



**QUEILLA SANTOS VIANA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E EUCALIPTO COMO  
REFORÇO EM TELHAS DE CONCRETO PRODUZIDAS  
COM VERMICULITA**

**LAVRAS – MG  
2019**

**QUEILLA SANTOS VIANA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E EUCALIPTO COMO REFORÇO EM  
TELHAS DE CONCRETO PRODUZIDAS COM VERMICULITA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos, para obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo  
Coorientador  
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

**LAVRAS-MG  
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Viana, Queilla Santos.

Utilização de fibras de vidro e eucalipto como reforço em  
telhas de concreto produzidas com vermiculita / Queilla Santos  
Viana. - 2019.

84 p. : il.

Orientador(a): José Roberto Soares Scolforo.

Coorientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Extrusão. 2. Propriedades físico-mecânica. 3. Isolamento  
térmico. 4. Durabilidade. I. Scolforo, José Roberto Soares. II.  
Mendes, Rafael Farinassi. III. Título.

**QUEILLA SANTOS VIANA**

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E EUCALIPTO COMO REFORÇO EM  
TELHAS DE CONCRETO PRODUZIDAS COM VERMICULITA**

**USE OF GLASS AND EUCALYPTUS FIBERS AS REINFORCEMENT ON  
CONCRETE TILES PRODUCED WITH VERMICULITE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de maio de 2019.  
Dr. José Roberto Soares Scolforo – UFLA  
Dra. Caroline Junqueira Sartori – IFMG  
Dr. Maykmiller Carvalho Rodrigues – UFLA

Orientador  
Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo  
Coorientador  
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

**LAVRAS-MG  
2019**

*Aos meus pais.  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pelos momentos de iluminação, proteção e por ter a capacidade física e mental necessárias para concretização deste trabalho.

Gratidão a minha mãe Rosângela Santos Viana, pelo seu amor incondicional, que de sua maneira sempre me incentivou a estudar e a pensar no futuro. Também sou grata ao meu pai Evandro Rodrigues Viana, pelo seu apoio e inúmeros conselhos que sempre me fortaleceram.

A todos os amigos e familiares que compartilharam da minha caminhada, em especial ao meu irmão Leandro Santos, que sempre esteve ao meu lado servindo como fonte de valores e ao meu namorado Antonio Luiz, por seu companheirismo, suas demonstrações de carinho e troca de experiências.

Ao Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes com o qual tive a honra de aprender e o prazer de dizer que contribuiu para meu amadurecimento profissional.

Agradeço também a Universidade Federal de Lavras, a empresa de telhas Losango, a FAPEMIG, CAPES e CNPq por disponibilizarem a estrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, eu gostaria de agradecer aos examinadores da banca, doutores que generosamente disponibilizaram seu tempo, orientação e atenção.

## RESUMO

Esta pesquisa visou avaliar a influência do uso da fibra de vidro e da fibra de eucalipto na fabricação de telhas de concreto produzidas com vermiculita. Foi avaliada a substituição de 0%, 12,5%, 25%, 37,5% e 50% da areia pela vermiculita, assim como a incorporação de 0,2% de fibras de vidro, 0,2% de fibras de eucalipto e 0,1% de ambas as fibras. As telhas de concreto foram moldadas pelo processo mecânico, onde ocorreram prensagem e extrusão simultâneas. O traço controle foi composto por 21,95% de cimento CPV-ARI, 65,85% de areia e 12,20% de calcário. Após confecção, as telhas passaram por 28 dias de cura e posteriormente foram avaliadas as propriedades físicas (classificação das telhas, peso seco das amostras, absorção de água e porosidade), mecânicas (resistência à carga de ruptura a flexão) e microestruturais. Todos os tratamentos foram avaliados antes e após envelhecimento acelerado. Também foram analisadas as propriedades térmicas e a viabilidade econômico-financeira da modificação na composição das telhas de concreto. Mediante os resultados no que se refere à utilização da vermiculita pode-se concluir que: A) Houve efeito significativo sobre as propriedades físicas e mecânicas à medida que ocorre a substituição da areia pela vermiculita. Apenas o tratamento controle e o tratamento com 12,5% de substituição estão de acordo com todas as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), aos 28 dias de cura. B) As telhas produzidas com vermiculita demonstraram necessidade de cura mais prolongada para que esta matéria-prima seja utilizada em maiores proporções. C) A utilização da vermiculita reduziu a condutividade térmica das telhas. D) Quanto maior o percentual de vermiculita, maior o valor empregado na produção, a substituição da areia pela vermiculita proporcionou elevação do custo com matérias-primas em 19,23; 38,46; 57,69 e 76,92%. Em relação à adição das fibras, pode-se concluir que: A) As fibras promoveram variação significativa das propriedades físicas e mecânicas, em que apenas o tratamento controle está de acordo com todas as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado. B) A adição das fibras não proporcionou variação significativa na condutividade térmica das telhas. C) A inclusão das fibras de eucalipto resultou em aumento do custo com matérias-primas em 0,21%, as fibras de vidro elevaram o valor em 56,68% e ambas às fibras provocaram o acréscimo de 28,44%.

**Palavras-chave:** Extrusão. Propriedades físico-mecânica. Isolamento térmico. Durabilidade.

## ABSTRACT

This research aimed at evaluating the influence of using glass and eucalyptus fibers in the manufacture of concrete tiles produced with vermiculite. The substitution of 0%, 12.5%, 25%, 37.5% and 50% of the sand by vermiculite was evaluated, as well as the incorporation of 0.2% of glass fibers, 0.2% of eucalyptus fibers and 0.1% of both fibers. The concrete tiles were molded by the mechanical process, where simultaneous pressing and extrusion occurred. The control trace was composed of 21.95% CPV-ARI cement, 65.85% sand and 12.20% limestone. The tiles went through 28 days of healing after production and, posteriorly, the physical (tile classification, dry weight of samples, water absorption and porosity), mechanical (resistance of the breaking load to bending) and microstructure properties were evaluated. All treatments were assessed before and after accelerated aging. The thermal properties and the economic-financial viability of the modification in the structure of concrete tiles were also analyzed. Through the results, regarding the use of vermiculite, one can conclude that: A) There was a significant effect on the physical and mechanical properties as the substitution of the sand by the vermiculite occurs. Only the control treatment and the 12.5% substitution treatment are in line with all specifications of norm NBR 13858-2 (2009), at 28 days of healing. B) The tiles produced with vermiculite demonstrated a need for longer healing time so that the raw material can be used in greater proportions. C) The use of vermiculite reduced the thermal conductivity of the tiles. D) The higher the percentage of vermiculite, the greater the cost applied in production increases, the replacement of sand by vermiculite provided a rise of the cost with raw materials in 19.23; 38.46; 57.69 and 76.92%. Regarding the addition of the fibers, can be concluded that: A) The fibers promoted significant variation of the physical and mechanical properties, in which only the control treatment is in line with all specifications of norm NBR 13858-2 (2009), at 28 days of healing and after the accelerated aging. B) The addition of the fibers did not provide significant variation in the thermal conductivity of the tiles. C) The cost with raw materials suffered an increase with the inclusion of eucalyptus fibers by 0.21%, of glass fibers by 56.68% and of both fibers by 28.44%.

**Keywords:** Extrusion. Physical-mechanical properties. Thermal insulation. Durability.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - Diversidade das telhas de concreto .....	15
Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo da telha de concreto .....	17
Figura 3 - Transferência de calor em uma superfície .....	18
Figura 4 - Vermiculita .....	19

### SEGUNDA PARTE

Figura 1 - Materiais utilizados na composição .....	35
Figura 2 - Processo de produção das telhas de concreto .....	37
Figura 3 - Profundidade do perfil (d).....	38
Figura 4 - Aplicação da carga de ruptura à flexão.....	40
Figura 5 - Esquema do equipamento para determinação do desempenho térmico. ....	40
Figura 6 - Peso Seco das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.....	43
Figura 7 - Absorção de água das amostras, antes e após envelhecimento acelerado. ....	44
Figura 8 - Porosidade das amostras, antes e após envelhecimento acelerado .....	44
Figura 9 - Microestrutura do tratamento controle .....	45
Figura - 10 Microestrutura do tratamento com 12, 5% de vermiculita .....	46
Figura - 11 Microestrutura do tratamento com 25% de vermiculita .....	46
Figura - 12 Microestrutura do tratamento com 37,5% de vermiculita .....	46
Figura - 13 Microestrutura do tratamento com 50% de vermiculita .....	47
Figura - 14 Carga de ruptura à flexão, antes e após envelhecimento acelerado.....	48
Figura - 15 Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) para os tratamentos analisados .....	50
Figura - 16 Temperatura interna quando as telhas são submetidas à temperatura externa média de 50°C .....	51
Figura - 17 Gastos do produto com matérias-primas para o tratamento controle e experimentos com introdução de vermiculita .....	54

### TERCEIRA PARTE

Figura 1 - Processo de produção das telhas de concreto .....	64
Figura 2 - Profundidade do perfil (d).....	65
Figura 3 - Histograma – Diâmetro das fibras de vidro.....	69
Figura 4 - Histograma – Comprimento das fibras de vidro.....	70

Figura 5 - Histograma – Diâmetro das fibras de eucalipto.....	70
Figura 6 - Histograma – Comprimento das fibras de eucalipto.....	71
Figura 7 - Peso Seco das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.....	72
Figura 8 - Absorção de água das amostras, antes e após envelhecimento acelerado .....	72
Figura 9 - Porosidade das amostras, antes e após envelhecimento acelerado .....	73
Figura 10 - Microestrutura do tratamento controle com 12,5% de vermiculita .....	74
Figura 11 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de vidro .....	74
Figura 12 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de eucalipto ....	74
Figura 13 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de vidro e eucalipto .....	75
Figura 14 - Carga de ruptura à flexão, antes e após envelhecimento acelerado.....	76
Figura 15 - Superfície das telhas produzidas com fibras.....	77
Figura 16 - Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) para os tratamentos analisados .....	78
Figura 17 - Temperatura interna quando as telhas são submetidas à temperatura externa média de 50°C .....	78
Figura 18 - Gastos mensais do produto com matérias-primas para o tratamento controle e experimentos com introdução de vermiculita.....	81

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE

Tabela 1 - Granulometrias dos agregados miúdos da composição.....	35
Tabela 2 - Composição dos materiais utilizados para produção das telhas.....	36
Tabela 3 - Dimensões das telhas produzidas .....	38
Tabela 4 - Classe do perfil em função da profundidade da telha .....	39
Tabela 5 - Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na caracterização das telhas de concreto.....	39
Tabela 6 - Ficha técnica para o tratamento controle.....	52
Tabela 7 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita.....	52
Tabela 8 - Ficha técnica para o tratamento com 25,00% de vermiculita.....	52
Tabela 9 - Ficha técnica para o tratamento com 37,50% de vermiculita.....	53
Tabela 10 - Ficha técnica para o tratamento com 50,00% de vermiculita.....	53

### TERCEIRA PARTE

Tabela 1 - Composição química das fibras de vidro AR.....	61
Tabela 2 - Composição dos materiais utilizados para produção das telhas.....	63
Tabela 3 - Dimensões das telhas do tratamento controle .....	65
Tabela 4 - Dimensões das telhas dos experimentos com adição das fibras.....	65
Tabela 5 - Classe do perfil em função da profundidade da telha .....	66
Tabela 6 - Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na caracterização das telhas de concreto.....	66
Tabela 7 - Valores médios do diâmetro, comprimento e índice de esbeltez .....	71
Tabela 8 - Ficha técnica para o tratamento controle.....	79
Tabela 9 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita e 0,2% de fibras de vidro.....	79
Tabela 10 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita e 0,2% de fibras de eucalipto. ....	80
Tabela 11 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita, 0,1% de fibras de vidro e 0,1% de fibras de eucalipto. ....	80

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
3.1 Telhas de Concreto .....	15
3.1.1 Produção das Telhas de Concreto.....	16
3.1.2 Desempenho Térmico.....	17
3.2 Vermiculita Expandida .....	19
3.2.1 Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas .....	20
3.2.2 Vantagens e Limitações de Uso.....	20
3.3 Materiais Compósitos .....	22
3.3.1 Utilização de Fibras em Compósitos .....	22
3.3.2 Fibras Vegetais .....	22
3.3.3 Fibras Sintéticas.....	24
3.4 Viabilidade Econômico-Financeira .....	25
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
REFERÊNCIAS .....	27
SEGUNDA PARTE – ARTIGO 1 .....	31
1. INTRODUÇÃO .....	33
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
2.1 Matérias-primas .....	34
2.2 Planejamento do Experimento.....	35
2.3 Produção das Telhas de Concreto.....	36
2.4 Dimensões e Geometria das Telhas Produzidas .....	38
2.4.1 Classificação das Telhas .....	38
2.5 Características Físicas das Telhas de Concreto .....	39
2.5.1 Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente das Amostras .....	39
2.6 Propriedades Mecânicas .....	39
2.6.1 Carga de Ruptura à Flexão .....	39
2.7 Desempenho Térmico.....	40

2.8	Durabilidade das Telhas de Concreto e Propriedades Microestruturais.....	41
2.9	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto .....	41
2.9.1	Variáveis do Tratamento Controle .....	42
2.9.2	Variáveis dos Tratamentos Modificados com Vermiculita .....	42
2.9.3	Caracterização da Viabilidade Econômica .....	42
2.10	Análise Estatística .....	43
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
3.1	Características Físicas das Telhas de Concreto .....	43
3.1.1	Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente .....	43
3.2	Propriedades Mecânicas .....	48
3.2.1	Carga de Ruptura à Flexão .....	48
3.3	Desempenho Térmico.....	49
3.4	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto .....	51
4.	CONCLUSÃO .....	54
	AGRADECIMENTOS .....	55
	REFERÊNCIAS .....	55
	TERCEIRA PARTE – ARTIGO 2.....	58
1.	INTRODUÇÃO .....	60
2.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	61
2.1	Matérias-primas .....	61
2.1.1	Caracterização Morfológica das Fibras .....	62
2.2	Planejamento do Experimento.....	62
2.3	Produção das Telhas de Concreto.....	63
2.4	Dimensões e Geometria das Telhas Produzidas .....	64
2.4.1	Classificação das Telhas .....	65
2.5	Características Físicas e Mecânicas das Telhas de Concreto .....	66
2.6	Desempenho Térmico.....	66
2.7	Durabilidade das Telhas de Concreto e Propriedades Microestruturais.....	67
2.8	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto .....	67
2.8.1	Variáveis do Tratamento Controle .....	68
2.8.2	Variáveis dos Tratamentos Modificados com Fibras .....	68

2.8.3 Caracterização da Viabilidade Econômica .....	68
2.9 Análise Estatística .....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
3.1 Matérias-primas .....	69
3.1.1 Caracterização Morfológica das Fibras .....	69
3.2 Características Físicas das Telhas de Concreto .....	72
3.1.2 Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente .....	72
3.2 Propriedades Mecânicas .....	76
3.2.1 Carga de Ruptura à Flexão .....	76
3.3 Desempenho Térmico .....	78
3.4 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto Produzidas com Vermiculita .....	79
4. CONCLUSÃO .....	81
AGRADECIMENTOS .....	82
REFERÊNCIAS .....	82

## PRIMEIRA PARTE

### 1. INTRODUÇÃO

As telhas são utilizadas como material de vedação de telhados e coberturas, sendo um dos primeiros materiais a terem contato com o exterior da edificação, elas devem resistir à ação de chuvas, ventos, poeiras, ruídos e demais intempéries. Dentre os telhados pode-se observar uma grande variação em tamanhos e formas de telhas, algumas maiores outras menores, há ainda as mais onduladas e as menos onduladas. Encontradas em diferentes modelos, as telhas também são feitas de diferentes materiais. Existem telhas de aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento, concreto e outras.

As telhas possuem uma enorme versatilidade e isto implica na disposição do telhado, onde as distâncias entre as ripas e os caibros variam de acordo com o modelo da telha utilizada. Se a telha é maior conseqüentemente a distância entre as ripas e os caibros será maior, utilizando-se assim menos peças para compor o telhado. Comparando as telhas de concreto com as telhas cerâmicas, grandes competidoras, percebe-se que as telhas de concreto são normalmente maiores, fato que pode beneficiar a estrutura do telhado utilizando-se menos peças, tal fato aliado à estética agradável e uniformidade, com satisfatória resistência à flexão, além de considerável absorção de água e porosidade possibilitam o crescimento da demanda por telhas de concreto perante o mercado construtivo. Contudo, as telhas de concreto são ainda mais pesadas que as telhas cerâmicas, o que causa impacto no dimensionando da seção dos elementos do telhado.

Telhas de concreto são componentes com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado. Estas são compostas de cimento, agregado, água e aditivos, podem ser fornecidas nas cores naturais ou coloridas através de pigmentação. O telhado influi no ambiente interno através de seu material constituinte, da sua natureza superficial e da eficiência de isolantes térmicos. Sendo assim, as telhas exercem controle sobre o ambiente interno de acordo com suas propriedades, estima-se que a correta especificação dos materiais de cobertura pode contribuir tanto para a melhoria da eficiência energética como para minimização dos efeitos das ilhas de calor. Surge a necessidade de utilização de matérias-primas capazes de aprimorar as características do produto como um menor peso, maior conforto, durabilidade, resistência e viabilidade econômica.

Devido às suas características químicas, mineralógicas e microestruturas, a vermiculita expandida se faz atrativa para produção de produtos à base cimentícia, este agregado possui propriedades significativas, tais como baixo valor de massa específica aparente e de

condutividade térmica. Essas características, associadas à granulometria, tornam o produto bastante atrativo para utilização em diversas áreas, dentre as quais se destaca a construção civil. A adição da vermiculita expandida faz com que primeiramente tenhamos a retenção de líquido e conforme este evapora com o tempo, temos a incorporação de ar, que traz propriedades como aumento de resistência termoacústica e redução de peso específico, fatores pretendidos para o beneficiamento das telhas de concreto.

As características frágeis e quebradiças das matrizes à base de cimento levaram ao desenvolvimento de pesquisas com materiais capazes de beneficiar suas características. Dessa maneira, surgiram estudos para a obtenção de compósitos de cimento aditivados com fibras metálicas, vegetais e sintéticas com propriedades múltiplas, tais como a capacidade de suportar cargas elevadas, controlar fissuras e absorver energia após a fratura, podendo ainda ajudar no isolamento térmico. As telhas por si só são compósitos, formadas por agregados e ligadas pelo cimento, às propriedades dos compósitos depende dos fatores físicos e inerentes às fases constituintes. A fim de alcançar um material com características superiores às convencionais, a introdução das fibras de vidro e eucalipto surge como alternativa com intuito reforçar a microestrutura das telhas de concreto.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso das fibras de vidro e das fibras de eucalipto na fabricação de telhas de concreto produzidas com vermiculita.

### **2.1 Objetivos específicos**

- a) Avaliar o efeito da utilização de diferentes porcentagens de vermiculita, em substituição da areia, sobre as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, microestruturais e de durabilidade, além de analisar a viabilidade econômica na modificação da composição.
- b) Avaliar o efeito da utilização de fibras de vidro e de fibras de eucalipto, com a melhor porcentagem de vermiculita, sobre as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, microestruturais e de durabilidade, também analisar a viabilidade econômico-financeira na modificação da composição.
- c) Obter o melhor tratamento para ser utilizado em escala industrial, atendendo todas as especificações das normas de comercialização.



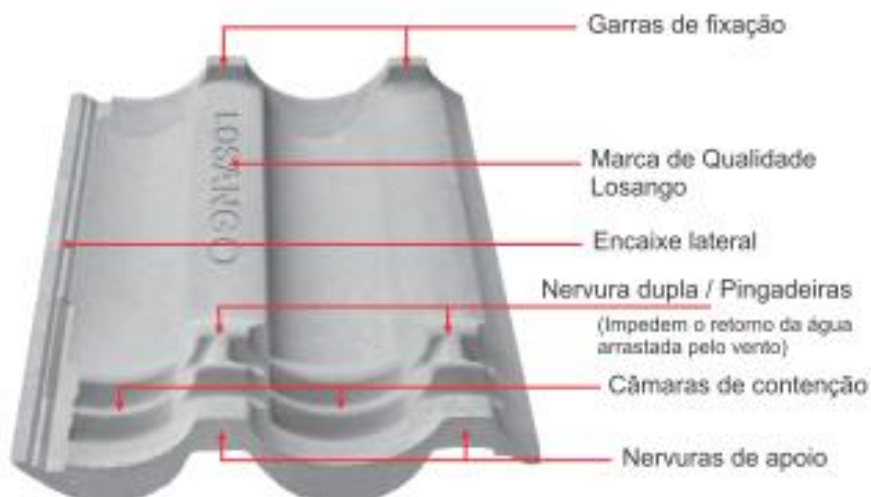
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Telhas de Concreto

Existem telhas de aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento (cimento amianto), concreto e outras. As telhas cerâmicas e as de fibrocimento são populares nas residências do Brasil. As telhas de aço corrugado, ou as de alumínio, são de aplicação quase restrita às indústrias. As telhas de zinco, pouco utilizadas atualmente, são encontradas em obras rústicas, depósitos e abrigo para animais. As telhas de madeira, utilizadas em países europeus, são recobertas com material betuminoso e se parecem com “escamas”. As telhas de concreto ganharam espaço no mercado construtivo, uma vez que possuem uma estética agradável e graças aos avanços tecnológicos as peças apresentam cada vez mais uniformidade, com satisfatória resistência à flexão, considerável absorção de água e porosidade, além de uma superfície com pouca rugosidade (LOGSDON, 2002).

As telhas de concreto são componentes para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado. Estas podem ser fornecidas nas cores naturais ou coloridas através de pigmentação, tais telhas proporcionam conforto térmico e versatilidade de cores e formas. Possuem um peso/m<sup>2</sup> em torno de 48 kg/m<sup>2</sup> e consumo de 10 a 15 un/m<sup>2</sup>, a inclinação mínima desses telhados é entre 30% e 35% (ABREU et al., 2011). A Figura 1 ilustra uma telha de concreto e algumas de suas características.

Figura 1 - Diversidade das telhas de concreto.



Fonte: Telhas Losango (2018).

O conjunto normativo para as telhas de concreto é constituído pela norma abrangente NBR 13.858-2 (ABNT, 2009). Esta norma refere-se às recomendações de ordem geométrica, apresenta também alguns detalhes construtivos tais como: encaixe lateral e nervura dupla; garras de fixação nos apoios e alinhamentos; pré-furos para amarração e fixação das telhas. Ainda, relaciona ensaios físicos e mecânicos, prescrevendo especificações para absorção de água e carga de ruptura à flexão.

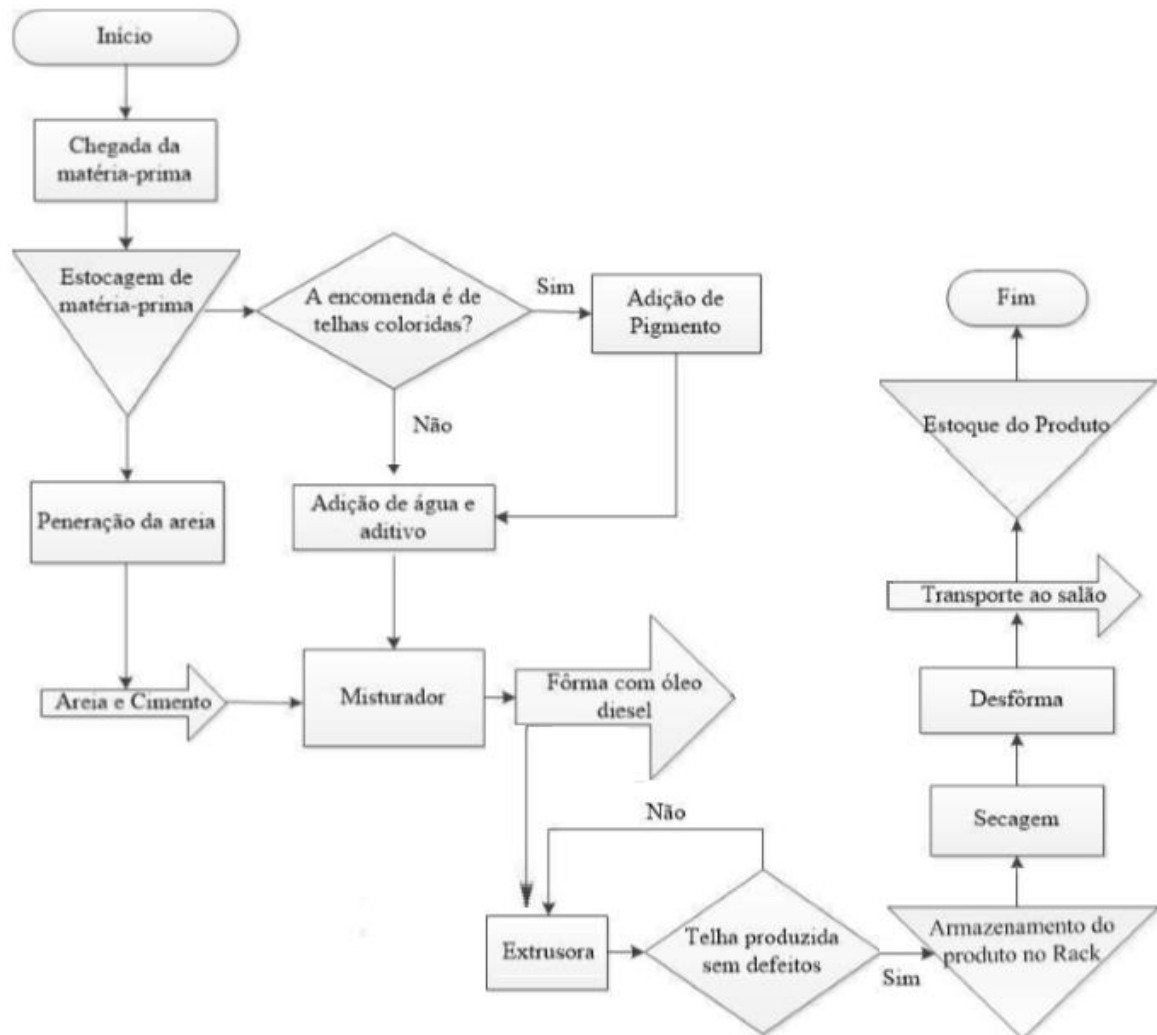
### **3.1.1 Produção das Telhas de Concreto**

As telhas de concreto são produzidas através de conformação por compactação e/ou por extrusão. Podem ser fabricadas em grande quantidade por equipamentos de alta produtividade com processos de adensamento sempre associados à prensagem de grande capacidade. A argamassa homogênea produzida é depositada sobre formas metálicas e prensadas a partir de um êmbolo capaz de transmitir o esforço uniformemente em toda a superfície da peça, o qual define a forma das faces da telha (SILVA; AZEVEDO; MARCELINO, 2015).

Produzidas em estreitas tolerâncias, as telhas tem encaixes perfeitos, que garantem um telhado sempre alinhado. Além da alta resistência dos materiais e a tecnologia utilizada na produção possibilitarem uma resistência superior, eliminando a quebra de telhas durante a instalação e aumentando a vida útil do telhado (SAVASTANO et al., 1999).

A NBR 13858-2 (ABNT, 2009) define que as telhas de concreto são compostas por cimento, agregado, água, aditivos ou adições. Normalmente, o material empregado para confecção possui baixo módulo de finura, com reduzida quantidade de água. A Figura 2 ilustra o fluxograma do processo de produção básico das telhas.

Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo da telha de concreto.



Fonte: Silva; Azevedo; Marcelino (2015).

### 3.1.2 Desempenho Térmico

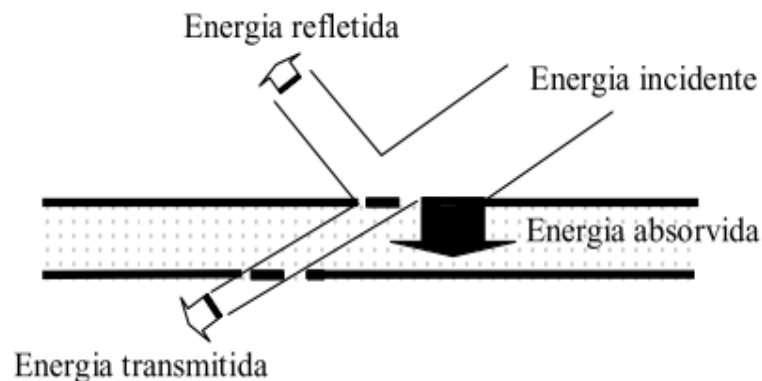
Estudos de Frontczak; Wargocki (2011) destinaram-se a explorar o ambiente interno em edifícios e comprovar como tais propriedades afetam o conforto humano. As seguintes condições ambientais internas que influenciam o conforto no ambiente construído são principalmente, as características térmicas, visual e acústica, assim como a qualidade do ar, estas propriedades delimitaram o conforto dos usuários. O conforto térmico é classificado pelos usuários como a propriedade de maior importância em comparação com o conforto visual, acústico e a boa qualidade do ar. Igualmente parece influenciar a um grau mais elevado a satisfação total com qualidade ambiental interno comparada com o impacto de outras condições ambientais internas.

Sendo o Brasil um país de clima tropical com elevadas temperaturas, os materiais a serem utilizados para a confecção das coberturas devem permitir bom isolamento térmico

para que o ambiente interno das instalações seja menos influenciável pela variação climática. O material ideal para a telha deve atender às recomendações com as quais a superfície superior tenha alta refletividade solar e alta emissividade térmica, em contrapartida a superfície inferior tenha baixa refletividade solar e baixa emissividade térmica (SAMPAIO; CARDOSO; SOUZA, 2011).

Abreu et al. (2011) analisaram o efeito das características térmicas de materiais de superfície tanto no clima urbano como no desempenho térmico da edificação, estes utilizaram como estratégia materiais altamente reflexivos ou "materiais frios". Essa técnica passiva contribui para a eficiência energética dos edifícios, reduzindo a demanda de energia para resfriamento, diminuindo tanto a temperatura do ar como a temperatura de superfície. Quando a energia incide sobre um corpo, ela é absorvida, refletida e transmitida. A energia absorvida se transforma em energia térmica ou calor, em que a radiação refletida e a transmitida não sofrem modificação alguma, a Figura 3 ilustra o processo.

Figura 3 - Transferência de calor em uma superfície.



Fonte: Abreu et al. (2011).

A vermiculita, um mineral de ocorrência natural, quando aquecido se expande para se tornar um material altamente eficiente ao isolamento térmico. Os isolantes térmicos com adição de vermiculita expandida podem ser usados em unidades térmicas com temperaturas extremamente elevadas, caracterizando-se como compostos leves e isoladores de calor fibrosos, em que a vermiculita é capaz de transferir algumas de suas propriedades aos compósitos principalmente no se refere às propriedades térmicas e acústicas (SUVOROV; SKURIKHIN, 2003).

El-Gamal; Hashem; Amin (2012) estimaram a durabilidade e a estabilidade térmica das massas de cimento Portland endurecidas contendo vermiculita e vermiculita expandida exposta a altas temperaturas. Diferentes misturas foram preparadas e, após 28 dias de hidratação, foram aquecidas em 300, 600 e 800 °C por 3 h, os autores concluíram que a

presença de vermiculita melhorou a resistência térmica do cimento Portland em todas as temperaturas de aquecimento, ainda, a vermiculita expandida demonstrou uma melhor resistência térmica do que a não expandida.

O uso de fibras vegetais em países tropicais onde estes resíduos são abundantes tem-se mostrado bastante viável, estudos apresentados por Conceição et al. (2008) comparam as telhas de cimento amianto pintadas com tinta reflexiva, telhas cerâmicas e telhas compostas de uma matriz à base de cimento Portland, escória de alto-forno, sílica ativa e fibras de polpa celulósica de sisal. Utilizaram-se protótipos de galpões avícolas nos quais o calor produzido pelas aves foi simulado por lâmpadas incandescentes, os resultados demonstraram que as telhas compostas apresentaram comportamento térmico semelhante ao das telhas cerâmicas.

### 3.2 Vermiculita Expandida

O nome vermiculita é derivado do latim *vermiculus*, que significa pequeno verme e deve-se ao fato de que esse material se expande sob aquecimento, durante o qual suas partículas movimentam-se de forma semelhante aos vermes. Quando submetida a um aquecimento adequado a água contida entre as suas milhares de lâminas se transforma em vapor fazendo com que as partículas explodam e se transformem em flocos sanfonados. Cada floco expandido aprisiona consigo células de ar inerte, o que confere ao material excepcional capacidade de isolamento (WEN et al., 2016).

Vermiculita é um silicato com flocos brilhantes, da família dos filossilicatos. Pode ser expandido até 30 vezes o seu volume original quando aquecido a 650 – 950 ° C. Estudos revelam que a vermiculita em seu estado lamelar possui pouca aplicação, porém no seu estado expandido, apresenta propriedades físicas que a tornam apreciáveis para a aplicação na Engenharia Civil e para o uso na indústria em geral (MEDRI et al., 2015). A Figura 4 ilustra a vermiculita em sua forma lamelar e expandida.

Figura 4 – Vermiculita.



Legenda: (A) Vermiculita expandida; (B) Vermiculita na forma lamelar.

Fonte: Medri et al. (2015).

Vermiculitas com granulometria mais fina são utilizadas na construção civil, onde são incorporadas em argamassas, lajes, forros, paredes, pisos e divisórias que operam como isolante térmico e acústico. Isso se deve a baixa condutividade térmica que o material possui, além da pequena propagação sonora, apresenta baixo peso específico e pode ser utilizada como material de enchimento leve (SANTOS; MASINI, 2007).

### **3.2.1 Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas**

A composição química das vermiculitas é formada por uma série de elementos, na qual os principais são: dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido de potássio, sulfeto de sódio, óxido de cálcio, óxido de magnésio, óxido de ferro e dióxido de titânio (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

Devido às suas características químicas, mineralógicas e microestruturais, é bastante comum o uso de vermiculita expandida em argamassas leves no campo da construção civil, uma vez que confere propriedades interessantes tais como: diminuição de peso estrutural, ausência de toxidez, incombustibilidade, capacidade de absorção de líquidos e isolamento térmico e acústico (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

A vermiculita em seu estado lamelar possui uma faixa de composições que depende da mica que a originou, da variação química durante o intemperismo e da troca iônica durante o processo de formação. As micas são amplamente utilizadas na indústria devido às suas excepcionais propriedades físicas, químicas, elétricas, térmicas e mecânicas. Suas propriedades de superfície, somadas aos elevados valores de área superficial específica, além da alta porosidade que eleva a capacidade de absorção, tornam o produto de vermiculita bastante atrativo para sua utilização em diversas áreas (MUÑOZ; CASTELLÓ, 2003).

O Brasil detém 11% das reservas mundiais de vermiculitas, dentre os maiores produtores nacionais a Brasil Minérios está capacitada a produzir em suas minas e parques industriais, localizados no estado de Goiás, montantes da ordem de 60.000t/ano de concentrado de vermiculita (MARINS, 2015).

### **3.2.2 Vantagens e Limitações de Uso**

A vermiculita expandida apresenta inúmeras vantagens quando utilizadas de forma adequada, em quantidades controladas. Pesquisas demonstram que tijolos de argila com adição de 2,5, 5, 7,5 e 10% de vermiculita expandida, foram fabricados por processo de prensagem semi-seca, onde a vermiculita foi usada para elevar a porosidade. Verificou-se que a adição da vermiculita reduziu a densidade da maioria das amostras, apresentando elevação

da porosidade com o aumento da adição da vermiculita e diminuição da resistência à compressão. No que se refere à condutibilidade térmica as amostras apresentaram redução significativa, tal estudo concluiu que as amostras de tijolos produzido com vermiculita podem ser usadas como um material de isolamento em aplicações da construção (SUTCU, 2015).

Koksal; Gencel; Kaya (2015) avaliam as propriedades de argamassas produzidas com vermiculita e sílica, tanto em temperatura ambiente, como em temperaturas elevadas, na ordem de 300, 600 e 900°C, onde foram investigadas as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e microestruturas das argamassas modificadas. Observou-se que as novas formulações aumentaram a força e a durabilidade em temperaturas elevadas para argamassas com vermiculita. O coeficiente de condutividade térmica das amostras demonstrou diminuição, em que as argamassas produzidas com agregado de vermiculita expandida apresentaram um desempenho satisfatório em termos de preservação da resistência mecânica à elevada temperatura.

Vieira; Feitosa; Monteiro (2003) avaliaram a influência da adição de vermiculita na etapa de secagem de massas cerâmicas, através da curva de Bigot, que representa a variação da retração em função da quantidade de água nas amostras, analisando diferentes porcentagens de vermiculita incorporadas à argila, em que os corpos de prova foram preparados por extrusão e secos em temperatura ambiente e em estufa, com controle da variação dimensional até peso constante. O estudo revelou que a vermiculita adicionada influenciou fortemente a umidade e a plasticidade, resultando em um aumento da quantidade de água necessária para conformação, houve redução da retração de secagem e aumento da água intersticial das composições, já que reter água é uma característica própria da vermiculita. Portanto, o percentual de água para garantir a consistência da argamassa relacionou-se diretamente ao percentual de vermiculita.

A comercialização dos produtos da vermiculita é baseada na sua granulometria superfina, fina e média, que é dependente do tipo de aplicação. Desse modo, a uniformidade no fornecimento de uma matéria-prima, com características químicas e físicas constantes, constitui-se uma tarefa principal para os fornecedores desses insumos minerais, sendo indispensável o conhecimento prévio de suas propriedades físicas, anatômicas e químicas. Fica evidente a possibilidade de substituição de materiais utilizados na construção civil por vermiculita, porém estudos não comprovam a utilização desta matéria-prima em telhas de concreto e também não descartam a possibilidade da utilização em compósitos à base cimentícia com características similares às telhas.

### **3.3 Materiais Compósitos**

O volume e o número de aplicações de materiais compósitos cresceram de forma constante, conquistando novos mercados. Os materiais compósitos constituem uma proporção significativa do mercado de materiais projetados que variam dos produtos diários às aplicações sofisticadas. O desafio atual é torná-los rentável (CHANDRAMOHAN; MARIMUTHU, 2011).

Considera-se um material compósito quando este é constituído por duas ou mais fases diferentes. Os compósitos são formados pela matriz que é a fase contínua, que envolve a outra fase, chamada reforço ou fase dispersa. As propriedades dos compósitos dependem de propriedades físicas e de fatores inerentes às fases constituintes, como as suas quantidades relativas e a geometria da fase dispersa (SCHWARTZ, 1984; SANTIAGO, 2002). As telhas por si só são compósitos, formadas por agregados e ligadas pelo cimento, a fim de alcançar um material com características superiores às convencionais, as fibras podem ser introduzidas à composição das telhas como reforço.

#### **3.3.1 Utilização de Fibras em Compósitos**

O sucesso da aplicação das fibras em compósitos depende da facilidade de acesso e aplicação das técnicas exigidas pelo setor ao qual será aplicada. As fibras podem ser orgânicas ou inorgânicas, as fibras orgânicas se dividem, ainda, em naturais ou artificiais. As fibras são classificadas, de acordo com sua elasticidade, em fibras de baixo e alto módulo, diferindo, assim, suas aplicações. Quando aplicadas em teores adequados as fibras de alto módulo melhoram a resistência do compósito, principalmente à tração, enquanto as de baixo módulo propiciam melhores resistências ao impacto e permitem ao compósito trabalhar no estágio pós-fissurado, aumentando consideravelmente sua tenacidade (RAO; RAO, 2007).

#### **3.3.2 Fibras Vegetais**

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, as hemiceluloses (ou polioses) e a lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água. A composição química varia ligeiramente de acordo com a região de cultivo, espécie, tipo de solo e condições climáticas. Sendo estes componentes químicos determinantes para as propriedades das fibras (SAVASTANO et al., 2009).

Há inúmeras fibras vegetais disponíveis no Brasil e há possibilidade do seu emprego na construção civil, destacando como importante a quantificação de sua disponibilidade e



distribuição geográfica. O conhecimento da estrutura interna das fibras e da sua composição química é importante para a compreensão de como ela poderá influir nas características do compósito onde foram empregadas, além da avaliação das principais características físicas, custos, durabilidade e possibilidade de cultivo no Brasil. As fibras vegetais são vistas como excelente opção para produção de compósitos cimentícios alternativos nos países em desenvolvimento (SAVASTANO JR; PIMENTEL 2000).

As fibras vegetais são fibras de baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Seu emprego como reforço proporciona às matrizes cimentícias maior resistência ao impacto, causada por maior absorção de energia e um aumento na capacidade de isolamento térmico e acústico (GUIMARÃES, 1990; CASATI, 2002).

A utilização das telhas de cimento requer uma quantidade maior de madeira para a estrutura, por serem mais pesadas. As fibras vegetais e os materiais de baixa densidade surgem como alternativas eficientes, a fim de diminuir o peso destes materiais. Dentre as fibras vegetais chama-se atenção as fibras dos eucaliptos, uma vez que despontam cada vez mais como sendo as grandes vencedoras na disputa dos mercados papeleiros, crescendo vertiginosamente em importância no todo desse segmento industrial, além de serem produzida em larga escala para produção de painéis MDF, SDF e HDF. Isso se deve a alta produtividade das florestas plantadas de eucalipto e perfeita adaptação da qualidade de sua madeira para produção tanto de celuloses como de papeis (DARSANA, 2016).

As fibras vegetais possuem inúmeras vantagens, porém apresentam baixa durabilidade em ambiente altamente alcalino, como no caso do cimento (pH próximo de 13). Nessas condições ocorre a dissolução da lignina e da hemicelulose, da lamela intermediária da fibra pela ação da água alcalina do poro da matriz cimentícia, que é a principal razão para a degradação e a baixa durabilidade da fibra vegetal na matriz cimentícia. Outro efeito do cimento na durabilidade da fibra vegetal é a cristalização do hidróxido de cálcio no lúmen e na lamela média das fibras, o que leva a redução da resistência e flexibilidade da fibra (GRAM, 1983; SINGH, 1985; COUTTS, 1987; TOLEDO FILHO et al., 2000; MOHR et al., 2005; WEI; MEYER, 2014).

Roma; Martello; Savastano (2008) produziram telhas com várias formulações de matrizes baseadas em cimento reforçadas com fibras de sisal e de eucalipto, com o objetivo de analisar o desempenho mecânico, físico e térmico. Os autores verificaram que as propriedades físicas foram fortemente influenciadas pelo teor de fibras do compósito, mais significativo até que pelo tipo de reforço. A exposição ao clima tropical causou uma severa redução nas propriedades mecânicas. Passados aproximadamente quatro meses houve uma redução de 53

– 68% na resistência dos tratamentos comparados com a resistência inicial aos 28 dias de cura.

Os teores de fibras introduzidas na mistura são diretamente proporcionais às características da fibra e as propriedades da matriz utilizada, o excesso de fibras pode gerar enrolamento das mesmas e formação de novelos durante a mistura ou ainda perda excessiva da trabalhabilidade. Santos, Fontes, Lima (2017) recomendam um volume máximo de fibras de 1,5% (para fibras com 60 mm) ou de 3% (para fibras com 15 mm) quando se utiliza matrizes de argamassas convencionais, sem aditivos ou adições. Por outro lado, com a utilização de uma matriz apropriada, utilizando agregados de dimensões reduzidas, Lima et., al (2013) obtiveram uma matriz com consistência adequada incorporando um reforço de 6% de fibras (de até 50 mm).

### **3.3.3 Fibras Sintéticas**

As fibras sintéticas foram desenvolvidas inicialmente com o objetivo de copiar e melhorar as características e propriedades das fibras naturais. Na proporção em que suas aplicações foram se desenvolvendo, elas se tornaram uma necessidade, principalmente porque o crescimento da população mundial passou a demandar vestuários confeccionados com rapidez e a um custo mais baixo, reduzindo, ao mesmo tempo, a vulnerabilidade da indústria têxtil e eventuais dificuldades da produção agrícola (GOULART et al., 2011).

Fibras sintéticas são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo. Algumas das mais difundidas no mercado são o poliéster, fibras de vidro, o polipropileno e o náilon. Existe ainda varias classes de fibras, tais fibras são vantajosas, pois são mais resistentes do que a maioria das fibras naturais, além de que algumas fornecem características favoráveis para determinados produtos, como alongamentos, impermeabilização, homogeneidade e precisão na produção (AFROUGHSAKET; OZBAKKALOGLU, 2015).

As propriedades físicas e mecânicas, o teor e o volume de fibras são características fundamentais no momento da produção do compósito, para que o produto final desempenhe adequadamente suas funções, pois a eficiência das fibras como reforço da matriz cimentícia está associada á aspectos tecnológicos da fibra, além da matriz e do preparo da mistura (GENCEL et al., 2014).

Os compósitos de fibra de vidro são bastante populares, em que o processo de fabricação destas fibras é relativamente barato, existindo várias técnicas para a sua elaboração. A fibra de vidro AR (álcali resistente) especialmente desenvolvida atendendo as especificações, são estabelecidas de acordo com os padrões para que uma fibra de vidro seja

considerada Álcali Resistente (AR) e possa ser usados como reforço para concreto, argamassas, pré-fabricados e demais materiais cimentícios. Desenvolvida pela fusão de sílica em base de zircônia, possui uma elevada resistência ao meio alcalino dos substratos cimentícios, estas fibras são materiais amorfos e sua cristalização ocorre após prolongado tratamento com altas temperaturas (HULL; CLYNE, 1995).

A resistência do reforço de fibra de vidro é principalmente determinada pelo tipo, orientação, quantidade e localização das fibras no interior da matriz. Todavia, apesar de possuírem elevada resistência à tração, não podem ser utilizados como partes estruturais de aviões ou pontes. Além disso, os materiais que utilizam fibras de vidro, normalmente, estão limitados a uma temperatura útil de 200 °C (JOSHI et al., 2004).

### **3.4 Viabilidade Econômico-Financeira**

Quando se inicia o desenvolvimento de um produto, deve-se avaliar seu valor mercadológico e seu custo industrial. Ao se desenvolver um produto, é necessário estabelecer desde o início o quanto será despendido nele, ou seja, um custo objetivo máximo (GURGEL, 2001).

A indústria da construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e boa parte destes recursos é proveniente de reservas mapeadas e escassas, o que promove uma alta no preço do mercado contendo o avanço do setor, diante do cenário atual estas organizações apresentam a necessidade de materiais que possam ser fornecidos a preços competitivos e que satisfaçam à viabilidade técnica de sua utilização (JOHN; ZORDAN, 2001; GEMELLI; ZANINI; BERTOLINI, 2015).

Para Munck, Dias e Souza (2008) a situação dos materiais voltados para construção apresenta-se complexa, pois as empresas se modificam com o decorrer do tempo e são levadas a mudar a partir de um ambiente competitivo ou da geração de conhecimento. É nesse ambiente de intensa competitividade que surge a necessidade de avaliar criteriosamente as decisões de origem econômico-financeira, principalmente, no que se refere aos investimentos. A fim de facilitar as ações por parte dos gestores e investidores e projetar cenários que busquem o melhor retorno financeiro possível, tendo em vista o capital aplicado.

A falta ou o mau planejamento de ações sobre a substituição de matéria-prima ou equipamento podem comprometer o futuro da organização. De modo que tais decisões são arriscadas possibilitando a geração tanto de benefícios, como de malefícios, neste último com a capacidade de promover danos irreversíveis e condicionar a empresa ao fracasso (PINTO et al., 2013).

As empresas devem buscar construir junto aos consumidores uma imagem corporativa diferenciada e um dos maiores desafios é a tomada de decisões, principalmente, quando estão relacionadas ao fator econômico-financeiro nos quais a rentabilidade é um dos fatores primordiais a ser mensurado. Com isso surge a necessidade e importância de conhecer as técnicas e características que norteiam a engenharia econômica. Através desta obtém-se um direcionamento que leva a aceitação ou rejeição dos projetos, analisando economicamente todas as decisões sobre os investimentos (FILHO; KOPITTKKE, 2000).

Tal investimento refere-se à aplicação de recursos, tempo e esforço realizado pela empresa com intuito de obter lucro ou retorno. As decisões de investimento devem ser tomadas com base em informações cuidadosamente analisadas, pois comprometem os recursos de uma empresa por longo do tempo e seu retorno efetivo pode ser somente estimado no presente, o que gera incertezas (HOJI, 2001).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto (SILVA; AZEVEDO; MARCELINO, 2015), as telhas são produzidas no Brasil há mais de três décadas, porém somente na última década seu crescimento tem se mostrado significativo. Assim sendo, para ganhar o mercado e aumentar a competitividade do seu produto, as empresas devem procurar investir em métodos e estratégias que tornem a manufatura eficaz através da adequação da produção e eliminação de desperdícios, visando reduzir os custos e produzir com qualidade, tais fatores são fundamentais para sobrevivência e crescimento de qualquer empresa competitiva.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa científica vem assumindo novas formas no sentido de uma concepção sistêmica e integrada. De uma maneira geral o que mais chama atenção nesse processo é a grande variedade de descobertas, analisando as propriedades e a variedade de aplicações desenvolvidas. Neste contexto, espera-se um produto que satisfaça as especificações das normas de comercialização com menor peso e maior conforto térmico, sem perda significativa da resistência ou durabilidade, aliado aos aspectos econômicos e que possa ser utilizado em escala industrial.

O desenvolvimento de novos materiais que possuem em sua composição fibras e vermiculita é algo recente, tornando o processo de produção das telhas inovador, no entanto é necessário analisar a utilização desses materiais, bem como a melhor porcentagem a ser empregada, sendo este o foco dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. et al. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.
- AFROUGHSAKET, V.; OZBAKKALOGLU, T. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 94, n. 94, p. 73-82, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13858-2**: Telha de concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 32 p.
- CASATI, B. Utilização de tecidos de fibra de vidro em sistemas na construção civil. In: ARQUIMACOM, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2002. Paginação irregular.
- CHANDRAMOHAN, D.; MARIMUTHU. A review on natural fibers. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 11, p. 194-206, 2011.
- CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 353, p. 69-76, 2014.
- CONCEIÇÃO, M. N. D. et al. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.
- COUTTS, R. S. P. Fibre-matrix interface in air-cured wood-pulp fibre-cement composites. **Journal of Materials Science Letters**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 40-142, 1987.
- DARSANA, P. et al. Development of coir-fibre cement composite roofing tiles. **Procedia Technology**, [S.l.], v. 24, p. 169-178, 2016.
- EL-GAMAL, S. M. A.; HASHEM, F. S.; AMIN, M. S. Thermal resistance of hardened cement pastes containing vermiculite and expanded vermiculite. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 109, n. 1, p. 217-226, 2012.
- FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 922-937, 2011.
- GEMELLI, M.; ZANINI, B; BERTOLINI, G. R. F. Análise de investimento em telhas com menor impacto ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 502-511, 2015.
- GENCEL, O. et al. Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 70, p. 135-144, 2014.

GOULART, S. A. S. et al. Mechanical behaviour of polypropylene reinforced palm fibers composites. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 10, p. 2034-2039, 2011.

GRAM, H. E. Durability of natural fibers in concrete. **Swedish Cement and Concrete Research Institute**, Stockholm, 255 p., 1983.

GUIMARÃES, S.S. Vegetable fiber-cement composites. **International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials**, London, p. 98-107, 1990.

GURGEL, F. **Administração do Produto**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

HOJI, M. **Administração Financeira: uma abordagem prática, matemática financeira aplicada, estratégias financeiras, análise, planejamento e controle financeiro**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

HULL, D.; CLYNE, T. W. **An Introduction to Composite Materials**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 246 p.

JOHN, V. M.; ZORDAN, S. E. Research & development methodology for recycling residues as building materials - a proposal. **Waste Management Series**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 213-219, 2001.

JOSHI, S. V. et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [S.l.], v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004.

KOKSAL, F.; GENÇEL, O.; KAYA, M. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 88, p. 175-187, 2015.

LIMA, P.R.L.; TOLEDO FILHO, R.D.; MELO FILHO, J.A. Compressive stress-strain behaviour of cement mortar-composites reinforced with short sisal fibre. **Materials Research**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 38-46, 2013.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de Madeira para Coberturas: sob a ótica da NBR 7190/1997**. 1. ed. Cuiabá: Apostila da Universidade Federal de Mato Grosso, 2002.

LOSANGO. **Características Técnicas e Dimensionais**. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://www.losangotelhas.com.br/23-guia-tecnico>. Acesso em: 20 abr. 2018.

MARINS, C. E. Vermiculita expandida. **Brasil Minérios S/A**. [S.l.], 2015, 2 p. Disponível em: [http://brasilminerios.com/2015/06/a-brasil-minerios-sa-vermiculita\\_8.html](http://brasilminerios.com/2015/06/a-brasil-minerios-sa-vermiculita_8.html). Acesso em: 28 abr. 2018.

MEDRI, V. et al. Production and characterization of lightweight vermiculite/geopolymer-based panels. **Materials and Design**, Paris, v. 85, p. 266-274, 2015.

MOHR, B. J.; NANKO, H.; KURTIS, K. E. Durability of kraft pulp fiber-cement composites to wet/dry cycling. **Cement & Concrete Composites**, [S.l.], v.27, p.435-448, 2005.

MUNCK, L.; DIAS, B. G.; SOUZA, R. B. Sustentabilidade organizacional: uma análise a partir da institucionalização de práticas ecoeficientes. **Revista Brasileira de Estratégia**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 285-295, 2008.

- MUÑOZ, L.S.; CASTELLÓ, J.B.C. **Materias Primas y Aditivos Cerámicos: Enciclopedia Cerámica**. 1. ed. Faenza: Editora Faenza Ibérica, 2003.
- PINTO, R. S. et al. Análise da viabilidade econômico-financeira de implantação de um forno, tipo túnel, em uma indústria ceramista. **Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador, 2013, 18 p.
- RAO, K. M. M.; RAO, K. M. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. **Composite Structures**, [S.l.], v. 77, n. 3, p. 288-295, 2007.
- ROMA, L. C.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO, H. Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 22, n. 4, p. 668-674, 2008.
- SANTOS, A. L. V.; MASINI, J. C. Evaluating the removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II) from a wastewater sample of a coating industry by adsorption onto vermiculite. **Applied Clay Science**, [S.l.], v. 37, p. 167-174, 2007.
- SANTOS, D. O. J.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. R. L. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, e11801, 2017 .
- SANTIAGO, M. O. Aplicações do GRC-cimento reforçado com fibras de vidro em novos estádios de Sevilha. In: ARQUIMACOM, 2002, Espanha. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2002. Paginação irregular.
- SAMPAIO, C. A. DE P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.
- SAVASTANO, H. et al. Plant fibre reinforced cement components for roofing. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 13, n. 8, p. 433-438, 1999.
- SAVASTANO, H. et al. Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. **Cement and Concrete Composites**, [S.l.], v. 31, n. 4, p. 232-243, 2009.
- SAVASTANO JR., H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.
- SCHWARTZ, M. M. **Composites Materials Handbook**. 1. ed. New York: McGraw Hill, 1984.
- SILVA, B. G. T.; AZEVEDO, R. L.; MARCELINO, D. F. Análise dos problemas de uma indústria de telha de concreto. **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, 2015, p. 1-19.
- SINGH, S. M. Alkali resistance of some vegetable fibers and their adhesion with Portland cement. **Research and Industry**, [S.l.], v. 15, p. 121-126, 1985.
- SUTCU, M. Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks. **Ceramics International**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 2819-2827, 2015.

- SUVOROV, S. A.; SKURIKHIN, V. V. Vermiculite - A promising material for high-temperature heat insulators. **Refractories and Industrial Ceramics**, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 186-193, 2003.
- TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, [S.l.], v. 22, p.127-143, 2000.
- UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Rochas e Minerais Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2008, 23 p.
- VIEIRA, C. M. F.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da curva de Bigot. **Cerâmica Industrial**, [S.l.], v. 8, p. 42-46, 2003.
- WEI, J.; MEYER, C. Sisal fiber-reinforced cement composite with Portland cement substitution by a combination of metakaolin and nanoclay. **Journal of Materials Science**, [S.l.], v. 49, p. 7604-7619, 2014.
- WEN, R. et al. Synthesis and characterization of lauric acid/expanded vermiculite as form-stabilized thermal energy storage materials. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 116, p. 677-683, 2016.



## SEGUNDA PARTE – ARTIGO 1

**TELHAS DE CONCRETO PRODUZIDAS COM VERMICULITA****RESUMO**

A necessidade pelo desenvolvimento de novos materiais que atendam a demanda do mercado contribui para o maior interesse na utilização de matérias-primas inovadoras. Neste sentido, as formulações com vermiculita surgem como uma boa alternativa no campo dos materiais para aplicações na engenharia, visando maior leveza e isolamento térmico. Esta pesquisa visou avaliar a influência do uso da vermiculita expandida na produção de telhas de concreto quanto suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, durabilidade e microestruturais. Foi avaliada a substituição de 0%, 12,5%, 25%, 37,5% e 50% da areia pela vermiculita. As telhas de concreto foram moldadas pelo processo mecânico, onde ocorreram prensagem e extrusão simultâneas. O traço controle foi composto por 21,95% de cimento CPV-ARI, 65,85% de areia e 12,20% de calcário. Após confecção, as telhas passaram por 28 dias de cura e posteriormente foram avaliadas as propriedades físicas (classificação das telhas, peso seco das amostras, absorção de água e porosidade), mecânicas (resistência à carga de ruptura a flexão) e microestruturais. Todos os tratamentos foram avaliados antes e após envelhecimento acelerado. Também foram analisadas as propriedades térmicas e a viabilidade econômico-financeira da modificação na composição das telhas de concreto. Mediante os resultados no que se refere à utilização da vermiculita pode-se concluir que: A) Houve efeito significativo sobre as propriedades físicas e mecânicas à medida que ocorre a substituição da areia pela vermiculita. Apenas o tratamento controle e o tratamento com 12,5% de substituição estão de acordo com todas as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), aos 28 dias de cura. B) As telhas produzidas com vermiculita demonstraram necessidade de cura mais prolongada para que esta matéria-prima seja utilizada em maiores proporções. C) A utilização da vermiculita reduziu a condutividade térmica das telhas. D) Quanto maior o percentual de vermiculita, maior o valor empregado na produção, à substituição da areia pela vermiculita proporcionou elevação do custo com matérias-primas em 19,23; 38,46; 57,69 e 76,92%.

**Palavras-chave:** Vermiculita. Propriedades físico-mecânica. Isolamento térmico. Durabilidade.

## CONCRETE TILES PRODUCED WITH VERMICULITE

### ABSTRACT

The high demand for improvement of new materials that meet market demand contributes to the increasing interest in the usage of innovative raw materials. Thus, formulations with vermiculite emerge as a good alternative in the materials field for engineering applications, aiming at greater lightness and thermal insulation. This research aimed at evaluating the influence of expanded vermiculite on the production of concrete tiles as well as its physical, mechanical, thermal, durability and microstructural properties. The substitution of 0%, 12.5%, 25%, 37.5% and 50% of the sand by vermiculite was evaluated. The concrete tiles were molded by the mechanical process, where simultaneous pressing and extrusion occurred. The control trace was composed of 21.95% CPV-ARI cement, 65.85% sand and 12.20% limestone. The tiles went through 28 days of healing after production and, posteriorly, the physical (tile classification, dry weight of samples, water absorption and porosity), mechanical (resistance of the breaking load to bending) and microstructure properties were evaluated. All treatments were assessed before and after accelerated aging. The thermal properties and the economic-financial viability of the modification in the structure of concrete tiles were also analyzed. Through the results, regarding the use of vermiculite, one can conclude that: A) There was a significant effect on the physical and mechanical properties as the substitution of the sand by the vermiculite occurs. Only the control treatment and the 12.5% substitution treatment are in line with all specifications of norm NBR 13858-2 (2009), at 28 days of healing. B) The tiles produced with vermiculite demonstrated a need for longer healing time so that the raw material can be used in greater proportions. C) The use of vermiculite reduced the thermal conductivity of the tiles. D) The higher the percentage of vermiculite, the greater the cost applied in production increases, the replacement of sand by vermiculite provided a rise of the cost with raw materials in 19.23; 38.46; 57.69 and 76.92%.

**Keywords:** Vermiculite. Physical-mechanical properties. Thermal insulation. Durability.

## 1. INTRODUÇÃO

Telhas de concreto são componentes para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulatório. Elas são compostas de cimento, agregado, água e aditivos conforme as especificações da NBR 13858-2 (ABNT, 2009). A produção nacional deste produto começou apenas em 1976, em São Paulo. Atualmente a qualidade das telhas de concreto fabricadas no Brasil e certificadas segue o mesmo padrão das importadas. Seu processo não é mais prensado, mas sim extrudado, que permite maior velocidade na produção por ser um processo contínuo (FERNANDES, 2012; SILVA; AZEVEDO; MARCELINO, 2015).

Ao se buscar a melhoria da qualidade dos ambientes urbanos, políticas públicas específicas têm sido desenvolvidas para incentivar a utilização de telhados frios. De acordo com Muniz-Gaal et al. (2018) a correta especificação dos materiais de cobertura pode contribuir tanto para a melhoria da eficiência energética em edificações como para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbana. A necessidade de novos produtos que satisfaçam as especificações com menor peso, maior conforto, durabilidade e resistência, aliado aos aspectos econômicos e ambientais conduzem à busca por matérias-primas compatíveis com o cenário industrial (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011).

Uma das maiores dificuldades na aplicação das telhas de concreto no mercado construtivo é o elevado peso específico do concreto e a transferência de calor para o ambiente interno da edificação. As telhas cerâmicas convencionais possuem um peso/m<sup>2</sup> em torno de 41,6 kg e consomem 16 unidades em 1 m<sup>2</sup>, em contrapartida as telhas de concreto predominantes no mercado possuem um peso em torno de 48 kg/m<sup>2</sup> e consomem apenas 10 unidades (ABREU et al., 2011). O menor consumo refere-se ao fato da telha de concreto ser maior que a telha cerâmica, utilizando-se menos peças e beneficiando a estrutura do telhado, contudo, a telha de concreto é mais pesada que a telha cerâmica, o que causa impacto no dimensionando da seção dos elementos da cobertura (DAMASCENO et al., 2015; VALCARENGHI; PIOVESAN, 2011).

Sendo o Brasil um país de clima tropical com elevadas temperaturas, os materiais a serem utilizados para a confecção das coberturas devem permitir bom isolamento térmico para que o ambiente interno das instalações seja menos influenciável pela variação climática, o material ideal para a telha deve atender às recomendações com as quais a superfície superior tenha alta refletividade solar e alta emissividade térmica, em contrapartida a superfície

inferior tenha baixa refletividade solar e baixa emissividade térmica (SAMPAIO; CARDOSO; SOUZA, 2011; FRONTZAK; WARGOCKI, 2011).

Suvorov; Skurikhin (2003) afirmam que a adição da vermiculita expandida faz com que primeiramente haja retenção do líquido e conforme este evapora com o tempo, ocorre à incorporação do ar, que traz propriedades como aumento da resistência termoacústica e redução do peso específico, a possibilidade da substituição de diversos materiais por vermiculita vem sendo aplicada com sucesso no campo da engenharia, sendo assim, a introdução da vermiculita surge com a expectativa de agregar as propriedades da matéria-prima ao produto. Contudo, Schackow et al. (2014) menciona que sua utilização apresenta limitações, em que quanto mais leve o concreto com agregado de vermiculita, menos resistente.

Devido às suas características químicas, mineralógicas e microestruturais, a vermiculita expandida se faz atrativa para produção de produtos à base cimentícia, este agregado possui propriedades significativas, tais como baixa condutividade térmica, baixa densidade de massa e ponto de fusão relativamente alto. A aplicação da vermiculita depende de sua granulometria e pureza. Vermiculitas com granulometria mais fina são comumente utilizadas na construção civil, além de serem usadas na produção de fertilizantes, já as vermiculitas com granulometria mais grossa são utilizadas na horticultura, cultivo e germinação de sementes (KOKSAL et al., 2012; SUTCU, 2015; RASHAD, 2016).

A importância em inovar na construção, passa tanto pelo uso de matérias-primas mais eficientes, como por soluções construtivas mais favoráveis. Neste contexto, pretende-se analisar se as formulações com vermiculita são alternativas na composição das telhas de concreto. Objetivou-se avaliar o efeito da utilização de diferentes porcentagens de vermiculita, em substituição da areia, sobre as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, microestruturais e de durabilidade, além de analisar a viabilidade econômica da modificação.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Matérias-primas**

Para confecção das telhas de concreto foram utilizados como agregado miúdo os materiais: pó-de-calçário, areia e vermiculita expandida. Sendo que, as partículas individuais destes materiais apresentaram-se resistentes, livres de torrões e de substâncias nocivas. O pó-de-calçário utilizado foi de natureza granítica, este e a areia fina foram fornecidos pelo estoque da unidade produtora de telhas Losango e a vermiculita expandida tipo de grão 3 (granulometria fina) foi proveniente da empresa Vermiculita do Brasil. A massa específica

real do pó-de-calçário, da areia e da vermiculita foi de  $1,515\text{g/cm}^3$ ,  $1,447\text{g/cm}^3$  e  $0,355\text{g/cm}^3$ , respectivamente. A Tabela 1 apresenta as características granulométricas dos agregados mencionados.

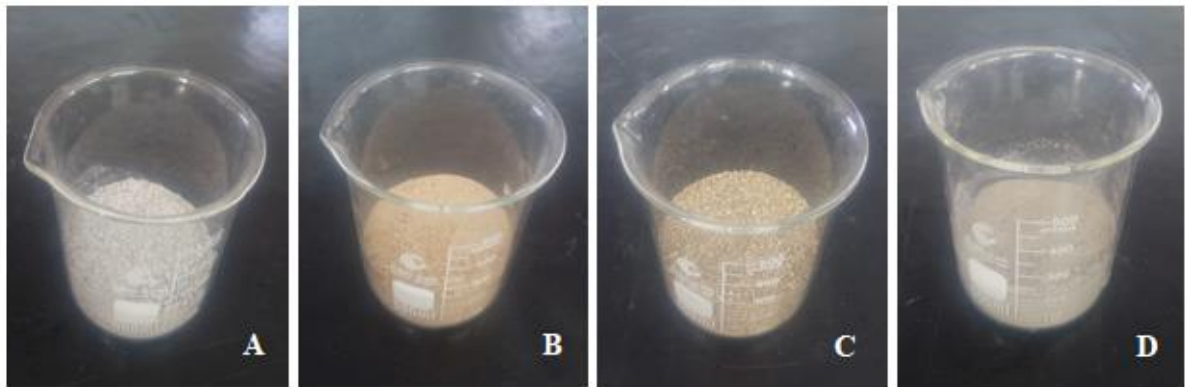
Tabela 1 - Granulometrias dos agregados miúdos da composição.

Abertura das Peneiras		Porcentagem em massa, passante		
Série ASTM	Abertura	Calcário	Areia	Vermiculita
N°4	4,75mm	100,00%	100,00%	100,00%
N°8	2,36mm	93,49%	99,81%	99,95%
N°16	1,18mm	58,21%	99,01%	99,21%
N°30	600 $\mu\text{m}$	34,64%	87,67%	82,01%
N°50	300 $\mu\text{m}$	12,36%	32,22%	30,67%
N°10	150 $\mu\text{m}$	0,59%	3,15%	6,12%

Fonte: Do autor (2019).

Tratando-se de um processo de extrusão onde é necessário elevada resistência inicial, foi utilizado como ligante cimentício o cimento Portland CPV-ARI, conforme descrito pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Os materiais utilizados na fabricação das telhas estão em conformidade com os requisitos da norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009). A Figura 1 ilustra os materiais empregados no experimento.

Figura 1 - Materiais utilizados na composição.



Legenda: (A) Calcário; (B) Areia; (C) Vermiculita; (D) Cimento.

Fonte: Do autor (2019).

## 2.2 Planejamento do Experimento

Para conciliar o objetivo da pesquisa e as recomendações quanto ao número mínimo de corpos de prova descrito na norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009), foi fixado: 6 corpos de prova para avaliação das propriedades físicas, 6 corpos de prova para determinação das propriedades mecânicas e outros 6 corpos de prova para realização do envelhecimento acelerado, totalizando 18 unidades por mistura estudada.

A incorporação da vermiculita foi realizada considerando-a como mais um agregado miúdo à mistura, substituindo parcialmente a areia na mesma proporção em que se adicionou a vermiculita, levando-se em conta a diferença de densidade, para manter o mesmo arranjo granulométrico e volumétrico da dosagem controle.

A dosagem executada sem adição de vermiculita expandida foi denominada de “dosagem referência”. Nos outros quatro traços foram empregados diferentes percentuais de vermiculita, denominados: T1 (dosagem com 12,5% de substituição), T2 (dosagem com 25% de substituição), T3 (dosagem com 37,5% de substituição) e T4 (dosagem com 50% de substituição).

Para definição das dosagens tomou-se como referência a composição da empresa de telhas Losango. A Tabela 2 apresenta a composição dos materiais que foram utilizados nas telhas referência e os tratamentos com vermiculita em diferentes proporções.

Tabela 2 - Composição dos materiais utilizados para produção das telhas.

Materiais	Composição (peso em kg)				
	Referência	T1	T2	T3	T4
Cimento	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000
Calcário	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Areia	135,000	118,125	101,250	84,375	67,500
Vermiculita	0,000	4,125	8,250	12,375	16,500

Fonte: Do autor (2019).

### 2.3 Produção das Telhas de Concreto

A produção das telhas ocorreu na fábrica de telhas Losango, na cidade de Candeias-MG, onde foi proposto à empresa modificar sua composição, a fim de melhorar as propriedades do produto adquirindo um diferencial em relação aos seus concorrentes.

Para a produção dos corpos de prova, as frações foram pesadas em um suporte metálico de alimentação, tal suporte permite o controle automático do peso do material inserido na mistura. Os agregados e o cimento foram transportados pela esteira até o misturador, onde a mistura foi homogeneizada e a água dosada, tal dosagem foi realizada de acordo com as especificações da empresa produtora, em que foi adicionada água simultaneamente a mistura dos agregados e do cimento, até a umidade de aproximadamente 5%.

O produto homogeneizado foi despejado e transportado por outra longa esteira até a extrusora, que possui um sensor capaz de processar automaticamente a demanda do material para reabastecimento do compartimento, garantindo a padronização. O equipamento realizou

processos simultâneos de compressão e extrusão, onde as telhas foram produzidas com velocidade constante de 25 telhas por minuto.

Após sair da extrusora o produto foi devidamente cortado, com auxílio de um sistema automático que determinou com precisão o comprimento das telhas, estas foram encaminhadas por uma esteira de saída com velocidade constante para evitar danos às telhas por impacto ou vibrações. O produto ainda com a forma acoplada em sua superfície inferior foi encaminhado para os racks, onde permaneceu para secagem e posterior desmoldagem, em seguida as telhas foram mantidas em câmara úmida por um período de 28 dias. A Figura 2 ilustra o processo de produção das telhas de concreto produzidas com vermiculita.

Figura 2 - Processo de produção das telhas de concreto.



Legenda: (A) Pesagem dos materiais na fonte de alimentação; (B) Dosagem; (C) Homogeneização da mistura; (D) Processo de extrusão; (E) Corte das telhas; (F) Encaminhamento para os racks; (G) Telhas após 28 dias de cura.

Fonte: Do autor (2019).

## 2.4 Dimensões e Geometria das Telhas Produzidas

As telhas fabricadas possuem forma essencialmente retangular e perfil ondulado, para todas as amostras foi empregado o perfil *long slim*. Tais telhas foram cortadas por um sistema automático que determinou com precisão o comprimento, durante o processo de extrusão não houve ajuste capaz de alterar a espessura, altura ou profundidade do perfil. A Tabela 3 descreve as dimensões das amostras produzidas nesta pesquisa.

Tabela 3 - Dimensões das telhas produzidas.

Dimensões	Medições (cm)
Comprimento Longitudinal	49,60
Comprimento Transversal	38,00
Espessura	1,40
Altura Característica	6,70
Profundidade do Perfil	3,80

Fonte: Do autor (2019).

O perfil empregado trata-se do modelo *long slim* e possibilita a fabricação de telhas com dimensões superiores as convencionais. As telhas de concreto convencionais demandam em média de 10 un./m<sup>2</sup> (TÉGULA, 2005; ABREU et al., 2011). No entanto, as telhas produzidas com o perfil “*long slim*” necessitam apenas de 7 un./m<sup>2</sup>.

### 2.4.1 Classificação das Telhas

Através da profundidade do perfil ( $d$ ) é possível determinar a classificação das telhas, sendo esta a distância vertical medida entre a crista da onda mais alta e o canal mais baixo. A Figura 3 ilustra a profundidade do perfil. A Tabela 4 apresenta as especificações para classificação das telhas.

Figura 3 - Profundidade do perfil ( $d$ ).



Fonte: NBR 13858-2 (ABNT, 2009).



Tabela 4 - Classe do perfil em função da profundidade da telha.

Classe do perfil	Profundidade do perfil (d) mm
A	$d \geq 50$
B	$40 \leq d < 50$
C	$30 \leq d < 40$
D	$20 \leq d < 30$
Plana	$d < 20$

Fonte: NBR 13858-2 (ABNT, 2009), tabela modificada.

As telhas produzidas nesta pesquisa são pertencentes à classe C do perfil, conforme demonstrado (Tabela 3) a profundidade utilizada no perfil foi de 38 mm, tal medida é superior a 30 mm e inferior a 40 mm (Tabela 4).

## 2.5 Características Físicas das Telhas de Concreto

### 2.5.1 Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente das Amostras

Para caracterização do peso seco, da absorção de água e da porosidade aparente, houve determinação da massa seca, da massa úmida e da massa imersa das telhas. As metodologias utilizadas para a realização destas análises estão expostas na Tabela 5.

Tabela - 5 Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na caracterização das telhas de concreto.

Análise física	Metodologias
Peso Seco das Amostras	NBR 13858-2 (ABNT, 2009)
Absorção de Água	NBR 13858-2 (ABNT, 2009)
Porosidade Aparente	ASTM C 948-81 (ASTM, 2001)

Fonte: Do autor (2019).

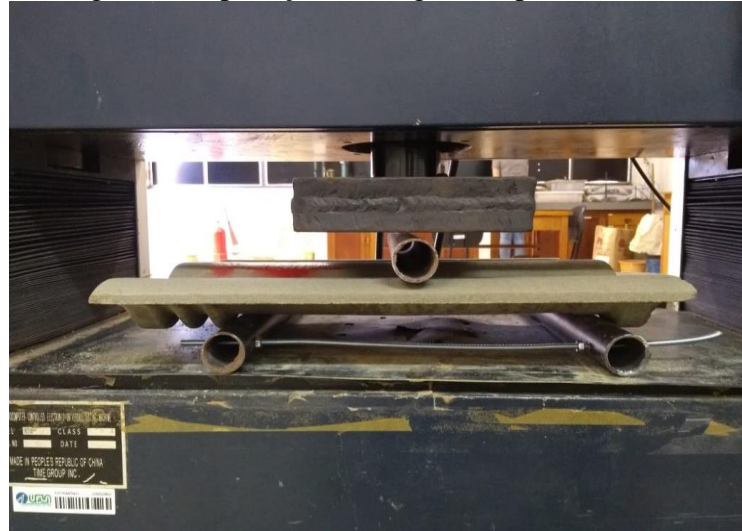
## 2.6 Propriedades Mecânicas

### 2.6.1 Carga de Ruptura à Flexão

Para determinação das propriedades mecânicas, os corpos de prova foram ensaiados após 28 dias de cura. Previamente ao ensaio as telhas foram submersas em água e mantidas por 24h, posteriormente elas foram posicionadas sobre as barras de apoio fixas, estas barras de aço de seção circular de 38 mm de diâmetro e comprimento mínimo igual à largura total da telha com acréscimo de 20 mm foram locadas a 2/3 do comprimento total da amostra, um cutelo acoplado ao dispositivo foi posicionado transversalmente ao centro da telha, com o ponto de aplicação em contato com a face superior, onde foi aplicada uma força uniformemente distribuída, à velocidade constante, a máquina de ensaio possibilitou a aplicação da carga de modo progressivo e sem golpes, com resolução igual a 10N, não

excedendo a velocidade de carregamento de  $(100\pm 10)$  N/s. O equipamento utilizado para determinação da carga de ruptura à flexão é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Aplicação da carga de ruptura à flexão.

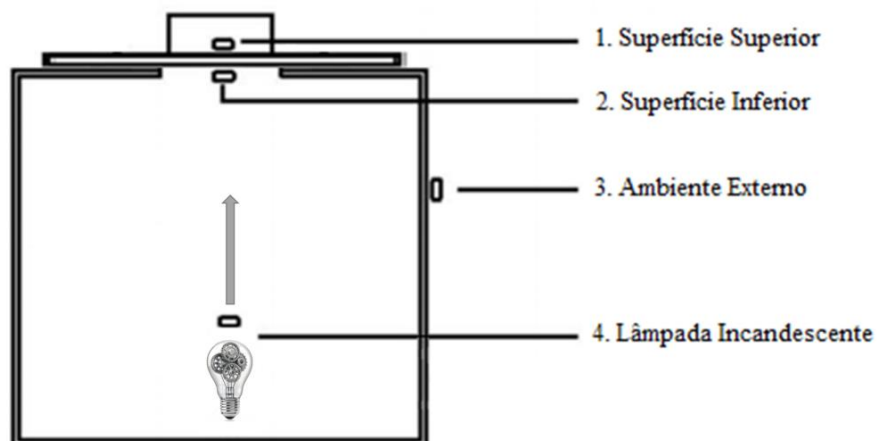


Fonte: Do autor (2019).

## 2.7 Desempenho Térmico

Para determinação do desempenho térmico foi utilizado um equipamento que consiste na adaptação do método da coluna fracionada modificada. O ensaio foi realizado simulando a exposição das telhas à temperatura em torno de  $50^{\circ}\text{C}$ . A razão de aquecimento foi de  $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . e o ciclo de ensaio para cada tratamento teve duração de 4 horas, os dados foram registrados durante este período por sensores através de um equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E. O ensaio fornece os valores da temperatura na base do padrão (lâmpada incandescente), na superfície inferior e superior do material e também no meio externo, através dos termopares 1, 2, 3 e 4, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Esquema do equipamento para determinação do desempenho térmico.



Fonte: Do autor (2019).

Através da diferença entre os termopares, a condutividade térmica das telhas foi determinada pelos princípios da lei de Fourier. Os cálculos das propriedades térmicas foram realizados conforme descrito nas especificações NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

## **2.8 Durabilidade das Telhas de Concreto e Propriedades Microestruturais**

O envelhecimento acelerado por imersão e secagem foi utilizado no estudo para determinação da durabilidade das telhas, este tem como principal finalidade simular o envelhecimento sob a forma de intempéries, estimulando o produto de acordo com sua composição. As telhas foram submetidas a seis ciclos de molhagem e secagem, o ensaio ocorreu após um período de 28 dias de cura, onde cada ciclo de envelhecimento foi composto por imersão em água por 5 horas e posterior secagem em temperatura de  $71\pm 2^{\circ}\text{C}$  por período de 42h, de acordo com as descrições da NBR 13554 (ABNT, 2012).

Para avaliação das propriedades microestruturais, foram analisadas as superfícies de ruptura dos corpos de prova ensaiados no teste de ruptura à flexão. As amostras foram observadas antes e após o envelhecimento acelerado, utilizando-se o Microscópio Estereoscópio com Epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon), com um aumento de 20x no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Estrutural do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

## **2.9 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto**

Este estudo utilizou-se da pesquisa quantitativa, com fontes de dados primários obtidos por meio da estratificação dos valores coletados com a empresa de telhas Losango e também através de pesquisas no mercado onde foram coletados os valores das matérias-primas introduzidas no experimento. A empresa baseia-se na produção sob encomenda, contudo há um estoque de venda para atender a demanda do consumidor no momento em que for solicitado.

A empresa Losango foi fundada em 2011, desde então realiza compras periódicas com seus fornecedores de matérias-primas do estado de Minas Gerais. No ano de 2018 a produção desta empresa foi de aproximadamente 800 mil telhas. Tal empresa tem como produto principal as telhas de cimento *long slim* na cor natural (cor do cimento), que representa 80% da produção.

A fim de melhorar as propriedades do produto adquirindo um diferencial para a empresa em relação aos concorrentes, foi proposta a alteração na composição das telhas. Como alternativa a possibilidade de substituição parcial da areia pela vermiculita em diferentes proporções.

### **2.9.1 Variáveis do Tratamento Controle**

De acordo com dados coletados com a empresa, a produção das telhas de cimento *long slim* é de 60.000 unidades por mês, com uma produção diária de aproximadamente 3.000 unidades, em que cada telha tem um peso nominal de 5,5 kg por peça, sendo que para produzir uma peça são necessários 3,62 kg de areia, 0,68 kg de calcário e 1,20 kg de cimento. Os preços do quilograma da areia, do calcário e do cimento são respectivamente R\$0,038, R\$0,037 e R\$0,30.

### **2.9.2 Variáveis dos Tratamentos Modificados com Vermiculita**

O prestador encontrado para o fornecimento da vermiculita foi à empresa Vermiculitas do Brasil, tal empresa tem sede em Belo Horizonte MG e o preço do seu produto varia de acordo com o tipo de embalagem. De acordo com as necessidades da empresa o valor do produto foi de R\$370,00 por m<sup>3</sup> (R\$1,0423 por kg). Tal pesquisa considera a substituição parcial da areia pela vermiculita em volume de 12,50; 25,00; 37,50 e 50,00%, considerando a massa específica da vermiculita foram necessários respectivamente 0,11; 0,22; 0,33 e 0,44 kg deste elemento para produzir uma peça.

### **2.9.3 Caracterização da Viabilidade Econômica**

Os cálculos que possibilitaram a caracterização da viabilidade econômica foram efetuados conforme as descrições de Wernke (2015), em que as atribuições de custos variáveis aos itens fabricados podem ser efetuadas por meio de fichas técnicas, também conhecidas como “árvore dos produtos”, “estrutura física” e “lista de componentes”, assim sendo os dados foram analisados comparando a ficha técnica do produto controle com a ficha técnica dos demais tratamentos. Em que foram coletados o custo direto dos produtos utilizados na produção de telhas de concreto, tais valores estão relacionados à matéria-prima e ao volume da produção. Não foram considerados os salários e encargos, a depreciação de equipamentos, o aluguel, a energia elétrica e os custos com telecomunicações, uma vez que estes não apresentam variação após a modificação da composição.

## 2.10 Análise Estatística

As características avaliadas foram submetidas à análise de variância, utilizando o programa de análise estatística Sisvar®, adotando o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os resultados foram avaliados por análise de regressão, a 5% de significância.

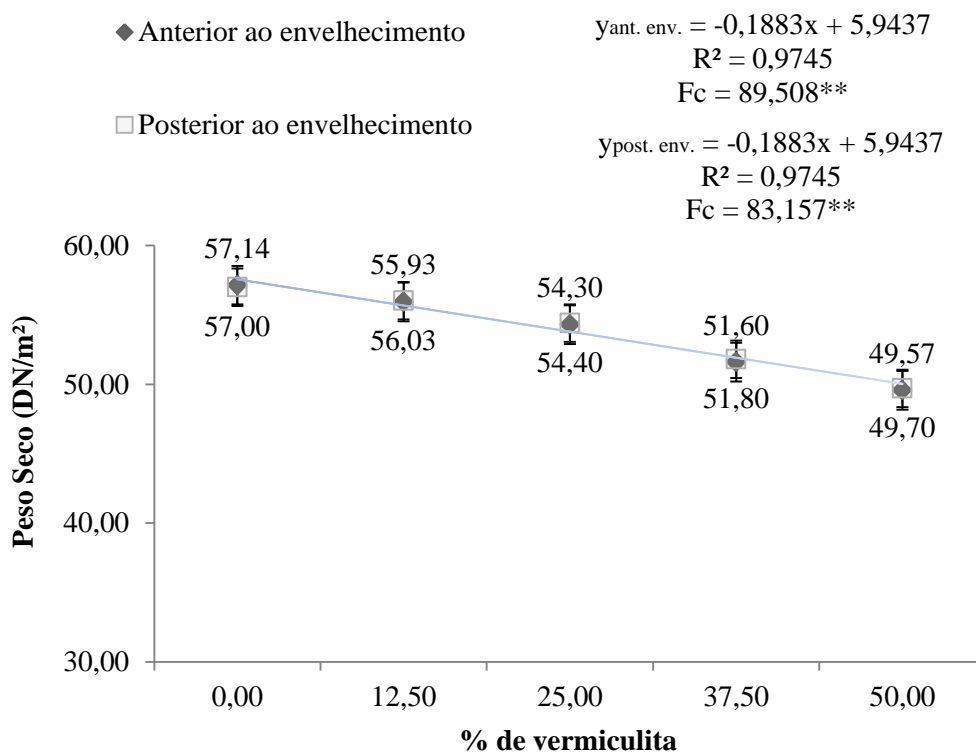
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Características Físicas das Telhas de Concreto

#### 3.1.1 Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente

Os valores médios das propriedades relativas ao peso seco, absorção de água e porosidade aparente das amostras, antes e após envelhecimento acelerado, estão apresentados na Figura 6, Figura 7 e Figura 8 respectivamente.

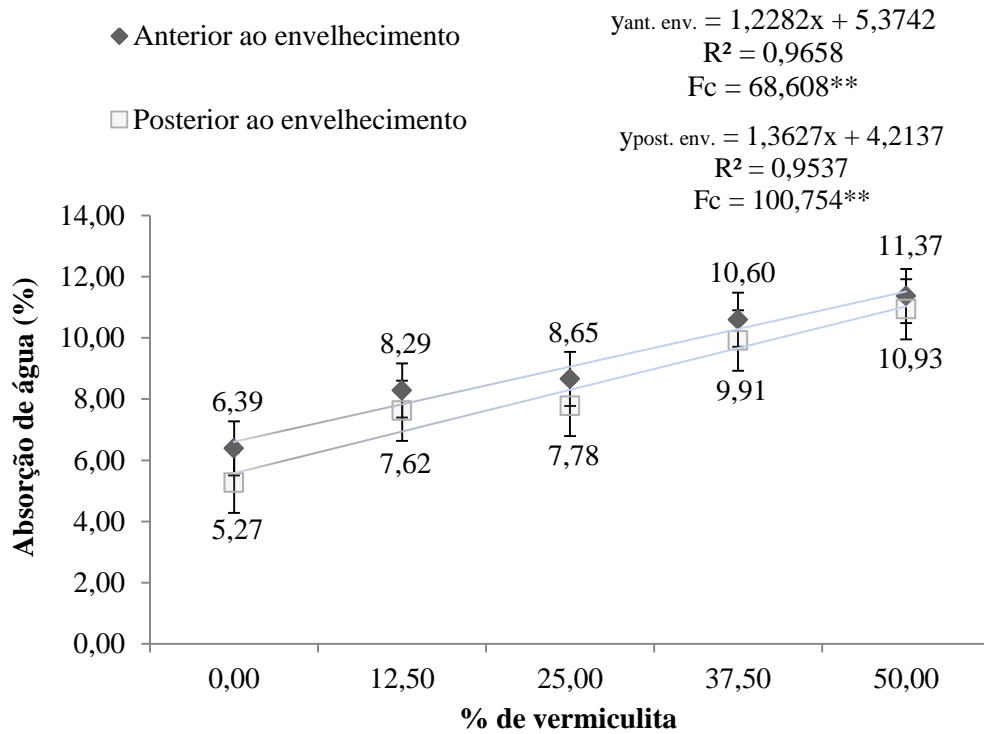
Figura 6 - Peso Seco das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2019).

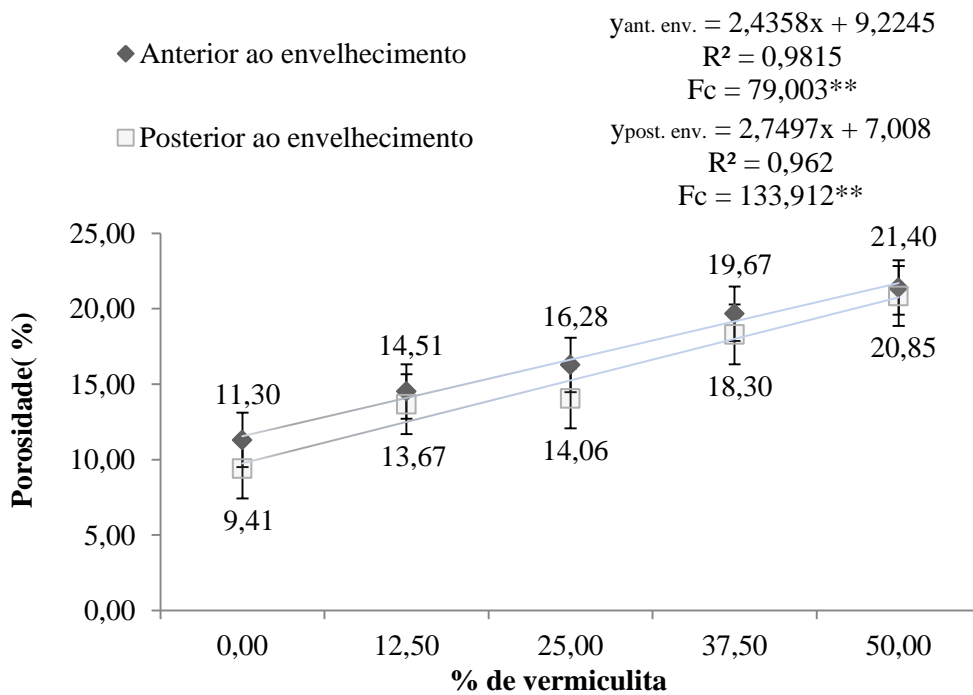
Figura 7 - Absorção de água das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 8 - Porosidade das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.

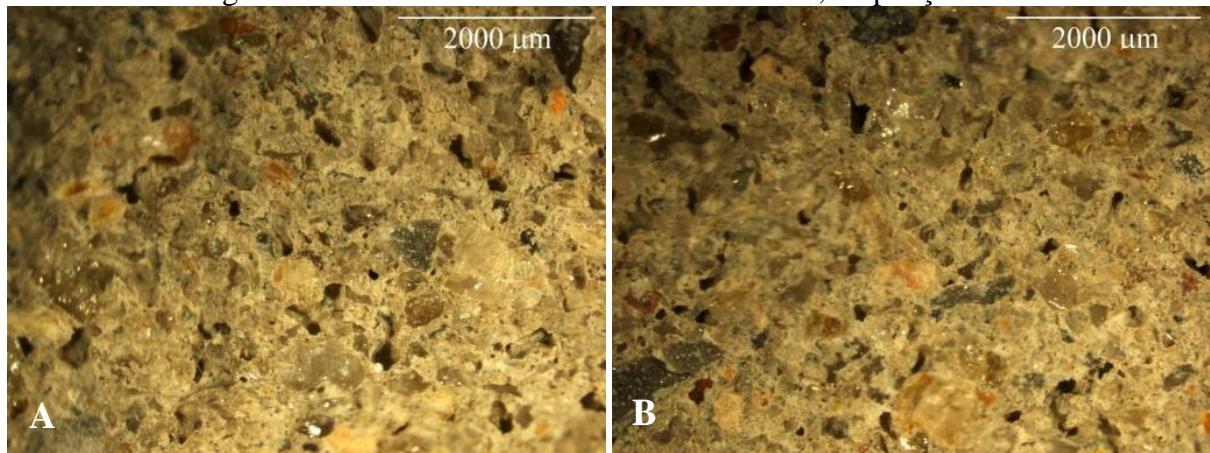
Fonte: Do autor (2019).

Observou-se redução significativa do peso seco das amostras para todos os tratamentos com introdução de vermiculita (Figura 6), apresentando comportamento similar antes e após o envelhecimento acelerado, quanto maior o percentual deste agregado menor o peso seco. Tal fato pode ser explicado pela capacidade de reter líquido e conforme este evapora com o tempo, temos a incorporação do ar e diminuição da massa específica do produto (SUVOROV; SKURIKHIN, 2003).

Foi encontrada uma correlação significativa para o teor da vermiculita nas propriedades físicas de absorção de água e porosidade. Observou-se que quanto maior a substituição da areia pela vermiculita maior absorção de água e porosidade das telhas (Figura 7 e Figura 8), o que pode ser resultado de uma menor compactação do cimento e dos agregados, onde a porosidade torna-se maior, aumentando a infiltração da água no produto, gerando uma maior absorção. Como consequência da maior porosidade a telha tem mais espaços vazios e fica mais leve e com maior isolamento térmico (RICHERSON, 1992; HENTGES et al., 2012).

As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 ilustram a microestrutura das amostras, antes e após o envelhecimento acelerado.

Figura 9 - Microestrutura do tratamento controle, ampliação 20x.

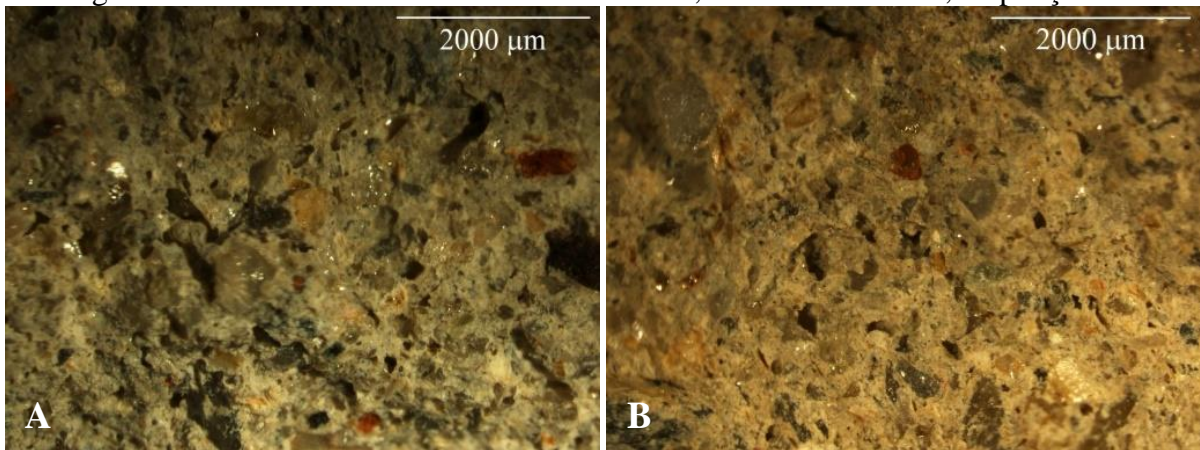


Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.

Fonte: Do autor (2019).

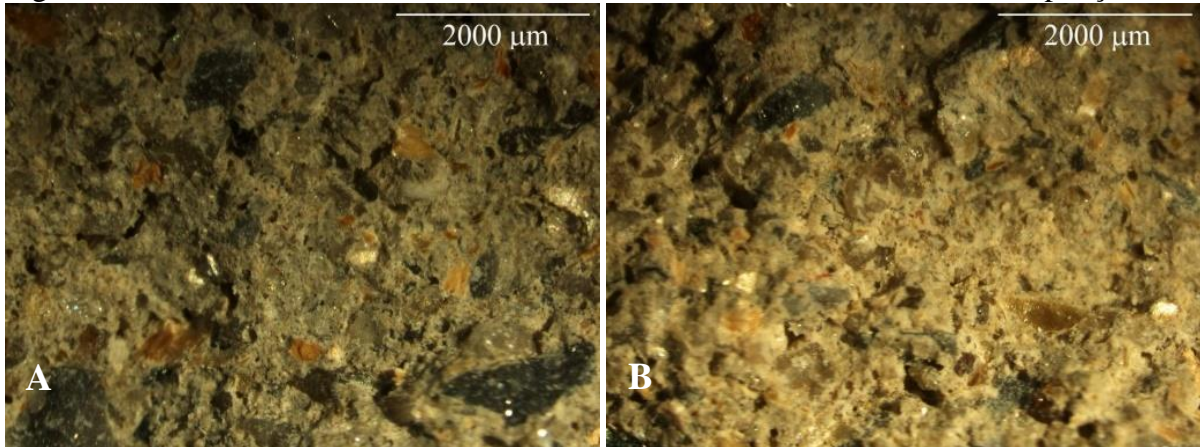


Figura 10 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita, ampliação 20x.



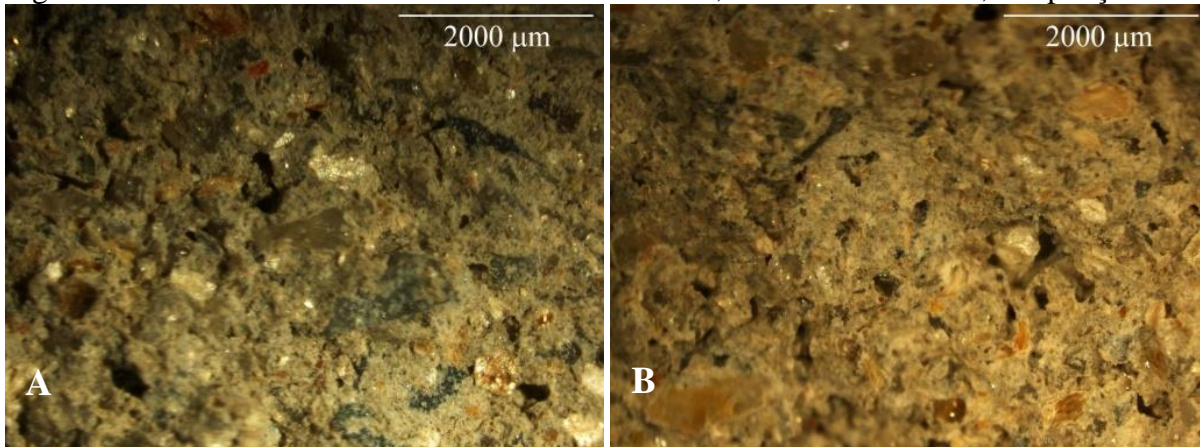
Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).

Figura 11 - Microestrutura do tratamento com 25% de vermiculita, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).

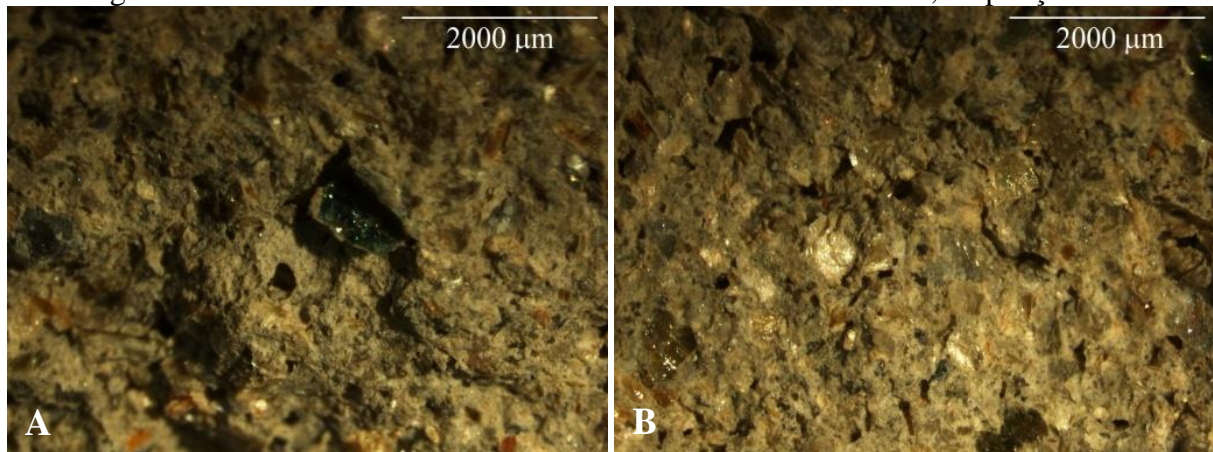
Figura 12 - Microestrutura do tratamento com 37,5% de vermiculita, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).



Figura 13 - Microestrutura do tratamento com 50% de vermiculita, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.

Fonte: Do autor (2019).

Avaliando as imagens, percebe-se redução da porosidade após o envelhecimento acelerado. Correlacionando os valores antes e após o envelhecimento (Figura 8), observou-se o favorecimento do produto, tanto no tratamento controle como nos experimentos com vermiculita. Tal beneficiamento pode ser explicado pelo favorecimento da cura do concreto. Segundo Bauer (2001), entende-se por “cura do concreto” um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual reage com cimento o hidratando. O Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização do clínquer, este na presença da água durante o envelhecimento desenvolve características aglomerantes, reduzindo a porosidade e minimizando a absorção (ABCP, 2016).

A maior porosidade aparente esta ligada à uma matriz menos compacta, podendo gerar um maior número de defeitos. Fonseca et al. (2016) afirmam que uma maior absorção de água e porosidade aparente, pode ser um aspecto negativo, resultando em defeitos na microestrutura dos compósitos.

Koksall et al. (2012) estudaram quatro diferentes dosagens de concreto tendo como agregado a vermiculita, em que houve redução dos pesos unitários e elevação da absorção, à medida que se introduzia vermiculita à mistura. Tijolos de argila com adição de 2,5; 5; 7,5 e 10% de vermiculita expandida, foram fabricados com o intuito de elevar a porosidade do produto. Verificou-se que a adição da vermiculita reduziu a densidade da maioria das amostras e elevou significativamente a porosidade (SUTCU, 2015). Os dados revelaram que a vermiculita promove redução da massa e elevação da porosidade, assim como nestas pesquisas.

Damasceno et al. (2015) estudaram a composição de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes e relataram o valor referente à absorção de água

(AA) de 6,5%. Barbosa et al. (2013) analisaram AA com a incorporação de lama abrasiva em telhas de concreto e obtiveram o valor de 4,5%. As telhas comerciais da região de Campos dos Goytacazes-Rj (Fábrica Super Telha) possuem AA de 7% e das Fábricas de Herval Oeste – SC possuem AA de 6,2% (VALCARENCHI; PIOVESAN, 2011).

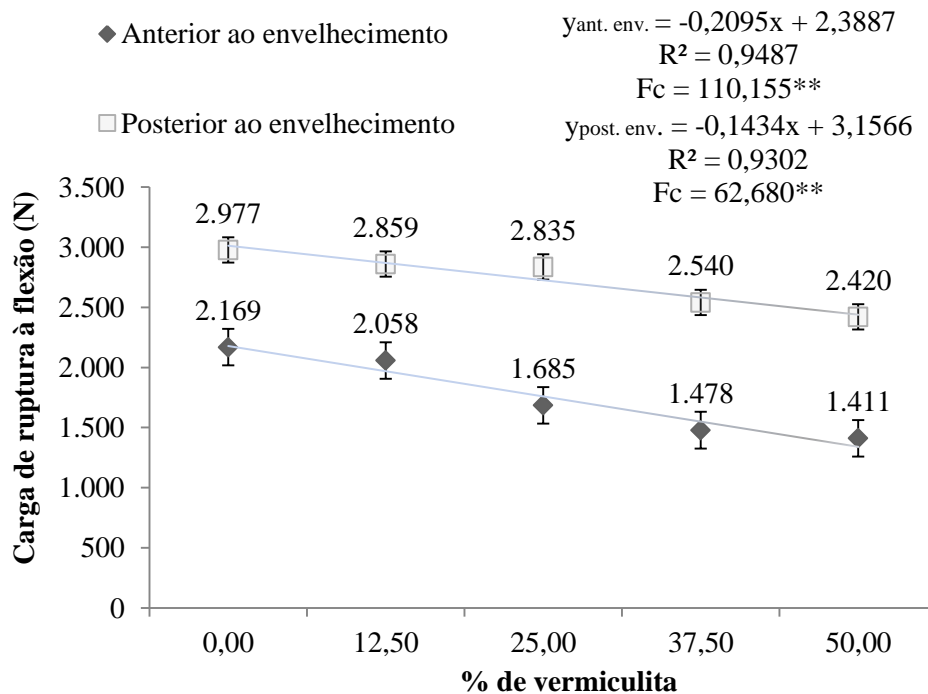
O valor de absorção de água para o tratamento referência e os experimentos com 12,5% e 25% de vermiculita anterior ao envelhecimento, estão de acordo com os critérios relatados pela norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009). Posterior ao envelhecimento todos os tratamentos atendem as recomendações, exceto o experimento com 50% de substituição, a especificação determina um valor máximo de 10% relativo à absorção de água em telhas de concreto.

### 3.2 Propriedades Mecânicas

#### 3.2.1 Carga de Ruptura à Flexão

Os valores médios da propriedade mecânica, relativa à carga de ruptura à flexão das amostras, antes e após envelhecimento acelerado, estão demonstrados na Figura 14.

Figura 14 - Carga de ruptura à flexão, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2019).

A carga de ruptura à flexão obteve variação significativa à medida que houve a substituição da areia pela vermiculita (Figura 14). Nota-se que quanto maior introdução deste agregado menor a resistência do produto, este resultado está relacionado ao aumento da porosidade que torna a composição mais leve, porém fragiliza a estrutura do compósito. Assim sendo, quanto mais leve o concreto com agregado de vermiculita, menos resistentes (SCHACKOW et al., 2014).

Correlacionando os valores antes e após o envelhecimento, observou-se que as amostras envelhecidas mostraram-se mais resistentes. Tal fato está associado à hidratação do aglomerante e a interação dos agregados durante o processo de envelhecimento, uma vez que a cura do concreto proporcionou a ocorrência das reações químicas de hidratação dos elementos presentes na composição. Estas reações foram importantes para maior resistência mecânica e para a garantia da vida útil do produto (SAVASTANO JR; PIMENTEL, 2000).

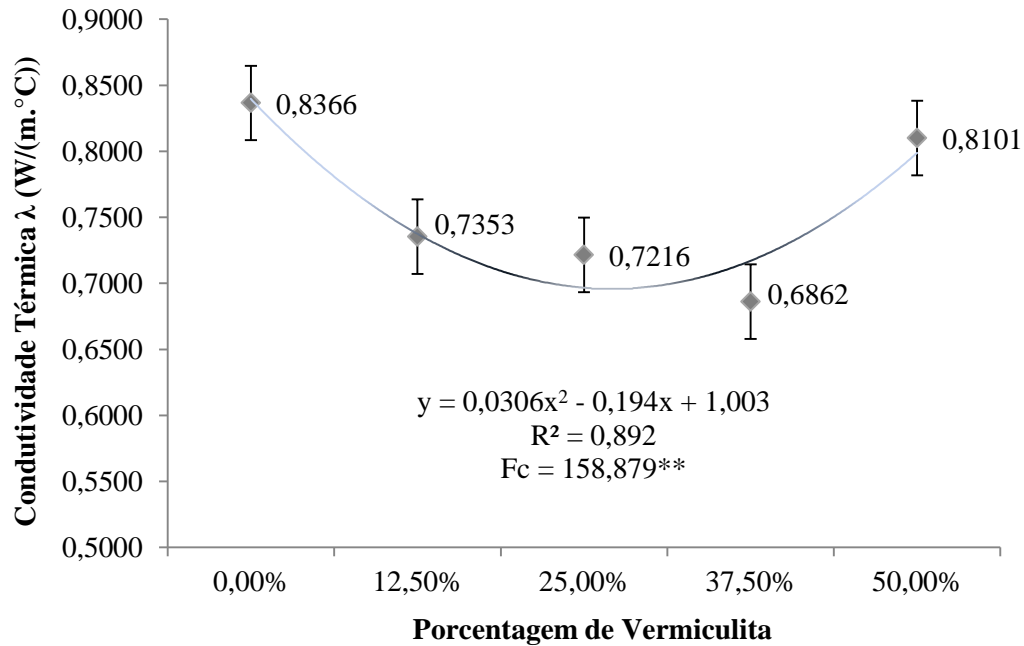
Diversos pesquisadores analisaram a carga de ruptura à flexão em telhas de concreto, aos 28 dias de cura. Barbosa et al. (2013) avaliaram a incorporação de lama abrasiva em telhas de concreto e obtiveram o valor de 3310N. Damasceno et al. (2015) estudaram a composição de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes e relataram valores entre 1420 e 1060N. As telhas comerciais da região de Campos dos Goytacazes-Rj (Fábrica Super Telha) e as Fábricas de Herval Oeste – SC apresentaram carga de ruptura à flexão de 3000N e 2929N respectivamente (VALCARENCHI; PIOVESAN, 2011).

A norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009) especifica que a resistência não deve ser inferior a 2000N para Classe C, sendo assim apenas o tratamento controle e o tratamento com 12,5% de vermiculita estão de acordo com as especificações, aos 28 dias de cura. Porém, após o envelhecimento todos os tratamentos atendem as recomendações.

### **3.3 Desempenho Térmico**

Na Figura 15 estão apresentados os valores médios de condutividade térmica para cada um dos tratamentos avaliados.

Figura 15 - Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) para os tratamentos analisados.



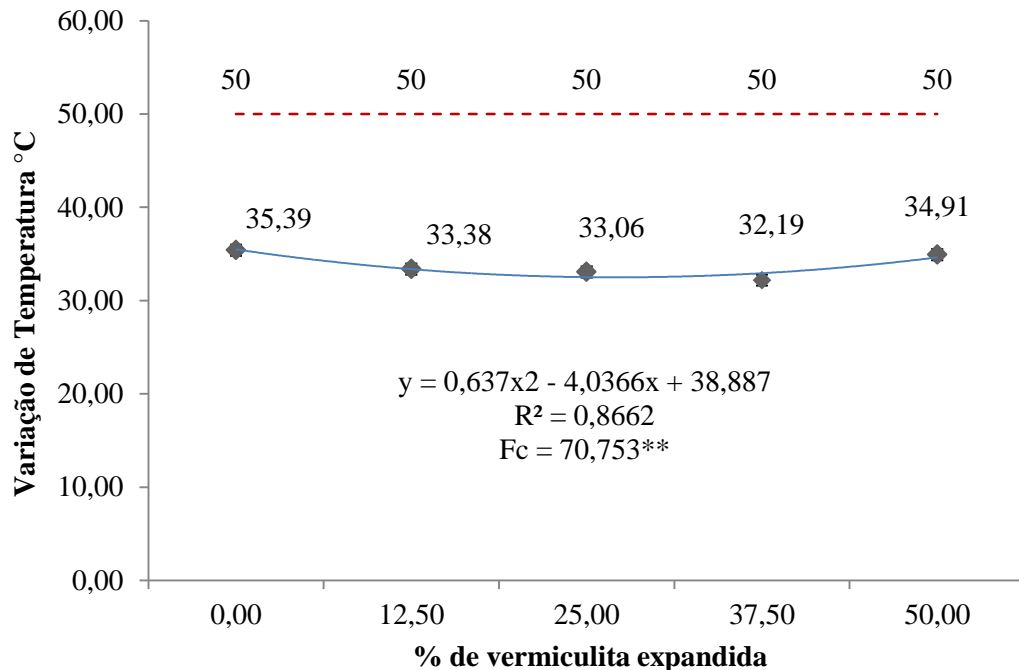
Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.  
 Fonte: Do autor (2019).

Avaliando a condutividade térmica (Figura 15), observa-se que os tratamentos com vermiculita demonstraram melhor desempenho em comparação ao tratamento controle. Observou-se que a inclusão da vermiculita na fabricação das telhas, provoca redução contínua das propriedades térmicas até a porcentagem de 37,5% de substituição, porém na substituição de 50% ocorre novamente a elevação das propriedades. A redução dos valores relacionados à condutividade térmica é considerada um bom resultado, uma vez que quanto menor a condutividade térmica das telhas, menor será a troca de temperatura entre a parte externa e interna da edificação (MUNIZ-GAAL et al., 2018).

Ainda sobre os valores apresentados, o fato da substituição com 50% de vermiculita não acompanhar o mesmo delineamento dos demais experimentos, pode ser associado à perda da trabalhabilidade, onde a produção com 50% de substituição gerou microfissuras na estrutura. Uma vez que a condução é um processo de transferência de energia, ao longo do sistema, partícula a partícula, uma partícula ao receber energia aumenta seu estado de vibração e dessa forma, acaba por transferir energia às partículas vizinhas (BARRETO et al., 2016). Assim, quando a barreira de transferência é rompida pela fissura, a transferência de energia não percorre seu trajeto e é diretamente transferida do exterior para o interior da edificação.

A Figura 16 ilustra a temperatura na superfície superior do equipamento, quando os tratamentos são submetidos à temperatura média de 50°C.

Figura 16 - Temperatura interna quando as telhas são submetidas à temperatura externa média de 50°C.



Legenda: \*\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2019).

Avaliando os resultados é possível notar (Figura 16) que a substituição da areia pela vermiculita, eleva consideravelmente a variação da temperatura nos experimentos comparados ao tratamento controle, sendo que as telhas com introdução de vermiculita são capazes de reduzir a temperatura interna da edificação em 2,01°C; 2,33°C; 3,20°C e 0,48°C para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 respectivamente. Tal fato se deve a vermiculita ser um mineral de ocorrência natural que quando aquecido se expande para se tornar um material altamente eficiente ao isolamento térmico (SUVOROV; SKURIKHIN, 2003).

Nesta pesquisa foi observada a formação de poros à medida que ocorre a introdução da vermiculita, e por consequência a formação dos poros favorece o desempenho do produto (GIVONI, 1981; SUTCU, 2015).

### 3.4 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto

De posse dos dados foram construídas fichas técnicas que proporcionaram o cálculo do custo variável do produto. A Tabela 6 demonstra a ficha técnica para as variáveis do

tratamento controle. As Tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam a ficha técnica para os tratamentos com introdução de vermiculita nas proporções de 12,5; 25,00; 37,50 e 50,00%.

Tabela 6 - Ficha técnica para o tratamento controle.

<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
3,62	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1376
0,68	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,20	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,5227
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 1.568,16
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 31.363,20
Legenda: * Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,50kg.				
Fonte: Do autor (2019).				

Tabela 7 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita.

<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
3,17	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1205
0,68	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,20	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,11	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,1154
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,6210
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 1.862,99
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 37.259,85
Legenda: * Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,16kg.				
Fonte: Do autor (2019).				

Tabela 8 - Ficha técnica para o tratamento com 25,00% de vermiculita.

<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
2,72	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1034
0,68	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,20	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,22	kg	Vermiculita	R\$1,0423	R\$ 0,2308
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,7193
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 2.157,82
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 43.156,50
Legenda: * Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 4,82kg.				
Fonte: Do autor (2019).				

Tabela 9 - Ficha técnica para o tratamento com 37,50% de vermiculita.

<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
2,26	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,0859
0,68	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,20	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,33	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,3461
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,8172
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 2.451,52
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 49.030,34

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 4,47kg.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10 - Ficha técnica para o tratamento com 50,00% de vermiculita.

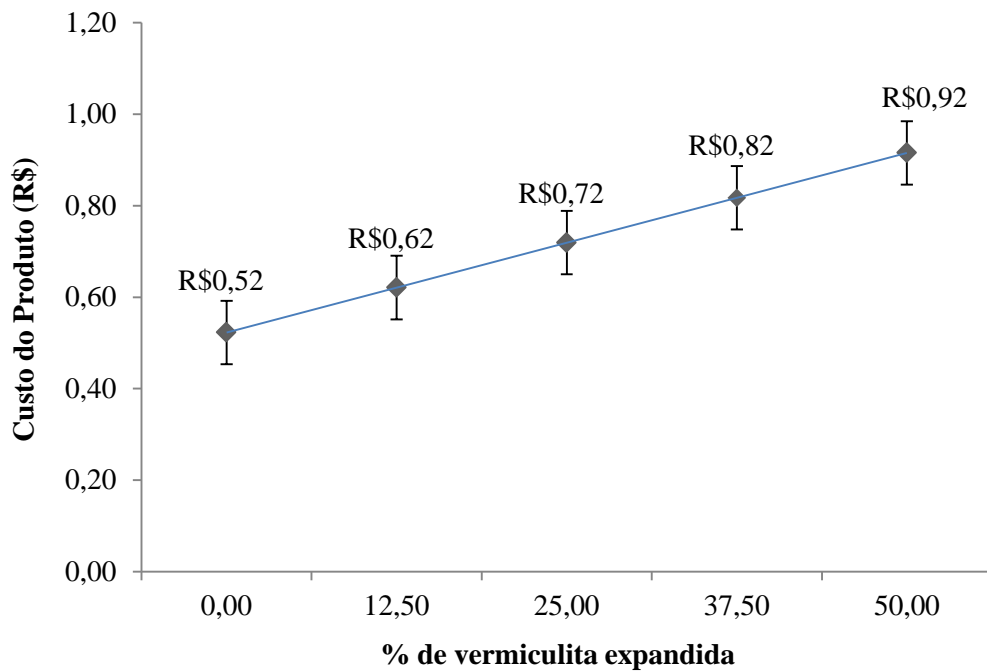
<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
1,81	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,0688
0,68	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,20	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,44	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,4615
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,9154
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 2.746,35
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 54.926,99

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 4,13kg.

Fonte: Do autor (2019).

Ao comparar a ficha técnica dos tratamentos, verifica-se que houve variação considerável do ponto de vista econômico-financeiro para a empresa, estabelecendo variação de custo em todos os tratamentos. Nota-se que a introdução da vermiculita promoveu aumento no valor empregado para matérias-primas e quanto maior a porcentagem introduzida maior o custo do produto, mesmo que a densidade da vermiculita seja inferior e promova uma redução no peso nominal do produto, tal redução em massa da matéria-prima utilizada na composição não foi equivalente ao alto custo da vermiculita quando comparada a areia, seu elemento de substituição. A Figura 17 ilustra o preço das matérias-primas empregadas para produção de uma telha em diferentes proporções de vermiculita.

Figura 17 - Gastos do produto com matérias-primas para o tratamento controle e experimentos com introdução de vermiculita.



Fonte: Do autor (2019).

Perante a Figura 17, percebe-se um acréscimo progressivo no custo das telhas de concreto, tal aumento de R\$0,10 refere-se ao valor das matérias-primas e persistiu à medida que a vermiculita foi introduzida.

#### 4. CONCLUSÃO

- a) Analisando as propriedades físicas, o peso das telhas reduz à medida que se introduz a vermiculita expandida, porém a absorção de água e a porosidade aumentam. No que se refere às propriedades mecânicas, verificou-se redução da resistência à flexão na proporção em que a vermiculita foi incluída à dosagem.
- b) Comparando os valores há variação significativa à medida que ocorre a substituição da areia pela vermiculita e apenas o tratamento controle e o tratamento com 12,5% de substituição estão de acordo com todas as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), aos 28 dias de cura. As telhas produzidas com vermiculita demonstraram necessidade de cura mais prolongada, para que esta matéria-prima seja utilizada em maiores proporções.
- c) A introdução da vermiculita reduz a condutividade térmica do produto e eleva consideravelmente a variação da temperatura.



d) Quanto maior o percentual de vermiculita, maior o valor empregado na produção, a substituição da areia pela vermiculita proporcionou elevação do custo com matérias-primas em 19,23; 38,46; 57,69 e 76,92%.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às entidades de fomento CNPq, FAPEMIG e CAPES; à Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e a telhas Losango.

## REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. et al . Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 948-81**: Test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete. West Conshohocken, 2001. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP**: Boletim técnico 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2016. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554**: Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13858-2**: Telha de concreto – Parte 2: Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 32 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, Brasil, 2018. 12 p.

BARBOSA, J. F.; COSTA V. S; LIMA, M, R, P. Avaliação da utilização de lama abrasiva do beneficiamento de mármore e granito na confecção de telhas de concreto. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Vitória, v 8, 1. ed. p. 30-35, 2013.

BARRETO, M.; CUNHA, F.; MENDES, J. U. L. Análise térmica de um eco composto de poliuretano de mamona com rejeito de madeira. **Holos**, [S.l.], v. 7, n. 32, p. 110-120, 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 471 p.

- DAMASCENO, F. A. et al. Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 5, 2015.
- FERNANDES, I. D. **Telhas de concreto: produção e controle de qualidade**. 1. ed. São Paulo: ABCP, 2012, 112 p.
- FONSECA, C. S. et al. Micro/nanofibrila celulósicas de Eucalyptus fibrocimentos extrudados. **Revistas Cerne**, Lavras, v. 22, n.1, p. 59-68, 2016.
- FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 922-937, 2011.
- GIVONE, B. Man, **Climate and Architecture**. 2. ed. London: Applied Science, 1981.
- HENTGES, G. et al. Porosidade do bloco cerâmico e absorção de água. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. São Paulo, v. 4, n. 2, 2012. Paginação irregular.
- KOKSAL, F. et al. Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement based refractory including expanded vermiculite. **Materials Research Innovations**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 7-13, 2012.
- MUNIZ-GAAL, L. P. et al. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 503-518, Mar. 2018.
- RASHAD, A. M. Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 53-62, 2016.
- RICHERSON, D. W. **Modern ceramic engineering: properties, processing and use in design**. 2. ed. [S.l.]: Marcel Dekker, 1992, 880 p.
- SAMPAIO, C. A. DE P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.
- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Inland and Improve Thermal Comfort Conditions. [S.l.], **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011.
- SAVASTANO JR., H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.
- SILVA, B. G. T.; AZEVEDO, R. L.; MARCELINO, D. F. Análise dos problemas de uma indústria de telha de concreto. **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, 2015, p. 1-19.
- SCHACKOW, A. et al. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 57, p. 190-197, 2014.

SUTCU, M. Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks. **Ceramics International**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 2819-2827, 2015.

SUVOROV, S. A.; SKURIKHIN, V. V. Vermiculite - A promising material for high-temperature heat insulators. **Refractories and Industrial Ceramics**, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 186-193, 2003.

TÉGULA. **Telhas de Concreto**: Guia de especificações. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.tegula.com.br/site/onde-encontrar/>. Acesso em: 25 abr. 2018.

VALCARENGHI, C; PIOVESAN, A. Z. Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval d'Oeste. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 19-30, 2011.

WERNKE, R. **Análise de Custos e Preços de Venda**: ênfase em aplicações e casos nacionais. 2. ed. São Paulo: Saraiva Educação, v. 1, 2015, 234 p.

## TERCEIRA PARTE – ARTIGO 2

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E EUCALIPTO COMO REFORÇO EM  
TELHAS DE CONCRETO PRODUZIDAS COM VERMICULITA****RESUMO**

Graças aos avanços tecnológicos as propriedades exigidas aos materiais convencionais sofreram alterações, impulsionando o aparecimento de materiais capazes de responder aos requisitos pretendidos pelas novas tecnologias. Neste contexto, as formulações com fibras e vermiculita surgem como uma boa alternativa no campo dos materiais para aplicações na engenharia, esta pesquisa visou avaliar a influência do uso da fibra de vidro e da fibra de eucalipto na fabricação de telhas de concreto produzidas com vermiculita. Foi avaliada a incorporação de 0,2% de fibras de vidro, 0,2% de fibras de eucalipto e 0,1% de ambas as fibras. As telhas de concreto foram moldadas pelo processo mecânico, onde ocorreram prensagem e extrusão simultâneas. O traço controle foi composto por 21,95% de cimento CPV-ARI, 53,35% de areia; 12,20% de calcário e 12,50% de vermiculita. Após confecção, as telhas passaram por 28 dias de cura e posteriormente foram avaliadas as propriedades físicas (classificação das telhas, peso seco das amostras, absorção de água e porosidade), mecânicas (resistência à carga de ruptura a flexão) e microestruturais. Todos os tratamentos foram avaliados antes e após envelhecimento acelerado. Também foram analisadas as propriedades térmicas e a viabilidade econômico-financeira da modificação na composição das telhas de concreto produzidas com vermiculita. Em relação à adição das fibras, pode-se concluir que: A) As fibras promoveram variação significativa das propriedades físicas e mecânicas, em que apenas o tratamento controle esta de acordo com todas as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado. B) A adição das fibras não proporcionou variação significativa na condutividade térmica das telhas. C) A inclusão das fibras de eucalipto resultou em aumento do custo com matérias-primas em 0,21%, as fibras de vidro elevaram o valor em 56,68% e ambas às fibras provocaram o acréscimo de 28,44%.

**Palavras-chave:** Fibras. Propriedades físico-mecânica. Isolamento térmico. Durabilidade.

## USE OF GLASS AND EUCALYPTUS FIBERS AS REINFORCEMENT ON CONCRETE TILES PRODUCED WITH VERMICULITE

### ABSTRACT

Thanks to technological advances, the properties required to conventional materials have undergone changes, spurring the development of materials capable of meeting the desired requirements by the new technologies. Therefore, formulations with fibers and vermiculite emerge as a good alternative in the materials field for engineering applications, this research aimed at evaluating the influence of using glass and eucalyptus fibers in the manufacture of concrete tiles produced with vermiculite. The incorporation of 0.2% of glass fibers, 0.2% of eucalyptus fibers and 0.1% of both fibers was assessed. The concrete tiles were molded by the mechanical process, where simultaneous pressing and extrusion occurred. The control trace was composed of 21.95% CPV-ARI cement, 53.35% sand; 12.20% limestone and 12.50% vermiculite. The tiles went through 28 days of healing after production and, posteriorly, the physical (tile classification, dry weight of samples, water absorption and porosity), mechanical (resistance of the breaking load to bending) and microstructure properties were evaluated. All treatments were assessed before and after accelerated aging. The thermal properties and the economic-financial viability of the modification in the structure of concrete tiles produced with vermiculite were also analyzed. Regarding the addition of the fibers, can be concluded that: A) The fibers promoted significant variation of the physical and mechanical properties, in which only the control treatment is in line with all specifications of norm NBR 13858-2 (2009), at 28 days of healing and after the accelerated aging. B) The addition of the fibers did not provide significant variation in the thermal conductivity of the tiles. C) The cost with raw materials suffered an increase with the inclusion of eucalyptus fibers by 0.21%, of glass fibers by 56.68% and of both fibers by 28.44%.

**Keywords:** Fibers. Physical-mechanical properties. Thermal insulation. Durability.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos constituem uma proporção significativa do mercado de materiais que variam desde produtos diários às aplicações sofisticadas. Sabe-se que um plano de ação para o desenvolvimento passa pela compreensão e criação de novas oportunidades de mercado através de processos inovadores que garantam maior eficiência de recursos, energia e redução dos custos (WBCSD, 2009). A utilização de materiais compósitos na construção civil, como concretos e argamassas reforçados com fibras tem crescido consideravelmente. A adição de fibras minimiza o comportamento frágil característico da matriz cimentícia, o qual passa a apresentar resistência residual a esforços mesmo após fissuração (FIGUEIREDO, 2000; CHANDRAMOHAN; MARIMUTHU, 2011).

Uma grande variedade de fibras tem sido utilizada como reforço de matrizes cimentícias, o sucesso da aplicação das fibras em compósitos depende da facilidade de acesso e aplicação das técnicas exigidas pelo setor ao qual será aplicada. As fibras podem ser orgânicas ou inorgânicas, as fibras orgânicas se dividem, ainda, em naturais ou artificiais (RAO; RAO, 2007; ALEKSENDRIĆ; CARLONE, 2015). As fibras aparecem como alternativa ao estudo para conferir resistência ao produto, uma vez que a ruptura das telhas normalmente ocorre devido tensões de flexão, a introdução desta matéria-prima permite que parte dos esforços sejam transferidos para si, diminuindo a propagação de fissuras, controlando suas aberturas e retardando a ruptura das unidades (SAVASTANO JR; PIMENTEL 2000; SANJAY et al., 2016).

As fibras naturais possuem baixo custo, disponibilidade, fontes renováveis, não tóxicas e questões ambientais satisfatórias. O uso de fibras naturais associado aos compósitos tem sido empregado em países desenvolvidos graças aos avanços tecnológicos nos processos produtivos, representando significativa contribuição para o crescimento da infraestrutura desses países (CASAGRANDE et al., 2008). A viabilidade de produção dos compósitos reforçados com fibras naturais vem sendo abordada em diversos estudos (GHAVAMI; HOMBECK, 1982; SILVA et al., 2007; FONSECA et al., 2016).

As fibras sintéticas são resultados de pesquisas feitas com intuito de melhorar as fibras de animais e vegetais. Tais fibras são vantajosas, pois podem ser mais resistentes do que a maioria das fibras naturais, além de fornecerem características favoráveis para determinados produtos, como alongamentos, impermeabilização e precisão na produção (MARQUES et al., 2016). Fibras sintéticas são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo. Algumas das mais difundidas no mercado são as fibras de vidro, poliéster, polipropileno e náilon. Estes

materiais aliam excelentes propriedades mecânicas, tolerância à deterioração, resistência à corrosão e resistência à fadiga (SHENOI; WELLICOME, 1993; MARINUCCI, 2011).

Neste contexto, evidencia-se a expectativa de inovação com a introdução das fibras de vidro e das fibras de eucalipto na fabricação de telhas de concreto produzidas com vermiculita, objetivou-se analisar o efeito da utilização das fibras, sobre as propriedades físicas (classificação das telhas, peso seco das amostras, absorção de água e porosidade), mecânicas (resistência à carga de ruptura a flexão), microestruturais e de durabilidade, avaliando também as propriedades térmicas e a viabilidade econômico-financeira.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Matérias-primas

Para confecção das telhas de concreto foram utilizados como agregado miúdo os materiais: pó-de-calcário, areia e vermiculita expandida. Sendo que, as partículas individuais destes materiais apresentaram-se resistentes, livres de torrões e de substâncias nocivas. O pó-de-calcário utilizado foi de natureza granítica, este e a areia fina foram fornecidos pelo estoque da unidade produtora de telhas Losango e a vermiculita expandida tipo de grão 3 (granulometria fina) foi proveniente da empresa Vermiculita do Brasil. A massa específica real do pó-de-calcário, da areia e da vermiculita é de 1,515g/cm<sup>3</sup>, 1,447g/cm<sup>3</sup> e 0,355g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Como reforço utilizou-se fibras de vidro AR (álcali resistente), em que a densidade deste material é 2,75g/cm<sup>3</sup> e sua composição química esta descrita na Tabela 1. Também como reforço foi utilizado fibras de eucalipto, passante na peneira de 32 mesh, cuja densidade da madeira desta espécie caracterizada por Pereira et al. (2000) é 0,475 g/cm<sup>3</sup> e o teor lignina 23,4%.

Tabela 1 - Composição química das fibras de vidro AR.

Elementos	Percentuais
SiO <sub>2</sub>	55-60%
ZrO <sub>2</sub>	16% Mínimo
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	12-18%
CaO, MgO	0-6%
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-1%
TiO <sub>2</sub>	5-6%

Fonte: Fibertex® (2012).

Tratando-se de um processo de extrusão onde é necessário elevada resistência inicial, foi utilizado como ligante cimentício o cimento Portland CPV-ARI, conforme as

especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018). Os materiais utilizados na fabricação das telhas estão em conformidade com os requisitos da norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009).

### **2.1.1 Caracterização Morfológica das Fibras**

A caracterização anatômica das fibras de vidro e das fibras de eucalipto foi realizada conforme as especificações da norma IAWA Committe (1989). Na mensuração das fibras utilizou-se o Software ImageJ, adotando uma base amostral de 30 repetições, onde foram obtidas informações relativas ao comprimento e ao diâmetro, possibilitando o cálculo da razão de esbeltez e a determinação da curva de distribuição normal.

### **2.2 Planejamento do Experimento**

De acordo com as recomendações quanto ao número mínimo de corpos de prova descrito na norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009) foi fixado: 6 corpos de prova para avaliação das propriedades físicas, 6 corpos de prova para determinação das propriedades mecânicas e outros 6 corpos de prova para realização do envelhecimento acelerado, totalizando 18 unidades por mistura estudada.

Houve a adição das fibras de vidro e eucalipto em diferentes composições, em que a dosagem executada sem fibras foi denominada de “dosagem referência”. Outros três traços foram compostos, denominados: TFV (dosagem com 0,2% de adição de fibras de vidro), TFE (dosagem com 0,2% de adição de fibras de eucalipto) e TFVE (dosagem com 0,1% de fibras de vidro e 0,1% de fibras de eucalipto).

Para definição das dosagens tomou-se como referência a composição da empresa de telhas Losango, produzindo telhas com 12,5% de vermiculita em substituição parcial da areia. A Tabela 2 apresenta a composição dos materiais que foram utilizados nas telhas referência e os tratamentos com fibras em diferentes proporções.



Tabela 2 - Composição dos materiais utilizados para produção das telhas.

Materiais	Composição (peso em kg)			
	Referência	TFV	TFE	TFVE
Cimento	45,000	45,000	45,000	45,000
Calcário	25,000	25,000	25,000	25,000
Areia	118,125	118,125	118,125	118,125
Vermiculita	4,125	4,125	4,125	4,125
Fibras de Vidro	-	0,385	-	0,192
Fibras de Eucalipto	-	-	0,385	0,192

Fonte: Do autor (2019).

### 2.3 Produção das Telhas de Concreto

A produção das telhas ocorreu na fábrica de telhas Losango, na cidade de Candeias-MG, onde foi proposto à empresa modificar sua composição, a fim de melhorar as propriedades do produto adquirindo um diferencial em relação aos seus concorrentes.

Para a produção dos corpos de prova, as frações foram pesadas em um suporte metálico de alimentação, tal suporte permite o controle automático do peso do material inserido na mistura. Os agregados e o cimento foram transportados pela esteira até o misturador, onde as fibras foram adicionadas, a mistura homogeneizada e a água dosada, tal dosagem foi realizada de acordo com as especificações da empresa produtora, em que foi adicionada água simultaneamente a mistura dos agregados, dos reforços e do cimento, até a umidade de aproximadamente 5,2%.

O produto homogeneizado foi despejado e transportado por outra longa esteira até a extrusora, que possui um sensor capaz de processar automaticamente a demanda do material para reabastecimento do compartimento, garantindo a padronização. O equipamento realizou processos simultâneos de compressão e extrusão, onde as telhas foram produzidas com velocidade constante de 25 telhas por minuto.

Após sair da extrusora o produto foi devidamente cortado, com auxílio de um sistema automático que determinou com precisão o comprimento das telhas, estas foram encaminhadas por uma esteira de saída com velocidade constante para evitar danos às telhas por impacto ou vibrações. O produto ainda com a forma acoplada em sua superfície inferior foi encaminhado para os racks, onde permaneceu para secagem e posterior desmoldagem, em seguida as telhas foram mantidas em câmara úmida por um período de 28 dias. A Figura 1 ilustra o processo de produção das telhas de concreto produzidas nesta pesquisa.

Figura 1 - Processo de produção das telhas de concreto.



Legenda: (A) Pesagem dos materiais na fonte de alimentação; (B) Dosagem; (C) Homogeneização da mistura; (D) Processo de extrusão; (E) Corte das telhas; (F) Encaminhamento para os racks.  
 Fonte: Do autor (2019).

#### 2.4 Dimensões e Geometria das Telhas Produzidas

As telhas fabricadas possuem forma essencialmente retangular e perfil ondulado, para todas as amostras foi empregado o perfil *long slim*. Tais telhas foram cortadas por um sistema automático que determinou com precisão o comprimento, durante o processo de extrusão houve ajuste na extrusora, uma vez à mistura das dosagens com adição das fibras apresentavam pouca trabalhabilidade e foi necessário o ajuste do equipamento para conformação do material no perfil, como consequência houve redução da espessura, da altura característica e da profundidade. A Tabela 3 descreve as dimensões das amostras produzidas no tratamento controle e a Tabela 4 demonstra as dimensões dos experimentos com adição das fibras.

Tabela 3 - Dimensões das telhas do tratamento controle.

<b>Dimensões</b>	<b>Medições (cm)</b>
Comprimento Longitudinal	49,60
Comprimento Transversal	38,00
Espessura	1,40
Altura Característica	6,70
Profundidade do Perfil	3,80

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4 - Dimensões das telhas dos experimentos com adição das fibras.

<b>Dimensões</b>	<b>Medições (cm)</b>
Comprimento Longitudinal	49,60
Comprimento Transversal	38,00
Espessura	1,20
Altura Característica	6,30
Profundidade do Perfil	3,60

Fonte: Do autor (2019).

O perfil empregado trata-se do modelo *long slim* e possibilitam a fabricação de telhas com dimensões superiores às convencionais. As telhas de concreto convencionais demandam em média de 10 un./m<sup>2</sup> (TÉGULA, 2005; ABREU et al., 2011). No entanto, as telhas produzidas com o perfil “*long slim*” necessitam apenas de 7 un./m<sup>2</sup>.

#### 2.4.1 Classificação das Telhas

Através da profundidade do perfil ( $d$ ) é possível determinar a classificação das telhas, sendo esta a distância vertical medida entre a crista da onda mais alta e o canal mais baixo. A Figura 2 ilustra a profundidade do perfil. A Tabela 5 apresenta as especificações para classificação das telhas.

Figura 2 - Profundidade do perfil ( $d$ ).

Fonte: NBR 13858-2 (ABNT, 2009).

Tabela 5 - Classe do perfil em função da profundidade da telha.

<b>Classe do perfil</b>	<b>Profundidade do perfil (d) mm</b>
A	$d \geq 50$
B	$40 \leq d < 50$
C	$30 \leq d < 40$
D	$20 \leq d < 30$
Plana	$d < 20$

Fonte: NBR 13858-2 (ABNT, 2009), tabela modificada.

As telhas produzidas nesta pesquisa são pertencentes à classe C do perfil, conforme demonstrado (Tabela 3 e Tabela 4) a profundidade utilizada no perfil foi de 38 mm para o tratamento controle e 36 mm para os experimentos com adição das fibras, tal medida é superior a 30 mm e inferior a 40 mm (Tabela 5).

## 2.5 Características Físicas e Mecânicas das Telhas de Concreto

Após desmoldagem e repouso, foram determinadas as propriedades físicas das amostras. Para caracterização do peso seco das amostras, da absorção de água e da porosidade aparente, houve determinação da massa seca, da massa úmida e da massa imersa das telhas.

Após 28 dias de cura foram determinadas as propriedades mecânicas dos corpos de prova. Previamente ao ensaio as telhas foram submersas em água e mantidas por 24h, posteriormente elas foram posicionadas no equipamento para determinação da carga de ruptura à flexão. As metodologias utilizadas para a realização destas análises estão expostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Análises físicas e metodologias que foram utilizadas na caracterização das telhas de concreto.

<b>Análise física</b>	<b>Metodologias</b>
Peso Seco das Amostras	NBR 13858-2 (ABNT, 2009)
Absorção de Água	NBR 13858-2 (ABNT, 2009)
Porosidade Aparente	ASTM C 948-81 (ASTM, 2001)
Carga de Ruptura à Flexão	NBR 13858-2 (ABNT, 2009)

Fonte: Do autor (2019).

## 2.6 Desempenho Térmico

Para determinação do desempenho térmico foi utilizado um equipamento que consiste na adaptação do método da coluna fracionada modificada. O ensaio foi realizado simulando a exposição das telhas à temperatura em torno de 50°C. O ciclo de ensaio para cada tratamento teve duração de 4 horas, os dados registrados durante este período foram enviadas ao computador para armazenamento e comparação. O ensaio fornece os valores da temperatura

na base do padrão (lâmpada incandescente), na superfície inferior e superior do material e também no meio externo.

Através do fluxo de calor constante, a condutividade térmica das telhas foi determinada, considerando as especificações descritas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

## **2.7 Durabilidade das Telhas de Concreto e Propriedades Microestruturais**

O envelhecimento acelerado por imersão e secagem foi utilizado no estudo para determinação da durabilidade das telhas, este tem como principal finalidade simular o envelhecimento sob a forma de intempéries, estimulando o produto de acordo com sua composição. As telhas foram submetidas a seis ciclos de molhagem e secagem, o ensaio ocorreu após um período de 28 dias de cura, onde cada ciclo de envelhecimento foi composto por imersão em água por 5 horas e posterior secagem em temperatura de  $71\pm 2^{\circ}\text{C}$  por período de 42h, de acordo com as descrições da NBR 13554 (ABNT, 2012).

Para avaliação das propriedades microestruturais, foram analisadas as superfícies de ruptura dos corpos de prova ensaiados no teste ruptura à flexão. As amostras foram observadas antes e após o envelhecimento acelerado, utilizando-se o Microscópio Estereoscópio com Epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon), com um aumento de 20x no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Estrutural do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

## **2.8 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto**

Este estudo utilizou-se da pesquisa quantitativa, com fontes de dados primários obtidos por meio da estratificação dos valores coletados com a empresa de telhas Losango e também através de pesquisas no mercado onde foram coletados os valores das matérias-primas introduzidas no experimento. A empresa baseia-se na produção sob encomenda, contudo há um estoque de venda para atender a demanda do consumidor no momento em que for solicitado.

A empresa Losango foi fundada em 2011, desde então realiza compras periódicas com seus fornecedores de matérias-primas do estado de Minas Gerais. No ano de 2018 a produção desta empresa foi de aproximadamente 800 mil telhas. Tal empresa tem como produto principal as telhas de cimento *long slim* na cor natural (cor do cimento), que representa 80% da produção.

A fim de melhorar as propriedades do produto adquirindo um diferencial para a empresa em relação aos concorrentes, foi proposta a alteração na composição das telhas.

Como alternativa a adição de fibras de vidro e eucalipto nas telhas produzidas com 12,5% de vermiculita.

### **2.8.1 Variáveis do Tratamento Controle**

De acordo com dados coletados com a empresa, a produção das telhas de cimento *long slim* é de 60.000 unidades por mês, com uma produção diária de aproximadamente 3.000 unidades, em que cada telha tem um peso nominal de 5,5 kg por peça, sendo que para produzir uma peça são necessários 3,62 kg de areia, 0,68 kg de calcário e 1,20 kg de cimento. Os preços do quilograma da areia, do calcário e do cimento são respectivamente R\$0,038, R\$0,037 e R\$0,30.

O prestador encontrado para o fornecimento da vermiculita foi à empresa Vermiculitas do Brasil, tal empresa tem sede em Belo Horizonte MG e o preço do seu produto varia de acordo com o tipo de embalagem. De acordo com as necessidades da empresa o valor do produto foi de R\$370,00 por m<sup>3</sup> (R\$1,0423 por kg), sendo que para produzir uma peça são necessários 0,11kg deste elemento.

### **3.8.2 Variáveis dos Tratamentos Modificados com Fibras**

No que se refere às fibras de vidro a empresa Fibertex oferece o produto especificado AR ANTI-CRACK HD no valor de R\$32 por kg, quanto às fibras de eucalipto o custo do produto acompanha as condições das empresas do setor florestal, para as empresas do sudeste do Brasil o custo deste material é de R\$0,1170 por kg (orçamento realizado em abril de 2019). O estudo comparou 0,2% de fibras de vidro, 0,2% de fibras de eucalipto e também 0,2% de ambas as fibras na composição das telhas produzidas com 12,5% de vermiculita, considerando tal produto houve a introdução de 0,011kg de fibras para obtenção de uma peça.

### **2.8.3 Caracterização da Viabilidade Econômica**

Os cálculos que possibilitaram a caracterização da viabilidade econômica foram efetuados conforme as descrições de Wernke (2015), em que as atribuições de custos variáveis aos itens fabricados podem ser efetuadas por meio de fichas técnicas, também conhecidas como “árvore dos produtos”, “estrutura física” e “lista de componentes”, assim sendo os dados foram analisados comparando a ficha técnica do produto controle com a ficha técnica dos demais tratamentos. Em que foram coletados o custo direto dos produtos utilizados na produção de telhas de concreto, tais valores estão relacionados à matéria-prima e ao volume da produção. Não foram considerados os salários e encargos, a depreciação de

equipamentos, o aluguel, a energia elétrica e os custos com telecomunicações, uma vez que estes não apresentam variação após a modificação da composição.

## 2.9 Análise Estatística

As características avaliadas foram submetidas à análise de variância, utilizando o programa de análise estatística Sisvar®, adotando o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os resultados foram avaliados por teste de média scott-knott, a 5% de significância.

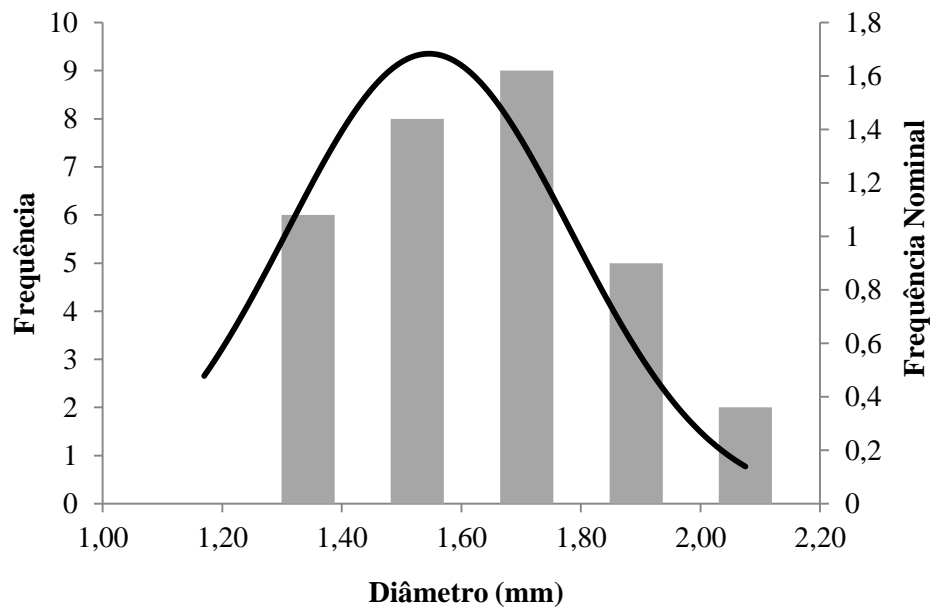
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Matérias-primas

#### 3.1.1 Caracterização Morfológica das Fibras

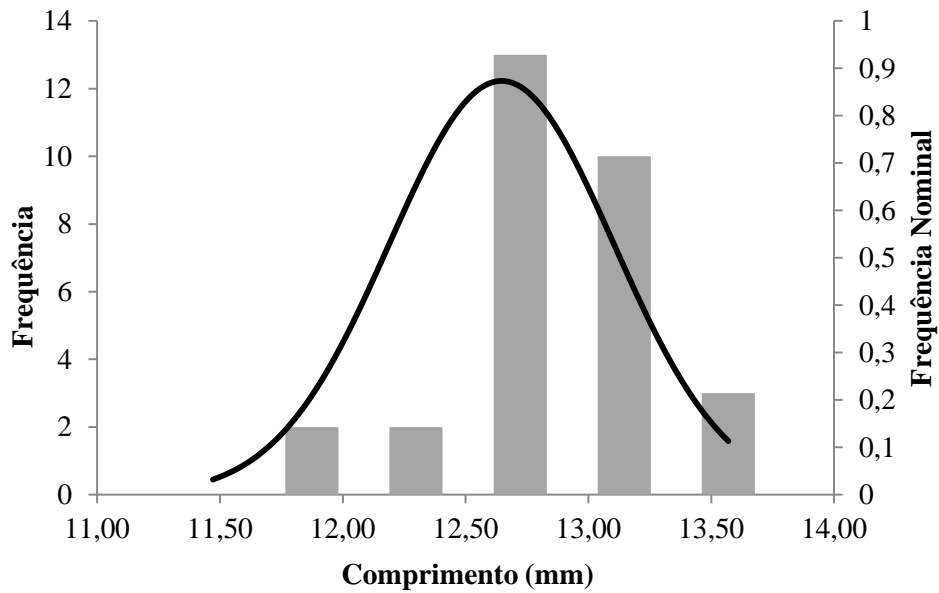
Nas Figuras 3 e 4 estão representados os valores encontrados para o diâmetro e o comprimento das fibras de vidro.

Figura 3 – Histograma: Diâmetro das fibras de vidro.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 - Histograma: Comprimento das fibras de vidro.

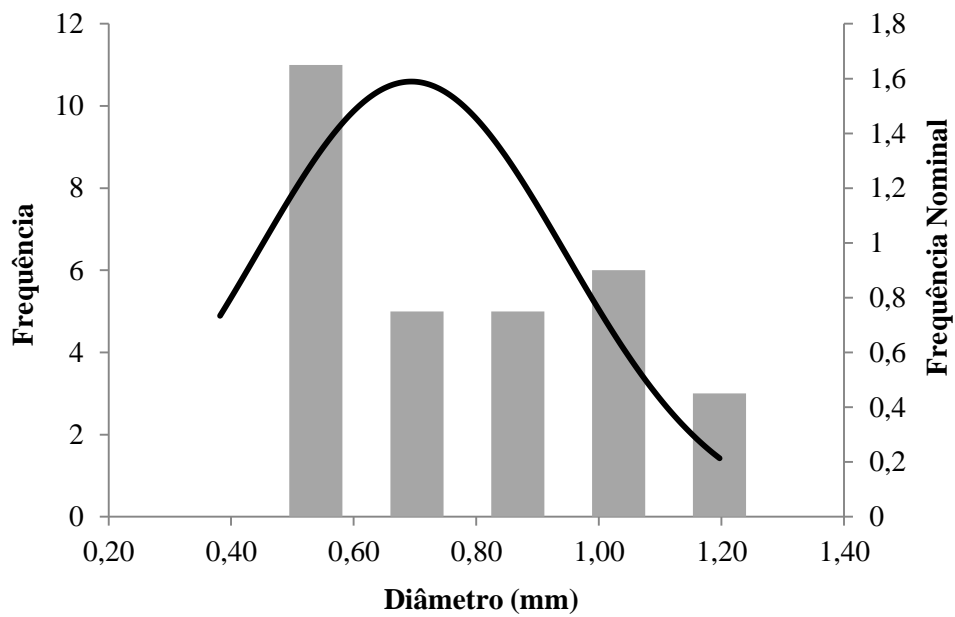


Fonte: Do autor (2019).

Observa-se pela curva de distribuição normal das Figuras 3 e 4 que a maior parte das fibras de vidro apresentou diâmetro próximo de 1,55 mm e comprimento de 12,64 mm.

Nas Figuras 5 e 6 estão representados os valores encontrados para o diâmetro e o comprimento das fibras de eucalipto.

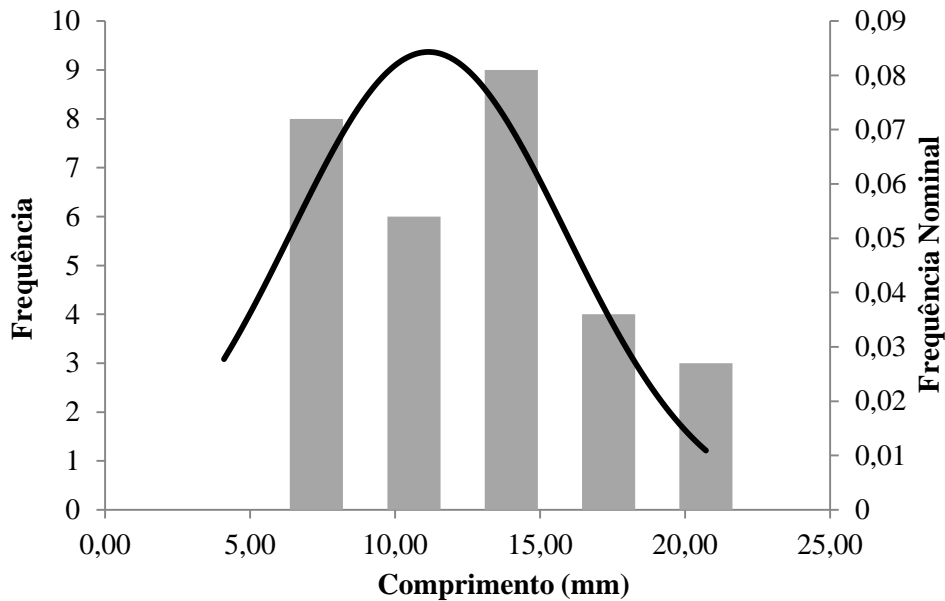
Figura 5 - Histograma: Diâmetro das fibras de eucalipto.



Fonte: Do autor (2019).



Figura 6 – Histograma: Comprimento das fibras de eucalipto.



Fonte: Do autor (2019).

Percebe-se pela curva de distribuição normal das Figuras 5 e 6 que a maior parte das fibras de eucalipto corresponde ao diâmetro próximo de 0,69 mm e comprimento de 11,15 mm.

Na Tabela 7 encontram-se os valores médios do diâmetro e comprimento das fibras utilizadas, bem como os valores de índice de esbeltez médio encontrados.

Tabela 7 - Valores médios do diâmetro, comprimento e índice de esbeltez.

	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Índice de Esbeltez
<b>Fibras de Vidro</b>	1,55 <sup>(0,05)</sup> A	12,64 <sup>(0,11)</sup> C	8,37 <sup>(1,33)</sup> D
<b>Fibras de Eucalipto</b>	0,69 <sup>(0,03)</sup> B	11,15 <sup>(0,47)</sup> C	16,98 <sup>(7,45)</sup> E

Legenda: Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Fonte: Do autor (2019).

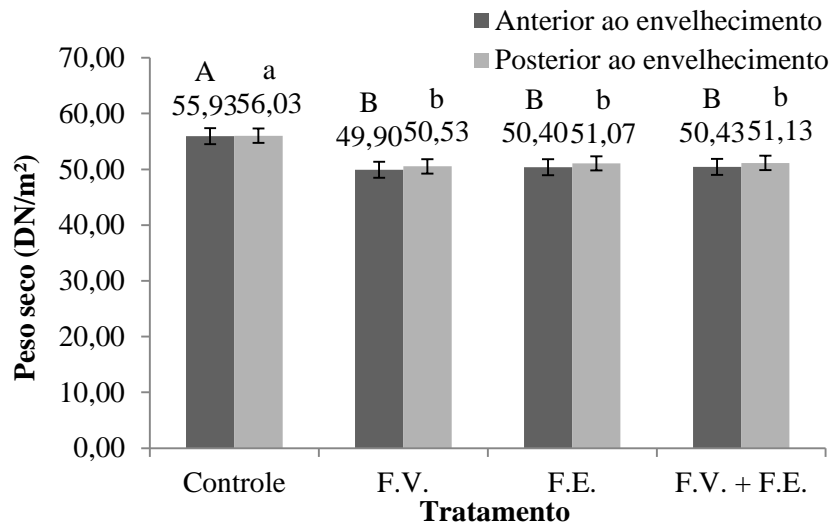
Percebe-se que não houve diferença significativa no que se refere ao comprimento das fibras, no entanto as fibras de vidro apresentaram maior diâmetro quando comparadas as fibras de eucalipto. Com relação ao índice de esbeltez, as fibras se diferenciaram entre si, sendo que as fibras de eucalipto correspondem ao maior índice, tais fibras apresentam menor diâmetro, resultando em uma menor área de contato entre a fibra e a matriz.

## 3.2 Características Físicas das Telhas de Concreto

### 3.1.2 Peso Seco, Absorção de Água e Porosidade Aparente

Os valores médios das propriedades relativas ao peso seco, absorção de água e porosidade aparente das amostras, antes e após envelhecimento acelerado, estão apresentados na Figura 7, Figura 8 e Figura 9 respectivamente.

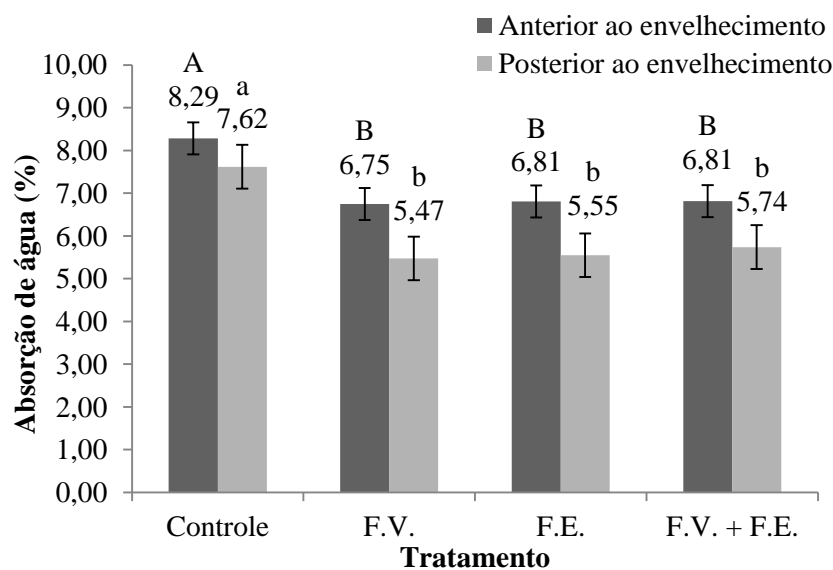
Figura 7 - Peso Seco das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: Médias seguidas de mesma letra maiúscula anterior ao envelhecimento, médias seguidas de mesma letra minúscula posterior ao envelhecimento, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Fonte: Do autor (2019).

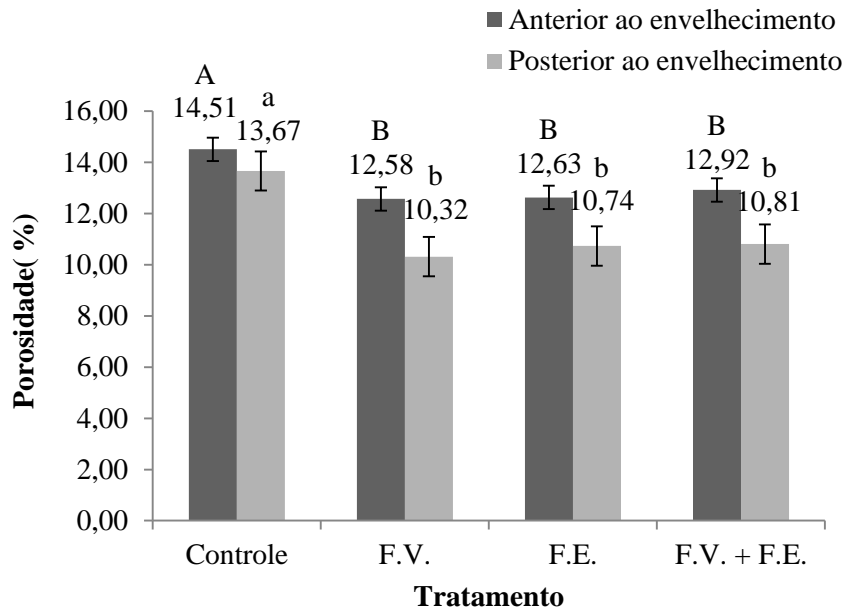
Figura 8 - Absorção de água das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: Médias seguidas de mesma letra maiúscula anterior ao envelhecimento, médias seguidas de mesma letra minúscula posterior ao envelhecimento, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 9 - Porosidade das amostras, antes e após envelhecimento acelerado.



Legenda: Médias seguidas de mesma letra maiúscula anterior ao envelhecimento, médias seguidas de mesma letra minúscula posterior ao envelhecimento, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

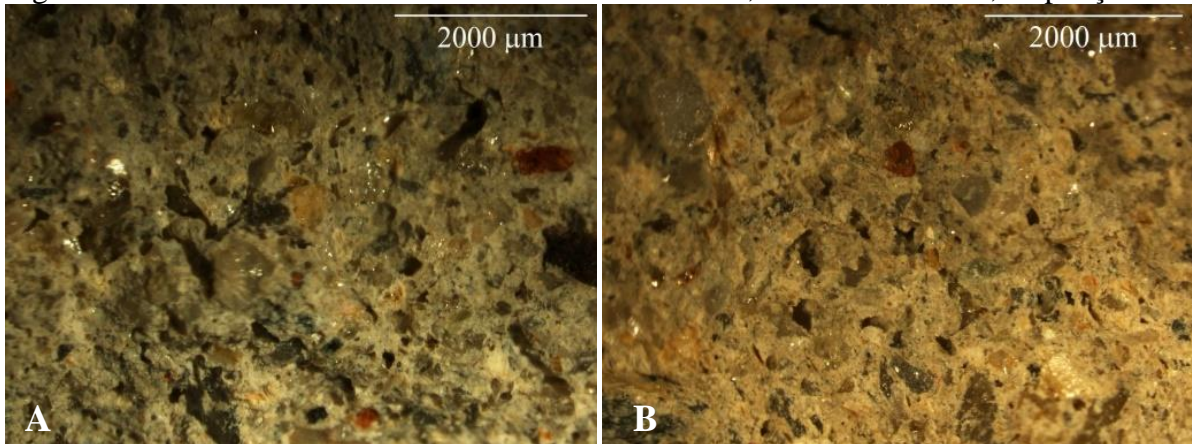
Fonte: Do autor (2019).

Comparando o tratamento controle com os experimentos com adição de fibras, observou-se que as fibras proporcionaram uma redução significativa no peso seco das amostras (Figura 7), apresentando comportamento similar antes e após o envelhecimento acelerado. Tal redução do peso seco das telhas esta associada à baixa densidade das fibras (MAGALHÃES; ALMEIDA, 2010). No entanto, não houve diferença significativa ao comparar as fibras de vidro com as fibras de eucalipto.

Foi encontrada uma correlação significativa para as propriedades físicas de absorção de água e porosidade. Observou-se que adição das fibras reduz a absorção de água e a porosidade das telhas (Figura 8 e Figura 9), o que pode ser resultado do ajuste do equipamento de extrusão durante o processo de produção das dosagens com adição das fibras, tal ajuste promoveu redução da espessura das telhas, resultando em maior compactação do material. Como consequência houve o preenchimento dos espaços vazios, limitando a infiltração da água no produto e gerando uma menor absorção.

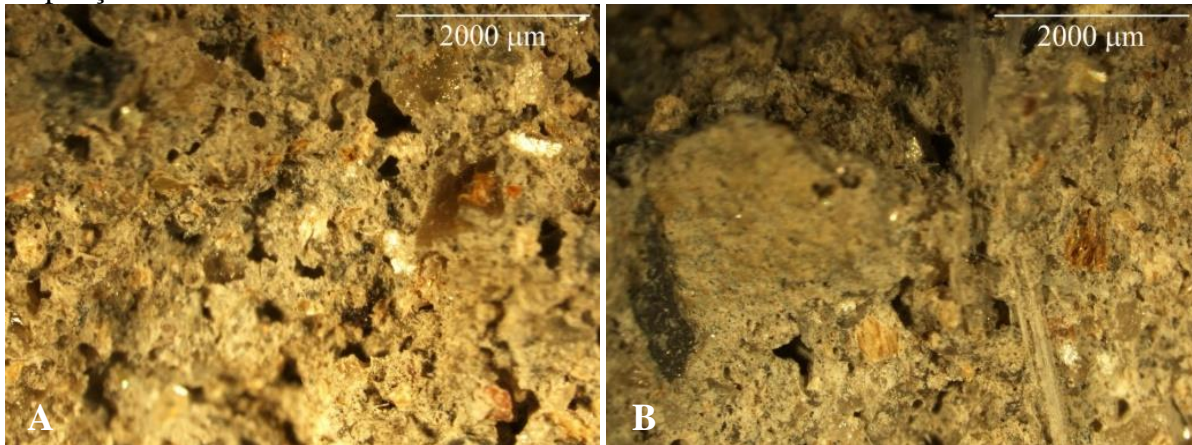
As Figuras 10, 11, 12 e 13 ilustram a microestrutura das amostras, antes e após o envelhecimento acelerado.

Figura 10 - Microestrutura do tratamento controle com 12,5% de vermiculita, ampliação 20x.



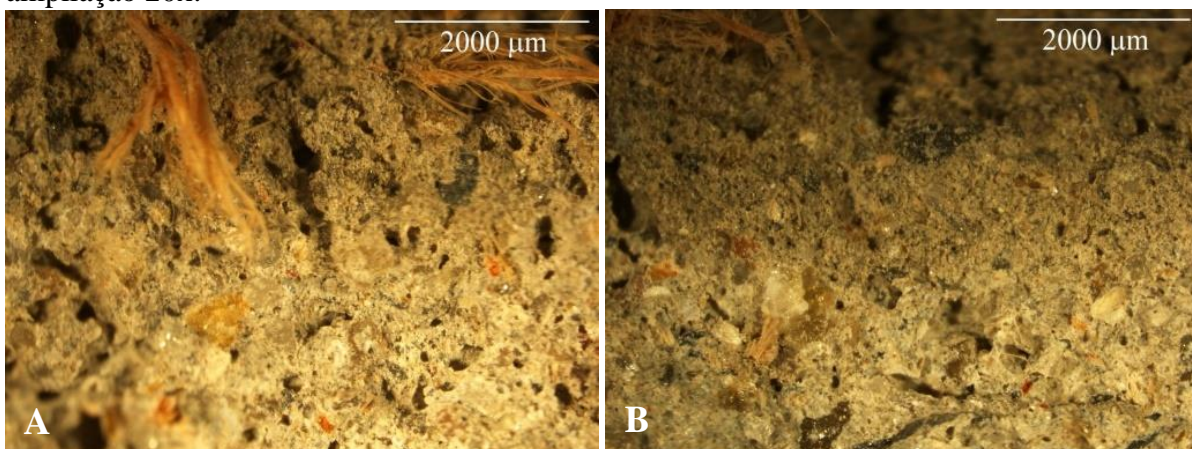
Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).

Figura 11 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de vidro, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).

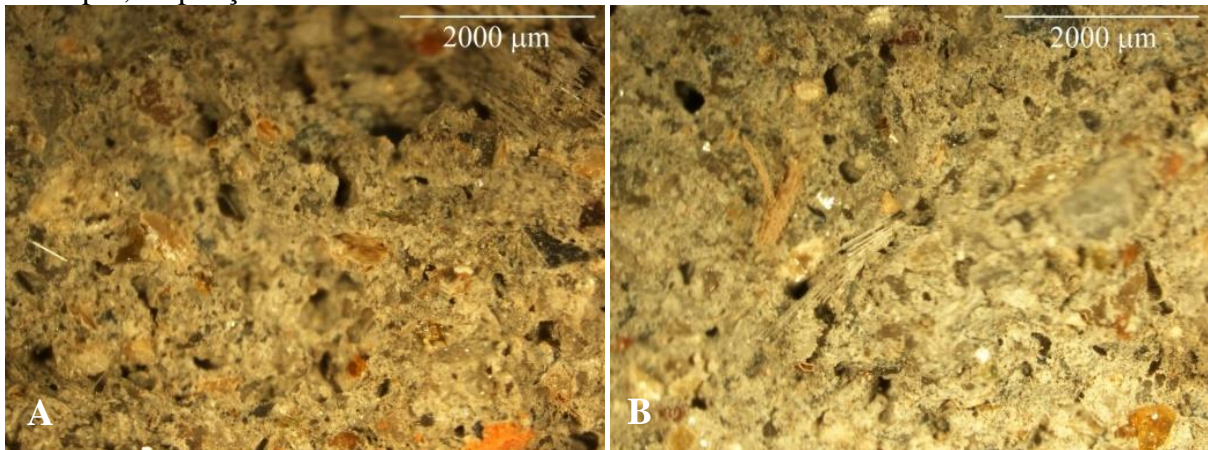
Figura 12 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de eucalipto, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).



Figura 13 - Microestrutura do tratamento com 12,5% de vermiculita e fibras de vidro e eucalipto, ampliação 20x.



Legenda: (a) Telhas aos 28 dias de cura; (b) Telhas após o envelhecido acelerado.  
Fonte: Do autor (2019).

Avaliando as imagens, percebe-se redução da porosidade após o envelhecimento acelerado. Correlacionando os valores (Figura 9), observou-se o favorecimento do produto, tanto no tratamento controle como nos experimentos com adição das fibras após o envelhecimento. Tal fato tem correlação com a cura do concreto. Bauer (2001) explica que a cura do concreto é um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura, a qual reage com cimento o hidratando. O Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização do clínquer, este na presença da água durante o processo de envelhecimento desenvolve características aglomerantes, reduzindo a porosidade e minimizando a absorção (ABCP, 2016).

Fonseca et al. (2016) afirma que uma maior absorção de água e porosidade aparente, pode ser um aspecto negativo, resultando em defeitos na microestrutura dos compósitos. Barbosa et al. (2013) analisaram absorção de água (AA) com a incorporação de lama abrasiva em telhas de concreto e obtiveram o valor de 4,5%. Damasceno et al. (2015) estudaram a composição de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes e relataram o valor referente à AA de 6,5%. As telhas comerciais da região de Campos dos Goytacazes-Rj (Fábrica Super Telha) e as Fabricas de Herval Oeste – SC possuem AA 7% de 6,2% respectivamente (VALCARENCHI; PIOVESAN, 2011).

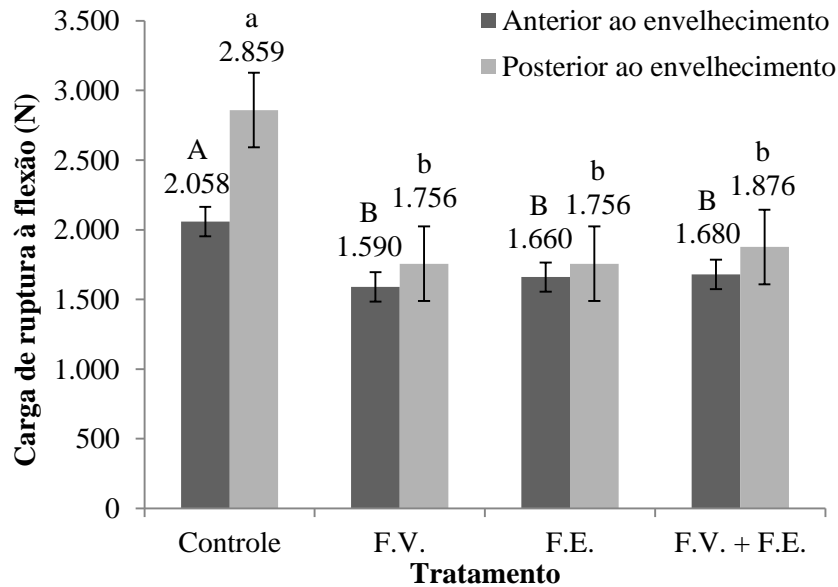
O valor de absorção de água para o tratamento referência e os experimentos com adição de fibras, estão de acordo com os critérios relatados pela norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009), tanto anterior como posterior ao envelhecimento acelerado. A especificação determina um valor máximo de 10% relativo à absorção de água em telhas de concreto.

### 3.2 Propriedades Mecânicas

#### 3.2.1 Carga de Ruptura à Flexão

Os valores médios da propriedade mecânica, relativa à carga de ruptura à flexão das amostras, antes e após envelhecimento acelerado, estão demonstrados na Figura 14.

Figura 14 - Carga de ruptura à flexão, antes e após envelhecimento acelerado.

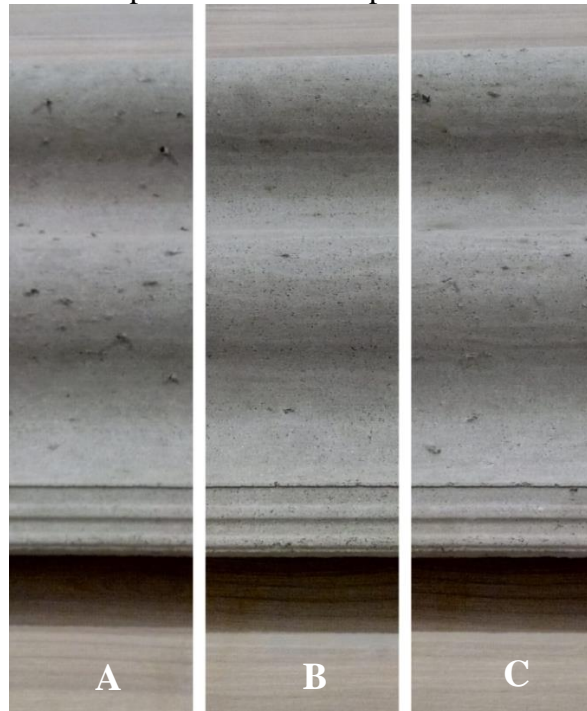


Legenda: Médias seguidas de mesma letra maiúscula anterior ao envelhecimento, médias seguidas de mesma letra minúscula posterior ao envelhecimento, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Comparando o tratamento controle com os tratamentos que obtiveram adição das fibras, percebe-se que estes materiais proporcionaram variação significativa da carga de ruptura à flexão (Figura 14). Nota-se que tanto a introdução das fibras de vidro, eucalipto como ambas as fibras resultaram em menor resistência do produto, este resultado esta relacionado ao processo de extrusão, onde não houve orientação das fibras e as mesmas apareceram na superfície das telhas sem orientação, limitando a trabalhabilidade da dosagem e gerando um maior número de defeitos capaz de reduzir a resistência. A Figura 15 demonstra a superfície das telhas produzidas com fibras de vidro e eucalipto.

Figura 15 - Superfície das telhas produzidas com fibras.



Legenda: (a) Telhas com adição de fibras de vidro; (b) Telhas com adição de fibras de eucalipto; (c) Telhas com adição de ambas as fibras.

Fonte: Do autor (2019).

Avaliando os valores antes e após o envelhecimento, observou-se que as amostras envelhecidas mostraram-se mais resistentes, através de uma matriz mais compacta e com menor porosidade. Tal beneficiamento pode ser explicado pelo favorecimento da cura do concreto, onde ocorreu a hidratação do aglomerante e a interação dos agregados durante o processo de envelhecimento, em que as reações químicas de hidratação dos elementos presentes na composição foram importantes para maior resistência mecânica e para a garantia da vida útil do produto (SAVASTANO JR; PIMENTEL, 2000).

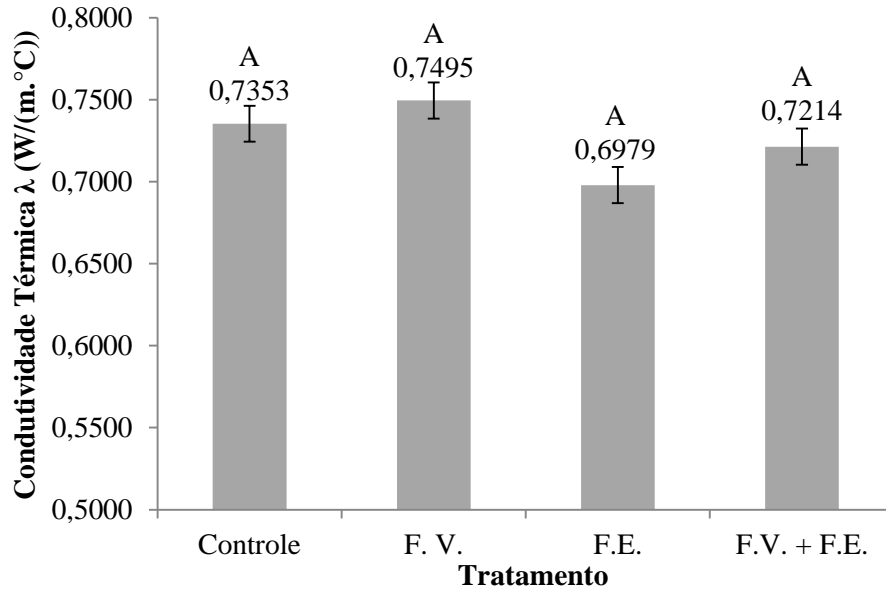
Diferentes pesquisas têm sido conduzidas no sentido de se avaliar a carga de ruptura de flexão em telhas de concreto. Barbosa et al. (2013) avaliaram a incorporação de lama abrasiva em telhas de concreto e obtiveram o valor de 3310N. Damasceno et al. (2015) estudaram a composição de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes e relataram valores entre 1420 e 1060N. As telhas comerciais da região de Campos dos Goytacazes-Rj (Fábrica Super Telha) e as Fabricas de Herval Oeste – SC apresentaram carga de ruptura à flexão de 3000N e 2929N respectivamente (VALCARENCHI; PIOVESAN, 2011).

A norma NBR 13858-2 (ABNT, 2009) especifica que a resistência não deve ser inferior a 2000N para Classe C, sendo assim apenas o tratamento controle esta de acordo com as especificações, tanto aos 28 dias de cura, como após envelhecimento acelerado.

### 3.3 Desempenho Térmico

Na Figura 16 estão apresentados os valores médios de condutividade térmica para cada um dos tratamentos avaliados. A Figura 17 ilustra a temperatura na superfície superior do equipamento, quando os tratamentos são submetidos à temperatura média de 50°C.

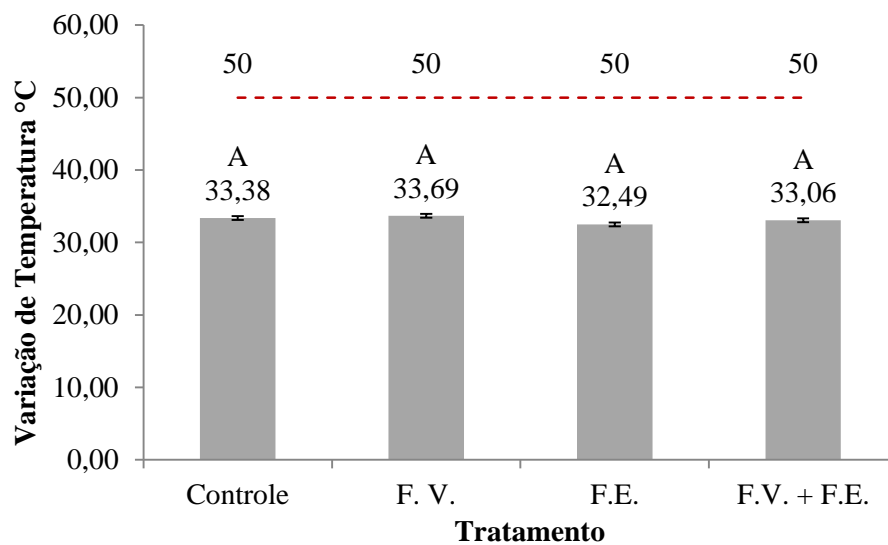
Figura 16 - Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) para os tratamentos analisados.



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 17 - Temperatura interna quando as telhas são submetidas à temperatura externa média de 50°C.



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Fonte: Do autor (2019).



Analisando os resultados é possível notar (Figura 16 e Figura 17) que a adição das fibras não promoveu variação significativa da condutividade térmica ou da temperatura entre os tratamentos. Em que as telhas de concreto submetidas à temperatura externa na ordem de 50°C demonstraram temperatura interna de aproximadamente 33,16°C.

### 3.4 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Modificação na Composição das Telhas de Concreto Produzidas com Vermiculita

De posse dos dados foram construídas fichas técnicas que proporcionam a percepção do custo variável do produto. A Tabela 8 demonstra a ficha técnica para as variáveis do tratamento controle. As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam a ficha técnica para os tratamentos com adição de fibras de vidro e eucalipto.

Tabela 8 - Ficha técnica para o tratamento controle.

Quantidade	Unidade	Descrição dos Componentes	Custo Unitário (R\$/kg)	Custo Total (R\$)
3,1700	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1205
0,6800	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,2000	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,1107	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,1154
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,6210
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 1.862,99
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 37.259,85

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,16kg.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 9 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita e 0,2% de fibras de vidro.

Quantidade	Unidade	Descrição dos Componentes	Custo Unitário (R\$/kg)	Custo Total (R\$)
3,1700	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1205
0,6800	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,2000	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,1107	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,1154
0,0110	kg	Fibras de Vidro	R\$ 32,0000	R\$ 0,3520
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,9730
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 2.918,99
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 58.379,85

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,16kg.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita e 0,2% de fibras de eucalipto.

<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
3,1700	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1205
0,6800	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,2000	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,1107	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,1154
0,0110	kg	Fibras de Eucalipto	R\$ 0,1170	R\$ 0,0013
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,6223
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 1.866,85
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 37.337,07

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,16kg.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 11 - Ficha técnica para o tratamento com 12,50% de vermiculita, 0,1% de fibras de vidro e 0,1% de fibras de eucalipto.

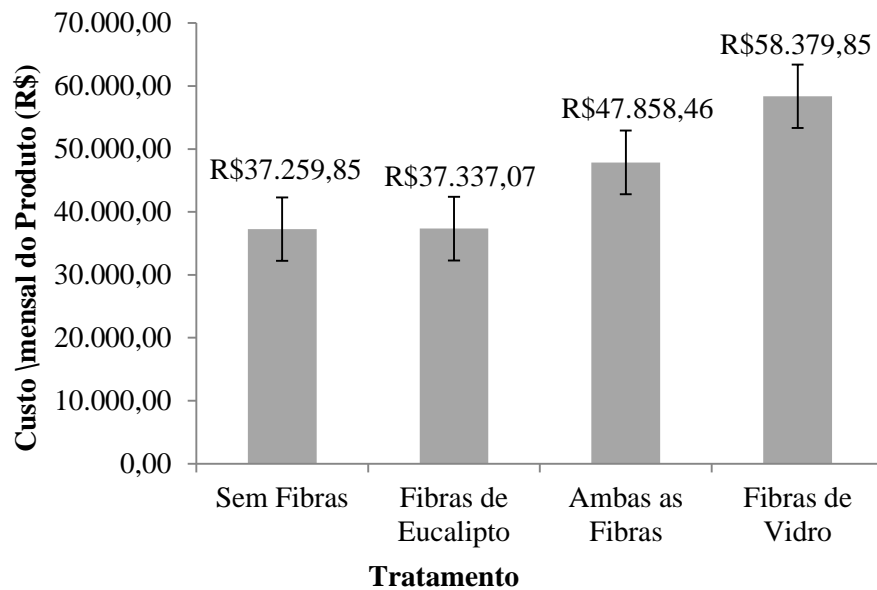
<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição dos Componentes</b>	<b>Custo Unitário (R\$/kg)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
3,1700	kg	Areia	R\$ 0,0380	R\$ 0,1205
0,6800	kg	Calcário	R\$ 0,0370	R\$ 0,0252
1,2000	kg	Cimento	R\$ 0,3000	R\$ 0,3600
0,1107	kg	Vermiculita	R\$ 1,0423	R\$ 0,1154
0,0055	kg	Fibras de Vidro	R\$ 32,00	R\$ 0,1760
0,0055	kg	Fibras de Eucalipto	R\$ 0,1170	R\$ 0,0006
Total de matérias-primas para composição de uma telha:				R\$ 0,7976
Total de matérias-primas referente à produção diária de 3.000 un.				R\$ 2.392,92
Total de matérias-primas referente à produção mensal de 60.000 un.				R\$ 47.858,46

Legenda: \* Peso nominal total dos elementos utilizados para compor o produto 5,16kg.

Fonte: Do autor (2019).

Ao comparar a ficha técnica dos tratamentos, verifica-se que houve variação do ponto de vista econômico-financeiro entre os tratamentos. Nota-se pequena alteração nos valores ao se introduzir as fibras de eucalipto e elevada alteração ao se introduzir as fibras de vidro, no que se refere à introdução de ambas as fibras o valor obtido foi intermediário, porém considerável quando comparado ao valor controle deste cenário. Ainda, percebe-se que o peso nominal total dos elementos se manteve estável em todos os tratamentos. A Figura 18 ilustra o preço das matérias-primas empregadas no produto, referente à produção mensal de 60.000 unidades para diferentes proporções de fibras introduzidas com 12,5% de vermiculita.

Figura 18 - Gastos mensais do produto com matérias-primas para o tratamento controle e experimentos com introdução de vermiculita.



Fonte: Do autor (2019).

A empresa estudada possui uma demanda relevante de seu produto, perante a Figura 18, percebe-se elevada variação no custo das telhas de concreto para os tratamentos em que foram introduzidas fibras de vidro e ambas as fibras, porém o experimento com fibras de eucalipto não possui variação excessiva quando comparado ao tratamento sem fibras.

#### 4. CONCLUSÃO

- a) Analisando as propriedades físicas, a adição das fibras promoveu redução do peso seco, da absorção de água e da porosidade. No que se refere às propriedades mecânicas, verificou-se redução da carga de ruptura à flexão com a inclusão das fibras nas dosagens. A redução na espessura das amostras promoveu maior compactação, favorecendo as propriedades físicas, porém fragilizando as propriedades mecânicas.
- b) Comparando os valores a adição das fibras promove variação significativa, em que as fibras de vidro, eucalipto e ambas as fibras apresentaram desempenho similar. Apenas o tratamento controle esta de acordo com as especificações da norma NBR 13858-2 (2009), tanto aos 28 dias de cura, como após envelhecimento acelerado.
- c) A adição das fibras não promoveu variação significativa na condutividade térmica ou na temperatura dos tratamentos.
- d) A inclusão das fibras de eucalipto resultou em aumento do custo com matérias-primas em 0,21%, as fibras de vidro elevaram o valor em 56,68% e ambas às fibras provocaram o acréscimo de 28,44%.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às entidades de fomento CNPq, FAPEMIG e CAPES; à Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e a telhas Losango.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. et al . Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.
- ALEKSENDRIĆ, D.; CARLONE, P. **Soft Computing in the Design and Manufacturing of Composite Materials**. 1. ed. [S.l.]: Woodhead Publishing in Materials, p. 1-5.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 948-81**: Test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete. West Conshohocken, 2001. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP**: Boletim técnico 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2016. 28 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554**: Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13858-2**: Telha de concreto – Parte 2: Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 32 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 34 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, Brasil, 2018. 12 p.
- ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. **IAWA**: List of microscopic features for wood identification. IAWA Bulletin, Leiden, 10(3), 1989.
- BARBOSA, J. F; COSTA V. S; LIMA, M, R, P. Avaliação da utilização de lama abrasiva do beneficiamento de mármore e granito na confecção de telhas de concreto. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Vitória, v 8, 1. ed. p. 30-35, 2013.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 471 p.
- CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.

CHANDRAMOHAN, D.; MARIMUTHU. A review on natural fibers. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 11, p. 194-206, 2011.

DAMASCENO, F. A. et al. Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 5, 2015.

FIBERTEX®. Fibra de Vidro AR 13 (Álcali Resistente). **Ficha do Produto Fibertex Tecendo Tecnologia**. Loveira, 2012, p 1.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**: Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/160. São Paulo, 2000, p 71.

FONSECA, C. S. et al. Micro/nanofibrila celulósicas de Eucalyptus fibrocimentos extrudados. **Revistas Cerne**, Lavras, v. 22, n.1, p. 59-68, 2016.

GHAVAMI, K.; HOMBEEK, R. V. Application of coconut husk as an insulating material. In: SYMPOSIUM ON BUILDING CLIMATOLOGY, 1982, Moscow. **Anais...** Moscow: [s.n.], 1982, p. 1-10.

MAGALHÃES, A. C. T. V.; ALMEIDA, J. G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 139-151, 2010.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos**: fundamentos e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2011, p. 15-32.

MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187-201, 2016.

PEREIRA, J.C.D. et al. **Características da Madeira de Algumas Espécies de Eucalipto Plantadas no Brasil**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, p. 10-51.

RAO, K. M. M.; RAO, K. M. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. **Composite Structures**, [S.l.], v. 77, n. 3, p. 288-295, 2007.

SANJAY, M. R. et al. Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. **Natural Resources**, Belagavi, v. 7, n. 3, p. 108-114, 2016.

SAVASTANO JR., H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.

SHENOI, R. A., WELLCOME, J. F. **Composite Materials in Marine Structures**: fundamental aspects. 1. ed. New York: Cambridge University Press, 1993, p. 38-65,

SILVA, J. M.; RODRIGUES, D. G.; DIAS, F. M. Resistência à compressão de concretos de baixa resistência manufaturado com a fibra de sisal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2007, Salvador. **Anais...** Salvador: [s.n.], 2007, 51 p.

TÉGULA. **Telhas de Concreto**: Guia de especificações. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.tegula.com.br/site/onde-encontrar/>. Acesso em: 25 abr. 2018.

VALCARENGHI, C; PIOVESAN, A. Z. Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval d'Oeste. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 19-30, 2011.

WERNKE, R. **Análise de Custos e Preços de Venda**: ênfase em aplicações e casos nacionais. 2. ed. São Paulo: Saraiva Educação, v. 1, 2015, 234 p.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **WBCSD**: The cement sustainability initiative. Cement Industry and CO2 Performance - Getting the Numbers Right, 2009.