

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FILLER CALCÁRIO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO EM ARGAMASSA ESTABILIZADA DE REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS**

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e0202020-38>

**Eduardo Martins Sequeira**<sup>1</sup>  
**Geisiele Ghisleni**<sup>2</sup>



**RESUMO**

O cimento Portland é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, sendo assim, as indústrias cimenteiras são geradoras de grande parte dos gases de efeito estufa lançados na atmosfera. Além deste contaminantes, indústrias de britagem de rocha produzem como rejeito da mineração um pó extremamente fino, denominado filler, este por muitas vezes acaba por gerar um passivo ambiental. Entretanto, sua composição e granulometria o caracterizam como um material influenciável na reologia e no empacotamento das partículas nos materiais cimentícios. Novas abordagens ambientalmente, economicamente e tecnicamente sustentáveis na construção civil são possíveis, para a mitigação destes problemas. Atualmente, há uma grande demanda por produtos industrializados, sendo a argamassa estabilizada uma mistura úmida, comercializada pronta para o uso, a qual se mantém trabalhável de acordo sua composição. Diante deste contexto, o trabalho objetivou analisar o comportamento de argamassas estabilizadas com teores de filler calcário em quatro traços, referência (0% filler) e em substituições de 10%, 20%, e 30% de filler por cimento. As propriedades das argamassas foram analisadas através de ensaios normalizados tanto no estado fresco quanto endurecido. Os resultados comprovaram que o filler calcário provocou alterações reológicas e mecânicas nas argamassas, sendo que teores de substituição de 10% e 20% de cimento por filler provocaram melhoras na permeabilidade e absorção com pequenas variações nas características de resistência mecânica.

**Palavras-chave:** Cimento. Filler. Argamassas.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil. Centro Universitário Avantis. e-sequeira@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil. Centro Universitário Avantis. ghisleni.geisi@gmail.com

# THE INFLUENCE OF THE LIMESTONE FILLER ADDITION IN PARTIAL REPLACEMENT TO THE CEMENT IN STABILIZED COATING MORTAR

## ABSTRACT

Portland cement is one of the most widely used building materials in the world, the cement industries generate most of the greenhouse gases released into the atmosphere. In addition to this contaminant, rock crushing industries produce as extremely fine powder, called filler, as mining waste, which often generates an environmental liability. However, its composition and particle size or characterize as an influential material in the rheology and packaging of substances in cementitious materials. New environmentally, economically and technically sustainable approaches to construction are possible to mitigate these problems. Currently, there is a great demand for industrialized products, with stabilized mortar being a ready-to-use, wet mix, which remains with workability according to its composition. In this context, the objective of this work was to analyze the behavior of stabilized mortars with filler contents in four traits, reference (0% filler) and in substitutions of 10%, 20%, and 30% of cement filler. The properties of mortars were analyzed by standard tests in both fresh and hardened state. The results showed that the filler caused rheological and mechanical changes in the mortars, and substitution contents of 10% and 20% of cement by filler caused permeability and absorption improvements with small variations in the mechanical strength characteristics.

**Key words:** Cement. Filler. Mortars.



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria cimenteira foi responsável por 29,7% das emissões de CO<sub>2</sub> referentes a processos industriais em 2012, este impacto representa elevada importância em relação às emissões de gases efeito estufa (BRASIL, 2014).

O cimento é obtido a partir da mistura e moagem de um insumo, chamado clínquer (produto intermediário do cimento), em conjunto com outros materiais genericamente denominados adições. O clínquer é basicamente uma mistura de argila, calcário e minério de ferro, que é britado, moído e levado a fornos em temperaturas em torno de 1.450°C. De forma geral, 90% das emissões de CO<sub>2</sub> referentes à produção do cimento são resultantes da geração de energia térmica e da descarbonatação do calcário, processo recorrente da liberação de carbono para produção do clínquer (ABDI, 2012).

Existem diversas adições que podem ser feitas nos cimentos, no entanto, as normatizadas no Brasil são adições de filler, escória, e materiais pozolânicos. As

adições têm como principais características melhorar o desempenho dos cimentos utilizados em argamassas e concretos, contribuir na redução do clínquer produzido e, conseqüentemente, nas emissões de gases efeito estufa. Essa contribuição se estende ainda ao setor econômico por ser feita através de reutilização de resíduos de diversos setores da indústria (ABCP, 2002).

A partir de 2018, todos os tipos de cimento foram reunidos em uma única norma de especificação, a NBR 16697 (ABNT, 2018). A principal característica das mudanças realizadas foi referente ao aumento da utilização de filler nos cimentos compostos (ABNT NBR 16697, 2018). É possível salientar que em alguns países as adições de filler no cimento chegam a passar de 30%. No Brasil, antes da reformulação da NBR 16697, a adição máxima de filler no cimento era de 10%, mas atualmente chega a 24% (ALISSON, 2013).

O filler calcário é produto da trituração da rocha calcária que pode ser calcítica ou dolomítica. O filler é um pó extremamente fino, o qual é muito utilizado como material de enchimento em concretos e argamassas, elevando a compacidade através da melhor distribuição granulométrica das partículas (MARANGON, 2006).

Estudos como o de Damineli (2013) propõem a utilização de filler como uso de uma ferramenta para aumentar o empacotamento e dispersão das partículas, aprimorando o comportamento reológico da mistura e reduzindo a quantidade de água utilizada em concretos e argamassas.

Ho *et al.* (2002) fazem um estudo em pastas de cimento comparando diferentes fillers. Os resultados apontam que o uso filler de britagem de origem calcária em pastas auto adensáveis, tendem a resultar em viscosidades e tensões de escoamento mais baixas, que as pastas dosadas com fillers graníticos, no mesmo teor de substituição de cimento.

Sadek, Attar e Ali (2016), assim como Singh *et al.* (2016), observaram que a substituição de agregado miúdo (areia) por resíduos finos de pedreiras (fillers graníticos) aumentou a compacidade da matriz, através de um refinamento dos poros, resultando em uma menor zona de transição e conseqüentemente, aumentando a resistência dos concretos.

Assim sendo, o autor Wolf (2013) estudou a influência do teor de calcário na carbonatação de argamassas de cimento branco, chegando à conclusão que altos teores de adição podem causar uma interação química do calcário com a pasta, aumentando a carbonatação da mistura.

Estudos realizados por Tennich, Kallel e Ouezdou (2015) indicaram que a substituição de filler calcário por filler de mármore em concreto auto adensável provocou uma diminuição da fluidez da mistura e aumentou a resistência à compressão em cerca de 6,7%.

Sendo como os autores citados acima, a Escola Politécnica da USP tem desenvolvido métodos que chegam até 70% de adições de filler calcário na mistura de cimentos (BERNARDES, 2013).

Dentre os parâmetros a serem analisados, a morfologia das partículas é de extrema importância, pois permite a compreensão quanto às características reológicas e a influência que a forma das partículas exerce nos compostos (DAMINELI, 2013). Como mencionado pelo autor Sabbatini (1998), as argamassas de revestimento, tratando exclusivamente das propriedades dos agregados, quanto maior a quantidade de grãos angulosos, pior a trabalhabilidade e melhor a resistência de aderência à tração.

Mehta e Monteiro (2014), indicam que o método mais preciso de se obter informações de forma qualitativa satisfatória sobre o tamanho, forma das partículas e a morfologia de sua superfície é por microscopia de varredura eletrônica (MEV). Os autores ainda salientam que diferentes partículas podem possuir a mesma forma e diferentes texturas, alterando as características reológicas dos compostos cimentícios.

A grande vantagem da adição de filler calcário é que, por se tratar de um material rejeito de britagens, pode ser encontrado em diferentes granulometrias e em abundância, assim, viabilizando sua utilização no processo de industrialização de argamassas estabilizadas (ABESC, 2007).

Segundo o autor Shmid (2011), a utilização da argamassa estabilizada nas obras contribuiu no aumento de produtividade em 35% ou superior, devido a praticidade de obter o material pronto para uso.

Em composição com a argamassa estabilizada, além de garantir melhora na execução dos prazos, controle de produção e mão de obra, e otimização da logística de armazenamento de materiais, possibilitam que os produtos utilizados passem por rigoroso controle de qualidade antes de sua aplicação (MATOS, 2013). As propriedades que estão sujeitas a serem influenciadas ao decorrer do tempo de estabilização são, umidade, densidade de massa e teor de ar. O período de estabilização provoca nas argamassas o aumento da massa específica e redução do teor de ar incorporado devido à perda de água (MANN, ANDRADE & SOTO, 2010).

Em relação ao tempo de início de pega, Campos (2012), observou que os resultados obtidos pelo método semi adiabático em calorímetros se mostraram extremamente eficientes para avaliar o tempo de início de pega deste tipo de material.

Este artigo propõe um olhar investigativo sobre a perspectiva da utilização sustentável e viabilidade técnica-econômica do emprego de filler calcário, em substituição parcial ao cimento na fabricação de argamassas estabilizadas produzidas diretamente em centrais dosadoras.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram elaborados quatro traços distintos, um sem adições e outros três com diferentes teores de substituição em relação à massa de cimento:

- Traço referência: Sem incorporação de filler calcário;
- Traço 10%: Substituição de 10% de cimento por filler calcário;
- Traço 20%: Substituição de 20% de cimento por filler calcário;
- Traço 30%: Substituição de 30% de cimento por filler calcário.

A fim de mitigar as variações nos resultados, optou-se pela utilização de um único tipo de agregado, areia fina e aplicação da argamassa conforme a NBR 15258 (ABNT, 2015).

Para que a determinação dos traços se procedeu o ensaio do agregado, aglomerante e filler, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Lista de normas utilizadas referente aos ensaios em agregado e aglomerante.

<b>Norma</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Resultados</b>
NBR NM 248/03	Agregados – Determinação da composição granulométrica.	de finura = 1,44
NM 52:2002	Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente	2,61 g/cm <sup>3</sup>
ABNT NBR NM 46:2003	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.	1,35%
ASTM C40/C40M:2016	Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete	< 300 ppm
ABNT NBR 16605:2017	Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica	Filler = 2,80 e cimento = 3,14

Fonte. Autores (2019).

As principais características do traço referência foram determinadas de acordo com a Guindani (2018).

Para todos os traços as quantidades de água de amassamento e aditivos se mantiveram inalteradas com a proposta de analisar sobre todos os aspectos, as modificações que seriam causadas pela substituição do cimento por filler calcário, tanto no estado fresco como no estado endurecido das argamassas.

A Tabela 2 apresenta os quantitativos de insumos em massa para o volume de 1000 litros.

Tabela 2. Composição dos traços.

Insumo	Quantidades (kg/m <sup>3</sup> )			
	Referência	10%	20%	30%
Cimento CP V Marca Supremo	230,00	207,00	184,00	161,00
Filler Calcário	0,00	23,00	46,00	69,00
Areia fina de quartzo	1313,00	1311,00	1309,00	1307,00
Água da rede de abastecimento	195,00	195,00	195,00	195,00
Powermix 420BR	0,46	0,46	0,46	0,46
Powermix 230 Retard	1,61	1,61	1,61	1,61

Fonte. Autores (2019).

O procedimento de preparo e mistura das argamassas foi baseado no modelo proposto pela NBR 7212 (ABNT, 2012), e adaptado para as condições de laboratório conforme descrito a seguir.

Os traços foram dosados em massa sendo que para mitigar as variações os agregados foram utilizados na condição seca. Foi utilizada uma betoneira com capacidade de 120 litros, sendo que cada traço foi elaborado em volume de 30 litros, o suficiente para boa homogeneização.

A argamassa foi ensaiada tanto em seu estado fresco, como no endurecido observando seus aspectos físicos. A análise da argamassa no estado fresco tem o objetivo de observar as alterações reológicas, enquanto no estado endurecido, as alterações nas propriedades e mecânicas causadas pela substituição de cimento por filler calcário.

Os ensaios foram realizados conforme suas respectivas normas, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Lista de normas utilizadas referentes aos ensaios em argamassa.

Norma	Ensaio
-------	--------



ABNT NBR 13279:2005	Moldagem dos corpos de prova
ABNT NBR 13276:2016	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.
ABNT NBR 13278:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
ABNT NBR 9778:2005	Versão Corrigida 2:2009 Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
MOPHT	Revestimento de paredes – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão
ABNT NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão
ABNT NBR 15258:2005	Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração.

Fonte. Autores (2019).

### 3 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos através dos ensaios realizados a partir dos diferentes traços de argamassas, tanto em seu estado fresco como no endurecido. Realizou-se uma análise comparativa entre as diferentes misturas.

#### 3.1 Resultados das argamassas no estado fresco

Os resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco foram analisados de acordo com o que se segue, embasando-se nas suas respectivas normas.

##### 3.1.1 Índice de consistência

Foram avaliadas as mudanças no comportamento reológico das argamassas provocado pela substituição de cimento por filler calcário. A Tabela 4 apresenta o índice de consistência obtido para cada traço.

Tabela 4. Índice de consistência.

Índice de consistência				
Traço				
Abertura (mm)	Referência	10%	20%	30%
	237	235	238	258
	242	238	244	253
	230	235	245	257
Média	236	236	242	256

Fonte. Autores (2019).

Desta forma, observou-se que o traço com substituição de 30% de cimento por filler calcário apresentou variação significativa do índice de consistência, com aumento de 8,4% em relação ao traço de referência. O traço 10% não apresentou variação nos resultados de ensaio, enquanto traço com substituição de 20% apresentou 2,5% de variação em relação ao traço referência.

### **3.1.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**

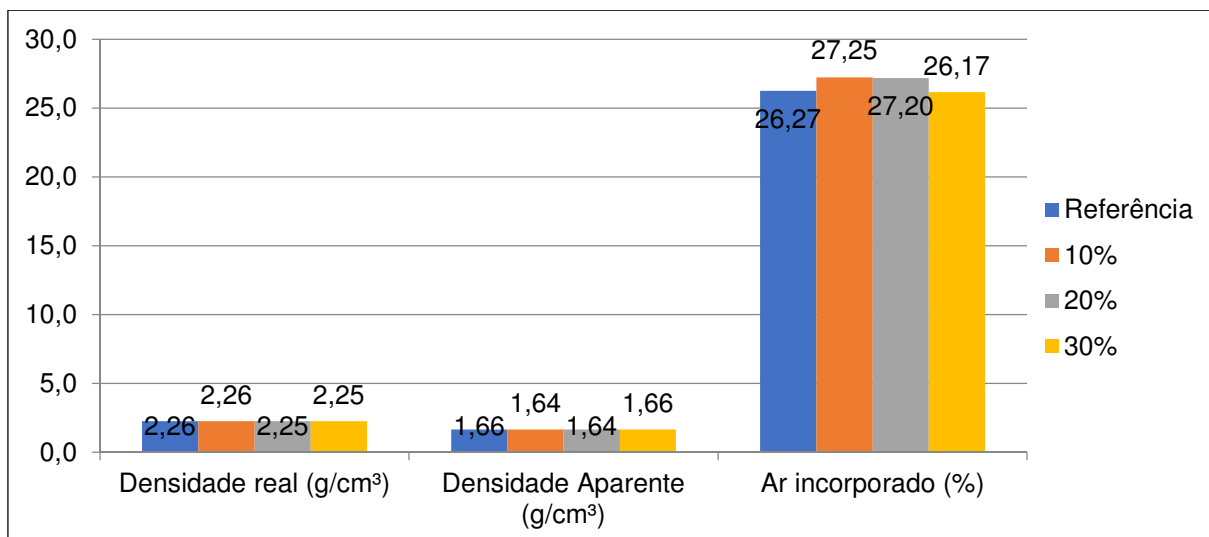
De acordo com o fabricante a dosagem do aditivo incorporador de ar deve ser dada em percentual pela quantidade de cimento presente na mistura. Como neste estudo as quantidades de aditivo foram fixadas para todos os traços e os teores de ar não mudaram significativamente, é notável que exista uma relação entre a quantidade de aditivo e a quantidade de argamassa anidra.

Como o cimento é um material mais denso que o filler, esperava-se que ao substituir o aglomerante, houvesse a diminuição da densidade de massa, no entanto, os traços com substituição de 10% e 20% de cimento por filler calcário apresentaram cerca de 1% a mais de ar do que o traço referência. Em análise dos dados, verifica-se que a incorporação de ar e os aspectos físicos das partículas (tamanho e forma) são fatores que influenciaram nos valores obtidos nos ensaios.

A Figura 1 apresenta um comparativo onde é possível observar a linearidade dos resultados obtidos.

Figura 1. Comparativo da densidade de massa entre as argamassas.





Fonte. Autores (2019).

Sendo assim, observa-se que, em função da incorporação de ar e da diferença da massa específica entre o cimento e o filler calcário, ocorreram pequenas variações nas densidades de massa entre os quatro traços analisados.

#### 4.1 Ensaios no estado endurecido

Os resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido foram analisados de acordo com o que se segue, embasando-se nas suas respectivas normas.

##### 4.1.1 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

O ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica objetivaram avaliar as características físicas das argamassas, tanto das amostras secas como saturadas e submetidas a fervura. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Absorção, índice de vazios e massa específica.

Pesagens (g)	Traço			
	Referência	10%	20%	30%
Absorção (%)	25,62	25,74	26,29	30,97
Índice de Vazios (%)	40,04	40,19	40,97	45,15
Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,56	1,56	1,56	1,46
Massa específica saturada (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	1,96	1,97	1,91
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,61	2,61	2,64	2,66

Fonte. Autores (2019).

A variação menor que 1% nos traços 10% e 20% em relação a referência afirma o que foi mencionado por Damineli (2013) onde a inserção de maior quantidade de

partículas com granulometrias diferenciadas faz com que haja um maior preenchimento dos vazios entre elas, de modo que a porosidade diminua, e conseqüentemente a absorção de água também.

A argamassa 30% apresentou maior absorção, maior índice de vazios e menores densidades no estado seco, como saturado. Foi observado que quanto maior a substituição de cimento por filler calcário, maior a absorção de água e o índice de vazios obtidos nos ensaios.

#### 4.1.2 Determinação da absorção – Método do cachimbo

De acordo com a norma, a absorção foi medida em cm<sup>3</sup>. A Tabela 6, apresenta os resultados obtidos durante o ensaio de absorção pelo método do Cachimbo, nas amostras.

Tabela 6. Resultados da absorção pelo método do cachimbo.

<b>Ensaio de absorção de água sob baixa pressão</b>												
Tempo (m)	Absorção (cm <sup>3</sup> )											
	Referência			10%			20%			30%		
	CP 1	CP 2	MÉDI A	CP 1	CP 2	MÉDI A	CP 1	CP 2	MÉDI A	CP 1	CP 2	MÉDI A
5	1,1	0,6	0,85	0,4	0,6	0,50	0,3	0,4	0,35	0,3	0,5	0,40
10	1,2	0,7	0,95	0,5	0,7	0,60	0,6	0,4	0,50	0,5	0,6	0,55
15	1,3	0,9	1,10	0,6	0,8	0,70	0,7	0,5	0,60	0,6	0,7	0,65
30	1,6	1,2	1,40	0,9	1,0	0,95	0,9	0,6	0,75	0,9	1,0	0,95
60	1,8	1,4	1,60	1,3	1,3	1,30	1,2	0,8	1,00	1,2	1,3	1,25
Área(cm <sup>2</sup> )	Absorção média aos 60 minutos (l/m <sup>2</sup> )											
5,7	2,81			2,28			1,75			2,19		

Fonte. Autores (2019).

Sabe-se que o filler pode exercer grande influência no tamponamento dos poros da argamassa. Nesse estudo, a absorção diminuiu com a substituição de cimento por filler calcário, sendo que se obteve menor absorção no traço 20%. O traço 30% apresentou uma maior absorção quando comparado ao traço com 20%, porém permaneceu abaixo dos índices obtidos no traço referência e 10%.

A substituição de cimento por filler calcário melhorou o desempenho das argamassas em relação ao traço referência, conferindo uma menor porosidade superficial.

#### 4.1.3 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

A ABNT NBR 13279 (2005) estipula que para o ensaio ser válido a amostra deve conter no mínimo quatro resultados, excluído os valores que apresentarem desvio máximo absoluto superior a 0,5 Mpa. Nesse estudo, todos os traços atendem a esse critério. A Tabela 7 apresenta o resultado médio de cada argamassa.

Tabela 7. Resultados de resistência à compressão.

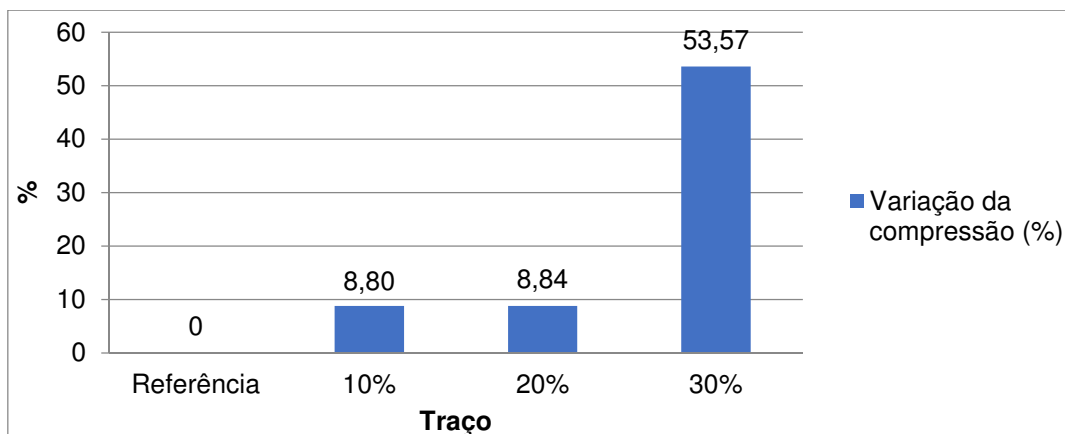
<b>Resultados do ensaio de resistência a compressão</b>					
Traço	Corpo-de-prova	Carga de ruptura (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Desvio máximo absoluto (Mpa)	Resistência à compressão média (Mpa)
Referência	1 ao 6	13930,2	1600	0,38	8,96
10%	1 ao 6	13264,8	1600	0,47	8,17
20%	1 ao 6	13259,9	1600	0,42	8,17
30%	1 ao 6	6670,8	1600	0,35	4,16

Fonte. Autores (2019).

A substituição de cimento por filler calcário não causou grande influência (em torno de 8,0%) nos valores de resistência a compressão nos traços 10% e 20% quando comparados ao traço referência. No traço 30, houve uma queda significativa (53,57) nos valores obtidos nos ensaios.

A variação da resistência à compressão é demonstrada na Figura 2. Os traços com 10% e 20% de substituição de cimento por filler calcário apresentaram praticamente os mesmos resultados. Nenhum traço apresentou valores de compressão superior ao de referência. O traço 10% teve perda de 8,80% em relação ao de referência, enquanto o traço 20% teve perda de 8,84%.

Figura 2. Variação da resistência à compressão.



Fonte. Autores (2019).

Quando a substituição foi de 30% de cimento por filler calcário houve uma queda significativa de resistência de 53,57%.

O traço de referência apresentou os maiores valores, enquanto os traços 10% e 20% alcançaram praticamente os mesmos resultados. O traço com substituição de 30% de cimento por filler calcário apresentou grande variação (38,79%) em relação ao traço referência. Os valores obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 8.

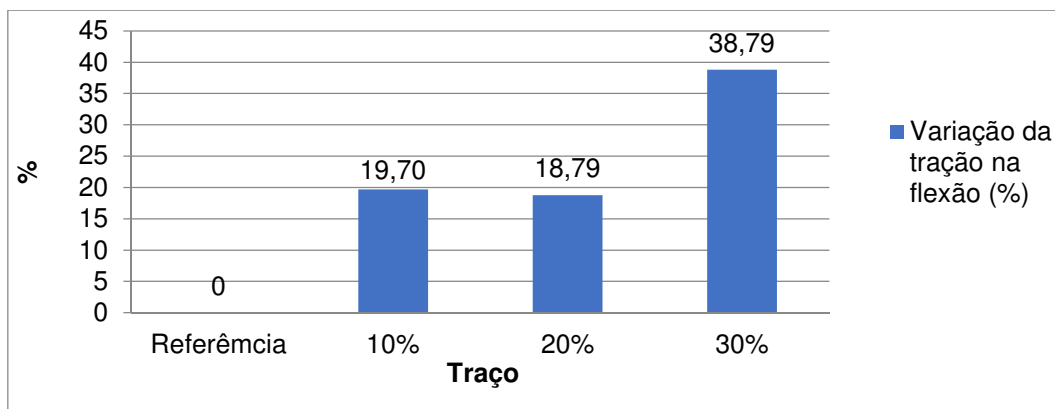
Tabela 8. Resultados de tração na flexão.

Resultados do ensaio de resistência a compressão					
Traço	Corpo-de-prova	Carga de ruptura (N)	Distância entre os suportes (mm <sup>2</sup> )	Desvio máximo absoluto (Mpa)	Resistência média (Mpa)
Referência	1	1007,16	100	0,10	2,49
10%	1	866,55	100	0,22	2,06
20%	1	876,36	100	0,25	1,97
30%	1	660,54	100	0,17	1,60

Fonte. Autores (2019).

A variação da resistência de tração na flexão é apresentada na Figura 3. A composição granulométrica das argamassas não influenciou na resistência de compressão e tração na flexão das argamassas 10% e 20%. O traço 10% teve perda de 19,70% em relação ao traço referência, enquanto o traço 20% teve perda de 18,79%.

Figura 3. Variação da resistência de tração na flexão.



Fonte. Autores (2019).

A substituição de cimento por filler calcário nas porcentagens de 10% e 20% influenciaram de forma mais considerável nos ensaios de tração na flexão que aos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão. Isto ocorreu devido ao fato de que o cimento atua como ligante entre as partículas de agregados submetidas à tração na flexão, sendo que o filler calcário não confere esta propriedade.

Quanto a mistura com substituição de 30%, os resultados variaram significativamente, tanto para os ensaios de resistência à compressão quanto como de tração na flexão.



#### 4.1.4 Determinação da resistência potencial de aderência à tração

A Tabela 9 apresenta a resistência potencial de aderência tração média assim como a variação de aderência entre os traços.

Tabela 9. Variação da aderência à tração.

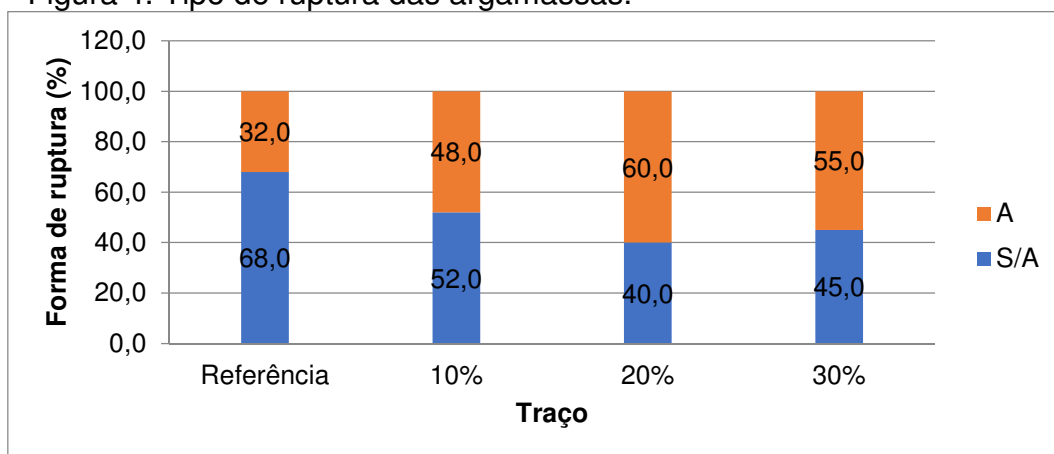
Traço	Aderência (%)	Média (Mpa)	Variação (%)
Referência	100,00	0,92	0,00
10%	93,48	0,86	-6,52
20%	89,13	0,82	-10,87
30%	78,26	0,72	-21,74

Fonte. Autores (2019).

De uma forma geral, o comportamento das amostras durante o ensaio foi semelhante àqueles observados no ensaio de resistência à compressão e tração na flexão. Nesses ensaios, o traço de referência apresentou maiores valores que nos demais traços.

Em relação ao tipo de ruptura, todos os traços apresentaram rupturas na interface argamassa/substrato e argamassa. Observou-se que até 20% de substituição de cimento por filler calcário, as rupturas deixam de ser na interface substrato/argamassa e passam a ser na argamassa. No teor de 30% o percentual de ruptura aumentou na interface argamassa/substrato, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Tipo de ruptura das argamassas.



Fonte. Autores (2019).

A partir do traço 20% a substituição de cimento por filler calcário causou o aumento das rupturas na argamassa, visto que a resistência a tração desta diminuiu. Após este limite a perda de resistência se torna tão acentuada que passa a comprometer a aderência da argamassa a base.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O filler é um material encontrado em abundância na grande maioria das indústrias de britagem sendo um produto de difícil realocação no mercado, entretanto demonstra propriedades propensas a serem incorporadas em compostos cimentícios.

Através dos ensaios realizados se comprova o que foi referenciado no capítulo de fundamentação, que o filler promove modificações reológicas nas argamassas, e que essas modificações exercem influência nas propriedades dos materiais no estado endurecido.

Comparando as argamassas com teores de substituição de cimento por filler calcário, não houve alterações que piorem ou dificultem a aplicação das mesmas.

Tratando da prática de aplicação e aspecto visual, todos os traços apresentaram em seu estado fresco aspecto opaco, coeso, com boa trabalhabilidade e plasticidade.

No aspecto reológico, a substituição de cimento por filler calcário aumentou a fluidez das argamassas. Devido a finura do filler calcário as argamassas obtiveram um preenchimento de vazios inter granulares, preenchendo espaços que seriam ocupados anteriormente pela água de amassamento. Desta forma a água acaba por exceder a quantidade necessária, provocando maior fluidez nas argamassas.

Este tipo de substituição ainda pode diminuir a relação água cimento, promovendo melhores características de resistência mecânica no estado endurecido.

O teor de ar incorporado nas argamassas não variou em função da quantidade de cimento nas argamassas, uma vez que a dosagem do aditivo foi realizada para o consumo de cimento e se manteve a mesma para os demais traços. Isto mostra que o aditivo incorporador tem relação também com a quantidade de materiais secos, e não somente efeito sobre a quantidade de cimento das amostras. A substituição de cimento por filler calcário não alterou o percentual de incorporação de ar das argamassas no estado fresco.

Tanto as absorções de água como a permeabilidade das argamassas diminuíram para teores de substituição de até 20% de substituição cimento por filler calcário, sendo que os teores de 10% apresentaram melhor desempenho.

A substituição de cimento por filler calcário nestes teores propiciou menos porosidade e melhor tamponamento dos poros permeáveis das argamassas, o que se refere ao preenchimento inter granular obtido pelas partículas finas do filler calcário.

No quesito resistência mecânica, as substituições de 10% e 20% de cimento por filler calcário não provocaram variações significativas que possam influenciar nas competências que argamassas de revestimento devem suportar. Inclusive, nos testes realizados com os traços 10% e 20% praticamente não apresentaram variações entre seus resultados para os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência à tração.

Para o traço com 30% de substituição de cimento por filler calcário houve perda significativa na resistência mecânica, devido à falta de material ligante e excesso de finos inertes na argamassa.

A substituição de cimento por filler calcário pode melhorar as características das argamassas em seu estado endurecido sem que haja a piora de suas propriedades no estado fresco.



O traço referência apresentou os melhores resultados nos ensaios de resistência mecânica. No entanto, o filler melhorou as características de absorção e permeabilidade das argamassas no estado endurecido, conferindo somente pequenas variações de resistência em relação ao traço referência para os teores de substituição de 10% e 20%.

No cenário atual, onde as obras de engenharia são cada vez mais desafiadoras a argamassa estabilizada vem ganhando volume frente à agilidade que propicia. As argamassas passam então a exercer um papel fundamental com impacto direto no desempenho e na vida útil das edificações.

O estudo de materiais de construção civil se torna taxativo para que seja possível se resguardar dos fatores econômicos e ambientais, garantindo que os produtos de engenharia civil forneçam medidas cada vez mais sustentáveis. Argamassas de revestimento são fundamentais na construção civil em todo o planeta e a demanda crescente de novas edificações e obras faz com que seja necessário obter domínio sobre suas propriedades e características.

A substituição parcial do cimento por filler calcário em argamassas estabilizadas para revestimento de paredes e tetos se torna viável desde que sejam feitas as análises prévias dos materiais utilizados objetivando sempre o maior preenchimento inter granular possível.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. (2012), **Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono**: caderno 3: nota técnica cimento.

ALISSON, Elton. **Pesquisadores da USP desenvolvem cimento ecoeficiente**. 2013. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/pesquisadores-da-usp-desenvolvimento-ecoeficiente/17215/>>. Acesso em: 11 outubro 2018.

American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete ASTM C40/C40M**. Pensilvânia, EUA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL – ABESC. **Manual do Concreto Dosado em Central**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. Boletim Técnico nº106: **Guia básico de utilização do cimento Portland**, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem NBR NM 46**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da composição granulométrica NM 248**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, NBR 13278**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão NBR 13279**. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica NBR 9778**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de concreto dosado em central – Procedimento NBR 7212**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência NBR 13276**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica NBR 16605**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Requisitos, NBR 16697**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

BERNARDES, Júlio. **Pesquisadores da Poli desenvolvem nova técnica que diminui emissão de CO<sub>2</sub> na produção de cimento**. 2013. Disponível em: <<https://www5.usp.br/25462/pesquisadores-da-poli-desenvolvem-nova-tecnica-que-diminui-emissao-de-co2-na-producao-de-cimento/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. 2. Ed, 2014.

- DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. São Paulo. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 237p, 2013.
- CAMPOS, G. M. **Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação**. Monografia (Especialização em Patologia das Construções) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.
- GUINDANI, E. N. **Argamassa estabilizada para revestimento: Avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado endurecido**, 2018. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.
- HO, D.W.S; SHEINN, A.M.M; NG, C.C; TAM, C.T. **The use of quarry dust for SCC applications, Cement and Concrete Research**, Volume 32, Issue 4, April 2002, Pg 505-511.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Ficha de ensaio- Absorção de água sob-baixa pressão, cachimbo**. Portugal, 2002.
- MANN NETO, A.; ANDRADE, D.C.; SOTO, N. T. A. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada**. Trabalho 99 de conclusão de curso (Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibra de aço**. Dissertação – Programa de PósGraduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.
- MATOS, Paulo Ricardo de. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Trabalho de Diplomação (em Engenharia Civil) apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2008.
- SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente**; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.
- SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. **Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development**, Journal of Cleaner Production, Volume 121, May 2016, Pages 19-32.
- SCHMID, A. G. **Argamassa estabilizada – Uma importante ferramenta para melhorar a sustentabilidade na construção civil**. Seminário apresentado no 53º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON, Florianópolis, 2011.
- SINGH, S.; KHAN, S.; KHANDELWAL, R.; CHUGH, A.; NAGAR, R. **Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste**, Journal of Cleaner Production, Volume 119, April 2016, Pages 86-98.

TENNICH, M.; KALLEL, A.; OUEZDOU, M. B. **Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes**, Construction and Building Materials, Volume 91, August 2015, Pages 65-70.

WOLF, Jairo. **Influência do teor de calcário na carbonatação de argamassas de cimento branco**. Tese (Doutorado) - Curso de Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Rio Grande do Sul, 2010.

