (KREITH; BOHN, 2003).

Figura 13 - Radiação Térmica.

Fonte: GANGHIS, 2014. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/332781/>.

Acesso em: 28/03/2020.

De acordo com Ribeiro (2008), na presença da radiação solar de forma direta, velocidade do ar, temperatura e umidade; as perdas de calor acontecerão por convecção e evaporação. Além disso, existem outros fatores que influenciam diretamente no conforto térmico, que dependem de cada indivíduo, tais como: idade, grau de aclimatação e o sexo. Diante disso, a caracterização de conforto térmico dá-se pela sensação de bem-estar, ocasionada por uma combinação das variáveis acima mencionadas.

Entender o funcionamento das formas de transferência de calor para construções, é de suma importância para trabalhar com adições de materiais que apresentem boa resistência térmica em revestimentos verticais. Podemos citar como exemplo a adição da argila expandida em pó como material a ser adicionado em argamassas de revestimentos de paredes, por se tratar de um material leve e isolante.

Materiais leves, com baixo isolamento térmico, apresentam normalmente melhor resistência térmica, isso se dá pelo número de vazios encontrados no interior das suas partículas, o que possibilita um maior acúmulo de ar e conseqüentemente dificulta a troca de calor entre os meios internos e externos das alvenarias (SANTOS, 2008).

2.7 Resistência ao Fogo em Materiais Cimentícios

Segundo Buchanan (2002), a resistência ao fogo define-se como uma característica que um elemento construtivo ou um conjunto destes tem de se opor ao avanço do fogo ou ainda de proteger-se dele. Diante disso e por

apresentar boa resistência ao fogo e não produzir gases tóxicos e fumaça, as paredes de alvenarias com blocos cerâmicos revestidas tornaram-se uma alternativa rentável para minimizar a propagações de chamas, proporcionando estabilidade necessária ao edifício e um bom isolamento térmico (OLIVEIRA, 1998).

Os incêndios são combustões não controladas que podem “ocorrer em qualquer tipo de edificação, representando um desafio à segurança humana, desafio este que aumenta na proporção em que mais pessoas vivem e trabalham em edifícios cada vez maiores” (ROSEMANN, 2011).

Para a segurança contra incêndios é de grande importância a resistência ao fogo das paredes que compõem a edificação, uma vez que, constatou-se que em grandes incêndios ocorridos em edifícios as vias de acesso eram vulneráveis a propagação de fumaça, as chamas, e ao calor, fato esse que dificultou muito o abandono das construções e permitiu que o incêndio se alastrasse de forma mais rápida (ONO, 2007).

Para o caso das paredes de alvenaria, a resistência ao fogo possui três níveis de segurança, são eles: a estanqueidade (capacidade de a parede manter sua continuidade), o isolamento térmico (habilidade da parede de fornecer isolamento suficiente para que o lado oposto ao fogo não ultrapasse uma temperatura predefinida durante o período de resistência) e a adequação estrutural (habilidade da parede de preservar sua resistência mecânica) (THINK BRICK AUSTRALIA, 2006).

As características físicas dos materiais ditam o desempenho das paredes de alvenaria, são elas: a porosidade, e condutibilidade térmica, seu peso próprio e juntas de assentamento e algumas características estruturais, como a esbeltez e as restrições existente (THOMAZ; HELENE, 2000).

Para que haja um estudo mais eficiente do revestimento ou dos materiais que o compõe, é importante conhecer as ações sofridas pelo mesmo e a consequência dessas ações. Segundo Figueiredo; Costa e Silva (2002), “o aumento da temperatura dos elementos estruturais, decorrentes da ação térmica devido aos incêndios, causa alterações na micro e macroestrutura do concreto”. O aumento gradativo da temperatura pode provocar diversos efeitos no concreto

e na argamassa, acarretando problemas como perda da resistência mecânica, esfarelamento superficial, fissuração, alteração na coloração da superfície e até mesmo a desintegração da estrutura (MORALES; CAMPOS, FAGARELLO, 2011).

É de grande importância o entendimento de mais alguns conceitos referentes ao período e a classe da resistência ao fogo. O período de tempo trata-se do intervalo de tempo determinado por um teste de resistência ao fogo, ou por algum método baseado nele, em que um elemento construtivo consegue manter suas características exigidas pelo normativo (ROSEMANN, 2011). Quando tratamos de classe de resistência, tomamos como base um período de resistência ao fogo, em minutos, usualmente dada em intervalos de 30min ou 60min. A classe do elemento em questão é dada por códigos de edificação (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2008).

Segundo ROSEMANN (2011), os códigos de edificações estabelecem que “as classes apresentem um determinado nível de resistência ao fogo, de forma a proteger os ocupantes da edificação e prover meios de escape e resgate”. Esse tempo é medido seguindo o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). Quando se trata do TRRF deve-se entender como o tempo mínimo que as paredes de alvenaria suportam uma ação térmica padronizada, feita em laboratório, continuando com suas características de integridade, isolamento e estanqueidade (SILVA et al, 2008).

2.7.1 Alta Temperatura em Propriedades Física e Químicas

As argamassas e concretos são expostos a temperaturas que oscilam de acordo com as condições normais do ambiente, e sob essas circunstâncias eles acabam sofrendo variações em suas propriedades, onde muitas vezes são reversíveis (SCHAFER, 2015).

De acordo com Kirchhof (2010) e Schafer (2015), ao expormos a ações térmicas o material cimentícios sofre alterações em suas características microestruturais, o que acarreta uma mudança na sua porosidade, originando uma nova disposição dos poros e da microfissuração. O grau de umidade e hidratação desse material influencia no comportamento das argamassas e do concreto, pois a temperatura dos mesmos só aumentará a partir do momento

que houver a vaporização total da água livre e da água adsorvida presente nestes (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Antunes (2010) relata que as altas temperaturas provocam também alterações químicas nos compósitos, pois as reações de degradação são potencializadas sob essas condições, o que contribui na redução da durabilidade dos revestimentos.

Kim; Yun e Park (2013) relacionam mudanças químicas e físicas ocorridas em faixas distintas de temperaturas nas argamassas, eles apontam que essas mudanças ocorrem simultaneamente e podem ser vistas na tabela 02.

Tabela 2 - Temperatura X Efeitos na Argamassa
Efeitos Causados na Argamassa

Faixa de Temperatura	Efeitos Causados na Argamassa
25°C – 100°C	Através da evaporação de água ocorre um aumento na porosidade e diminuição na densidade.
100°C – 400°C	Ocorre diminuição de porosidade, e apesar de diminuir a densidade acontece hidratação adicional nos grãos de cimento, através do desenvolvimento das condições encontradas na autoclave. Com isso justifica-se a diminuição na porosidade por novos produtos de hidratação nos poros existentes.
400°C – 700°C	A maior parte dos processos de desidratação ocorrem principalmente nessa faixa, mudanças físicas na pasta de cimento, porosidade crescente acompanhada pela diminuição de densidade. Este aumento da porosidade indica que os vazios estão maiores em número e tamanho, em consequência da desidratação, a fissuração é iniciada como aumento da temperatura.
700°C – 1000°C	A desidratação é praticamente completada e fendas de expansão térmicas se propagam facilmente e passa através das zonas mais próximas de fraqueza tal como os vazios de ar, através de uma combinação das fissuras e poros existentes, pode ocorrer lascamentos de amostra.

Fonte: Kim, Yun e Park (2013), adaptado pela autora.

2.7.2 Alta temperatura nas propriedades mecânicas

Yazici, Sezer e Sengul (2012) verificam, em um dos seus experimentos que a argamassa quando submetida a altas temperaturas perde significativamente sua resistência a compressão, e quando a argamassa recebe adição de sílica ativa tem-se um ganho de resistência em algumas faixas de temperatura e para a adição da cinza volante, continuou havendo a perda de resistência, mas isso ocorreu de forma mais suave comparando as argamassas sem aditivos.

Yuzer, Akoz e Ozturk (2004) mencionam em seus estudos que a forma de resfriamento dos corpos de prova para serem ensaiados tem grande influência nos resultados dos testes. Em seus ensaios eles utilizaram duas formas de resfriamento nas argamassas submetidas a altas temperaturas, um resfriamento foi por meio do ar, onde houve o resfriamento natural e essa temperatura foi caindo lentamente até chegar à temperatura ambiente.

A segunda forma foi por meio de água, onde foi lançado um jato de água em direção dos corpos de prova, provocando um resfriamento brusco e semelhante ao que ocorre em incêndios reais. Como resultado eles obtiveram uma diferença de 30% em cada método realizado, para o resfriamento brusco a queda de resistência caiu cerca de 70%, e para a forma lenta a perda de resistência ficou em torno dos 40%, ambos para argamassa convencional.

Souza (2005) fez a mesma confirmação em seus estudos, onde ele fez corpos de prova com diversos tipos de adições e ao resfriá-los utilizou o método do resfriamento lento (1°C/min) e pelo método brusco (assemelhasse ao ocorrido em incêndios). Tendo diferença de 25% a 30% nos resultados obtidos pelos métodos acima citados. Indo de acordo com a afirmação do Neville (1982), declarando que o resfriamento brusco reduz grandemente a resistência a compressão das argamassas em condições de altas temperaturas.

Quanto a absorção de água, Chen et al. (2010), verificou em seus estudos que a porosidade aumenta de acordo com a elevação da temperatura. Correa, Lima e Brito (2010) estudaram as verificações propostas e após alguns testes confirmaram o que tinha sido afirmado anteriormente, que a absorção de água varia de acordo com a elevação da temperatura ao qual o material é submetido.

Para o caso do módulo de elasticidade, ocorre o inverso do citado na absorção de água. Quanto maior for a temperatura, menor será o seu módulo de elasticidade. Vale salientar que estudos feitos para essa propriedade foram realizados após o resfriamento dos corpos de prova, em temperatura ambiente (WENDT, 2006).

2.8 Normas Regulamentadoras

A avaliação dos sistemas de vedação verticais deve seguir um normativo específico de cada país. No Brasil, essas normas seguem alguns parâmetros para avaliação, tais como: estabilidade estrutural, isolamento térmico, estanqueidade e resistência ao fogo. Dentre as normas que norteiam e/ou melhoram esse parâmetro e tornam mais seguras as edificações, será descrita a norma para vedação não estrutural, que abrange os revestimentos de parede.

Para se realizar qualquer ensaio de resistência ao fogo, se deve recorrer a normas que os regulamentam, para o caso brasileiro o ensaio de determinação em paredes estruturais é normatizado pela NBR 5628 (ABNT, 2001), esta apresenta grande semelhança com normas estrangeiras como a ASTM E119 (ASTM, 2008) e ISO 834 (ISO, 1999). A diferença encontrada nessas normas diz respeito a ação térmica aplicada no momento da realização do ensaio, na NBR 5628 e na ISO 834 encontramos uma curva de padronização determinada pela equação 01, descrita abaixo,

$$T = T_0 + 345 * \log(8t + 1) \text{ Equação 01}$$

Onde, T = temperatura do forno em °C no instante t ; T_0 = temperatura inicial do forno em °C; e t = tempo em minutos a contar do início do ensaio. Na normatização ASTM E119 a curva de aquecimento se norteia por meio de pontos, descrito na tabela 03.

Tabela 3 - Pontos recomendados pela norma.

Tempo	Temperatura (°C)
5 min	538
10 min	704
30 min	843
1h	927
2h	1010
4h	1093
8h	1093

Fonte: ASTM E119, 2008. Adaptada pela autora.

Outra diferença que ainda pode ser encontrada na ASTM E119, é a necessidade da avaliação do comportamento da alvenaria após receber um jato de água, direcionado a mesma logo após a realização dos ensaios de resistência ao fogo. Essa etapa complementa os testes de resistência, atestando o quanto a parede pode suportar de solicitação durante um sinistro (NWCMA, 2005).

Em paredes sem função estrutural, a resistência do fogo é regida pela NBR 10636 (ABNT, 1989). Esta norma estabelece os parâmetros de elevação e forma de avaliação de temperatura nas edificações. Esses critérios são definidos pela capacidade que o sistema tem em manter a estabilidade integral da estrutura, a estanqueidade em impedir que as chamas e gases passem por elas, e o isolamento térmico, onde o sistema deve impedir à transmissão de calor para o lado não exposto ao fogo. Abaixo será apresentada as taxas de elevação da temperatura, presente na norma (Tabela 04):

Tabela 4 - Elevação da Temperatura.

Tempo (min)	Elevação de temperatura do forno(°C)
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193

Fonte: NBR 10636 (ABNT, 1989), adaptada pela autora.

Também pode-se citar a norma 15575-4 (ABNT, 2013), que estabelece critérios e métodos que avaliam o desempenho dos sistemas de vedação vertical de edificações habitacionais. Esta norma fala acerca da segurança contra incêndio e estabelece requisitos visando dificultar a ocorrência da propagação do fogo, a preservação da estabilidade da estrutura na edificação e a generalidade da inflamação.

Independentemente da norma escolhida para a realização dos testes, a realização dos ensaios mostra-se de alto grau de complexidade, pois demanda corpos de prova de tamanho real, o uso de vários instrumentos para monitoramento da superfície da amostra e face interna, grande quantidade de combustível e eletricidade para projeção da ação térmica (NADJAI, 2006).

Essas características dificultam repetições de um mesmo ensaio com variáveis diversas, diferentes blocos, revestimentos ou enchimentos (NGUYEN et al, 2009). Por isso, nesse trabalho iremos fazer um ensaio simplificado que usa corpos de provas com as seguintes características: cp's cilíndricos de metal, com dimensões de 50mm de diâmetro por 100mm de altura; caixa de madeira com as dimensões 60cmX30cmX30cm; e paredes de alvenaria, com dimensões de 60cmX70cm.

3. Materiais Utilizados

3.1 Matéria-Prima Utilizada

Para a realização dos ensaios da pesquisa utilizou-se como material base o cimento Portland, a argila expandida laminada, areia média e água.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland com pozolanas, CII Z-32, foi utilizado nos experimentos por se tratar do aglomerante mais empregado na região. Sendo adquirido no mercado varejista em sacos de 50kg. Suas características mecânicas, químicas e físicas foram retiradas da NBR 16697 (2018), apresentadas nas tabelas 05 e 06.

Tabela 5 - Requisitos químicos do Cimento Portland (%).

Sigla	Resíduo Insolúvel (RI)	Perda ao Fogo (PF)	Óxido de Magnésio (MgO)	Trióxido de Enxofre (SO ₃)
CP II - Z	≤ 18,5	≤ 8,5	--	≤ 4,5

Fonte: NBR 16697 (2018), adaptado pela autora.

Tabela 6 - Requisitos físicos e mecânicos (%).

Sigla	Classe	Finura	Tempo de início de pega (min)	Expansibilidade a quente (mm)	Resistência à compressão			
					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
CP II - Z	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0

Fonte: NBR 16697 (2018), adaptado pela autora.

3.1.2 Argila expandida em pó

A argila expandida em pó utilizada para os ensaios foi a do tipo laminada, com variação de granulometria de 0,0~2,5mm, Figura 14, equivalente à areia média. Vinda da cidade de São Paulo e adquirida no representante da Cinexpan, a empresa JDL Transportadora e Paisagismo, na cidade de Junqueiro/Alagoas, em sacos de 50 litros, aproximadamente 30kg.

Figura 14 - Amostra da argila expandida de 2,5mm.



Fonte: A autora, 2019.

Suas características físicas e químicas foram disponibilizadas pela empresa Cinexpan, distribuidora principal do material no país, tabelas 07 e 08:

Tabela 7 - Características físicas da argila expandida.

Condutibilidade Térmica	0,11 Kcal/hm°C.
Consistência	Agregado nodulizado de argila.
Densidade Aparente	750 kg/m ³ podendo haver variação de +/- 10%.
Inércia Química	Totalmente inerte.
Isolamento Térmico	Variação de até 5 °C dependendo da espessura da camada do revestimento.
Isolamento Acústico	Pode chegar a uma redução média de 44 DB, dependendo da espessura da camada do revestimento.
Resistência Mecânica	2,27 MPa ou 22 kgf/cm ² .

Fonte: Cinexpan, 2019.

Tabela 8 - Características químicas da argila em pó.

Alumínio ($Al_2 O_3$)	18,02%
Cálcio (CaO)	0,64%
Ferro ($Fe_2 O_3$)	7,63%
Magnésio (MgO)	3,26%
Óxido de Fósforo ($P_2 O_5$)	0,20%
Óxido de Manganês (MnO)	0,08%
Óxido de Bário (BaO)	0,09%
Perda de fogo	0,20%
Potássio ($K_2 O$)	4,91%
Silício (SiO_2)	63,19%
Sódio ($Na_2 O$)	0,61%
Titânio (TiO_2)	0,92%

Fonte: Cinexpan, 2019.

3.1.3 Agregado miúdo

A areia natural utilizada é proveniente do Riacho de Grotas em Reis, no povoado do Arrasta pé, na cidade de Paulo Afonso. A areia passou por peneiramento antes da sua utilização, para obter uma aproximação granulométrica maior e retirar toda sujeira que a mesma pudesse conter, logo após passou por secagem para que sua umidade não interferisse na relação água/cimento.

4.1.4 Água

Foram utilizados para todos os procedimentos a água fornecida pela Companhia de Abastecimento de Água e Saneamento do Estado de Alagoas – CASAL. Não foram realizados qualquer teste referente a água.

3.2 Definição dos Traços das Argamassas

Para os procedimentos experimentais de desempenho acústico e térmico foram adotados o traço de 1:3 para a relação aglomerante/agregado (cimento Portland/areia seca), em volume. O fator água/cimento utilizado foi 0,48. Para a argila foi empregada as porcentagens de 30% e 50% sobre a quantidade (kg) do

cimento para cada ensaio, onde realizou-se um comparativo do revestimento sem nenhuma adição da argila expandida (argamassa convencional) e com a adição da argila nas porcentagens acima citadas.

No presente trabalho foi utilizado medidas em quilograma e metros cúbicos para determinar as quantidades de cada material. Foi discriminado a quantidade de material utilizado no revestimento das paredes de alvenaria (Tabela 09), o material utilizado nas caixas de madeira (Tabela 10).

Tabela 9 - Quantidade de materiais para revestimento das paredes, em volume.

MATERIAIS (Traço sem adição)	QUANTIDADE
Cimento	4,900Kg
Areia	0,011m ³
Água	2,329Kg
MATERIAIS (Traço com adição de 30%)	QUANTIDADE
Cimento	4,900Kg
Areia	0,011m ³
Água	2,329Kg
Argila Expandida	2,940Kg
MATERIAIS (Traço com adição de 50%)	QUANTIDADE
Cimento	4,900Kg
Areia	0,011m ³
Água	2,329Kg
Argila Expandida	4,900Kg

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 10 - Quantidade de materiais para revestimento das caixas, em volume.

MATERIAIS (Traço sem adição)	QUANTIDADE
Cimento	5,880Kg
Areia	0,013m ³
Água	2,793Kg
MATERIAIS (Traço com adição de 30%)	QUANTIDADE
Cimento	5,880Kg
Areia	0,013m ³
Água	2,793Kg
Argila Expandida	2,381Kg
MATERIAIS (Traço com adição de 50%)	QUANTIDADE
Cimento	5,880Kg
Areia	0,013m ³
Água	2,793Kg
Argila Expandida	3,969Kg

Fonte: A autora, 2019.

Para o ensaio de resistência ao fogo foi utilizado o traço base estabelecido pela NBR 7215 (ABNT, 2019). A argila foi empregada seguindo as porcentagens de 0%, 30% e 50% sobre a quantidade (kg) de cimento para cada lote de corpos de prova moldado (cada lote foi moldado com 5 cp's cada), totalizando três lotes a serem ensaiados, onde realizou-se um comparativo do revestimento sem nenhuma adição da argila expandida (argamassa convencional – 0%) e com a adição da argila nas porcentagens descritas (30% e 50%, respectivamente). As proporções dos materiais utilizados no experimento, tomando como base o traço mostrado acima, estão apresentadas na tabela 11:

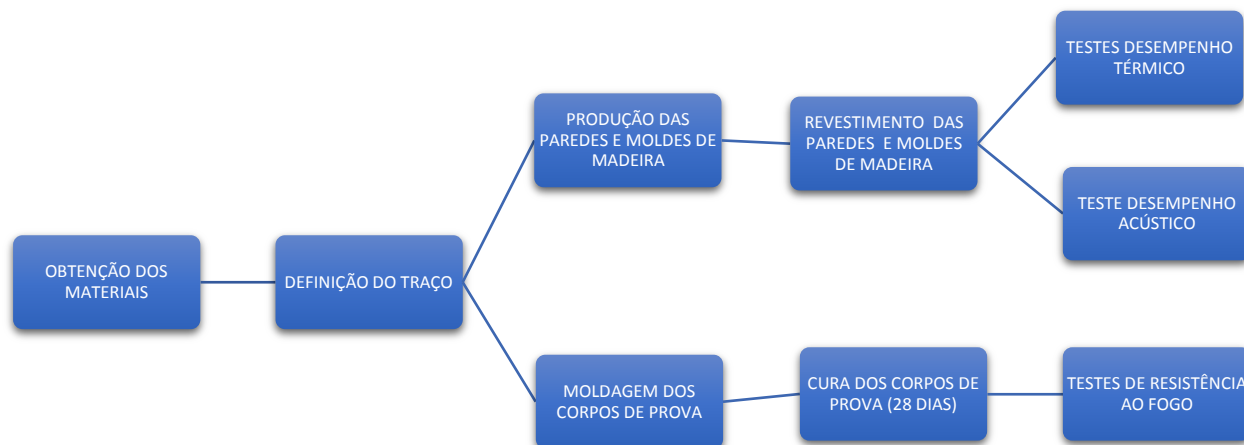
Tabela 11 - Quantidade de materiais utilizado por lote (5 unidades de cp's por lote) de corpos de prova.

MATERIAIS	QUANTIDADE
Cimento	1076,4g
Areia	807,3g
Água	517,7g
Teor de Argila Expandida – 30%	242,2g
Teor de Argila Expandida – 50%	403,66g

Fonte: A autora, 2019.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A análise do desempenho da adição da argila nas argamassas deu-se seguindo o fluxograma abaixo:



Fonte: A autora, 2020.

4.1 Ensaio Térmico

4.1.1 Confeção das Paredes para Teste

Para o ensaio foi necessário a construção de três paredes de bloco cerâmico, onde uma de suas faces ficou diretamente virada para o sol e a outra face na sombra total (este lado recebeu o revestimento cimentício, com e sem a adição da argila).

As paredes de alvenaria foram feitas com blocos de 6 furos, com dimensão 9X14X19cm, assentados com argamassa e areia, produzida *in loco*, com o traço de 1:4, em volume de material seco. A junta de assentamento foi de aproximadamente um centímetro. Cada parede foi confeccionada medindo 60cmX70cm, e foram dispostas em terreno limpo e pareadas uma ao lado da outra, conforme mostra a Figura 15, afim de fazer com que ambas recebessem incidência solar durante o mesmo período de tempo e de forma mais uniforme.

Figura 15 - Disposição das paredes de alvenaria.



Fonte: A autora, 2020.

4.1.2 Preparação da argamassa e revestimento das paredes

Os materiais para as argamassas foram misturados de forma manual pelo profissional contratado para realizar o serviço, sendo acompanhado pela desenvolvedora do presente trabalho. A mistura aconteceu seguindo a ordem dos materiais secos (areia, cimento e argila) e posteriormente foi acrescido a água, obtendo-se o índice de consistência desejado.

Após a finalização da argamassa, a mesma foi lançada nas paredes preparadas anteriormente pelo profissional, revestindo-as. Após a aplicação da argamassa (+/- 5 minutos), fez o devido sarrafeamento e desempenho de todas a superfície revestida, conforme Figura 16.

Figura 16 - Aplicação da argamassa e sarrafeamento das paredes..



Fonte: A autora, 2020.

A figura 17 mostra as três paredes finalizadas e revestidas, devidamente identificadas com a porcentagem correspondente de argila expandida que cada uma possui.

Figura 17 - Paredes finalizadas.



Fonte: A autora, 2020.

4.1.3 Desempenho térmico do revestimento

Na etapa final do ensaio foram realizadas medições de temperatura na superfície de cada parede, essas leituras foram tomadas utilizando um termômetro infravermelho, que consegue captar temperaturas do objeto sem estar em contato com ele.

A análise foi realizada em 10 pontos de cada parede, pré-estabelecidos e demarcados inicialmente, conforme Figura 18. Os horários escolhidos foram selecionados considerando o tempo de maior incidência solar (entre as 9h e 16h) em ciclos que ocorreram com intervalos de 30 minutos entre eles, começando às 10h e finalizando às 16h, conforme APÊNDICE 01. Esse processo ocorreu durante todo o dia, e as anotações de temperatura aconteciam no início de cada ciclo (a cada 30 minutos).

Figura 18 - Demarcação de Pontos.

Fonte: A Autora, 2020.

As leituras ocorreram no lado onde não havia incidência direta do sol e a que correspondia a face revestida da parede. O laser do aparelho foi direcionado nos pontos pré-estabelecidos, seguindo o centro e as extremidades de cada alvenaria, após cada medição todos os valores foram registrados em planilha (APÊNDICE 02). O estudo teve base na comparação das argamassas, convencional e aditivadas, afim de verificar o desempenho do material e posteriormente os resultados foram comparados com os parâmetros prescritos na ABNT NBR 15575-4/2013.

4.2 Ensaio Acústico

4.2.1 Confecção das caixas de madeira

A confecção das três caixas foi feita de madeira compensada de 15mm e ripas para auxiliar no fechamento das mesmas, que foram feitas por pregos. A caixa foi previamente projetada (APÊNDICE 03), afim de atender uma réplica da sala de um Home Studio (adotando materiais utilizados por estúdios amadores), para tal suas dimensões foram fixadas em 70cm de comprimento por 30cm de largura, com 30cm de altura.

As tampas das caixas representaram o teto do ambiente replicado, para sua vedação foi utilizado materiais comumente agregados, a base de madeira com o forro de gesso (espessura tripla) e para o fundo será utilizado a base de madeira (15mm) revestida com o compensado de 5mm.

Afim de receber o revestimento e permitir a sua aderência da forma mais adequada para o estudo, foi aplicado pregos de 2,5cm em todo o perímetro lateral interno das caixas, conforme figura 19.

Figura 19 - Caixas com aplicação de pregos em suas paredes.



Fonte: A Autora, 2020.

As caixas finalizadas foram acondicionadas em local reservado e silencioso, em uma garagem isolada na cidade de Paulo Afonso, para que não houvesse interferência de ruídos quando as mesmas passassem pelo teste de isolamento acústico.

4.2.2 Revestimento das caixas

Os materiais para as argamassas foram misturados manualmente pelo profissional contratado para realizar o serviço, sendo acompanhado, a cada etapa, realizada pela desenvolvedora do presente trabalho. A mistura ocorreu seguindo a ordem dos materiais secos (areia, cimento e argila) e posteriormente foi acrescido a água, obtendo-se o índice de consistência desejado.

Após a finalização da preparação da argamassa, a mesma foi lançada nas paredes internas das caixas de madeira, ficando com uma espessura de aproximadamente 3cm. Após a aplicação da argamassa, fez o devido sarrafeamento e desempenho de todas a superfície revestida, conforme Figura 20.

Figura 20 - Sarrafeamento e finalização das caixas.



Fonte: A Autora, 2020.

Para as tampas das caixas foi utilizada uma camada tripla de gesso (espessura de 10 milímetros) em seu revestimento, material que mais se aproxima com o material utilizado em habitações e nos home studios. No revestimento do fundo das caixas foi utilizado uma camada extra de madeira compensado com espessura igual a 5mm.

4.2.3 Desempenho acústico do revestimento

Após todo o revestimento das caixas terem sido concluídos, foi colocado uma alça na tampa das mesmas para que fosse possível abri-las e fechá-las, essa ação foi necessária para o posicionamento do aparelho de medição do ruído (decibelímetro). A fonte do ruído foi posicionada do lado externo das caixas e para tal função foi utilizada uma caixinha de som comum (potência de 7W), conforme mostra a figura 21.

Figura 21 - Posicionamento da fonte de ruído.



Fonte: A Autora, 2020.

As medições consistiram em levantar os valores referentes ao ruído emitidos pela fonte (ruído branco) durante 1 minuto (tempo escolhido seguindo as orientações do fabricante do aparelho de medição e experimentos antes realizados), e coletar o ruído máximo audível dentro da caixa fechada (Figura 22). A fonte foi colocada a uma distância de 50cm das caixas, com uma proteção de acrílico ao seu redor, dentro de um ambiente totalmente fechado e descontando o ruído que ainda persistia em existir dentro do local (4,5~5dB).

Figura 22 - Caixa fechada e decibelímetro coletando os ruídos.



Fonte: A Autora, 2020.

Após o início da emissão de ruídos, o decibelímetro era acionado e vazia a leitura dentro do seu tempo de trabalho padrão, estabelecido em sua fabricação. Foram feitos 4 ciclos de aproximadamente 1 minuto cada, afim de conseguir dados mais precisos, e posteriormente trabalhou-se com a média dos valores máximos obtidos nos ciclos com o decibelímetro. Para análise dos dados e comparação entre os revestimentos, foi utilizado as normas NBR 15575/2013, ISO 140-4/1998a e a ISO 140-5/1998b, onde foi calculado a diferença de níveis entre os ambientes – emissor e receptor (equação 02) e índice de redução sonora (R) (equação 03):

$$D = L_1 - L_2 \text{ (equação 02)}$$

onde: L_1 = Nível de pressão sonora médio dentro do ambiente emissor, em dB;

L_2 = Nível de pressão sonora médio dentro do ambiente receptor, em dB

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \text{ (equação 03)}$$

Onde, S = área da parede em m^2 ;

$$A = \text{Área de absorção sonora do ambiente receptor}, A = 0,161 \frac{\text{VOLUME DA SALA}}{0,5s}$$

Após a apuração de todos os resultados, os mesmos foram organizados em tabela e os valores de “R” foram colocados em gráfico e observado a diferença de redução sonora, em porcentagem, dentro das caixas com quantidades diferentes de argila em sua argamassa.

Nos estudos realizados pelo IPT - Institutos de Pesquisas Tecnológicas (2013), os métodos de ensaios acústicos realizados em campo determinam resultados diretos, caracterizando o elemento da acústica de ambientes receptores. O método simplificado utilizado no presente estudo, ISO 10052, permitiu obter uma estimativa do isolamento acústico. Recomendação da ISO 140-14: usar os resultados para análises comparativas e não como representativo do desempenho acústico do sistema.

4.3 Ensaio Resistência ao Fogo

4.3.1 Moldagem dos CP's

Os corpos de provas (CP's) foram moldados seguindo o traço da NBR 7215 (ABNT, 2019), onde foram feitas 5 unidades com a argamassa convencional, 5 unidades com a argamassa adicionada de 30% da argila expandida e 5 unidades da argamassa com adição de 50% da argila expandida. A moldagem ocorreu com corpos de prova cilíndricos de dimensões de 50mm de diâmetro por 100mm de altura, Figura 23.

Figura 23 - Molde cilíndrico utilizado na moldagem dos CP's.



Fonte: Mazzota, 2020.

A argamassa foi misturada e compactada de forma manual, esse processo ocorreu colocando a argamassa em 1/3 da altura do cilindro, devidamente untado com desmoldante (foi utilizado óleo sintético), e socado por

30 vezes por um soquete normal, homoganeamente distribuído. Após a conclusão dessa etapa, repete-se o mesmo processo até a conclusão/ preenchimento total do cilindro, Figura 24.

Figura 24 - Preenchimento total do molde cilíndrico.



Fonte: A autora, 2020.

Passados 24h da moldagem, o CP foi retirado do molde e alocado em um recipiente com água (Figura 25), submetido à cura, ficando nesse estado até o dia do ensaio (totalizando 28 dias).

Figura 25 - Corpos de Prova submetidos a cura.



Fonte: A autora, 2019.

4.3.2 Desempenho do material a resistência ao fogo

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos a temperaturas distintas, temperatura ambiente (33,2°C), 250°C, 500°C, 750°C e 1000°C, por meio de uma mufla (Figura 26), o que possibilitou fazer uma programação nos ciclos de aquecimento. Os corpos de prova foram mantidos 30min em cada faixa de temperatura (Figura 27) e levados para o resfriamento.

Figura 26 - Mufla utilizada nos experimentos.



Fonte: A autora, 20019.

Figura 27 - CP's após serem submetidos 30min a alta temperatura (750°).



Fonte: A autora, 2019.

Para o ensaio de resistência a compressão foram utilizados três corpos de prova para cada faixa de temperatura, onde tinha-se o traço convencional (1 unidade), o adicionado a 30% (1 unidade), e com adição de 50% (1 unidade), Figura 28.

Figura 28 - Separação de corpos de prova para rompimento.



Fonte: A autora, 2019.

Os corpos de prova foram rompidos após passarem pelo resfriamento brusco, processo esse que prejudica ainda mais a resistência do material e o que acontece em casos reais de incêndio, Figura 29. Esse processo deu-se para os corpos de prova das cinco faixas de temperatura, totalizando 15 corpos de prova rompidos. O rompimento aconteceu de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), Figura 30.

Figura 29 - Resfriamento brusco dos CP's.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 30 - Rompimento dos CP's.



Fonte: A autora, 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ensaio Térmico

Para o ensaio térmico do revestimento, foram produzidas 3 paredes de alvenaria, não estrutural, onde uma de suas faces foi direcionada diretamente para receber incidência solar e a outra face recebeu o revestimento a ser analisado. Após aplicação do revestimento em parede, foram desenhados 10 quadrados em cada parede, onde cada um desses representava um ponto a ser medido, totalizando 30 pontos por medição.

Com o auxílio do termômetro de infravermelho, foram realizadas leituras de temperatura no revestimento aplicado sobre cada parede, um com cada porcentagem de argila, as leituras ocorreram a cada 30min, começando de 10:00 da manhã e terminando às 16:00 do mesmo dia. Após a finalização das medições, os dados foram colocados em planilha, onde foi realizado uma média de cada ponto, por tipo de traço (argamassa convencional e aditivadas), chegando-se aos valores apresentados na tabela 12 e no gráfico 01.

Tabela 12 - Resultado médio da análise térmica do revestimento das paredes (°C).

ARGILA	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	PONTO 8	PONTO 9	PONTO 10
0%	43,15	43,08	44,29	43,34	43,48	43,21	42,35	41,20	42,78	43,72
30%	40,93	41,08	41,48	41,83	41,29	41,59	41,68	40,81	41,98	41,19
50%	39,82	40,07	39,56	39,36	39,32	39,88	39,60	39,73	40,25	39,52

Fonte: A Autora, 2020.

Tabela 13 - Desvio Padrão dos resultados do ensaio.

PAREDE/ ARGILA	PONTO1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	PONTO 8	PONTO 9	PONTO 10
0%	0,277	0,838	3,171	3,529	3,541	3,560	3,585	3,013	4,088	4,023
30%	1,210	1,176	1,303	2,287	2,103	2,486	2,941	2,709	3,711	1,981
50%	1,185	0,918	1,488	1,832	1,507	1,376	1,984	2,245	3,658	2,906

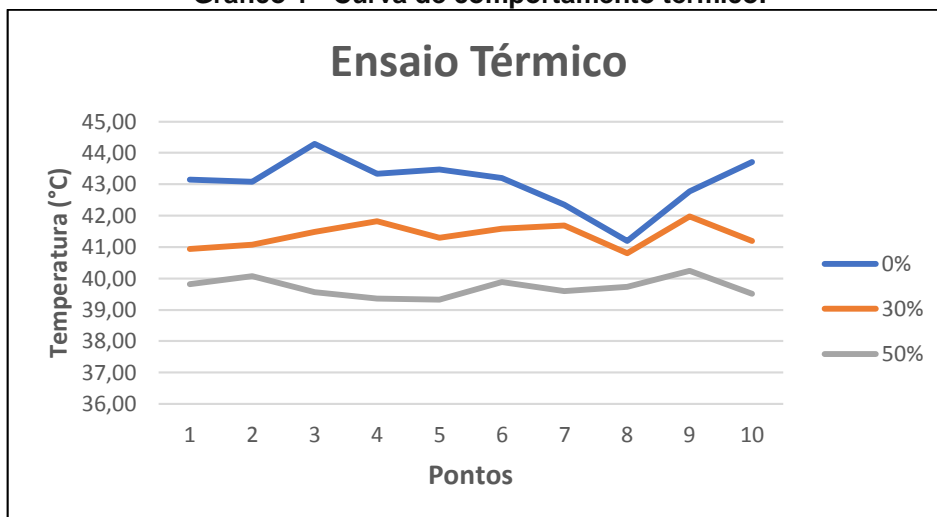
Fonte: A Autora, 2020.

Tabela 14 - Coeficiente de variação (%).

PAREDE	PONTO1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7	PONTO 8	PONTO 9	PONTO 10
0%	0,006	0,019	0,072	0,081	0,081	0,082	0,085	0,073	0,096	0,092
30%	0,030	0,029	0,031	0,055	0,051	0,060	0,071	0,066	0,088	0,048
50%	0,030	0,023	0,038	0,047	0,038	0,035	0,050	0,056	0,091	0,074

Fonte: A Autora, 2020.

Gráfico 1 - Curva de comportamento térmico.



Fonte: A Autora, 2020.

Observou-se uma redução de temperatura entre os revestimentos, onde no traço com adição de 50% de argila apresentou aproximadamente 3,6 °C, em relação ao revestimento convencional (sem adição de argila) e menor variação entre a temperatura dos pontos da mesma parede.

Tratando dos pontos localizados em cada parede, foi possível observar uma variação considerável entre os pontos da argamassa convencional, variando quase 3°C (6,3%) do ponto 6 para o ponto 8, da mesma parede, no horário de 12h:30min. No revestimento com adição de 30%, foi possível observar que a média de suas variações, coletadas das 10h:00min às 16h:00min, corresponderam a temperaturas entre 40,81°C à 41,98°C.

Segundo Granja e Labaki (2004), Sacht, (2008), Díaz et al. (2010) e Andiç-Çakir et al. (2012), foi observado que vedações/revestimentos de misturas cimentícias tradicional e de argila expandida apresentam comportamento distinto em relação à onda térmica, a partir da diferença de massa específica que cada um apresenta, transferindo ondas de calor diferentes.

Segundo estudos realizados por Eurolight (1998) e Holm, Bremmer (2000), a maior vantagem da argila expandida adicionada em concretos e revestimentos é a redução da absorção e da transferência do calor proveniente da radiação solar. A redução ocorre em diferentes graus, variando de acordo com a espessura do revestimento empregado.

Este comportamento é semelhante ao ocorrido na argamassa contemplada no presente estudo, observou-se uma redução de temperatura das

paredes, considerando-se a parede revestida com argamassa convencional a base de referência. No revestimento base foram registradas temperaturas acima de 43°C (em todos os horários), chegando a apresentar temperatura acima de 44°C (ponto 03, no horário das 11:00 e das 12:00 até às 15:00), a mínima registrada para essa parede foi de 35,3°C (Ponto 07 e 09, no horário das 16:00), mostrando grande oscilação de temperatura em pontos com pequena, causando total desconforto para os que estão nesse ambiente.

O revestimento com adição de 30% de argila, apresentou uma redução média de 1,67°C (3,7%), comparado com o revestimento convencional, registrando sua maior temperatura em 41,98°C (Ponto 09). Foi observado uma variação menor de temperatura entre seus pontos, onde a maior parte deles registrou temperaturas na casa dos 41°C, registrando sua temperatura mínima em 40,81°C, no ponto 08.

Na parede com aplicação do revestimento com adição de 50% da argila expandida, foi verificado uma redução média de 3,65°C (8,5%), em relação ao revestimento base, sua maior temperatura ocorreu no ponto 09 (40,45°C). Ocorreu uma proximidade maior nas temperaturas de cada ponto, o que nos leva a concluir que quanto maior for a porcentagem de argila no revestimento, maior será a constância da temperatura registrada. A menor temperatura registrada foi de 39,32°C (Ponto 05).

O desvio apresentado na tabela 13, nos mostra desvios de até 4,088 (Ponto 09 da parede sem adição de argila), o que nos diz que não houve uma uniformidade nos resultados médios do ensaio. Com isso podemos tomar que os resultados não apresentaram homogeneidade nos dados.

A tabela 14, nos apresenta o coeficiente de variação do ensaio, trata-se da relação desvio padrão dividido pela média de cada ponto da parede, ele nos mostra a variabilidade dos dados ensaiados. No ponto 01 (Parede 0%), encontramos baixa dispersão (variação menor que 15%), nos pontos 01 (Parede 30% e 50%) e 02 (Paredes 0%, 30% e 50%) foram encontradas média dispersão (variação de 15% a 30%) e para os demais pontos das três paredes ensaiadas, foram encontradas altas dispersões (variação acima de 30%).

revestimento com adição de 30% apresentou redução em torno de 1,1dB (142,98%), comparado com o revestimento sem adição de argila.

Segundo a NBR 15575 (2013), a utilização de agregados leves, em substituição ou acréscimo aos agregados convencionais, promovem um aumento de aproximadamente 50% da atenuação acústica e, diminuição de 70% da condutividade térmica. Desempenhos que garantem melhores isolamentos acústicos e térmicos, quanto maior a proporção/adição de argila utilizada nos revestimentos, maior será o isolamento proporcionado por ele.

Diversas pesquisas foram realizadas no sentido de melhorar as propriedades acústicas dos elementos cimentícios, como a de Carbajo et al. (2015) e Aliabdo et al. (2015), que incorporaram a argila expandida a estas misturas, e obtiveram resultados expressivos diante das características acústicas estudadas.

Segundo pesquisa realizada por Sukontasukkul (2009), misturas cimentícias que possuem alto nível de vazios, em sua composição, apresentam comportamento acústico superior, isso ocorre pela grande redução da massa específica deste material.

Kim et al. (2012), em uma de suas averiguações, ressaltou que os vazios que existem nas matrizes da pasta de cimento tem influência direta com o comportamento acústico da mistura, principalmente quando analisados quanto aos seus formatos. Segundo Park et al. (2005), utilizando-se agregados leves, como adição ou substituição do agregado convencional, exercem pouca influência na absorção acústica, comparado aos índices de sua matriz, apesar de que a porosidade do agregado corrobore para o isolamento acústico.

O comportamento da argamassa verificada assemelhou-se ao discutido em trabalhos anteriores, onde foi observado que ao acrescentar uma quantidade maior da argila expandida laminada reduziu-se a recepção sonora dentro dos ambientes. Tomando como parâmetro o revestimento sem adição de argila (0%), verificamos que na frequência de 20,2dB foi possível reduzir 2,3dB (58,95%) com a adição de 30% do agregado de argila expandida e que para a adição de 50% foi alcançada uma redução de 3,1dB (79,49%).

Para a análise feita na faixa de 32,8dB, foi encontrado uma redução de 2,10dB (110,05%), no revestimento com adição de 30% e 4,6dB (243,01%) no revestimento com adição de 50% de argila expandida. A frequência de 50,1dB foi a faixa que apresentou menor redução sonora, chegando a 3,7dB, no traço correspondente a argamassa aditivada com 50% de argila expandida. A frequência de 83,2dB, também apresentou grande redução nas dosagens analisadas, alcançando 3,7dB (194,3%).

A frequência que mais obteve-se redução foi a de 68,3dB, onde foi possível alcançar o número de 6,3dB (266%), no traço com adição de 50% de argila expandida. Confirmando estudos anteriores sobre o assunto, onde foi constatado que quanto maior a quantidade do agregado leve na mistura (no presente estudo, argila expandida), maior será a redução sonora obtida.

5.3 Resistência ao Fogo

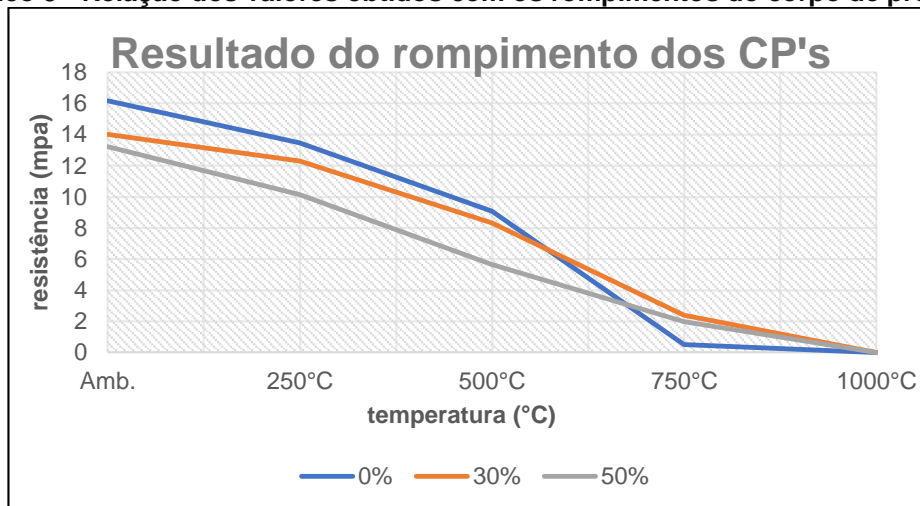
Inicialmente os corpos de prova foram submetidos a cinco faixas de temperatura por 30 minutos cada, 33,2°C (ambiente), 250°C, 500°C, 750°C e 1000°C, com uma taxa de aquecimento de 25°/min. Após esse período os CP's foram submetidos ao resfriamento de forma brusca e ao rompimento por compressão, conforme a NBR 7215 (1996). Na tabela 14 e no gráfico 03 encontram-se os valores das resistências à compressão (MPa) das amostras de argamassa submetidas às diferentes temperaturas.

Tabela 16 - Valores obtidos no rompimento dos CP's (Mpa).

Temp. (°C)	Adição de argila %		
	0%	30%	50%
Ambiente	16,18	14,01	13,23
250°C	13,45	12,29	10,13
500°C	9,08	8,31	5,66
750°C	0,5	2,4	1,98
1000°C	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autora, 2020.

Gráfico 3 - Relação dos valores obtidos com os rompimentos do corpo de prova.



Fonte: A autora, 2020.

Observa-se uma redução na resistência a compressão até a faixa de temperatura de 500°C, quando comparada a argamassa de referência (com 0% de argila expandida). Nas amostras submetidas a faixa de 750°C foi possível observar um aumento em sua resistência, com maior percentual para os CP's adicionados de 30% de argila. Para as amostras expostas a 1000°C não foi possível realizar os ensaios de resistência a compressão, pois os CP's sofreram estilhaçamento violento dentro da mufla.

Nos estudos realizados por Culfik e Ozturan (2012), utilizando argamassa sem aditivos, foi observado que após o aumento da temperatura a argamassa apresentou uma queda na resistência a compressão dos corpos de prova, pois todos os materiais sofrem perda de resistência quando submetidos a altas temperaturas.

Nas pesquisas realizadas por Yazici, Sezer e Sengul (2012), foi observado uma diminuição contínua na resistência a compressão (argamassa sem nenhum aditivo ou acréscimo de suas propriedades), encerrando o ensaio com cerca de 53% menos resistência na temperatura de 600°C. Eles ainda afirmam que quando a argamassa recebe adição de sílica ativa tem-se um ganho de resistência em algumas faixas de temperatura.

Seguindo os estudos citados, Morsy et al (2012), verificou que a argamassa perde resistência em algumas faixas de temperatura, mas que a partir de 450°C ela apresenta ganhos de resistência. Esse acréscimo se dá pela

adição de algum material que possibilite o melhoramento de uma ou mais propriedades da argamassa.

A hipótese é aceita por Kim, Yun e Park (2013), que evidenciam que na faixa de 100°C ocorre a evaporação de água superficial, ocorrendo um aumento na porosidade e diminuição na densidade. Para a faixa de temperatura entre 400°C e 700°C ocorre os principais processos de desidratação interna e mudanças físicas na pasta de cimento, tendo como consequência o início do aparecimento de fissuras. E na faixa de 700°C a 1000°C ocorre a desidratação completa e fendas de expansão térmica, podendo ocorrer lascamentos da amostra.

Este comportamento é semelhante ao ocorrido na argamassa contemplada no presente estudo, observou-se uma queda na resistência à compressão nos corpos de prova submetidos a temperaturas até 500°C, onde constatou-se uma redução de 62% de resistência a compressão e uma desidratação superficial completa, começando a aparecer fissuras minúsculas nas amostras testadas, Figura 31. O ganho na resistência ocorreu na faixa de 750°C, com um ganho de 480% em relação ao corpo de prova referência (com adição de 0% de argila expandida).

Figura 31 - Fissura em CP's após o aquecimento à 500°C.



Fonte: A autora, 2019.

Para os corpos de prova aquecidos na faixa de 750°C, foi observado uma coloração rosácea após sua saída da mufla, esfarelamento superficial e fissurações/trincas mais profundas. A trinca apareceu nos CP's que não possuíam argila expandida em sua composição (Figura 32), condizendo com estudos já realizados antes (análises que demonstram que o diâmetro máximo

do agregado graúdo, porosidade e a composição mineralógica influencia diretamente no engrenamento dos agregados entre as faces das fissuras (MEHTA e MONTEIRO, 2008)), nos casos dos CP's com 30 e 50% de argila ocorreram esfarelamento (Figura 33) e leves fissuras/microfissuras (Figura 34).

Figura 32 - Trinca profunda nos CP's com 0% de argila.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 33 - Esfarelamento superficial, adição de 30% de argila expandida.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 34 - Fissuras leves, adição de 50% de argila expandida.



Fonte: A autora, 2019.

Nos corpos de prova na faixa de 1000°C foi observado um estilhaçamento violento (Figura 35), ainda dentro da mufla, o que impossibilitou a realização do ensaio a compressão. Segundo Costa, Figueiredo e Silva (2002), em estruturas compactadas e que possuem baixa porosidade, existe dificuldade no transporte de vapores formados no centro da peça durante o aquecimento. A pressão exercida por esses vapores aumenta excessivamente nas camadas mais próximas da superfície, ocasionando o estilhaçamento violento na região periférica da peça ou elemento estrutural, denominado de spalling. O que nos permite observar que esse fenômeno ocorreu do estudo em questão.

Figura 35 - Corpos de Prova após explosão dentro da mufla.



Fonte: A autora, 2019.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado a análise da adição da argila expandida laminada em argamassa de revestimento, afim de conhecer o seu comportamento frente aos parâmetros térmicos, acústicos e de resistência ao fogo, nas proporções de adição de 30% e 50% do material agregado. Dentre os métodos de análise utilizados foram obtidos dados que vão de acordo com o referencial apresentado e com estudos antes realizados, reafirmando a eficácia do material.

De forma geral, pode-se concluir que:

Ao acrescentar quantidades maiores do agregado leve, maiores resultados térmicos são alcançados, obtendo reduções de até 3,34°C, além de proporcionar menor variação de temperatura dentro dos ambientes, proporcionando maiores benefícios, para a construção e para os que usufruírem do imóvel.

Foram obtidas reduções significativas de ruídos dentro dos ambientes revestidos com a argamassa aditivada, onde constatou-se que quanto maior a proporção adicionada do material, maior a redução alcançada. Para as frequências ensaiadas, a redução atingiu o número de 6,3dB, comparado com a argamassa sem adição o agregado leve, o que corresponde a redução de 266% de ruídos.

Nas amostras de argamassa submetidas a temperaturas de até 500°C, nota-se que os cp's sem adição de argila expandida possuem uma resistência a compressão maior que as amostras aditivadas, nos permitindo concluir que a argila não possui resistência em temperaturas mais amenas.

Nas amostras expostas a altas temperaturas (750°C) a adição da argila proporcionou um ganho satisfatório na resistência a compressão, permitindo-nos afirmar que as propriedades da argila são ativadas sob altas temperaturas e que ao serem atingidas proporcionam grandes ganhos ao material e/ou mistura ao qual são agregadas.

Contudo, conclui-se que a argila expandida contribui grandemente para o avanço da tecnologia de materiais cimentícios. A alta porcentagem de sílica em

sua composição traz grandes benefícios, como: maior durabilidade, coesão, capacidade de aderência, resistência a agressões físicas e químicas, diminuição do processo de exsudação, entre outros. Além da sua porosidade trazer um excelente desempenho acústico e térmico para o material ao qual ele for empregado.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

No decorrer da pesquisa para o presente trabalho, surgiram outras possibilidades de propostas para novas investigações, que poderão auxiliar o desenvolvimento de análises futuras tanto no estudo de argamassas como da argila expandida. Desta forma, segue como proposta os seguintes temas:

- Utilização de outros tipos de argamassa, traços e aglomerantes, tais como outras proporções;
- Uso da argamassa aditivada com argila expandida em pó pra análises laboratoriais mais amplas, como ensaio de módulo de elasticidade, absorção de água, tração, compressão e aderência;
- Análise da resistência da argamassa com adição da argila expandida em pó, aquecimento sob mufla, estufa e simulação de incêndio;
- Análise da resistência da argamassa com adição da argila expandida em pó submetida a altas temperaturas e diferentes métodos de resfriamento;
- Custo-benefício da adição da argila expandida em pó para argamassas de revestimento;
- Uso da argamassa aditivada com argila expandida laminada e pó de borracha de pneu para análises mecânicos, físicos e térmicos;
- Análise do revestimento aplicado a diferentes superfícies, submetidos a altas temperaturas, aquecidas em mufla, estufa e simulação de incêndio.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Revestimentos de Argamassas**. Editora: Ordem dos Engenheiros do Norte. 2002.

ALIABDO, A. A.; ABD ELMOATY, A. E. M.; ABDELBASET, M. M. **Utilization of waste rubber in non-structural applications**. Construction and Building Materials, v. 91, p. 195–207, 2015.

ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. **Ensinaamentos a retirar do passado histórico da argamassa**. Paper 51 – Congresso Apfac. Portugal 2005.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry – **ASTM C780**. Philadelphia, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. Standard methods for fire tests of building construction and materials – **ASTM E119**. Philadelphia, 2008.

AMORL - Associação Mineira de Otorrinolaringologia. **Danos causados por ruídos**. Disponível em: <http://amorl.com.br/> Acesso em: 22 de dezembro de 2019.

ANDIÇ-ÇAKIR, O; HIZAL, S. **Influence of elevated temperatures on the mechanical properties and microstructure of self consolidating lightweight aggregate concrete**. Construction and Building Materials, p.575-583, 2012.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. 156 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANTUNES, G. R. **Estudos de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachadas em Brasília. Sistematização da incidência de casos**. 2010. 190 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) Universidade de Brasília. Brasília, DF.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10636**: Parede divisória sem função estrutural-Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos-Preparo de mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, p.6, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica-Terminologia. Rio de Janeiro, p.10, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos-Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO - **ABRAPEX**. O que é EPS. 2017. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/links.html>. Acesso em: 28 de junho de 2020.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4ª edição, O nome da rosa editora Ltda. São Paulo/SP, 2008.

BANDEIRA, A. F. D. **Caracterização de Argamassa de cal aérea de hidráulica natural de metacaulino**. Evolução com a idade. Dezembro de 2012. Lisboa-Portugal. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10362/8539-faculdadeciênciasetecnologias>>

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. **Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone**. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

BELAVICQUA, P.; FERRERA, G. **Comminution of porous materials**. International Journal of Mineral Processing, v.44-45, p.117-131.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BOYTON, R. S. **Chemistry and technology of lime and limestone**, 2º edição. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons, INC. 1980.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION – BIA. **Technical Note 16: Fire resistance of brick masonry**. Reston, VA, 2008. 16 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Mortar. Methods of test for mortar and screed. Chemical analysis and physical testing. **BS 4551**. Reino Unido. 2005 + A2: 2013

BUCHANAN, A. H. **Structural design for fire safety**. Canterbury: John Wiley & Sons, 2002. 421 p.

CALIXTO, J. M.; GOMES, L. C.; PIMENTA, R. J.; MONTEIRO, R. C.; MELO, C.; ROCHA, G. G. **Concreto Estrutural Leve: Exemplo de aplicação**. IBRACON, 2001. 14p.

CAMARGO, M G; FURLAN, M, M, D, P. **Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura**. Revista Saúde e Pesquisa, v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011 - ISSN 1983-1870

CARBAJO, J. et al. **Acoustic properties of porous concrete made from arlite and vermiculite lightweight aggregates**. Materiales de Construccion, v. 65, n. 320, 2015.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais**. 1ª ed. ISAIA, Geraldo Cechella– São Paulo: IBRACON, 2007, Cap. 26 – Argamassas, pág. 863 a 904. Volume2.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**, Org. G.C. Isaia, 2ª ed., IBRACON, São Paulo. 2010.

CARVALHO, M. L. U. **Resíduos de poli (tereftalato de etileno) e de pneu na confecção de pisos flutuantes para o isolamento do ruído de impacto**. 2009. 110 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2009.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

CHEN, X. T.; DAVY, C.A.; SHAO, J. F.; SKOCZILAS, F. **Experimental and micro-mechanical analysis of the mechanical and transport properties of mortar containing heat-induced micro-cracks**. Cement and Concrete Research. 2010. V. 32, p. 672-685.

CINEXPAN. **Ficha Técnica da Argila Expandida – Referência Laminado de 2,5 mm**. Disponível em <<https://www.cinexpan.com.br/argila-expandida-lamcinexpan.html>> Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada**. 2013. 154f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Carlos, São Carlos, 2013.

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2009. 142 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.

CORREA, J. R.; LIMA, J. S.; BRITO, j. de. **Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates**. Cement e Concrete Composites. 2014. V. 53, n 10, p. 187-199.

COSTA, I. **Estudo comparativo entre argamassas de revestimento externo: Preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central**. 2016. Monografia (especialização em Engenharia Civil). Univates. Lajedo, Rio Grande do Sul. 2016.

COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D. DE; SILVA, V. P. e. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**. IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro. 17 de julho de 2002.

CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B. de. **Revestimento decorativo monocamada: produção e manifestações patológicas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – 2005. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDFs%20outros/BT389-%20Crescencio.pdf>>. Acesso em 017 de mar. de 2020.

COUTINHO, A. de S. **Fabrico e Propriedades do Betão**. 3.ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, 1997. Volume I.

CULFIK, M. S.; OZTURAN, T. **Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar**. Cement e Concrete Research. 2002. V. 32, p. 809-816.

CUOGHI, R. S.; FIGUEIREDO, A. D. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio** -- São Paulo: EPUSP, 2007. 31 p. – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/463.

DÍAZ, J.J.C.; GARCÍA NIETO, P.J.; HERNÁNDEZ, J.D.; RABANAL, F.P.A. **A FEM comparative analysis of the thermal efficiency among floors made up of clay, concrete and lightweight concrete hollow blocks**. Applied Thermal Engineering, p.2822-2826, 2010.

Eurolight – Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. **LWAC Materials Properties, State-of-the-art**. Project BE96-3942/R2, Noruega, 1998.

FIGUEIREDO, A. D.; COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas**. SEMINÁRIO INTERNACIONAL NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: NUTAU/FAU-USP, 2002.

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz. **RISCOS FÍSICOS**. Disponível em: http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/virtual%20tour/hipertextos/up1/riscos_fisicos.html. Acesso em: 13 de janeiro de 2020.

GARCIA, D. **Análise do isolamento sonoro de sistemas construtivos residenciais estruturadas em aço**. 2004. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Florianópolis, 1992. 600p. INTERNATIONAL STANDART. **Acoustic – Rating of Sound Insulation in Buildings and of Buildings Elements**, Part 2: Impact sound insulation. ISO 717- 2 2nd ed. 1996. 12p.

GRANJA, A.D.; LABAKI, L.C. **Paredes orientadas a leste e a oeste: uma abordagem crítica em relação ao conforto e à eficiência energética**. In: Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, v.4, n.4, p.65-75, 2004.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 2002. 341p.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. Brasília, 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

HOLM, T. A.; BREMNER, T. W. **State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine environments**. US Army Corps of Engineers – Engineer Research in Development Center, ERDC/SL TR-00-3, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 834-1**: Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements. Genebra, 1999.

KIM, H. K.; JEON, J. H.; LEE, H. K. **Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air**. Construction and Building Materials, v. 29, p. 193–200, 2012.

KIM, K. Y.; YUN, T.S.; PARK, K.P. **Evaluation of pore structures and cracking in cement paste exposed to elevated temperatures by X-ray computed tomography**. Cement and Concrete Research. 2013. V. 50, p. 34-40.

KIRCHOFF, L. D. (2010). **Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 262p.

KREITH, F.; BOHN, M.S. **Princípios de Transferência de Calor**. Editora Edgard Blucher, São Paulo. 2003.

LAMBERTS, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. **“Eficiência energética na arquitetura”**, Procel, Rio Janeiro. 2012.

MAI, Dieter. **Cement-Based Mineral-Containing Passive Fire Protection for Underground Structures** [Fourth International Symposium on Sprayed Concrete, 2002 – MBT (Schweiz) AG, R&D Underground Construction, Zurich, Switzerland]

MALINOWSKI, R – **Ancient mortars and concrets: Aspects of their durability, in Histoire of technology**, 7th Annual volume, Mansell U.K., 1982, p. 89-101.

MARGALHA, M. (2011) – **Argamassas**. Documento de apoio às aulas de conservação e recuperação de patrimônio, Universidade de Évora.

MARGALHA, M. G. **Revestimento em Alvenarias Antigas**. Revista nº 13 da Direção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais. Setembro de 2000. P.145-149.

MEHTA, P. Kumar & MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo, IBRACON, 2008. 660p.

MEHTA, P. K, MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. IBRACON, 2014.

MÉNDEZ, A., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.

MORALES, G.; CAMPOS, C.; FAGARELLO, A. M. P. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, jan./mar. 2011

MORAVIA, W. G. et al. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Cerâmica. Belo Horizonte, v.52, p193-199, 2006.

MORSY, M. S.; AL-SALLOUM, Y. A.; ABBAS, H.; ALSAYED, S. H. **Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures**. Construction and Building Materials. 2012. V.35, p.900-905.

NADJAI, A. et al. **Compartment masonry walls in fire situations**. Fire Technology, v. 42, n. 3, p. 211-231, 2006.

NEUBAUER, P. M. **Madeira natural – assoalho e tacos – quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1982. 828p.

NGUYEN, T. et al. **The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks**. Fire Safety Journal, v. 44, n. 4, p. 629-641, 2009.

NWCMA - NORTHWEST CONCRETE MASONRY ASSOCIATION – **Concrete Masonry Fire Resistance**. TEK Note. Lynwood, WA, 2005. 4 p.

OLIVEIRA, L. A. P. de. **Estimativa da resistência ao fogo de paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico**. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, nº 05, dezembro 1998. 10 p. Disponível em: <<http://bt.fatecsp.br/>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2019.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

OSHAN, N.; OYSU, C; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. **Rheological analysis of ceramic pastes**. *Journal of the European Society*, v. 19, 1999. p. 2883-2891.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. **Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto**. Revista: Cerâmica 64, 2018.

PARK, S. B.; SEO, D. S.; LEE, J. **Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio**. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 9, p. 1846–1854, 2005.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

PENEDO, R. C. T.; OITICICA, M. L. G. R. **Isolamento sonoro aéreo de partições verticais de um apartamento em Maceió-al-brasil**. Revista: PARC

Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 2, p. 7-14, jul./dez. 2014

PEREYRON, D. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Joinville, 2017.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. 1ª ed. DIPUCRS. Porto Alegre/RS, 2007.

RIBEIRO, L. B. **Conforto Térmico e a prática do projeto de edificações: recomendações para Ribeirão Preto**. 2008. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Carlos. São Carlos, São Paulo. 2008.

RIVERO, R. **Arquitetura clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzatto/UFRGS, 1985.

ROSELLO, M. T. V. *Morteros de cemento para albanileria*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1976. 55 p.

ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina. 2011.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve de Alto Desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos – dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos -formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. 207 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Setor de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p. 54. Disponível em: <<http://pcc5304.pcc.usp.br/Aulas/Tese%20Sabbatini/TeseSabbatini%202007-v5.pdf>> Acesso em: 24 de mar. 2020.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: Avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. Dissertação de mestrado, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

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

SANTOS, L. D.; AMARAL, F. F.; SOMMERFELD, K. C. **SISTEMA DE REVESTIMENTO COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA: um estudo de caso em Belo Horizonte, Minas Gerais.** Revista: Pensar Engenharia, v.2, n. 2, Jul./2014.

SCHAFER, M. **Análise da Influência de Elevadas Temperaturas em Revestimentos de Argamassa.** 2015, 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS. 2015.

SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla.** 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** São Paulo, 1989. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA JÚNIOR, F. A. da. **Avaliação do efeito da adição do resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formação de compósitos cimentícios.** 2014. 184f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Curitiba. 2006. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

SILVA, V. P. et al. **Segurança das estruturas em situação de incêndio.** In: SEITO, A. I. et al. (Coord.). A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-167.

SOUZA, A. A. A. **Influência do Tipo de Agregado nas propriedades Mecânicas do Concreto Submetido ao Fogo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Brasília, Campinas. 169p. 2005.

SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANCA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** São Carlos, SP: Ed. UFSCar, 2006.149p.

SUKONTASUKKUL, P. **Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel.** Construction and Building Materials, v. 23, n. 2, p. 1084–1092, 2009.

TESSARI, J. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil.** 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THINK BRICK AUSTRALIA. **Design of clay masonry walls for fire resistance. Baulkham Hills**, 2006. Disponível em <<http://www.thinkbrick.com.au/brick-data.cfm>>. Acesso em 26 de novembro de 2019.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/252. São Paulo: EPUSP, 2000. 31 p.

VAZ, F.H. B.; CARASEK, H. **Resistência de aderência de revestimento de argamassa – contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema**. Revista: Cerâmica, volume 65, nº 374. São Paulo. Junho 06,2019.

VITRÚVIO – **Tratado de Arquitectura**, tradução do latim por M. Justino Maciel, I.S.T, Lisboa, 2006.

WATANABE, P. S. **Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações**. Bauru (São Paulo): Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus Bauru. 2008. 201 p. (Relatório Final, 06/55978-1).

WENDT, S. C. **Análise da Mudança de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 188p. 2006.

YAZICI, S.; SEZER, G.I.; SENGUL, H. **The effect of high temperature on the compressive strength of mortars**. Construction and Building Materials. 2012. V. 35. P. 97-100.

YUZER, N.; AKOZ, F.; OZTURK, L.D. **Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature**. Cement and Concrete Research. 2004. V. 34, n 10, p. 1803-1807.

APÊNDICES

Apêndice 01: Planilha para coleta de dados do ensaio de ruídos.

PLANILHAS COM DADOS/RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS NAS PAREDES (TESTES TÉRMICOS)										
Discente		Eva Mariana Souza Gomes					Data			
Orientador		Rogério de Jesus Santos								
Co-orientador		Alverlando Silva Ricardo								
ANÁLISE DE REVESTIMENTO ADITIVADO COM ARGILA EXPANDIDA LAMINADA										
Hora	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09	Ponto 10
10:00										
10:30										
11:00										
11:30										
12:00										
12:30										
13:00										
13:30										
14:00										
14:30										
15:00										
15:30										
16:00										

Fonte: A autora, 2020.

Apêndice 02: Resultados coletados no ensaio térmico.

PLANILHAS COM DADOS/RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS NAS PAREDES (TESTES TERMICOS)											
Discente	Eva Mariana Souza Gomes						Data	30/08/2020			
Orientador	Rogério de Jesus Santos										
Co-orientador	Alverlando Silva Ricardo										
ANÁLISE DE REVESTIMENTO ADITIVADO COM ARGILA EXPANDIDA LAMINADA											
Paredes sem adição da argila expandida laminada (0%)											
Hora	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09	Ponto 10	
10:00	43,1	42	41,1	40,6	39,6	39,5	39,3	39,3	39,3	39,3	
10:30	42,9	41,95	47,9	40,2	45	44,2	44,4	43,6	44,9	45,2	
11:00	42,8	42,9	41,5	40,6	40	39,9	38,7	37,4	39,8	40	
11:30	43,7	43,2	40,7	39,6	39,6	39,3	45,9	39	36,8	39,3	
12:00	43,1	44,1	45,1	47,5	46,9	46	45,3	44,6	47,2	48,3	
12:30	42,9	43,2	46,7	45,9	46	46,3	46,1	43,4	46,5	47,5	
13:00	43,4	42,8	46,9	47,3	47,3	47,2	38,1	44	46,9	47,9	
13:30	43,1	43,5	48,8	48	48,2	47,8	46,8	45,6	47,8	48,7	
14:00	43,3	44	44,4	43,8	43,2	43,6	41,7	39,6	42,1	42,6	
14:30	43,6	44,5	47,1	46,1	45,9	45,5	44	41,8	45,3	46	
15:00	43,1	43,3	44,4	44,2	43,8	43,8	43,3	42,2	42	43,6	
15:30	42,9	42,8	42,6	42,6	42,9	42,5	41,7	39,3	42,2	43,6	
16:00	43,05	41,8	38,6	37	36,8	36,1	35,3	35,8	35,3	36,3	
Paredes com adição da argila expandida laminada (30%)											
Hora	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09	Ponto 10	
10:00	39,8	40,7	41,1	40,6	39,6	39,5	39,3	39,3	39,3	39,3	
10:30	39,5	39,8	40,5	40,2	45	44,2	44,4	43,6	44,9	43,2	
11:00	40,12	41,4	41,5	40,6	40	39,9	38,7	37,4	39,8	40	
11:30	42,4	40	40,7	39,6	39,6	39,3	44,6	39	36,8	39,3	

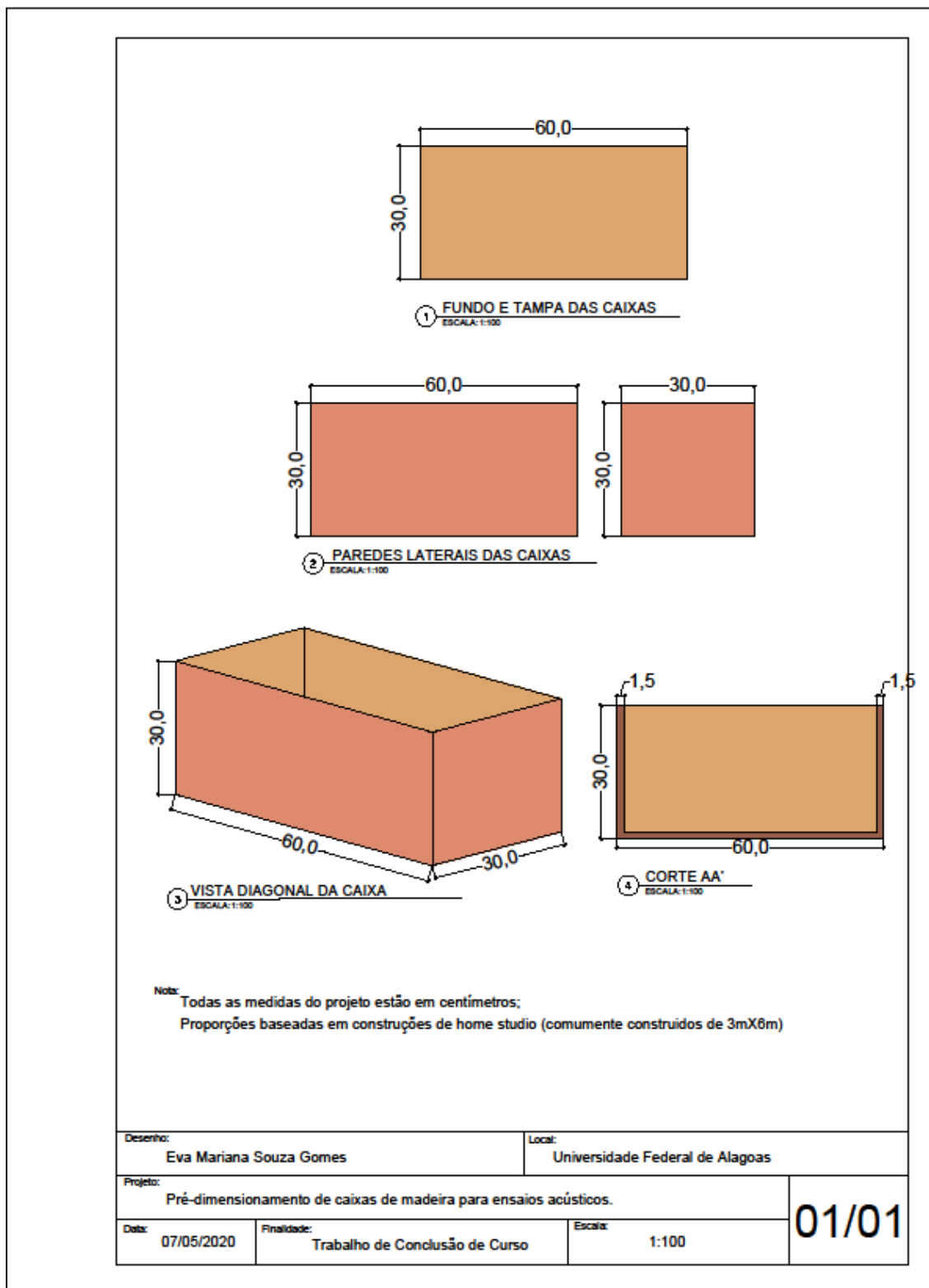
Fonte: A autora, 2020.

Continuação Apêndice 02.

12:00	41,4	41	42,1	41,8	42,4	40	43,9	44,6	47,2	42,1
12:30	40,1	42,1	41,9	45,9	40	44,5	44	43,4	46,5	41,9
13:00	42,3	41,6	43,6	43,5	42,3	42,1	38,1	44	46,9	42,3
13:30	43,1	43,4	42,2	44	43,2	41,8	42,9	40,5	41,9	42,8
14:00	42	42,1	43,5	43,8	42,3	43,6	41,7	39,6	42,1	42,6
14:30	41,3	40	41,6	42,3	41,9	43,1	44	41,8	40,8	43
15:00	40,4	41,3	40,7	41,9	40,8	44,1	43,3	42,2	42	41,6
15:30	39,7	41,6	41,2	42,6	42,9	42,5	41,7	39,3	42,2	41,1
16:00	40	39	38,6	37	36,8	36,1	35,3	35,8	35,3	36,3
Paredes com adição da argila expandida laminada (50%)										
Hora	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09	Ponto 10
10:00	39,6	39,5	37,8	37,1	37,3	37,8	37,8	36,7	36,2	35,5
10:30	39,7	39,8	38,3	40,2	39,8	39,3	39,6	37,8	37,3	36,7
11:00	40,9	39,96	38,9	38,4	38,4	39,4	40,9	40,8	37,7	37,7
11:30	39,3	40	39,4	37,7	38	38	38,4	37,7	37,3	37,3
12:00	40,1	40,1	39,8	41,7	40	41	43,6	42,9	41,8	40
12:30	41,3	40,07	40,1	41,1	40,6	41,4	39,3	40	39,4	44,5
13:00	41,1	41,1	41,7	40,9	40,9	40,7	41	42,7	43,5	42,8
13:30	40,8	41,6	41,4	41	41,1	40,89	39,8	38,3	42,9	42,3
14:00	40,3	40,8	41	40,6	39,9	41	41,6	41,7	41,3	41,7
14:30	39,4	40,9	40,8	40,3	40,3	41,6	39,3	41,9	40,9	41,9
15:00	39,5	39,9	40,1	39,1	40,05	40,3	40,1	40,7	49,4	39,4
15:30	38,9	39,2	38,1	37,7	38,7	39,3	37,6	38,9	38,7	37,9
16:00	36,8	38	36,9	35,9	36,1	37,8	35,8	36,4	36,8	36

Fonte: A autora, 2020.

Apêndice 03: Pré-projeto das Caixas de Madeira



Fonte: A Autora, 2020.

Apêndice 04: Resultado dos Testes Acústicos

PLANILHAS COM DADOS/RESULTADOS DO TESTE ACÚSTIO REALIZADO NAS CAIXAS DE MADEIRA			
Discente	Eva Mariana Souza Gomes		DATA
Orientador	Rogério de Jesus Santos		04/09/2020
Co-orientador	Alverlando Silva Ricardo		
FAIXA TRANSMITIDA	RECEBIDO 0%	RECEBIDO 30%	RECEBIDO 50%
20,2dB	15,4	13,1	12,3
32,8dB	30,9	28,8	26,3
50,1dB	48,5	47,4	44,8
68,3dB	63,6	61,4	57,3
83,2dB	77,4	74,9	73,7

Fonte: A Autora, 2020.