



**REQUERIMENTO E ANEXOS PARA AFASTAMENTOS DE SERVIDORES DOCENTES DA UFERSA PARA QUALIFICAÇÃO EM INSTITUIÇÕES NACIONAIS OU ESTRANGEIRAS EM NÍVEL ESTÁGIO PÓS-DOCTORAL.**

**1. PREENCHIDO PELO REQUERENTE**

**Nome** (completo sem abreviaturas): KLEBER CAVALCANTI CABRAL

**Identidade:** 1076466 **Órgão Emissor:** SSP **UF:** RN **Data de Emissão:** 17/05/2005

**CPF:** 671.403.354-00 **Data de Nascimento:** 29/10/1969 **Tel.:** (84) 99984-1250

**E-mail:** kleber.cabral@ufersa.edu.br **Departamento/Setor:** DEP. DE ENGENHARIAS/ENG. CIVIL

**Categoria Funcional:** PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR

**Tipo de Afastamento:** ESTÁGIO PÓS-DOCTORAL - INTEGRAL

**Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: Ano(s):** \_\_\_\_ **mês:** \_\_\_\_

**Início do Exercício no Cargo:** 18/03/2013 **(anexar Declaração do PRORH)**

**2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE**

**Estágio:** PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E ENGENHARIA DE MATERIAIS

**Bolsa (órgão concedente):** NÃO APLICÁVEL

**Área de concentração:** MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO

**Prazo previsto para realização do Estágio: Início** 01/09/2019 **Término:** 31/08/2020

**Instituição de realização do Estágio:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

**Cidade:** NATAL **Estado:** RN **País:** BRASIL

**ANEXAR (Obrigatório) Conforme: RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25/06/2018.**

**I.** Lista de verificação própria disponibilizada pela PROPPG (**Check-List**); (**Anexo I**)

**II** – Justificativa de seu requerimento; (**Anexo II**)

**III** – Plano de Trabalho, contendo o projeto de pesquisa para o período da atividade de estágio pós-doutoral; (**Anexo III**)

**IV**- Comprovante de aprovação no processo seletivo ou matrícula do candidato para realizar estágio pós-doutoral, expedido pela instituição responsável, com indicação do: tempo de duração do estágio, do supervisor do estagio e das datas de início e término do estágio; (**Anexo IV**)

**V**- Plano Anual de Qualificação e Formação Docente (PQD) do Centro, comprovando a classificação do docente; (**Anexo V**)

**VI** – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; (**Anexo VI**)

**VII**- Declaração da PROGEPE informando a situação funcional do interessado; (**Anexo VII**)

**VIII**- Termo de Compromisso dos docentes que assumirão os componentes curriculares do docente afastado, durante o período de afastamento, restrito aos casos de indisponibilidade de vaga para contratação de professor substituto; (**Anexo VIII**)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)

ÁRIDO - UFRS,  
AÇÃO - PROPPG

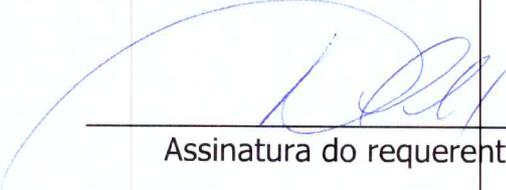
8296/829 - E.mail: [proppg@ufersa.edu.br](mailto:proppg@ufersa.edu.br)

**IX** - Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); **(Anexo IX)**  
**X** - Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. **(Anexo X)**.

*Obs. O afastamento para estágio pós-doutoral dar-se-á nos termos da legislação em vigor, devendo a manifestação de intenção de afastamento ser protocolada em até **90 (noventa) dias antes do início do afastamento**. Conforme Art. 12. da RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA N° 003/2018, de 25/06/2018*

Data: 28/03/2019

Assinatura do requerente

  
Kleber Cavalcanti Cabral  
Coord. Curso Engenharia Civil  
UFERSA Câmpus Angicos  
Mat. SIAPE 1377937



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**

**TERMO DE POSSE**

O **Reitor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido**, no uso de suas atribuições conferidas pelo Decreto de 14 de Junho de 2012, publicado no Diário Oficial da União de 15 de Junho de 2012, tendo em vista o disposto no art. 13, da Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990. EMPOSSA, nesta data, **KLEBER CAVALCANTI CABRAL**, nomeado pela Portaria nº 133, de 29 de janeiro de 2013, publicada no Diário Oficial da União do dia 30 de janeiro de 2013, seção 2, para exercer, o cargo de Professor do 3º Grau.

O servidor apresentou os documentos exigidos por Lei e prestou compromisso de fielmente cumprir com os deveres e atribuições do cargo, bem como se comprometeu a observar o **Código de Ética Profissional do Servidor Civil do Poder Executivo**, aprovado pelo Decreto nº 1.171, de 22 de junho de 1994, anexando a este termo, declaração quanto ao exercício ou não de outro emprego ou função pública.

Para constar, eu **MARDEM JOSÉ MATOS HERCULANO**, com exercício na Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas, lavrei o presente Termo, que vai assinado pelo Reitor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e pelo empossado.

Mossoró-RN, 15 de fevereiro de 2013.

**José de Arimatea de Matos**  
Reitor

**Kleber Cavalcanti Cabral**  
Empossado



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS

---

## TERMO DE EXERCÍCIO

Aos dezoito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e treze, compareceu ao Campus de Caraúbas o servidor **Kleber Cavalcanti Cabral**, RG nº 001.076 466 – SEDS/RN, nomeado pela Portaria UFERSA/GAB nº 133/2013, de 29 de janeiro de 2013, para tomar exercício no Cargo de Professor Assistente, com lotação neste Campus.

Para constar, lavrou-se o presente termo, que vai assinado pela Diretora do Campus de Caraúbas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e pelo servidor.

Mossoró-RN, 18 de fevereiro de 2013.

  
**Edna Lúcia da Rocha Linhares**  
Diretora do Campus

  
**Kleber Cavalcanti Cabral**  
Servidor



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS

---

## TERMO DE EXERCÍCIO

Aos vinte e nove dias do mês de dezembro do ano de dois mil e quinze, compareceu ao Departamento de Ciências Exatas e Naturais do Câmpus Mossoró desta UFERSA, o servidor docente **KLEBER CAVALCANTI CABRAL**, Matrícula SIAPE nº 1377937, ocupante do cargo de Professor do Magistério Superior, removido do Campus de Caraúbas para este Campus de Angicos, conforme Portaria UFERSA/PROGEPE nº 0650/2015, de 28 de dezembro de 2015.

Para constar, lavrou-se o presente termo, que vai assinado pelo Chefe do Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas do Câmpus de Angicos desta Universidade Federal Rural do Semi-Árido e pelo Servidor.

Angicos-RN, 29 de dezembro de 2015.

*Araken de Medeiros Santos*

**Araken de Medeiros Santos**

Chefe do Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas

Araken de Medeiros Santos  
Chefe do DCETH - Angicos  
Port. UFERSA / GAB nº 1.555 / 2015

**Kleber Cavalcanti Cabral**

Professor do Magistério Superior



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84) 3296/8297

PROFESSORES  
COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

E-mail: [proppg@ufersa.edu.br](mailto:proppg@ufersa.edu.br)

## (Anexo I)

### Check-List – Afastamento para estágio pós-doutoral

<b>Nome do solicitante: KLEBER CAVALCANTI CABRAL</b>	
<b>Local do Estágio (Universidade):</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE	
X No País No exterior	
<b>Período de afastamento (inicial e final):</b> 01/09/2019 a 01/09/2020	
<b>Documentos Anexados – Processo Inicial</b>	
	<b>Número da página (Preenchido pela PROPPG):</b>
I. Formulário de requerimento do afastamento;	
II. Justificativa de seu requerimento; <b>(Anexo II)</b>	
III. Plano de Trabalho, contendo o projeto de pesquisa para o período da atividade do estágio pós-doutoral; <b>(Anexo III)</b>	
IV. Comprovante de aprovação no processo seletivo ou matrícula do candidato para realizar estágio pós-doutoral, expedido pela instituição responsável, com indicação do: tempo de duração do estágio, do supervisor do estágio e das datas de início e término do estágio; <b>(Anexo IV)</b>	
V. Plano Anual de Qualificação e Formação Docente (PQD) do Centro, comprovando a classificação do docente; <b>(Anexo V)</b>	
VI. Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; <b>(Anexo VI)</b>	
VII. Declaração da PROGEPE informando a situação funcional do interessado; <b>(Anexo VII)</b>	
VIII. Documentação que formalize a substituição do(a) interessado: <b>(Anexo VIII)</b> Termo de Compromisso dos docentes que assumirão as disciplinas Utilização de vaga ou disponibilidade de professor substituto a ser contratado (a)	
IX. Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); <b>(Anexo IX)</b>	
X. Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. <b>(Anexo X)..</b>	



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMARÃO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - 1 tel.: (84)

ÁRIDO - PERS,  
AÇÃO - OPPG

8296/829 E.mail: [proppg@ufersa.edu.br](mailto:proppg@ufersa.edu.br)

(Anexo II)

**JUSTIFICATIVA PARA O AFASTAMENTO**

Eu, Kleber Cavalcanti Cabral, portador do CPF n.º 671.403.354-00, RG 1.076.466-SSP/RN, servidor público federal, com dedicação exclusiva, tendo entrado em exercício nessa instituição em 18 de março de 2013, no Campus Caraúbas, e a partir de 29 de dezembro de 2015, no Campus Angicos, venho através do presente, solicitar afastamento em tempo integral com remuneração para cursar pós-graduação em nível Estágio Pós-Doutoral, na Área de Ciência e Engenharia dos Materiais na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Desde a entrada em exercício, tenho procurado desempenhar as atividades com respeito e dedicação. Em relação às atividades de ensino, ministrei as disciplinas: Geologia aplicada a Engenharia (1 turma), Resistência dos Materiais I (1 turma) Resistência dos Materiais II (4 turmas), Mecânica das Estruturas (2 turmas), Estruturas de Concreto Armado I (8 turmas), Estruturas de Concreto Armado II (7 turmas), Pontes (1 turma), Pavimentação (1 turma – metade do curso), Tópicos Especiais em Engenharia Civil na Área de Estruturas (5 turmas), Tópicos Especiais em Engenharia Civil na Área de Geotecnia (1 turma em 1 unidade), Topografia (1 turma em 1 unidade) e Engenharia dos Transportes (1 turma em 1 unidade), para o curso de Engenharia Civil.

Na área de Extensão, possui uma atividade na área de engenharia civil, juntamente com o Campus de Caraúbas. Na pesquisa, atuando na coordenação de projetos e orientação de Trabalhos de Conclusão de Curso relacionados a Materiais de Construção Civil, além de publicar artigos científicos na área Materiais e Componentes de Construção.

Na área administrativa, estive como Coordenador do curso de Engenharia Civil, Campus Caraúbas, no período de novembro de 2013 a novembro de 2015, e como Coordenador do curso de Engenharia Civil, Campus Angicos, no período de junho de 2016 até o presente momento.

O afastamento integral se justifica pela proposta de pesquisa que envolve uma metodologia de ensaios em laboratório no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UFRN (Conceito 7 da CAPES). Além, de tratar de um estágio pós-doutoral desenvolvido a mais de 150 km de distância do Campus Angicos.

Pelo exposto, conto com a compreensão e peço deferimento.

Data: 28 de 03 de 2019

  
-----  
**Assinatura do requerente**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84) 3296/829

DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG  
E-mail: [proppg@ufersa.edu.br](mailto:proppg@ufersa.edu.br)

**(Anexo III)**  
**(Obrigatório)**

### **Plano de Trabalho Detalhado**

**Plano de Trabalho, contendo o projeto de pesquisa para o período da  
atividade de estágio pós-doutoral**

**ANÁLISE TÉRMICA E MECÂNICA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM  
ADIÇÃO DE CARGAS MINERAIS LEVES**

Projeto de Estágio Pós-Doutoral  
apresentado ao Programa de Pós-  
Graduação em Ciências e Engenharia de  
Materiais da Universidade Federal do Rio  
Grande do Norte.

**Candidato: Kleber Cavalcanti Cabral**  
**Supervisor Prof. Dr. Antonio Eduardo Martinelli**

Abril de 2019

## 1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO PROJETO

A busca por materiais que venham a trazer maiores benefícios quanto ao aspecto de eficiência energética está cada vez mais constante nos dias de hoje. Materiais energeticamente eficientes passam a ter uma maior visibilidade, principalmente devido ao novo cenário da construção civil, que vem trazendo a preocupação com a qualidade e desempenho das edificações.

A necessidade de se obter edifícios com bom desempenho em vários aspectos leva a desenvolver novos materiais ou ainda aperfeiçoar materiais e sistemas construtivos já existentes. Atualmente no Brasil, a Norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) norteia os padrões mínimos no que se refere à eficiência das edificações no país, trazendo as diretrizes para obtenção do conforto, estabilidade estrutural, vida útil adequada e segurança contra incêndios.

Agregados leves tais como, a perlite, pedra-pomes e argila expandida, com estrutura porosa ou celular, têm sido utilizados para a produção de blocos de alvenaria, painéis de parede, produtos de revestimentos e concretos leves (KOKSAL; GENCEL; KAYA, 2015). Esses agregados quando usados em argamassas ou concretos passam a desenvolver materiais de densidade reduzida, contribuindo com propriedades de isolamento térmico, acústico, resistência ao fogo, assim como na redução do peso próprio e das cargas sobre a estrutura.

Oficialmente em vigor a partir de 19 de julho de 2013, após revisão da norma de 2008, a norma ABNT NBR 15575, sob o título “Edificações habitacionais – Desempenho”, torna-se um importante marco para a inovação tecnológica da construção civil brasileira, trazendo o conceito de comportamento em uso dos sistemas das edificações, o qual estabelece que a construção habitacional deva atender as exigências dos usuários ao longo dos anos, através da busca pelo conforto, estabilidade, segurança estrutural e contra incêndio e vida útil adequada da edificação (CBIC, 2013).

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho da edificação é definido a partir de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais explanam as exigências dos usuários e permitem a mensuração do seu cumprimento.

A Norma de desempenho é composta por um conjunto normativo dividido em seis partes, os quais foram organizados por elementos de construção sequenciados por exigências relativas à segurança (estrutural, contra incêndios e no uso e operação da edificação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico, lumínico etc.) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (CBIC, 2013).

São estabelecidos três patamares de desempenho para os critérios encontrados na Norma. O desempenho Mínimo (M), que deve ser obrigatoriamente atingido, representando o as necessidades básicas de saúde, higiene e economia, como também os níveis Intermediário (I) e o Superior (S), dos quais elevam o nível da edificação além do mínimo exigido, sendo base de comparação entre sistemas ou elementos construtivos, além de ser um critério de valorização do imóvel. Alguns pontos ficaram de fora desta versão na Norma, como o uso de condicionadores de ar, gás combustível, telecomunicações, elevadores, segurança e automação predial (CARRACO, 2015).

No entanto, caracterizar o desempenho desejado é muito difícil pois as necessidades dos usuários são subjetivas e podem variar conforme condições fisiológicas e psicológicas dos usuários (CBIC, 2013). Esses fatores podem mudar a satisfação ou insatisfação da pessoa no ambiente. Portanto, a abordagem de desempenho é aceita como a probabilidade de que o nível de desempenho satisfaça uma parte dos usuários em uma parte do tempo (BORGES, 2008).

O tema da pesquisa traz grande relevância tanto do ponto de vista da melhoria dos aspectos térmicos de edifícios, quanto da diminuição do peso próprio do revestimento de argamassa e conseqüente redução do peso total sobre a estrutura da edificação. Destaca-se ainda a preocupação com o conforto térmico em edifícios que se localizam no Estado do Rio Grande do Norte, no qual a pesquisa será desenvolvida, tendo como princípio o isolamento térmico da edificação e por efeito, a economicidade, uma vez que haverá redução no custo energético do consumo de aparelhos condicionadores de ar, tão comumente usados nas edificações. Arendt, Krzaczek e Florczuk (2011) relataram que a redução da perda de calor em edifícios diminui o consumo de energia e, assim, reduz os custos de aquecimento e arrefecimento.

Durante muito tempo as facilidades proporcionadas pelos sistemas de iluminação e climatização artificiais, largamente utilizados, induziram a uma despreocupação dos profissionais da construção civil frente à adequação dos edifícios quanto aos aspectos de obtenção de conforto térmico e redução do consumo de energia elétrica no ambiente construído. Em 2011, as edificações que incluem as residências, o comércio e o setor público no Brasil representaram 46,7% do total do consumo de energia elétrica, o qual a maior parte é devido aos sistemas de condicionadores de ar, que chega a 20% na média nacional em residências. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O estudo de novas tipologias e tecnologias capazes de atender aos preceitos de conforto ambiental e eficiência energética na realização de um projeto traz benefícios de sustentabilidade na indústria da Construção Civil, que devido as suas atividades, pode ser considerada como a menos sustentável do planeta. (MEDEIROS; NOME; ELALI, 2012).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que as condições de conforto do ambiente interior são fortemente influenciadas pelos materiais de construção utilizados na edificação, e que o entendimento das propriedades desses materiais é essencial para especificá-los e adequá-los às características de isolamento térmico ou proteção solar do projeto. Nesse contexto, Schackow *et al.* (2014) relatam que o uso de vermiculita expandida como agregado leve em materiais à base de cimento proporciona resistência térmica adequada à mistura, sendo possível o emprego em revestimentos de edifícios energeticamente eficientes.

Desta forma, o estudo do presente trabalho visa analisar o desempenho térmico e mecânico de argamassas no traço 1:1:6 (cimento:cal:agregado) com adição de vermiculita expandida (superfina) e/ou fibra de basalto, de modo a atender às exigências da Norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013).

## **Objetivo**

Analisar o desempenho térmico e mecânico de argamassas de revestimento com adição de cargas minerais leves.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Cargas leves

A NBR 12655 (ABNT, 2015) define agregado leve como aquele que possui massa específica menor ou igual a  $2000 \text{ kg/m}^3$ . São exemplos de agregados leves: os agregados expandidos de argila, resíduos de esgoto sinterizado, escória siderúrgica, ardósia, vermiculita, entre outros.

Os agregados leves não estruturais como vermiculita, perlita e agregados de poliestireno expandido de densidade muito baixa estão sendo incorporados como substituição parcial de areia em argamassas à base de cimento. A vantagem principal do uso destes materiais são as boas propriedades de isolamento devido à sua estrutura altamente porosa (MO *et al* 2018).

### 2.3 Argamassa térmica

As argamassas tradicionais não possuem propriedades suficientes de isolamento térmico e acústico, sendo, portanto, necessária à realização de pesquisa e investigação de materiais alternativos para as argamassas térmicas de alvenaria (SOUSA, 2010). O autor destaca que os sistemas de revestimentos à base de argamassa têm sofrido modificações significativas devido ao emprego de novos materiais, como as argamassas leves, que apesar de possuírem resistências mecânicas inferiores às das argamassas tradicionais, possuem propriedades de isolamento térmico.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) alegam que o desempenho térmico dos elementos construtivos está relacionado com as propriedades térmicas dos materiais constituintes. Por exemplo, os materiais cimentícios, são normalmente isolantes à transferência de calor, podendo o comportamento térmico ser representado pelas suas propriedades de capacidade calorífica e condutividade térmica. Os autores afirmam também que a baixa condutividade térmica do ar, presente na estrutura porosa de materiais de baixa densidade como cortiça, isopor, lã de vidro, entre

outros, favorece a capacidade desses materiais em reduzir a passagem de calor de uma superfície mais quente para uma mais fria.

## **2.4 Isolantes térmicos**

O intuito da utilização de um sistema de isolamento térmico é inibir ou reduzir o fluxo de calor. Entre os isolantes térmicos tradicionais encontram-se as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas em grânulos e os flocos de lãs minerais. A resistência térmica desses materiais ocorre principalmente devido à grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares (OLIVEIRA, 2009).

Diversos materiais podem ser utilizados na forma de isoladores térmicos, desde que exerçam a função de minimizar a difusividade térmica, ou seja, reduzir a taxa de transferência de calor entre um sistema e o meio, mantendo um armazenamento adequado de energia no material (MENDES *et al.*, 2012)

### **2.4.1 Vermiculita expandida**

O termo "vermiculita" é derivado do latim *vermiculus*, que significa pequeno verme, devido ao fato de ser um material que se expande sob aquecimento, onde suas partículas movimentam-se de forma análoga aos vermes (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005). A vermiculita,  $(Mg, Fe)_3 [(Si, Al)_4 O_{10}] [OH]_2 4H_2O$ , é um mineral semelhante à mica com flocos brilhantes que é um membro do grupo filossilicato, formada sob condições naturais, como alternância hidrotermal de biotita ou intemperismo da flogopita. O minério de vermiculita é constituído por silicatos hidratados de magnésio, alumínio e ferro, com uma estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal. A variação na composição química da vermiculita pode causar uma variação em suas propriedades físicas (SUVOROV, SKURIKHIN, 2003).

O nome vermiculita é utilizado também para denominar comercialmente um grupo de minerais micáceos formado por cerca de dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, contendo ferro e outros elementos. O mineral

possui uma faixa de composições que depende da composição da mica que a originou, da variação química durante o intemperismo e da troca iônica durante o processo de formação (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005).

A vermiculita se expande quando aquecida a 650-950° C, este processo é denominado de esfoliação. Quando a vermiculita é aquecida, ela se expande em aproximadamente 8 a 30 vezes seu tamanho original e se converte em fragmentos leves e soltos que se separam pela entrada de ar. A vermiculita esfoliada exibe de 10 a 11 vezes menos densidade do que seu volume original antes do aquecimento, baixa condutividade térmica e ponto de fusão relativamente alto (SUVOROV, SKURIKHIN, 2003).

Após o resfriamento a vermiculita expandida preserva seu novo volume com listras muito finas de ar entre as folhas. As partículas são vistas como placas delgadas, com uma estrutura porosa e brilho oleoso ou sedoso, separadas por uma fina abertura de ar. Sua forma, cor, brilho e composição de grãos estão intimamente relacionados à matéria-prima original. Normalmente, a cor da partícula de vermiculita é amarela-dourada ou marrom, ocasionalmente esverdeada com um brilho rosado nacarado. (KOKSAL; GENCEL; KAYA, 2015; SUVOROV, SKURIKHIN, 2003). A Figura 2.1 apresenta a vermiculita expandida:

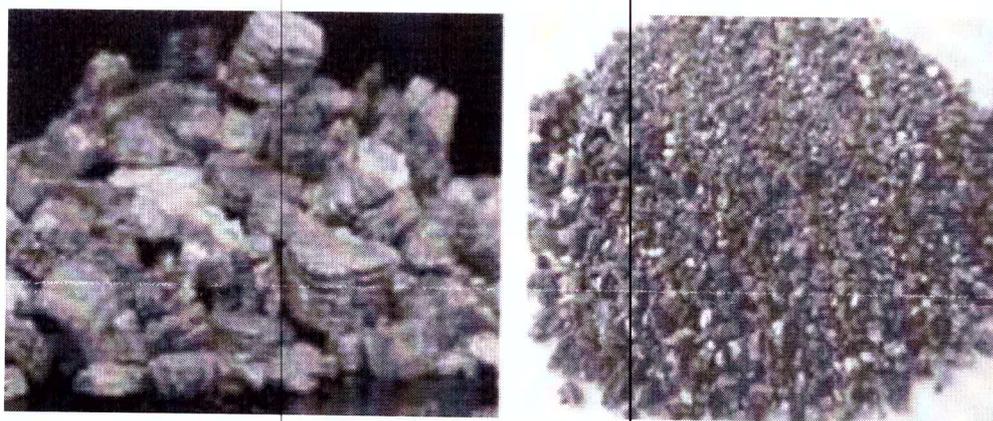


Figura 2.1 - Vermiculita expandida  
Fonte: RASHAD (2016).

O mineral vermiculita apresenta semelhanças estruturais com clorita e com montmorilonita. É composto por unidades de silicato do tipo encontrado nas micas com uma deficiência de cargas negativas devido a substituições na camada tetraédrica. Os cátions interlamelares neutralizantes são geralmente magnésio,

como na clorita, mas diferenciam desta por estarem cercados por água em vez de hidroxilas (SANTOS, 1989).

Os depósitos brasileiros e mundiais de vermiculita ocorrem principalmente dentro das zonas de complexos máficos-ultramáficos e carbonatitos. Os maiores produtores de vermiculita são: África do Sul, com 29,9% da produção, seguida pelos Estados Unidos da América (EUA), com 23,0%, e Brasil, com 15,6% (PAULA, 2014; REIS, 2002).

No Brasil as jazidas de vermiculita estão presentes nos estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná, Piauí e Paraíba. Em 2013, a vermiculita produzida e beneficiada no país foi de aproximadamente 68.014 toneladas, sendo usada em sua forma expandida em diversas aplicações (PAULA, 2014).

Os materiais e produtos oriundos da vermiculita são incombustíveis, isolantes termo-acústico, bio-estáveis à ação de ácidos, têm resistência estável com o tempo e resistência à deformação, o que garante inúmeras aplicações nos mais diversos setores (KOKSAL; GENCEL; KAYA, 2015).

O mineral utilizado na forma expandida apresenta propriedades como baixos valores de massa específica aparente e de condutividade térmica. Essas qualidades, associadas à granulometria, tornam o produto de vermiculita muito atrativo para o uso em diversas áreas, como na construção civil, na agricultura, nas indústrias química, de tintas, dentre outras (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005).

A vermiculita apresenta características particulares, é um material não abrasivo, inodoro, de pH essencialmente neutro, inerte, não se decompõe e possui propriedades isolantes térmicas devido a sua alta temperatura de sinterização, uma vez expandida a vermiculita apresenta baixa densidade, características de isolante acústico, alta absorção de líquidos e elevada área superficial; propriedades que permitem que seja utilizada em várias aplicações e principalmente na forma expandida (PERALTA, 2009).

A vermiculita expandida possui baixa densidade, condutividade térmica, pouca propagação sonora e alta resistência ao incêndio. Devido a essas características, o mineral pode ser utilizado em diversas aplicações, como: na

fabricação de argamassa, concreto e tijolos leves, isolante termo-acústico para lajes, paredes e divisórias, câmara à prova de fogo e som, porta corta-fogo, entre outros (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005; REIS, 2002).

Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas com a aplicação de vermiculita na construção civil. Rashad (2016) elaborou um artigo de revisão que resumia e reunia as publicações dispersas na literatura relacionadas ao emprego da vermiculita expandida como material de construção e indicou as vantagens e desvantagens. As vantagens do uso de vermiculita expandida na matriz de cimento são aumentar a trabalhabilidade, diminuir o peso da unidade, aumentar o isolamento acústico e térmico e aumentar a resistência ao fogo. As desvantagens são diminuir a resistência mecânica, aumentar a porosidade e absorção de água. Essas desvantagens podem ser atenuadas pela adição de diferentes aditivos, conforme explicado na seção anterior.

As pesquisas sobre a utilização de vermiculita em materiais cimentícios são bastante limitadas e ganharam maior atenção recentemente. Em argamassas, Mo *et al* (2018) analisaram a consistência, resistência à compressão e residual; e absorção de água incorporando agregado leve de vermiculita. Koksai; Gencel; Kaya (2015) estudaram as propriedades de argamassas com sílica ativa e vermiculita em temperaturas ambientes e elevadas. Koksai; Genecel e Kaya (2015) investigaram propriedades físicas e mecânicas de argamassas com fibra de aço e vermiculita em temperaturas elevadas. Cintra; Paiva e Baldo (2014) avaliaram as propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas com vermiculita e resíduos de borracha reciclada de pneus.

Em concretos, Schackow *et al.* (2014) analisaram as propriedades mecânicas e térmicas, comparando concretos com vermiculita e com EPS (Poliestireno expandido). Azad *et al* (2018) investigaram as propriedades mecânicas de concretos com uso de vermiculita e dolomita.

### 2.4.2 Fibras de basalto

Fibras de basalto em forma de lã de rocha (Figura 2.2) são materiais amorfos amplamente utilizados na indústria para fins de isolamento térmico. O processo de produção é semelhante às fibras de vidro, porém com menos energia consumida e sem aditivos, o que torna mais barata do que fibras de vidro ou de carbono. Rochas basálticas e escória são as principais matérias-primas utilizadas. Caso necessário, adiciona-se calcário ou outros elementos, de modo a corrigir eventuais desvios na composição química do basalto (PAIVA, 2018; RODRIGUES, 2009; SIM et al., 2005; TRDIC et al., 1999).

Figura 2.2 - Flocos de lã de rocha.



**Fonte:** Paiva (2018)

O processo mais comum para a produção de lã de rocha é o *Melt Spinning*. Quantidades de matérias-primas são medidas, homogeneizadas e enviadas a um forno que opera a temperaturas em torno 1300 °C a 1500 °C. Após fusão, o material é disposto em cilindros metálicos rotativos para fabricação de fibras de basalto.

Sua composição química é basicamente constituída por SiO<sub>2</sub>, principal componente, com percentual variando de 40 a 55% (FIORE, 2015).

O custo das fibras de basalto varia em função da qualidade e tipo de matéria-prima, processo de produção e características do produto final. Quanto ao custo, as propriedades químicas e mecânicas dependem da composição química da matéria-prima. Diferenças em relação à composição e concentração de elementos

podem modificar a estabilidade térmica e química, bem como as propriedades mecânicas e físicas (NOVITSKII, 2004).

São fibras conhecidas como material não tóxico e possuem alta resistência à tração. Além disso, são resistentes a álcalis e ácidos, altas temperaturas, produtos químicos agressivos e mais estáveis que fibras minerais e de vidro. Em geral, as fibras basalto podem ser consideradas como produto verde comparado a outros materiais: (i) a matéria-prima usada para fabricação é rocha natural; (ii) somente gás natural ou eletricidade são usados para fusão; (iii) não precisa de quaisquer aditivos químicos ou materiais perigosos no processo de fusão; (iv) não libera resíduo industrial durante a produção; (v) não produz quaisquer produtos químicos que possam causar danos à saúde; e (vi) não penetra no sistema de respiração humana (KATKHUDA & SHATARAT, 2017).

Apresentam várias vantagens, o que as tornam boa alternativa como material de reforço em compósitos, usados em diversos campos como marinhos, automotivos, equipamentos esportivos, civis, entre outros. A Tabela 2.1 apresenta algumas propriedades físicas e mecânicas das fibras de basalto comparada às fibras de vidro.

Tabela 2.1- Propriedades das fibras de basalto em relação às fibras de vidro.

Propriedades	Fibra de vidro	Fibra de basalto
Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	2,5	2,8
Módulo de elasticidade (GPa)	76,0	89,0
Resistência à tração (GPa)	1,4-2,5	2,8
Alongamento para fratura (%)	1,8-3,2	3,1
Específico módulo E (GPa por $\text{g/cm}^3$ )	30,0	31,7
Específica força à tração (GPa por $\text{g/cm}^3$ )	0,5-1,0	1,0

Fonte: Adaptado de FIORE et al. (2015).

## 2.5 Propriedades das argamassas

Para obter uma argamassa de revestimento de bom desempenho, é necessário que elas apresentem um conjunto de propriedades específicas, relativas à argamassa tanto no estado plástico como no estado endurecido, como as condições de compacidade, aderência, constância de volume, impermeabilidade, resistência mecânica adequada e durabilidade. O sistema de revestimento necessita também contribuir com funções de isolamento térmico, isolamento acústico, resistência ao desgaste e abalos superficiais, segurança ao fogo e servir também como base para acabamentos decorativos (SANTIAGO, 2007; CARASEK, 2010).

### 2.5.1 Retração

A retração é um mecanismo complexo que está associado a variação de volume da pasta-aglomerante e desempenha um papel fundamental no comportamento das argamassas aplicadas, sobretudo quanto à estanqueidade e à durabilidade (CARASEK, 2010).

A retração também é influenciada pela quantidade de materiais pulverulentos (grãos com tamanhos inferiores a 0,075 mm) e pelo teor de água das argamassas. De maneira geral, quanto maior o teor de finos, maior a retração, principalmente quando os grãos são inferiores a 5 µm. Devido à alta superfície específica desses finos, é necessária uma maior quantidade de água de amassamento para manter a trabalhabilidade, causando assim maior retração e conseqüentemente, fissuração, o que compromete a durabilidade dos revestimentos (CARASEK, 2010).

Bastos *et al* (2001) analisaram a retração em argamassas mistas de revestimentos de cimento, cal e areia, variando o teor de cal. O ensaio foi realizado com aplicação da argamassa em uma base não absorvente (metálica) e uma base

cerâmica (seca e úmida). Os resultados mostraram que a retração aumentou com o aumento do teor de cal para todas as situações de aplicação. Sobre o bloco seco, a retração foi 20 vezes maior do que no bloco saturado. Na superfície metálica a retração foi impossibilitada de continuar aos estágios seguintes.

Melo Neto (2002) estudou a cinética das retrações autógena e por secagem não restringida do cimento de escória ativada em função, principalmente, do tipo e teor de ativadores empregados. Foram empregados como ativadores: silicato de sódio, cal hidratada com gipsita, cal hidratada e hidróxido de sódio. De acordo com os resultados obtidos, a ativação da escória com silicato de sódio apresentou retração por secagem e autógena superior à apresentada pelos demais ativadores e pelo cimento Portland.

### **2.5.2 Aderência**

Aderência é a propriedade que permite a camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface base e revestimento (MARTINS; ASSUNÇÃO, 2010). Esta propriedade deriva da união de três propriedades da interface argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração; a resistência de aderência ao cisalhamento; a extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida) (CARASEK, 2010).

Carasek (2010) relata que tanto a natureza como as proporções dos constituintes da argamassa exercem grande influência na aderência. Por exemplo, o cimento, quanto mais fino for, maior é a resistência de aderência. Porém, a cal, devido à sua capacidade de reconstituição autógena, proporciona maior extensão de aderência e favorece a sua durabilidade. A areia é outro fator que influencia a aderência, sendo indesejáveis areias muito grossa e com elevados teores de finos.

Kieling *et al* (2009) verificaram a influência da substituição do cimento por cinzas de casca de arroz (CCA) na aderência de argamassas de revestimento em substratos compostos por blocos cerâmicos estruturais. Foram preparadas argamassas com 0%, 5% e 10% de CCA em substituição ao cimento em volume. As argamassas foram submetidas aos ensaios de resistência de aderência à tração,

obtendo-se os maiores valores para a argamassa com 5% de adição, provavelmente por apresenta uma menor quantidade de vazios na interface.

### 2.5.2 Dilatação térmica

Um dos principais agentes de degradação mecânica dos revestimentos de argamassas é a temperatura, sobretudo devido as tensões que sua variação provoca. No nível microscópico as tensões ocorrem devido à diferença entre os coeficientes de dilatação térmica da pasta e dos agregados (ESQUIVEL; BARROS, 2009). Dilatação térmica pode ser definida como sendo o aumento das dimensões de um corpo após aumento de temperatura (GASPAR, 2000).

O coeficiente de expansão térmica (CET) é uma das principais propriedades termomecânicas para materiais à base de cimento. Comumente é desejado manter o material com o coeficiente de expansão térmica o mais baixo possível. Além disso, o CET da pasta de cimento é um parâmetro fundamental para determinar a tensão interna entre as diferentes fases da pasta, com o intuito de prever possíveis danos provocados pela incompatibilidade da dilatação térmica de cada fase (ZENG et al, 2012). Os autores determinaram o coeficiente de expansão térmica linear de pastas e argamassas de cimento com diferentes conteúdos vazios de ar aprisionado sob condições secas e drenadas. Os resultados mostram que a porosidade tem efeito significativo para o coeficiente de expansão térmica, que diminuiu com o aumento da porosidade, para ambas situações.

Shui *et al* (2010) investigaram os efeitos das misturas minerais (cinzas volantes, escória granulada de alto forno moída e sílica ativa) na propriedade de expansão térmica em argamassas, através de um dilatômetro. A substituição de cimento Portland por misturas minerais mostrou-se benéfico para mitigar o descompasso térmico entre a pasta de cimento e os agregados. Os efeitos das misturas minerais se devem principalmente à alteração da porosidade e das quantidades de produtos de hidratação nas pastas.

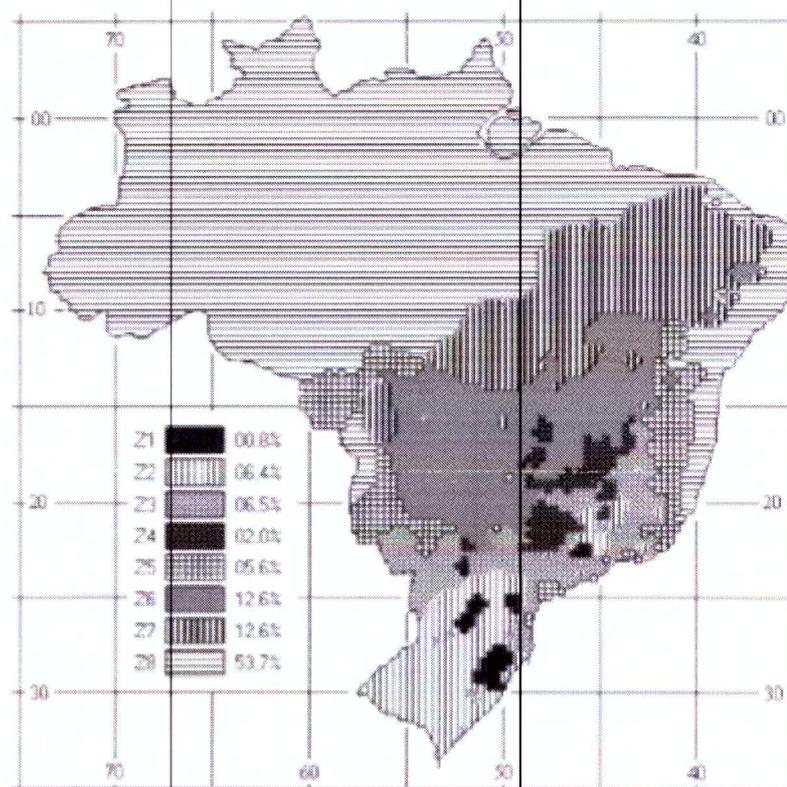
## 2.6 Desempenho térmico

O desempenho térmico é uma característica essencial para toda edificação, pois além de refletir no conforto direto das pessoas no ambiente, como nas atividades diárias ou no sono, também é considerado nas questões energéticas uma vez que, diminui a necessidade do uso de condicionadores de ar (CBIC, 2013).

De acordo com Lamberts; Dutra e Pereira (2014) o desempenho térmico está intimamente ligado ao conforto térmico, que pode ser definido como uma sensação humana, subjetiva e dependente de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, como: o metabolismo, vestimentas, idade, peso, sexo, velocidade do vento, umidade relativa do ar, entre outros. Os estudos em conforto térmico se baseiam em fatores de satisfação humana, conservação de energia e desempenho em atividades intelectuais, manuais e perspectivas. As diretrizes para esses estudos são métodos para uma avaliação térmica detalhada e análise das condições necessárias para concepção de um ambiente térmico adequado às atividades do homem.

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), as edificações residenciais devem apresentar características que atendam ao desempenho térmico, considerando-se a região bioclimática a qual esteja inserida, devido à grande extensão territorial brasileira e os diferentes climas em cada região. A Figura 2.3 apresenta o zoneamento definido pela norma ABNT NBR 15220 (ABNT, 2003), que traz oito zonas distintas e seus respectivos percentuais em relação à área total do território brasileiro.

Figura 2.3 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2003).

A NBR 15220 (ABNT, 2003) define também as orientações construtivas para cada zona, de acordo com os parâmetros referentes a tamanho e proteção de aberturas, tipo de vedações externas, parede externa e cobertura e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Com os dados de posicionamento geográfico e os parâmetros térmicos definidos pelos dias típicos de inverno e de verão das cidades zoneadas, é possível avaliar o desempenho térmico nos diferentes procedimentos apresentados pela norma ABNT NBR 15575 (CBIC, 2013):

- Procedimento 1 A – Simplificado: é verificado o atendimento aos requisitos para os sistemas de vedação e coberturas, com base em valores máximos admissíveis para transmitância térmica e mínimos admissíveis para capacidade térmica;

i. Transmitância térmica de paredes externas:

Transmitância térmica é uma propriedade que representa a capacidade dos materiais de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura. Essa característica está relacionada à possibilidade da passagem de energia, à condutividade térmica dos materiais constituintes e a espessura do componente (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2010).

Para o cálculo de transmitância térmica deve-se determinar o inverso da resistência térmica total, sendo esta a relação entre a espessura ( $e$ ) e a condutividade térmica ( $\lambda$ ) de cada material que compõem o sistema. Os valores máximos admissíveis estabelecidos para a transmitância térmica estão apresentados na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Transmitância térmica de paredes externas

<b>Transmitância Térmica (U)</b>		
W/m <sup>2</sup> .K		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

$\alpha^a$  é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

#### ii. Capacidade térmica de paredes externas:

A capacidade térmica é a quantidade de energia necessária para variar em 1 °C a temperatura de um ambiente e é resultado do produto da capacidade calorífica volumétrica ( $C_v$ ) pela espessura ( $e$ ) do material avaliado ou o produto entre essa espessura ( $e$ ), o calor específico ( $c$ ) e densidade de massa aparente ( $\rho$ ). Os valores mínimos admissíveis estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Capacidade térmica de paredes externas

<b>Capacidade Térmica (CT)</b>	
kJ/m <sup>2</sup> .K	
<b>Zona 8</b>	<b>Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e</b>

			<b>7</b>
Sem exigência			≥ 130

- Procedimento 1 B – Simulação computacional: este procedimento deve ser realizado quando os resultados de transmitância térmica e capacidade térmica tornaram-se insatisfatórios de acordo com as diretrizes prescritas na parte 4 e 5 da norma;
- Procedimento 2 – Medição in loco: procedimento de caráter somente informativo, sua realização não descarta a dos demais procedimentos. Consiste na avaliação do atendimento as exigências da norma, por meio de medições em edificações ou protótipos construídos, buscando reproduzir ao máximo as condições reais.

Com base nos resultados obtidos nos procedimentos é possível prever o nível de atendimento atingido pelos sistemas de fachadas e coberturas. A avaliação simplificada fornece apenas o nível de atendimento obrigatório, ou seja, nível mínimo (M). Por tanto, quando for necessário classificar o desempenho térmico do sistema de fachadas em níveis superiores, seja intermediário (I) ou superior (S), deverá ser realizado a simulação computacional ou a medição em protótipo (CBIC, 2013).

### 2.6.1 Propriedades térmicas

Os conceitos das propriedades térmicas são primordiais para compreender e avaliar o desempenho térmico das edificações. A condutividade térmica, a massa específica aparente e o calor específico são as propriedades térmicas mais importantes para caracterizar termicamente os elementos e sistemas construtivos (OLIVEIRA, 2009).

A condutividade térmica é uma propriedade que define a quantidade de fluxo de calor que atravessa uma unidade de espessura do material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (SANTOS; MATIAS, 2006). Senhadji *et al* (2019) analisaram argamassas produzidas

com o uso de resíduos reciclados de policloreto de vinila (PVC), incorporando 0, 10, 30, 50 e 70% de PVC como substituto da areia natural e notaram que os agregados plásticos reduziram a densidade da argamassa e a condutividade térmica, tornando-a mais eficiente termicamente.

A Capacidade calorífica volumétrica é definida como sendo o produto da densidade de massa do material pelo seu calor específico (BORGES, 2009). Tanto a capacidade calorífica quanto o calor específico, representam a capacidade de um material em armazenar calor. Entretanto, o último representa essa função por unidade de massa, enquanto o primeiro, por unidade de volume, sendo também conhecido, portanto, por capacidade calorífica volumétrica (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

A difusividade térmica representa a velocidade com que o calor se difunde por meio de um material, sendo a razão entre as duas propriedades essenciais para a avaliação do desempenho térmico, a condutividade e capacidade calorífica (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Saha, Sarker e Golovanevskiy (2018) estudaram as propriedades térmicas de argamassas utilizando agregado de escória de ferromnês, e notaram que a condutividade térmica e a difusividade térmica da argamassa diminuíram com o aumento do conteúdo de resíduo, devido ao aumento da porosidade.

### 3 INCORPORAÇÃO DE CARGAS LEVES EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

No estudo da arte realizado por Rashad (2016), a respeito do uso da vermiculita como material de construção, o autor explicita que a trabalhabilidade de misturas contendo vermiculita expandida ainda precisa de maiores investigações. Koksai; Gencel; Kaya (2015) afirmam que a trabalhabilidade aumentou com o incremento do resíduo. Essa melhora na trabalhabilidade pode estar relacionada ao aumento do conteúdo de ar com a inclusão da vermiculita.

No entanto, Silva *et al* (2009); Palomar, Barluenga e Puentes (2014); Barros (2018); e Mo *et al* (2018) relatam que é necessário aumentar a quantidade de água para obter uma trabalhabilidade adequada e dentro do limite requerido por norma. Tal fato pode ser justificado devido à alta porosidade da vermiculita expandida.

Os autores Mo *et al* (2018), investigaram as propriedades de argamassas contendo vermiculita expandida como substituto da areia em níveis de 30% e 60% e confirmaram que a natureza porosa e leve da vermiculita expandida contribuiu para a redução do peso unitário e da resistência à compressão, além do aumento da absorção de água.

Koksai; Gencel; Kaya (2015) analisaram o efeito combinado da vermiculita e sílica ativa em argamassas e observaram um bom desempenho em relação a resistência e durabilidade a temperaturas elevadas, revelando que a vermiculita é um bom material resistente ao fogo. Mo *et al* (2018), confirmam também que o resíduo teve efeito positivo no fornecimento de resistência ao calor e estabilidade térmica, embora a perda de peso das argamassas de vermiculita expandida submetidas a temperaturas elevadas tenha aumentado.

De acordo com os estudos de Xu *et al.* (2015), a resistência à compressão e à flexão das argamassas contendo 50% e 100% de parafina/vermiculita em substituição ao agregado natural, são reduzidas. Os resultados mostram uma redução de 47,35% e 56,49% para compressão e 22,58% e 20,97% para flexão, respectivamente. Mo *et al* (2018), também notou a redução de cerca de 50% e 63% quando a vermiculita expandida foi incorporada nas substituições de volume de 30% e 60%, respectivamente. Esses resultados são compatíveis aos de Schackow *et al* (2014). Os autores explicam que a tendência de diminuição da resistência à

compressão nas argamassas de vermiculita expandida pode ser atribuída à estrutura mole e porosa do mineral. Além disso, o menor teor de finos presentes na vermiculita expandida poderia resultar em empacotamento de partículas menos favorável e afetar negativamente a resistência da argamassa.

Em relação às propriedades térmicas, Barros (2018) verificou que na mistura com 100% de vermiculita expandida, quando comparado ao traço de referência, houve redução na condutividade térmica de aproximadamente 82%. No traço com 25% de substituição, a condutividade reduz em 19,4%, e nos traços de 50% e 75%, a redução chega a 53,7% e 74,6% em relação à referência, respectivamente. Koksai, Gencel e Kaya (2015); Xu et al. (2015); Mo *et al* (2018), também obtiveram resultados positivos. Essa melhoria pode ser justificada pela grande quantidade de ar presente na estrutura lamelar da vermiculita expandida presente nas misturas, pois por ser um excelente isolante, o ar contido nas lamelas, favorece a redução da condutividade térmica do material.

O estudo realizado por Cintra; Paiva e Baldo (2014) comparou argamassas produzidas com vermiculita expandida e argamassas com vermiculita e adição de resíduo de borracha de pneus. Os autores puderam concluir que as argamassas contendo vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus, apresentaram propriedades similares no estado fresco, enquanto que no estado endurecido apresentaram melhores resultados de resistência à compressão e aderência, do que aqueles apresentados pelas argamassas que não foram aditivadas com borracha (só com vermiculita). Mostrando-se assim que a combinação dos resíduos é uma alternativa viável.

No geral, a incorporação da vermiculita expandida em argamassas pode proporcionar algumas vantagens, das quais algumas propriedades são modificadas e algumas desvantagens, das quais algumas propriedades são descartadas. Porém, é necessário um maior aprofundamento sobre essas características (RASHAD, 2016).

Jiang et al. (2014) aplicaram fibras de basalto ao concreto e relataram que embora as fibras reduzam a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, elas melhoravam a resistência à flexão e à tração, tenacidade, resistência à abrasão,

resistência à fadiga, capacidade de deformação e capacidade de carga após fissuração quando misturado ao cimento.

Kabay (2014) estudou resistência à abrasão e energia à fratura de concretos com adição de fibras de basalto. O estudo confirmou aumento de resistência à flexão e energia à fratura do concreto devido às fibras. Sua utilização também conduziu melhorias de resistência à abrasão e redução da contração por secagem da pasta de cimento.

Ren et al. (2016) investigaram a influência das fibras de basalto no concreto e mistura de cimento expostos a temperaturas elevadas. Relataram que a aplicação indicou melhoria no desempenho de força, capacidade de deformação e absorção de energia do concreto, após exposição até 800°C.

Katkhuda & Shatarat (2017) investigaram a melhoria das propriedades mecânicas de agregado de concreto reciclado (RCA) produzido pela adição de fibras de basalto (BF) picadas com adições de 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1% e 1,5% para agregados reciclados tratados e não tratados. Os resultados mostraram que o BF picado aumentou minimamente a resistência à compressão, mas melhorou significativamente a resistência à tração e à flexão do concreto.

Iorio et al. (2018) estudaram modificação de superfície e caracterização de fibras de basalto como potencial reforço de concretos. Concluíram que determinados tratamentos realizados na superfície das fibras de basalto comerciais podem ser responsável por uma maior adesão entre matriz-fibra.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais**

#### **4.1.1 Cimento**

Para o desenvolvimento do trabalho, será utilizado o cimento Portland CP V - ARI RS.

#### **4.1.2 Cal**

A cal que será utilizada é a hidratada do tipo CH-I, classificada de acordo com a norma NBR 7175 (ABNT, 2003), fabricada pela empresa CalNorte.

#### **4.1.3 Agregados**

Para o desenvolvimento desta pesquisa serão utilizados dois tipos de agregados miúdos, sendo: areia natural (AN) fina (utilizada para reboco), coletada na condição lavada e extraída por dragagem em rio, vermiculita expandida (VE), que foi fornecida pela Indústria e Comércio Paulista Ltda, de Santo Amaro/SP e fibra de basalto.

#### **4.1.4 Água**

A água utilizada na produção das argamassas será proveniente da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN).

### **4.2 Métodos**

Inicialmente será realizada a caracterização dos materiais, em seguida, a definição dos traços e percentuais de substituição do agregado. Por fim, os ensaios das propriedades no estado fresco e endurecido e as propriedades térmicas.

#### 4.2.1 Caracterização dos agregados

A areia natural será seca em estufa e, posteriormente, resfriada à temperatura ambiente. Em seguida será quarteada, de acordo com a NBR NM 27 (2001) até a obtenção da quantidade de material necessária para realização de cada ensaio. O agregado será caracterizado quanto suas propriedades físicas, conforme prescrito nas normas apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Ensaio para a caracterização da areia.

Descrição/NBR
Distribuição granulométrica - NBR NM 248:2003;
Massa unitária e índice de vazios - NBR NM 45:2006;
Massa específica e aparente - NBR NM 52:2009

A vermiculita expandida será caracterizada quanto suas propriedades físicas, químicas, microestruturais e térmicas (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Ensaio para a caracterização da vermiculita expandida

Ensaio	Descrição
Físicos	Distribuição granulométrica NBR NM 248:2003 Massa unitária NBR 45/2006 Massa específica
Químicos	Florescência de Raios X – FRX
Mineralógicos	Difração de Raios X – DRX
Microestruturais	Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV
Térmicos	Termogravimetria – TG/DTG

#### 4.2.2 Produção das argamassas

Para confecção das argamassas será adotado o traço 1:1:6 (cimento, cal, areia). O teor de substituição do agregado natural pela vermiculita expandida será de 30%, 35%, 40% e 45% para um índice de consistência de  $260 \pm 5$  mm, conforme

a NBR 13276 (ABNT, 2005). Essas porcentagens foram determinadas em função de uma lacuna (Figuras 4.1 e 4.2) deixada nos resultados dos ensaios de compressão, índice de vazios e condutividade térmica realizada por BARROS (2018).

### **4.2.3 Propriedades das argamassas no estado fresco**

#### **4.2.3.1 Índice de consistência**

O ensaio de índice de consistência determinará a quantidade de água necessária para alcançar a consistência de  $(260 \pm 5)$  mm. O procedimento será realizado de acordo com as prescrições da NBR 13276 (ABNT, 2005) – “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência”.

#### **4.2.3.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado**

A densidade de massa será determinada de acordo com as prescrições da NBR 13278 (ABNT, 2005), com base na relação entre a massa que uma argamassa fresca ocupa dentro de um recipiente cilíndrico de peso conhecido, e o volume deste.

#### **4.2.3.3 Retenção de água**

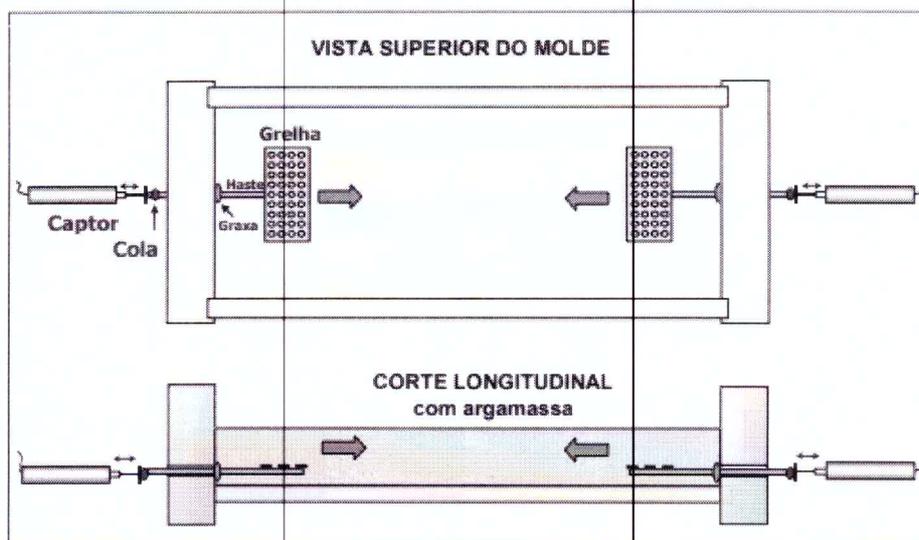
A determinação da retenção de água das argamassas será realizada através do método prescrito na norma NBR 13277 (ABNT, 2005) - “Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água”.

#### **4.2.3.4 Retração**

A retração no estado fresco será determinada por meio de uma adaptação do ensaio desenvolvido no Institut National de Sciences Appliquées – INSA de Toulouse, França. São moldados corpos-de-prova em forma de placa de dimensões 400 x 150 (mm) e 15 mm de espessura, e as medidas da deformação linear são

realizadas durante 24 horas. Cada molde funciona com dois captores de deformação que seguem o deslocamento de duas grelhas metálicas envolvidas pela argamassa nas extremidades do molde, como mostra a Figura 4.3.

Figura 4.3 – Molde para ensaio de retração



Fonte: BASTOS; NAKAKURA; CINCOTTO (2005)

#### 4.2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios nas argamassas no estado endurecido, serão moldados corpos de prova nas dimensões 40x40x160 mm, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para realização dos ensaios térmicos, serão confeccionados corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm e placas de dimensões 29,5x34,0 cm e espessura de 2 cm.

Os corpos de prova permanecerão durante 48h nos moldes em temperatura ambiente. Decorrido esse período, os mesmos serão desmoldados e mantidos nas mesmas condições até as datas dos ensaios.

## **4.2.5 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

### **4.2.5.1 Resistência à compressão e à tração na flexão**

Os ensaios de resistência à compressão e a tração na flexão serão realizados de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Primeiramente, os corpos de prova serão rompidos à tração na flexão e, e cada metade do corpo de prova será rompido à compressão axial.

### **4.2.5.2 Módulo de elasticidade dinâmico**

O módulo de elasticidade dinâmico será obtido de acordo com a norma NBR 15630 (ABNT, 2008), que relaciona o coeficiente de Poisson da argamassa, a velocidade de propagação de onda ultrassônica em corpos de prova. A densidade de massa aparente será obtida a partir da NBR 13280 (ABNT, 2005).

### **4.2.5.3 Absorção de água por imersão e porosidade aberta**

O ensaio de absorção de água por imersão e a porosidade aberta (índice de vazios) serão realizados aos 28 dias de idade e de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009).

### **4.2.5.4 Absorção de água por capilaridade**

O ensaio de absorção de água por capilaridade será realizado aos 28 dias de idade e de acordo com as prescrições da NBR 9779 (ABNT, 2012). Os coeficientes de capilaridade serão obtidos por meio das determinações da NBR 15259 (ABNT, 2005).

### **4.2.5.5 Aderência ao substrato**

A execução do ensaio será realizada conforme os procedimentos prescritos na NBR 13528 (ABNT, 2010), com a utilização de um substrato de alvenaria de tijolos cerâmicos.

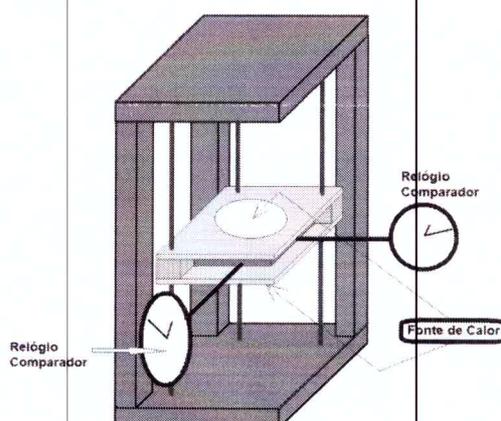
#### 4.2.5.6 Retração ou expansão linear

A retração será determinada por meio de uma adaptação do ensaio preconizado pela NBR 15261 (ABNT, 2005), utilizando três corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 25x25x285 mm, com comprimento efetivo de 250 mm.

#### 4.2.5.7 Dilatação térmica

Para o ensaio de dilatação térmica será utilizado uma placa de argamassa entre duas fontes de calor, e a dilatação será verificada bidireccionalmente (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Aparato para determinação da dilatação térmica

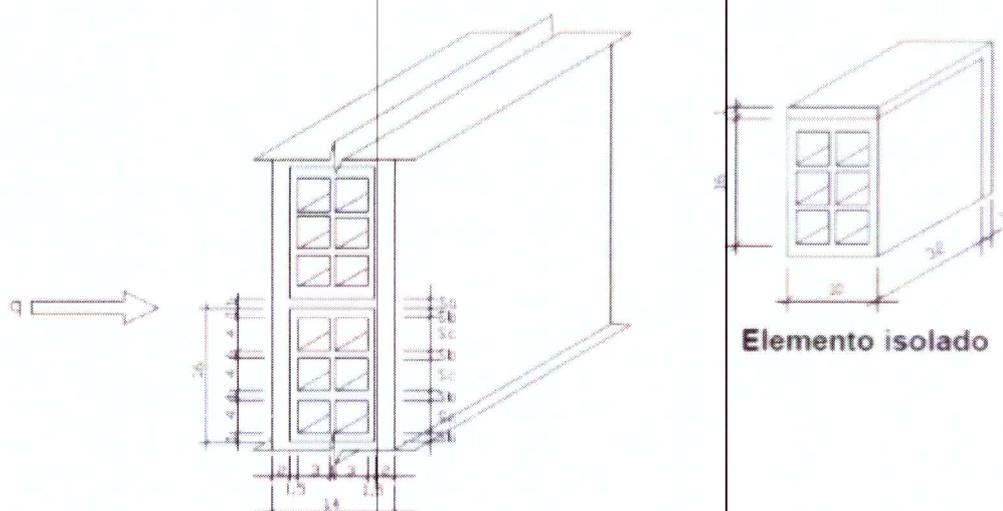


#### 4.2.6 Ensaio térmicos

As propriedades de condutividade térmica, resistividade, difusividade e capacidade calorífica volumétrica do material serão determinadas pelo aparelho KD-2 Pro Thermal Properties.

A avaliação do desempenho térmico ocorrerá conforme o procedimento simplificado definido pela NBR 15575 (2013), analisando um sistema de vedação de alvaria de tijolos cerâmicos revestidos com as argamassas produzidas, por ser o sistema mais utilizado na região. Em seguida, será possível determinar a resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica. A Figura 4.5 ilustra a parede de tijolo cerâmico revestida por argamassa.

Figura 4.5 – Parede de tijolos cerâmicos revestida por argamassa

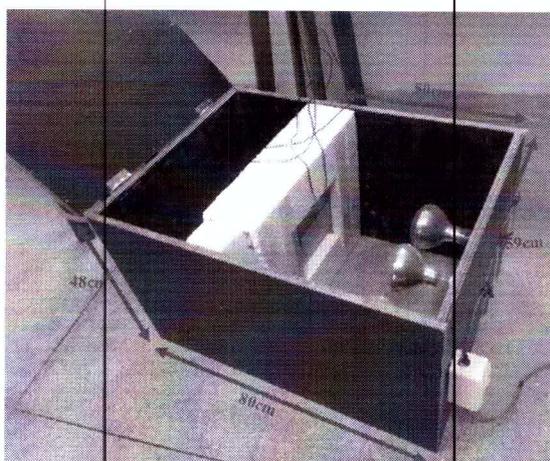


Fonte: NBR 15575 (2013)

#### 4.2.6.1 Ensaio para determinação das propriedades térmicas

O ensaio será realizado com um aparato de madeira com dimensões de 80cm x 59cm x 48 cm, com uma fonte de calor composta por 3 lâmpadas infravermelhas de 250 watts cada e uma divisória interna de isopor, onde são colocados os painéis de argamassa a serem ensaiados. A Figura 4.6 ilustra o aparato.

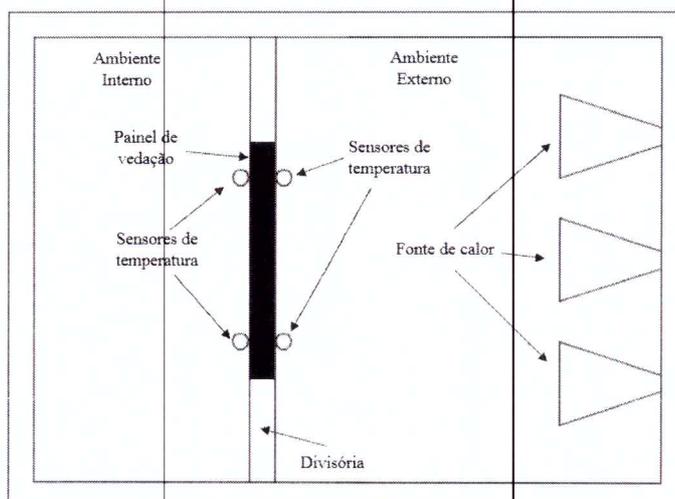
Figura 4.6 – Aparato para determinação das propriedades térmicas



A divisória interna simula a vedação vertical de edificações, que divide o ambiente externo e interno, e a fonte de calor simula a ação do sol sobre a edificação.

Ao painel de vedação ficam ligados sensores de temperatura, conectados a um arduíno, que transmite para um aplicativo instalado no computador as leituras das temperaturas coletadas a cada minuto. A Figura 4.7 apresenta o esquema proposto.

Figura 4.7 - Vista superior do esquema do aparato experimental



## 5. Resultados esperados

Com base na literatura pesquisada, os materiais a serem estudados possuem características que diferem dos agregados naturais e que podem ser exploradas para a melhoria do comportamento das argamassas de revestimento.

As características da vermiculita expandida e da fibra de basalto favorecem as propriedades de isolamento térmico, acústico e resistência ao fogo. Portanto, o seu uso em materiais cimentícios, como em argamassas, pode proporcionar tais características a esses compostos.

Sendo assim, espera-se que a incorporação da vermiculita expandida e fibra de basalto em argamassas de revestimento possam tecnicamente melhorar o desempenho térmico das edificações, sem comprometer as propriedades no estado fresco e endurecido, e que esta pesquisa contribua para difusão da utilização desse material na indústria da construção civil, possibilitando, desta forma, proporcionar importantes ganhos.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12655**:

Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NM 45**: Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ARENDR, K.; KRZACZEK, M., FLORCZUK, J. **Numerical analysis by FEM and analytical study of the dynamic thermal behavior of hollow bricks with different cavity concentration.** International Journal of Thermal Sciences. Vol 50. 2011.

AZAD, A. ;MOUSAVI,S.F.;KARAMI,H.; FARZIN,S. **Using waste vermiculite and dolomite as eco-friendly additives for improving the performance of porous concrete.** Engineering Journal, Volume 22, 2018.

BARROS, I. M. S. **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação), Natal, 2018.

BASTOS, P.K.X.; DÉTRICHÉ, C.; BALAYSAAC, J.; CINCOTTO, M.A. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassa de revestimento.** Associação Brasileira de Tecnologia no ambiente Construído – ANTAC. 2001

BASTOS, P. K. X.; NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Ensaio de retração de argamassas nos estados fresco e endurecido: contribuição para a normalização brasileira.** Anais. Lisboa: APFAC, 2005.

BORGES, C. A. de. M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Dissertação), São Paulo, 2008.

CARASEK, H. **Argamassas.** Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891.

CARRACO, T. F. **Análise do desempenho térmico de argamassas com propriedades térmicas.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Monografia), Porto Alegre, 2015.