



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



Henrique Emanuel Américo da Silva

## Propriedades térmicas de matrizes cimentícias aplicadas a Habitações de Interesse Social

Ouro Preto

2017

Henrique Emanuel Américo da Silva

Propriedades térmicas de matrizes cimentícias aplicadas a Habitações de  
Interesse Social

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Civil da Universidade Federal  
de Ouro Preto como parte dos requisitos  
para a obtenção do Grau de Engenheiro  
Civil

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Orientadora: Prof. M.Sc. Júlia Castro Mendes

Ouro Preto

2017

S586p

Silva, Henrique Emanuel Américo da .

Propriedades térmicas de matrizes cimentícias aplicadas a Habitações de Interesse Social [manuscrito] / Henrique Emanuel Américo da Silva. - 2017.

58f.:

Orientadora: Profª. MScª. Júlia Castro Mendes .

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto .

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Construção Civil - Argamassa. 2. Condutividade térmica. 3. Calor específico. 4. Habitação popular. 5. Desempenho térmico - Simulação. I. Mendes, Júlia Castro . II. Peixoto, Ricardo André Fiorotti . III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

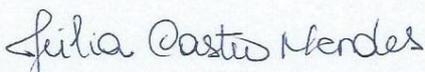
CDU: 624

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

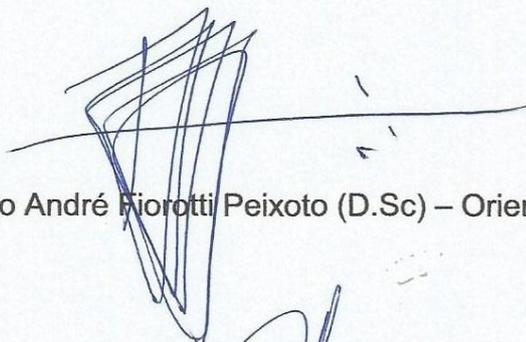
Henrique Emanuel Américo da Silva

PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS APLICADAS  
A HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Monografia de conclusão de curso  
para obtenção do Grau de  
Engenheiro Civil na Universidade  
Federal de Ouro Preto, defendida e  
aprovada em 10 de Agosto de 2017,  
pela banca examinadora constituída  
pelos professores:



Profa. Júlia Castro Mendes (M.Sc) – Orientadora – UFOP



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (D.Sc) – Orientador – UFOP



Prof. José Maria Franco de Carvalho (M.Sc) – UFV

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Carlos e Vânia, por estarem comigo em todos os momentos, incentivando e acreditando no meu potencial. O apoio incondicional de vocês, independentemente de qualquer situação, foi essencial para que eu chegasse até aqui.

À Camila, agradeço pelo carinho e companhia de todos os dias. É maravilhoso ter alguém que te entenda e que possa compartilhar tudo. Além de namorada você se tornou minha melhor amiga e seu apoio foi de grande importância.

Ao grupo RECICLOS sou grato por todas as contribuições e por me permitirem desenvolver este trabalho. Em especial agradeço ao meu professor e orientador Ricardo André Fiorotti Peixoto, pelo conhecimento compartilhado durante a graduação e por ter sido exemplo e incentivo para continuar nessa profissão. À minha orientadora, Júlia Castro Mendes, agradeço pela disponibilidade em todos os momentos e por toda a orientação neste trabalho.

## RESUMO

O setor da construção civil tem papel fundamental no desenvolvimento sustentável no Brasil e no mundo. Neste cenário, destaca-se a importância de edificações que sejam energeticamente eficientes. A diminuição da necessidade de condicionamento artificial dos ambientes internos e a consequente economia de energia estão estritamente ligadas à etapa de planejamento e projeto de uma edificação. Com a adoção de novos materiais e tecnologias como programas de simulação de desempenho nas edificações, é possível melhorar a habitabilidade dos usuários e diminuir o impacto à natureza. Porém, estes programas demandam parâmetros referentes às propriedades dos materiais, que nem sempre são encontrados na literatura. Esse quadro se agrava ainda mais quando se refere a materiais não-convencionais. Portanto, neste trabalho investiga-se as propriedades térmicas (condutividade térmica e calor específico) de matrizes cimentícias convencionais e não-convencionais. As matrizes não-convencionais estudadas são aquelas que apresentam em sua composição materiais diferentes dos tradicionalmente utilizados, como aqueles provenientes da reciclagem de resíduos ou com a adição de um aditivo incorporador de ar. Após a obtenção dessas propriedades, foram realizadas simulações computacionais de desempenho térmico em uma habitação de interesse social. Nas simulações, foram avaliados os seguintes parâmetros: estação do ano (verão e inverno); concentração de aditivo incorporador de ar; utilização de materiais provenientes da reciclagem de resíduos; influência da variação da condutividade térmica; influência da variação da capacidade térmica. Nota-se que as argamassas não-convencionais apresentaram uma condutividade térmica menor que suas respectivas referências. Porém, juntamente com a diminuição da condutividade térmica, observou-se também a redução da capacidade térmica dessas matrizes. Esse comportamento minorou as alterações causadas por elas, fazendo com que a melhora em termos de conforto térmico no ambiente estudado não fosse significativa. Assim, é possível concluir que a busca por matrizes de baixa condutividade térmica e calor específico relativamente alto podem levar a um melhor desempenho térmico e, conseqüentemente, ambiental das edificações no Brasil.

Palavras chave: Matrizes cimentícias não-convencionais, condutividade térmica, calor específico, habitação de interesse social, simulação de desempenho térmico.

## **ABSTRACT**

The civil construction sector plays a fundamental role in the sustainable development in Brazil and in the world. In this scenario, it is important to notice energy-efficient buildings. The decrease in the use of artificial conditioning on indoors environments and the consequent energy saving are strictly linked to the early stages of planning and design of a building. The adoption of new materials and technologies such as performance simulation softwares in buildings, lead to an improvement in the wellbeing of the users and lower environmental impact. However, these programs require the material properties, which are not always available in the literature. This scenario is even more common when it comes to non-conventional materials. Therefore, this work investigates the thermal properties (thermal conductivity and specific heat) of conventional and non-conventional cement-based composites. The non-conventional are composed by exceptional materials, different from what is normally used, such as the ones using residues or with the addition of an air-entraining admixture. After obtaining these properties, computational simulations of thermal performance were performed in a affordable housing unit. When simulating, the following parameters were evaluated: season of the year (summer and winter); concentration of air-entraining admixture; use of recycled materials; influence of thermal conductivity variation; influence of thermal capacity variation. It is noted that unconventional mortars presented a lower thermal conductivity than their respective references. However, together with the decrease in thermal conductivity, the thermal capacity of these matrices was also reduced. This behavior reduced the modifications promoted by them, thus the thermal comfort improvement in the studied environment was not significant. It is possible to conclude that the demand for low thermal conductivity and relatively high specific heat matrices can lead to a better thermal performance and, consequently, environmental sustainability of the buildings in Brazil.

Keywords: Non-conventional cement-based composites, thermal conductivity, specific heat, affordable housing, simulation of thermal performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rejeitos in natura - FV, LV e LR. (a) FV – in natura (b) LV/LR – in natura. .....	18
Figura 2: Projeto da Vila Sustentável. (MENDES, 2015).....	25
Figura 3: Planta de cada unidade residencial. (FRANCO,2015).....	25
Figura 4: Curva granulométrica da areia.....	27
Figura 5: Aditivo incorporador de ar. (MENDES, 2016).....	28
Figura 6: Rejeitos cominuídos - FV, LV e LR. (a) FV cominuída (b) LV cominuída (c) LR cominuída. ....	28
Figura 7: Rejeitos como adição para argamassas - FV, LV e LR. (a) FV como adição (b) LV como adição (c) LR como adição. ....	28
Figura 8: Misturador mecânico de argamassa. ....	29
Figura 9: Tronco-cônico centralizado na mesa para índice de consistência.....	30
Figura 10: Medição do espalhamento da argamassa. ....	31
Figura 11: Equipamento para determinação do Teor de Ar Incorporado da marca SOLOTEST. (MENDES, 2016). ....	31
Figura 12: Princípio de determinação da condutividade térmica do material. (MENDES, 2015). ....	32
Figura 13: Modelagem das placas. ....	33
Figura 14: Determinação da espessura final das placas. ....	33
Figura 15: Equipamento HFM 436 Lambda, da fabricante NETZSCH. ....	33
Figura 16: Modelagem dos corpos de prova para o calorímetro. ....	34
Figura 17: Calorímetro RECICLOS e análise pelo software HOBOWare. ....	34
Figura 18: Preenchimento do calorímetro com água e adição do corpo-de-prova	35
Figura 19: Planta e volumetria da HIS da Vila Sustentável. (Adaptado de Franco, 2015). ....	36
Figura 20: Bloco de alvenaria. (NBR 15220 - ABNT, 2003). ....	37

Figura 21: Bloco revestido com argamassa de assentamento. ....	38
Figura 22: Fator $a/c$ . ....	39
Figura 23: Teor de Ar Incorporado dos traços 1:1:6 e 1:2:9. ....	40
Figura 24: Condutividade térmica das amostras. ....	40
Figura 25: Dados do software HOBOWare para determinação do calor específico .....	42
Figura 26: Calor específico das amostras. ....	42
Figura 27: Massa específica aparente das amostras. ....	43
Figura 28: Variação da temperatura dos ambientes da His com o tempo.....	44
Figura 29: Temperatura média dos ambientes no verão. ....	45
Figura 30: Temperatura média dos ambientes no inverno. ....	45
Figura 31: Temperatura média dos ambientes no verão. ....	46
Figura 32: Temperatura média dos ambientes no verão. ....	47
Figura 33: Temperatura média dos ambientes com a variação da condutividade térmica. ....	48
Figura 34: Temperatura média dos ambientes com a variação da capacidade térmica. ....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de verão. (NBR 15575- ABNT, 2013). .....	23
Tabela 2: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de inverno. (NBR 15575- ABNT, 2013). .....	23
Tabela 3: Massa específica aparente dos rejeitos. ....	29
Tabela 4: Traços e relação em massa detergente/cimento. ....	30

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica.

AIA – Aditivo incorporador de ar

CIB – Conselho Internacional da Construção

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

FV – Fibra de vidro

HFM – Heat Flow Meter

HIS – Habitação de Interesse Social

LAS – Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio

LR – Lã de rocha

LV – Lã de vidro

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

SI – Sistema Internacional de Unidades

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE SIGLAS.....	XI
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa e Relevância.....	16
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Estrutura.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Matrizes cimentícias não-convencionais.....	18
2.2 Aditivo incorporador de ar (AIA).....	19
2.3 Resíduos da Indústria Mineradora e Portuária.....	19
2.3.1 Fibra de vidro.....	20
2.3.2 Lã de vidro.....	21
2.3.3 Lã de rocha.....	21
2.4 Propriedades Térmicas dos materiais.....	22
2.4.1 Condutividade térmica.....	22
2.4.2 Calor específico.....	22
2.4.3 Capacidade Térmica.....	23

2.5	Conforto térmico .....	23
2.5.1	Simulação computacional de desempenho térmico .....	25
2.6	Habitação de interesse social .....	26
2.6.1	Vila sustentável .....	26
3	METODOLOGIA .....	28
3.1	Materiais .....	28
3.2	Processo de mistura das argamassas .....	30
3.3	Traços.....	31
3.4	Ensaio realizado.....	31
3.4.1	Índice de Consistência .....	31
3.4.2	Teor de Ar Incorporado pelo método pressométrico .....	32
3.4.3	Condutividade térmica .....	32
3.4.4	Calor específico .....	34
3.4.5	Massa Específica Aparente.....	36
3.5	Simulação de desempenho térmico.....	37
3.5.1	Cálculo da condutividade térmica do bloco da alvenaria .....	38
3.5.2	Cálculo da condutividade térmica do conjunto bloco e argamassa de assentamento .....	39
4	RESULTADOS.....	40
4.1	Resultado da determinação do fator água/cimento .....	40
4.2	Resultado da determinação do teor de ar incorporado.....	40
4.3	Resultado da determinação da condutividade térmica .....	41
4.4	Resultado da determinação do calor específico .....	42
4.5	Resultado da determinação da massa específica aparente .....	44
4.6	Resultado da simulação computacional .....	45

4.6.1	Análise da variação do teor de AIA na argamassa de assentamento .....	46
4.6.2	Análise da variação do teor de AIA e adição de resíduos na argamassa de revestimento.....	48
4.6.3	Análise dos efeitos da condutividade térmica e da capacidade térmica separadamente.....	50
5	CONCLUSÃO .....	52
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	53
6	REFERÊNCIAS.....	54
7	ANEXO A – SUBMISSÃO IBRACON 2017.....	58

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, buscar um caminho de maior sustentabilidade é tarefa para todos os envolvidos em qualquer atividade, independente do seu setor de atuação. Trata-se de um trabalho coletivo, onde todos os profissionais devem fazer a sua parte e, ao mesmo tempo, incentivar os demais a fazê-la.

Um projeto deve apresentar várias características para que possa ser considerado sustentável. Ele deve ser ecologicamente correto e socialmente justo, sem deixar de ser economicamente viável. Para satisfazer a esses requisitos, destaca-se a eficiência energética como uma das principais premissas (GOULART, 2008).

Pode-se entender a eficiência energética como a obtenção de um serviço com baixo gasto de energia. Seguindo esse raciocínio, um edifício é mais eficiente energeticamente do que outro quando proporciona as mesmas condições de uso com um menor consumo de energia (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).

Nesse contexto, destaca-se a escolha adequada dos materiais em uma edificação como critério essencial. A utilização de materiais adequados diminui a necessidade de condicionamento artificial do ambiente interno durante sua vida útil (OLIVEIRA, 2009). Além disso, são responsáveis também pelas questões de conforto e estética do empreendimento.

O condicionamento artificial nas edificações representa uma parcela significativa do consumo energético nacional. Salienta-se que, com a redução dos preços dos aparelhos de ar condicionado, o crescente desenvolvimento social, e com a construção de edificações não adequadas ao clima, a aquisição desses aparelhos será cada vez maior, problema que tende a ser agravado com o tempo (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).

Voltar a atenção para a sustentabilidade como essencial no setor da construção civil leva ao maior foco nas etapas de projeto (MENDES, 2015 ). Assim, novas metodologias e materiais surgem no mercado, além de programas de simulação de energia em edificações, como o Energy Plus e o Green Building Studio, por exemplo.

## **1.1 Justificativa e Relevância**

Com a crescente utilização de softwares, as propriedades dos materiais de construção civil são cada vez mais demandadas. Dentre esses materiais, surgem as matrizes cimentícias não-convencionais, produzidas a partir de matérias-primas que causam menor impacto ambiental do que as tradicionais. Apesar de diversos pesquisadores já terem atestado a viabilidade técnica e os benefícios que estes produtos podem proporcionar, ainda é necessário aproximá-los do mercado da construção (MENDES, 2015 ).

Diferentemente das características físicas e mecânicas, as propriedades térmicas dos materiais (convencionais e não-convencionais) não são encontradas facilmente na literatura. Um dos fatores que dificultam a disponibilização destes parâmetros é o alto custo dos equipamentos e ensaios necessários para sua obtenção (MENDES, 2015 ). Portanto, o desenvolvimento de metodologias mais aplicáveis é essencial para a evolução e conhecimento nesta área.

Os programas de simulação computacional levam em conta o conforto térmico do ambiente edificado. Além de melhorar as questões de habitabilidade, incluir simulações de desempenho térmico nas etapas de projeto significa reduzir as futuras necessidades de manutenção e condicionamento artificial.

Portanto, o presente trabalho propõe a investigação das propriedades térmicas de materiais de construção civil convencionais e não-convencionais, bem como a avaliação dos mesmos em uma Habitação de Interesse Social através de um programa de simulação computacional.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é obter as propriedades térmicas de matrizes cimentícias e avaliá-las através de um programa de simulação computacional de desempenho térmico em edificações.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Obter as propriedades térmicas (calor específico e condutividade térmica) de matrizes cimentícias convencionais e não convencionais;

- Fornecer à literatura dados referentes às propriedades térmicas de matrizes cimentícias;
- Comparar estes dados com os disponíveis atualmente nas normas técnicas vigentes;
- Simular, utilizando o programa Energy Plus, o desempenho térmico de uma habitação de interesse social;
- Avaliar o impacto dos diferentes traços propostos no conforto térmico das edificações;
- Incentivar o uso de programas de simulação de energia em edificações.

### **1.3 Estrutura**

O capítulo 2 apresenta a Revisão Literária do uso de matrizes cimentícias não-convencionais e das propriedades térmicas dos materiais, além de uma breve descrição sobre conforto térmico e simulação computacional em uma Habitação de Interesse Social. O capítulo 3, “Metodologia”, descreve os materiais utilizados e os métodos de ensaios realizados. Os resultados obtidos são apresentados no capítulo 4 e a conclusão no capítulo 5, avaliando os valores encontrados e apresentando sugestões para trabalhos futuros. Após as Referências, segue um Anexo com uma submissão relacionada a este trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Matrizes cimentícias não-convencionais

Segundo o Conselho Internacional da Construção – (CIB, 2012), os impactos ambientais provenientes do setor da construção civil são expressivos, sendo apontado como o setor que mais consome recursos naturais e energia. Além do consumo intensivo de energia, existem também os impactos causados pela geração de resíduos e sua deposição. Estima-se que a construção civil seja responsável por mais de 50% dos resíduos sólidos provenientes das ações humanas (MMA, 2013). Portanto, é notória a importância deste setor na busca pelos objetivos globais de sustentabilidade.

Por outro lado, com o desenvolvimento tecnológico do processo de reutilização, este mesmo setor possui a capacidade de absorver seus próprios resíduos e até mesmo os provenientes de outros setores (MENDES, 2015 ). A adição da lã de vidro e lã de rocha em matrizes cimentícias foi estudada por Fontes *et al* (2014) e Okada (2013). Dutra (2014) e Santos *et al* (2015) tiveram sucesso ao utilizar rejeito de mineração de ferro silício e quartzito friável na composição de matrizes cimentícias. Januzzi (2014) e Santos *et al.* (2014) utilizaram a escória de aciaria como agregado para blocos e prismas de alvenaria, e França *et al.* (2013) para argamassas de assentamento e revestimento. A utilização de resíduo de barragem de minério de ferro como agregado para argamassas de assentamento e revestimento foi proposta por Fontes *et al.* (2015) e Yellishetty (2008), enquanto Toffolo *et al.* (2014), e o Franco *et al.* (2014) atestaram a viabilidade técnica deste resíduo para concretos.

Estes trabalhos buscam reduzir os impactos ambientais e sociais causados pela deposição de resíduos através do reaproveitamento dos mesmos. Além disso, ao substituir recursos naturais presentes na composição das matrizes, como areia de rio e pedra britada, o reaproveitamento reduz a exploração desses recursos.

Mesmo apresentando diversas vantagens, a utilização de matrizes cimentícias não-convencionais ainda é incomum nas construções. Provavelmente, isso acontece devido ao tradicionalismo na indústria da construção civil e à falta de informações relativas a esses compostos, resultando na resistência a novas metodologias e materiais (MENDES, 2015 ).

## 2.2 Aditivo incorporador de ar (AIA)

Os aditivos incorporadores de ar são compostos por uma classe de substâncias surfactantes. Eles devem ser capazes de gerar microbolhas de ar na pasta de cimento, distribuídas de forma uniforme e estável (PAILLÈRE, 1995). As microbolhas geradas devem resistir ao fenômeno de coalescência (união de bolhas adjacentes formando outras de maior dimensão) (DU & FOLLIARD, 2005); e não devem prejudicar o processo de hidratação do cimento.

Várias empresas produzem aditivos incorporadores de ar, sendo classificados principalmente por sua composição. Os sais de resinas de madeira, os detergentes sintéticos e os sais de materiais proteicos são exemplos de AIA. Dentre estes, destacam-se os detergentes sintéticos, devido ao seu baixo custo de produção e ao seu desempenho como agente (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

Como atestado por Mendes, Moro *et al.* (2017), o Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), componente ativo de detergentes domésticos, é um eficaz agente incorporador de ar. A adição do LAS em dosagens de 0,05% a 0,15% melhora as características da matriz cimentícia sem reduzir significativamente a resistência mecânica, provando ser técnica e ambientalmente viável (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

Os poros promovidos pela incorporação de ar previnem a ascensão de água por capilaridade, sem aumentar a absorção de água, reduzindo as patologias ligadas a esse fenômeno (PINTO, PEREIRA, *et al.*, 2017). O sistema de vazios formado também promove maior isolamento térmico e acústico da argamassa. Além disso, o uso de um AIA melhora a trabalhabilidade da matriz, sua coesão, e reduz sua massa específica (YOUNG, MINDESS, *et al.*, 1998) (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

## 2.3 Resíduos da Indústria Mineradora e Portuária

Embora seja um setor de grande importância nacional, proporcionando riqueza e crescimento econômico, a indústria mineradora gera dezenas de milhões de toneladas de rejeitos anualmente (Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, 2012), causando impactos socioeconômicos e ambientais negativos. Uma das maneiras de mitigar estes impactos é através da reciclagem de rejeitos, cuja indústria da construção civil tem um grande potencial de absorção (BATISTA, *et al.*, 2016).

Somente o Complexo Portuário de Tubarão, pertencente à empresa Vale do Rio Doce, gera cerca de 3 mil toneladas de resíduos por mês, sendo que desse total 12% ainda não possui um destino sustentável (VALE, 2014). Assim, parte do volume de resíduos deste complexo ainda necessita de uma forma de reciclagem, sendo o caso dos resíduos de lã de rocha, fibra de vidro e lã de vidro (SILVA, 2016).

Neste mesmo terminal, são produzidas anualmente 35 toneladas de resíduos de lã de rocha (LR) e lã de vidro (LV), e 20 toneladas de resíduos de fibra de vidro (FV) (VALE, 2014). As lãs são utilizadas como proteção de tubulações e revestimentos de fornos de pelotização, enquanto a fibra de vidro é utilizada como reforço em estruturas de suporte como vigas, telhas e caixas d'água (SILVA, 2016). Quando perdem as suas funções estes materiais são descartados em aterros industriais. A Figura 1 mostra estes rejeitos in natura.



a. FV – in natura

b. LV/LR – in natura

Figura 1: Rejeitos in natura - FV, LV e LR.

### 2.3.1 Fibra de vidro

A fibra de vidro é constituída por substâncias minerais, a partir de uma mistura de quartzo, carbonato de cálcio e carbonato de sódio, disposta em feixes de espessura extremamente fina. Sua obtenção é proveniente da passagem do vidro em fusão por um pequeno orifício, podendo ser produzidas em forma de filamentos contínuos ou fibras picadas (MATHEUS, 2010).

Por ser um material que permite a produção de peças de vários formatos e tamanhos, a fibra de vidro apresenta diversas aplicações. É utilizada na fabricação de aviões, carros, barcos, caminhões, caixas d'água, piscinas e peças para inúmeros fins industriais (REIS, 2004). Na construção civil pode ser utilizada em tubulações, em quadros de distribuição de energia, shafts e painéis de vedação, além de ser a fibra mais utilizada em compósitos com matriz polimérica, devido a características como o

baixo custo, alta resistência à tração e grande inércia química (NETO & PARDINI, 2006).

Além da utilização de um material reciclável, a adição da fibra de vidro em matrizes cimentícias como substituição total da cal pode trazer benefícios como: ganhos de plasticidade, resistência à compressão e tração, diminuição da densidade e capilaridade (OKADA,2013).

### **2.3.2 Lã de vidro**

A lã de vidro é um material isolante constituído de finas fibras de vidro, de maneira a apresentar textura semelhante à lã. Apresenta comprimento variado e diâmetro de 3µm a 6µm aproximadamente, utilizando resinas sintéticas como aglomerantes. Devido a suas características físicas e químicas é largamente utilizada como material de isolamento acústico e térmico (BORGES, 2007).

Fontes (2014) atestou a viabilidade técnica da utilização das lãs de vidro e de rocha em adição ou substituição da cal na produção de argamassas. A adição das lãs moídas aumenta a trabalhabilidade das argamassas, sendo possível a redução de água e o aumento da resistência à compressão e a tração para determinados teores de adição.

### **2.3.3 Lã de rocha**

A lã de rocha é produzida através de um processo de jateamento de ar comprimido e apresenta propriedades e aplicações muito semelhantes à lã de vidro. É uma substância fibrosa inorgânica, utilizada como isolante térmico e acústico, reforço no cimento, isolamento de tubulações, entre outros, atendendo o mercado da construção civil, automotivo e industrial (JIRICKOVÁ & CERNY, 2006).

Em comparação com a lã de vidro, Fontes (2014) atestou que argamassas constituídas com lã de rocha moída apresentam maiores resistências à compressão e tração.

## 2.4 Propriedades Térmicas dos materiais

### 2.4.1 Condutividade térmica

Para se obter conforto térmico em um ambiente, é necessário calcular a sua carga térmica. A carga térmica pode ser entendida como a quantidade de calor sensível e latente que deve ser alterada (retirada ou acrescida) em um recinto, para se alcançar as condições desejadas (CREDER, 2004). Uma das maneiras de reduzir a carga térmica em ambientes é com a utilização de revestimentos com baixa condutividade térmica (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é a medida da habilidade de um material em conduzir energia térmica quando sujeito a uma diferença de temperatura. Segundo Çengel & Ghajar (2012), se considerarmos um sistema em regime estacionário, pode-se determinar:

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{L}{A \cdot \Delta T} \quad (1)$$

A equação 1 relaciona a quantidade de calor  $\Delta Q$  transmitida através de um material de espessura  $L$ , na direção normal à seção reta de área  $A$ , com a diferença de temperaturas nas extremidades  $\Delta T$  em um intervalo de tempo  $\Delta t$ . No Sistema Internacional de Unidades (SI) é medido em unidades de watt por metro kelvin [W/(m·K)] (ÇENGEL & GHAJAR, 2012).

Nos materiais empregados em uma edificação, a condutividade térmica é um parâmetro a ser avaliado, possibilitando, entre outras vantagens, a economia energética de equipamentos condicionadores de ar. Na busca pelo conforto térmico, apresentar propriedades que contribuam efetivamente como elemento construtivo favorece a aceitação de um material no mercado da construção civil (OLIVEIRA, 2009).

### 2.4.2 Calor específico

O calor específico ( $c$ ) de um material é definido como a quantidade de calor necessária para se elevar em uma unidade de temperatura a unidade de massa da substância (FROTA & SCHIFFER, 2001). No sistema internacional sua unidade é expressa em (J/kg.K) e indica a capacidade calorífica do material.

Quanto mais elevado o calor específico de uma substância, maior será a quantidade de calor a ser fornecida ou retirada para alterar a sua temperatura. A água é a substância que apresenta calor específico mais elevado: 4187 J/kg°C. Em função disso, a água é utilizada como meio de armazenamento térmico em várias situações (DORNELLES, 2004).

Quando há troca de calor entre dois ou mais corpos ocorre a variação da temperatura de ambos. Nesta situação, o calor trocado pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Q = m.c.\Delta T \quad (2)$$

A equação 2 é conhecida como Equação Fundamental da Calorimetria, onde a quantidade de calor sensível  $Q$  é igual ao produto de sua massa  $m$ , do calor específico  $c$  e da variação da temperatura  $\Delta T$ .

### 2.4.3 Capacidade Térmica

A capacidade térmica ( $C$ ) de um material é a quantidade de energia necessária para que ocorra a variação de sua temperatura, indicando sua habilidade de absorver calor dos arredores (FROTA & SCHIFFER, 2001). Quanto maior a capacidade térmica de um corpo, mais calor deverá ser fornecido para elevar sua temperatura. Esta propriedade pode ser obtida através da seguinte equação:

$$C = c.m \quad (3)$$

Sendo  $c$  o calor específico e  $m$  a massa do corpo. A unidade utilizada no Sistema Internacional é J/K (Joule por Kelvin).

Nota-se a partir da equação 3 que corpos de um mesmo material podem apresentar capacidades térmicas diferentes, desde que possuam massas diferentes.

## 2.5 Conforto térmico

Em uma edificação, o conforto térmico permite que o usuário realize plenamente diversas atividades que ocorram em seu interior, com as melhores condições de comodidade e segurança possíveis (TRINDADE, 2014). Segundo a norma ASHRAE 90.1 (2010) conforto térmico é uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.

Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem grande esforço, o indivíduo tem a sensação de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, nesse aspecto, é máxima. Se existe a sensação de frio ou calor significa que o organismo humano está perdendo mais ou menos calor do que o necessário para a manutenção da homeotermia (característica que permite manter a temperatura corporal relativamente constante). Esse efeito passa a exigir um esforço adicional do corpo prejudicial ao rendimento do trabalho (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Dentre as várias metodologias de avaliação do conforto térmico de edificações, a ABNT estabelece características que uma edificação habitacional deve apresentar para atender às exigências de desempenho térmico. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013) as condições térmicas no interior das edificações devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico nas condições de verão e inverno. As tabelas 1 e 2 apresentam o nível de desempenho térmico mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) para as condições de verão e inverno, a partir dos valores da temperatura do ar interno de recintos de permanência prolongada (como salas e dormitórios, por exemplo), sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas ou outros equipamentos). Em projetos de edificações, esses parâmetros podem ser estimados a partir das simulações computacionais de desempenho térmico.

Tabela 1: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de verão. (NBR 15575-ABNT, 2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$
<p><math>T_{i,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  <math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;            NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Tabela 2: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de inverno. (NBR 15575- ABNT, 2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 51)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} C)$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} C)$	
<p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

### 2.5.1 Simulação computacional de desempenho térmico

Os softwares de simulação do desempenho térmico em edificações permitem o desenvolvimento de projetos que levam em consideração o conforto térmico do ambiente. Além de proporcionar conforto ao usuário, um projeto bem desenvolvido auxilia na economia de energia. Assim, é possível estimar o comportamento térmico de um edifício e, se necessário, alterar diferentes variáveis como a geometria e os materiais utilizados para analisar sua resposta térmica (OLIVEIRA, 2010).

Atualmente, cresce o número de programas de simulação energética, como o Energy Plus, DOE-2, DESIGNBUILDER, Green Building Studio, TAS, entre outros. Segundo Oliveira (2006), a maior parte das ferramentas dos programas são similares na abordagem e geralmente simulam um modelo com grau de detalhamento definido pelo usuário. Os principais parâmetros que interferem no comportamento térmico podem ser agrupados em três categorias:

- Variáveis climáticas (temperatura externa, velocidade dos ventos, radiação solar, entre outros);
- Variáveis de projeto (geometria, layout da planta, propriedades dos materiais componentes, entre outros);
- Variáveis de uso e ocupação (rotinas, equipamentos elétricos, operação de janelas, entre outros).

Todos estes fatores devem ser analisados para fornecer os parâmetros necessários aos softwares, de modo a tornar a simulação mais eficaz.

## 2.6 Habitação de interesse social

Uma habitação de interesse social é um modelo construtivo destinado à população que vive em condições precárias e não possui condições de adquirir um imóvel. Segundo o Ministério das Cidades (2004) são mais de sete milhões de famílias que necessitam de novas moradias e dez milhões de domicílios que não possuem infraestrutura básica.

A necessidade destes modelos habitacionais surge devido ao déficit habitacional iniciado nas zonas urbanas, a partir do período da Revolução Industrial, com a migração das pessoas do meio rural para as cidades (HABITARE, 2007).

### 2.6.1 Vila sustentável

Denominou-se Vila Sustentável (Figura 2) o projeto de uma habitação de interesse social localizada no campus da Universidade Federal de Ouro Preto. Este projeto foi desenvolvido como forma de avaliar a viabilidade em diversos aspectos da aplicação de resíduos da siderurgia na construção civil, bem como evitar o desperdício durante o processo executivo. Dessa forma, busca-se criar um ambiente confortável, seguro e sustentável para famílias de baixa renda em todo o Brasil (PIRA, GOMES & PEIXOTO, 2011).

O modelo contempla quatro unidades residenciais de 45,70m<sup>2</sup> cada e apresenta a alvenaria estrutural como sistema construtivo. Na figura 3 observa-se a planta de cada unidade residencial.



Figura 2: Projeto da Vila Sustentável. (MENDES ,2015)

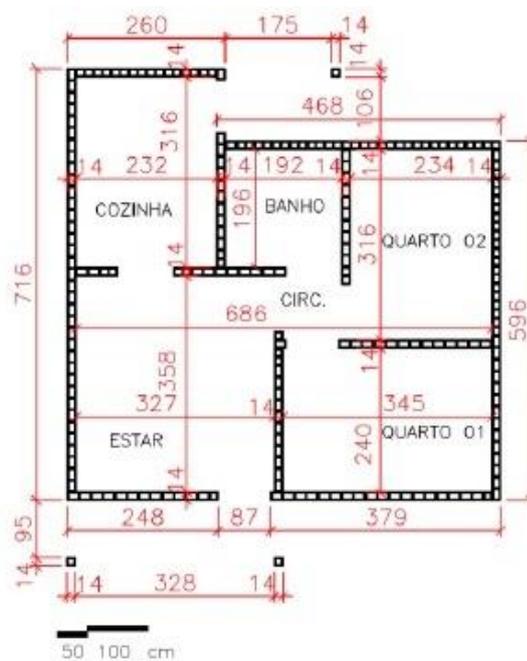


Figura 3: Planta de cada unidade residencial. (FRANCO, 2015)

O projeto leva em consideração diversos estudos, entre eles (FRANCO, 2015):

- Uso da alvenaria estrutural, com planta flexível e racionalizada;
- Estudo de insolação;
- Ventilação dos ambientes;
- Conforto térmico;
- Cobertura vegetal;
- Técnicas de reaproveitamento das águas e otimização do seu uso;
- Aquecimento de água com energia solar;
- Eficiência energética.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Para este trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento CP V ARI MAX da marca Nacional. O CP V ARI foi escolhido por não conter adições em sua composição (ou conter em teor muito baixo), além de possuir um tempo de cura mais rápido. As adições podem afetar a incorporação de ar.
- Areia de rio regional, com massa específica  $\rho=2,66$  (g/cm<sup>3</sup>), massa unitária  $\mu=1,408$  (g/cm<sup>3</sup>) e granulometria conforme a Figura 4, apresentando uma dimensão máxima característica de 4,8mm. A areia foi previamente seca em estufa a 100 °C por 24h.

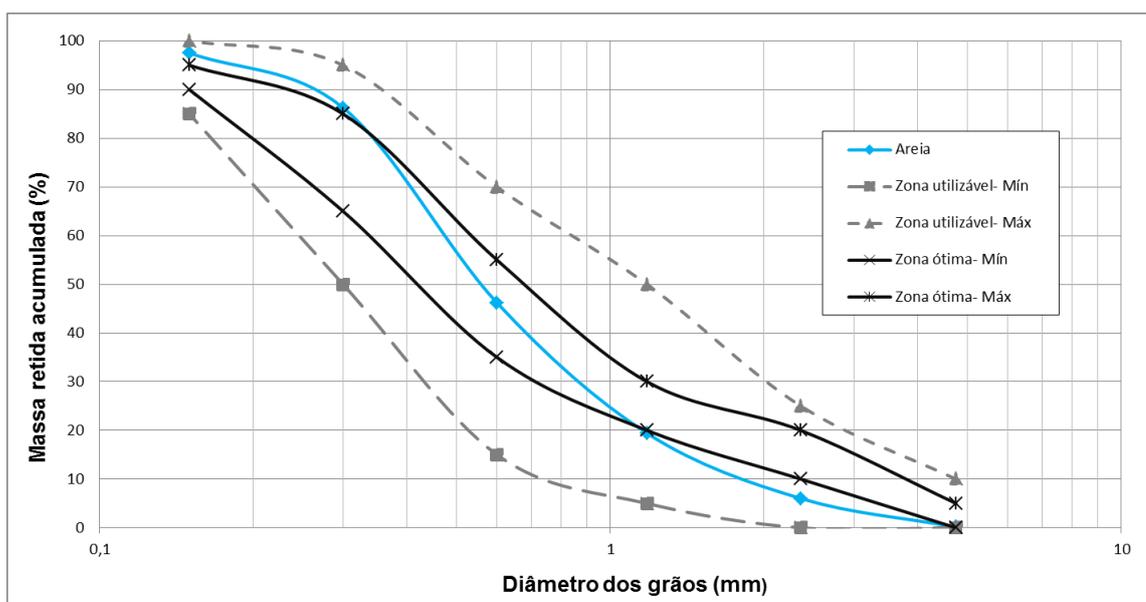


Figura 4: Curva granulométrica da areia.

- Água potável da UFOP;
- Cal hidratada CH-I da marca Massical;
- Aditivo incorporador de ar baseado em LAS proveniente de detergente lava-louças (Figura 5);



Figura 5: Aditivo incorporador de ar. (MENDES, 2016)

- Os rejeitos de fibra de vidro, lã de vidro e lã de rocha foram coletados nas instalações da VALE-SA, identificadas como telhas, placas, flanges, perfis e outros. As amostras processadas em sistema aberto por processo manual, nas instalações da TECSCAN em Contagem, Minas Gerais, foram cominuídas (Figura 6) em triturador industrial tipo shredder e posteriormente reprocessadas em moinho de bolas.



a. FV cominuída

b. LV cominuída

c. LR cominuída

Figura 6: Rejeitos cominuídos - FV, LV e LR.

Para utilização dos materiais como adições para argamassas as amostras foram reprocessadas em equipamento de bancada, moinho de esferas MARCONI, como apresentado na figura 7.



a. FV como adição

b. LV como adição

c. LR como adição

Figura 7: Rejeitos como adição para argamassas - FV, LV e LR.

A tabela 3 apresenta a massa específica aparente dos rejeitos e da cal hidratada segundo Silva (2016).

Tabela 3: Massa específica aparente dos rejeitos.

REJEITO	$\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> )
FV	1711
LV	2596
LR	2691
Cal	2215

### 3.2 Processo de mistura das argamassas

A mistura das amostras foi realizada através do misturador mecânico (Figura 8) do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP, da marca FORTEST, modelo VC 370, seguindo-se as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005).



Figura 8: Misturador mecânico de argamassa.

As etapas do processo adotado de mistura das argamassas são:

- a) pesar a massa de água de acordo com as indicações do fabricante, com aproximação de 1,0 g;
- b) colocar a água no recipiente do misturador;
- c) colocar o material seco de modo contínuo, dentro de um período de 30 s;
- d) acionar o misturador na velocidade baixa;
- e) misturar por 30 s e desligar o equipamento;
- f) retirar a pá de mistura e raspar toda a superfície interna do recipiente e da pá; efetuar esta tarefa e recolocar a pá em um intervalo de 60 s;
- g) ligar o equipamento e misturar pelo tempo de mistura indicado pelo fabricante, na ausência desta informação, misturar por mais 30 s.

### 3.3 Traços

A Tabela 4 apresenta os traços das argamassas e suas variações.

Tabela 4- Traços e relação em massa detergente/cimento

TRAÇO	1:1:6			1:2:9			1:1:6		
	FV	LV	LR	FV	LV	LR	FV	LV	LR
LAS (%)	0,00	0,05	0,50	0,00	0,05	0,50	1,00	1,00	1,00

Nos traços com a utilização de resíduos, adotou-se a substituição no teor de 100% da cal hidratada. Para cada traço e concentração de LAS foram feitos 8 corpos-de-prova, sendo 4 placas para a determinação da condutividade térmica e 4 corpos-de-prova para a determinação do calor específico.

O fator água/cimento das argamassas foi estabelecido conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005), com índice de consistência de  $260 \pm 10$  mm

### 3.4 Ensaios realizados

#### 3.4.1 Índice de Consistência

Segundo a NBR 7215 (ABNT, 1997), após a preparação da argamassa deve-se utilizá-la para encher o molde tronco-cônico, que deve ser centralizado sobre a mesa para índice de consistência (Figura 9).



Figura 9: Tronco-cônico centralizado na mesa para índice de consistência.

Um operador deve segurar o molde firmemente, enquanto outro o enche em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais. Após o enchimento de cada camada aplica-se, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformemente. Em seguida deve-se realizar o rasamento da argamassa e retirar o molde.

Os golpes na mesa de consistência são realizados acionando sua manivela, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s de maneira uniforme. Com os golpes ocorre o espalhamento da argamassa sobre a mesa (Figura 10).



Figura 10: Medição do espalhamento da argamassa.

Imediatamente após a última queda da mesa, mede-se com o paquímetro o diâmetro do espalhamento da argamassa em três pontos distribuídos. O valor de Índice de Consistência corresponde à média da abertura em mm da massa.

### 3.4.2 Teor de Ar Incorporado pelo método pressométrico

Neste ensaio a argamassa é colocada no recipiente do equipamento (Figura 11) e compactada. Em seguida, a tampa do dispositivo é colocada e ele é acionado. O valor do Teor de Ar Incorporado é lido diretamente no visor.



Figura 11: Equipamento para determinação do Teor de Ar Incorporado da marca SOLOTEST. (MENDES, 2016)

### 3.4.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica dos materiais foi determinada com instrumentação de laminas (Figura 12), a partir de um Medidor de Fluxo de Calor (*Heat Flow Meter* - HFM).

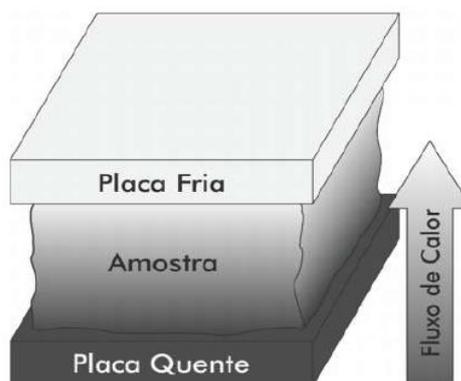


Figura 12: Princípio de determinação da condutividade térmica do material. (MENDES, 2015)

Nas duas placas são ligados termopares que medem a temperatura em cada lado da amostra, bem como sensores de fluxo de calor, concentrados no centro da amostra (MENDES, 2015). Os sensores medem apenas o fluxo de calor perpendicular às superfícies (THERMTEST, 2015).

Para cada traço foram construídas 4 placas de dimensões 300x300mm e aproximadamente 50 mm de espessura, conforme instrução do fabricante do equipamento (Figura 15). A Figura 13 apresenta a confecção dos corpos-de-prova.

O material produzido através do misturador mecânico foi compactado manualmente com um soquete nos moldes das placas, que foram mantidas em uma câmara úmida para o processo de cura por 28 dias. Os moldes foram retirados após 3 dias na câmara.



Figura 13 – Modelagem das placas.

A espessura final do corpo de prova foi determinada através da média de 8 aferições em pontos distribuídos na placa, como se pode notar na Figura 14. Para a medição utilizou-se um paquímetro.

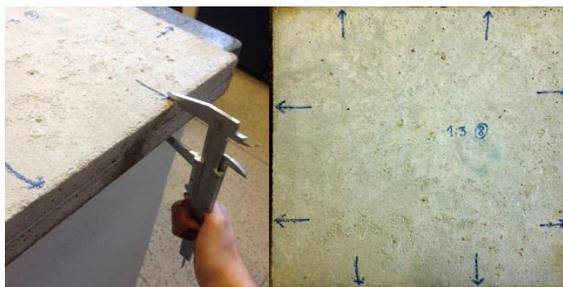


Figura 14: Determinação da espessura final das placas.

Para a determinação da condutividade térmica, utilizou-se o equipamento HFM 436 Lambda, da fabricante NETZSCH (Figura 15).



Figura 15: Equipamento HFM 436 Lambda, da fabricante NETZSCH.

O valor final é dado pela média das aferições das 4 amostras, de cada lado, na temperatura média de 20 °C, com faixa de medição entre 10 °C e 30 °C, de modo a melhor representar as condições ambientais. Previamente aos ensaios, as placas foram mantidas em estufa a 100°C por 24h, de modo a minimizar o efeito da umidade sobre o ensaio.

#### 3.4.4 Calor específico

Uma das formas de se determinar o calor específico é utilizando um calorímetro. O calorímetro consiste em um recipiente isolado termicamente, preenchido com água e um termômetro. Para determinar a temperatura de equilíbrio entre duas substâncias, deve-se adicionar um corpo de prova com massa e temperatura conhecidas no recipiente.

Foram desenvolvidos 4 corpos de prova de aproximadamente 10 cm<sup>3</sup> (Figura 16) para cada traço.



Figura 16: Modelagem dos corpos de prova para o calorímetro.

Após cura em câmara úmida por sete dias, os corpos de provas foram mantidos em uma estufa a 100°C, por 24 horas

Utilizou-se um calorímetro de poliestireno (Figura 17) do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP. As temperaturas aferidas pelos termopares durante o ensaio foram obtidas através do software de aquisição de dados HOBOWare.

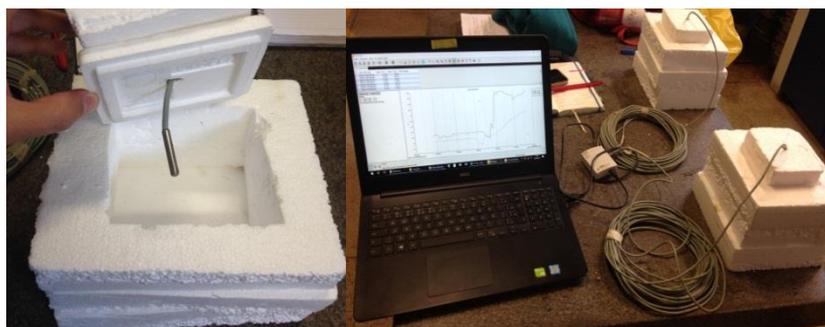


Figura 17: Calorímetro RECICLOS e análise pelo software HOBOWare.

As etapas deste ensaio são:

- O calorímetro é preenchido com água e pesado, de forma a se conhecer a massa de água utilizada (Figura 18);
- A temperatura inicial da água é medida através do termômetro;
- Adiciona-se o corpo de prova ao calorímetro;
- Mede-se a temperatura final de equilíbrio entre as duas substâncias.



Figura 18: Preenchimento do calorímetro com água e adição do corpo-de-prova.

Assumindo o calorímetro como um sistema isolado, chamando de  $Q$  a quantidade de calor, temos que todo o calor fornecido é absorvido dentro do mesmo:

$$Q_{\text{fornecido}} = Q_{\text{absorvido}} \quad (4)$$

$$(m c \Delta t)_{\text{fornecido}} = (m c \Delta t)_{\text{absorvido}} \quad (5)$$

Logo, considera-se que a amostra fornece o calor à água:

$$m_{\text{amostra}} c_{\text{amostra}} (t_f - t_{0, \text{amostra}}) = m_{\text{água}} c_{\text{água}} (t_f - t_{0, \text{água}}) \quad (6)$$

Conhecendo a massa e a temperatura inicial da amostra, bem como a temperatura inicial da água e final de equilíbrio, obtém-se o calor específico da amostra através da equação 7.

$$c_{\text{amostra}} = \frac{m_{\text{água}} c_{\text{água}} (t_f - t_{0, \text{água}})}{m_{\text{amostra}} (t_f - t_{0, \text{amostra}})} \quad (7)$$

### 3.4.5 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente das amostras foi determinada dividindo-se a massa das placas, obtida por uma balança de precisão, pelo seu volume, de acordo com a equação 8.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (8)$$

O volume das amostras foi determinado multiplicando-se a o comprimento, a largura e a espessura média das placas, determinada conforme a descrição no item 3.4.3.

### 3.5 Simulação de desempenho térmico

Utilizou-se a planta de uma das Habitações de Interesse social da Vila Sustentável da UFOP (Figura 19) como edificação para simulação do desempenho térmico, através do programa *EnergyPlus*.

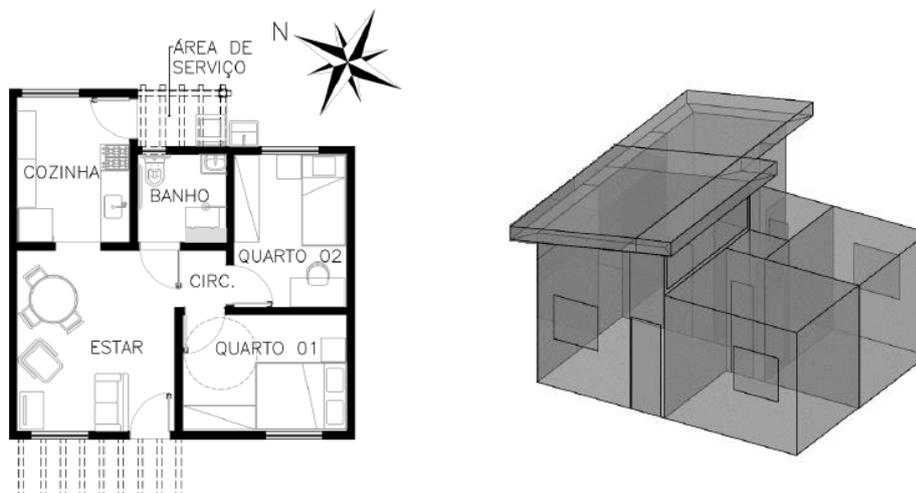


Figura 19: Planta e volumetria da HIS da Vila Sustentável. (Adaptado de Franco, 2015)

A modelagem da edificação utilizada no software foi desenvolvida por Mendes (2015) e considera as seguintes hipóteses:

- Orientação solar real;
- Para os demais materiais como madeira e vidro, os parâmetros foram retirados da NBR 15220 (ABNT, 2003);
- Blocos de alvenaria convencionais de concreto;
- Para o telhado verde, considerou-se o modelo já embutido no software, que não inclui a variação dos parâmetros devido à umidade;
- A vegetação circundante não foi considerada;
- A temperatura do solo adotada foi a padrão do programa de 18°C;
- Simulação a partir da semana mais quente e da semana mais fria do ano, ao invés dos dias típicos, a exemplo Ferreira (2012);
- Simulação realizada com 60 iterações por hora;
- Não se considerou a variação da condutividade térmica na presença de umidade (SIWINSKA & GARBALINSKA, 2011);
- Dados climáticos da cidade de Belo Horizonte, uma vez que não estão disponíveis os dados para a cidade de Ouro Preto.

### 3.5.1 Cálculo da condutividade térmica do bloco da alvenaria

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003) a resistência térmica,  $R$ , de uma camada homogênea de material sólido é determinada pela expressão:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (9)$$

Onde  $e$  é a espessura da placa e  $\lambda$  é a condutividade térmica do material.

A Figura 20 apresenta as dimensões e seções utilizadas no cálculo.

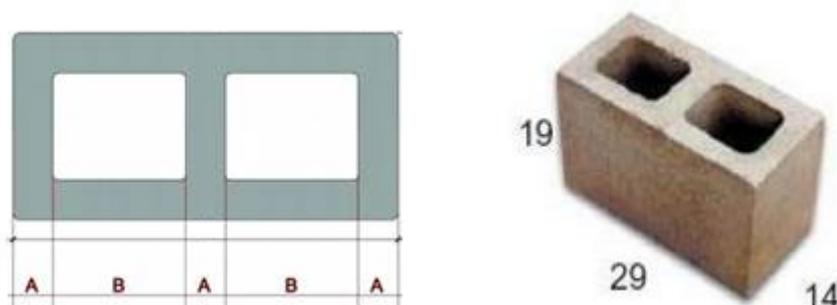


Figura 20: Bloco de alvenaria. (NBR 15220 - ABNT, 2003)

Calcula-se a resistência térmica das seções A e B, da seguinte maneira:

$$R_A = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,14}{1,75} = 0,08 \text{ (m}^2\text{k)/W} \quad (10)$$

$$R_B = \left(\frac{e}{\lambda}\right) * 2 + R_{ar} = \left(\frac{0,025}{1,75}\right) * 2 + 0,17 = 0,199 \text{ (m}^2\text{k)/W} \quad (11)$$

O valor de  $R_{ar}$  foi retirado da Tabela B.1 da NBR 15220 (ABNT, 2003).

Sendo  $A$  a área de cada seção, a resistência térmica do bloco, é dada por:

$$R_{\text{bloco}} = \frac{3A_A + 2A_B}{\frac{3A_A}{R_A} + \frac{2A_B}{R_B}} = \frac{3(4,75 * 10^{-3}) + 2(0,0195)}{\frac{3(4,75 * 10^{-3})}{0,08} + \frac{2(0,0195)}{0,199}} = 0,142 \text{ m}^2\text{k/W} \quad (12)$$

$$A_A = 0,025 * 0,19 = 4,75 * 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (13)$$

$$A_B = 0,1025 * 0,19 = 0,0195 \text{ m}^2 \quad (14)$$

Finalmente, calcula-se a condutividade térmica equivalente do bloco:

$$\lambda_{eq} = \frac{e}{R_{\text{bloco}}} = \frac{0,14}{0,142} = 0,984 \text{ W/mK} \quad (15)$$

### 3.5.2 Cálculo da condutividade térmica do conjunto bloco e argamassa de assentamento

A Figura 21 representa uma unidade padrão da alvenaria, representada por um bloco de concreto e metade da faixa de 1cm estipulada para a argamassa de assentamento.

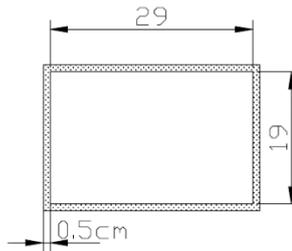


Figura 21: Bloco revestido com argamassa de assentamento.

Calcula-se a resistência térmica e a condutividade térmica equivalente da argamassa de assentamento segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003).

$$R_{\text{argamassa}} = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,14}{0,845} = 0,166 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}} \quad (16)$$

$$R_{\text{bloco}} = 0,142 \frac{\text{m}^2\text{k}}{\text{W}} \quad (17)$$

$$A_{\text{bloco}} = 0,29 * 0,19 = 0,055 \text{ m}^2 \quad (18)$$

$$A_{\text{argamassa}} = (0,30 * 0,005) * 2 + (0,19 * 0,005) * 2 = 0,0049 \text{ m}^2 \quad (19)$$

$$R_T = \frac{\frac{A_{\text{argamassa}} + A_{\text{bloco}}}{R_{\text{argamassa}} + R_{\text{bloco}}}}{\frac{0,0049 + 0,055}{0,166 + 0,142}} = 0,144 \text{ m}^2\text{k/W} \quad (20)$$

Finalmente, calcula-se a condutividade térmica equivalente do conjunto:

$$\lambda_{\text{eq}} = \frac{e}{R_T} = \frac{0,14}{0,144} = 0,972 \text{ W/mK} \quad (21)$$

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resultado da determinação do fator água/cimento

A figura 22 apresenta os valores do fator água/cimento referentes a cada traço, encontrados a partir do ensaio do índice de consistência.

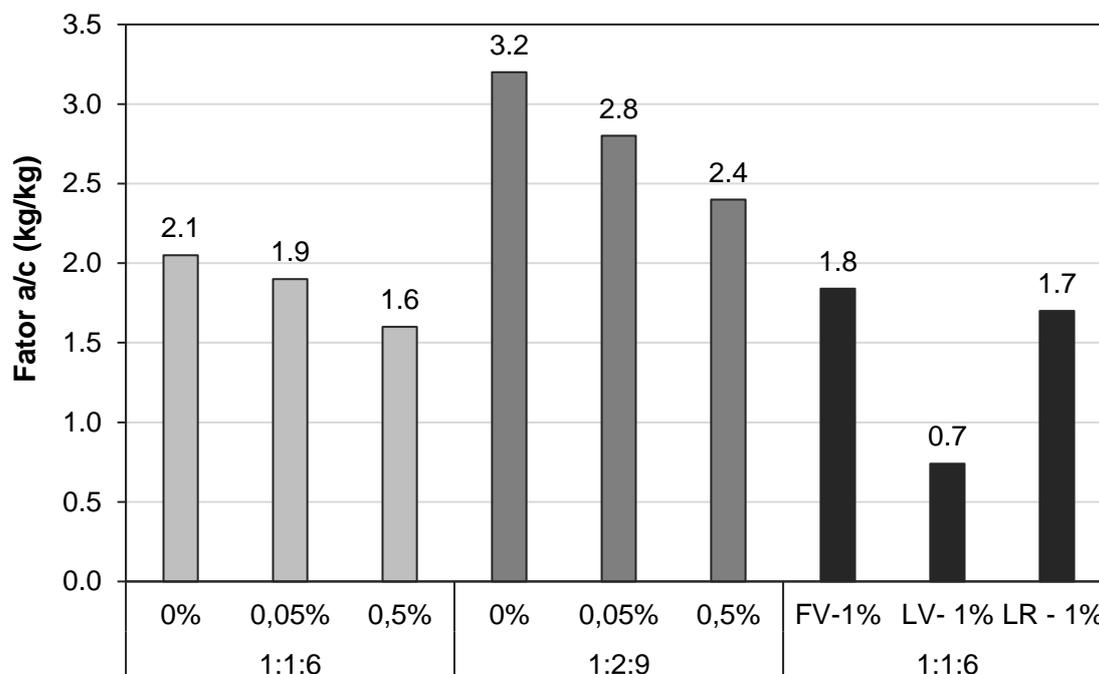


Figura 22: Fator a/c.

Nota-se que a incorporação de ar resulta na redução da relação água/cimento, devido ao aumento da plasticidade das matrizes, proveniente do melhor espalhamento das partículas de cimento devido à ação dos surfactantes (MENDES, MORO, *et al.*, 2017). Para as matrizes com a utilização de rejeitos a lã de vidro apresentou um fator a/c aproximadamente 60% mais baixo quando comparado aos outros dois materiais. Essa menor necessidade de água acontece devido à menor área superficial específica da lã de vidro, o que pode afetar a sua reatividade (SILVA, 2016).

### 4.2 Resultado da determinação do teor de ar incorporado

A figura 23 mostra o teor de ar incorporado para as diferentes concentrações de aditivo utilizadas, comparando as matrizes de referência 1:1:6 e 1:2:9.

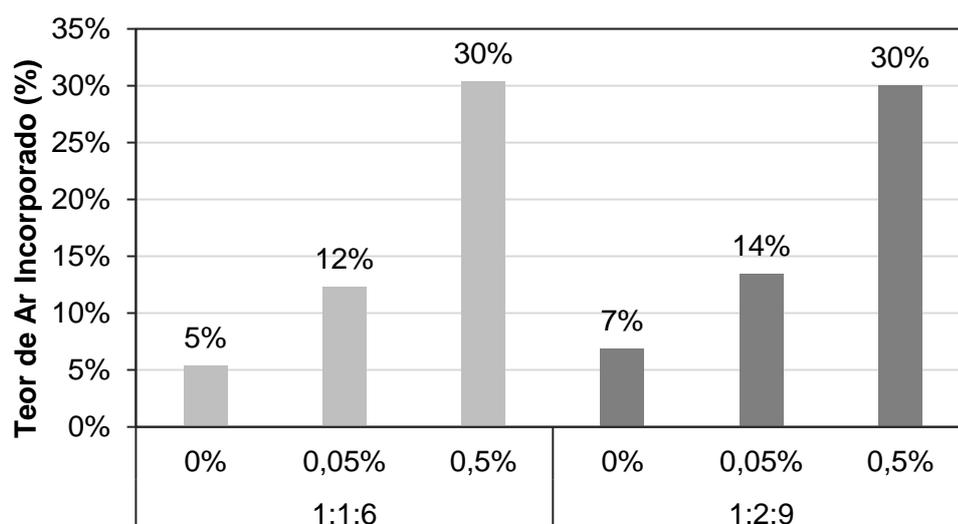


Figura 23: Teor de Ar Incorporado dos traços 1:1:6 e 1:2:9.

O resultado obtido mostra que o traço 1:2:9 apresentou maior incorporação de ar nas matrizes de referência 0% e 0,05%, o que provavelmente se deve à maior massa de cal hidratada existente neste traço, visto que a cal também auxilia no processo de incorporação de ar nas matrizes. Já nas matrizes de referência 0,5% o efeito de incorporação foi o mesmo para ambos os traços, provavelmente devido à maior disponibilidade de moléculas surfactantes na mistura (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

#### 4.3 Resultado da determinação da condutividade térmica

A Figura 24 apresenta o resultado dos ensaios de condutividade térmica das argamassas.

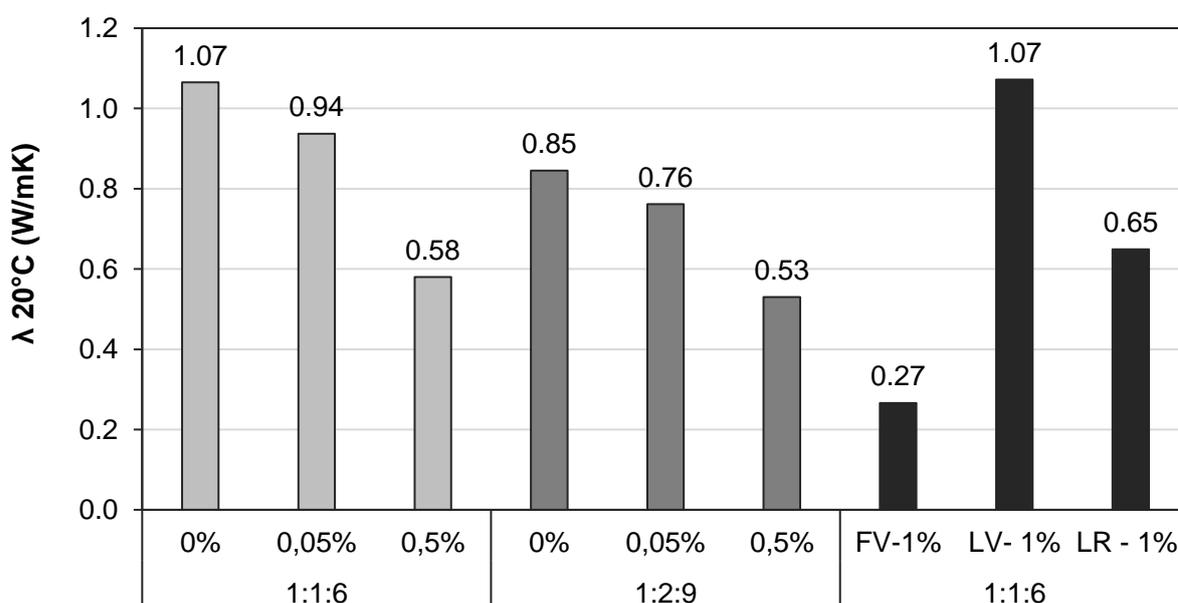


Figura 24: Condutividade térmica das amostras.

É possível notar que os valores decrescem conforme o aumento do teor de AIA, já que seu uso resulta no aumento da porosidade da matriz, o que reduz a condutividade térmica de materiais cerâmicos (FRANCL e KINGERY, 1954). As argamassas 1:2:9 e 1:1:6 com 0,5% de AIA apresentaram condutividade térmica 37% e 46% inferior às respectivas referências. A redução desta propriedade é importante para melhorar o conforto térmico no interior das edificações, pois torna o ambiente menos suscetível à temperatura externa.

A diferença observada entre os traços 1:1:6 e 1:2:9 com a adição do AIA, está relacionada à incorporação de ar dos mesmos. O ar possui baixa condutividade térmica, reduzindo os valores encontrados para o traço 1:2:9, onde a incorporação foi maior. Dentre os traços com utilização de rejeitos destaca-se o baixo valor encontrado para a fibra de vidro, apresentando uma redução de 75 % em relação ao valor de referência. A forma das partículas da fibra de vidro influencia no seu desempenho como condutor, criando um reticulado que faz com que o fluxo de calor sofra perda de carga.

Mesmo em relação às argamassas de referência (0%), observa-se uma diferença significativa para o valor de condutividade térmica de argamassas comuns fornecido pela NBR 15220: 1,15 W/(m.K) (ABNT, 2003). Em termos de simulações de desempenho em edificações, essa diferença pode superestimar os resultados.

#### **4.4 Resultado da determinação do calor específico**

A Figura 25 apresenta a variação da temperatura ao longo do tempo aferida pelo termômetro no calorímetro, a partir do momento em que uma amostra de 47,9g e referência 1:1:6 – 0% é colocado na água. A variação foi observada até se atingir uma temperatura aproximada de equilíbrio do sistema.

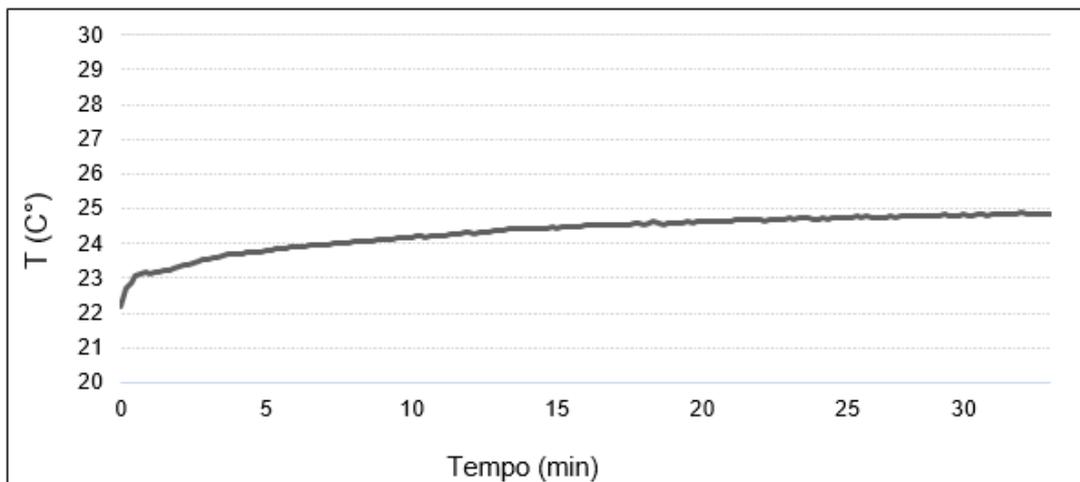


Figura 25: Dados do software HOBOWare para determinação do calor específico.

Utilizando-se a equação 7 descrita no item 3.4.4, foram obtidos os valores médios do calor específico para as diferentes amostras e traços, como apresentado pela Figura 26.

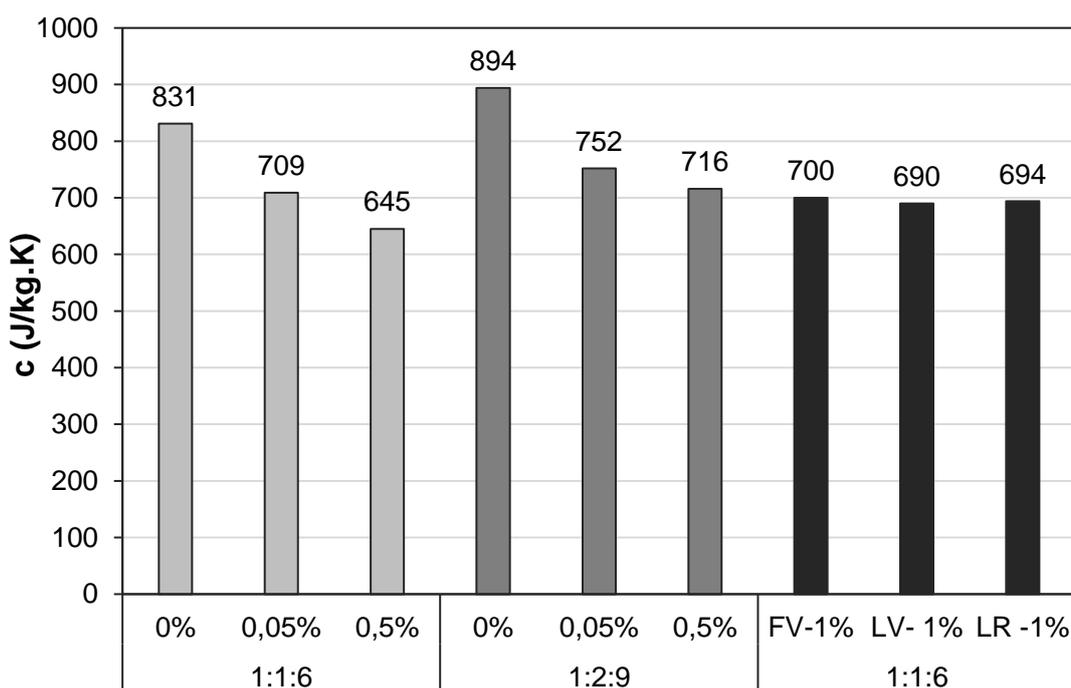


Figura 26: Calor específico das amostras.

Nota-se uma grande diferença para o valor do calor específico para argamassas comuns fornecidos pela NBR 15220: 1000,0 J/(kg.K) (ABNT, 2003). Isso

provavelmente se deve às limitações do método utilizado para determinar o calor específico, onde admite-se o calorímetro como um sistema isolado.

A adição do AIA reduziu os valores do calor específico médio das matrizes, em função do sistema de vazios formados com a incorporação de ar. O aumento da porosidade permite que a água evapore mais rapidamente, reduzindo o calor específico global da matriz. Este resultado é corroborado por Mendes, Moro et al. (2017), que verificou uma maior retração das matrizes a medida que se aumenta a incorporação de ar.

A redução desta propriedade não é boa quando analisamos a eficiência desses materiais como isolantes térmicos, pois um menor calor específico nas argamassas deixa a edificação mais exposta à temperatura externa. As amostras com rejeitos apresentaram calor específico aproximadamente 16% mais baixo que a referência convencional, devido à maior concentração de AIA que foi necessária para conferir melhor trabalhabilidade às argamassas.

#### 4.5 Resultado da determinação da massa específica aparente

Juntamente com as variações citadas do calor específico conforme o aumento da dosagem do AIA, é possível notar uma queda nos valores relativos à massa específica aparente ( $\rho$ ) (Figura 27) nas amostras estudadas.

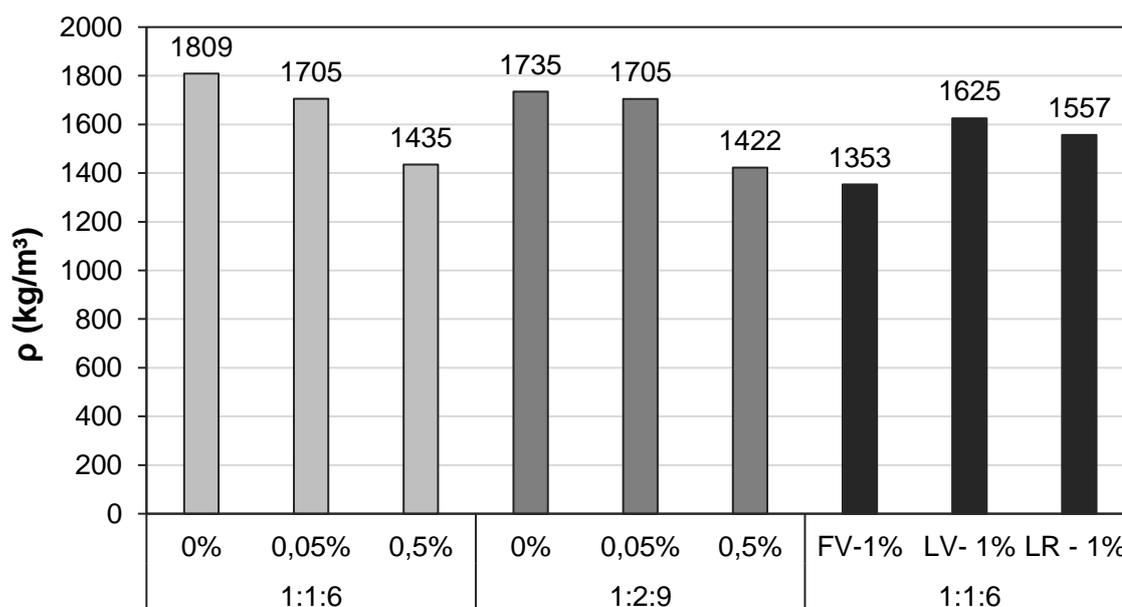


Figura 27: Massa específica aparente das amostras.

Com o aumento do volume de vazios presentes nas matrizes, a adição do AIA reduz também a massa específica aparente das amostras, tornando-as mais leves. Nas amostras com uso de resíduos, as matrizes com fibra de vidro apresentaram massa específica aproximadamente 15 % menor que as lãs, o que possivelmente está ligado à menor massa específica do próprio rejeito (Tabela 3).

A redução nos valores das propriedades massa específica e calor específico não são favoráveis em termos de isolamento térmico, pois resultam na redução da capacidade térmica dos materiais.

Os valores encontrados para as argamassas convencionais (0% de AIA) apresentaram uma pequena discrepância em relação ao intervalo fornecido pela NBR 15220 é: 1800-2100 kg/m<sup>3</sup> (ABNT, 2003).

#### 4.6 Resultado da simulação computacional

O gráfico da Figura 28 representa a variação da temperatura da sala e do quarto 2 da HIS em estudo, em função da variação da temperatura externa e da velocidade do vento. O quarto 2 foi escolhido em função da sua posição mais desfavorável na edificação.

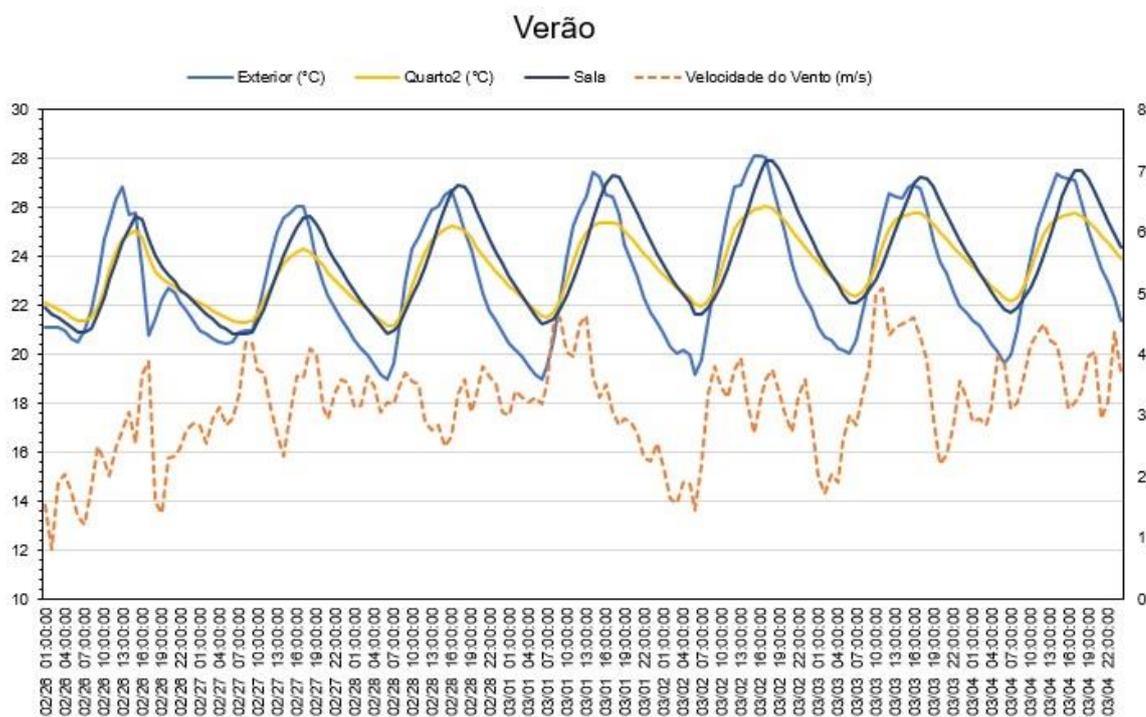


Figura 28: Variação da temperatura dos ambientes da His com o tempo.

Com o intuito de observar a relação entre as temperaturas externa e interna da edificação, realizou-se esta análise com os parâmetros dos diferentes traços estudados, considerando a semana mais quente (verão) e a semana mais fria do ano (inverno), segundo Ferreira (2012).

#### 4.6.1 Análise da variação do teor de AIA na argamassa de assentamento

A partir das médias dos picos diários de temperatura durante as semanas em estudo, obteve-se os gráficos das Figuras 29 e 30.

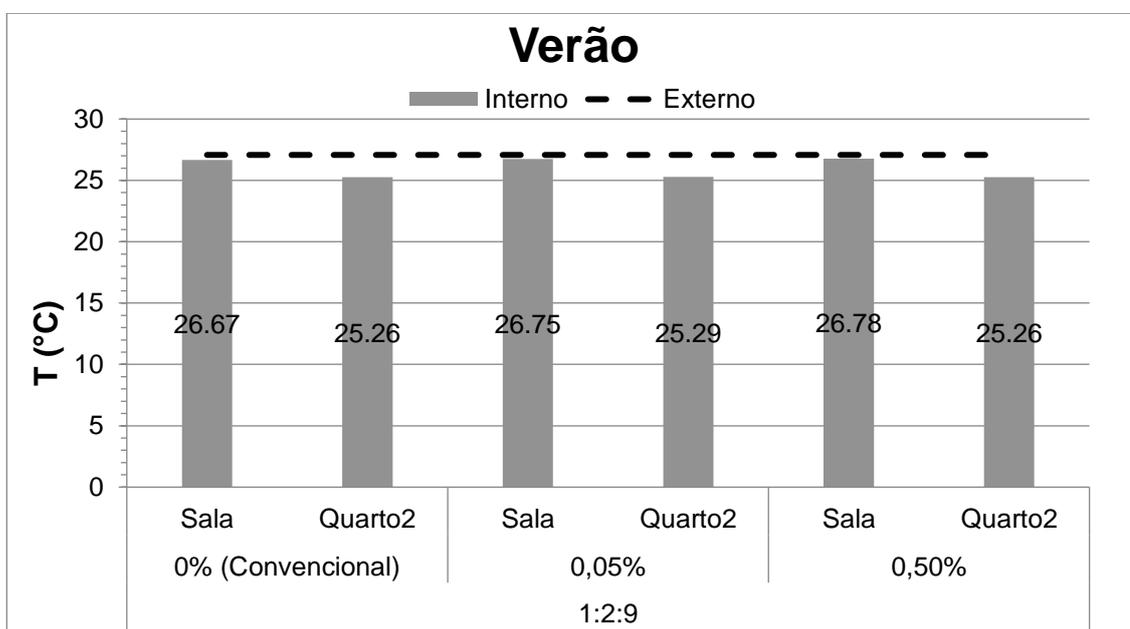


Figura 29: Temperatura média dos ambientes no verão.

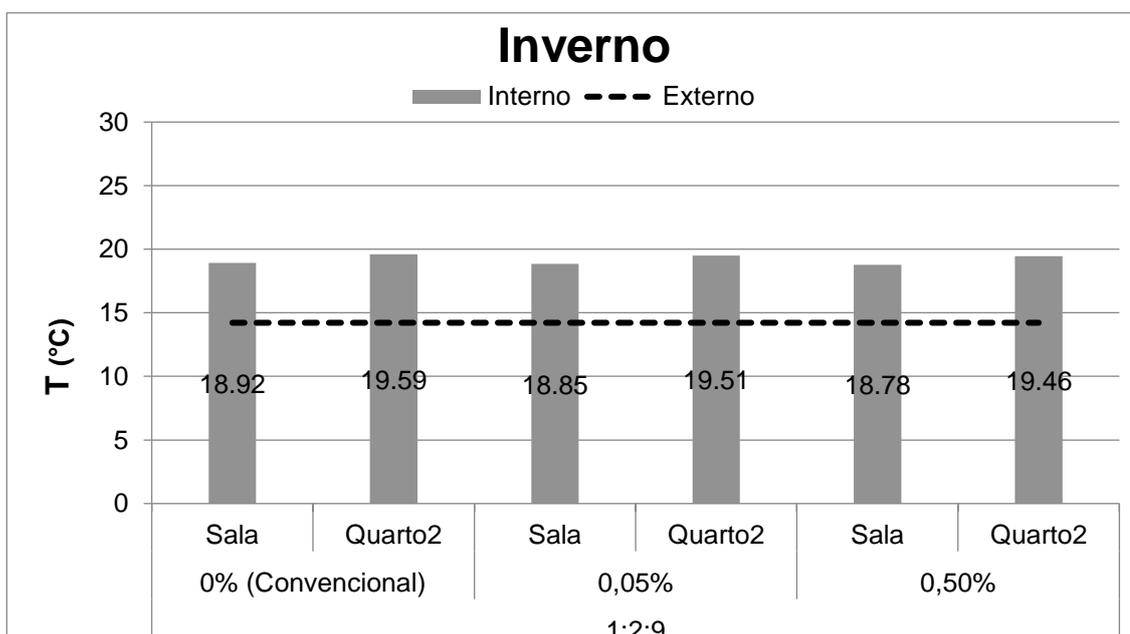


Figura 30: Temperatura média dos ambientes no inverno.

Os gráficos mostram que a adição de AIA nas argamassas de assentamento resultou em uma pequena variação nas temperaturas, aumentando a temperatura interna no verão e diminuindo-a no inverno. Sugere-se que esse comportamento desfavorável se deve à redução da capacidade térmica dos materiais. Nota-se também uma diferença entre as temperaturas da sala e do quarto. Essa diferença se deve ao efeito do telhado verde existente acima do quarto, deixando sua temperatura mais amena.

Mesmo não apresentando melhoras significativas no desempenho térmico, todas as temperaturas encontradas satisfazem às condições mínimas de conforto térmico (Tabelas 1 e 2) estabelecidas pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

#### 4.6.2 Análise da variação do teor de AIA e adição de resíduos na argamassa de revestimento

Da mesma forma analisa-se (Figuras 31 e 32) a influência na temperatura interna dos ambientes com a utilização do AIA nas argamassas de revestimento de traço 1:1:6 e nos traços com a presença dos rejeitos.

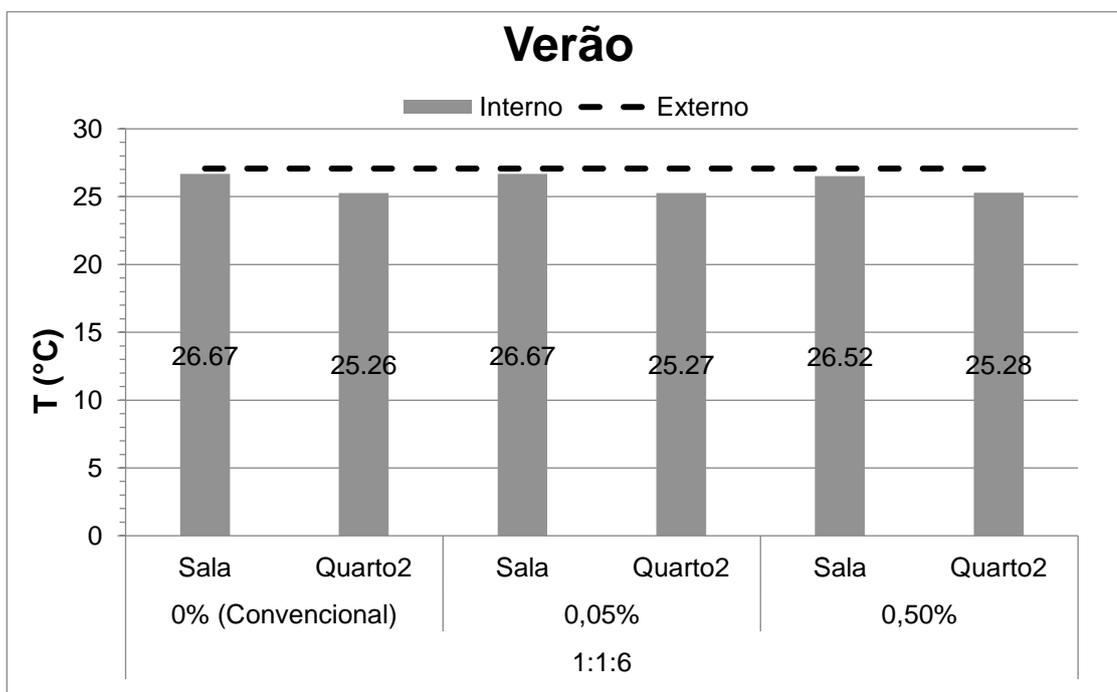


Figura 31: Temperatura média dos ambientes no verão.

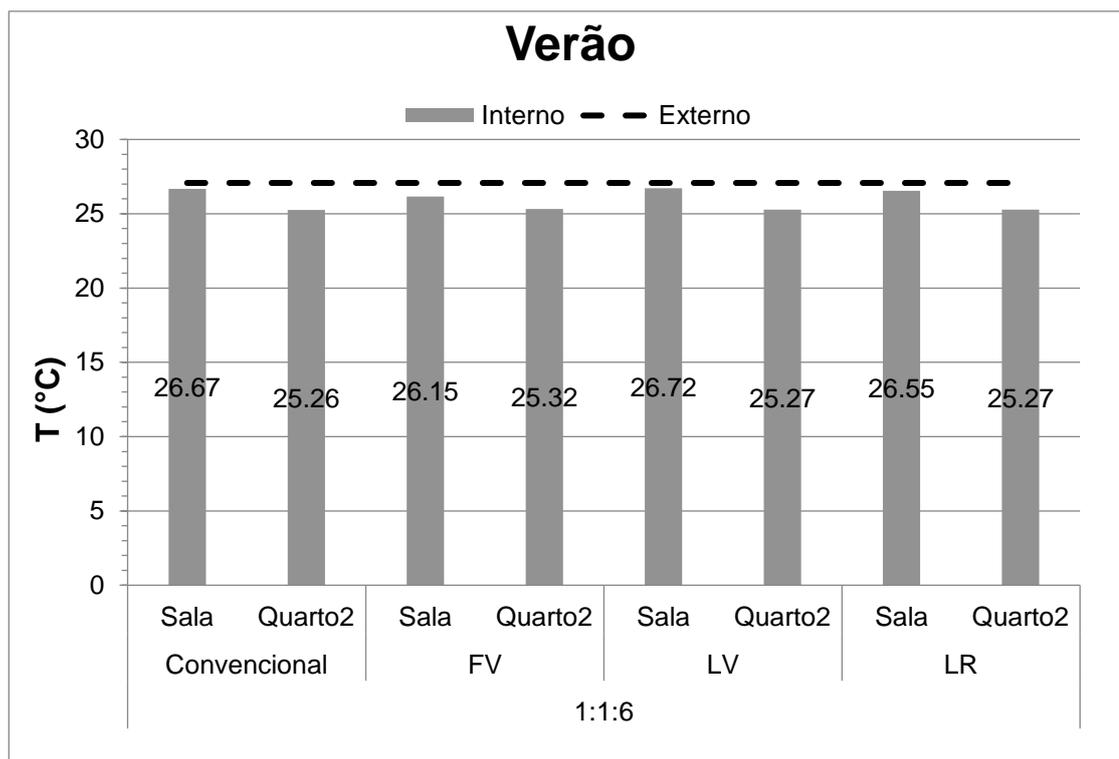


Figura 32: Temperatura média dos ambientes no verão.

Novamente observa-se uma variação muito pequena nas temperaturas, tanto com aumento na concentração de AIA utilizado, como nas argamassas com rejeitos. Uma das prováveis causas de as variações encontradas serem tão baixas, é o tamanho da edificação em estudo. A HIS apresenta apenas 45,70 m<sup>2</sup>, uma edificação maior poderia apresentar resultados mais significativos. Além disso, a argamassa representa relativamente um pequeno volume da parede. Possivelmente, aplicando-se medidas de redução da condutividade térmica ao concreto dos blocos empregados, da laje e da fundação, o efeito nas temperaturas internas seria maior.

A temperatura do quarto 2 permaneceu muito vulnerável à externa e não apresentou melhora em nenhuma das situações. Na sala, nota-se uma melhora na temperatura com o aumento na dosagem do AIA, resultado da grande redução obtida na condutividade térmica nas argamassas de revestimento. Para as argamassas com rejeito observa-se um melhor desempenho para a fibra de vidro, uma pequena melhora com a lã de rocha e um resultado desfavorável para a lã de vidro. Esse comportamento é condizente com a condutividade térmica encontrada para esses materiais.

As simulações realizadas para as argamassas de revestimento, mesmo não apresentando grandes variações nos valores das temperaturas internas, também

satisfazem às condições mínimas de conforto térmico (Tabelas 1 e 2) estabelecidas pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

#### 4.6.3 Análise dos efeitos da condutividade térmica e da capacidade térmica separadamente.

A fim de se observar a influência nos resultados da variação da condutividade térmica e da capacidade térmica, realizou-se a análise isolada dessas propriedades para as argamassas convencionais (0%) e aquelas com o maior teor de AIA (0,5%).

A Figura 33 mostra a influência da variação da condutividade térmica das argamassas de assentamento, fixando-se as outras propriedades.

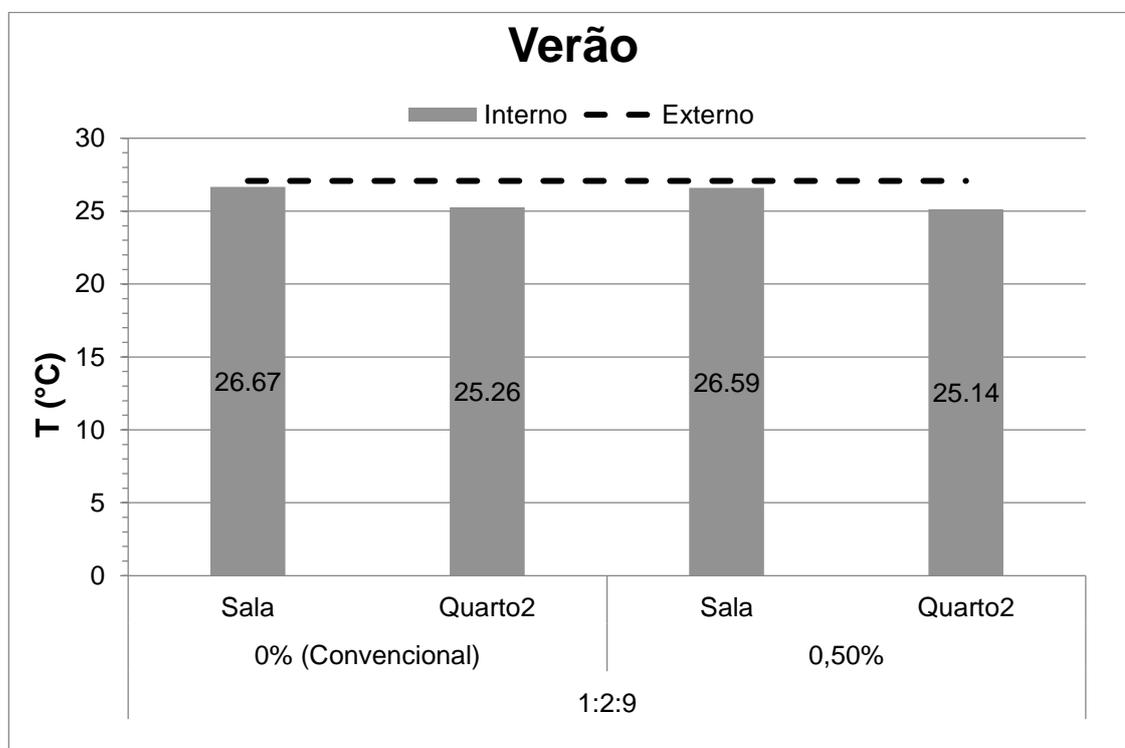


Figura 33: Temperatura média dos ambientes com a variação da condutividade térmica.

Nota-se que a redução da condutividade térmica das argamassas favorece a temperatura interna do ambiente. Neste sentido a incorporação de ar se mostrou eficiente, melhorando esta importante propriedade das matrizes em termos de isolamento térmico.

Da mesma forma analisou-se (Figura 34) a influência da variação do calor específico e da massa específica aparente, fixando-se os valores da condutividade térmica.

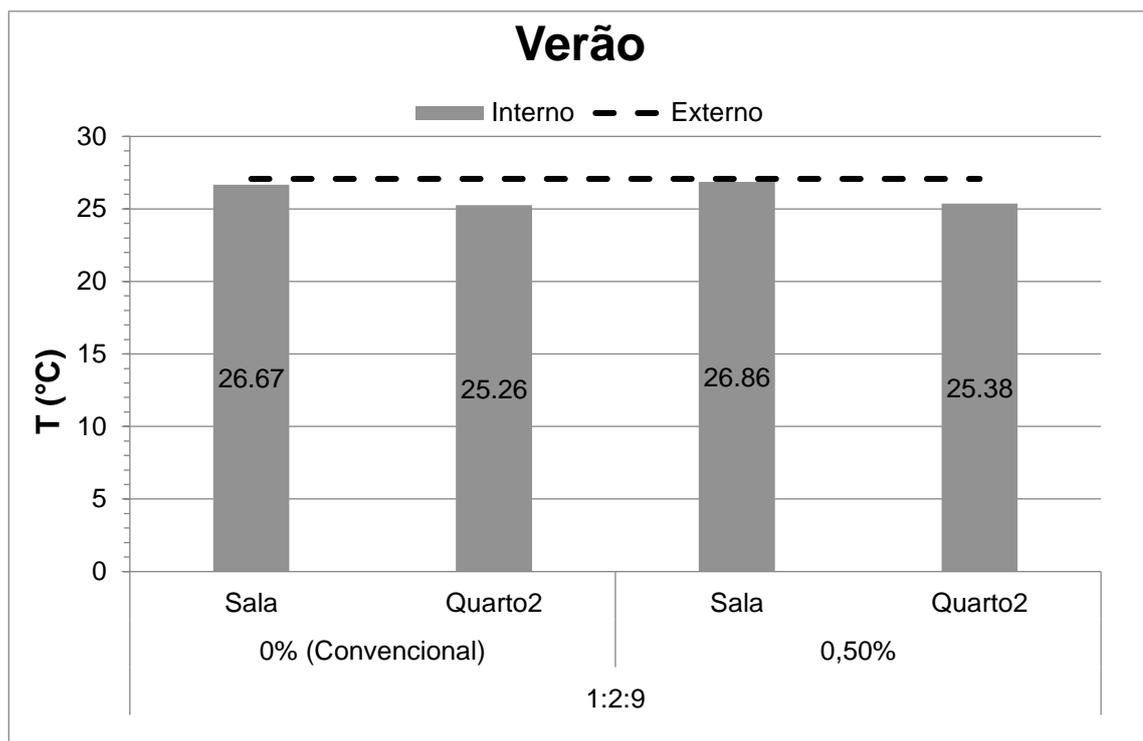


Figura 34: Temperatura média dos ambientes com a variação da capacidade térmica.

A redução do calor específico e da massa específica aparente, a medida em que se aumenta a dosagem do AIA, desfavorece a temperatura interna do ambiente. Dessa forma, observa-se que a diminuição da capacidade térmica das paredes é desfavorável, pois permite maior absorção da temperatura externa.

Com as análises isoladas foi possível evidenciar que diferentemente da melhora obtida com a redução da condutividade, a redução da capacidade térmica das matrizes foi prejudicial em termos de isolamento. Logo, o desafio é procurar matrizes com baixa condutividade e maior calor específico.

## 5 CONCLUSÃO

Com o trabalho realizado foi possível encontrar as propriedades térmicas de argamassas com diferentes composições, incluindo traços convencionais e não-convencionais. Além disso avaliou-se a aplicação desses materiais em uma HIS através de simulações de desempenho térmico.

As simulações feitas evidenciaram sua importância na tomada de decisão dos materiais a serem empregados em uma edificação. É possível escolhê-los de acordo com o nível de conforto térmico que se pretende alcançar, além de permitir a avaliação de outras questões, como a sustentabilidade no processo construtivo.

Devido às limitações de alguns métodos utilizados para obtenção dos resultados e às generalizações nos dados fornecidos pela ABNT, é importante ressaltar que os valores encontrados neste trabalho apresentam uma certa discrepância em relação às normas. Embora não tenha representado diferenças significativas nos resultados, essa discrepância pode ter maior influência em estudos com edificações de grande porte.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que as argamassas não-convencionais apresentaram uma condutividade térmica menor que as convencionais. A redução dessa propriedade em matrizes cimentícias é importante para que se obtenha uma melhora no conforto térmico do ambiente edificado. Porém, juntamente com a diminuição da condutividade térmica, observou-se também a redução da capacidade térmicas dessas matrizes, o que minorou o desempenho térmico das mesmas quando aplicadas em uma edificação. Mesmo não apresentando melhoras significativas, nota-se que as argamassas não-convencionais, incluindo aquelas com a utilização de rejeitos, não comprometem o desempenho térmico do ambiente quando utilizadas em uma construção. Essa comprovação é importante no processo de aproximação destes materiais do mercado da construção civil, representando uma mitigação dos impactos ambientais deste setor.

Assim, é possível concluir que a busca por matrizes de baixa condutividade térmica e calor específico relativamente alto podem levar a um melhor desempenho térmico e, conseqüentemente, ambiental das edificações no Brasil.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Para que novas matrizes cimentícias possam melhorar o desempenho térmico em edificações, sugere-se a busca de materiais que além de apresentarem baixa condutividade possuam alta capacidade térmica. Sugere-se ainda o estudo de matrizes cimentícias com a utilização de outros resíduos, em busca de materiais que possam ser empregados na construção civil, conferindo maior sustentabilidade ao setor.

## 6 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro-RJ: ABNT. 1997,

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento**. Rio de Janeiro-RJ: ABNT. 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro-RJ: ABNT. 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-5 - Edificações habitacionais - Desempenho**. Parte 5: requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro-RJ: ABNT. 2013.

ASHRAE 90.1. **Final Quantitative Analysis**. U.S. Department of Energy. 2010.

BATISTA, J.O.S, *et al.* **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil**. Universidade Federal de Ouro Preto, Laboratório de Materiais de Construção Civil. Ouro Preto-MG. 2016.

BORGES, P. **Utilização de resíduo de lã de vidro em fabricação de concreto**. Tese (mestrado)- REDEMAT/UFOP.Ouro Preto-MG. 2007.

ÇENGEL, Y., & GHAJAR, A. **Trasferência de Calor e Massa**. 4a ed. Nova Yorque: McGraw-Hill. 2012.

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. 6° edição. Editora LTC. Rio de Janeiro - RJ.318pg. 2004.

DORNELLES, K. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos**. Tese (mestrado) .Universidade Federal de São Carlos, São Carlos- SP. 2004.

Du, L., & Folliard, K. J. **Mechanisms of air entrainment in concrete**. *Cement and Concrete Research*, 35, 1463–1471. 2005.

DUTRA, M. **Produção de Areia Padronizada Sílica**. Anais do 56° CBC /Ibracon.Natal-RN. 2014.

FERREIRA, C. **Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas.** XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído .Juiz de Fora-MG. 2012.

FONTES, W. *et al.* **Argamassa com resíduos de Lã de Vidro e Lã de Rocha pós-processados.** Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Fortaleza-CE. 2014.

FONTES, W., MENDE, J., SILVA, S & PEIXOTO, R., 2015. **Mortars for laying and coating produced with iron ore tailing dams. Construction and Building Materials.** (unpublished work).

FRANÇA, M. *et al.* **Argamassa de Escória de Aciaria Elétrica para assentamento de Alvenarias e Revestimentos.** Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Fortaleza-CE. 2013.

FRANCL, J.; KINGERY, W. D. **Thermal conductivity: IX, experimental investigation of effect of porosity on thermal conductivity.** Journal of the American ceramic Society, v. 37, n. 2, p. 99-107. 1954.

FRANCO, L. **Concretos e argamassas sustentáveis aplicados À habitação de interesse social.** (Tese de mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto-MG. 2015.

FROTA, A., & SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico.** 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, p. 241. 2001.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano.** Apostila-Universidade Federal de Santa Catarina- Laboratório de Eficiência Energética em edificações. Florianópolis-SC. 2008.

HABITARE. **Programa de Tecnologia de Habitação.** Habitare: resultados de impacto. FINEP. 2007.

JANUZZI, R. **Modelagem do comportamento mecânico de blocos e prismas produzidos com escória de aciaria elétrica para alvenaria estrutural.** (Tese de mestrado)- Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG. 2014.

JIRICKOVÁ, M., & CERNY, R. **Effect of hydrophilic admixtures on moisture and heat transport and storage parameters of mineral wool.** Construction and Building Materials.V.20, p.425-434. 2006.

LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA. ***Eficiência energética na arquitetura***. 3ª ed. Editora: ELETROBRAS/PROCEL. 1997.

MATHEUS, M. A. **Fiberglass aprenda fibra de vidro**. Editora: não consta. 2010.

MENDES, J. **Investigação das Propriedades Térmicas de Matrizes Cimentícias Não-Convencionais: Determinação, Aplicação e Avaliação em Uso**. (Proposta de Doutorado) -Universidade Federal de Ouro Preto.Ouro Preto - MG. 2015.

MENDES, J. **Viabilidade técnica do uso de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio como aditivo incorporador de ar para matrizes cimentícias**. Tese (mestrado). Ouro Preto - MG. 2016.

MENDES, J.C, MORO, T.K., FIGUEIREDO, A.S., SILVA, K.D.C., SILVA, G.C., SILVA, G.J.B, & PEIXOTO, R.A.F. **Construction and Building Materials**. Universidade Federal de Ouro Preto, Laboratório de Materiais de Construção Civil. Ouro Preto-MG. 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção sustentável**. [Online] Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel> [Acesso em 10 03 2017].

NETO, L., PARDINI, L. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª Edição. Editora Edgard Blucher. São Paulo-SP. 2006.

OKADA, E. **Produção de Argamassa Aditivada com Resíduo de Fibra de Vidro Pós-Processada**. Anais do X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Fortaleza-CE. 2013.

OLIVEIRA, A. G. **Proposta de Método para Avaliação do desempenho de residências unifamiliares em clima quente-úmido**. Tese (mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN - PPGAU.. Natal-RN. 2006.

OLIVEIRA, L. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. Tese (doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 2009.

OLIVEIRA, R. **Utilização de um aplicativo de simulação computacional na avaliação de desempenho térmico de protótipo de habitação de interesse social (HIS)**. Tese (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2010.

PAILLERE, A. **Application of Admixtures in Concrete**. (1a ed.). Londres: RILEM. 1995.

PINTO, P.B., PEREIRA, A.P., PAIXÃO, K.F., SILVA, H.E.A., PEIXOTO, R.A.F, MENDES, J.C. **Argamassas macroporosas para revestimento e assentamento**. Universidade Federal de Ouro Preto, Laboratório de Materiais de Construção Civil. Ouro Preto-MG (*não publicado*) 2017.

PIRA, R., GOMES, V. & PEIXOTO, R. **Habitações Sustentáveis de Interesse Social**. XIX Seminário de Iniciação Científica. Ouro Preto-MG. 2011.

REIS, A. **Fibra de vidro, laminação e consertos na prática**. [Online] Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/apostila-fibra-de-vidropdf.html> [Acessado em 02 06 2017]. 2004.

SANTOS.D. *et al.* **Blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular**. Anais do 56° CBC/Ibracon.Natal .2014.

SANTOS.D. *et al.* **Characterization of friable quartzite as aggregate to Portland cement matrices**. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering (unpublished)*.2015.

SILVA, K.D.C. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de lâ de rocha, fibra de vidro e lâ de vidro**. Tese (mestrado)- Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto-MG.2016.

SIWINSKA, A. & GARBALINSKA, H. **Thermal conductivity coefficient of cement-based mortars as air relative humidity function**. *Heat Mass Transfer* 47:1077–1087. 2011.

THERMTEST. **HFM Theory of Operation**. [Online] Disponível em: <https://www.thermtest.com/index.php?page=hfm-theory-of-operation> [Acessado em 07 03 2017]. 2015.

TRINDADE, L. (2014). **Análise de alternativas de projeto de habitação visando maior eficiência energética da construção e maior conforto térmico ao usuário**. *Monografia.Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto- MG*. 2014.

YOUNG, J. F. *et al.* **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**. [S.l.]: Prentice Hall, 1998.

## 7 ANEXO A – SUBMISSÃO IBRACON 2017



Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2017  
Outubro-Novembro / 2017



IBRACON

© 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

### Argamassas macroporosas para revestimento e assentamento

*Macroporous Mortars for Laying and Coating*

Paloma Bárbara Pinto (1), Anderson Patrick Pereira (1), Karine Fernandes Paixão (1), Henrique Emanuel Américo da Silva (2), Ricardo André Fiorotti Peixoto (3), Júlia Castro Mendes (4)

- (1) *Graduando(a), Faculdade Santa Rita (FaSaR) - Departamento de Engenharia Civil.*  
 (2) *Graduando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*  
 (3) *Professor D.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*  
 (4) *Professora M.Sc, Faculdade Santa Rita (FaSaR) - Departamento de Engenharia Civil*  
 Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Brasil. CEP 35400-000. E-mail: jcmendes.eng@gmail.com

#### Resumo

O sistema de vedação vertical de uma edificação é responsável, entre outros, pela proteção da construção aos agentes externos. Em edifícios convencionais, esse sistema é composto por alvenarias e argamassas, as quais possuem um sistema de poros e canaliculos que permitem a absorção capilar da água, sendo potenciais acarretadores de patologias. Dessa forma, este trabalho busca avaliar a dosagem ótima de um aditivo incorporador de ar (AIA) biodegradável nas argamassas. O AIA promove a inserção de macroporos de ar incorporado (5 – 300 µm), provocando uma interrupção dos canaliculos, sem prejudicar suas propriedades fundamentais de aplicação. O aditivo utilizado é baseado em moléculas surfactantes de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), proveniente de detergentes lava-louças. Os detergentes domésticos são produtos amplamente disponíveis, atóxicos, de relativo baixo custo e menor impacto ambiental, visto que são biodegradáveis. O presente trabalho compara resultados de ensaios físicos (absorção de água, coeficiente de capilaridade e massa específica) e térmicos (condutividade térmica) de argamassas de traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:cal:areia) com teores variados de AIA. Foram observadas uma maior trabalhabilidade, maior isolamento térmico e uma redução dos efeitos de elevação capilar e da massa específica para todas as dosagens estudadas. Busca-se, assim, contribuir com a qualidade dos ambientes internos das edificações, além de promover o desenvolvimento tecnológico das matrizes cimentícias.

*Palavra-Chave: Aditivo Incorporador de Ar, Argamassas; Matrizes Macroporosas, Capilaridade.*

#### Abstract

The envelope of a building is responsible, among others, for the physical protection of the building from external agents. In conventional buildings, this system is composed of masonry and mortars, which have a system of pores and canaliculi that allow the capillary absorption of water, potentially incurring in pathologies. Thus, this work seeks to evaluate the optimum dosage of a biodegradable air entraining admixture (AEA) in mortars. The AEA promotes the stabilisation of macropores of incorporated air (5 - 300 µm), interrupting the canaliculi, without damaging the application properties of the mortar. The admixture used in the present work is based on surfactant molecules of Linear Alkyl Benzene Sodium Sulfonate (LAS), derived from dishwashing liquids. Household detergents are widely available products that are easy to apply, non-toxic, relatively inexpensive and have a lower environmental impact, since they are biodegradable. The present work compares the results of physical tests (water absorption, capillary coefficient and specific mass), and thermal evaluation (thermal conductivity) from two mortars mixtures: 1:2:9 and 1:1:6 (cement : lime : sand) with varying levels of AEA. All mixtures studied presented higher workability, higher thermal insulation and a reduction in the effects of capillary elevation and specific mass. Therefore, this work seeks to contribute to the quality of the internal environments of the buildings, as well as to promote the technological development of cement-based composites.

*Keywords: Air-Entraining Admixture, Mortars; Macroporous Cement-Based Composites, Capillarity.*