



Incorporação de resíduos de polimento de placas de mármore e granito em argamassas colantes industrializadas AC-I

Luzilene Souza Silva¹, Marlos Henrique Pires Nogueira¹, Gleisy Kelly Moreira Lima¹,
Filipe da Silveira Cipriano¹, Núbia Jane da Silva Batista¹

¹ Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Belém - PA- Brasil

eng.luzilene@gmail.com, paulistta2000@yahoo.com.br,
gleisy.fotog@hotmail.com, filipe.cipriano@hotmail.com,
nubiabatista257@gmail.com

Resumo. *O desenvolvimento sustentável é um dos principais objetivos da sociedade atual. Neste sentido, a logística reversa exerce grande importância para a redução dos impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais, no entanto, o processo de polimento destes materiais gera uma grande quantidade de resíduo que na maioria dos casos não possui uma destinação adequada. Por isso, este trabalho, contou com uma metodologia de pesquisa experimental para analisar as propriedades de três marcas de argamassas colantes industrializadas AC-I (A, B e C), com a substituição de fração parcial de (10% e 20%) por resíduo de polimento de placas de granito e mármore, através de ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados obtidos permitiram concluir que, a adição do Resíduo de Mármore e Granito (RMG) promove um incremento na resistência mecânica das argamassas, atribuído à melhora do empacotamento das partículas, expressa no aumento da densidade aparente, associada a uma redução da porosidade. Por isso, conclui-se que se trata de alternativa viável do ponto de vista técnico e principalmente ambiental, sendo que o teor ótimo de adição observado neste trabalho refere-se à fração de 20%.*

Palavras Chave: Argamassa Colante. Resíduo de Mármore e Granito. Meio Ambiente.

Abstract. *Sustainable development is one of the priorities of modern societies. In this context, reverse logistics plays an important role in the reduction of environmental impacts of waste generation. Brazil is one of the main producers of ornamental rocks in the world, though the polishing process of those materials generate great volumes of residue rarely given an adequate destination. Thus, this work's objective is, by means of an experimental research methodology, to analyzing the properties of three industrialized adhesive mortar (A, B and C) with the partial substitution (10% and 20%) by marble and granite blocks polymeric residue, using standard tests of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). The results allowed to conclude that the addition of granite and marble residue increases the mechanical resistance of mortars supposedly due to a better packing of particles expressed in the increased apparent density, associated with a reduction of porosity. Thus, we consider the alternative to be technically and especially environmentally viable, being the optimal tested proportion of additive 20%.*

Key words: Adhesive Mortar. Marble and Granite Residue. Environment.



1. Introdução

O desenvolvimento sustentável é um tema bastante discutido na sociedade atual e pode ser compreendido como: a capacidade de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer os recursos naturais disponíveis para as futuras gerações. A reciclagem e a reutilização estão entre as principais alternativas para o alcance desse objetivo, pois, possibilitam a economia de matérias-primas não renováveis e de energia, reduzindo os impactos ambientais causados pela geração de resíduos sólidos.

A construção civil é uma grande fonte geradora de resíduos sólidos. O entulho decorrente de suas diversas etapas construtivas traz prejuízos econômicos, sociais e ambientais para a comunidade. Torna-se então, necessário analisar meios e habilitar técnicas que proporcionem um desenvolvimento econômico adequado, de maneira sustentável.

Segundo Lucas e Benatti (2008) a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos, e; também diminuir os impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima diretamente do ambiente. É neste contexto que vem sendo estudado o uso de materiais alternativos para a produção de materiais de construção.

A incorporação de resíduos sólidos em argamassas e concretos já foi pesquisada por Pinto (1999) e Levy (1997). Estes autores detectaram o bom desempenho deste composto, do ponto de vista tecnológico e econômico. São vários os resíduos que podem ser adicionados aos materiais de base cimentícia, entre estes, está o pó proveniente do polimento de rochas ornamentais.

As peças de mármore e granito, muito utilizadas na construção civil, geram um volume considerável de resíduos que decorrem desde a fase de prospecção mineral até a fase de polimento das placas e ladrilhos. Na maioria das vezes este tipo de resíduo não tem uma destinação ecologicamente adequada.

Segundo Moura (2012), durante o polimento das rochas naturais, 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais. Chinelatto *et al* (2015) afirma que o uso deste resíduo vem sendo analisado para a incorporação em uma série de produtos cerâmicos como: concretos, alvenaria de vedação, argamassa de revestimento, lajotas para pisos, grés-porcelanatos, blocos para contenção de talude, lâ mineral e telhas. Os resultados mostram que a heterogeneidade dos produtos cerâmicos tradicionais permite a incorporação de uma quantidade razoável desses resíduos sem prejuízo das propriedades dos produtos finais.

Diante das circunstâncias apresentadas, este estudo pretende analisar as necessidades de trabalhos contínuos na utilização de resíduos com a intenção de se conhecer novas aplicações, novos materiais, ou seja, dar continuidade nas pesquisas.

2. Materiais e métodos

O presente trabalho utilizou uma metodologia de pesquisa de caráter exploratório visto que, segundo Gil (1999), este tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico e experimento laboratorial.

Na etapa laboratorial utilizou-se 3 diferentes marcas de argamassas industrializadas, para cada uma delas foram elaborados 3 traços, sendo o primeiro de referência, ou seja, sem a substituição de resíduo, um com a substituição de 10% de resíduo e o outro com 20%.

Todos os materiais utilizados nesta pesquisa foram caracterizados em laboratório para a obtenção da granulometria, massa unitária e massa específica. Posteriormente, foram confeccionados um total de 108 corpos de prova cilíndricos para realização dos ensaios de compressão axial, compressão diametral, índice de fragilidade, variação de massa e consistência da argamassa (no estado plástico).

2.1 Materiais e Métodos

Para confecção dos traços estudados neste trabalho, utilizou-se argamassas colantes industrializadas (AC-I), que aqui serão descritas como (A, B e C), água, e resíduos provenientes do polimento de placas de mármore e granito (RMG).

Após a lavra (extração dos blocos na jazida), o processo de geração do resíduo ocorre em três fases distintas: desdobramento dos blocos em chapas, polimento das chapas e corte das chapas. A Figura 1 representa o fluxograma da geração de resíduos a partir do beneficiamento das rochas ornamentais e a Figura 2 apresenta o resíduo que foi utilizado neste trabalho, que corresponde àquele proveniente do polimento das rochas ornamentais.

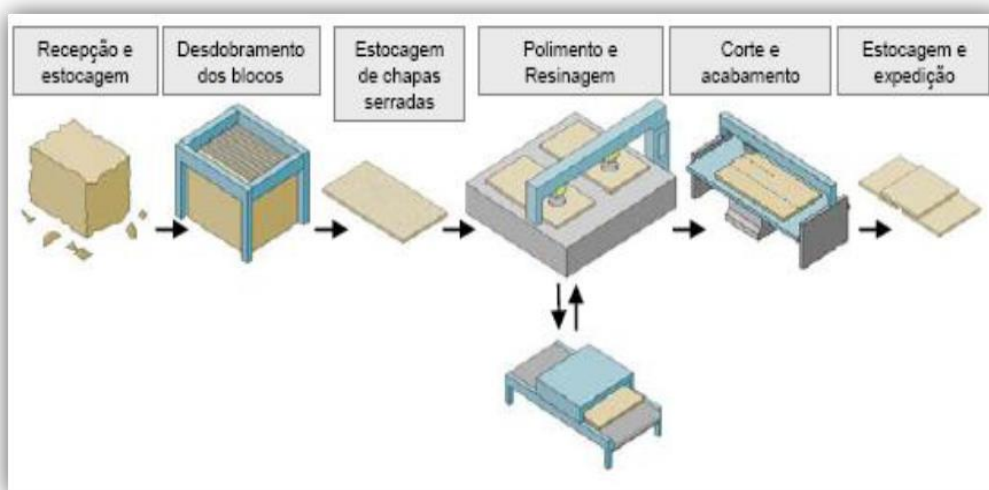


Figura 1. Fluxograma industrial de beneficiamento de granito



Figura 2. Resíduo utilizado nesta pesquisa

Na etapa laboratorial desta pesquisa foram confeccionados três traços para cada uma das três diferentes marcas de argamassas industrializadas, sendo o primeiro de referência, ou seja, sem a substituição de resíduo, um com a substituição de 10% de resíduo e o outro com

20%. Tanto as argamassas quanto os resíduos passaram por um processo de caracterização para obtenção de suas propriedades físicas, conforme descrito no Fluxograma da Figura 3.

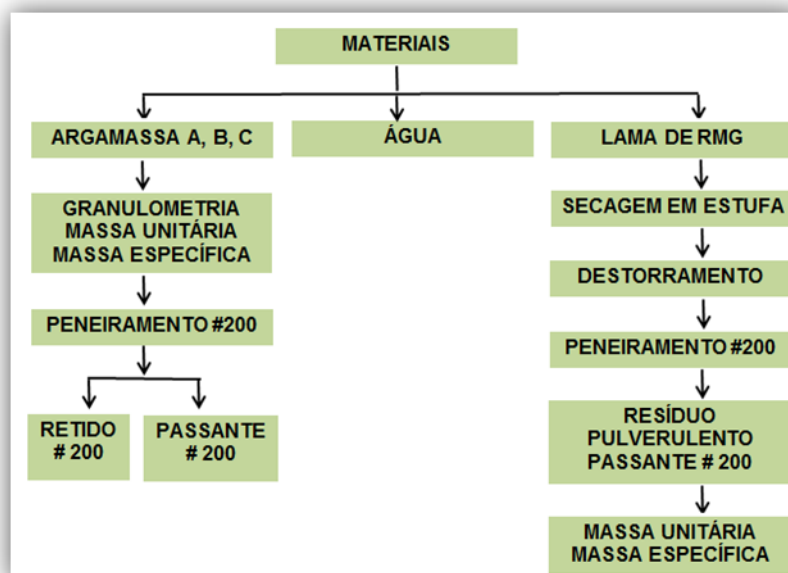


Figura 3. Fluxograma da caracterização dos materiais

2.1.1 Granulometria da Argamassa AC-I

O ensaio de caracterização granulométrica consiste em determinar as composições de massa do material para um intervalo especificado de granulometria, caracterizado pelo diâmetro mínimo do material. O processo de peneiramento pode ser tanto manual como mecânico segundo a norma ABNT NBR 248 (2003).

Neste trabalho utilizou-se o procedimento mecânico, por um período de 15 min a uma velocidade de 80 rpm. Para este ensaio, foram utilizadas 3 amostras de 500 Kg cada. As amostras foram postas no peneirador mecânico, com a seguinte série de peneiras de malha quadrada: 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0,075 mm e 0,045 mm.

2.1.2 Massa Específica da Argamassa AC-I

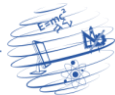
Para determinação da massa específica foram utilizados os parâmetros da norma ABNT NBR NM 23 (2001) através do frasco de Le Chatelier.

A argamassa foi posta diretamente no recipiente que estava preenchido com água, e posteriormente foi deixada em banho em posição vertical, durante um período de 30 minutos para equalização das temperaturas. Logo após foi feita agitação na proveta para eliminação das bolhas de ar e, então, realizou-se a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, que indicou o volume em cm³, ocupado pelo conjunto água-argamassa.

2.1.3 Massa Unitária da Argamassa AC-I

A massa unitária da argamassa foi obtida utilizando um recipiente prismático, onde foi realizado o procedimento segundo a norma ABNT NBR NM 45 (2006).

Após completo o recipiente com a argamassa, foi feito o nivelamento da superfície e a medição da massa do conjunto (argamassa + recipiente). Tendo o valor do volume do recipiente, o valor da massa unitária foi calculado, sendo igual à subtração da massa do



conjunto menos a massa do recipiente dividido pelo volume do mesmo. Para um resultado mais preciso, o procedimento foi repetido por 3 vezes.

2.1.4 Resíduo de Polimento de Placas de Mármore e Granito

Os resíduos utilizados neste trabalho são provenientes de uma marmoraria localizada na Região Metropolitana de Belém, no Distrito Industrial do Município de Ananindeua – Pará. Apesar das normas ambientais indicarem uma destinação adequada para este material, que é decorrente das diversas etapas do processo de polimento das rochas ornamentais, na maioria das vezes, ele é jogado diretamente no ecossistema sem nenhum tratamento prévio.

A lama gerada nestas etapas não é considerada um resíduo perigoso, mas constitui um problema ambiental. Algumas empresas acumulam este resíduo em tanques de contenção durante vários anos de operação. O resíduo, em sua forma pulverulenta, foi obtido em uma empresa de grande porte, e posteriormente foi seco ao ar. Após isso foi realizada a secagem em estufa a uma temperatura de aproximadamente 105°C, até constância de massa.

2.1.5 Peneiramento e massa específica do Resíduo de Polimento de Placas de Mármore e Granito

Após a retirada de umidade, o resíduo passou para etapa de peneiramento manual e mecânico, no qual se utilizou a peneira de malha quadrada #200 para a obtenção do material pulverulento. Nesta etapa, seguindo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 248 (2003), determinou-se a faixa granulométrica do resíduo, que foi de 84% de resíduo passante na peneira #200.

Também foram determinados a massa unitária com a utilização da ABNT NBR NM 45 (2006) e a massa específica por meio da ABNT NBR NM 23 (2001).

2.1.6 Dosagem da Argamassa

Para cada uma das três marcas de argamassa foi elaborado um traço específico, sendo que, para o traço de referência, seguiu-se as especificações do fabricante para preparo. Para os demais, houve a substituição do material retido na peneira #200, pela fração parcial em volume por porcentagens de 10% e 20% de resíduos de polimento de placas de mármore e granitos. Na Tabela 1 podem ser observados os traços utilizados.

Tabela 1. Traços Utilizados

Argamassa	A			B			C		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
% substituição	0%	10%	20%	0%	10%	20%	0%	10%	20%
Pas. #200	22	22	22	19	19	19	15	15	15
Retido #200	78	70,2	62,4	81	72,9	62,4	85	76,5	62,4
Resíduo	0	7,8	15,6	0	8,1	18,6	0	8,5	22,6
A/C	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,22	0,22	0,22

Onde:

% Substituição = porcentagem de substituição de argamassa por resíduo de granito e mármore;

% Pas. = porcentagem de material passante na peneira de malha #200.

% Retido #200 = porcentagem de material retido na peneira de malha #200;

A/C = relação água/cimento.

2.1.7 Medição do Índice de Consistência da Argamassa

A aferição do índice de consistência da argamassa foi realizada baseada nos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13276 (2016).

Os procedimentos executados conforme esta norma permite avaliar a consistência da argamassa moldada em um tronco-cônico, em função do diâmetro de abertura após a aplicação de 30 quedas na mesa de espalhamento. No estudo em questão, foi considerado como ideal um diâmetro de abertura de $250 \text{ mm} \pm 10$ para a produção de todos os traços da argamassa.

Na Figura 4 podem ser observados os passos do ensaio, que incluem: (1) moldagem da amostra, (2) aplicação de quedas na mesa e (3) espalhamento.



Figura 4. Ensaio do Índice de Consistência da Argamassa

2.1.8 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova de Argamassa

Os processos de moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7215 (1996).

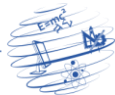
Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada traço, 6 deles foram rompidos no ensaio de compressão axial aos 7 dias de cura, e os outros 3, aos 28 dias. O mesmo foi feito para o ensaio de tração indireta. Na Figura (5a) é possível observar a moldagem dos corpos de prova e na Figura (5b), a aparência dos mesmos, após a desmoldagem.



Figura 5. Moldagem dos Corpos de Prova (a); Aparência Fial dos Corpos de Prova (b)

2.1.9 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A Resistência à compressão axial é um dos fatores fundamentais para análise das argamassas, sendo uma das propriedades geralmente especificadas através do controle de qualidade. Essa



resistência foi determinada conforme o teste de compressão uniaxial padrão descrito pela ABNT NBR 7215 (1996) que é aceito universalmente como um índice geral da resistência do material.

Para a realização do ensaio foram utilizados 6 corpos de prova cilíndricos para cada traço, que foram rompidos em uma prensa hidráulica. A determinação da resistência à compressão axial foi feita dividindo-se o valor da força aplicada sobre a área do corpo de prova rompido.

2.1.10 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Este trabalho baseou-se no que estabelece a ABNT NBR 7222 (2011). O ensaio consistiu em colocar o corpo de prova repousado ao longo de uma geratriz sobre o prato da máquina de compressão.

Colocou-se entre estes pratos e o corpo de prova, duas tiras de metal isentas de defeitos, em seguida aplicou-se a força de compressão sobre o corpo de prova até sua ruptura. Este ensaio baseia-se na obtenção da quantidade de força necessária para romper um corpo de prova em sentido longitudinal.

2.1.11 Índice de Fragilidade

A análise da relação f_t/f_c (Força de tração/Força de compressão) teve como base o trabalho de Jiang (1995), onde o autor demonstrou que esta relação pode ser um indicador de fragilidade da argamassa ao longo do tempo.

O trabalho indica que uma argamassa no momento da moldagem, no tempo t_0 , tem o valor de f_t/f_c igual a 1, no entanto, à medida que o tempo passa, a resistência à compressão tende a aumentar e à tração diminuir, este fato aumenta a fragilidade da argamassa, isto é, o valor da relação tende a diminuir, e no infinito as forças de compressão serão infinitas vezes maiores que à de tração.

No presente trabalho esta relação foi comparada entre os três traços (0%, 10% e 20% de substituição de resíduo) para cada uma das três argamassas industrializadas utilizadas (A, B e C) para uma idade de 28 dias, assim, foi possível definir qual material apresentou o menor índice de fragilidade.

2.1.12 Variação de Massa

Este ensaio consiste em aferir diariamente a massa dos corpos de prova, durante um período de 4 semanas, a fim de verificar a variação de massa ao longo desse período (dm/dt).

Os procedimentos deste ensaio estão descritos no CSTB (1993). Para este trabalho foram pesados diariamente 54 corpos de prova durante o período de 28 dias, sendo estes com e sem a substituição de resíduo.

3. Resultados obtidos

3.1 Análise Granulométrica

Na Tabela 2 encontram-se os resultados obtidos para o ensaio de distribuição granulométrica das argamassas utilizadas e, na Figura 6 é apresentado um comparativo das curvas granulométricas das argamassas utilizadas.

Tabela 2. Granulometria dos Três Tipos de Argamassas

Abertura das peneiras (mm)	Argamassa A			Argamassa B			Argamassa C		
	% Retido Médio	% Ret. Acum. Médio	% Pas.	% Retido Médio	% Ret. Acum. Médio	% Pas.	% Retido Médio	% Ret. Acum. Médio	% Pas.
6,3	0	0	100	0	0	100	0	0	100
4,75	0	0	100	0	0	100	0	0	100
2,36	0	0	100	0	0	100	0	0	100
1,18	0	0	100	0,28	0,28	99,72	0,20	0,20	99,8
0,6	3,07	3,07	96,93	6,12	6,4	93,6	4,10	4,3	95,7
0,3	20,87	23,94	76,06	30,55	36,95	63,05	24,19	28,49	71,51
0,15	42,01	65,95	34,05	31,96	68,91	31,09	48,66	77,15	22,85
0,075	11,97	77,92	22,08	12,11	81,02	18,98	7,93	85,08	14,92
0,045	17,93	95,85	4,15	15,41	96,43	3,57	13,44	98,52	1,48
FUNDO	4,15	100	0	3,57	100	0	1,48	100	0

Tipo	MF (%)	D. Máx. (mm)
A	0,93	0,6
B	1,13	1,18
C	1,10	0,6

Agregados - Determinação da composição granulométrica ABNT NBR NM 248 (2003)

Onde:

% Retido Médio = porcentagem média de material retido na peneira;

% Ret. Acum. Médio = porcentagem acumulada média de material retido na peneira;

% Pas. = porcentagem de material passante na peneira.

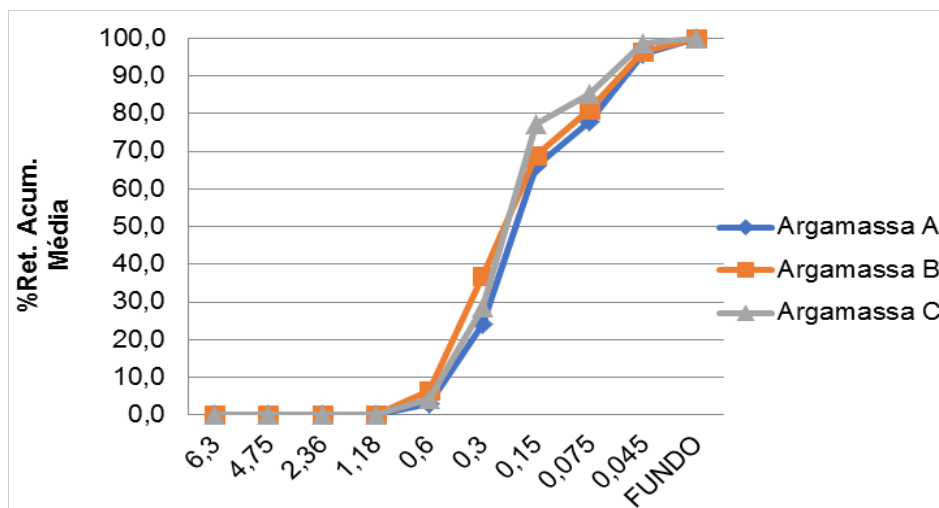


Figura 6. Distribuição Granulométrica dos Três Tipos de Argamassas Utilizadas

Através da Figura 6 é possível observar que as três argamassas apresentam uma curva granulométrica muito próxima, demonstrando uma distribuição quase que uniforme, sendo que os maiores percentuais de material retido foram observados na peneira de abertura 0,15mm. Em relação ao módulo de finura, foi observado que, a argamassa tipo B é a que apresenta o maior valor: 1,13 mm, por isso é considerada como sendo um material mais grosso em relação às marcas A e C, que apresentaram valores inferiores, correspondentes a: 0,93 mm e 1,10 mm, respectivamente.

No que diz respeito à dimensão máxima, que corresponde à malha da maior peneira, em que fica retida uma porcentagem de agregado igual ou inferior a (5%), foi verificado que, a argamassa tipo B é a que apresentou o maior diâmetro máximo: 1,18 mm, enquanto que as outras duas marcas tiveram valores inferiores fixados em 0,6 mm. Isto demonstra que as características de material mais fino das argamassas A e C contribuirão para diminuir o índice de vazios do compósito, proporcionando uma melhora da resistência mecânica em seu estado endurecido.

3.2 Massa Específica e Unitária

Em relação à massa específica, os valores obtidos nos ensaios estão descritos na Tabela 3. Onde verifica-se que a argamassa tipo B foi a que apresentou maior valor entre as argamassas, e o resíduo apresentou o maior valor em comparação as argamassas.

Tabela 3. Massa Específica das Argamassas

Argamassa	Massa específica (kg/dm ³)
A	2,660
B	2,684
C	2,569
Resíduo de mármore e granito	2,750

Para massa unitária, os resultados obtidos no ensaio estão descritos na Tabela 4. O resíduo apresenta uma massa unitária bem menor aos valores das argamassas. Enquanto que, entre as três marcas analisadas, o tipo C foi a que obteve a menor.

Tabela 4. Massa Unitária das Argamassas

Argamassa	Massa Unitária (kg/dm ³)
A	1,721
B	1,723
C	1,614
Resíduo de mármore e granito	1,086

3.3 Consistência da Argamassa

A Tabela 5 apresenta os valores encontrados, dos traços de argamassas, através do ensaio feito na mesa de consistência.

Tabela 5. Resultado do Ensaio de Consistência das Argamassas

Traço	%Resíduo	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
		a/c	Ø (cm) Média	a/c	Ø (cm) Média	a/c	Ø (cm) Média
I	0	0,19	25,7	0,17	24,2	0,22	25,8
II	10	0,19	25,4	0,17	23,5	0,22	26,2
III	20	0,19	24,6	0,17	22,8	0,22	24,9

Onde:

%Resíduo = porcentagem de substituição de fração de argamassa por resíduo de mármore e granito;

a/c = relação água/cimento;

Ø (cm) Média = diâmetro médio da abertura da massa ou índice de consistência.

Através da interpretação dos dados percebe-se que todos os traços sem resíduos executados, tiveram um diâmetro médio de espalhamento dentro do previsto para o ensaio, com valores variando de $250 \text{ mm} \pm 10$.

No que diz respeito ao índice de consistência das argamassas, a variável água/cimento e o diâmetro de abatimento possuem uma relação diretamente proporcional, como é observado na Figura 7, ou seja, a medida que se aumenta o teor de resíduo, há uma diminuição no espalhamento.

Pode-se verificar que os traços com a adição de resíduo tiveram uma diminuição no seu espalhamento em relação ao traço de referência para uma mesma relação água cimento. Exceto para o traço com argamassa tipo C, que obteve um aumento neste fator quando se adicionou 10% de resíduo e depois teve um decréscimo para o traço com 20%.

Como os traços com substituição de resíduo apresentam uma diminuição no espalhamento, quando comparados à argamassa convencional, pode-se afirmar que o resíduo apresenta características de um material do tipo fíler que, ao provocar a perda do excesso de água livre na argamassa, aumenta a coesão da pasta cimentícia. Dessa forma, verifica-se que, por haver uma diminuição dos espaços vazios na mistura, com a adição de resíduos, esse fator ocasionará uma melhora nas especificidades mecânicas da argamassa em seu estado endurecido, já que porosidade e resistência são propriedades inversamente proporcionais.

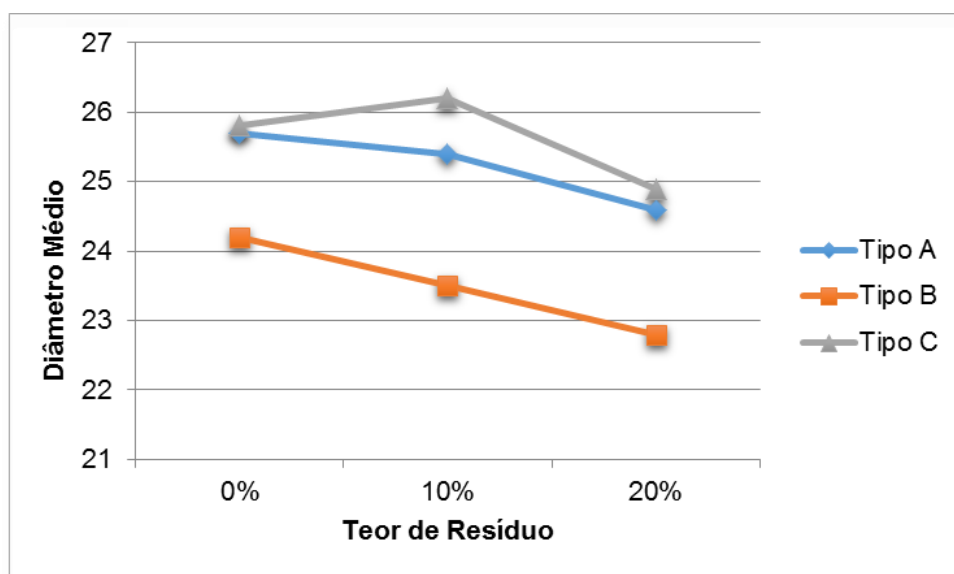


Figura 7. Índice de Consistência das Argamassas

3.4 Resistência à Compressão Axial

Na Figura 8 estão os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial correspondente à idade de 7 dias de rompimento.

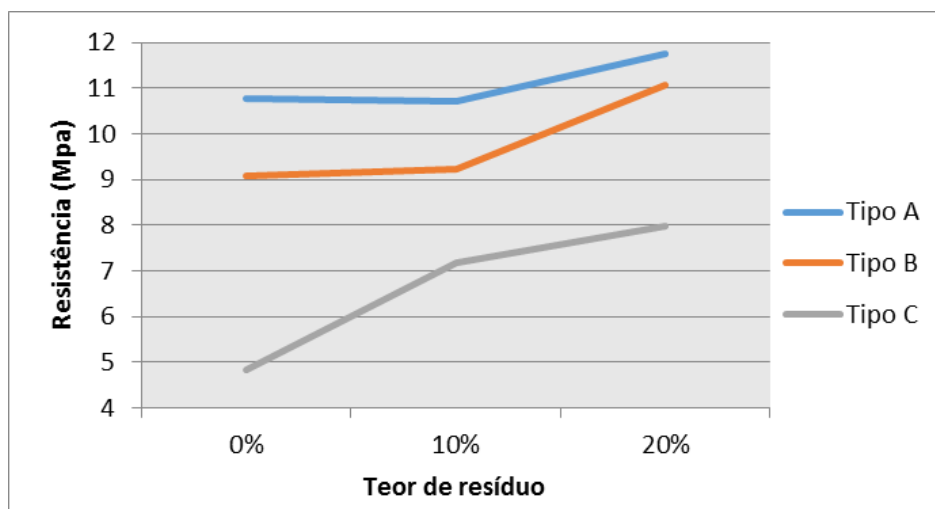


Figura 8. Comportamento da resistência a compressão aos 7 dias.

Analisando-se os valores observa-se que todos os traços com resíduo na idade de 7 dias, obtiveram melhores resultados quando comparados à argamassa convencional que atingiu 10,77 MPa para a marca A; 9,09 MPa para a marca B; e, 4,84 para a marca C, chegando a um percentual de 65% de ganho de resistência para o traço com teor de 20% de resíduo. Isto indica que a fração do material retido das argamassas colantes tipo AC-I, substituído pelo RMG nos percentuais ensaiados tem um aumento nas suas resistências em idades iniciais, exceto o traço II do tipo A, onde não houve ganho.

Na Figura 9 encontram-se os resultados obtidos para a compressão axial dos corpos de prova rompidos aos 28 dias após a cura. Os traços com resíduo II e III, obtiveram aumento na resistência a compressão, variando de (3% a 60%), comparado ao traço I de referência, exceto o traço II, do tipo B que foi o único a apresentar uma queda na resistência em relação à argamassa tradicional. O maior ganho de resistência foi verificado na argamassa tipo C, com teor de 20%, que obteve elevação no grau de resistência da ordem de 60% em relação à argamassa sem resíduo.

Como já era previsto a partir do ensaio de composição granulométrica, pelo fato das argamassas B e C terem uma maior concentração de material retido na peneira #200, e o resíduo ser um material com características pulverulentas, ou seja, se comportam como fíler, ocorreu a diminuição dos espaços vazios na argamassa o que justifica o aumento de resistências dos traços B e C.

Este aumento na resistência a compressão axial nos traços de argamassas com adição de resíduo de mármore e granito nas idades de 7 e 28 dias, estão de acordo com outros estudos que verificaram a mesma ocorrência, como por exemplo, Sousa Junior (2017), que analisou o uso do mesmo material em substituição parcial de fração de areia em argamassas.

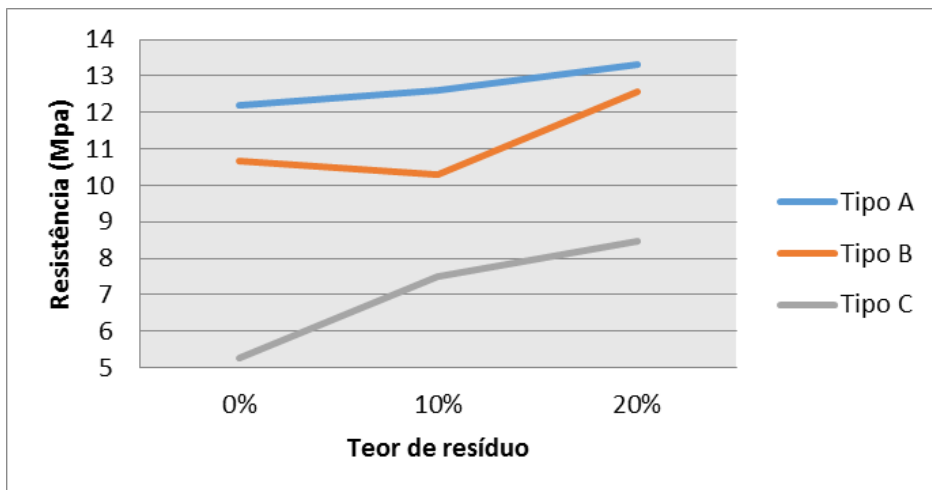


Figura 9. Comportamento da resistência a compressão aos 28 dias

3.5 Resistência à Tração Indireta ou à Compressão Diametral

Na Figura 10 demonstram-se os resultados dos ensaios de resistência à tração indireta, de cada traço, correspondente à idade de 7 dias de rompimento. Os traços II e III apresentaram uma maior resistência em relação ao traço I, de referência, chegando a um acréscimo de (52%) para a argamassa tipo C, com teor de 20%. Somente o traço II do tipo B, teve uma queda de resistência que pode estar ligada as variáveis dos ensaios ou procedimento de manuseio etc.

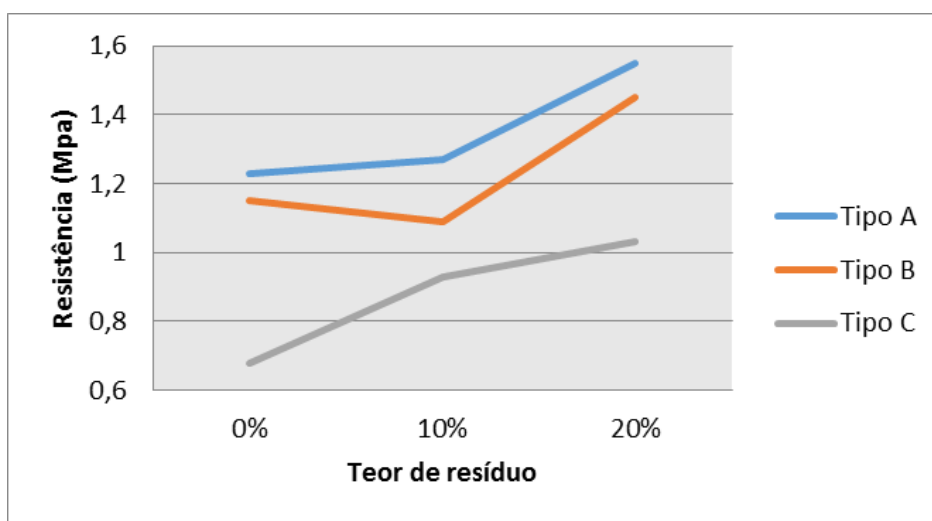


Figura 10. Resultados de resistência à tração indireta aos 7 dias

Na Figura 11 encontram-se os resultados obtidos para a compressão diametral dos corpos de prova rompidos aos 28 dias após a cura. Os traços II e III, tiveram um pequeno aumento, exceto o traço II do tipo A e tipo B que apresentaram uma queda de resistência, que assim como para o resultado obtido para o traço II do tipo B aos 7 dias, este resultado pode estar ligado a variáveis dos ensaios do procedimento ou manuseio etc. Para o traço III do tipo C, houve um acréscimo de resistência da ordem de 39% em relação à argamassa sem resíduo.

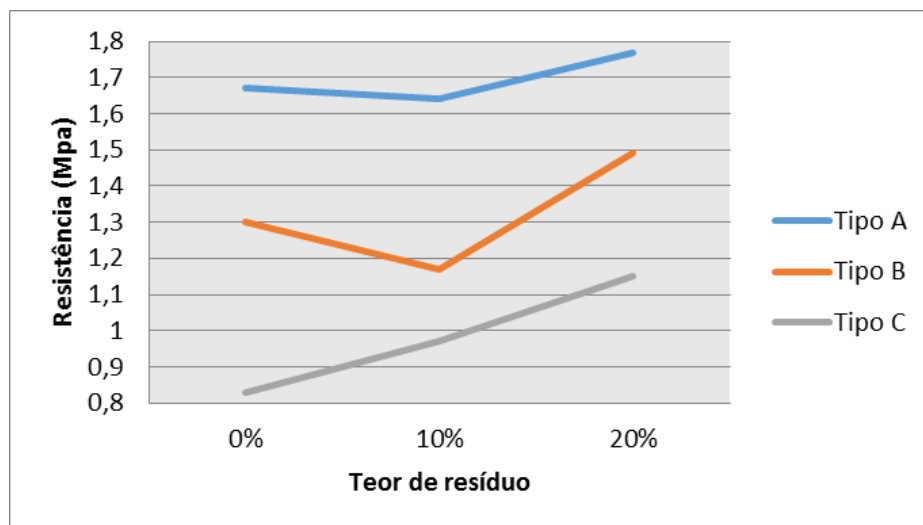


Figura 11. Resultados de resistência à tração indireta com 28 dias

Estes valores também estão em consonância com o que foi encontrado por Sousa Junior (2017). Este autor também observou um aumento na resistência à compressão axial nos compósitos adicionados com resíduo.

3.6 Índice de Fragilidade

Ao se relacionar as resistências de tração indireta com compressão axial, obtiveram-se os resultados expressos na Figura 12.

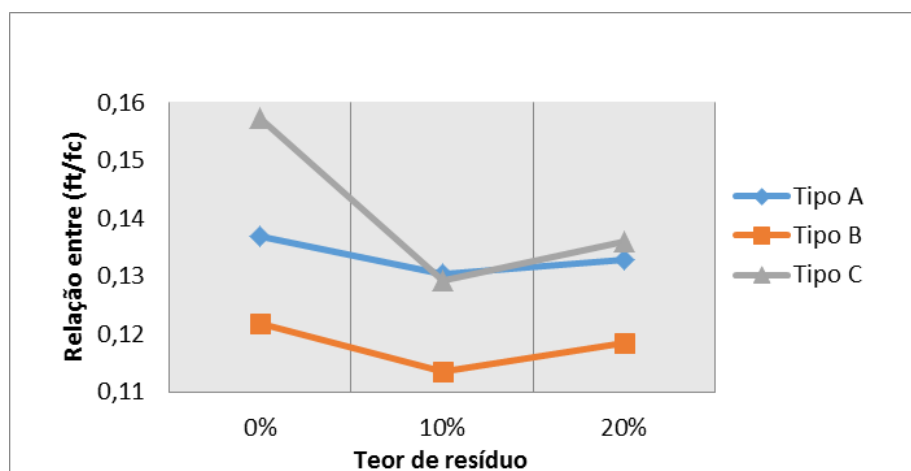


Figura 12. Resultados de resistência à tração indireta com 28 dias

Observou-se que o traço II e III do tipo B e C, respectivamente com 10% e 20% de resíduo, caracterizam-se como argamassas mais frágeis, percebeu-se que o traço de 10% foi a mais frágil em relação ao traço de 0% e 20%, como é observado no referido Gráfico.

Apesar de ter havido uma leve diminuição no índice de fragilidade das argamassas com substituição de resíduo, a diferença em relação aos traços de referência é muito pequena, concluindo-se dessa forma, que o seu uso é viável para assentamento de revestimento, por exemplo, estes resultados também estão de acordo com a relação encontrada por Sousa Junior (2017), que verificou que, a adição de resíduo de mármore e granito influenciou em um pequeno acréscimo da fragilidade.

3.7 Variação de Massa

Os resultados das variações de massa para cada traço estão apresentados nas Figuras, 13 14 e 15.

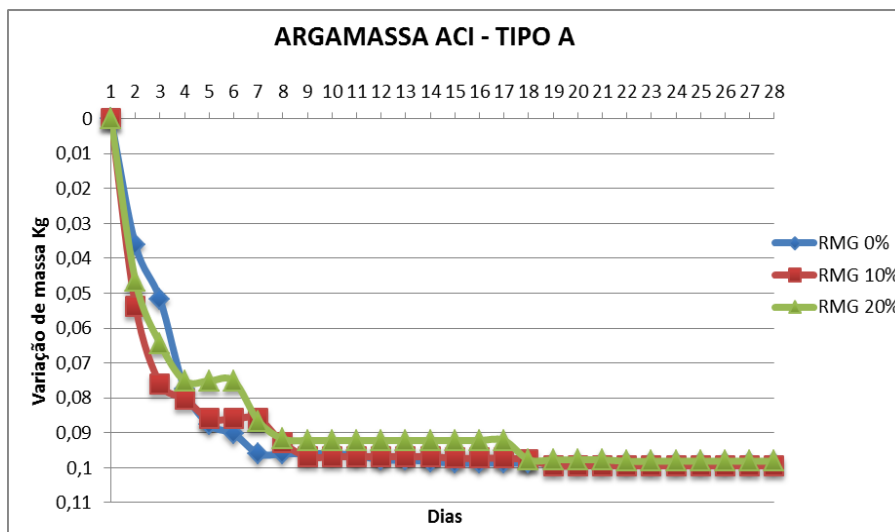


Figura 13. Variação de Massa - Argamassa Tipo A

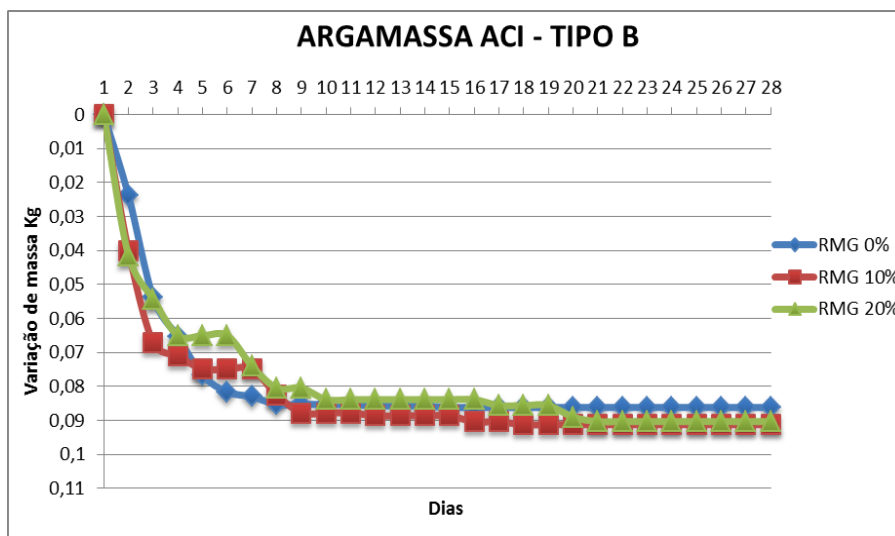


Figura 14. Variação de Massa - Argamassa Tipo B

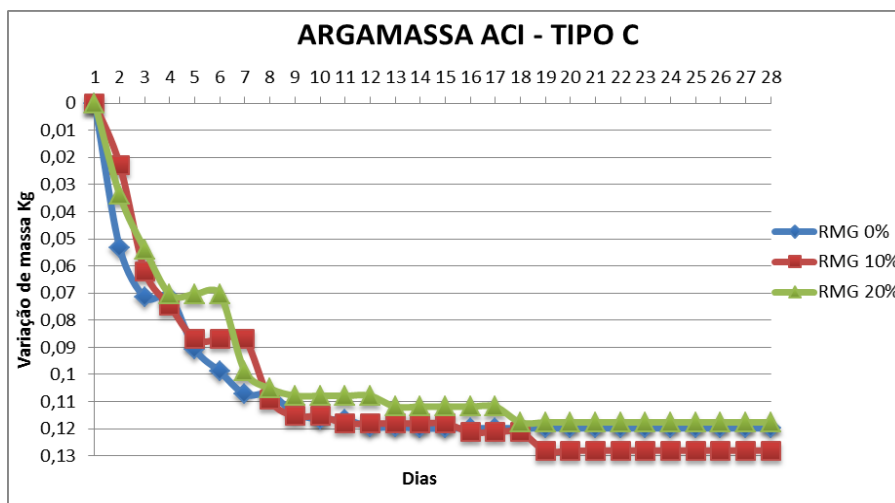
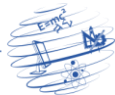


Figura 15. Variação de Massa - Argamassa Tipo C



Analisando estes dados, percebe-se que no 3º dia, para as argamassas tipo A e tipo B, o traço que apresentou a maior perda de água foi o com adição de 10% de resíduo. Por outro lado, para a argamassa tipo C, o traço com menor retenção de água foi o de referência, sem adição de resíduo. No entanto, a partir do 5º dia, as argamassas com 20% de resíduo, passaram a reter maior quantidade de água, ou seja, tenderam a uma estabilidade de massa. Este fenômeno provavelmente está ligado às características do resíduo inserido na mistura que, por possuir um alto módulo de finura, proporcionou uma diminuição dos espaços vazios na pasta cimentícia, reduzindo desta forma, a porosidade das argamassas. Por isso, os traços com maior adição de resíduo apresentam maior retenção de água, pois não possuem grande quantidade de poros capilares que façam com que esse líquido extravase.

Para todas as marcas e os seus respectivos traços é observado, através dos Gráficos, que a partir do 7º dia ocorre uma tendência à constância de massa das argamassas.

Para os traços com 10% de resíduo foi observado que praticamente não houve alteração, ou seja, não influenciou na retenção de água. Isto pode ser atribuído à retirada de uma parte dos finos do material retido na peneira de número #200.

4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados obteve-se as seguintes conclusões: a adição do RMG promove um incremento na resistência mecânica das argamassas (resistência à compressão axial e diametral) para a idade de 28 dias, atingindo os valores mais elevados para o traço com teor de 20% de adição. Este fato pode ser atribuído à melhora do empacotamento das partículas, expressa no aumento da densidade aparente, associada a uma redução da porosidade para teores crescentes de RMG.

Dessa forma, fica nítida a influência da adição de RMG no aumento tanto de resistência axial, quanto diametral das argamassas, comprovando desta maneira, que esta é uma aplicação muito benéfica do ponto de vista tecnológico, uma vez que a resistência é uma das mais importantes propriedades da argamassa de revestimento.

Em relação à trabalhabilidade, verificou-se que os traços com adição de RMG apresentaram uma diminuição do espalhamento, devido ao efeito filer do resíduo, que ocasionou a perda do excesso de água livre das argamassas e por consequência a redução da trabalhabilidade. A introdução de teores crescentes do resíduo levou ao aumento da absorvidade, visto que a presença de uma maior quantidade de partículas finas leva à redução do diâmetro dos poros capilares.

As argamassas com adição de resíduo obtiveram um pequeno acréscimo de fragilidade em relação ao traço com 0% de adição. Sendo que, o teor de 10% foi o que teve o pior resultado. No entanto, as diferenças nos valores em relação à argamassa convencional foram mínimas, portanto, não sendo suficientes para interferir no seu desempenho.

Quanto à variação de massa, observou-se que a argamassa tipo A, com teor de 20%, foi a que apresentou maior capacidade de retenção de água. Verificou-se que apesar das argamassas Tipo A e Tipo B, com 10% de resíduo terem apresentado uma maior perda de água nas primeiras idades em relação à argamassa convencional, os resultados foram muito aproximados, sendo que, todos os traços com RMG tiveram um baixo teor de absorção de umidade, constatando-se dessa forma, que seu uso pode ser indicado para áreas internas.

Dessa forma, conclui-se que a adição de resíduos provenientes do polimento de mármore e granitos em argamassas colantes industrializadas se mostra uma alternativa viável do ponto de vista técnico e principalmente ambiental, sendo que o teor ótimo de adição observado neste trabalho se refere à fração de 20%.



5. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14081 (2012) “Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas Cerâmicas”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13276 (2016) “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7222 (2011) “Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos” Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248 (2003) “Agregados - Determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 45 (2006) “Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7215 (1996) “Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão”, Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 23 (2001) “Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica”, Rio de Janeiro.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT, CSTB (1993) “Certifications des enduits monocouches d'imperméabilisation – Modalités d'essais”, Livarsion 341, cahier 2669 – 4, 7p.
- Chinelatto, A. S. A, Chinelatto, A. L., Ferreira, D. E. M. e Gralik, G. (2015) “Estudo da viabilidade do uso de resíduo de polimento de rochas ornamentais em porcelanas”, In: Revista Matéria, v. 20 n. 4. p. 1075-1086, <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v20n4/1517-7076-rmat-20-04-01075.pdf>, Junho.
- Gil, A. C. (1999) “Métodos e técnicas de pesquisa social”, 5. ed., Atlas, São Paulo, SP.
- Jiang, S. (1995) “Contribution a l'etude des relations entre la microstructure et les proprietes mecaniques des mortiers hydrauliques”, Tese de Doutorado, INSA, Toulouse, França.
- Levy, S. M. e Helene, P. R. L. (1997) “Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 146p.
- Lucas D. e Benatti C. T. (2008) “Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil”, Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez.
- Moura, W. A. e Leite, M. B. (2012) “Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação”, Revista Escola de Minas, v.64, n. 02, p. 147-154.
- Pinto, T. P. (1999) “Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP.
- Sousa Júnior, R. M. C (2017) “Substituição da Areia por Percentuais de Resíduo do Mármore e Granito em Argamassas Convencionais”, Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Ideal Devry, Belém, PA.