



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO COM DIFERENTES TEORES DE FILITO**

**ANDREY LUCAS MANARIN PACO**

Foz do Iguaçu  
2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO  
(ILATIT)**

**ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO COM DIFERENTES TEORES DE FILITO**

**ANDREY LUCAS MANARIN PACO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à aprovação do componente curricular de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Coorientador: MSc. Eduardo Rigo

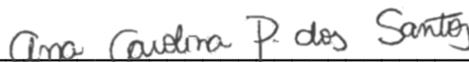
Foz do Iguaçu  
2021

ANDREY LUCAS MANARIN PACO

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM DIFERENTES TEORES DE FILITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito à aprovação do componente curricular de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia Civil de Infraestrutura.

**BANCA EXAMINADORA**



\_\_\_\_\_  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Parapinski dos Santos  
UNILA



\_\_\_\_\_  
Co-Orientador: MSc. Eduardo Rigo  
UNILA



\_\_\_\_\_  
Prof. Dra Edna Possan  
Unila



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr Cesar Winter de Melo  
Unila

Foz do Iguaçu, 04 de Junho de 2021.

## TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Andrey Lucas Manarin Paco

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

Tipo de Documento	
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input checked="" type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/> _____

Título do trabalho acadêmico: **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM DIFERENTES TEORES DE FILITO**

Nome do orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Data da Defesa: 04/06/2021

### Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

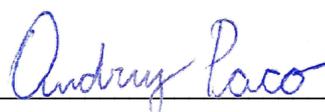
a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 04 de Junho de 2021.



Assinatura do Responsável

Dedico este trabalho aos que me são mais importantes, minha família. Sem eles nada seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Cássia, meus avós Maria e Carlos e meus tios Odirlei e Alessandra por toda a ajuda, incentivo e apoio nesta caminhada.

Aos professores da banca pelas orientações e contribuições.

À minha orientadora Ana Carolina, pela oportunidade, ensinamentos e orientações.

A meu coorientador Eduardo Rigo, pelo apoio e contribuição na realização desse trabalho.

À professora Giovanna Gava e a UNIOESTE-Cascavel pelo empréstimo de equipamentos para realização da pesquisa.

À professora Edna Possan pelo auxílio nos ensaios de laboratório.

Aos colegas da universidade, em especial Thandara Luana por todo apoio e por sempre estar ao meu lado, e Gabriel Pedry pela amizade e auxílio nos ensaios de laboratório.

Aos técnicos do laboratório LADEMA da UNILA, pela ajuda nos ensaios de laboratório.

À ITAIPU BINACIONAL e ao Instituto Federal do Paraná (IFPR) pela colaboração para a realização dos ensaios da pesquisa.

A todos, o meu muito obrigado.

*“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um  
homem de sucesso.”* **Albert Einstein**

PACO, Andrey Lucas Manarin. **Avaliação das Propriedades Físico-Mecânicas de Argamassas Produzidas com Filito em Foz do Iguaçu.** 2021. 75pp. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

## RESUMO

O ciclo de produção da cal é um conhecido problema ambiental devido à extração do calcário e processo de calcinação. Com vistas à sustentabilidade, busca-se implementar novos materiais menos emissivos, de modo a substituir totalmente ou parcialmente a utilização de cal em argamassas, visando reduzir sua produção e seus impactos. O filito, material oriundo da moagem de rochas sedimentares e de beneficiamento menos emissivo que a cal, apresenta-se como um material alternativo de menor impacto ambiental e já existente no mercado, porém com poucos estudos sobre desempenho em argamassas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da substituição da cal pelo filito em argamassas de revestimento. Logo, foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas de traços de argamassas mistas produzidas com filito, de modo a comparar com as propriedades físico-mecânicas de argamassas mistas com cal e blenda. Na definição de traços com filito, foram propostas frações reduzidas de 25% 50% 75% além de fração total de 100% em substituição a fração de cal. Para as blendas, adotou-se uma proporção de 25% de filito e 75% de cal. Para determinação das propriedades físico-mecânicas, os traços foram ensaiados conforme requisitos de classificação de argamassas da NBR 13281 (ABNT, 2005), em função do índice de consistência, retenção de água e densidade de massa aparente no estado fresco, resistência à tração na flexão e compressão em corpos de prova prismáticos, densidade de massa aparente, resistência potencial de aderência à tração e absorção por capilaridade no estado endurecido. Como resultado, verificou-se que a utilização do filito em argamassas é viável, tanto em substituição total quanto parcial da cal, ocorrendo melhora nas propriedades físico-mecânicas e desempenho. Com relação a blenda, ela se apresenta como uma ótima alternativa de uso, conservando a trabalhabilidade e capacidade de aderência conferida pela cal juntamente com a melhora nas propriedades físico-mecânicas conferidas pela adição parcial de filito na mistura. Logo, a utilização do filito corrobora para que haja a produção de argamassas mantendo-se um nível aceitável de desempenho do sistema construtivo.

**Palavras-chave:** Argamassa; filito; desempenho; físico-mecânicas.

PACO, Andrey Lucas Manarin. **Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Mortars Produced with Phyllite in Foz do Iguaçu**. 2021. 75pp. Final Paper (Civil Infrastructure Engineering) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

## **ABSTRACT**

The lime production cycle is a recognized environmental problem related to limestone extraction and calcination process. Aiming at sustainability, new less emissive materials are being searched for, in order to replace totally or partially the use of lime in mortars, aiming at the reduction of its production and impacts. The phyllite, a material originated from the grinding of sedimentary rocks and less emissive than lime, presents itself as an alternative material of lower environmental impact that is already available in the market, but with few studies on its performance in mortars. This study aims to evaluate the effects of substitution of lime by phyllite in mortars. Therefore, the physical-mechanical properties of mortar produced with phyllite were evaluated in order to compare them with the physical-mechanical properties of mortars with lime and blends. For the phyllite mixtures, reduced fractions of 25%, 50%, 75%, and a total fraction of 100% were proposed to replace the lime fraction. For the blends, a proportion of 25% phyllite and 75% lime was adopted. To evaluate the physical-mechanical properties, the mixtures were tested according to the requirements for mortar classification of NBR 13281 (ABNT, 2005), in terms of consistency index, water retention and bulk density in the fresh state, flexural tensile strength and compression in prismatic specimens, bulk density, potential tensile bond strength and capillary absorption in the hardened state. As a result, it was verified that the use of phyllite in mortars is viable, both in total and partial substitution of lime, with an improvement in physical-mechanical properties and performance. Concerning the blend, it presents itself as an excellent alternative of use, preserving the workability and adherence capacity conferred by lime along with the improvement in physical-mechanical properties conferred by the partial addition of phyllite in the mixture. As a result, the use of phyllite supports the production of mortars maintaining an acceptable level of performance of the building system

**Keywords:** Mortar; phyllite ; performance ; physical-mechanical.

PACO, Andrey Lucas Manarin. **Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los morteros producidos con Filita en Foz do Iguaçu**. 2021. 75pp. Trabajo Final (Ingeniería Civil de Infraestructura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

## RESUMEN

El ciclo de producción de la cal es un problema ambiental bien conocido debido al proceso de extracción y calcinación de la piedra caliza. Con vistas a la sostenibilidad, se buscan nuevos materiales menos emisivos para sustituir total o parcialmente el uso de la cal en los morteros, buscando reducir su producción y sus impactos. La filita, material procedente de la molienda de rocas sedimentarias y de procesamiento menos emisivo que la cal, se presenta como un material alternativo de menor impacto ambiental y ya existente en el mercado, pero con pocos estudios sobre el rendimiento en morteros. Así, el presente estudio pretende evaluar los efectos de la sustitución de la cal por la filita en los morteros de revestimiento. Por lo tanto, se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de las mezclas de morteros producidas con filita para compararlas con las propiedades físico-mecánicas de los morteros con cal y blendas. En la definición de las mixturas con filita, se propusieron fracciones reducidas, 25%, 50% y 75%, así como una fracción total de 100% en sustitución a la fracción de cal. Para las blendas, se ha adoptado una proporción de 25% de filita y 75% de cal. Para determinar las propiedades físico-mecánicas, se ensayaron los morteros según los requisitos de clasificación de morteros de la NBR 13281 (ABNT, 2005), en función del índice de consistencia, retención de agua y densidad de masa aparente en estado fresco, la resistencia a la tracción en flexión y compresión en cuerpos de prueba prismáticos, la densidad de masa aparente, la resistencia potencial de adherencia a la tracción y absorción por capilaridad en estado endurecido. Como resultado, se verificó que la utilización de la filita en morteros es viable, tanto en sustitución total como parcial de la cal, observándose una mejora en las propiedades físico-mecánicas y en el desempeño. En relación a la blenda, se presenta como una excelente alternativa de uso, conservando la trabajabilidad y capacidad de adherencia conferida por la cal junto con la mejora en las propiedades físico-mecánicas conferida por la adición parcial de filita en la mixtura. Por lo tanto, el uso de filita permite la producción de morteros que mantienen un nivel aceptable de desempeño del sistema constructivo.

**Palabras llave :** Mortero; filita ; desempeño ; físico-mecánico

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 CAL.....	18
2.1.1 Impactos Ambientais.....	18
2.2 FILITO.....	20
2.2.1 Aplicações.....	21
2.2.2 Produção e Impactos Ambientais.....	23
2.3 CARACTERIZAÇÃO DO FILITO .....	24
2.3.1 Caracterização Física .....	24
2.3.3 Caracterização Química .....	25
2.3.2 Caracterização Mineralógica .....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	27
3.2 TRAÇOS/DOSAGENS EMPREGADAS .....	28
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	28
3.3.1 Areia natural.....	30
3.3.2 Filito .....	32
3.3.3 Cimento .....	33
3.3.4 Cal .....	34
3.3.5 Análise termogravimétrica (TG/DTG) dos materiais.....	35
3.4 TEOR ÓTIMO DE ADITIVO .....	36
3.5 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS NO ESTADO FRESCO .....	37
3.5.1 Preparo da Mistura e Índice de Consistência (NBR 13276:2005).....	38
3.5.2 Retenção de Água .....	39
3.5.3 Densidade de Massa Aparente e do Teor de Ar Incorporado.....	39
3.6 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS NO ESTADO ENDURECIDO .....	40
3.6.1 Densidade de Massa Aparente .....	42
3.6.2 Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade.....	42
3.6.3 Resistência à Tração na Flexão e Compressão .....	43
3.6.4 Resistência Potencial de Aderência à Tração .....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1 ESTADO FRESCO .....	48

4.1.1 Índice de Consistência e Relação Água/Cimento .....	48
4.1.2 Densidade de Massa Aparente e Teor de Ar Incorporado.....	50
4.1.3 Retenção de Água .....	52
4.2 ESTADO ENDURECIDO .....	54
4.2.1 Absorção de Água e Coeficiente de Capilaridade.....	54
4.2.2 Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido.....	60
4.2.3 Resistência à Tração na Flexão e Compressão .....	60
4.2.4 Resistência Potencial de Aderência à Tração .....	66
4.3 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM NBR 13281 (2005).....	71
4.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS POR M <sup>3</sup> .....	72
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil gera muitos resíduos que são despejados ao meio ambiente, desde a extração e processamento de minérios e matéria prima até os resíduos gerados após a finalização de obras e empreitadas. Tais impactos ambientais gerados por estes tipos de resíduos depositados no meio ambiente poderiam ser reduzidos, caso novas tecnologias sustentáveis e com melhor rendimento fossem implementadas, além de reaproveitamento dos resíduos gerados na produção e beneficiamento de materiais (PESSOA *et.al.*, 2020). Porém, enquanto tal implementação não ocorre, um caminho viável para amenizar o problema é a procura por materiais ecológicos de forma a substituir os já existentes e consolidados na construção civil.

A substituição de materiais na construção civil já ocorre de certos ramos de produção, como por exemplo o caso a ser estudado neste trabalho, a utilização do filito em argamassas em substituição total a cal ou mesmo sua utilização conjunta com cal em argamassas, de forma a reduzir seu volume de utilização, essa mistura de cal e filito é chamada comercialmente de blenda (ROMANO *et.al.*,2014). Porém, a substituição da cal por outros materiais ocorre de forma lenta e geralmente empírica nos canteiros de obra, geralmente utilizando-se de traços idênticos aos de argamassas de cal ou apenas traços de recomendação de fabricante, o que não garante a qualidade da argamassa com a mudança de material.

Em relação ao filito, trata-se de um mineral muito abundante na crosta terrestre, que apresenta um baixo custo agregado (MELO; THAUMATURGO, 2012), sendo muito utilizado na indústria cerâmica, porém, por ser um material barato e de fácil beneficiamento apresenta variados usos, inclusive em argamassas de revestimento (MORETO, 2006). No que diz respeito a sua aplicação em argamassas de revestimento, o filito trata-se de um material que não apresenta características ligantes, diferente das cales de construção, ficando a consolidação e o endurecimento de argamassas mistas somente a cargo da ação do cimento (QUARCIONI; CINCOTTO, 2008).

Em relação a produção de cal, as indústrias caieiras são grandes geradoras de resíduos e poluentes, apesar de não terem parques industriais de tamanho volume quanto à indústria cimenteira e tendo ocorrido a diminuição do seu uso em decorrência da incorporação do cimento em argamassas, ainda sim, a indústria caieira está entre

uma das mais poluidoras do meio ambiente, desde a fase de extração do calcário até a fase da cal beneficiada, e mesmo com a relativa diminuição de volume de uso atualmente, a previsão é de um aumento de produção em cada ano até 2030 (BRASIL, 2009).

Diante disso, torna-se viável um estudo da utilização de outros materiais para uso em argamassas, em especial o filito, material já comercializado e facilmente acessível no mercado da construção civil. O filito é um produto ecológico, de fácil extração e utilizado em sua forma natural, não necessita passar pelos processos de queima como ocorre na produção da cal, e com isso a emissão de gases de efeito estufa é reduzido.

### 1.1 OBJETIVOS

O trabalho em questão tem como objetivo geral avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas produzidas com diferentes teores de filito. de forma a caracterizar e observar o comportamento físico de traços com diferentes teores de filito, assim como verificar a possibilidade de seu uso em obras, tanto em questões de desempenho quanto econômicas, em função da utilização de filito em substituição a cal. Com isso em mente, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar e classificar os traços de argamassa de acordo com as diretrizes estabelecidas pela NBR 13281 (ABNT, 2005), referente à requisitos de argamassas de assentamento e revestimento.
- Comparar os traços quanto às suas propriedades físico-mecânicas.
- Avaliar o rendimento e efeitos da incorporação do filito em argamassas de assentamento e revestimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CAL

O termo cal é utilizado para designar um produto com maior predominância de óxido de cálcio (CaO) ou óxido de cálcio juntamente com óxido de magnésio (CaOMgO), resultantes de calcários, calcários magnesianos e dolomíticos, e dependendo da quantidade de óxido de cálcio presente na cal, ela pode ser classificada como: cal cálcica, com teor de óxido de cálcio (CaO) >90% do peso total; cal magnésiana com teores intermediários de óxido de cálcio, entre 65 e 90% do peso total; e cal dolomítica, com óxido de cálcio entre 58 e 65% do peso total (AMERICANO, PACIORNIK, SANTOS, 2006).

Para a obtenção da cal, primeiramente faz-se a extração do calcário da jazida, e então, este é transportado para fábrica onde é moído e peneirado para então ser calcinado em fornos industriais, algo que pode demorar entre 6 e 36 horas. O resultado da calcinação do calcário é a cal viva (ou virgem), que sai em grãos ou em pó (REIS *et.al*, 2018). A temperatura de calcinação, segundo a norma brasileira, situa-se no intervalo entre 900°C a 1200°C. Porém, é possível ocorrer a calcinação de rochas calcárias aquecidas em fornos a partir de 725°C (BRASIL, 2009).

#### 2.1.1 Impactos Ambientais

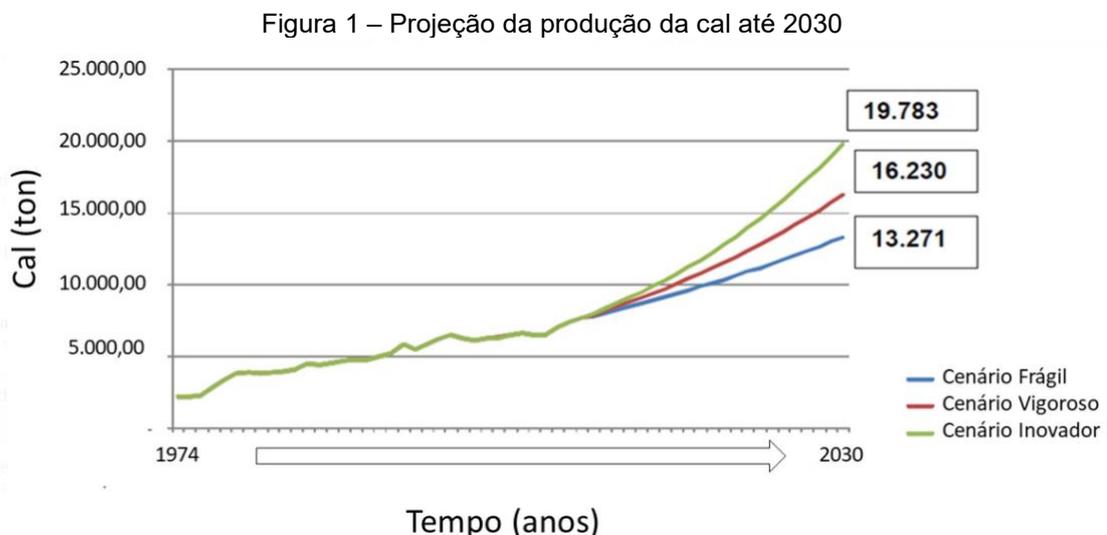
Os impactos ambientais da produção da cal ou de qualquer meio de exploração de bens minerais estão, em geral, associados às diversas fases da exploração, como a limpeza do terreno e modificação da paisagem local pela retirada de vegetação, escavações, movimentos de terra. Além disso, o uso de explosivos para escavações e desmonte da rocha causa ruídos, vibrações de terreno, ocorrência de gases e acúmulo de fumaça. Tais consequências afetam os meios básicos como a água, solo, ar e conseqüentemente a população local próxima ao canteiro de exploração (BACCI, LANDIM, ESTON, 2016). O pó formado em todas as fases de produção (extração, transporte, descarregamento, moagem, etc) causa poluição atmosférica com conseqüentes problemas respiratórios (BRASIL, 2009), impacto observado na população próxima a uma indústria caieira em estudo realizado por Reis *et.al* (2018).

Durante a sua produção, o principal impacto ambiental ocorre no processo de calcinação onde se tem a grande emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Durante o

processo de produção da cal, segundo Brasil (2009), libera-se 1.131 kg  $CO_2$ /ton de cal virgem na atmosfera. Adicionalmente, as pequenas indústrias caieiras utilizam pequenos fornos, geralmente sem registros legais, e utilizam a lenha como combustível, oriunda de desmatamentos das redondezas. Mesmo com avanço em ciência e tecnologia ao longo dos anos, a indústria da cal continua gerando grandes impactos, e de acordo com Reis *et.al* (2018), as altas emissões de ( $CO_2$ ) ocasionadas pela indústria se deve ao fato de atuarem com tecnologias ultrapassadas, resultando em alto consumo de combustíveis e baixa eficiência energética.

O consumo de água nessa indústria é bastante condicionado a demanda de cal hidratada no mercado, pois a água é utilizada para o processo de hidratação da cal viva, segundo Americano, Paciornik e Santos (2006) “cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 toneladas de cal hidratada, o que equivale a dizer que 21,3% do peso da cal hidratada é constituído de água”. Em estudo realizado por Brasil (2009), concluiu-se por meio de cálculos que são necessários 240 litros de água para produzir cerca de 1 tonelada de cal hidratada.

Mesmo com a existência de materiais alternativos ao uso da cal, estudos realizados por Brasil (2009) afirmam que haverá um crescimento na produção e uso da cal até 2030, e com a indústria operando de forma ultrapassada, é possível que ocorra um aumento no consumo de água e na emissão de  $CO_2$ . Por isso torna-se necessário a pesquisa e utilização de outros materiais menos impactantes ao meio ambiente. A Figura 1 apresenta as curvas de projeção da cal até 2030 com valores em mil toneladas, considerando três cenários (frágil, vigoroso e inovador) de acordo com as projeções futuras do PIB.



Fonte: Adaptado de Brasil (2009).

De acordo com a Figura 1, é perceptível um aumento considerável da produção da cal em todos os cenários econômicos e de desenvolvimentos tecnológicos durante o período de 2010 a 2030. O cenário frágil considera uma possível regressão no processo de estabilização da economia brasileira, prevendo um crescimento de 2,3% ao ano do PIB. O cenário vigoroso prevê a manutenção e aperfeiçoamento das condições da época, considerando também reformas administrativas, previdenciárias e tributárias. Neste cenário, o crescimento do PIB previsto é de 4,6% ao ano. Já o cenário inovador, além de considerar o as ocorrências no cenário vigoroso, considera também uma busca e mobilização nacional pela inovação tecnológica e científica, geração e difusão de informação, conhecimento e aprendizado, tanto do estado quanto das empresas e instituições no país, prevendo um crescimento de 6,9% ao ano do PIB.

Além da previsão feita por Brasil (2009), em mesmo documento é citado que pela multiplicidade de suas aplicações, a cal virgem ou hidratada está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo mundial. O produto ganha maior expressão quando se conhece o amplo leque de setores industriais e sociais em que se utiliza cal, graças à sua dupla capacidade de agir como reagente químico e aglomerante ou ligante. E historicamente, a cal tem sido utilizada em larga escala pela humanidade desde os primórdios das civilizações até os dias atuais por ser um dos aglomerantes mais baratos, apesar da tentativa de substituí-la por sais e resinas (ANDRADE, 2012).

## 2.2 FILITO

Filitos são rochas metamórficas compostas majoritariamente por alumínio e silício, e seus componentes essenciais são os filossilicatos de pequeno tamanho de grão, como a mica/muscovita finamente dividida, sericita, caulinita, e quartzo. Possui colorações variadas, distinguindo-se entre três tonalidades: branca, rósea e preta (SILVA, RABELO, NETO, 2014).

O filito, como um material utilizado na indústria, possui um baixo valor agregado pelo motivo de seu beneficiamento exigir apenas a moagem. Ou seja, a rocha é retirada da jazida, passa pelo processo de moagem, e então é beneficiada de acordo com a aplicação, ensacada e distribuída. A facilidade do beneficiamento do filito é devido a textura da rocha, que permite fácil pulverização, fornecendo um pó muito fino

(MELO; THAUMATURGO, 2012). No Brasil é possível encontrar o filito em diversas formações geológicas como por exemplo as formações do Grupo São Roque no município de São Roque/SP, e o maior sítio de extração de filito no Brasil, em exploração pela empresa Mineração Itapeva, localizada na estrada municipal Luís José Squario, Km 5 – Itapeva/SP.

### 2.2.1 Aplicações

A aplicação do filito depende primeiramente do tipo de fácies, o filito de fácies rósea, em suas tonalidades mais claras, após o processo de moagem, homogeneização e ensacamento, é comercializado para uso em argamassas, e também para outros ramos como fillers na indústria de tintas e selantes e na produção de ração animal. O filito de fácies branca é utilizado na indústria cerâmica em suas porções mais claras, e o filito de fácies preta não possui uso comercial, entretanto, suas porções mais claras (de coloração cinza médio) são beneficiadas e homogeneizadas às frações róseas comercializadas (MORETO, 2006).

Filitos são utilizados principalmente na indústria cerâmica, tendo atuação importante como fundentes cerâmicos devido a presença de potássio e sódio em sua composição mineral. São utilizados como substitutos parciais de argilas e de feldspatos nas massas de grês sanitário, e também, utilizados em variadas proporções, para aumentar a velocidade de sinterização em louças de mesa, ladrilhos de piso, azulejos, materiais refratários, cerâmicas elétricas e ocasionalmente são utilizados na fabricação de telhas cerâmicas (BIONDI; MARCZYNSKI, 2004).

Além de seu grande uso na indústria cerâmica, o filito vem sendo utilizado atualmente em composições de argamassas de revestimento, de forma a substituir a cal. A melhora da trabalhabilidade e da plasticidade em argamassas no estado fresco são os principais motivos da utilização das cales e essas melhorias podem ser obtidas também utilizando os filitos (ROMANO *et.al*, 2014). A empresa Minasilício *Ltda* também afirma que o filito possui um bom desempenho em argamassas, devido à melhora na retenção de água, além de ocasionar o aumento da resistência mecânica da argamassa e gerar economia no uso do cimento. O produto comercializado pela empresa é ecológico e natural, não passando por queima e pronto para aplicação imediata, apresentando a coloração final branca ou amarela após o beneficiamento (MINASILÍCIO, 2019).

Além de seu uso e comercialização *in natura*, é possível realizar um processo

que queima do filito, obtendo uma melhora nas propriedades físicas do material quando aplicado, tais como aumento da resistência mecânica - em especial com filito de fácie branca, após queima em temperaturas próximas às praticadas no processo de calcinação da cal - e também um aumento na plasticidade, esse processo de queima pode também ser utilizado para alterar a cor do material (MELO; THAUMATURGO, 2012).

Mesmo assim o processo de queima em filitos para utilização em argamassas não é muito utilizado, pois encarece o produto, por adicionar mais uma etapa para o beneficiamento, o que torna menos atrativo sua implementação no mercado. Inclusive, seria contraditório ao objetivo de implementar materiais mais baratos e sustentáveis em substituição aos materiais atuais. Segundo Pessoa *et.al.* (2020), os resíduos gerados no processo de calcinação do calcário formam pilhas que se constituem em fonte de degradação do meio ambiente, e o mesmo pode ocorrer na produção de filito, caso adote-se o mesmo processo de beneficiamento utilizado para a cal.

Conforme Moura *et.al.* (2002), atualmente, grande parte da atividade de extração mineral é fonte geradora de resíduos, na forma de gases, líquidos e sólidos, causando degradação ambiental e dificultando um desenvolvimento sustentável. Como tanto a exploração do filito quanto da cal são atividades de mineração, em ambos os casos tem-se impactos ambientais similares, porém no processo de calcinação da cal, como já citado, ocorre emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, tal impacto podendo ser evitado durante o beneficiamento do filito sem processos de queima.

O elevado teor de quartzo, juntamente com uma concentração de até 40% de filossilicatos (muscovita e caulinita), fazem do filito um material estratégico para a fabricação de cimento geopolimérico (MELO; THAUMATURGO, 2012). O cimento geopolimérico é um ligante hidráulico, que funciona como aglomerante, porém sem a presença de CaO (óxido de cálcio) em sua composição, o que reduz a emissão de CO<sub>2</sub> em relação a produção do cimento portland (SANTA, 2012). Segundo Silva, Rabelo, Neto (2014), nesse tipo de aplicação, o filito puro se mostrou um ótimo precursor para geopolímeros, devido aos bons resultados de resistência mecânica, foi observado que quanto maior a idade da cura do filito após a aplicação de um agente de cura, maior a resistência mecânica. Além disso, o filito é um material inerte perante materiais metálicos, não atacando armaduras e estruturas metálicas.

O filito pode ser utilizado também como agregado graúdo em concretos.

Segundo trabalho feito por Afrifa e Adom-Asamoah (2010), as propriedades físicas e mecânicas dos agregados graúdos de filito satisfazem os requisitos mínimos para agregados adequados para concreto, as resistências à compressão e tração na flexão do concreto com agregados de filito seguiram as tendências esperadas de concretos convencionais, porém seu uso acarreta queda da resistência mecânica quando comparado com concreto convencional, e ocasiona uma redução da relação água/cimento, afetando a trabalhabilidade do concreto.

### 2.2.2 Produção e Impactos Ambientais

A produção do filito ocorre em processos de mineração. A extração do filito da jazida ocorre por escavação ou escarificação, a lavra ocorre a céu aberto, sendo precedida pelo decapeamento da cobertura de solo. São lavradas bancadas que podem variar de 4 a 15 m de altura, onde o material é desagregado com o emprego de escavadeiras e retroescavadeiras, utilizando explosivos apenas as porções muito compactas do minério ou em locais onde a escavação e escarificação mecânica torna-se pouco produtiva (MORETO, 2006; MINERAÇÃO ITAPEVA, 2019).

Após a extração do filito na jazida, o material lavrado, destinado aos pólos cerâmicos, é acondicionado em pilhas devidamente homogêneas e identificadas para seus compradores. O filito destinado a outras áreas de aplicação (argamassas, fillers, rações animais, etc) é transportado até os barracões de beneficiamento, onde são realizadas as operações de homogeneização, britagem, moagem, secagem e ensacamento para então ser distribuído (MORETO, 2006; MINERAÇÃO ITAPEVA, 2019).

Segundo Moreto (2006), que acompanhou o processo de trabalho de campo do processo de lavra do filito, têm-se como principal impacto ambiental a ocorrência de processos erosivos no solo. Estes processos são influenciados pela grande presença de argila na composição do solo do local de mineração, e também pelos métodos de desagregação utilizados na exploração do bem mineral. Neste caso, as principais medidas de controle e prevenção que devem ser empregadas são o gerenciamento de drenagens de água e de águas pluviais, para que não ocorra o transporte e sedimentação de material para outros locais próximos e o planejamento das lavras.

Outros problemas ambientais observados referem-se ao impacto visual após o decapeamento do terreno a ser lavrado e da utilização de áreas já exploradas para o

armazenamento dos rejeitos, e também aos elevados teores de poeira em suspensão que se concentram nas lavras e barracões de beneficiamento do filito, principalmente em épocas de baixa umidade do ar (MORETO, 2006), tais impactos são comuns em qualquer operação em que ocorre lavra para extração de matérias primas.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DO FILITO

A caracterização do material influencia diretamente na sua utilização na construção civil, pois o objetivo da caracterização é determinar suas propriedades, como sua composição química, granulometria, área superficial, resistência e plasticidade e até mesmo o nível de periculosidade. Conhecendo as características e propriedades de um material, é possível direcioná-lo para uso dentro da indústria da construção civil.

No estudo feito por Melo e Thaumaturgo (2012), foram determinadas as propriedades físicas como massa específica, área superficial e distribuição granulométrica do filito de fácie branca, muito utilizados na indústria cerâmica, em sua coloração clara e creme. A caracterização química e mineralógica consistiu em determinar sua composição química pela técnica de fluorescência de raios-x (FRX) e mineralógica pela técnica de difração de raios-x (DRX).

#### 2.3.1 Caracterização Física

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização física dos filitos estudados por Melo e Thaumaturgo (2012).

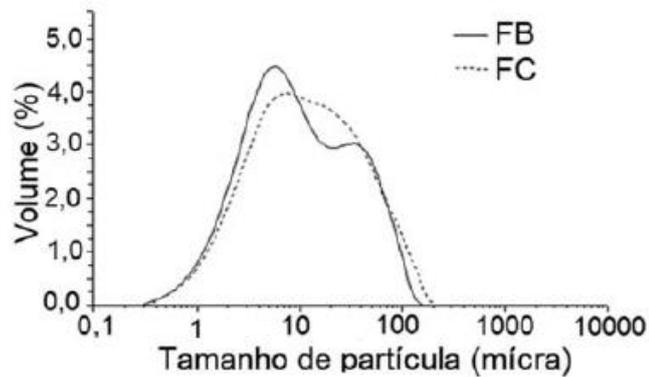
Tabela 1 - Caracterização física de filitos

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Área Superficial (m <sup>2</sup> /g)	Tamanho máximo de partícula (um)
Filito Branco	2,74	6,1	150
Filito Creme	2,76	10,6	200

Fonte: Adaptado de Melo e Thaumaturgo (2012)

Segundo os autores, a diferença entre as massas específicas dos filitos sugere pouca distinção de composição química e mineralógica. O filito creme é pouco mais denso que o filito branco, indicando presença dos mesmos minerais. Na análise granulométrica foi observado que o filito branco exhibe distribuição de tamanho de partículas com aspecto bimodal, diferente do observado para o filito creme como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Curva granulométrica



Fonte: Melo e Thaumaturgo (2012)

O tamanho máximo das partículas de filito foi de 150  $\mu\text{m}$  para a coloração branca e 200  $\mu\text{m}$  para a coloração creme.

### 2.3.3 Caracterização Química

A análise química é feita pela técnica da fluorescência de raios-x (FRX). A Tabela 2 apresenta a composição química encontrada através da análise feita por Melo e Thaumaturgo (2012) para os filitos de coloração branca e creme.

Tabela 2 - Composição química

Óxidos	Composição em massa (%)	
	Filito Branco	Filito Creme
$\text{SiO}_2$	72,63	68,84
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,98	15,72
$\text{Na}_2\text{O}$	0,02	0,02
$\text{CaO}$	0,02	0,02
$\text{K}_2\text{O}$	5,07	4,35
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,37	4,81
$\text{MgO}$	1,83	1,52
$\text{TiO}_2$	0,61	0,91
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,03	0,04
Perda ao fogo	3	3,95
Total	99,56	100,18

Fonte: Adaptado de Melo e Thaumaturgo (2012)

De acordo com a análise química realizada por Moreto (2006) no filito de fácies rósea, que é utilizado em argamassas, foi observado o maior teor de  $Fe_2O_3$  (Óxido de Ferro) quando comparado com os resultados das fácies branca e preta. A presença considerável de óxido de ferro no filito, segundo o autor, é extremamente prejudicial ao emprego cerâmico do material, e a maior presença de óxido de ferro ocorre nos filitos de fácies rósea utilizada em argamassas, sendo a menor na fácies branca utilizada em cerâmicas.

### 2.3.2 Caracterização Mineralógica

Os principais elementos na composição mineralógica de todas as fácies de filito são o quartzo e a sericita, identificada na fase mica, havendo também muitas vezes a presença de caulinita e raramente a presença de clorita (MORETO, 2006). Ainda segundo o autor, a porcentagem de caulinita dentre as amostras de filito analisadas foi variável, sendo possível observar uma maior ocorrência de caulinita no filito de fácies rosa, após análise pela técnica de difração de raios-x (DRX).

Pela análise feita por Melo e Thaumaturgo (2012), os principais minerais identificados no filito de fácies branca foram quartzo (QZ), muscovita (Ms) e caulinita (Kln), e pequenas quantidades de microclínio (Mc) no filito branco, rutilo (Rt) e goethita (Gth) no filito creme, como mostrado na figura 3. Porém, o autor descartou a presença de sericita nas amostras de filito, pois cristais de tamanho muito pequeno, como a sericita, causam alargamento dos picos nos difratogramas, porém foi observado um pico agudo na fase mica, o que define a presença de muscovita na fase mica.

A Figura 3 apresenta a composição mineralógica do filito de coloração branca e a Figura 4 apresenta os resultados para o filito de coloração creme.

Figura 3 - Composição mineralógica do filito de coloração branca (MELO;THAUMATURGO, 2012)

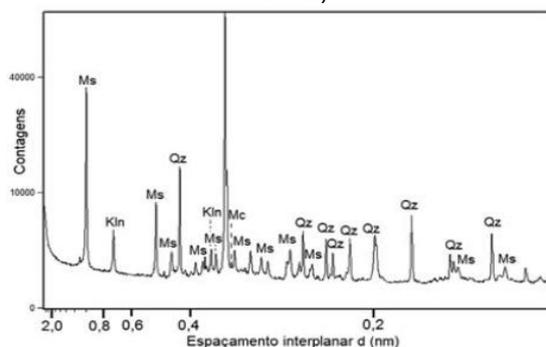
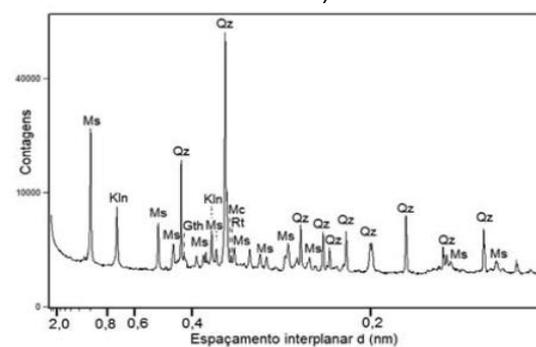


Figura 4 - Composição mineralógica do filito de coloração creme (MELO;THAUMATURGO, 2012)

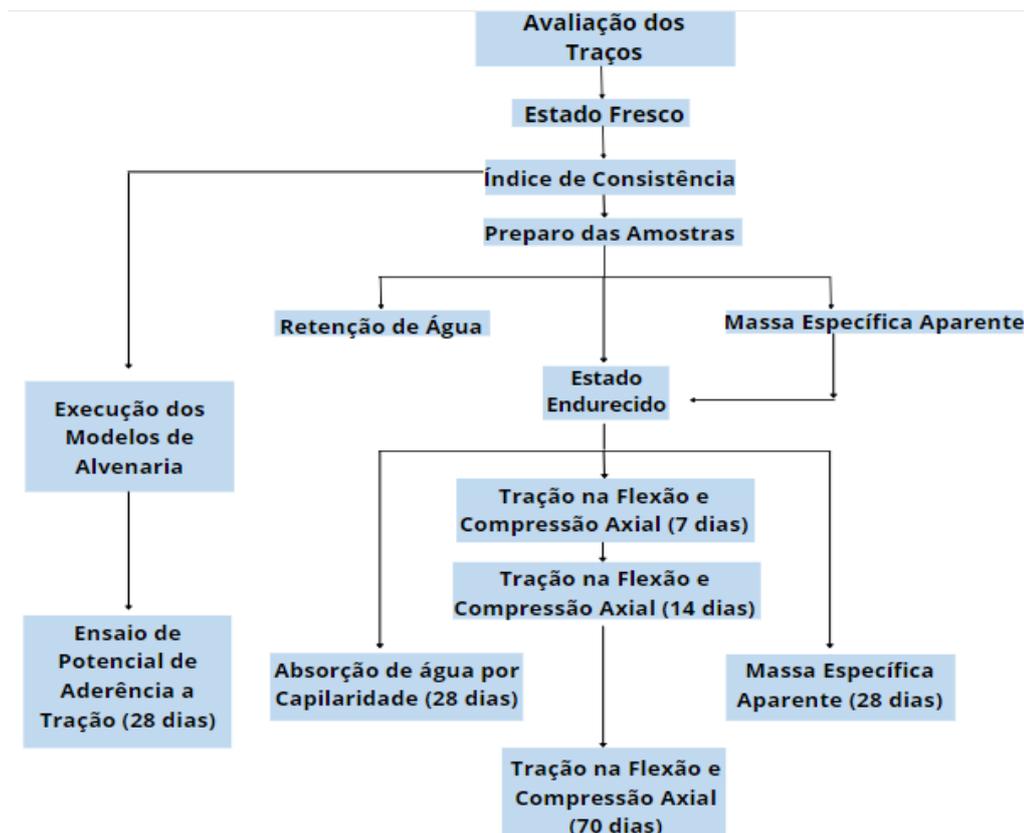


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia do presente trabalho foi dividida em duas etapas: a primeira é a caracterização dos materiais a serem utilizados na produção dos traços de argamassa, utilizando-se de resultados de granulometria a laser, da determinação de massa específica e unitária, e das curvas de TG/DTG; a segunda etapa consiste na determinação das propriedades físico-mecânicas, caracterizando os traços, a fim de compará-los, com base nos ensaios prescritos pela NBR 13281 (ABNT, 2005). Ambas as etapas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia do Concreto da ITAIPU Binacional, com a utilização de prensa com dispositivo Rilen e mesa de consistência, e no Laboratório De Ensaio de Materiais (LADEMA) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), localizado no Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), onde foi feito o preparo de amostras e execução de ensaios de argamassas no estado fresco e avaliação de desempenho de revestimentos em função da resistência a aderência a tração e absorção de água por capilaridade. A figura 5 apresenta o fluxograma ilustrativo do programa experimental.

Figura 5 - Fluxograma Ilustrativo do Programa Experimental



### 3.2 TRAÇOS/DOSAGENS EMPREGADAS

A definição de traços teve como base o documento apresentado por Campos (2012) para o curso de especialização em engenharia das estruturas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Neste trabalho, foram definidos para a cal os traços típicos: 1:1:6 (cimento:cal:agregado) reconhecido como traço rico em cimento, e 1:2:9 (cimento:cal:agregado) reconhecido como traço pobre em cimento, ambos os traços com relação base 1:3 (aglomerante:agregado) . Para as argamassas de filito, além dos traços 1:1:6 e 1:2:9, foi efetuada uma redução na relação finos:agregado, de forma a analisar os efeitos de diferentes porcentagens de volume deste material. Já para a blenda, foram definidos os mesmos traços de argamassas de cal, mas com a adição de 25% de volume de filito na parcela de cal, reduzindo dessa forma o volume de cal, com isso será possível analisar os efeitos da incorporação de filito em argamassas, verificando sua influência em traços de cal. A tabela 3 apresenta de forma detalhada os traços definidos.

Tabela 3: Traços em volume adotados

Material	Traço	Consumo em kg por m <sup>3</sup>					
		Cimento	Cal	Filito	Areia	água	Aditivo
Filito	1 : 1 : 6	147.27	0.00	137.97	1550.00	306.61	4.42
	1 : 0,75 : 6	151.26	0.00	106.29	1592.03	301.52	4.54
	1 : 0,5 : 6	158.06	0.00	74.04	1663.60	284.44	4.74
	1 : 0,25 : 6	156.88	0.00	36.74	1651.13	304.03	4.71
	1 : 2 : 9	96.17	0.00	180.21	1518.33	319.51	2.89
	1 : 1,5 : 9	97.88	0.00	137.55	1545.27	325.18	2.94
	1 : 1 : 9	102.48	0.00	96.01	1617.81	312.08	3.07
	1 : 0,5 : 9	104.41	0.00	48.91	1648.44	317.99	3.13
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	140.36	93.26	0.00	1477.29	349.74	0.00
	1:3 (1 : 2 : 9)	87.01	115.63	0.00	1373.70	397.48	0.00
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	139.99	69.76	32.79	1473.39	348.81	0.00
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	94.19	93.88	44.12	1487.02	344.22	0.00

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a fabricação das argamassas foi utilizado:

- Cimento Portland tipo CP IV 32-RS, adquirido em Foz do Iguaçu no comércio local;
- Agregado miúdo, constituído por areia seca e lavada, para retirar excesso de matéria orgânica sem afetar a granulometria, pois a mesma se encontrava na baía de areia do laboratório, exposta as intempéries e

umidade. Sua composição granulométrica foi determinada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo feita também granulometria a laser para conferência de resultados;

- Cal hidratada classe CH III e Ecofilito, ambos materiais ensacados obtidos em Foz do Iguaçu no comércio local;
- Água potável, fornecida pela Sanepar.
- Aditivo polifuncional, disponível no LADEMA (Unila)

Tanto para os materiais finos quanto para o agregado, foram determinadas as massas específica e unitária, sendo caracterizações necessárias para a dosagem da quantidade de material necessário para a execução dos traços. Com relação a determinação de massa específica para os finos, como não há normativa específica que regulamenta sua determinação para cal e para o filito, foi adotado o mesmo procedimento do cimento conforme NBR 16605 (ABNT, 2017) utilizando-se o frasco de Le Chatelier.

Já para a obtenção da massa unitária dos materiais finos, empregou-se método proposto por Mattana (2013), no qual se utiliza um funil com abertura de 1cm e um recipiente cilíndrico de volume conhecido ( $400\text{cm}^3$ ), sendo a massa unitária calculada pela divisão entre a massa de material que foi necessária para preencher o recipiente e seu volume de  $400\text{cm}^3$ . Para a realização deste ensaio, posiciona-se o funil de tal forma que a abertura fique a 8 cm da borda do recipiente cilíndrico, para garantir que o material seja despejado no recipiente com uma altura e vazão de queda constantes de acordo com o operador.

A curva granulométrica dos materiais finos foi obtida através da técnica de análise de tamanho de partículas por difração de laser. De acordo com Christofolletti e Moreno (2017), a curva granulométrica é obtida após a dispersão de partículas em fluido (no caso do trabalho, em água), o que causa descontinuidades no fluxo do fluido, sendo essas descontinuidades detectadas pela luz incidente do laser, ocorrendo a difração, possibilitando correlacionar o tamanho da partícula com a difração ocorrida, gerando a curva granulométrica. A granulometria a laser foi feita utilizando o equipamento Cilas Particle Size Analyzer 1190, também do LADEMA da UNILA.

Os procedimentos de caracterização de massa unitária, massa específica e granulometria para areia serão apresentados na seção 3.3.1 a seguir.

### 3.3.1 Areia natural

O agregado natural utilizado nos traços foi extraído no Rio Paraná, na jazida de Guaíra, PR. Diferente dos materiais finos, foram realizados ensaios de determinação da massa unitária conforme a NBR NM 45 (ABNT, 2006), como apresentado na Figura 6 (B), e a determinação da massa específica ocorreu por meio do ensaio do picnômetro, de acordo com o apresentado por Rocha e Xavier (2000) e mostrado na Figura 6 (A).

Figura 6: Determinação da massa específica (A) e unitária (B) da areia

(A)



(B)



Na Figura 7, Figura 8 e Tabela 4, são apresentados os resultados do ensaio de granulometria pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), que foi feito utilizando apenas as peneiras da série normal, com aberturas padronizadas de acordo com a ISSO 3310/1 – 9,5mm, 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 600um, 300um, 150um - . Na tabela 4, são mostradas a porcentagem de massa retida em cada peneira assim como a porcentagem de massa retida acumulada, necessária para o cálculo do módulo de finura, e para a determinação da dimensão característica do agregado.

Figura 7 – Material retido nas peneiras

(a)



(b)

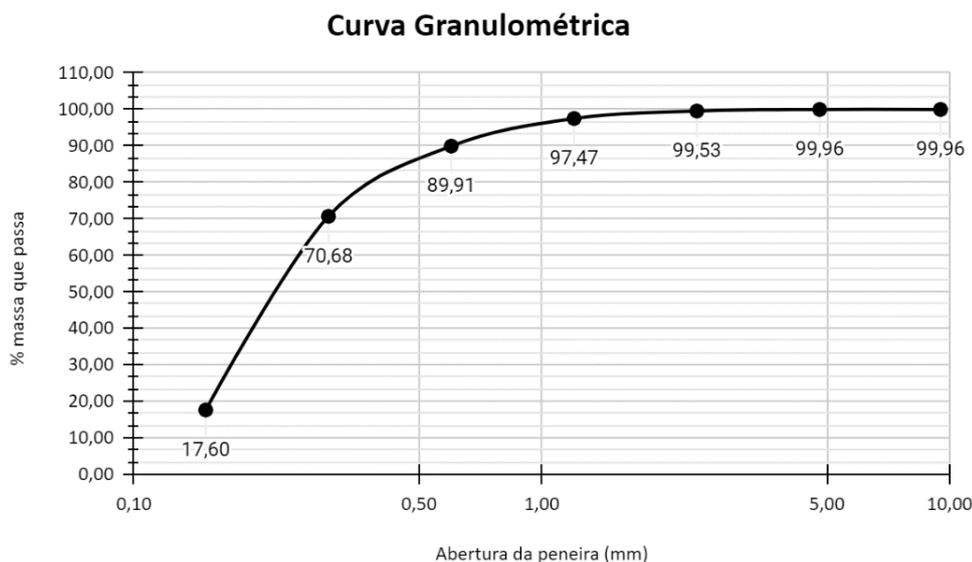


Na figura acima, é possível observar que a maior parte do material ficou retido nas peneiras com menor abertura, com nenhum material retido nas peneiras com aberturas de 9,5 mm e 4,8 mm, além de uma parcela muito pequena de massa retida nas peneiras 2,4 mm e 1,2 mm. Com isso, obteve-se um módulo de finura de 1,24(%), caracterizando areia fina, inclusive abaixo da zona inferior de uso para concretos, fator que aumenta a relação água/cimento e, conseqüentemente, diminuindo a resistência dos traços.

Tabela 4: Granulometria pela NBR NM 248:2003

Abertura da peneira	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
9,5 mm	0	0,0000	0,0000
4,8 mm	0	0,0000	0,0000
2,4 mm	2,3	0,4304	0,4304
1,2 mm	11	2,0584	2,4888
600 µm	40,4	7,5599	10,0487
300 µm	102,8	19,2365	29,2852
150 µm	283,6	53,0689	82,3540
fundo	94,1	17,6085	99,9626
SOMA	534,2	99,9626	-

Figura 8: Curva Granulométrica de amostra de areia pela NBR NM 248:2003



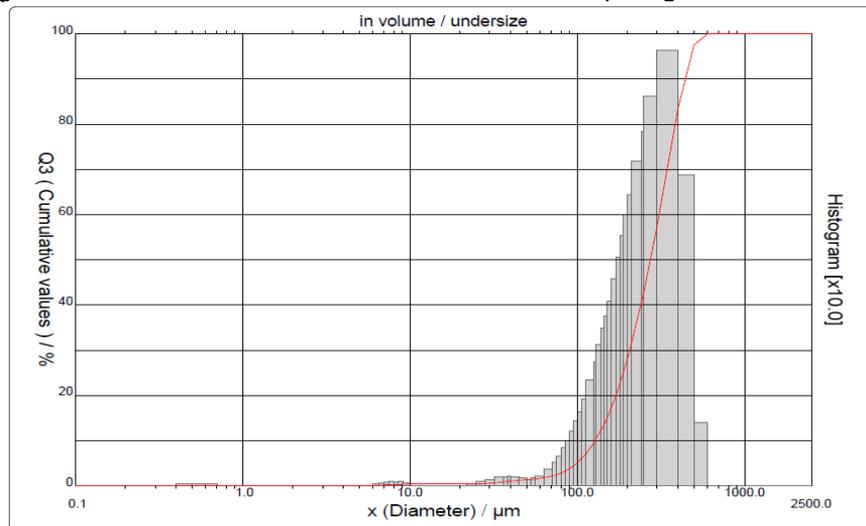
Os resultados obtidos para a caracterização da areia natural são apresentadas a seguir.

Tabela 5: Caracterização da Areia

Areia	
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,625
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,584
Módulo de finura (%)	1,24
Dimensão Máxima Característica (mm)	1,2

Na Figura 9 é apresentada a curva granulométrica de amostra de areia obtida pela técnica de difração a laser, onde podemos observar uma distribuição granulométrica similar a feita pela NBR NM 248, com a maior porcentagem de massa no intervalo de 150 µm e 600 µm.

Figura 9: Curva Granulométrica de amostra de areia pela granulometria a laser



### 3.3.2 Filito

O filito utilizado neste trabalho foi o Ecofilito, material beneficiado e ensacado comercializado em Foz do Iguaçu/PR e oriundo da região metropolitana de Curitiba/PR, e os ensaios de caracterização realizados foram os seguintes:

- Análise termogravimétrica (TG/DTG) – conforme ASTM E 2550 (ASTM, 2017);
- Granulometria a laser – conforme ISO 13320 (ISO, 2009);
- Massa unitária - conforme o método proposto por Mattana (2013);
- Massa específica – conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017).

Abaixo são mostradas as curvas granulométricas sobrepostas de 3 amostras de Ecofilito. É possível observar que o Ecofilito é um material com partículas maiores quando comparado com os filitos naturais de coloração branca e creme analisados por Melo e Thaumaturgo (2012).

Figura 10 – curva granulométrica do filito

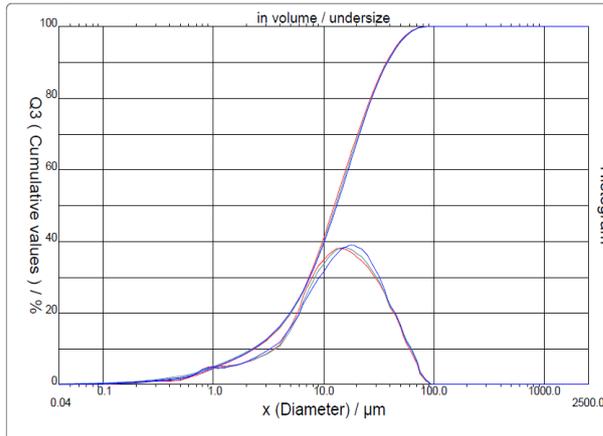


Tabela 6 – caracterização do filito

Ecofilito	
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,584
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,846
Diâmetro d50 (µm)	12,34
Diâmetro d90 (µm)	34,76

Os resultados da granulometria a laser do filito, mostram que o mesmo possui partículas com diâmetro médio inferiores a 12,34 µm e uma curva de frequência modal (1 pico).

### 3.3.3 Cimento

O cimento Portland escolhido para o preparo das argamassas é o CP IV-32 RS, o qual possui conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018) os seguintes limites de composição em porcentagem de massa:

- Clínquer + sulfatos de cálcio: 45% a 85%;
- Material pozolânico: 15% a 50%;
- Material carbonático: 0% a 10%.

Optou-se por este cimento devido a sua ampla utilização na confecção de argamassas, principalmente pela redução do calor de hidratação auxiliando na redução da quantidade de fissuras por retração além de maior resistência a ataques químicos. Os ensaios para a caracterização deste material foram:

- Análise termogravimétrica (TG/DTG) – conforme ASTM E 2550 (ASTM, 2017);
- Granulometria a laser – conforme ISO 13320 (ISO, 2009);
- Massa unitária - conforme o método proposto por Mattana (2013);
- Massa específica – conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017).

A seguir são mostradas as curvas granulométricas sobrepostas de 3 amostras de Cimento.

Figura 11: Granulometria a Laser do Cimento

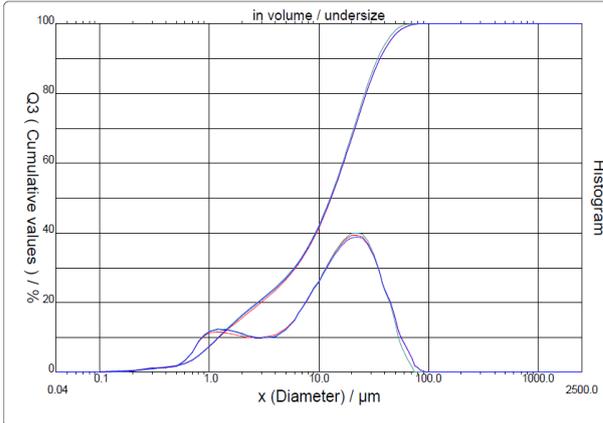


Tabela 7: Caracterização do Cimento

CP IV 32 RS	
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,974
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,903
Diâmetro d50 (µm)	12,87
Diâmetro d90 (µm)	35,66

Os resultados da granulometria a laser do cimento, mostram que o mesmo possui partículas com diâmetro médio inferiores a 12,87 µm, valor muito próximo ao diâmetro médio do Ecofilito, e uma curva de frequência bimodal (2 picos).

### 3.3.4 Cal

A cal utilizada neste trabalho foi a cal hidratada CH III, oriunda da região metropolitana de Curitiba, PR, e os ensaios de caracterização deste material foram os seguintes:

- Análise termogravimétrica (TG/DTG) – conforme ASTM E 2550 (ASTM, 2017);
- Granulometria a laser – conforme ISO 13320 (ISO, 2009);
- Massa unitária - conforme o método proposto por Mattana (2013);
- Massa específica – conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017).

Abaixo são mostradas as curvas granulométricas sobrepostas de 3 amostras de cal. É possível observar que a cal utilizada é um material mais fino que o ecofilito, o que pode ter ocasionado o maior fator água/cimento nos traços de cal.

Figura 12: Curva Granulométrica de amostras de cal

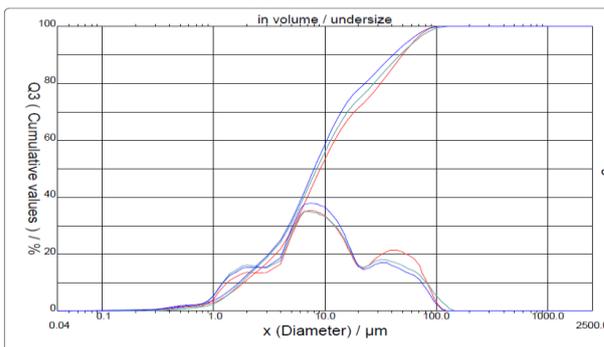


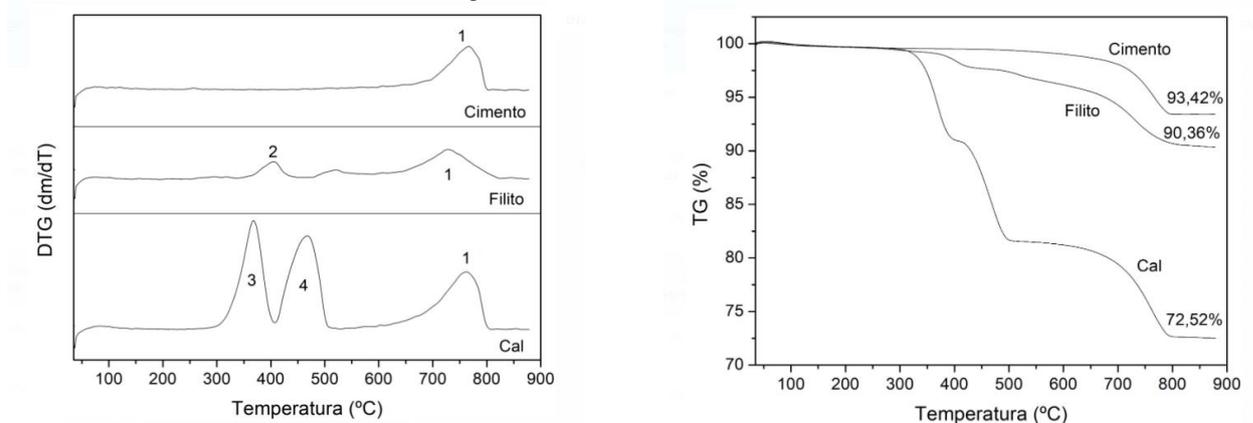
Tabela 8: Caracterização da Cal

CH III	
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,315
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,600
Diâmetro d50 (µm)	8,47
Diâmetro d90 (µm)	45,96

Os resultados da granulometria a laser da cal, mostram que a mesma possui partículas com diâmetro médio inferiores a 8,47  $\mu\text{m}$ , dessa forma sendo o material mais fino utilizado nos traços, e apresenta uma curva de frequência trimodal (3 picos).

### 3.3.5 Análise termogravimétrica (TG/DTG) dos materiais

Figura 13: Curvas TG e DTG



A Figura 13 apresenta as curvas de TG e DTG do cimento, filito e cal. Em relação ao cimento, observa-se uma massa residual de 93,42% após a análise térmica. Essa perda de massa ocorreu em maior parte numa temperatura de aproximadamente 750°C onde é possível observar um pico na curva de DTG, correspondente a decomposição de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (MAZURANA, 2019).

Para o filito, a massa residual apresentou valor próximo ao do cimento, 90,36%, além de 2 picos na curva de DTG, o primeiro ocorrendo entre 350°C e 450°C, que segundo Mello e Thaumaturgo (2012), esse pico pode ser associado a decomposição de matéria orgânica das argilas ou mesmo a remoção dos grupos hidroxila ( $\text{OH}$ ) da caulinita, que pode ocorrer inclusive no pequeno pico na temperatura de aproximadamente 500°C. O terceiro e último pico de perda de massa ocorre entre 700°C e 750°C, onde segundo o mesmo autor, ocorre a perda dos grupos hidroxila ( $\text{OH}$ ) da muscovita.

Finalmente para a cal, observa-se uma massa residual de aproximadamente 72% após a análise térmica, sendo o material analisado que perdeu maior porcentagem de massa durante a análise. Essa perda de massa ocorreu em 3 momentos distintos, sendo o primeiro em aproximadamente 350°C que corresponde a decomposição do hidróxido de magnésio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), o segundo momento ocorre

em aproximadamente 430°C que corresponde a decomposição do hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) e o último pico na curva DTG que configura de perda de massa ocorre em temperaturas próximas a 750°C devido a decomposição de carbonatos (MAZURANA; POSSAN; BITTENCOURT, 2019).

### 3.4 TEOR ÓTIMO DE ADITIVO

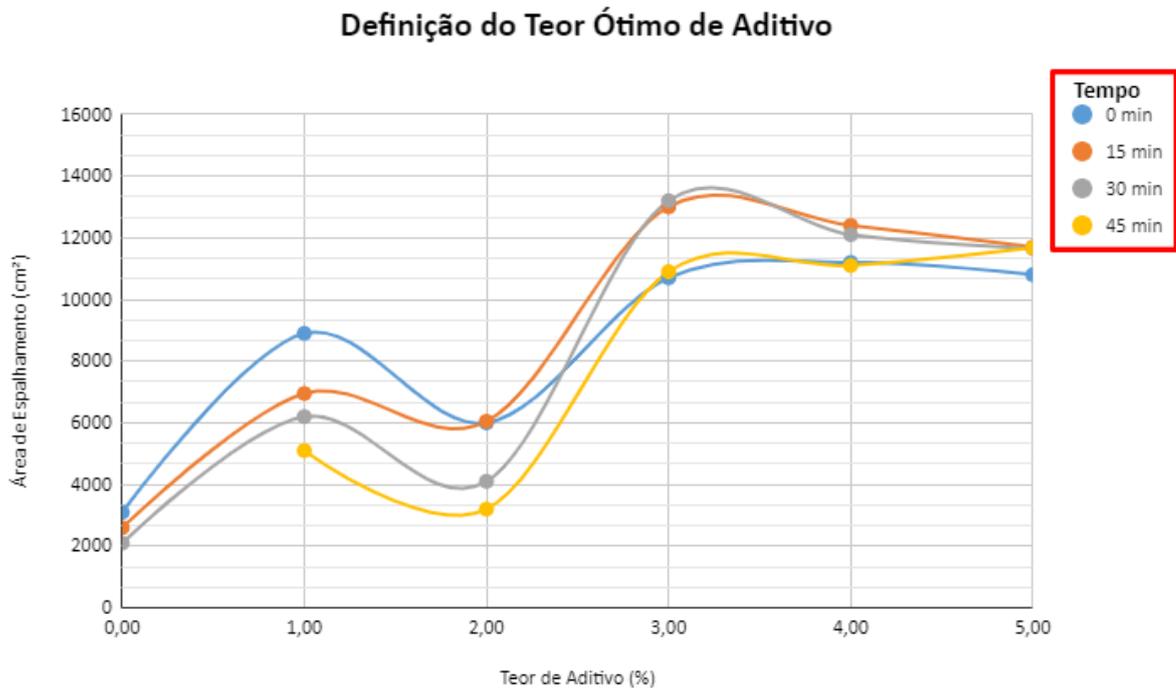
A determinação do teor ótimo de aditivo polifuncional, o qual foi escolhido devido à capacidade de se obter uma argamassa com maior plasticidade e maior tempo de manutenção de trabalhabilidade, características importantes para execução de revestimento em obras, foi feita pelo método do mini abatimento descrito por Kantro (1980), sendo muito parecido com o ensaio de abatimento do concreto, diferindo unicamente nas dimensões dos moldes tronco-cônicos utilizados. Para a execução do ensaio de mini abatimento é necessário o molde tronco-cônico de kantro e uma placa de vidro nivelada.

O procedimento de ensaio segue a seguinte sequência: primeiro o molde é posicionado sobre a placa de vidro e preenchido com a pasta de cimento aditivado (mistura de cimento e aditivo em água) e em seguida o cone é removido. Após a estabilização do espalhamento, são medidos dois diâmetros perpendiculares e então o valor médio entre esses diâmetros representa o valor em mm do espalhamento da pasta de cimento ensaiada.

As principais vantagens deste método são a pequena quantidade de material necessária para o ensaio, facilitando o processo de preparo da pasta e execução do ensaio para cada pasta em intervalos de tempo de 15 em 15 minutos, e a possibilidade de observar problemas de exsudação e segregação da mistura. Este método também possibilita uma rápida comparação entre a fluidez de várias misturas de cimento com aditivos plastificantes e superplastificantes.

Na Figura 14 são mostradas as curvas de diâmetro de espalhamento pelo tempo para cada teor de aditivo em pasta ensaiado.

Figura 14 - Definição do Teor Ótimo de Aditivo



Analisando as curvas de espalhamento para cada teor de aditivo, é conclusivo que 3% é o teor ótimo de aditivo, pelo maior incremento de área de espalhamento nos intervalos de 0 a 15 minutos e de 15 a 30 minutos, intervalo de tempo suficiente para o preparo de amostras e ensaios de argamassas no estado fresco. As outras pastas ensaiadas apresentaram decréscimo da área de espalhamento ao longo do tempo após os 15 minutos de ensaio, com exceção da pasta com 5% de teor de aditivo que mesmo não ocorrendo um grande incremento de área como apresentado pela pasta com 3% de aditivo, a área se manteve praticamente constante até os 45 minutos.

### 3.5 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS NO ESTADO FRESCO

Com os materiais caracterizados, foram preparadas as amostras de cada traço definido para execução de ensaios no estado fresco juntamente com a moldagem de corpos de prova para ensaios no estado endurecido. No Quadro 1 estão listadas as normativas que foram utilizadas para análise no estado fresco, sendo ensaios definidos pela NBR 13281 (ABNT,2005).

**Quadro 1** - Normas utilizadas para avaliação do estado fresco das argamassas.

NBR 13276(ABNT,2016)	Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
NBR 13277(ABNT,2005)	Determinação da retenção de água
NBR 13278(ABNT,2005)	Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

### 3.5.1 Preparo da Mistura e Índice de Consistência (NBR 13276:2005)

A determinação da relação água/cimento(a/c) ideal para cada traço foi feita de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016), com o uso da mesa de consistência (Flow Table), presente no laboratório de preparo de amostras de ITAIPU. Para cada traço foram ensaiadas as pastas para várias relações água/cimento, aumentando seu valor em parcelas de 0,5 a cada ensaio consecutivo na mesa de consistência, até se obter a consistência padrão de  $260 \pm 5$  mm, definida pela norma como consistência ótima para argamassas de revestimento.

O ensaio consistiu em preencher o molde tronco-cônico em 3 camadas com alturas de preenchimento aproximadas, aplicando respectivamente em cada camada 15, 10 e 5 golpes com soquete, semelhante ao *slump-test*, ensaio feito para verificar o abatimento de concretos. Após o preenchimento do molde, foi feito o nivelamento na superfície da argamassa no tronco e então retirou-se o molde para dar início ao processo de espalhamento. Após a estabilização do espalhamento, foram tomadas medidas de dois diâmetros perpendiculares.

O índice de consistência é a média de diâmetros mensurados após o espalhamento da argamassa, sendo mensurado após 30 golpes excêntricos da mesa de consistência. Para os traços de filito, foram realizadas duas tomadas de ensaio em dias diferentes, com e sem a utilização de aditivo plastificante, tal decisão foi feita pelo fato das argamassas de filito apresentarem exsudação considerável, problema que pode ser resolvido com a adição de aditivos plastificantes. Para os traços de cal e blenda não foi utilizado aditivo, pois a cal já trabalha como plastificante, auxiliando na trabalhabilidade e o processo de maturação da cal auxilia na redução de exsudação na argamassa.

Figura 15 - Ensaio para avaliação do índice de consistência



Fonte: Autores

### 3.5.2 Retenção de Água

A retenção de água foi determinada de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005), com a utilização do funil de Buchner modificado mostrado na Figura 16. O ensaio consiste em inicialmente realizar a pesagem do funil vazio com o filtro, ou seja, do valor da tara, em seguida realiza-se a pesagem do conjunto com a amostra de argamassa produzida para obter o valor inicial de massa, chamada de  $m_1$ .

Obtidas a massa inicial do conjunto com a argamassa, ocorre o início do ensaio, realizando a sucção forçada de água da composição da amostra ensaiada durante 15 minutos, utilizando a pressão de 51mm de mercúrio na bomba a vácuo à conforme a norma. Ao final realiza-se a pesagem do conjunto com a amostra após o processo de sucção de água, tomando o valor de massa  $m_2$ .

A diferença entre  $m_1$  e  $m_2$ , expressa a massa de água perdida, sendo utilizada para o cálculo da porcentagem de retenção de água da argamassa.

Figura 16 – Execução do Ensaio de Retenção de Água



Fonte: Autores

### 3.5.3 Densidade de Massa Aparente e do Teor de Ar Incorporado

A determinação da massa específica aparente e teor de ar incorporado foi feita

de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005), porém utilizando moldes de corpos de prova de argamassa com dimensões 8 cm x 8 cm x 16 cm como recipiente, como mostrado na Figura 17. O ensaio consiste em realizar a pesagem de três amostras no estado fresco em molde com valor de volume conhecido. Em relação aos moldes utilizados, foi feita a conferência das dimensões com utilização de paquímetro, dessa forma garantindo melhor precisão nos resultados finais.

Com o valor da densidade no estado fresco determinada, é possível calcular o teor de ar incorporado, através de uma relação entre densidade teórica, calculada a partir da quantidade de materiais no volume da amostra e densidade aparente da argamassa ensaiada. As equações utilizadas tanto para o cálculo do teor de ar incorporado quanto para o cálculo das densidade teórica e aparente, estão presentes na norma.

Figura 17 - Molde de CP utilizado para ensaio de massa específica no EF



Fonte: Autores

### 3.6 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS NO ESTADO ENDURECIDO

Juntamente com os ensaios feitos no estado fresco, foram moldados corpos de prova (CP) prismáticos com dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm (Figura 18 e Figura 19), para realização de ensaios de resistência a tração na flexão e compressão axial, e avaliação de desempenho em função da absorção de água por capilaridade. A avaliação a absorção de água e determinação da massa específica aparente no estado endurecido foi feita em amostras com 28 dias de idade, e para determinação das curvas de resistência mecânica, foram feitos ensaios em prensa em corpos de prova com 7, 14 e 70 dias de idade por impossibilidade de uso da prensa para ensaiar os CPs com 28 dias de idade, devido ao fechamento do Laboratório de Tecnologia do Concreto de ITAIPU em decorrência da pandemia da COVID-19.

No Quadro 2 estão listadas as normativas que foram utilizadas para os ensaios no estado endurecido, sendo ensaios solicitados pela NBR 13281 (ABNT,2005).

Figura 18 – CPs em Moldes Após 24 horas



Fonte: Autores

Figura 19 – Comparação de coloração de CPs Após Desmoldagem



Fonte: Autores

**Quadro 2** – Normas utilizadas para avaliação do estado endurecido das argamassas.

NBR 13279 (ABNT, 2005)	Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão
NBR 13280 (ABNT, 2005)	Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido
NBR 15258 (ABNT,2005)	Determinação da resistência potencial de aderência à tração
NBR 15259 (ABNT,2005)	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

### 3.6.1 Densidade de Massa Aparente

A densidade de massa aparente é determinada de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005), sendo o valor médio dos valores de densidade obtidos das amostras. O ensaio consistiu em verificar as dimensões e realizar pesagem de 3 CPs para cada traço de argamassa produzido. Para cada amostra foi determinada a razão entre massa e volume aferidos (densidade). Para aferir as dimensões dos CPs, como mostrado na figura 20, foi utilizado paquímetro digital, com precisão de 0,01 cm e para a pesagem foi utilizada balança digital com precisão de 0,01 g.

Figura 20 - Medição de dimensões dos CPs com paquímetro digital



Fonte: Autores

### 3.6.2 Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade

A absorção por capilaridade foi determinada de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005). O ensaio consistiu na pesagem dos CPs antes e após absorção de água por capilaridade, a norma indica a pesagem dos corpos de prova antes do início do ensaio, obtendo a massa seca da amostra, e durante o ensaio, especificamente aos 10 e aos 90 minutos na ocorrência de absorção de água pela amostra.

A norma indica a pesagem apenas nestes dois intervalos de tempo para o cálculo do coeficiente de capilaridade, porém foram realizadas pesagens em intervalos de tempo adicional, dessa forma é possível confeccionar curvas de absorção durante o tempo conforme recomendação de Casali, Gava e Prudêncio (2006) com o intuito de melhorar a confiabilidade dos resultados, pois argamassas são bastante porosas, o que influencia na velocidade de absorção, sendo necessário aumento da quantidade de leituras.

Seguindo esta recomendação juntamente com as disposições da norma, foram realizadas leituras aos 10 min, 30 min, 45 min, 60 min e 90 min. Para que o nível de água fosse mantido dentro dos limites da norma, foram feitas medições da altura de água na base dos corpos de prova, e então foi feita a adição de água conforme necessidade, para manter os 5 cm exigidos de altura de contato da água com as amostras. A Figura 21 mostra o processo de absorção de água pelos CPs e a pesagem nos intervalos de tempo adotados, a Figura 22 apresenta a altura de água nos CPs após a finalização do ensaio aos 90 minutos.

Figura 21 - Execução do ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autores

Figura 22 - Retirada dos CPs após término do ensaio



Fonte: Autores

### 3.6.3 Resistência à Tração na Flexão e Compressão

Tais parâmetros de resistência foram avaliados de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), ensaiando corpos de prova de formato prismático aos 7, 14 e 70 dias de idade em prensa com dispositivo de rilen. Como mostrado na Figura 23, primeiro foi realizado o ensaio de tração na flexão, em 3 amostras para cada traço, aplicando uma carga de  $50 \pm 10$  N/s no meio do vão do corpo de prova, até ocorrer a ruptura.

Após a ruptura de todas as amostras, iniciou-se o ensaio de resistência à compressão, utilizando as duas metades de cada amostra ensaiada anteriormente (Figura 24), totalizando 6 amostras para compressão. Aplicou-se nas duas metades uma carga de  $500 \pm 10$  N/s até o momento da ruptura.

Figura 23 - Execução do ensaio de tração na flexão e compressão em dispositivo Rilen



Fonte: Autores

Figura 24 - Ruptura por tração na flexão



Fonte: Autores

#### 3.6.4 Resistência Potencial de Aderência à Tração

A Resistência potencial de aderência a tração foi avaliada de acordo com a NBR 15258 (ABNT, 2005). O ensaio consiste no arrancamento de amostras de argamassa de um modelo reduzido de alvenaria (MA), configurando os corpos de prova, para avaliar a aderência da argamassa na base aplicada.

Pela complexidade de execução e volume maior de argamassa utilizado, a preparação dos modelos revestidos não foi feita em conjunto com a moldagem dos corpos de prova para os outros ensaios. Nos MA's produzidos para cada traço, recomenda-se a realização de chapisco (Figura 25) para uma melhor aderência do

revestimento aplicado e maior aproximação com o caso real de revestimento de paredes.

Figura 25 – Modelo de alvenaria chapiscado e preparado para revestimento



Após a secagem do chapisco é executado o revestimento, vertendo-se a argamassa manualmente em camada única no modelo visando aproximação com execução de revestimentos *in loco*. Para controle da espessura do revestimento e sarrafeamento, em vez de taliscas foi feito um gabarito pré-moldado com 11 cm de largura com tábuas de madeira pinus. Após a execução do revestimento os modelos devem ser dispostos deitados como mostrado na Figura 26 por pelo menos 1 dia para cura, que será de 28 dias para execução do ensaio.

Figura 26 – Modelos de alvenaria executados e armazenados para cura



Passados 27 dias, deve-se realizar a colagem de 10 pastilhas metálicas no revestimento utilizando adesivo a base de epóxi, com intervalo de secagem de pelo menos 24 horas antes da realização do ensaio.

Figura 27 – Processo de preparação da cola



Conforme normativa, as pastilhas foram distribuídas com uma distância mínima de 20 mm entre si, de forma a contemplar o arrancamento tanto nos planos dos blocos cerâmicos quanto nas juntas de argamassa de assentamento. Além disso, as pastilhas devem ser posicionadas afastadas em 40 mm das bordas do modelo de alvenaria, evitando a colagem em falhas no revestimento.

Para a execução do corte do revestimento apenas para delimitação dos corpos de prova, foi utilizada serra copo diamantada, específica para cortes em argamassa, nos 4 modelos de alvenaria dos traços de filito 1:1:6; 1:0,75:6; 1:0,5:6; 1:0,25:6. Porém como não foi possível cumprir com precisão o limite da norma de 1 mm de profundidade de corte, optou-se para os 8 modelos restantes executar a delimitação dos corpos de prova manualmente. A Figura 28 apresenta a distribuição das pastilhas nos modelos de alvenaria.

Figura 28 – Delimitação dos corpos de prova e colagem das pastilhas



Os modelos serão ensaiados com 28 dias de idade, onde será aplicada uma força em uma velocidade de 250 N/s com o aparelho de arrancamento automático da SOLOTEST. Após o arrancamento foram medidos os diâmetros dos corpos de prova resultantes. Como a face de rompimento dos corpos de prova não apresentaram

diâmetro constantes, foi feita a medição de 2 diâmetros, considerando dessa forma o diâmetro médio do CP para o cálculo da tensão. Na Figura 29 são mostrados os corpos de prova após a execução do ensaio.

Figura 29 – Traços ricos em cimento de Filito



Para os corpos de prova com plano de falha similar ao apresentado na Figura 29, foram tiradas medidas dos 2 diâmetros perpendiculares externos e de diâmetro do furo onde se encontra o vazio em decorrência da perfuração do emboço pela guia da serra copo. Já para os corpos de prova com plano de falha similar ao apresentado na Figura 30, foram tomadas as medidas de 2 diâmetros perpendiculares.

Figura 30 – Processo de medição de diâmetro de CP



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTADO FRESCO

#### 4.1.1 Índice de Consistência e Relação Água/Cimento

A Tabela 9 apresenta os resultados da primeira tomada de ensaios.

Tabela 9 - Índice de Consistência (mm) obtidos para cada traço

Material	Traço	Relação A/C	Consistência (mm)
Filito	1 : 1 : 6	1,95	258,4
	1 : 0,75 : 6	1,95	261,4
	1 : 0,5 : 6	1,7	263
	1 : 0,25 : 6	1,77	257,2
	1 : 2 : 9	3,25	261
	1 : 1,5 : 9	3,25	263,4
	1 : 1 : 9	3	261,8
	1 : 0,5 : 9	3	264
Cal	1 : 3 (1 : 1 : 6)	2,25	262,3
	1 : 3 (1 : 2 : 9)	4,125	255,2
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	2,25	261,18
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	3,3	264,2

Após as observações feitas na primeira tomada de ensaios a partir da Tabela 9, efetuou-se o cálculo da quantidade de aditivo, utilizando massa de aditivo igual a 3% da massa de cimento, de acordo com os resultados obtidos para o teor ótimo de aditivo, e então procedeu-se para a execução da mistura e golpes da mesa de consistência. Na Tabela 10 encontram-se os valores de consistência, relação água/cimento e o traço das amostras executadas, juntamente com a quantidade em massa (g) de aditivo plastificante utilizado.

Tabela 10 - Índice de Consistência (mm) obtidos para cada traço com incorporação de aditivo

Material	Traço	Relação A/C	Aditivo (g)	IC (mm)
Filito	1 : 1 : 6	1,88	10,11	256,7
	1 : 0,75 : 6	1,8	10,39	259,2
	1 : 0,5 : 6	1,625	10,94	263,6
	1 : 0,25 : 6	1,75	10,82	256,5
	1 : 2 : 9	3	6,60	262
	1 : 1,5 : 9	3	6,72	264,8
	1 : 1 : 9	2,75	7,11	258,3
	1 : 0,5 : 9	2,75	7,21	260
Cal	1 : 3 (1 : 1 : 6)	2,25	0	262,3
	1 : 3 (1 : 2 : 9)	4,125	0	255,2
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	2,25	0	261,18
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	3,3	0	264,2

Na segunda tomada de ensaios, apresentada na Tabela 10, foi possível observar que o aditivo reduziu a relação água/cimento dos traços em uma porcentagem máxima de 9,03%. Essa redução de água obtendo a consistência padrão é benéfica, principalmente por reduzir a evaporação de água e reduzir exsudação, retração e fissuração no revestimento (SILVA *et.al.*, 2016), e os traços de filito apresentaram uma trabalhabilidade melhor e maior uniformidade na textura superficial com a adição do plastificante.

Como a cal utilizada apresenta diâmetro máximo característico menor que o filito, caracterizando um material mais fino, as argamassas produzidas com este material tiveram os maiores valores de relação a/c. Na primeira tomada de ensaios, nas argamassas de filito, a relação a/c do traço 1:1:6 foi 13,33% menor do que a relação obtida com o mesmo traço de argamassa com cal, e no traço 1:2:9 a argamassa de filito teve como resultado um fator a/c 21,21% menor do que o valor obtido para o mesmo traço produzido com cal.

Já nos traços com blenda, para a relação 1:0,5:1,5:9 de cimento:areia, foi possível perceber que a adição de filito como parte da fração de cal diminuiu consideravelmente a quantidade de água necessária para se obter a consistência padrão, porém manteve a mesma relação a/c para o traço com relação 1:0,25:0,75:6

de cimento e areia.

#### 4.1.2 Densidade de Massa Aparente e Teor de Ar Incorporado

Durante a execução do ensaio, no processo de confecção dos corpos de prova tanto para secagem quanto para o ensaio, foi possível perceber que a argamassas com maior fração de filito apresentavam um peso aparente maior, e durante a execução da mistura houve uma dificuldade maior de se realizar a mistura com as argamassas com maior quantidade de filito, tanto manualmente quanto com a utilização do misturador mecânico.

Tabela 11 - Massa específica aparente no estado fresco para cada traço

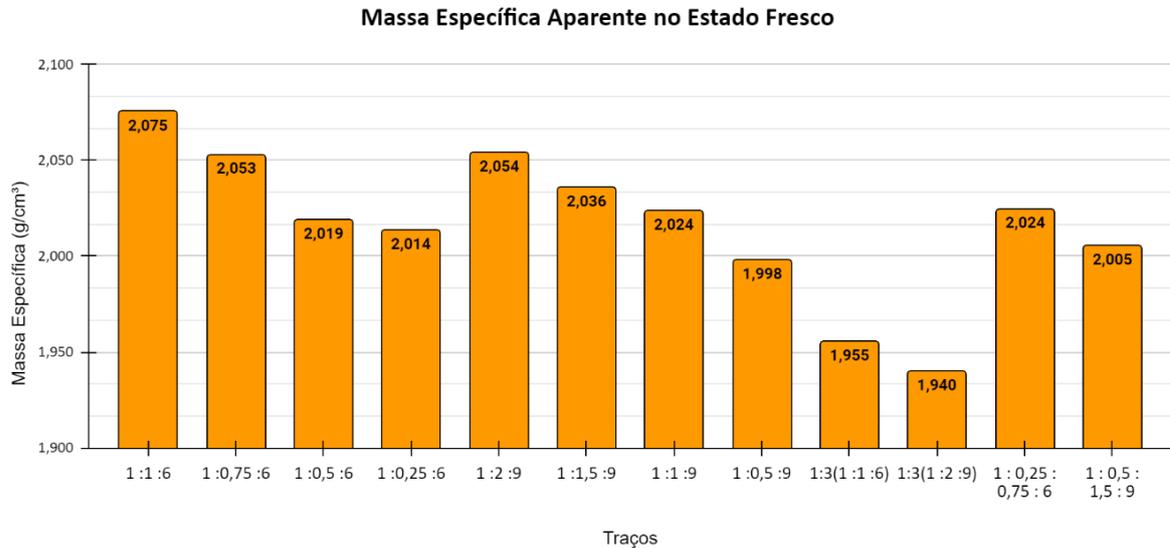
Material	Traço	Massa Específica EF (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Ar Incorporado (%)
Filito	1 : 1 : 6	2,075	2,495
	1 : 0,75 : 6	2,053	3,979
	1 : 0,5 : 6	2,019	6,867
	1 : 0,25 : 6	2,014	5,711
	1 : 2 : 9	2,054	2,219
	1 : 1,5 : 9	2,036	2,691
	1 : 1 : 9	2,024	4,321
	1 : 0,5 : 9	1,998	5,139
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	1,999	1,423
	1:3 (1 : 2 : 9)	1,973	2,832
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	2,024	1,253
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	2,005	2,129

Na Tabela 11 encontram-se os valores de massa específica no estado fresco e os valores em porcentagem do teor de ar incorporado e traço final das argamassas confeccionadas. Com os dados da tabela foram feitos os gráficos de Massa específica aparente no estado fresco (Figura 31) e teor de ar incorporado (Figura 32).

Além das características dos materiais utilizados, é possível observar que o teor de ar incorporado foi um fator que também influenciou a massa específica no estado fresco, em uma relação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o

teor de ar incorporado menor a massa específica no estado fresco.

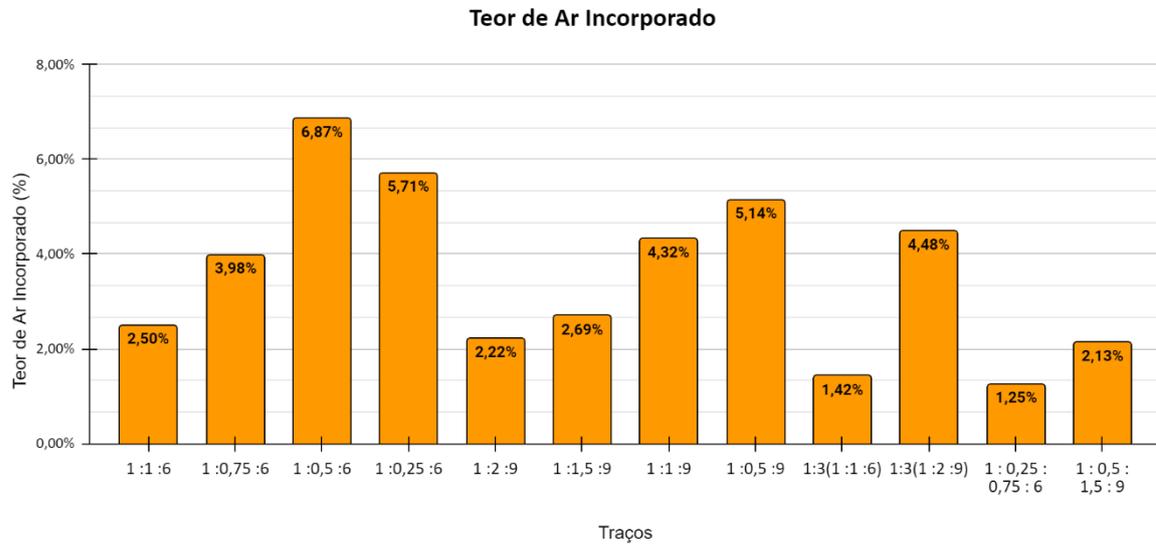
Figura 31 - Massa Específica Aparente no Estado Fresco



Com o gráfico da Figura 31 é possível concluir que o filito aumenta a massa específica final da argamassa, e conseqüentemente seu peso final no estado fresco. Sua adição em 25 % da fração de cal para produzir os traços com blenda ocasionaram um aumento da massa específica em relação aos traços produzidos com apenas cal, e observando os traços produzidos apenas com filito é possível observar que quanto menor a proporção de filito no traço menores os valores de massa específica, com isso as argamassas com maiores frações de filito necessitam de maior esforço durante operações de manuseamento e lançamento.

Esse resultado condiz com as características dos materiais utilizados para a produção dos traços, pelo fato do filito utilizado possuir uma massa específica 11,62% maior do que a massa específica da cal utilizada.

Figura 32 - Teor de Ar Incorporado



A partir da análise do gráfico de teor de ar incorporado da Figura 32, é possível observar que houve maior incorporação de ar nos traços de argamassa com presença de aditivo, ou seja, as argamassas de filito, o que reflete que os aditivos plastificantes também são incorporadores de ar, como observado também no trabalho feito por Silva et al. (2016). Nesses traços também é possível notar que o filito reduz o teor de ar incorporado em argamassas como observado por Oliveira e Menezes (2015), pois nos traços com maiores frações de filito como por exemplo 1:1:6 e 1:2:9, os teores de ar incorporado mesmo com a presença de aditivos plastificantes, apresentaram valores menores ou muito próximos aos valores dos mesmos traços produzidos com cal e blenda.

#### 4.1.3 Retenção de Água

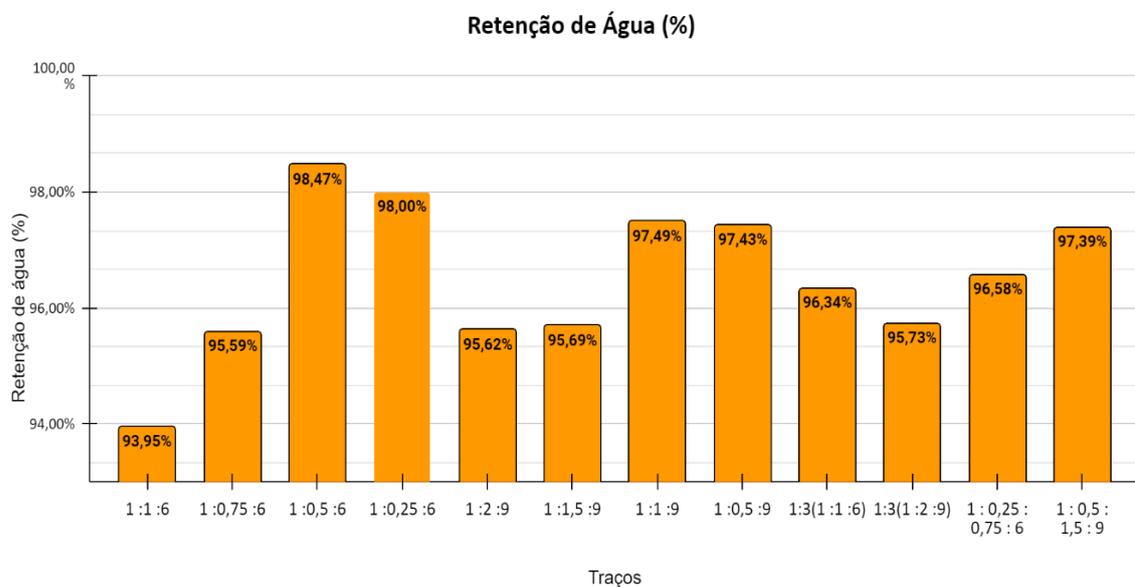
No ensaio de retenção de água foi possível observar uma relação entre o teor de ar incorporado com e sem a utilização de aditivo nos traços e a retenção de água.

Tabela 12 - Retenção de água

Material	Traço	Relação A/C	Retenção de Água (%)
Filito	1 : 1 : 6	1,88	93,95
	1 : 0,75 : 6	1,8	95,59
	1 : 0,5 : 6	1,625	98,47
	1 : 0,25 : 6	1,75	98
	1 : 2 : 9	3	95,62
	1 : 1,5 : 9	3	95,69
	1 : 1 : 9	2,75	97,49
	1 : 0,5 : 9	2,75	97,43
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	2,25	96,34
	1:3 (1 : 2 : 9)	4,125	95,73
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	2,25	96,58
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	3,3	97,39

Na Tabela 12 encontram-se os valores de retenção de água e teor de ar incorporado em porcentagem, juntamente com a relação água/cimento e o traço final das argamassas. Todos os traços apresentaram valores de retenção de água acima dos 90%. Com os dados da tabela foi feito o gráfico de retenção de água (Figura 33).

Figura 33 - Gráfico Comparativo de Retenção de Água



Pela análise dos resultados, é possível observar que a retenção de água cresceu de maneira diretamente proporcional ao teor de ar incorporado nos traços produzidos com filito, resultados semelhantes estão presentes no trabalho de Silva et.al (2016), que foram analisadas argamassas cimentícias com incorporação de aditivo plastificante, concluindo que não houve relação entre a capacidade de incorporação de ar do aditivo plastificante e a retenção de água dos traços.

A redução da fração de filito nos traços ocasionou redução da relação  $a/c$ , conseqüentemente reduzindo a quantidade de água presente na argamassa, que segundo Casali et.al (2011) pode ser uma das causas de maior retenção de água ao longo do tempo. Isso, juntamente com a capacidade do aditivo plastificante de reduzir a exsudação nos traços de filito, foram fatores determinantes para a alta capacidade de retenção de água nos traços com menores frações deste material, sendo possível a utilização de menor fração de filito em traços de argamassa, obtendo uma retenção de água maior ou próxima aos valores em relação aos traços usuais de cal.

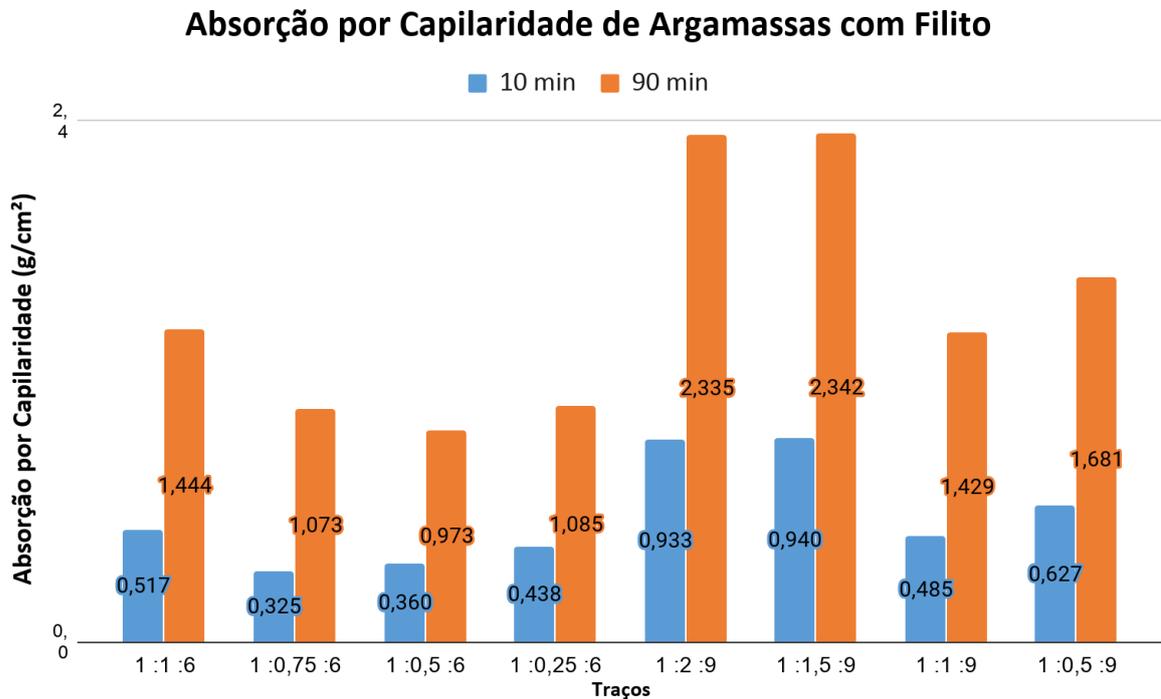
Como não foi utilizado aditivo plastificante nas argamassas de cal e blenda, foi possível verificar que a retenção de água aumenta de forma inversamente proporcional ao teor de ar incorporado, de forma semelhante ao observado por Oliveira e Menezes (2015) em argamassas sem utilização de aditivo plastificante. A mistura de filito e cal para produzir as argamassas com blenda ocasionou uma redução no teor de ar incorporado e de relação  $A/C$  quando comparados com os resultados obtidos para argamassas de cal, aumentando assim a capacidade de retenção de água.

## 4.2 ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Absorção de Água e Coeficiente de Capilaridade

De modo a possibilitar uma melhor visualização, os resultados serão apresentados de forma separada. Primeiramente, são apresentados os resultados de absorção de água por capilaridade dos traços de argamassa produzidos com filito (Figura 34). As curvas de absorção durante o tempo para argamassas com filito são mostradas nas Figuras 35 e 36.

Figura 34 - Gráfico Comparativo de Absorção por Capilaridade aos 10 e 90 minutos (filito)



Com a utilização de aditivo plastificante nos traços de filito, é possível observar uma relação inversamente proporcional entre o teor de ar incorporado e a absorção de água por capilaridade, pois os traços com maiores valores de ar incorporado apresentaram uma capacidade de absorção de água menor ou próxima aos traços com menor teor de ar incorporado. Isso significa que os vazios criados pela incorporação de ar feita pelo aditivo não influenciou ou influenciou minimamente a absorção por capilaridade.

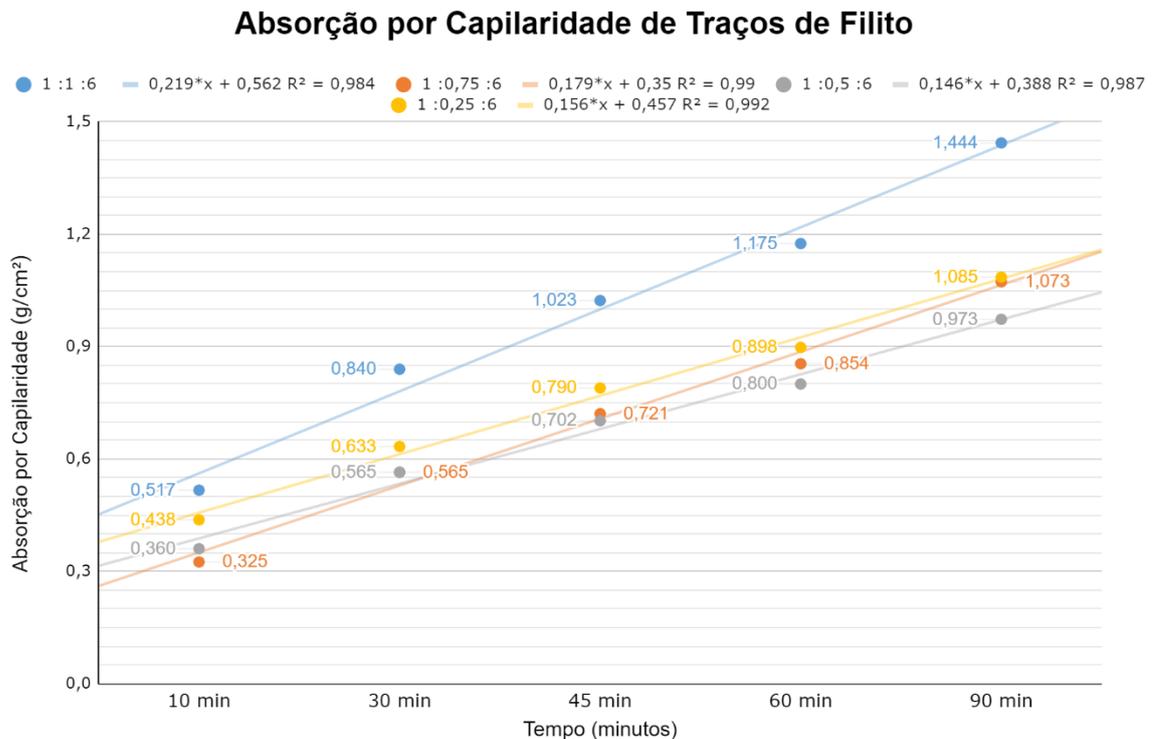
Ressalta-se que a absorção de água foi menor nos traços que possuem maiores teores de cimento. Segundo Melo et.al (2007) a redução da capilaridade com o aumento do teor de cimento ocorre em função do preenchimento dos vazios pelos produtos da hidratação do cimento. A Tabela 13 mostra os valores em porcentagem do teor de cimento para cada traço.

Tabela 13 - Teor de Cimento nos Traços

Material	Traço	Teor de Cimento (%)
Filito	1 : 1 : 6	6,88
	1 : 0,75 : 6	7,03
	1 : 0,5 : 6	7,25

	1 : 0,25 : 6	7,30
	1 : 2 : 9	4,55
	1 : 1,5 : 9	4,65
	1 : 1 : 9	4,81
	1 : 0,5 : 9	4,93
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	6,81
	1:3 (1 : 2 : 9)	4,41
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	6,78
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	4,56

Figura 35 – Curvas de Absorção por capilaridade de Traços de filito (1:6 cimento e areia)

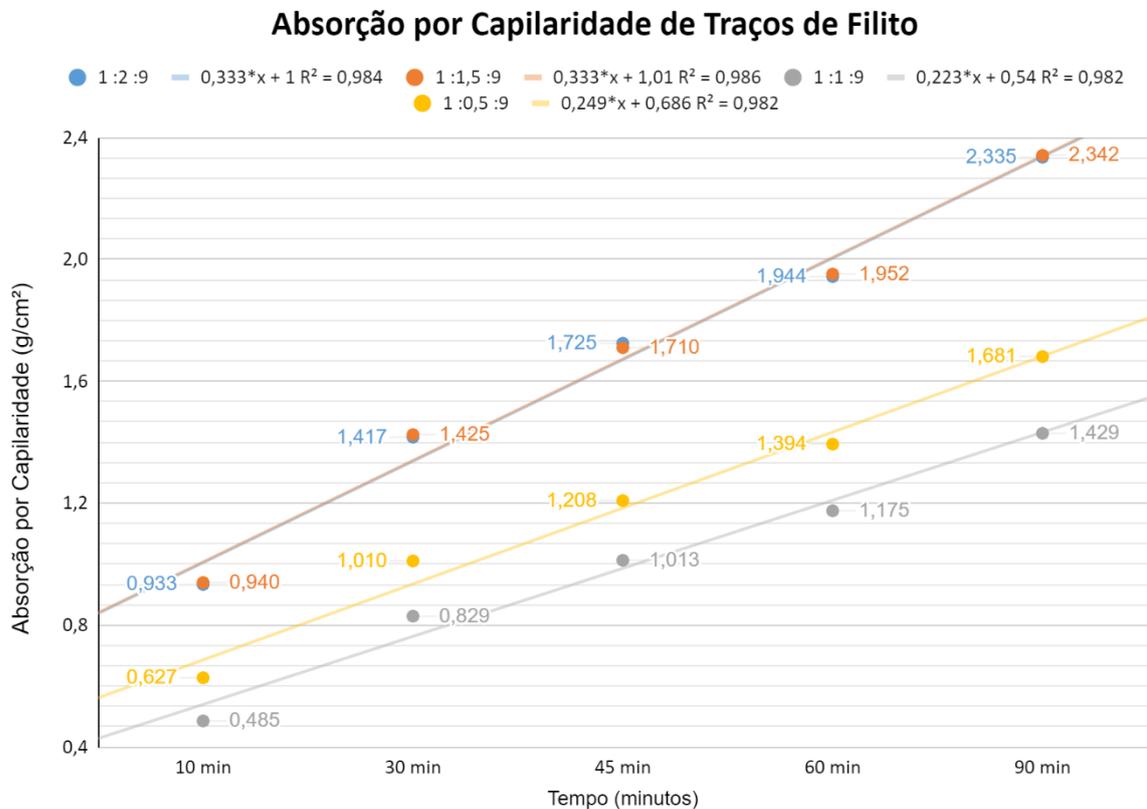


A Figura 35 apresenta as curvas de absorção dos traços ricos em cimento produzidos com filito. Do gráfico observa-se que a absorção de água do traço 1:1:6, com o menor teor de cimento, aumentou de maneira considerável ao longo do tempo, principalmente no intervalo de tempo de 60 a 90 minutos em relação aos outros traços, em que as curvas se desenvolveram de maneira mais suave neste intervalo.

As inclinações mais suaves ocorreram nas curvas dos traços 1:0,5:6 e 1:0,25:6, ambos com valores de teor de cimento muito próximos e com menores fatores água/cimento, permitindo a entrada gradual de água de forma mais lenta conforme a

passagem de tempo.

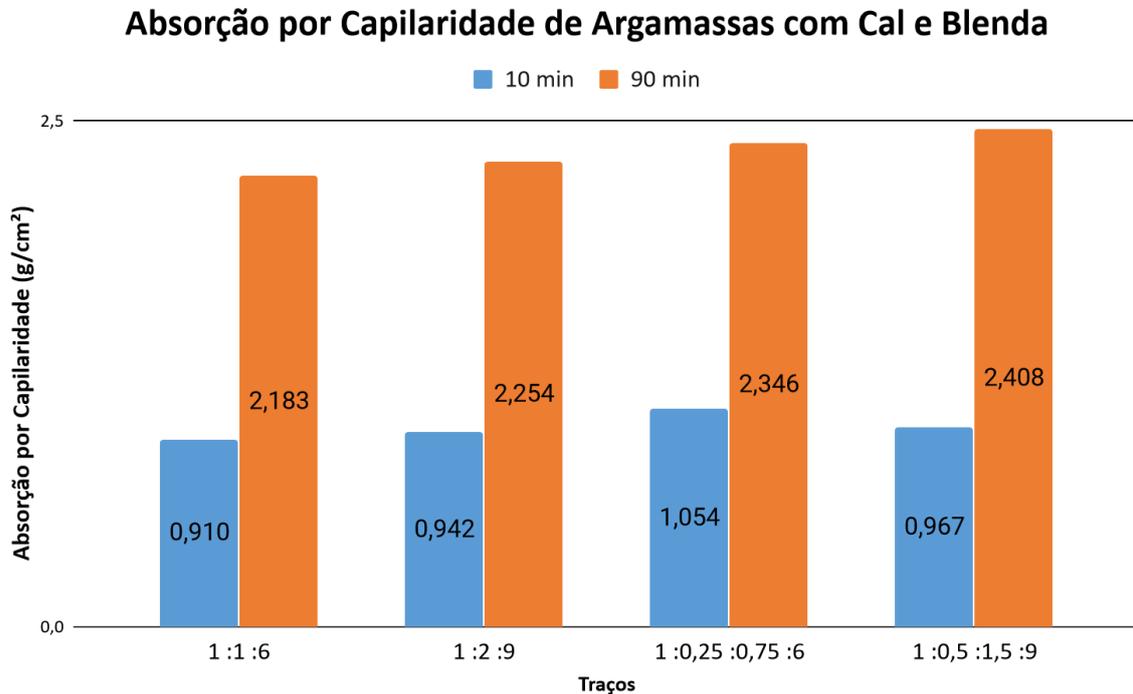
Figura 36 - Curvas de Absorção por capilaridade de Traços de filito (1:9 cimento e areia)



A Figura 36 apresenta as curvas de absorção dos traços pobres produzidos com filito. Do gráfico observa-se que a absorção de água do traço 1:2:9 e 1:1,5:9, com os menores teores de cimento, aumentaram de maneira considerável ao longo do tempo e semelhante ao ocorrido em resultados anteriores de retenção de água e massa específica, ambos os traços apresentaram praticamente o mesmo comportamento físico e características físicas, neste caso, apresentaram a mesma capacidade de absorção por capilaridade.

Os traços com redução em 50% da fração inicial de filito obtiveram os maiores resultados de retenção de água, valores próximos de massa específica aparente no estado fresco e os menores valores de absorção por capilaridade.

Figura 37 - Gráfico Comparativo de Absorção por Capilaridade aos 10 e 90 minutos (cal e blenda)

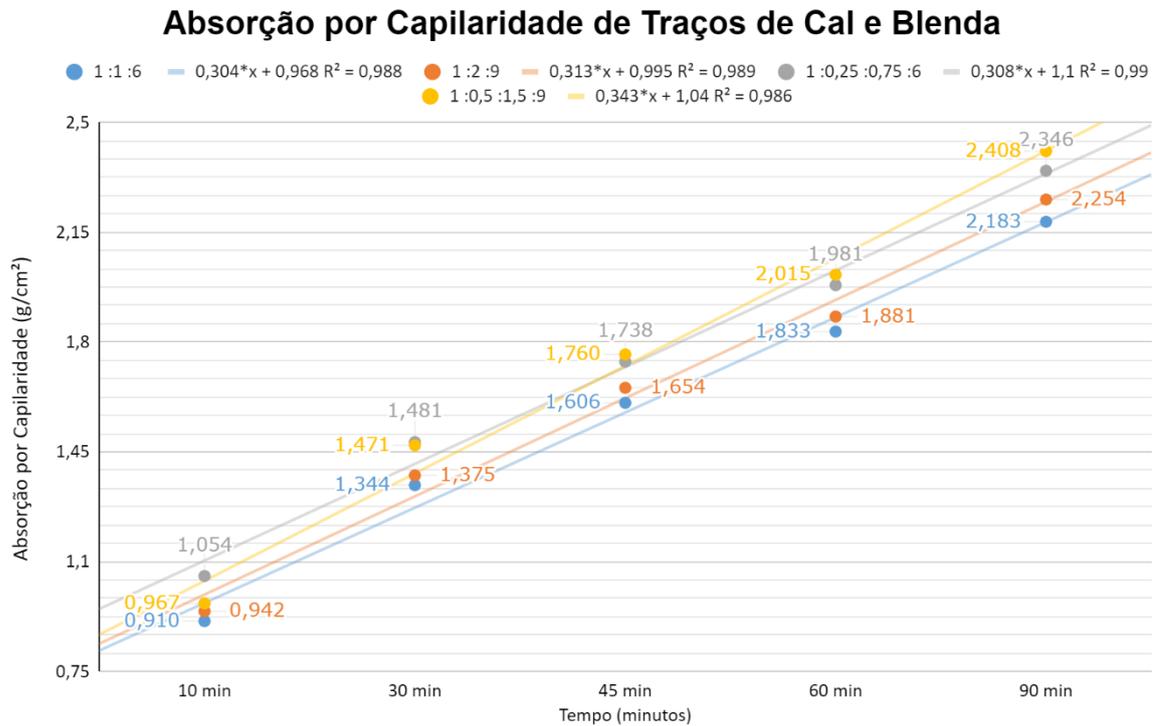


A partir da Figura 35 e 37, efetuando a comparação entre os traços ricos de cal, blenda e filito, verifica-se que as argamassas com apenas filito obtiveram os menores valores de absorção por capilaridade, a diferença entre as argamassas produzidas com os três materiais é o teor de cimento, que tem valor mais alto nos traços de filito, além do aditivo plastificante.

No caso dos traços pobres, as argamassas com blenda e cal tiveram resultados de absorção e valores de teor de cimento muito próximos aos traços 1:2:9 e 1:1,5:9 de filito, porém, com a redução da filito nos traços 1:1:9 e 1:0,5:9 ocorreu a redução da absorção pelo aumento do teor de cimento, tal resultado se apresenta de forma semelhante no estudo de Melo et.al (2007), em que nas argamassas com maior teor de cal a capilaridade foi maior devido à menor quantidade de poros preenchidos.

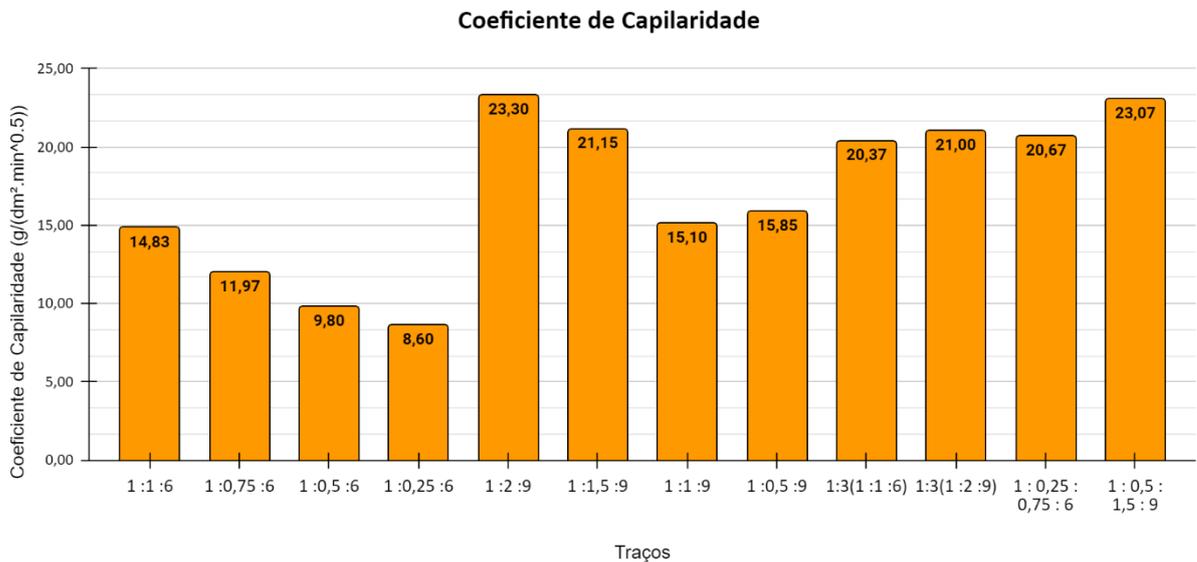
Analisando os resultados dos traços com blenda, verifica-se que a adição de filito na argamassa sem a utilização de aditivo plastificante aumenta a absorção de água, mesmo ocorrendo a redução do teor de ar incorporado em relação às argamassas de cal, resultado também observado por Oliveira e Menezes (2015).

Figura 38 - Curvas de Absorção por capilaridade de Traços de cal e blenda



As curvas de absorção dos traços de blenda e cal (Figuras 38 e 39) apresentaram comportamento muito semelhante, a adição da parcela de 25% de filito na fração de cal não alterou significativamente o comportamento físico da argamassa, porém incorporou as vantagens da utilização do filito como melhora da retenção de água com a boa trabalhabilidade proporcionada pela cal.

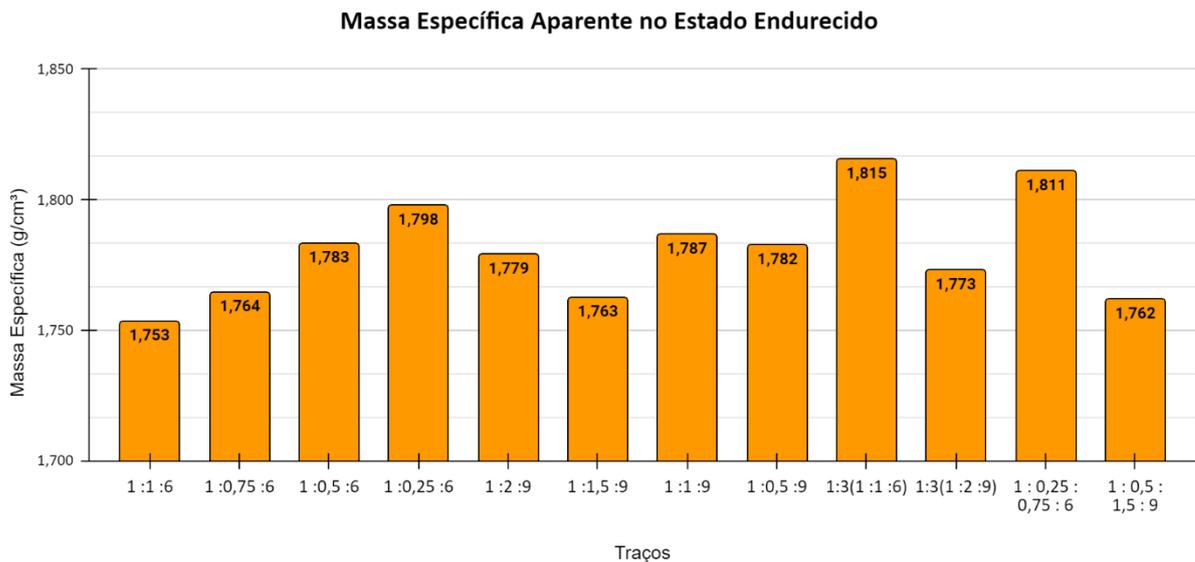
Figura 39 - Gráfico de Coeficiente de Capilaridade



#### 4.2.2 Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido

A Figura 40 apresenta os resultados do ensaio de forma comparativa entre os traços produzidos.

Figura 40 - Massa Específica Aparente no Estado Endurecido



Os resultados mostram uma nítida relação entre o coeficiente de capilaridade e a massa específica. Quanto maior o coeficiente de capilaridade, ou maior a absorção de água, menor o valor de massa específica no estado endurecido.

Portanto pode-se afirmar que a massa específica cresce inversamente proporcional à absorção de água. Porém não houve relação direta entre a massa específica e o teor de ar incorporado, pois a adição da fração de filito reduziu o teor de ar incorporado nos traços de cal e ocasionou um aumento na absorção de água.

#### 4.2.3 Resistência à Tração na Flexão e Compressão

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam os resultados de resistência à tração na flexão e compressão axial das argamassas ensaiadas aos 7, 14 e 70 dias. Com estes valores é possível estimar a resistência mecânica dos CPs aos 28 dias de idade<sup>1</sup>. Inicialmente é possível observar uma redução na resistência mecânica entre os 7 e 14 dias na maior parte das argamassas produzidas com filito, fato que não se mantém entre os 14 e 70 dias de idade, ocorrendo aumento ou valores constantes de resistência de todos os traços ensaiados.

<sup>1</sup>, Ensaio não realizado aos 28 dias devido ao fechamento do Laboratório de Tecnologia do Concreto da Itaipu durante a pandemia do Covid-19.

Tabela 14 - Resistência à tração e compressão dos traços de filito

Argamassas com filito						
Traço	Resistência à Tração na Flexão (MPa)			Resistência à Compressão (MPa)		
	7 dias	14 dias	70 dias	7 dias	14 dias	70 dias
1 : 1 : 6	0,69	0,84	1,17	0,91	0,89	1,76
1 : 0,75 : 6	0,59	0,52	0,94	0,72	0,86	1,49
1 : 0,5 : 6	0,79	0,82	1,17	1,42	1,39	1,76
1 : 0,25 : 6	0,98	0,93	2,11	2,34	2,17	3,23
1 : 2 : 9	0,35	0,34	0,39	0,89	0,96	1,00
1 : 1,5 : 9	0,52	0,51	0,63	1,04	1,00	1,08
1 : 1 : 9	0,66	0,60	1,02	1,38	1,34	1,51
1 : 0,5 : 9	0,63	0,56	0,94	1,19	1,18	1,99

Tabela 15 - Resistência a tração e compressão dos traços de blenda

Argamassa com blenda						
Traço	Resistência à Tração na Flexão (MPa)			Resistência à Compressão (MPa)		
	7 dias	14 dias	70 dias	7 dias	14 dias	70 dias
1 : 0,25 : 0,75 : 6	0,41	0,52	1,09	1,34	1,40	1,65
1 : 0,5 : 1,5 : 9	0,30	0,34	0,55	0,74	0,79	0,84

Tabela 16 - Resistência à tração e compressão dos traços de cal

Argamassa com cal						
Traço	Resistência à Tração na Flexão (MPa)			Resistência à Compressão (MPa)		
	7 dias	14 dias	70 dias	7 dias	14 dias	70 dias
1:3 (1 : 1 : 6)	0,52	0,68	1,02	1,52	1,59	2,03
1:3 (1 : 2 : 9)	0,28	0,30	0,31	1,04	1,06	1,10

Com os resultados obtidos, foram feitas as curvas de resistência de todos os traços, e com o auxílio do software Excel foram obtidas as equações das linhas de tendência para cada traço, considerando os valores de  $R^2$  mais próximos a 1 para cada curva. Com as equações obtidas, foram determinadas as resistências aproximadas aos 28 dias de idade dos corpos de prova mostradas na tabela 17.

Tabela 17 - Resistência aproximada à tração e compressão das argamassas ensaiadas

Argamassas com Filito				
Traço	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	R <sup>2</sup> Tração na Flexão	Resistência à Compressão (MPa)	R <sup>2</sup> Compressão
1 : 1 : 6	0,98	1	1,34	0,902
1 : 0,75 : 6	0,75	0,944	1,16	0,984
1 : 0,5 : 6	0,99	0,951	1,59	0,869
1 : 0,25 : 6	1,55	0,981	2,75	0,813
1 : 2 : 9	0,37	0,78	0,97	0,861
1 : 1,5 : 9	0,57	0,867	1,04	0,988
1 : 1 : 9	0,83	0,826	1,44	0,995
1 : 0,5 : 9	0,77	0,794	1,60	0,92
Argamassas com Blenda				
1 : 0,25 : 0,75 : 6	0,79	0,975	1,52	0,986
1 : 0,5 : 1,5 : 9	0,44	0,977	0,81	0,956
Argamassas com Cal				
1:3 (1 : 1 : 6)	0,82	0,999	1,80	0,975
1:3 (1 : 2 : 9)	0,30	0,95	1,08	0,997

As curvas de resistência foram atualizadas após os cálculos das resistências aproximadas aos 28 dias.

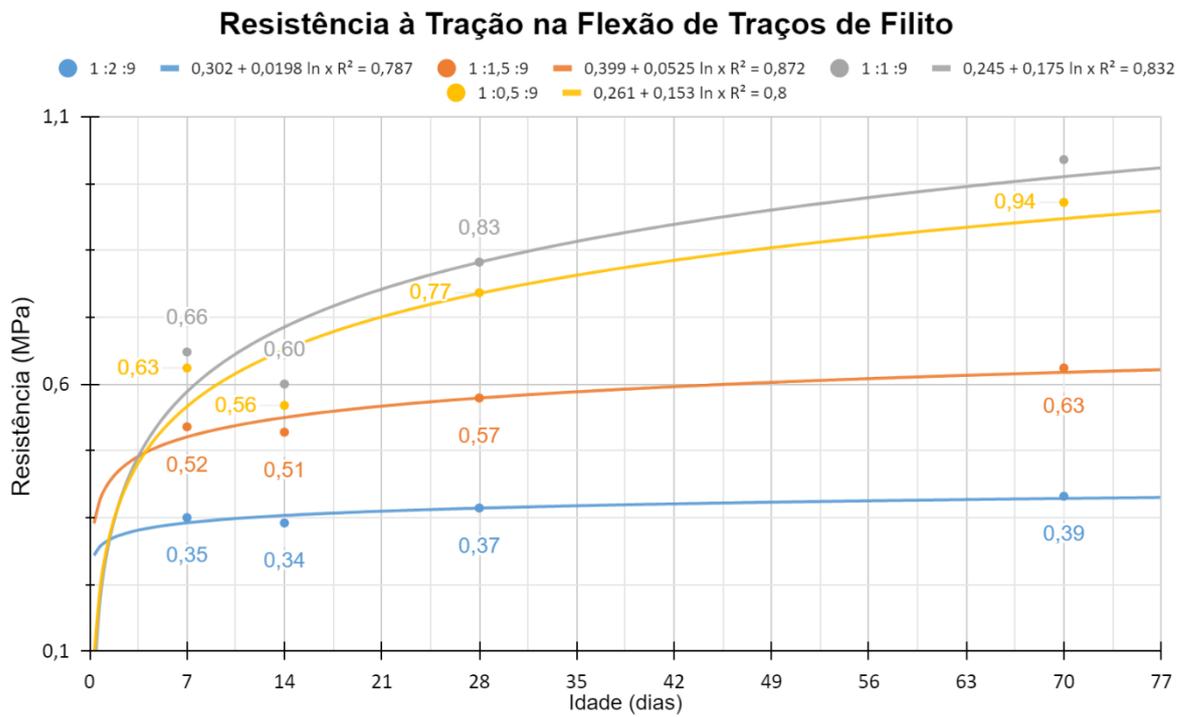
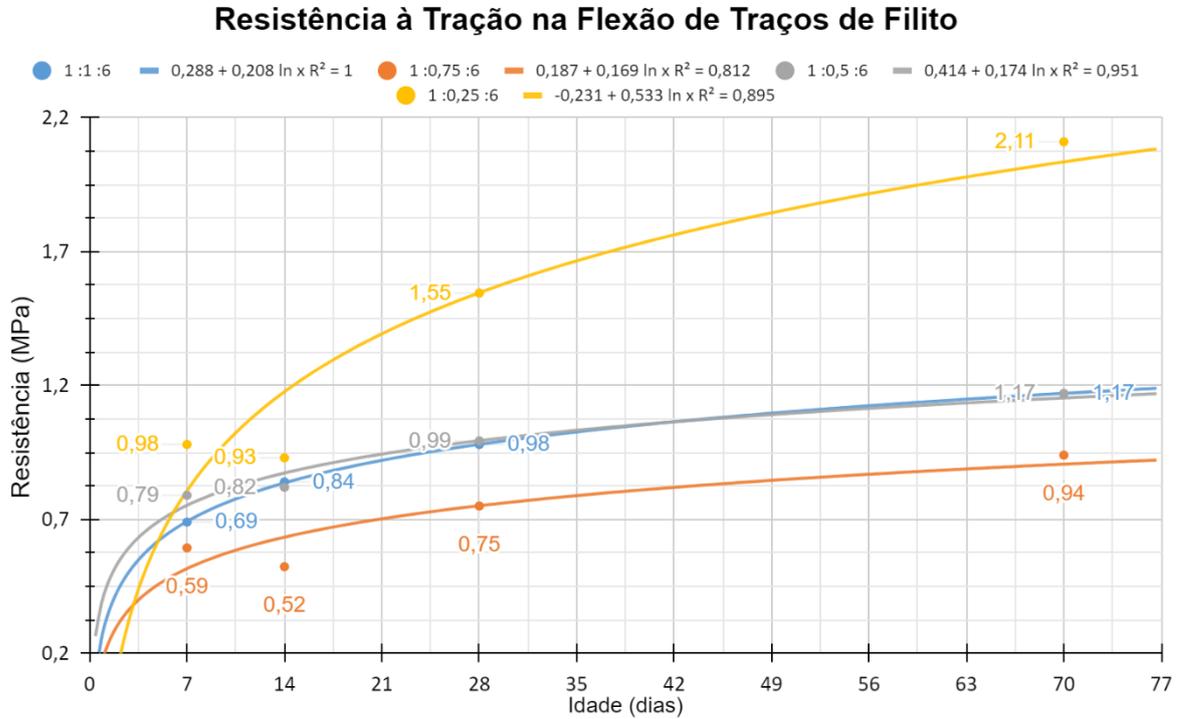
Os traços com filito apresentaram os maiores resultados de resistência à tração na flexão, porém a utilização de maiores frações de filito ocasionou a redução da resistência. É possível verificar a relação inversamente proporcional entre os valores de fator água/cimento e resistência mecânica, pois os traços de filito com menores fatores A/C apresentaram os maiores valores de resistência,

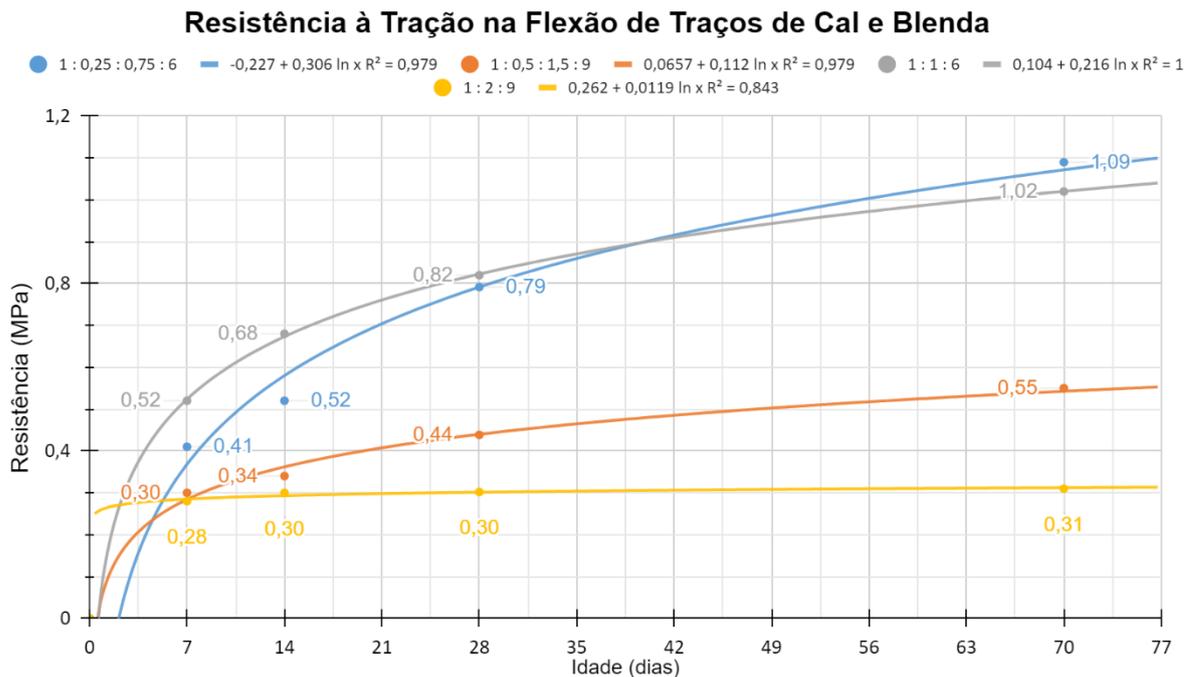
Os traços de blenda apresentam valores de resistência próximos ou superiores em relação aos traços de cal. É possível afirmar que a adição de filito em argamassas de cal ocasiona uma melhora na resistência à tração na flexão ao longo do tempo.

Considerando a semelhança de resultados dos traços ricos de cal e blenda, vale observar que a relação água/cimento destes traços têm o mesmo valor, enquanto nos traços pobres, a blenda apresenta uma relação água/cimento consideravelmente

menor, ocasionando a maior diferença nos resultados. A figura 41 apresenta as curvas de resistência a tração na flexão para os traços com filito ricos em cimento

Figura 41 - Curvas de Resistência à Tração na Flexão



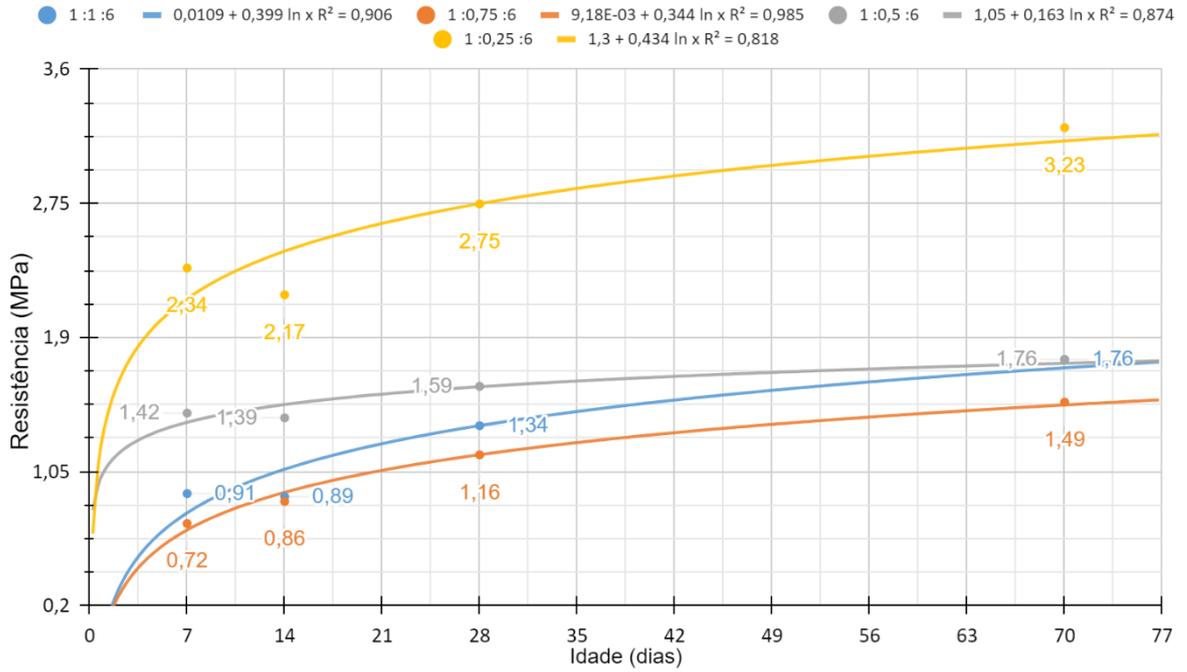


Assim como visto nos resultados de resistência à tração na flexão, os traços com filito apresentaram os maiores resultados de resistência à compressão de acordo com a redução das frações deste material, que ocasionou redução do fator água/cimento.

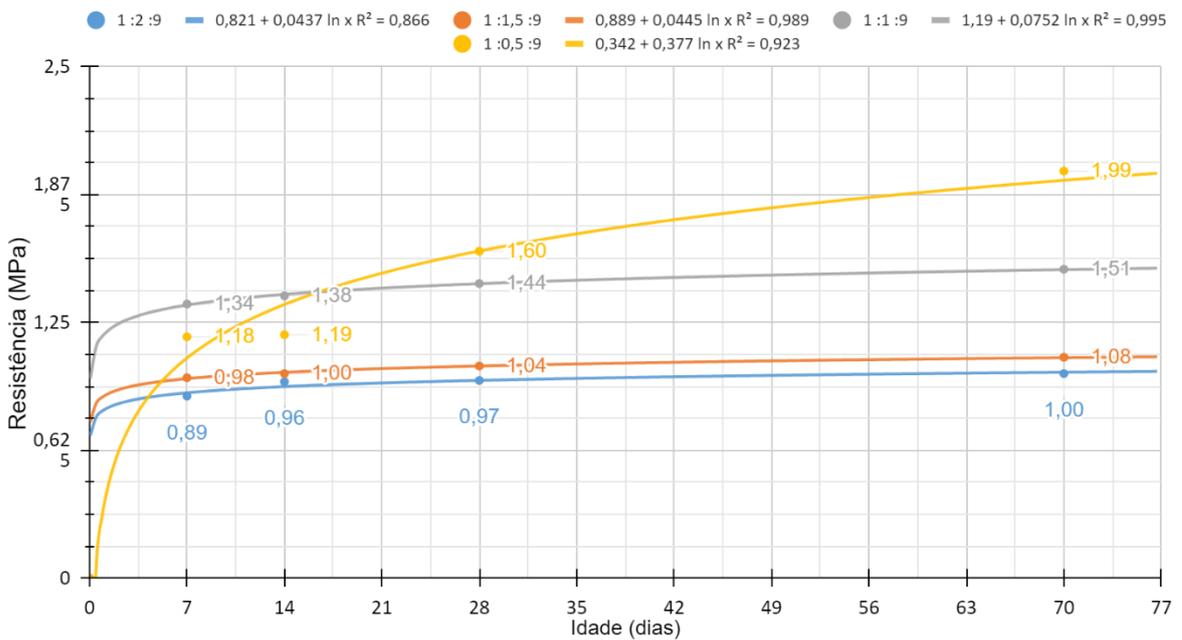
De forma oposta ao ocorrido na resistência a tração, os traços produzidos com cal apresentaram resultados maiores comparando-os com as mesmas relações 1:1:6 e 1:2:9 de argamassas com filito e blenda. Diferente do observado nos trabalhos de Oliveira e Menezes(2012) e Silva et.al. (2016), não houve relação entre a redução do teor de ar incorporado com a resistência, com isso conclui-se que os fatores que mais influenciaram a resistência nos traços foi o fator água/cimento e o teor de cimento nas argamassas.

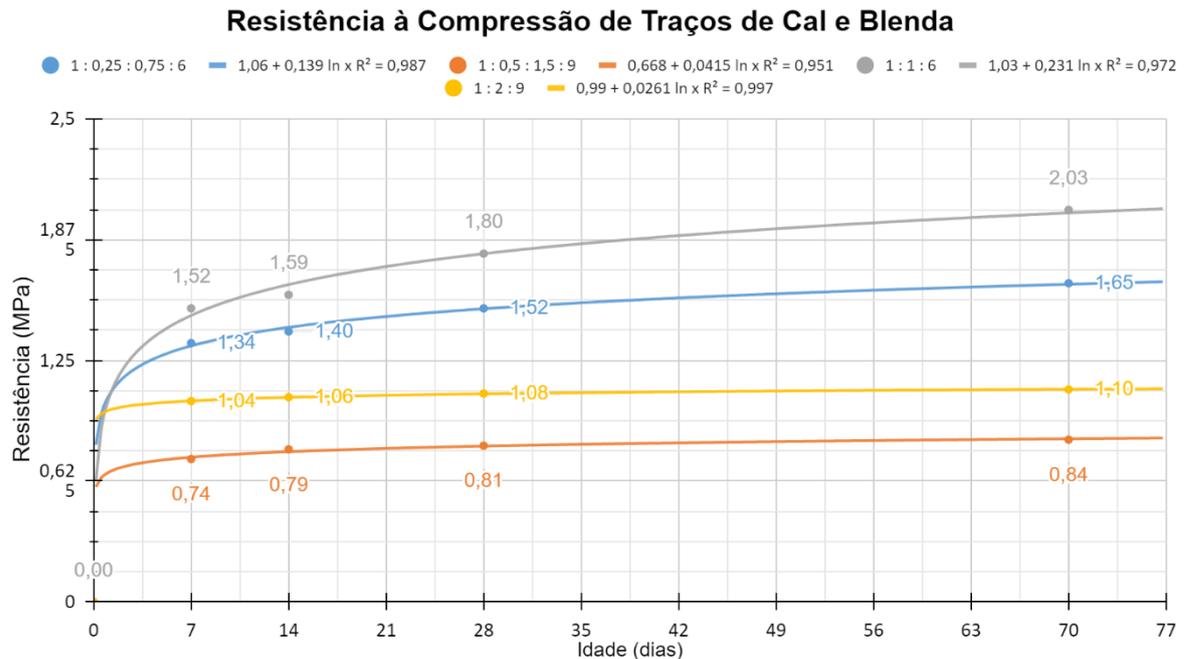
A cal se apresentou como um material melhor para se obter maior resistência a compressão nos traços típicos pelo fato de também funcionar como um aglomerante auxiliando o cimento, já o filito, sendo um material inerte faz com que apenas o cimento trabalhe como aglomerante, por isso a redução da fração de filito auxilia a resistência, pois há menos partículas para o cimento aglomerar e acaba sendo necessária menor quantidade de água para hidratar a argamassa, mas ainda sim o filito apresenta resultados próximos aos obtidos para argamassas de cal, viabilizando seu uso mesmo em maiores frações nas misturas. A Figura 42 apresenta as curvas de resistência a tração na flexão para os traços com filito pobres em cimento.

### Resistência à Compressão de Traços de Filito



### Resistência à Compressão de Traços de Filito





#### 4.2.4 Resistência Potencial de Aderência à Tração

A realização dos ensaios de resistência potencial de aderência à tração, realizados aos 28 dias, devem levar em conta a análise da área de falha dos corpos de prova, uma vez que o rompimento ocorreu apenas na argamassa e com diâmetros variados, inclusive maiores que o diâmetro da pastilha de metal, com isso vem a necessidade de tomar as medidas de diâmetros dos CPs antes do cálculo da tensão de tração.

A seguir nas Figuras 43, 44, 45 e 46 são mostrados os corpos de prova após a execução do ensaio, onde é possível observar que houve rompimento apenas na argamassa de revestimento em todos os CPs, conforme disposições da norma.

Figura 43 – Plano de falha em CPs de traços ricos em cimento de Filito

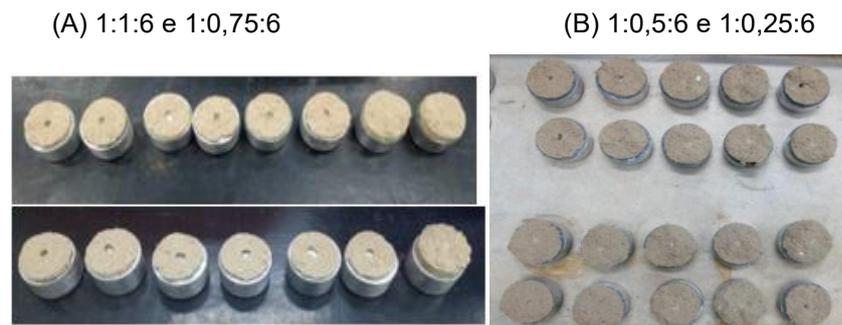


Figura 44 – Plano de falha em CPs de traços pobres em cimento de Filito  
 (C) - Traços 1:2:9 e 1:1,5:9 (D) - Traços 1:1:9 e 1:0,5:9

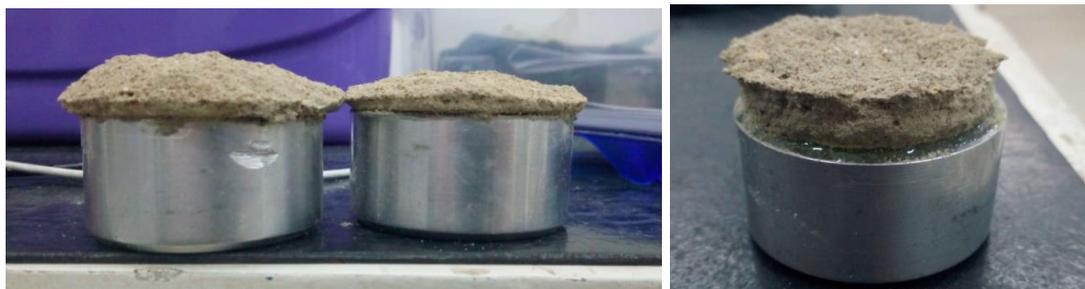


Figura 45 – Plano de falha em CPs de traços de cal e blenda

(C) - Traços 1:0,25:0,75:6 e 1:0,5:1,5:9 (D) - Traços 1:1:6 e 1:2:9



Figura 46 – Vista Lateral de corpos de prova de filito



Ao longo da execução do ensaio, foi possível perceber partículas excessivamente grandes de filito presentes na argamassa, além de partículas com diâmetro similar ao da areia utilizada. Este fato interfere na localização do plano de falha da argamassa e na resistência, o que mostra a pouca exigência no controle de qualidade do beneficiamento do filito, resultado da falta de normativas de controle para o uso deste material em argamassas. A partir da figura abaixo é possível perceber as partículas maiores de filito em branco.

Figura 47 – Corpo de prova de filito  
(A)



(B)

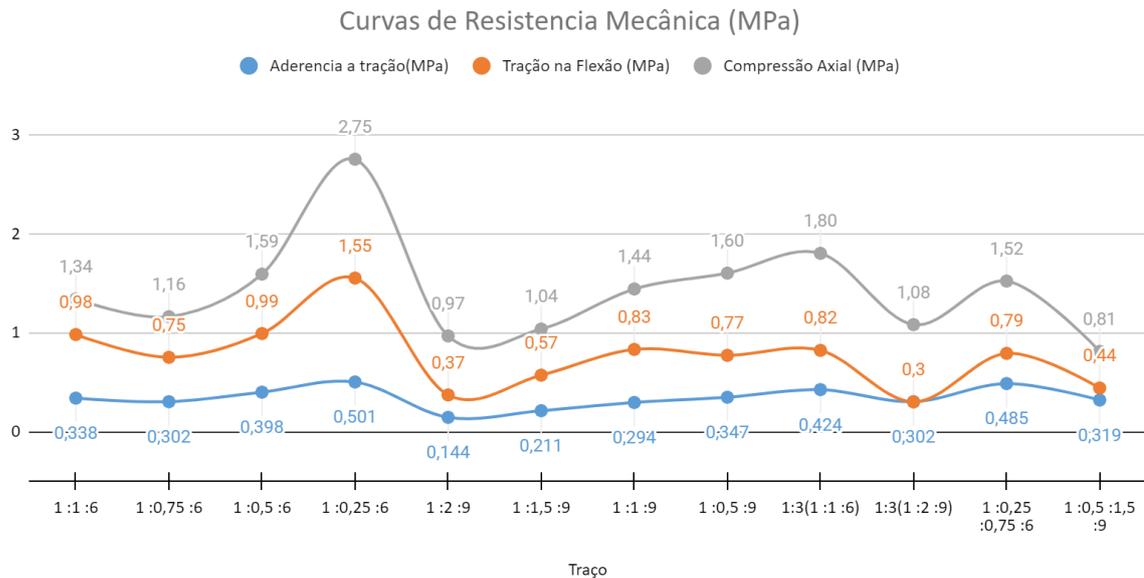


Registradas as forças de arrancamento e medidos os diâmetros de cada corpo de prova, foi montada a tabela 18, com os resultados médios de resistência de 10 determinações em cada modelo de alvenaria, sendo excluídos os valores com desvio relativo superior a 30% da média, ocorrendo recálculo da média conforme normativa.

Tabela 18 – Resultados de resistência potencial de aderência a tração

Material	Traço	Aderência a tração(MPa)	Tração na Flexão (MPa)	Relação A/C
filito	1 :1 :6	0,338	0,980	1,95
	1 :0,75 :6	0,302	0,654	1,95
	1 :0,5 :6	0,398	0,993	1,7
	1 :0,25 :6	0,501	1,205	1,77
	1 :2 :9	0,144	0,357	3,25
	1 :1,5 :9	0,211	0,545	3,25
	1 :1 :9	0,294	0,730	3
	1 :0,5 :9	0,347	0,681	3
cal	1:3 (1 :1 :6)	0,424	0,820	2,25
	1:3 (1 :2 :9)	0,302	0,302	4,125
blenda	1 :0,25 :0,75 :6	0,485	0,792	2,25
	1 :0,5 :1,5 :9	0,319	0,438	3,3

Figura 48 – Curvas de Resistências Mecânicas dos traços



A partir da Figura 48 é possível observar uma concordância nos resultados de resistências mecânicas, com as curvas seguindo praticamente a mesma disposição. No caso da resistência potencial de aderência a tração devem ser considerados múltiplos fatores para a comparação das resistências entre os traços.

Com relação aos materiais utilizados, como dito anteriormente, o filito é um material inerte, servindo apenas como preenchimento na argamassa, portanto o filito propriamente dito não é de grande auxílio para o ganho de resistência da argamassa.

Porém, a sua adição causa aumento do teor de cimento, bem como a redução da relação água/cimento em comparação com argamassas de cal, que são outros fatores que influenciam no ganho de resistência mecânica dos traços. O aumento do teor de cimento e a redução da água também explica o aumento da resistência de aderência a tração através da redução da parcela de filito nos traços, assim como o aumento de resistência com sua adição em argamassas de cal.

Com relação aos valores elevados de resistência potencial de aderência a tração dos traços de cal e blenda, observa-se a importância da cal nos revestimentos no que diz respeito a aderência, Carasek (2010) afirma que as argamassas com cal facilitam o preenchimento do substrato, propiciando maior extensão de aderência.

Outra análise importante a se fazer é a conformidade de utilização dos traços de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013) que dispõe limites mínimos de resistência de aderência a tração pelo tipo de revestimento e local de aplicação. Na Figura 49 são apresentados os limites de uso da norma assim como um gráfico representando as

resistências dos traços em relação aos limites.

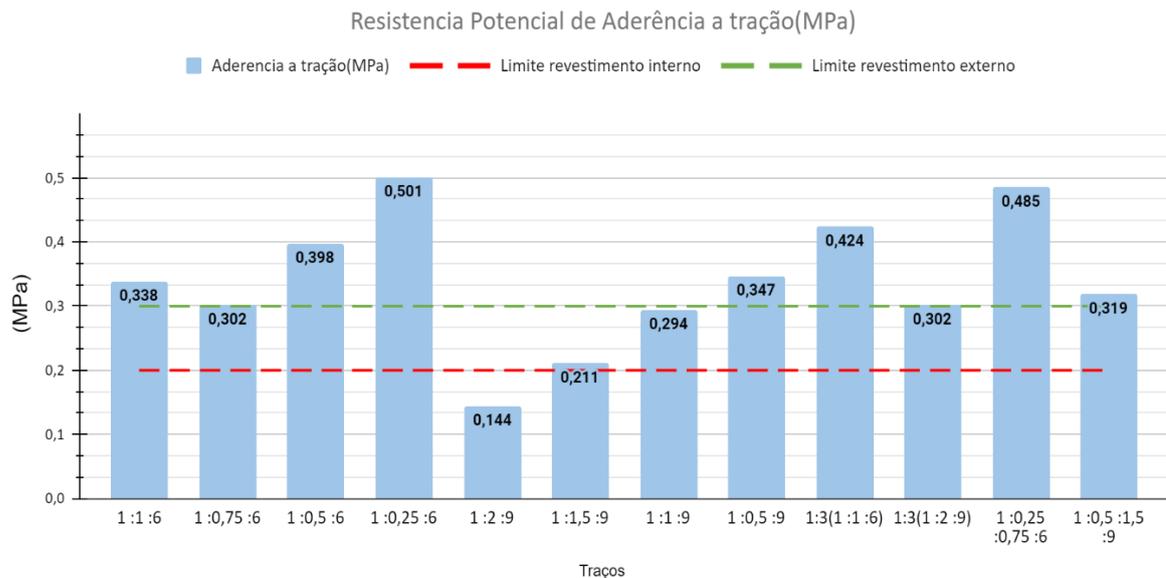
Figura 49 – Limites mínimos de resistência de aderência a tração

Quadro 1 – Limites da resistência de aderência à tração

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

Figura 50 – Gráfico comparativo de resistência de aderência a tração



Analisando os resultados na Figura 50, apenas o traço 1:2:9 de filito não se adequa as condições normais de uso pois apresenta resistência inferior a 0,2 MPa. Já os traços 1:1,5:9 e 1:1:9, com uma resistência variando entre 0,2 MPa e 0,3 Mpa, se adequam as condições de uso em tetos e paredes internas que receberão pintura ou base para reboco, e, por fim, os traços restantes de filito, blenda e cal não tem restrições quanto a exposição e acabamento recebido, pois alcançaram valores de resistência superiores a 0,3 MPa.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM NBR 13281 (2005)

Na Tabela 19 é apresentada a classificação dos traços de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 19 - Classificação segundo requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005)

Classificação Segundo NBR 13281								
Material	Traço	Retenção de Água (%)	Massa Específica EF (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de Capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Massa Específica EE (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Aderência à Tração (MPa)
Filito	1 : 1 : 6	U5	D5	C6	M5	P1	R1	A3
	1 : 0,75 : 6	U5	D5	C5	M5	P1	R1	A3
	1 : 0,5 : 6	U6	D5	C5	M5	P1	R1	A3
	1 : 0,25 : 6	U6	D5	C5	M5	P2	R2	A3
	1 : 2 : 9	U5	D5	C6	M5	P1	R1	A1
	1 : 1,5 : 9	U5	D5	C6	M5	P1	R1	A2
	1 : 1 : 9	U6	D5	C6	M5	P2	R1	A2
	1 : 0,5 : 9	U6	D5	C6	M5	P2	R1	A3
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	U5	D5	C6	M5	P2	R1	A3
	1:3 (1 : 2 : 9)	U6	D5	C6	M5	P1	R1	A3
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	U6	D5	C6	M5	P1	R1	A3
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	U6	D5	C6	M5	P1	R1	A3

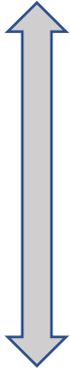
Como forma de resumo dos resultados obtidos, foi feita a tabela 20, apresentando resumidamente os efeitos do filito em argamassas com aditivo, e efeitos de sua incorporação em argamassas de cal sem utilização de aditivos.

Tabela 20 – Resumo dos efeitos do filito em argamassas

Argamassa	Material	Retenção de Água (%)	Massa Específica EF (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de Capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Massa Específica EE (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Aderência à Tração (MPa)
Filito Com Aditivo	↑ Filito	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Blenda Sem Aditivo	↑ Filito	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑

Além da classificação a partir da NBR 13281 (ABNT,2005), foi feita a classificação qualitativa dos traços como apresentado na Tabela 21, sendo possível visualizar em forma de classificação os melhores traços do trabalho.

Tabela 21 - Classificação qualitativa de traços de acordo com os ensaios de resistência mecânica, retenção e absorção de água

Resultados	Relação a/c	Absorção de água por capilaridade	Retenção de água	Resistência à tração na flexão	Resistência à compressão axial	Resistência potencial de aderência à tração
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 5px;">Maior valor</div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 5px;">Menor valor</div>	1:3 (1 : 2 : 9)	1 : 2 : 9	1 : 0,5 : 6	1 : 0,25 : 6	1 : 0,25 : 6	1 : 0,25 : 6
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	1 : 0,5 : 1,5 : 9	1 : 0,25 : 6	1 : 0,5 : 6	1:3 (1 : 1 : 6)	1 : 0,25 : 0,75 : 6
	1 : 2 : 9	1 : 1,5 : 9	1 : 1 : 9	1 : 1 : 6	1 : 0,5 : 9	1:3 (1 : 1 : 6)
	1 : 1,5 : 9	1 : 0,25 : 0,75 : 6	1 : 0,5 : 9	1 : 1 : 9	1 : 0,5 : 6	1 : 0,5 : 6
	1 : 1 : 9	1:3 (1 : 2 : 9)	1 : 0,5 : 1,5 : 9	1:3 (1 : 1 : 6)	1 : 0,25 : 0,75 : 6	1 : 0,5 : 9
	1 : 0,5 : 9	1:3 (1 : 1 : 6)	1:3 (1 : 2 : 9)	1 : 0,25 : 0,75 : 6	1 : 1 : 9	1 : 1 : 6
	1 : 0,25 : 0,75 : 6	1 : 0,5 : 9	1:3 (1 : 1 : 6)	1 : 0,5 : 9	1 : 1 : 6	1 : 0,5 : 1,5 : 9
	1:3 (1 : 1 : 6)	1 : 1 : 9	1 : 0,25 : 0,75 : 6	1 : 0,75 : 6	1 : 0,75 : 6	1:3 (1 : 2 : 9)
	1 : 1 : 6	1 : 1 : 6	1 : 1,5 : 9	1 : 1,5 : 9	1:3 (1 : 2 : 9)	1 : 0,75 : 6
	1 : 0,75 : 6	1 : 0,75 : 6	1 : 2 : 9	1 : 0,5 : 1,5 : 9	1 : 1,5 : 9	1 : 1 : 9
	1 : 0,25 : 6	1 : 0,5 : 6	1 : 0,75 : 6	1 : 2 : 9	1 : 2 : 9	1 : 1,5 : 9
	1 : 0,5 : 6	1 : 0,25 : 6	1 : 1 : 6	1:3 (1 : 2 : 9)	1 : 0,5 : 1,5 : 9	1 : 2 : 9

#### 4.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS POR M<sup>3</sup>

Para a composição de custos por m<sup>3</sup> foram considerados os materiais orçados em Foz do Iguaçu – PR, considerando dois cenários, o primeiro com a utilização do aditivo polifuncional utilizado neste trabalho, e o outro cenário com a utilização de aditivo superplastificante, este ultimo corriqueiramente utilizado nos canteiros de obra para produção de argamassas.

Em relação ao aditivo superplastificante para argamassas da Quartzolit, seguiu-se a recomendação de uso do fabricante, com consumo de 100 ml por saco de cimento (50kg). Para o aditivo polifuncional, seguiu-se os resultados obtidos neste trabalho, com utilização em massa de 3% da massa de cimento.

A Tabela 23 apresenta os resultados de preço por m<sup>3</sup> considerando aditivo polifuncional, e a Tabela 24 apresenta os resultados de preço por m<sup>3</sup> considerando aditivo superplastificante.

Tabela 22 – Preço unitário médio dos materiais em R\$

PREÇO UNITÁRIO EM R\$	
Cimento CPIV (kg)	0.67
Cal CHIII (kg)	0.52
Filito (kg)	0.44
Areia (m³)	95
aditivo superplastificante (galão 18l)	189
aditivo polifuncional (galão 18l)	179

Tabela 23 – Preço por m³ por traço com utilização de aditivo polifuncional

Material	Traço	Consumo por m³						Preço
		Cimento (kg)	Cal (kg)	Filito (kg)	Areia (m³)	Água (l)	Aditivo Poli. (gal)	R\$/m³
Filito	1 : 1 : 6	147.27	0.00	137.97	0.98	306.61	0.238	295.00
	1 : 0,75 : 6	151.26	0.00	106.29	1.01	301.52	0.245	287.41
	1 : 0,5 : 6	158.06	0.00	74.04	1.05	284.44	0.256	284.04
	1 : 0,25 : 6	156.88	0.00	36.74	1.04	304.03	0.254	265.74
	1 : 2 : 9	96.17	0.00	180.21	0.96	319.51	0.156	262.64
	1 : 1,5 : 9	97.88	0.00	137.55	0.98	325.18	0.158	247.13
	1 : 1 : 9	102.48	0.00	96.01	1.02	312.08	0.166	237.61
	1 : 0,5 : 9	104.41	0.00	48.91	1.04	317.99	0.169	220.59
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	140.36	93.26	0.00	0.93	349.74	0.000	231.14
	1:3 (1 : 2 : 9)	87.01	115.63	0.00	0.87	397.48	0.000	200.81
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	139.99	69.76	32.79	0.93	348.81	0.000	232.86
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	94.19	93.88	44.12	0.94	344.22	0.000	220.52

Tabela 24 – Preço por m³ por traço com utilização de aditivo superplastificante

Material	Traço	Consumo por m³						Preço
		Cimento (kg)	Cal (kg)	Filito (kg)	Areia (m³)	Água (l)	Aditivo Sup. (gal)	R\$/m³
Filito	1 : 1 : 6	147.27	0.00	137.97	0.98	306.61	0.016	255.29
	1 : 0,75 : 6	151.26	0.00	106.29	1.01	301.52	0.016	246.62
	1 : 0,5 : 6	158.06	0.00	74.04	1.05	284.44	0.017	241.42
	1 : 0,25 : 6	156.88	0.00	36.74	1.04	304.03	0.017	223.44
	1 : 2 : 9	96.17	0.00	180.21	0.96	319.51	0.010	236.71
	1 : 1,5 : 9	97.88	0.00	137.55	0.98	325.18	0.010	220.74
	1 : 1 : 9	102.48	0.00	96.01	1.02	312.08	0.011	209.98
	1 : 0,5 : 9	104.41	0.00	48.91	1.04	317.99	0.011	192.43
Cal	1:3 (1 : 1 : 6)	140.36	93.26	0.00	0.93	349.74	0.000	231.14
	1:3 (1 : 2 : 9)	87.01	115.63	0.00	0.87	397.48	0.000	200.81
Blenda	1 : 0,25 : 0,75 : 6	139.99	69.76	32.79	0.93	348.81	0.000	232.86
	1 : 0,5 : 1,5 : 9	94.19	93.88	44.12	0.94	344.22	0.000	220.52

A partir dos resultados da composição de preços nas Tabelas 23 e 24, é possível observar que para argamassas de revestimento, a utilização de aditivos superplastificantes tem um melhor custo-benefício em relação ao aditivo polifuncional.

Também é possível observar que a utilização de filito encarece a produção de argamassas, principalmente por elevar o consumo de cimento em relação aos traços de cal. Porém, com redução em 75% da fração de filito (1:0,25:6 e 1:0,5:9), foi possível reduzir o custo de produção, além de melhorar as propriedades físico-mecânicas e o desempenho de argamassas de filito.

Em conclusão, para substituição de argamassas de cal, os traços de filito mais recomendados tanto em custo benefício quanto em relação as propriedades físico-mecânicas, juntamente com a questão de desempenho em função de absorção de água por capilaridade e resistência ao arrancamento, são os traços com redução em 75% da fração de filito, 1:0,25:6 ou 1:0,5:9.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista avaliar as propriedades físico-mecânicas de argamassas produzidas com filito e compará-los com os traços já utilizados de cal, tem-se as seguintes conclusões:

- A utilização de grande parcela de filito em argamassas, como visto principalmente nos traços 1:2:9 e 1:1,5:9 pode prejudicar as propriedades físico-mecânicas e inclusive o desempenho de argamassas após comparar com os resultados de argamassas mistas de cal.
- Por ser um material inerte, o filito tem o papel de preenchimento e aumento de volume nas argamassas, reduzindo custos no consumo de cimento, com isso cabe apenas ao cimento trabalhar como aglomerante e conferir a maior parte da resistência mecânica e trabalhabilidade, por isso a redução de fração de filito aumentou a resistência nas argamassas produzidas apenas com filito.
- A redução da fração de filito em traços de argamassa confere uma melhora em suas propriedades, não apresentando restrições de uso para tipo de revestimento tanto para ambientes internos quanto externos, podendo substituir de forma segura e efetiva as argamassas de cal.
- Em relação a blenda, mesmo sendo uma argamassa mais difícil de ser implementada em obras principalmente pela mão de obra não acostumada com este tipo de traço, é viável estudar seu uso, pelo fato de manter a boa trabalhabilidade e boa resistência ao arrancamento por tração causadas pela utilização da cal, juntamente com a melhora nas propriedades físico-mecânicas causadas pela adição de filito.
- Finalmente é possível garantir a substituição total de argamassas de cal por argamassas de filito, porém devem ser utilizados traços diferentes dos usuais de cal, como os traços 1:0,25:6 e 1:0,5:9, com os melhores custos benefícios em substituição às argamassas de cal.

Com a caracterização realizada para os traços de argamassas neste trabalho, sugere-se para futuros trabalhos avaliar o desempenho em vários quesitos além da resistência potencial de aderência a tração e absorção por capilaridade, realizando este estudo principalmente nos traços com melhores resultados obtidos, sendo

possível aprofundar a pesquisa sobre os efeitos do filito em argamassas, inclusive utilizando filitos de diferentes fabricantes, de modo a verificar o nível de rigor do controle de qualidade do filito beneficiado das variadas marcas vendidas no mercado.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 2550: Standard Test Method for Thermal Stability by Thermogravimetry**. West Conshohocken (EUA), 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 15258**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ADOM-ASAMOA, M.; AFRIFA R., O.. **A study of concrete properties using phyllite as coarse aggregates**. Department of Civil Engineering, Kwame Nkrumah University

of Science and Technology, College of Engineering, Kumasi, Ghana, 2010.

AMERICANO, B. B.; PACIORNIK, N., SANTOS, M. M. O. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência: **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes**. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/51.pdf>. Acesso: 22/10/2019.

ANDRADE, C.. **Materiais para Construção Civil a Base de Cinzas de Madeira, Lodo de ETA e Resíduos da Produção de Cal**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado. 2012

BACCI, D. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. **Aspectos e impactos ambientais de pedra em área urbana**. Revista Escola de Minas - *On-line version* ISSN 1807-0353, Ouro Preto, v.59, n.1, Jan./Mar. 2006. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672006000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000100007). Acesso: 29/10/2019

BIONDI, J. C.; MARCZYNSKI, E. S. 2004. **Caracterização Física e Química dos Filitos Açungui (PR) Visando sua Utilização pela Indústria Cerâmica**. Cerâmica, São Paulo, v. 50, n. 313. disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132004000100004&lng=pt&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132004000100004&lng=pt&nrm=iso). Acesso em 29/10/2019

BRASIL. Secretaria de Geologia Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Perfil da Cal**. Belo Horizonte: J Mendo Consultoria, 2009. 39 p. Plano Nacional da Mineração 2030. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46\\_RT72\\_Perfil\\_do\\_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69) . Acesso em 22/10/2019.

CAMPOS, J. C. **Alvenaria Estrutural**. Especialização em Engenharia de Estruturas. Unesp, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Alvenaria%20Estrutural%20-%20JC%20Campos.pdf>. Acesso em: 29/10/2019.

CARASEK, H. B. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharias de Materiais. Argamassas. In: Isaia, G.C. (ed.). São Paulo: Ibracon, 2010. P. 892-944

CASALI, M.J.; GAVA, G. P.; PRUDÊNCIO, L. R. J. **Avaliação do desempenho de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural**. Anais Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído -Entac, Florianópolis, n. 11, p. 10, agosto 2006

CASALI M. J.; NETO A. M.; ANDRADE D. C.; ARRIAGADA N. T. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento** . SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 21 de Setembro de 2011. Disponível em: <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/426->

[avaliacao-das-propriedades-do-estado-fresco-e-endurecido-da-argamassa-estabilizada-para-revestimento](#)

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T. **Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP.** Unesp, Rio Claro-SP, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v63n367/1678-4553-ce-63-367-00303.pdf>. Acesso em: 22/10/2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13320:** Particle size analysis - Laser diffraction methods. Genebra, 2009.

MATTANA, A. J. **Estudos de Cales Hidratadas de Mercado - Caracterização Química, Física e Comportamento Reológico da Pasta.** Dissertação de Mestrado - UFPR. Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/35250/R%20-%20D%20-%20ALECIO%20JUNIOR%20MATTANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03/01/2020

MAZURANA, L. **Captura de CO<sub>2</sub> em argamassas de revestimento através da carbonatação natural.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), 2019, 120f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

MAZURANA, L.; POSSAN, E.; BITTENCOURT, P. R. S. **Carbonation and CO<sub>2</sub> uptake in rendering mortars produced with recycled construction and demolition waste.** [S. l.: s. n.], 2019. DOI: <https://doi.org/10.21041/conpat2019/v1cc336>

MELO, K. A.; ANDRADE A. F. L.; LIRA E. M.; FRANÇA M. S.; QUEIROZ M. M.; CARNEIRO A. M. P. **A influência do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia.** In: 2 Congresso Português de argamassa e ETICS. 2007. Disponível em: [https://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2045\\_07.pdf](https://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2045_07.pdf) . Acesso em 20/03/2020

MELO, L. G. A.; THAUMATURGO, C. **Filito: Um material estratégico para fabricação de novos cimentos.** Revista Militar de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 29, p.10-24, jun. 2012. Disponível em: [http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_2\\_tri\\_2012/filito\\_material\\_estrateg.pdf](http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_2_tri_2012/filito_material_estrateg.pdf). acesso: 22/10/2019

MINASILÍCIO MINERADORA LTDA. 2019. **Mineração Minasilício.** Disponível em: <http://www.minasilicio.com.br/filito.asp>. Acesso em: 22/10/2019.

MINERAÇÃO ITAPEVA LTDA. 2019. **Mineração Itapeva.** Disponível em: <http://www.mineracaoitapeva.com.br>. Acesso em: 22/10/2019.

MORETO, A. L. R. **Características química, mineralógica e tecnológica dos filitos da região de Itapeva-SP empregados na Indústria cerâmica.** Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR, 2006. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/11204/Microsoft%20Word%20-%20>

[OTEXTO.pdf?sequence=3&isAllowed=y](#). Acesso: 22/10/2019

MOURA, A.W., GONÇALVES, J.P., LEITE, R.S.. **Utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito em Argamassas de Revestimento e Confecção de Lajotas para Piso**. 2002. Sitientibus, 26: 49-61.

NASCIMENTO FILHO, O. F. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia(ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**. Unicamp, deptº de Ciências Exatas/ESALQ, Lab. de Instrumentação Nuclear/CENA, julho 1999. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~giorgia/fluorescencia.pdf>. Acesso em: 22/10/2019.

OLIVEIRA, D. R.; MENEZES, L. G. **Avaliação de Desempenho de Argamassas de Revestimento em Alvenarias com Substituição da Cal por Materiais Plastificantes Inertes**. Centro Universitário de Patos de Minas-UNIPAM, Patos de minas-MG, 2015.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. **Influência da Cal Hidratada nas Idades Iniciais da Hidratação do Cimento Portland**: estudo em pasta. Boletim Técnico da Escola Politécnica. São Paulo, 2008.

REIS, E. C.; CAVALCANTE, A. C. L.; XAVIER, A. R.; SILVA, M. S. L. **Produção de cal e impactos socioambientais: desafios a sustentabilidade**. Revista Educação Ambiental em Ação. ISSN 1678-0701. Número 64. jun-ago. 2018. disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3269> . Acesso em 29/10/2019.

ROCHA, J. C.; XAVIER, L. L. **Materiais de Construção Civil**. Apostila do curso de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

ROMANO, R. C. O.; SEABRA, M. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Caracterização reológica de suspensões cimentícias mistas com cales ou filitos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 75-84, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621.

KANTRO, D. L. **Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste - a miniature slump test**. Cement and concrete aggregates, V.2, n. 2, Winter, pp. 95-108. 1980.

PESSOA, A. C. C., MACHADO, F. P., NETO, C. A. S., SABADIA, J. A. B., DUARTE, C. R., VERÍSSIMO, C. U. V.. **Aproveitamento dos Rejeitos das Industrias de Calcinação de Calcário na Porção Setentrional do Estado do Ceará com Foco na Reparação de Dano Ambiental**. Revista Brasileira de Geografia Física v.13,n.03. 2020.

SANTA, R. A. A. B.. **Desenvolvimento de geopolímeros a partir de cinzas pesadas oriundas da queima do carvão mineral e metacaulim sintetizado a partir de resíduo da indústria de papel**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis-SC, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99314/305251.pdf?sequence=1>. Acesso em 22/10/2019.

SILVA; D.K.; RABELO, A. A.; NETO; F. E.. **Desenvolvimento de Geopolímero a Partir de Filito e Caulim do Estado do Pará.** 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.

SILVA, C.; SOUSA, V.C.; FERREIRA, T.; OLIVEIRA, A.M.. **Avaliação de Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Argamassas de Revestimento Cimentícias Produzidas com Aditivos Químicos Plastificantes.** 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil