

## **Avaliação do Estado Fresco em Argamassas Incorporadas com Resíduo de Rocha Ornamental**

### **(Evaluation of the Fresh State in Mortars Incorporated with Ornamental Stone Residue)**

G. C. M. Azevedo<sup>1</sup>; P. I. Moreira<sup>2</sup>, G. C. Xavier<sup>3</sup>, A. R. G. Azevedo<sup>4</sup>; J. Alexandre<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Engenheira Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF

<sup>2</sup>Estudante de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF

<sup>3</sup>Engenheiro Civil, Professor Doutor, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF

<sup>4</sup>Engenheiro Civil, Professor Doutor, Universidade Federal Fluminense/UFF

<sup>5</sup>Engenheiro Civil, Professor Doutor, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/UENF

gabrimartinsc@gmail.com\*

#### **Resumo**

*O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado fresco de argamassas incorporadas com 10%, 15% e 20% de resíduo de rocha ornamental, proveniente da cidade de Santo Antônio de Pádua/Rio de Janeiro. O estudo desenvolveu-se, ainda, com a incorporação do resíduo com três tipos de cimentos Portland diferentes, sendo CP-II, CP-III e CP-V. As diferentes composições testadas foram submetidas aos ensaios de índice de consistência, squeeze flow, densidade no estado fresco, retenção de água e, ainda, teor de ar incorporado. Avaliando os resultados, verificou-se que as argamassas compostas com 20% de resíduo nos três tipos de cimento apresentaram os melhores resultados, como a densidade no estado fresco acima de 2,0 g/cm<sup>3</sup>. Além disso, no ensaio de squeeze flow, as argamassas suportaram maior tempo de deslocamento quando submetidas as maiores forças, caracterizando uma argamassa de melhor trabalhabilidade, quando comparadas as argamassas com 10% e 15% de resíduo de rocha ornamental.*

*Palavras chave: Resíduo de Rocha Ornamental, Argamassa, Estado Fresco.*

#### **Abstract**

*The objective of this work was to evaluate the fresh state of mortars incorporated with 10%, 15% and 20% of ornamental stone residue, from the city of Santo Antônio de Pádua/Rio de Janeiro. The study was also developed with the incorporation of the residue with three different types of Portland cements, being CP-II, CP-III and CP-V. The different compositions tested were submitted to the tests of consistency index, squeeze flow, density in the fresh state, water retention and, also, air content incorporated. Evaluating the results, it was verified that the composite mortars with 20% of residue in the three types of cement presented the best results, such as fresh density above 2.0 g/cm<sup>3</sup>. In addition, in the squeeze flow test, the mortars were able to withstand a longer displacement time when subjected to higher forces, characterizing mortar with better workability when compared to mortars with 10% and 15% of ornamental stone residue.*

*Keywords: Ornamental Stone Residue, Mortar, Fresh State.*

## **INTRODUÇÃO**

Os rejeitos industriais, um dos tipos de resíduos sólidos, são atualmente motivos de preocupação de ambientalistas, políticos e da sociedade. A indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil vem enfrentando, como um dos problemas relacionados à poluição do meio ambiente, a disposição final dos resíduos de rochas. Esses resíduos podem alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo reservatórios naturais de água, quando lançados sem nenhum tratamento prévio [1].

Na cidade de Santo Antônio de Pádua, na região noroeste fluminense do estado do Rio de Janeiro, a extração de rochas ornamentais iniciou-se com um forte crescimento a partir de 1980, com o início da utilização dessas rochas na construção civil [2].

Para a aplicação de rochas ornamentais na construção civil, é necessário o desdobramento dos blocos de rochas para chapas, sendo esse processo o responsável pelo resíduo na forma de lama. Essa lama é levada, geralmente, para um tanque de decantação, através do uso de bombas. A extração e o corte de rochas ornamentais nessa região ocasionam enormes quantidades de resíduos de rocha ornamental [3].

Com o objetivo de minimizar a disposição final dos resíduos de rocha ornamental diretamente do meio ambiente, este trabalho tem por objetivo estudar a incorporação do resíduo de rocha em argamassas de múltiplo uso. Para isso, submeteu-se a argamassa em diversos ensaios no estado fresco de modo compreender as suas principais propriedades. Sendo assim, analisaram-se a trabalhabilidade, consistência, densidade, retenção de água e, ainda, o teor de ar incorporado.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O material desenvolvido neste estudo consiste em três argamassas, sendo uma composta de cimento Portland tipo CP-II, outra composta pelo tipo CP-III e por último composta pelo tipo CP-V todas acrescentadas de areia e de resíduo de rocha ornamental coletado na cidade de Santo Antônio de Pádua da Indústria e Comércio de Pedras Rola Ltda, localizada na região noroeste fluminense.

As argamassas foram testadas com três diferentes composições, com a consequente substituição de porcentagem de areia por resíduo de rocha nos percentuais de 10%, 15% e 20%. Foi ainda confeccionado o traço referência com 0% de resíduo de rocha. Anteriormente à mistura, os materiais foram peneirados na peneira 20 Mesh (0,85 mm), para, em seguida,

serem feitas as composições previstas. As diferentes misturas foram preparadas em uma argamassadeira por cerca de 90s, ficando posteriormente, 15 minutos em descanso.

As argamassas testadas nas referentes substituições foram submetidas ao ensaio de consistência (ABNT 13276, 2016), com o objetivo de encontrar a quantidade de água, baseando-se nas margens do índice de consistência estabelecido pela norma [4].

Na intenção de compreender as argamassas no estado fluido, utilizou-se o método de squeeze flow (ABNT 15839, 2010), a fim de se descrever o comportamento reológico de cada composição testada [5].

Os resultados emitidos pelo teste de squeeze flow podem ser diferenciados em três estágios, quais sejam: o comportamento elástico linear (I), o comportamento plástico ou fluxo viscoso (II) e a fase de endurecimento de tensão (III) [6]. Esses três estágios são avaliados em curvas exponenciais, expressas na forma de força versus deslocamentos, conforme a figura 1 abaixo:

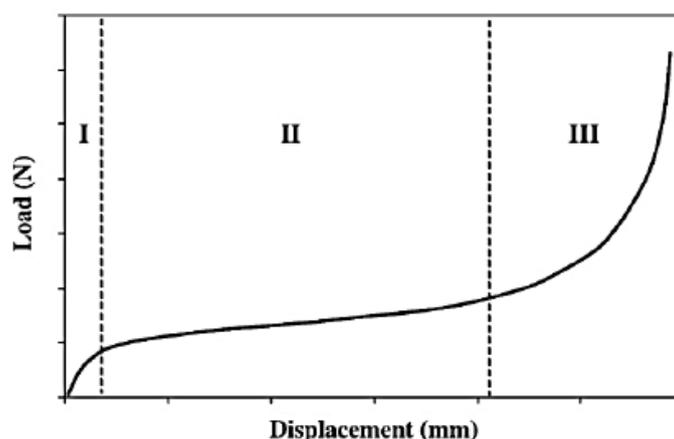


Figura 1 - Típica curva de força versus deslocamento ilustrado pelo método de squeeze flow, ilustrando os três principais estágios do comportamento de um material no estado fluido [6].

No primeiro estágio, as argamassas poderão apresentar problemas de fissuração ainda no estado fluido, decorrente da recuperação elástica após a remoção da força aplicada. No estágio 2, as argamassas tendem a sofrer grandes deformações sem necessitar de um aumento expressivo de força para ocorrer um deslocamento e, no terceiro estágio, a carga necessária para provocar um deslocamento tende a ser altamente expressiva [6]. Ressalta-se também que a intensidade dos estágios pode variar de acordo com a composição dos materiais e com a configuração de ensaio utilizado.

Posteriormente, determinou a retenção de água das argamassas baseado no ensaio prescrito pela norma (ABNT 13277/2005) [7]. E por fim, executou os ensaios de densidade de massa e do teor de ar incorporado norteados pela norma (ABNT 13278/2005) [8].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir na tabela 1 é demonstrado as nomenclaturas utilizadas na identificação dos traços das argamassas testadas. Ressalta-se que foi adotado o traço 1:6 nas diferentes composições ensaiadas.

Tabela 1 - Nomenclatura dos traços.

NOMENCLATURA	INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL
<b>TR-REF</b>	0%
<b>TR01</b>	10%
<b>TR02</b>	15%
<b>TR03</b>	20%

Os resultados do índice de consistência, densidade no estado fresco, retenção de água e teor de ar incorporado das argamassas ensaiadas com os três tipos de cimentos Portland estão apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 a seguir.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios no estado fresco com cimento Portland CP-II.

CP-II				
Ensaio	TR-REF	TR01	TR02	TR03
<b>Índice de consistência (mm)</b>	260±5			
<b>Relação a/c</b>	1,47	1,21	1,18	1,13
<b>Densidade no estado fresco (g/m<sup>3</sup>)</b>	1,88	1,93	1,98	2,00
<b>Retenção de água (%)</b>	96,30	98,50	98,36	97,53
<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	7,02	7,25	7,18	7,14

Tabela 3 - Resultados dos ensaios no estado fresco com cimento Portland CP-III.

CP-III				
Ensaio	TR-REF	TR01	TR02	TR03
<b>Índice de consistência (mm)</b>	260±5			
<b>Relação a/c</b>	1,41	1,20	1,17	1,13
<b>Densidade no estado fresco (g/m<sup>3</sup>)</b>	1,93	1,98	2,00	2,03
<b>Retenção de água (%)</b>	98,15	97,86	97,49	98,17
<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	7,20	7,17	7,14	7,10

Tabela 4 - Resultados dos ensaios no estado fresco com cimento Portland CP-V.

CP-V				
Ensaio	TR-REF	TR01	TR02	TR03
<b>Índice de consistência (mm)</b>	260±5			
<b>Relação a/c</b>	1,44	1,24	1,19	1,14
<b>Densidade no estado fresco (g/m<sup>3</sup>)</b>	1,89	1,94	1,97	2,01
<b>Retenção de água (%)</b>	98,32	98,25	96,96	97,33
<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	8,09	7,26	7,17	7,13

Os resultados de índice de consistência correspondem ao valor de abatimento da mesa de consistência de 260±5 mm, valor este que é recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2016) como padrão para argamassas mistas de múltiplo uso. Dessa forma, os procedimentos para realização deste ensaio seguiram as recomendações da norma citada. Analisando os resultados de índice de consistência do TR-REF com os demais traços verifica-se através da relação a/c que com a incorporação de resíduo de rocha as argamassas necessitam de menores quantidades de água para manter-se na faixa de trabalhabilidade.

Analisando a densidade no estado fresco, verifica-se que as menores densidades foram nos TR-REF, destacando-se o TR-REF com o cimento tipo CP-II com apenas 1,88 g/m<sup>3</sup>. Entretanto, o traço com maior densidade foi o TR03 com o cimento tipo CP-III apresentando um valor de 2,03 g/m<sup>3</sup>. Dessa forma, pode-se considerar que a incorporação de resíduo de rocha ornamental nas argamassas tende a provocar um aumento da densidade de massa no estado fresco.

Observando os resultados de teor de ar incorporado, percebe-se que o traço TR-REF ensaiado com o cimento tipo CP-V obteve o maior valor, sendo 8,09%. Os demais traços permaneceram na faixa entre 7,10% a 7,30%, sendo considerado um valor alto de teor de ar incorporado para argamassas de múltiplo uso o que pode comprometer nas propriedades de resistência mecânica.

Os resultados de retenção de água foram todos expressivos, destacando-se o traço TR01 com 98,50%, o TR02 com o 98,36% ambos ensaiados com o cimento tipo CP-II, e ainda, o TR01 com o cimento tipo CP-V com 98,25%. Todos os traços citados obtiveram os maiores índices de retenção de água.

Através das curvas geradas pela técnica de *squeeze flow*, é possível descrever o nível de trabalhabilidade do material estudado. São listados três níveis de trabalhabilidade, sendo a alta trabalhabilidade a ocorrência do prolongamento do estágio de deformação plástica em cargas muito baixas, ocorrendo a transição para a fase de endurecimento de tensão somente em

deslocamentos maiores; a baixa trabalhabilidade a ausência do estágio de deformação plástica e a média trabalhabilidade a variação do nível de carga à medida que a deformação plástica ocorre. Acrescenta-se ainda que, em argamassas de média trabalhabilidade, o material tende a fluir e, depois, a parar, sendo que essa parada provoca cargas maiores e, quando voltam a fluir, a carga tende a decrescer [6].

A seguir na figura 2, 3 e 4, tem-se os resultados obtidos nas argamassas compostas de cimento Portland tipo CP-II, tipo CP-III e tipo CP-V, nas diferentes substituições (10%, 15% e 20% de RRO), comprimidas em velocidades de 0,1 mm/s e 3,0 mm/s.

Figura 2 - Resultado do ensaio de *squeeze flow* com o cimento Portland tipo CP-II

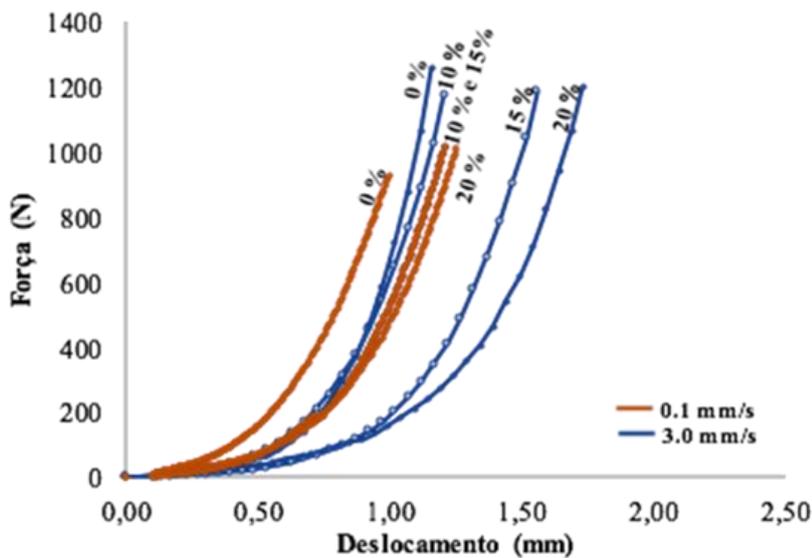


Figura 3 - Resultado do ensaio de *squeeze flow* com o cimento Portland tipo CP-III.

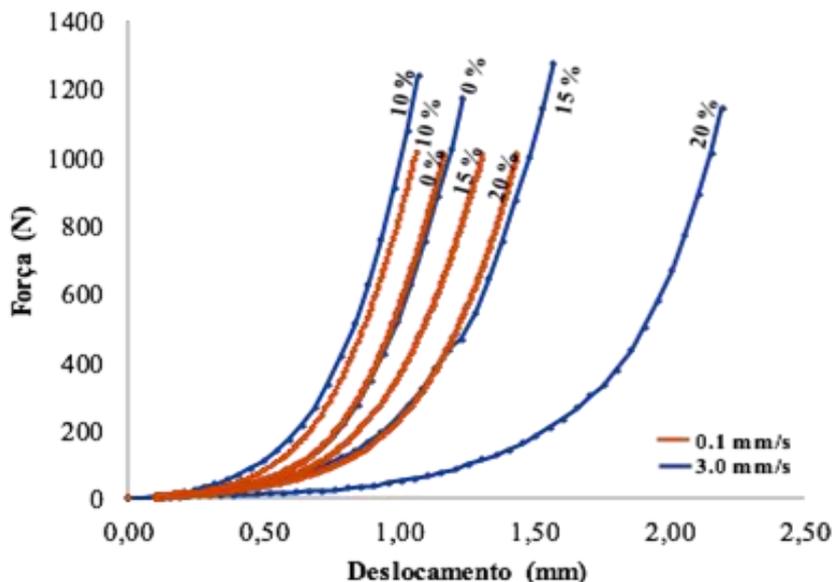
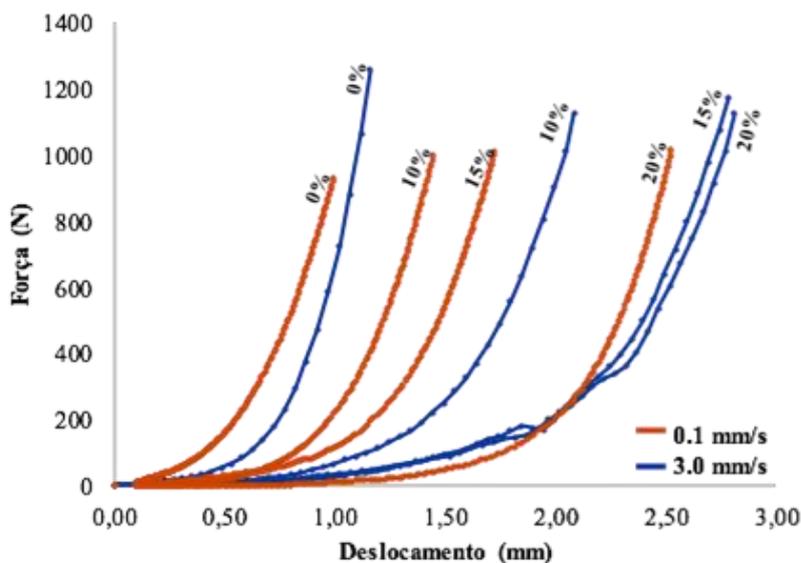


Figura 4 - Resultado do ensaio de *squeeze flow* com o cimento Portland tipo CP-III.



Observar-se que as curvas apresentaram apenas dois estágios: deformação plástica e endurecimento de tensão. As argamassas, nas diferentes composições, iniciaram no estágio 2 com pequenas cargas. O deslocamento aumentou gradativamente, à medida que a carga lentamente foi elevada, sendo que, na transição para o estágio 3, ocorreu um pequeno espaço de deslocamento, seguido de excessivo aumento de carga.

Analisando o comportamento nas ambas velocidades, verificou-se que as argamassas testadas na velocidade de 0,1 mm/s alcançam o deslocamento máximo com a carga de 1 KN, encontrando-se na faixa entre 1,0 a 1,5 mm, ocorrendo um resultado diferencial na curvatura com 20% de resíduo com o cimento tipo CP-V. De outro modo, quando testadas à velocidade de 3,0 mm/s, as cargas, para alçarem o deslocamento máximo, variam de composição para composição, tendo uma faixa média de carga de 1,2 KN e, em consequência, geram-se um deslocamento máximo maior que na velocidade de 0,1 mm/s, variando na faixa de 1,0 a 2,50 mm. Dessa forma, verifica-se que a velocidade de 3,0 mm/s influencia diretamente no poder de segregação das argamassas, classificando-a como ideal para compreender de modo mais detalhado o comportamento das argamassas testadas nas diferentes composições de resíduo de rocha ornamental.

A caracterização reológica das argamassas ensaiadas é uma tarefa difícil, sendo necessário conhecer as características físicas das partículas (distribuição granulométrica, densidade, formato, área superficial e rugosidade superficial). Sendo analisada no estado fluido, a resistência da argamassa vai sendo modificada ao longo do tempo, sobretudo pela hidratação do cimento, considerando-se um comportamento reológico variável. Esse comportamento

determina a eficiência de aplicação e, por conseguinte, a caracterização da argamassa como de revestimento ou de assentamento [9].

Ao adicionar outros materiais ao cimento, suas propriedades tendem a ser alteradas, como a coesão e a consistência, especialmente quando a granulometria das adições tem uma finura menor que a finura do clínquer. Ademais, nos casos em que a finura das adições é semelhante à do cimento, há uma influência da densidade das partículas das adições que acabam influenciando, também, nas características reológicas das argamassas [10].

Pode ser notado, que, na argamassa composta por 10% de resíduo de rocha no tipo CP II, ensaiada na velocidade de 0,1 mm/s, na argamassa composta por 15% de resíduo de rocha no tipo CP III, ensaiada na velocidade de 3 mm/s, e na argamassa composta por 15% e 20% no tipo CP-V, também ensaiada na velocidade de 3 mm/s, houveram oscilações em suas curvaturas e que sugerem ocorrência de altos níveis de cisalhamento interno no material. Aponta-se que, quando o atrito entre as placas e a argamassa é maior do que o atrito interno da argamassa, essa sofre cisalhamento interno para acomodar a redução da altura, porém não há ocorrência de espalhamento radial expressivo [11 e 12].

## CONCLUSÕES

Através dos ensaios de índice de consistência e das análises efetuadas no método de *squeeze flow*, foi possível classificar as argamassas testadas nas diferentes composições como de média trabalhabilidade.

De maneira geral, considera-se que todos os parâmetros apresentados obtiveram resultados positivos. Uma vez que, os valores foram comparados aos obtidos por outros pesquisadores, de forma a apresentarem coerência nos dados. Em razão que, as argamassas estudadas ficaram dentro do limite de densidade de 2,0 g/m<sup>3</sup>, havendo apenas uma variação na casa centésima do traço TR03 com o cimento tipo CP-III e CP-V. E todas as argamassas ficaram com o teor de ar incorporado abaixo do limite máximo de 20%. Sobre a retenção de água, verificou-se que todas as argamassas analisadas apresentaram altos parâmetros de retenção, ficando na ordem de 96% a 98%.

As curvas geradas pelo método do *squeeze flow* diferem-se entre si, demonstrando o impacto que as adições das diferentes porcentagens de resíduo de rocha têm sobre o comportamento reológico das argamassas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Moreira, J. M. S; Manhães, J. P. V. T; Holanda, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 2005, 51, p. 180-186.
- [2] Carvalho, de Eduardo Augusto et al. Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua/RJ. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste - SRONE, 2002, p. 1-8.
- [3] W. B. C Lima, H. L. Lira, G. A. Neves. Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos - REMAP*, v.11, n.2 pág 89-95. 2016.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15839: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Caracterização reológica pelo método squeeze flow. Rio de Janeiro, 2010.
- [6] Cardoso, Fábio A.; John, Vanderley M.; Pileggi, Rafael G.. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. *Cement And Concrete Research*, 2009, 39, p.748-753.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13277: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13278: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado, Rio de Janeiro, 2005.

[9]Costa, Eliane Betânia Carvalho et al. Avaliação do efeito da reologia e da energia de impacto na resistência de argamassa. 3ª Congresso Português de argamassas de construção. 2010.

[10]Mattana, Alécio Júnior; Pereira, Eduardo; Costa, Marianne R. M. M da. Influência dos constituintes do revestimento de argamassa sobre as suas propriedades reológicas. Uepg: Ciências Exatas e da Terra, Ponta Grossa, 2013, 19, p.33-44.

[11] Cardoso, F. A. et al. Characterisation of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry. Cement And Concrete Research, 2013, 57, p.79-87.

[12] Azevedo, A.R.G., Alexandre, J., Zanelato, E.B., Marvila, M.T., 2017. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. Construction and Building Materials. 148, 359–368.