



## REJUNTE ARGAMASSADO: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA INSERÇÃO DE BORRACHA DE PNEU RESIDUAL

Suzana Virtuoso (1), Elaine Guglielmi Pavei Antunes (2), Jorge Henrique Piva (3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) suznavirtuoso@gmail.com, (2) elainegpa@unesc.net, (3) jhpiva@gmail.com

**Resumo:** O objetivo desta pesquisa é fazer uma abordagem sobre a influência da inserção de pó de pneu em argamassa de rejuntamento, sendo comparada uma mistura padrão, com outras três misturas que possuem substituição parcial do agregado pelo pneu pulverulento, nas proporções de 2,2, 4,6 e 7,0%. As diferentes misturas foram caracterizadas conforme a NBR 14992:2003, além do módulo de elasticidade pela NBR 8522:2017 e um ensaio experimental, analisando a absorção das tensões pelo rejunte através da expansão do substrato. De acordo com os resultados, a inserção de pó de pneu no rejunte aumentou a incorporação de ar, portanto diminuiu o módulo de elasticidade, além de diminuir a absorção por capilaridade e aumentar a retenção de água para a mistura com 4,6% de substituição do agregado miúdo. Porém, como as substituições foram feitas em pequenas quantidades, as melhorias e diferenças também foram sucintas.

**Palavras-chave:** argamassa de rejuntamento; pneu pulverulento; materiais residuais; elasticidade.

### Grouting mortar: analysis of the influence of residual tire rubber insertion

**Abstract:** The objective of this research is to make an approach on the influence of the insertion of tire powder in grout mortar, being compared a standard mixture, with three other mixtures that have partial replacement of the aggregate by the powdery tire, in the proportions of 2.2, 4.6 and 7.0%. The different mixtures were characterized according to NBR 14992:2003, in addition to the modulus of elasticity by NBR 8522:2017 and an experimental test, analyzing the absorption of stresses by grouting through the expansion of the substrate. According to the results, the insertion of tire powder in the grout increased the incorporation of air, therefore decreased the elasticity modulus, besides reducing the absorption by capillarity and increasing water retention for the mixture with 4.6% of fine aggregate replacement. However, as the replacements were made in small quantities, the improvements and differences were also brief.

**Key-words:** grouting mortar; powdery tire; waste materials; elasticity.

## Introdução

Segundo Ponciano (2011) e Dutra (2010) a fachada de uma edificação pode valorizar o imóvel e, portanto, deve apresentar aspecto estético agradável, além de auxiliar no desempenho do edifício. Desta forma, os revestimentos têm um papel fundamental, pois cobrem o edifício e, conseqüentemente, são os principais responsáveis pela proteção das paredes e estruturas dos agentes ambientais de degradação (ANTUNES, 2019). Revestimentos cerâmicos são comumente utilizados em fachadas dada sua durabilidade, uma vez que, são extremamente resistentes aos agentes atmosféricos (EDIS, FLORES-COLEN E BRITO, 2014). Conforme, Güney e Caner (2015) e Thomaz (2013) uma fachada sustentável pode ser definida pela sua durabilidade e, nesse contexto, destaca-se o sistema de revestimento cerâmico, por ser durável e de fácil manutenção (JUNGINGER, 2003).

Para Medeiros e Sabbatini (1999), revestimento cerâmico é o conjunto monolítico de camadas aderidas à base de alvenaria ou concreto, cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo. Conforme Fiorito (2009), qualquer deformação em uma dessas camadas, resultará em tensões em todo o conjunto.

De acordo com Antunes (2019), a argamassa de rejuntamento pode ser considerada a camada que conclui a execução dos revestimentos cerâmicos, ainda, segundo os autores Fiorito (2009) e Pilla (2013), é indispensável para a estabilidade dos revestimentos, pois serve para dissipar as tensões vindas das deformações da base ou do próprio revestimento.

Consoante Medeiros e Sabbatini (1999), no Brasil, as principais manifestações patológicas que surgem nos sistemas de revestimentos cerâmicos são fissuras e perda de aderência das placas cerâmicas. Segundo os mesmo autores, essa perda de aderência causa os deslocamentos, sendo mais comuns nos primeiros e últimos pavimentos do edifício, onde as movimentações estruturais são mais intensas e, também, nas fachadas, locais mais solicitados por insolação.

De acordo com Yiu, Ho e Lo (2007), a temperatura cíclica, umidade, vento, sol e pressão do ar causam cisalhamento entre as interfaces do sistema cerâmico e, se estas tensões

forem maiores do que pode ser acomodado nas juntas de dilatação, acaba excedendo a força de adesão entre os componentes, causando a falha adesiva.

Para absorver tais tensões, o rejunte deve possuir requisitos de desempenho, como rigidez, resiliência, flexibilidade e aderência. Cabe salientar, que estes dois últimos estão intimamente relacionados, já que o aparecimento de microfissuras por perda de aderência deixa um caminho livre para a penetração de água e outros agentes nocivos não apenas ao rejunte, mas ao sistema de revestimento cerâmico por completo (JUNGINGER, 2003).

O setor da construção civil está em constante evolução, buscando novas tecnologias em pesquisas, porém, de acordo com Ponciano (2011), há poucas pesquisas relacionadas ao rejunte argamassado, sendo que sua função é de grande importância, uma vez que sua falha pode gerar diversas manifestações patológicas.

Conforme Carasek (2007) as argamassas de rejuntamento são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água podendo ainda conter aditivos e adições minerais. As principais características do agregado miúdo que podem influenciar nas características físicas e propriedades mecânicas, das argamassas, são: porosidade; composição ou distribuição granulométrica; absorção de água; forma e textura superficial; resistência à compressão e módulo de elasticidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De acordo com Magalhães (2008), agregado miúdo é tratado como um material de enchimento inerte, por isso não deve provocar reações indesejáveis. Sua função dentro do rejunte é propiciar uma menor retração da pasta formada por cimento e água, e aumentar a resistência ao desgaste superficial. Segundo Andolfato (2002), os agregados utilizados em argamassas de rejuntamento devem apresentar granulometria e formato dos grãos que propiciem melhor acomodação entre eles, pois esse fator resulta em economia de pasta composta pelos outros materiais, que são de valor mais avantajado. Por este motivo, destaca-se o uso da dolomita (carbonato de cálcio e magnésio) como agregado miúdo em argamassa de rejunte (MARSSETTI, 2019). No entanto, a dolomita para uso como agregado miúdo tem seu custo oneroso, quando comparado aos usuais agregados miúdos (areia quartzosa) utilizados nos compósitos cimentícios, além de influenciar no módulo de elasticidade da argamassa de rejuntamento.

Diante do exposto, verifica-se a importância de estudar-se a aplicabilidade de novos materiais em argamassas de rejuntamento, principalmente se os mesmos se tratarem de materiais residuais e que, por conseguinte, podem diminuir a poluição ambiental e ainda melhorarem algumas características físicas e propriedades mecânicas do rejunte.

O pneu, por exemplo, é um material nocivo e grande fonte de resíduos inservíveis. Quando não está mais em condição de uso, os pneus são, muitas vezes, descartados indevidamente e, além de sua ocupação de espaço físico, devido às elevadas proporções geradas, podem proporcionar vários problemas, entre eles: assoreamento de rios e lagos, ocupação de grandes espaços nos aterros, riscos de incêndio e, quando em terrenos baldios ou lixões, proliferação de insetos. No caso de países com clima quente, como o Brasil, a armazenagem em pilhas propicia a proliferação de mosquitos transmissores de dengue, febre amarela e encefalite (CEMPRE, 2018).

De acordo com a pesquisa realizada em 2017 pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), no Brasil, entre pneus novos produzidos e importados foram contabilizados mais de um milhão de toneladas (IBAMA, 2018). A Resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 416/2009 estabelece que, para cada pneu novo comercializado, as empresas fabricantes ou importadoras devem dar destinação adequada a um pneu inservível (relação 1:1), considerando perda de massa devido ao desgaste de pneus residuais.

Em 1998, a ASTM – American Society for testing and Materials, aprovou a norma prática para o uso de pneus inservíveis em aplicações na Engenharia Civil. Porém, houve atualizações desta norma, sendo de 2017 a versão mais recente. Esta norma fornece orientação para testar características físicas, considerações de projeto, práticas de construção e potencial de geração de lixiviados de pneus de sucata processados ou inteiros, em vez de materiais convencionais de engenharia civil, como pedra, cascalho, solo, areia, agregado leve ou outros materiais de preenchimento (ASTM D 6270-17).

De acordo com Sampaio (2017), a utilização da borracha de pneu residual em materiais de construção civil possui vantagens que superam o ganho ambiental, como aumento de vida útil e maior retorno elástico. De acordo com Kamimura (2002) os pneus radiais para passeio possuem cerca de 15% em peso de borracha natural, sendo esta a

responsável pelas propriedades elásticas e 27% de borracha sintética, que proporciona estabilidade térmica.

Nesse contexto, o seguinte trabalho busca analisar a influência da substituição fracionária do agregado miúdo, dolomita, por pó de pneu em argamassa de rejuntamento. A definição da substituição parcial da dolomita por pó de pneu deu-se pela relação que o agregado miúdo tem com o módulo de elasticidade dos compósitos cimentícios resultantes. Segundo Gimenez (2010) o módulo de elasticidade da borracha de rodagem é de  $5,77 \times 10^{-3}$  GPa e, de acordo com Pcziecsek (2017), a massa específica da borracha do pneu é de  $1,195 \text{ g cm}^{-3}$  enquanto a da dolomita é de  $2,95 \text{ g cm}^{-3}$ . Agregados mais densos costumam apresentar módulo de elasticidade mais alto (NEVILLE, 2013; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

## Materiais e métodos

Para a realização desta pesquisa, a mesma foi efetuada em duas etapas, sendo que, a primeira caracterizou-se pela definição dos traços (componentes e proporções), execução dos traços e realização dos ensaios de caracterização das argamassas de rejuntamento produzidas, conforme a Figura 1 que apresenta o fluxograma com as etapas do trabalho.

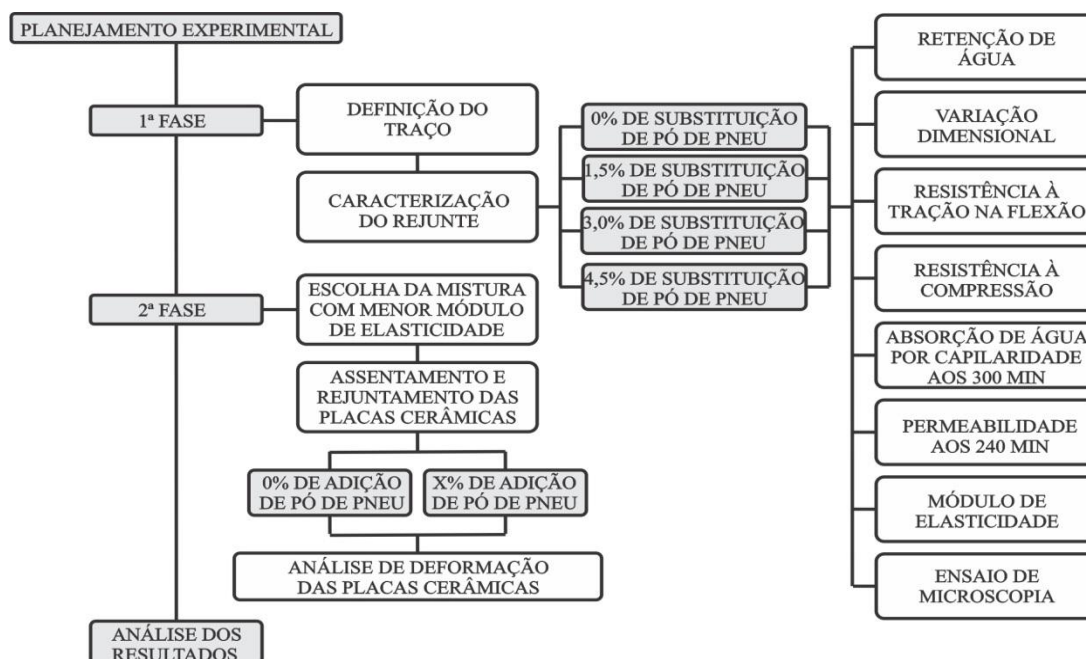


Figura 1 – Fluxogramas com as etapas do trabalho.

Para a caracterização das argamassas de rejunte, realizaram-se os ensaios de determinação de retenção de água, determinação da variação dimensional, determinação da resistência à compressão, determinação da resistência à tração na flexão, determinação da absorção de água por capilaridade, determinação de permeabilidade e módulo de elasticidade, além de uma microscopia. O ensaio de módulo de elasticidade seguiu as diretrizes da NBR 8522:2017. Os outros ensaios mencionados seguiram as diretrizes da NBR 14992:2003. Para a microscopia utilizou-se o microscópio Olympus UC30 para ampliações de 100 vezes e microscópio digital USB para ampliações de 1600 vezes.

Após a análise dos resultados da primeira etapa, principalmente o de módulo de elasticidade das argamassas de rejuntamento produzidas, definiu-se dois traços para a continuidade da pesquisa, ou seja, para a segunda etapa. A mesma consistiu na execução de dois sistemas de revestimentos cerâmicos, sendo que a distinção entre eles refere-se ao tipo de argamassa de rejuntamento utilizada. No primeiro empregou-se o traço de rejunte sem adição do pó de pneu residual e no segundo um traço com inserção de pó de pneu, que apresentou menor valor de módulo de elasticidade. Os dois sistemas executados foram imersos parcialmente em água, a fim de ocasionar movimentações higroscópicas no conjunto. A absorção de água pelo substrato provoca deformações nas placas cerâmicas e, essa deformação foi medida através de extensômetros.

Para a execução dos sistemas de revestimentos cerâmicos, foram utilizadas placas cerâmicas (7,5 x 7,5 x 0,6 cm), substrato-padrão de tamanho 25 x 50 cm e 20 mm de espessura, conforme especifica a NBR 14081-2:2015 e argamassa colante industrializada Tipo I, utilizada para revestimentos internos. O assentamento das placas também foi realizado de acordo com a NBR 14081:2015 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.

As juntas foram realizadas com um espaçamento de 3 mm. Os dois substratos foram submetidos ao ensaio sob as mesmas condições, e com o mesmo tempo de cura (7 dias após o rejuntamento). O sistema executado para a segunda etapa pode ser visualizado na Figura 2.



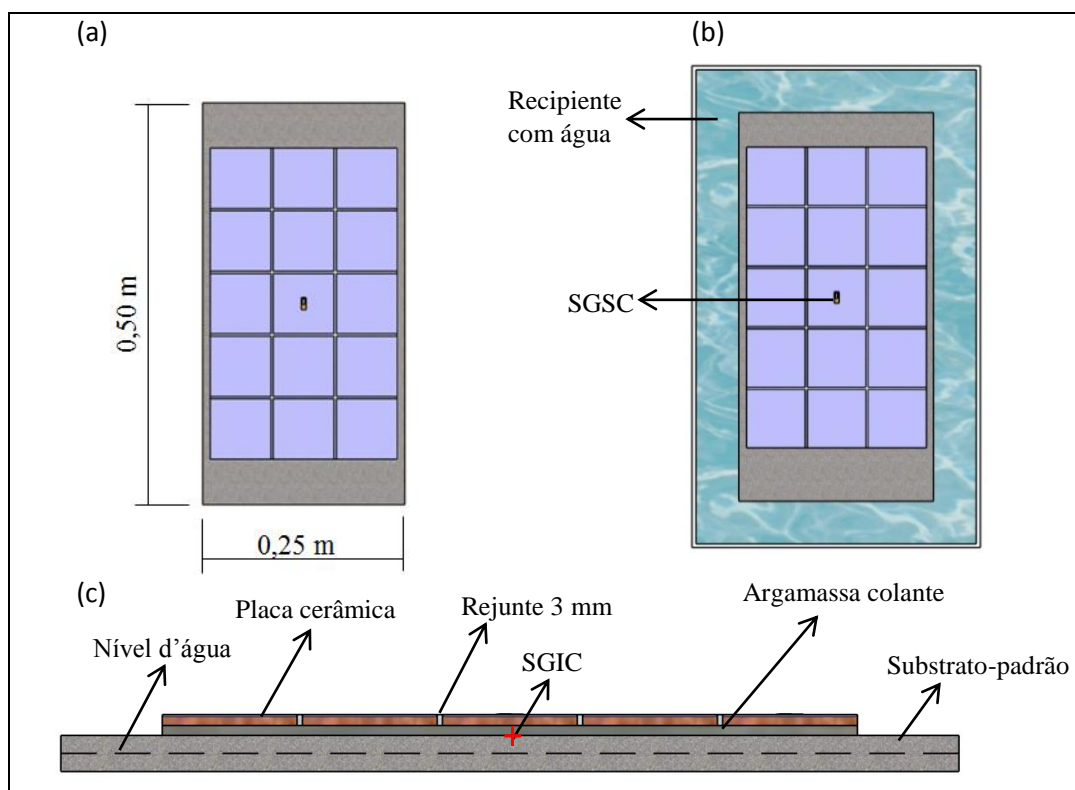


Figura 2. Sistema de revestimentos cerâmicos da segunda etapa da pesquisa: (a) dimensões e posição do extensômetro, (b) detalhamento do ensaio, (c) composição das camadas

Os substratos foram imersos parcialmente em um recipiente contendo água, cobrindo as laterais até 10 mm. O substrato-padrão ficou 14 horas em contato com a água, desta forma, a absorção de água ocasionou variações dimensionais no mesmo, provocando deformações no sistema, inclusive na placa cerâmica assentada. Para medir tais deformações, foi instalado um extensômetro sobre o substrato (*Strain Gauge* Inferior Centralizado – SGIC) e um sobre a placa cerâmica central, em sua superfície (SGSC).

Para a execução dos traços de argamassa de rejuntamento foram utilizados aglomerante, agregado natural, polímero e aditivos. Como aglomerante foi empregado o cimento Portland branco estrutural com classe de resistência de 25 MPa, para o agregado miúdo foi utilizada a dolomita, o Copolímero Acetato de Vinila Etileno foi empregado como polímero e como aditivos foi inseridos o celulósico como fluidificante e estearato de zinco para hidrorrepelente.

Com base no traço da argamassa de rejuntamento das pesquisas de Ponciano (2011), Magalhães (2008) e em uma composição tradicional (fornecida por uma fábrica de rejuntas) foi definido o traço dessa pesquisa. Além da AP (sem inserção do pó de pneu), foram

executadas argamassas com substituição parcial de 2,2, 4,6 e 7,0% da dolomita por pó de pneu, conforme apresentado na Tabela 1. A denominação das misturas está de acordo com a porcentagem de pneu inserida, sendo AP (amostra padrão), e A2,2 A4,6 e A7 para as amostras com 2,2, 4,6 e 7,0% de substituição respectivamente.

Tabela 1 – Quantidade dos materiais em gramas para cada Kg de argamassa de rejuntamento

MATERIAIS	PADRÃO	A2,2	A4,6	A7
Cimento Portland branco	310,00g	310,00g	310,00g	310,00g
Dolomita	684,00g	669,00g	654,00g	639,00g
Borracha de pneu residual	0,00g	15,00g	30,00g	45,00g
Polímero	1,50g	1,50g	1,50g	1,50g
Aditivo hidrorrepelente	2,50g	2,50g	2,50g	2,50g
Aditivo fluidificante	2,00g	2,00g	2,00g	2,00g
Quantidade de água na mistura	330,00g	330,00g	330,00g	330,00g

O preparo das misturas foi realizado de acordo com o Anexo A da NBR 14992:2003. A quantidade de água foi definida com base na consistência da mistura para a moldagem dos corpos de prova.

Conforme ensaio granulométrico, a dolomita adquirida para esta pesquisa possui diâmetro a 10% de 2,95  $\mu\text{m}$ , diâmetro a 50% de 18,33  $\mu\text{m}$ , diâmetro a 90% de 34,53  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 18,86  $\mu\text{m}$ . O resíduo de pneu foi adquirido com granulometria variada e, por conseguinte, fez-se necessário uma separação granulométrica. A definição da escolha do tamanho máximo da partícula do pó de pneu foi devido a maior facilidade de homogeneização do pó de pneu aos outros componentes da argamassa de rejuntamento. Portanto, definiu-se o tamanho máximo da partícula do pneu como passante na peneira de malha de 212  $\mu\text{m}$ . A Figura 3 apresenta o pó de pneu residual obtido e o mesmo após passar pela separação granulométrica.

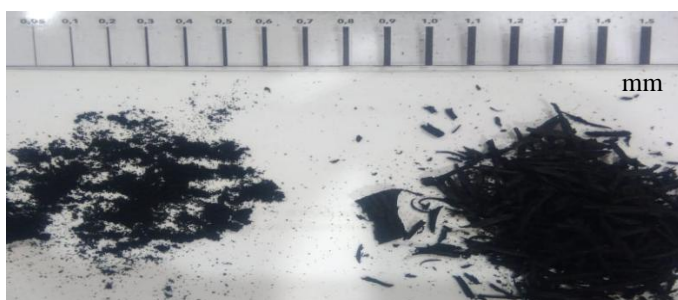


Figura 3. Pneu utilizado na mistura passante na peneira 212  $\mu\text{m}$  (lado esquerdo) ao lado do pneu adquirido em granulometria variada (lado direito)



Os resultados da primeira etapa foram analisados pelo método de análise de variância (ANOVA), e pelo teste de comparação de médias (Teste de Tukey) com 95% de confiança. Já na segunda etapa, os resultados apresentados foram analisados de forma comparativa ou qualitativa.

## Resultados e Discussões

A Tabela 2 abaixo apresenta os resultados obtidos com o ensaio de retenção de água para cada mistura, realizado no estado fresco. A norma tem como requisito uma mancha menor que 75 mm para argamassa de rejunte tipo I e menor que 65 mm para tipo II, sendo a maior retenção de água expressa pela menor mancha de umidade no papel filtro.

Tabela 2 – Retenção de água em mm

Mistura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Média	Desv. Padrão
AP	46,32	46,5	46,84	48,45	47,0275	0,9725
A2,2	46,28	47,72	46,14	46,52	46,665	0,7206
A4,6	44,52	44,17	44,82	45,23	44,685	0,4501
A7	46,62	46,18	46,6	46,74	46,535	0,2446

De acordo com o teste de Tukey, no ensaio de retenção de água (Tabela 2) a mistura que apresentou diferença em relação às outras, foi a mistura com adição de 4,6% de pneu, onde foi obtido a maior retenção de água, expresso pelo menor valor da mancha de umidade medida no papel filtro. Todas as misturas se enquadraram no tipo II, sendo que a mistura A4,6 teve um decréscimo de 33% em relação ao exigido pela norma para tipo II.

Conforme Canova (2007) a adição de pó de borracha de pneu na mistura pode auxiliar na retenção de água de amassamento, devido ao fato de este propiciar o aumento de ar incorporado na mistura. Conforme pode ser verificado na Tabela 2, as misturas A4,6 e A7 possuem as menores manchas de umidade, representando maior retenção de água, tal qual, pelo maior teor de ar incorporado.

O ensaio de determinação de variação dimensional, obtido no estado endurecido, está representado na Tabela 3. Neste ensaio, com 95% de significância, não teve alteração nos resultados entre as misturas. De acordo com a NBR 14992:2003, a variação dimensional não

deve ultrapassar 2 mm/m em módulo, tanto no tipo I quanto no tipo II, sendo assim, todas as amostras se enquadraram neste parâmetro.

Tabela 3 – Determinação da variação dimensional medida em mm/m

Mistura	CP 1	CP 2	CP 3	Média	Desv. Padrão
AP	0,60	-1,60	0,20	-0,27	1,1719
A2,2	-0,80	-1,00	-0,40	-0,73	0,3055
A4,6	-0,40	0,00	-0,20	-0,20	0,2000
A7	-1,20	-0,20	-0,60	-0,67	0,5033

A Figura 4 representa as médias, o desvio padrão e o requisito mínimo do rejunte Tipo I da NBR 14992:2003 para a resistência à compressão e tração na flexão, assim como o ensaio de módulo de elasticidade.

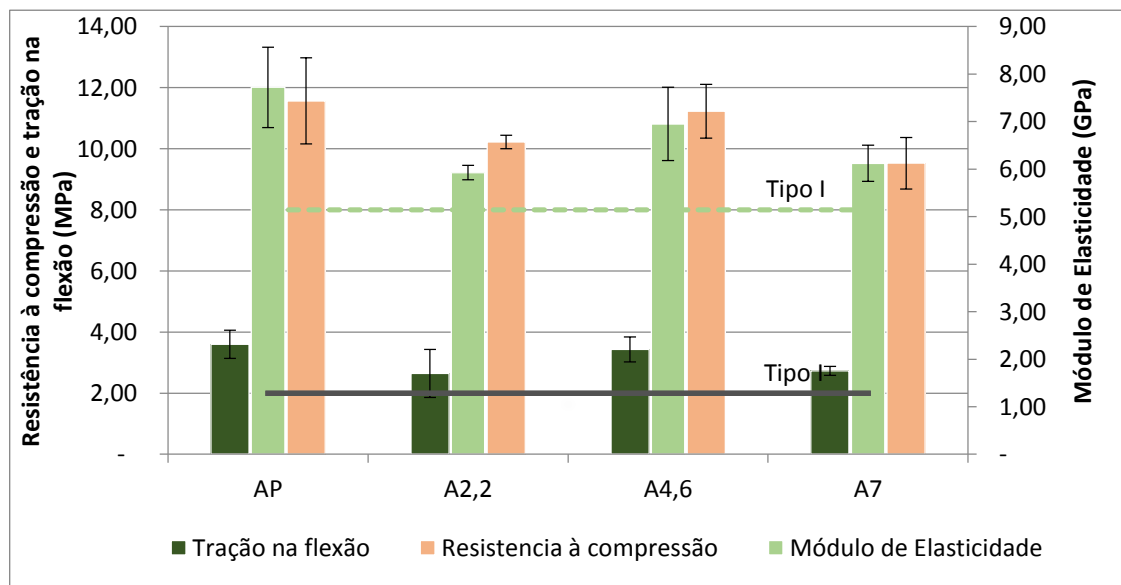


Figura 4 – Comparação dos resultados da resistência à compressão, tração na flexão e módulo de elasticidade entre as amostras de referência e as amostras com substituição parcial de pó de pneu

Segundo o gráfico, todas as misturas atenderam ao requisito mínimo de resistência à compressão para o rejunte Tipo I, porém, o requisito para rejunte Tipo II é de 10 MPa, e a mistura A7 não atingiu o exigido. No ensaio de tração à flexão, todas as misturas atingiram ao exigido pela norma para Tipo I, mas as misturas A2,2 e A7 ficaram abaixo do exigido para Tipo II, que é de 3 MPa.

O módulo de elasticidade alcançado pelas misturas AP, A2,2 A4,6 e A7 foi de 7,72, 5,93, 6,95 e 6,12 GPa, respectivamente. A pesquisa de Motta (2019) baseia-se no ensaio de

rejuntas industrializados, portanto, foi analisado o módulo de elasticidade de quatro rejuntas distintos, chegando aos resultados de 9,86; 6,31; 10,00 e 9,88 GPa. Assim, como na tese de Antunes (2019), que em sua caracterização do rejunte chegou em 9,62 GPa no ensaio de módulo de elasticidade. Desta forma, os rejuntas desta pesquisa, inclusive o padrão, apresentaram-se mais elásticos.

Segundo Junginger (2003), o módulo de elasticidade do rejunte tem grande potencial para proporcionar alívio de tensões. O sistema de revestimento cerâmico impõe esforços ao rejunte, que deve suportá-los sem diminuição de desempenho, findos os esforços, o rejunte deve retornar ao estado inicial.

De acordo com os resultados alcançados através da média dos corpos de prova e com o teste de Tukey, o ensaio de tração na flexão não obteve diferenças significativas. Contudo, os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade apresentaram disparidade. No ensaio de resistência à compressão, a mistura A7 obteve resultados que foram considerados inferiores à mistura padrão, conforme a ANOVA. Já no ensaio de módulo de elasticidade tanto a mistura A2,2 quanto a A7 se diferem da mistura padrão, apresentando uma mistura com módulo de elasticidade inferior. De acordo com Pcziczek (2017), o motivo da disparidade pode estar relacionado ao teor de ar incorporado e pelo fato dos resíduos apresentarem massa específica inferior.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de capilaridade aos 300 min em g/cm<sup>2</sup> e permeabilidade aos 240 min em cm<sup>3</sup>, ambos de acordo com a NBR 14992:2003.

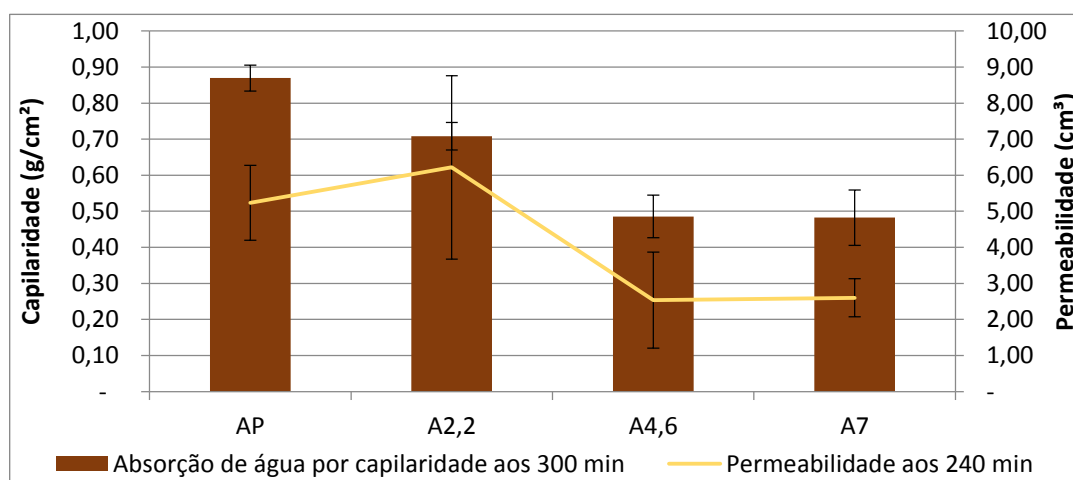


Figura 5 - Comparação dos resultados de capilaridade aos 300 min e permeabilidade aos 240 min entre as amostras de referência e as amostras com substituição parcial de pó de pneu

Conforme os resultados, nenhuma das misturas atingiram o mínimo exigido para rejunte Tipo I para o ensaio de permeabilidade, enquanto que no ensaio de absorção por capilaridade, apenas as misturas A4,6 e 7 atingiram o requisito para rejunte Tipo I.

De acordo com a análise, não houve diferença significativa nas misturas com adição de pó de pneu para o teste de permeabilidade, porém, para o teste de capilaridade, as misturas que tiveram semelhança entre si foram a A4,6 e A7, possuindo menor permeabilidade quando comparadas com as misturas AP e A2,2.

Apesar da presença de pó de pneu aumentar o teor de ar incorporado, para os traços A4,6 e A7, a capilaridade diminuiu. Tal fato pode ocorrer devido ao coeficiente de absorção de água por capilaridade depender de fatores como a conectividade da rede porosa e a dimensão dos poros, sendo que quanto menor for a porometria, maior serão as forças capilares (RATO, 2006).

Argamassas que absorvem grande quantidade de água tendem a apresentar expansões indesejadas seguidas, até mesmo, de rupturas causando microfissuras na argamassa, permitindo a entrada de agentes externos, assim como diminui a possibilidade de aparecimento de mofo e proliferação de fungos no rejunte (PONCIANO, 2011).

A Figura 6 abaixo ilustrada representa as quatro amostras (AP, A2,2, A4,6 e A7) ampliadas 100 vezes no aparelho microscópico Olympus UC30.

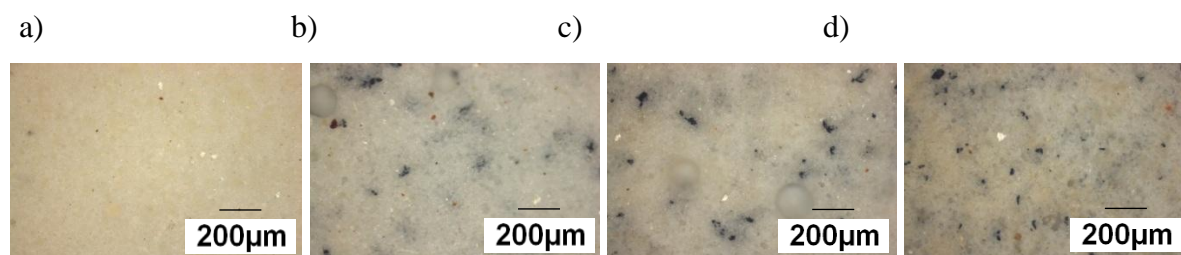


Figura 6 - Amostras das misturas: (a) amostra padrão (AP), (b) amostra com substituição de 2,2% de pó de pneu (A2,2), (c) amostra com adição de 4,6% de pó de pneu (A4,6), (d) amostra com adição de 7,0% de pó de pneu (A7)

Conforme apresentado na Figura 6, os traços apresentaram boa homogeneização, porém, conforme aumenta o percentual de pó de pneu, a coloração escurece, sendo um fato relevante para o efeito estético, podendo interferir na pigmentação com corantes.

De acordo com os resultados da primeira etapa, escolheu-se o rejunte padrão (AP) e A7 para o rejuntamento das placas cerâmicas, esta escolha dá-se pelo motivo da mistura A7 possuir maior teor de pó de pneu em sua composição, representando um rejunte mais

sustentável. Além de possuir menor absorção por capilaridade e menor módulo de elasticidade em relação à mistura AP.

Os resultados da segunda etapa estão representados na Figura 7, exibindo a deformação em microstrain ( $\mu\epsilon$ ) em relação ao tempo (min), onde os valores positivos representam a tração e os valores negativos, a compressão.

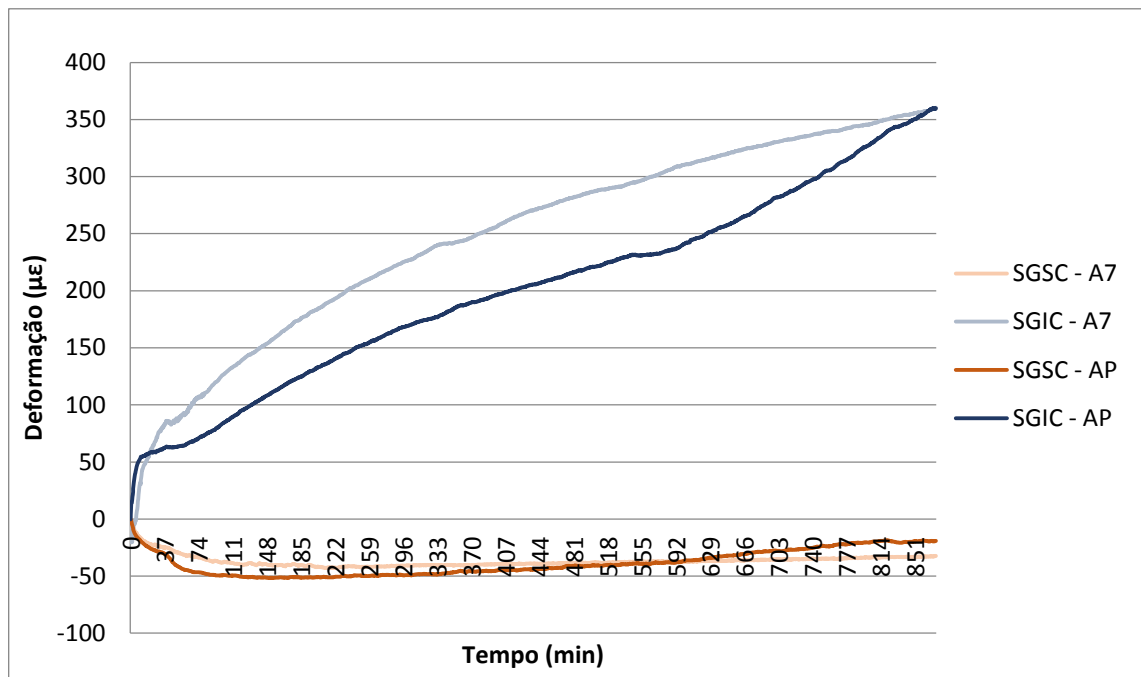


Figura 7. Resultados da deformação do substrato e das placas cerâmicas rejuntados com a mistura padrão (AP) e mistura A4,5

De acordo com a Figura 7, os dois substratos atingiram uma deformação similar aos 850 min. Os ensaios ocorreram com o mesmo tempo de cura, sete dias após o rejuntamento, foi realizado o ensaio.

Cochetti (2011) explica que a compressão das placas cerâmicas é geralmente causada devido a alongamentos diferenciais entre as placas e o substrato, causando uma tensão de cisalhamento constante através da espessura. Desta forma, a tração que foi submetido o SGIC, causou uma força de cisalhamento entre as camadas, comprimindo as peças cerâmicas.

Observando o gráfico de deformações (Figura 7), o Strain Gauge na placa cerâmica central (SGSC) localizado no sistema rejuntado com a mistura A7 inicialmente obteve uma menor deformação em relação sistema com rejunte padrão, chegando em 42,86  $\mu\epsilon$ , enquanto o sistema com rejunte padrão chegou em 51,70  $\mu\epsilon$ .

Tal resultado pode ser explicado de acordo com os ensaios anteriores, de módulo de elasticidade e resistência à compressão, onde a mistura A7 apresentou menor módulo de elasticidade e menor resistência à compressão em relação à AP.

Sendo assim, as placas cerâmicas rejuntadas com a mistura AP, quando solicitada, sofre maior compressão, medida pela deformação no SGSC. Enquanto que a mistura A7 proporciona um alívio dessas tensões prejudiciais ao revestimento cerâmico.

As tensões de cisalhamento entre as placas e o substrato podem induzir o deslocamento inicial pela extremidade das placas e, para se evitar tais falhas, sugere-se a inserção de componentes com menor módulo de elasticidade, principalmente o rejunte (ANTUNES, 2019).

Para uma visualização mais detalhada da união da pasta de rejuntamento, e sua porosidade, para as misturas utilizadas na segunda etapa, foi realizado um ensaio de microscopia, evidenciando o teor de ar incorporado à mistura com maior porcentagem de pneu, em relação à mistura padrão, conforme apresenta a Figura 8.

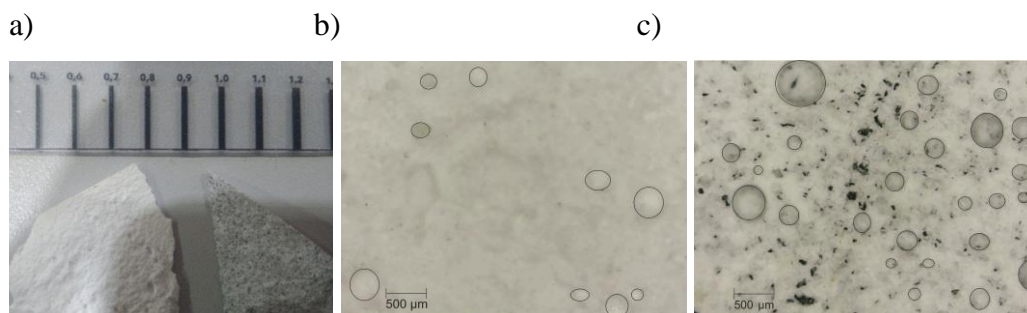


Figura 8. Fragmentos das amostras AP e A7 ampliadas através do Microscópio Digital Usb Zoom 1600x: (a) fragmento das amostras posteriormente ampliadas, (b) ampliação da amostra AP, (c) ampliação da amostra A7

Como apresentado na Figura 8, a mistura A7 possui maior quantidade de ar incorporado em relação à mistura padrão AP, mostrando que a adição de pó de pneu na argamassa de rejuntamento aumenta a incorporação de ar à mistura.

## Conclusões

Os ensaios da primeira etapa mostraram que quando analisadas todas as misturas no teste Tukey, os resultados pouco se diferem, mostrando diferença apenas na retenção de água, resistência à compressão, elasticidade e capilaridade por absorção.



Porém, quando comparado somente a mistura A7 com a mistura padrão, através da ANOVA, os resultados da primeira etapa se igualam somente na retenção de água e na variação dimensional, mostrando que a adição de pó de pneu não altera apenas nesses quesitos. Sendo assim, nos ensaios de tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade, permeabilidade e capilaridade por absorção tiveram valores que não se enquadram na mistura padrão, explicando a diferença significativa na segunda etapa de ensaio desta pesquisa

Quando analisados os resultados da segunda etapa, percebe-se pouca diferença de valores para os SGSC, sendo que o sistema com rejunte com pó de pneu obteve resultado menor de compressão, chegando em 42,86  $\mu\epsilon$ , enquanto o sistema com rejunte padrão chegou em 51,70  $\mu\epsilon$ . Apresentando uma tendência de menores valores de deformação, o que de certa forma tem relação com os resultados obtidos na primeira etapa.

Desta forma, o rejunte com adição de pó de pneu mostrou resultados positivos, em pequenas proporções, podendo ser realizadas novas pesquisas adicionando maiores porcentagens de pó de pneu.

## Referências

ANDOLFATO R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Neape Nucleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, 2002. Disponível em:< <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/control-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em 04 set. 2019.

ANTUNES E. G. P. **Avaliação dos efeitos da expansão por umidade (EPU) das placas cerâmicas na durabilidade dos sistemas de revestimentos cerâmicos internos**. 2019. 261 f. Tese – Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14992**: A. R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASTM D6270-17, **Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

BENTZ, D. P. et al. Thermal and hygric expansion characteristics of mortars and bricks used in the dome structures of Turkish Baths from 14th and 15th centuries. **Cement And Concrete Composites**, Gaithersburg, v. 87, p.63-72, dez. 2017.

Bookman, 2013. 448 p.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 2, n. 29, p.141-149, jul. 2007.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Geraldo C. Isaia - IBRACON, 2010. Cap. 28. p. 864-904.

CEMPRE: Lixo Municipal – Manual de gerenciamento integrado. **Pneus**. Parte 8, 2018. p. 185-188. Disponível em: <[http://cempre.org.br/upload/Lixo\\_Municipal\\_2018.pdf](http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf)> Acesso em: 10 abr. 2019

COCCHETTI, G.; COMI, C.; PEREGO, U. Strength assessment of adhesively bonded tile claddings. **International Journal of Solids and Structures**, v. 48, n. 13, 2048-2059, 2011.

DUTRA M. R. **Caracterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas: Análise do Comportamento**. 2010. 85 f. Dissertação de mestrado – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. **Construction and Building Materials**, v. 51, p. 187-197, 2014.

FIORITO A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2009. 232 p.

GIMINEZ, Renato Lucato. **Sólidos viscoelásticos: Área de hemiesferas de borracha contra uma superfície de vidro**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (usp), São Paulo, 2010.

GÜNEY, B. A.; CANER, E. Thermal and hygric expansion characteristics of mortars and bricks used in the dome structures of Turkish Baths from 14th and 15th centuries. **Construction And Building Materials**, Ankara, v. 95, n. 1, p.757-761, jul. 2015.

HOFFMANN, K. **An introduction to measurements using strain gages**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09: 2018 (ano base 2017)**. Diretoria de qualidade Ambiental. – Brasília: Ibama, 2018, 75 p.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. 2003. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Mestrado em Engenharia Civil (construção Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAGALHÃES, T. C. M. **Influência da pigmentação e/ou da quantidade de aditivo hidrorrepelente na patologia de desagregação da argamassa de rejuntamento**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MARSSETTI. **Caracterização da dolomita**. Disponível em: <http://www.marssetti.com.br>  
Acesso em: 10 de Setembro de 2019.

MEDEIROS J. S, SABBATINI F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 32 f. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2008. 574 p.

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução Nº 416, de 30 de Setembro de 2009**.

MOTTA, L. M. et al. Análise do Módulo de Elasticidade e Permeabilidade de Argamassas de Rejuntamento para uso de Ambientes Internos Úmidos. **Revista Técnico-científico de Engenharia Civil Unesc**, Criciúma, v. 2, n. 1, p.57-61, nov. 2019.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre:

PCZIECZEK, Adriane. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. 2017. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

PILLA A. W. **Revestimento cerâmico com utilização de rejunte industrializado de base cimentícia: Estudo do fenômeno da mancha d'água**. 2013. 66 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PONCIANO P. P. **Estudo do desempenho de rejunte fabricado com agregado de microesferas de vidro**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Mestrado em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

SAMPAIO H.V. **Estudo de Pavimentos de Concreto com a Inserção de Borracha de Pneus.** Artigo do Programa Institucional de Iniciação Científica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2017.

SILVA JUNIOR F. A.; MARTINELLI, A. E. **Análise das propriedades do agregado miúdo: resíduo de borracha de pneu para compósitos cimentícios.** In: CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21., Cuiabá. p. 2508 – 2515, 2014.

SILVA, F. M. et al. Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber. **Construction And Building Materials.** Campinas, p. 71-79. ago. 2015.

SOFI, A. Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete: A review. **Ain Shams Engineering Journal.** Vellore, p. 2691-2700. dez. 2018.

THOMAZ, E. Durabilidade. In: MARTINS, J. C. **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2. ed. Brasília: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. p. 193-211.

XUE G. e CAO M. L. Effect of Modified Rubber Particles Mixing Amount on Properties of Cement Mortar. **Advances In Civil Engineering.** Baotou, p. 1-6. jan. 2017.

YIU C. Y., HO D. C. W. e LO S. M. Weathering effects on external wall tiling systems. **Construction And Building Materials.** Hong Kong, p. 594-600. jan. 2006.