Desenvolvimento de concretos com a incorporação de nanosílica e pó de vidro

Gonçalves, Giovana M.¹; Pedroso, Henrique T. R.²; Ferreira, Fernanda G. S.³

¹ Estudante de Graduação em Engenharia Civil, UFSCar

² Estudante de Graduação em Engenharia Civil, UFSCar

³ Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil, UFSCar

Resumo: Atualmente, várias pesquisas estão sendo realizadas para estudar a viabilidade da incorporação de aditivos ao concreto, visando uma maior durabilidade. Uma destas adições é a nanosílica, que proporciona efeito fíler e pozolânico na matriz cimentícia, o que implica em estruturas de concreto mais duráveis. Na mesma direção, o pó de vidro se configura como um resíduo que pode ser utilizado em substituição ao cimento Portland, pois além de atuar como ligante, ainda pode preencher os vazios entre as partículas dos constituintes do concreto. Assim, neste trabalho, buscou-se o desenvolvimento de concretos com a incorporação de pó de vidro (diferentes teores de pó de vidro de 10%, 20%, 30% e 50% em substituição volumétrica ao cimento) e nanosílica (10% em substituição volumétrica ao cimento em todos os traços). Foram avaliadas a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade, além da verificação da consistência. Como conclusão, com a incorporação de até 50% de pó de vidro às misturas, mantendo-se constante o teor de nanosílica, os valores de resistência mecânica e absorção de água por capilaridade dos concretos foram mantidos, não sendo observadas variações significativas. Além disso, a utilização do pó de vidro não interferiu na trabalhabilidade das misturas.

Palavras-chave: concreto, pó de vidro, nanosílica, propriedades mecânicas, absorção de água.

Abstract: Currently, several researchers are studying the feasibility of adding additives to the concrete, aiming for a longer durability. One of these additions is the nanosilica, which provides a filler and pozzolanic effect in the cementitious matrix, which implies more durable concrete structures. In the same direction, the glass powder is a residue that can be used as a substitute for the Portland cement, because besides acting as a binder, it can still fill the voids between the constituents of the concrete. In this work, the development of concrete with the incorporation of glass powder (different contents of glass powder of 10%, 20%, 30% and 50% in volumetric substitution to the cement) and nanosilica (10% in volumetric replacement to cement in all traces). The axial compressive strength, tensile strength by diametrical compression and water absorption by capillarity were evaluated, as well as the consistency check. As conclusion, with the incorporation of up to 50% of glass powder to the mixtures, maintaining the nanosilica content constant, the values of mechanical strength and water absorption by capillarity of the concretes were maintained, and no significant variations were observed. In addition, the use of glass powder did not significantly interfere with the workability of the blends.

Keywords: concrete, glass powder, nanosilica, mechanical properties, water absorption.

1. Introdução

Segundo Santos (2019) [1], com o avanço da nanotecnologia, a nanosílica vem sendo comumente utilizada como adição ao concreto, visando proporcionar maior durabilidade às estruturas de concreto armado. Ainda, de acordo com Pattali e Mathew (2017) [2], a nanosílica está se apresentando mais eficaz do que a sílica ativa, no que diz respeito a durabilidade.

De acordo com Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 40% da fabricação do vidro é destinada para uso em embalagens e que o consumo dessas pela população brasileira, em 2008, foi de 5,5 kg/habitante. Esses dados retratam a importância da reciclagem do vidro, principalmente ao ver que, na prática, muitas vezes não se realiza a coleta de maneira correta dos resíduos, dificultando a reciclagem e facilitando o descarte inadequado dos mesmos. O uso cada vez maior de embalagens de vidro descartáveis pela população, principalmente em materiais alimentícios, resulta em grande quantidade de resíduos e, com o descarte incorreto desses materiais no meio ambiente, pode ter como consequência a contaminação do solo, do ar e do lençol freático, além de, no âmbito urbano, proporcionar a obstrução dos canais de drenagem e a proliferação de animais transmissores de doenças.

O pó de vidro se configura como um resíduo que pode ser utilizado em concretos, em substituição ao cimento Portland, sendo uma alternativa já estudada por alguns pesquisadores, dentre eles, Patil e Sangle (2013) [3] e Rodier e Savastano Jr. (2018) [4]. Dependendo da granulometria do pó de vidro, o material é utilizado como ligante, em substituição parcial do cimento, além de atuar também como um material de preenchimento. Pesquisas mostram que o pó de vidro pode aumentar a resistência à compressão de concretos, como a desenvolvida por Patil e Sangle (2013) [3]. A adição do pó de vidro apresentou um pequeno ganho de resistência inicial na idade de 7 dias, mas houve um aumento significativo da resistência mecânica aos 28 dias, sendo que a adição de 20% de pó de vidro proporcionou um maior ganho de resistência mecânica dos concretos.

O objetivo desta pesquisa consiste em analisar a influência da adição do pó de vidro em matrizes cimentícias, observando os efeitos nas propriedades do concreto no estado endurecido: resistências mecânicas e absorção de água por capilaridade. Destaca-se que essa pesquisa é uma continuidade do trabalho desenvolvido por Santos (2019), em que foi verificado que o teor de nanosílica ideal, em relação às propriedades citadas, é de 10% em substituição volumétrica ao cimento.

2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados para a pesquisa foram: CP V ARI, pó de vidro, agregados miúdo e graúdo naturais, aditivo superplastificante e nanosílica, apresentados na Figura 1.

Figura 1: Materiais utilizados.

2.1 Caracterização dos materiais

2.1.1 CP V ARI

As características do cimento utilizado e os limites especificado pela NBR 16697 (ABNT, 2018) [5] são apresentados na Tabela 01. A caracterização foi realizada no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

Tabela 01: Características do CP V ARI.

Características do cimento		Valores obtidos	Limites (NBR 16697)
Massa específica		3,16 g/cm ³	*
Início de pega		197 min	> 60 min
Fim de pega		233 min	< 600 min
Água para pasta de consistência normal		30,0%	*
Finura	Retido 75 µm (#200)	0,1%	< 6,0%
Resistência à compressão (f_{cj})	1 dia	27,5 MPa	> 14,0 MPa
	3 dias	42,0 MPa	> 24,0 MPa
	7 dias	48,7 MPa	> 34,0 MPa
	28 dias	52,2 MPa	*

¹ Determinada a partir do método de Blaine.

* Valores limites não especificados pela NBR 16697 (ABNT, 2018) [5]. Destaca-se que o cimento utilizado na pesquisa atende as especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018) [5].

2.1.2 Pó de Vidro

O pó de vidro utilizado no estudo é proveniente de garrafas de cerveja de pós-consumo obtidas em estabelecimentos comerciais na cidade de São Carlos – SP e triadas por cor. Da coleta até a obtenção do pó de vidro (tamanho de partículas igual ou inferior a 75 µm), foram necessárias várias etapas de processamento: coleta, limpeza, trituração, moagem e peneiramento.

Após a coleta, em que foi selecionada as garrafas de cor âmbar, as garrafas passaram por uma fase de limpeza, sendo lavadas com água e sabão, para remover qualquer resíduo interno ou externo, e sendo deixadas, posteriormente, em temperatura ambiente para a secagem. Na sequência, realizou-se a primeira etapa de trituração, a partir da colocação das garrafas com esferas de aço na betoneira, fragmentando-as em partículas menores. Em seguida, realizou-se a moagem em moinho de bolas, sendo possível realizar, posteriormente, o peneiramento mecânico, resultando em partículas com tamanho igual ou inferior a 75 µm. A Figura 2 ilustra as etapas de processamento.

Figura 2: Processamento para obtenção do pó de vidro: a) coleta; b) trituração; c) moagem; d) peneiramento; e) pó de vidro.

A distribuição granulométrica do material é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Curva de distribuição granulométrica do pó de vidro.

Para a determinação dos componentes químicos, utilizou-se a fluorescência por raios-X. Essa análise foi feita no LAPOC/CENEN (Laboratório de Poços de Caldas da Comissão Nacional de Energia Nuclear), cujos resultados estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02: Componentes químicos do pó de vidro.

Componentes	Pó de vidro (%)
Anidro silícico (SiO_2)	74,00
Óxido férrico (Fe_2O_3)	0,42
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	3,70
Óxido de cálcio (CaO)	9,10
Anidrido sulfúrico (SO_3)	-
Óxido de estrôncio (SrO)	0,04
Óxido de tório (ThO_2)	< 0,01
Óxido de potássio (K_2O)	0,56
Óxido de sódio (Na_2O)	11,00
Óxido de urânio (U_3O_2)	< 0,01

Tabela 02: Componentes químicos do pó de vidro (continuação).

Componentes	Pó de vidro (%)
Óxido de fósforo (P_2O_5)	-
Óxido de titânio (TiO_2)	-
Cloro (Cl^-)	-
Óxido de rubídio (Rb_2O)	0,02
Óxido de Magnésio (MgO)	0,74
Perda ao fogo (PF)	0,58

Com isso, observou-se que o pó de vidro possui teores significativos de SiO_2 , Na_2O , CaO e Al_2O_3 , componentes comuns ao cimento Portland. O Na_2O é utilizado no vidro para reduzir o seu ponto de fusão e pode se comportar como impureza na mistura cimentícia. A presença de elevados teores de SiO_2 no pó de vidro é altamente desejável para desenvolvimento da reação pozolânica.

2.1.3 Agregado miúdo

Utilizou-se areia natural de origem quartzosa, cujos resultados obtidos por meio dos ensaios de caracterização do agregado miúdo estão apresentados na Tabela 03. A distribuição granulométrica do agregado miúdo está apresentada na Figura 4.

Tabela 03: Caracterização agregado miúdo.

Características	Metodologia	Valores obtidos
Massa específica (g/cm ³)	NBR NM 52:2009 [6]	2,52
Massa unitária seca e solta (kg/m ³)	NBR NM 45:2006 [7]	1532,46
Massa unitária compactada (kg/m ³)	NBR NM 45:2006 [7]	1661,49
Absorção de água (%)	NBR NM 30:2001 [8]	0,20
Material pulverulento (%)	NBR NM 46:2003 [9]	1,41

A partir da distribuição granulométrica encontrada, conclui-se que a dimensão máxima da areia é de 2,4 mm e o módulo de finura 1,94. Além disso, observando-se a curva de distribuição granulométrica na Figura 4, verifica-se que o agregado miúdo se encontra dentro da zona utilizável estabelecida pela NBR 7211 (ABNT, 2009) [10].

Figura 4: Curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

2.1.3 Agregado graúdo

Utilizou-se agregado graúdo natural de origem basáltica, cujos resultados obtidos por meio dos ensaios de caracterização do agregado graúdo estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04: Caracterização do agregado graúdo.

Características	Metodologia	Valores obtidos
Massa específica (g/cm³)	NBR NM 53:2009 [11]	2,77
Massa unitária seca e solta (kg/m³)	NBR NM 45:2006 [7]	1422,32
Massa unitária compactada (kg/m³)	NBR NM 45:2006 [7]	1568,72
Absorção de água (%)	NBR NM 53:2009 [11]	2,26
Material pulverulento (%)	NBR NM 46:2003 [9]	1,00

O agregado graúdo apresentou dimensão máxima característica de 9,5 mm, módulo de finura de 5,81 e a distribuição granulométrica próxima ao limite inferior estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009) [10] para a zona 4,75/12,5. A curva de distribuição granulométrica pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Curva de distribuição granulométrica do agregado graúdo

2.1.4 Nanosílica coloidal

As características físicas e químicas da nanosílica Levasil CB8, fornecidas pela AkzoNobel, encontram-se na Tabela 05. Ressalta-se que a porcentagem de nanosílica utilizada neste trabalho foi de 10%, em substituição em massa ao cimento, considerando-se somente o teor de sólidos do material.

Tabela 05: Principais características da nanosílica. Fonte: AkzoNobel

Produto	Levasil CB8
Aspecto	Líquido branco
Teor de sólidos (%)	50
pH	9,5
Massa específica (g/cm³)	1,4
Viscosidade (v)	8

2.1.5 Aditivo Superplastificante

As propriedades do aditivo superplastificante à base de policarboxilato (ADVA CAST 585, fabricado pela Grace) foram fornecidas pelo fabricante e encontram-se na Tabela 06.

Tabela 06: Propriedades do aditivo superplastificante
Fonte: GCP Applied Technologies

Produto	ADVA CAST 585
Aspecto	Líquido alaranjado
pH	3,00 - 6,00
Massa Específica (g/cm³)	1,055 - 1,105
Sólidos (%)	32,39 - 35,81

2.2 Definição dos traços e moldagem dos corpos de prova

A composição dos traços de concreto e consistências obtidas estão apresentadas na Tabela 07. Os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996) [12] e para cada propriedade avaliada e em cada idade, foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura. Utilizou-se essa dimensão de corpo de prova em função da dimensão máxima característica do agregado graúdo, de 9,5 mm. Após a moldagem, os corpos de prova foram mantidos durante 1 dia em um ambiente de laboratório e após desmoldagem, as amostras foram mantidas em câmara úmida até a idade prevista nos ensaios.

Tabela 07: Composição dos traços de concreto e consistências obtidas.

Traços	Materiais (g)							Consistência (mm)
	Cimento	NS	Pó de vidro	A.M.*	A.G.**	Água	SP(%)***	
V0	900	100	-	1280	1920	300	1,80	222
V10	810	100	73,56	1280	1920	293,42	1,82	223
V20	720	100	147,12	1280	1920	286,85	1,80	233
V30	630	100	220,67	1280	1920	280,27	1,80	226
V50	450	100	367,79	1280	1920	267,12	1,90	226

* A.M.: Agregado miúdo

** A.G.: Agregado graúdo

*** Porcentagem de aditivo superplastificante (SP) calculada em relação aos aglomerantes

Destaca-se que a relação água/aglomerante utilizada foi de 0,40 e que todos os concretos estudados têm 10% de nanosílica (NS) em substituição volumétrica ao cimento na sua composição. Como mencionado, este teor ideal já foi determinado no trabalho desenvolvido por Santos (2019) [1], sendo esta uma continuidade da pesquisa.

2.3 Propriedades avaliadas

2.3.1 Resistência à compressão dos concretos

Os ensaios de resistência à compressão dos concretos foram realizados conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018) [13], nas idades de 7 e 28 dias. Antes dos ensaios, as amostras foram retificadas.

2.3.2 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral dos concretos foram realizados conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011) [14] nas idades de 7 e 28 dias.

2.3.3 Absorção de água por capilaridade dos concretos

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado aos 28 dias, seguindo as especificações da NBR 9779 (ABNT, 2012) [15].

2.3.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada pela Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Turkey, tanto para os resultados de resistência mecânica dos concretos, quanto para os valores de absorção de água por capilaridade obtidos.

3. Resultados obtidos

3.1 Resistência à compressão dos concretos

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, bem como o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) estão apresentados na Tabela 08.

Tabela 08: Resistência à compressão dos concretos com 7 e 28 dias de idade.

Traços	Resistência à compressão - 7 dias			Estatisticamente diferente de V0?	Resistência à compressão - 28 dias			Estatisticamente diferente de V0?
	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)		Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	
V0	59,9	2,46	4,10	-	63,5	5,78	9,10	-
V10	54,7	4,31	7,87	Não	62,8	5,04	8,03	Não
V20	53,6	1,54	2,87	Não	59,5	0,6	1,01	Não
V30	48,9	1,60	3,27	Sim	61,9	5,18	8,36	Não
V50	28,2	4,07	14,43	Sim	58,6	5,29	9,02	Não

A Figura 6 ilustra a evolução, no decorrer do tempo, da resistência média dos concretos.

Figura 6: Evolução da resistência à compressão dos concretos.

Na idade de 7 dias, os valores obtidos indicam que a substituição volumétrica de pó de vidro não resulta em acréscimos na resistência à compressão, visto que todos os traços apresentaram valores inferiores ao traço de referência (sem a incorporação de pó de vidro). No entanto, com a análise estatística, observa-se que há diferenças significativas em relação ao traço de referência, somente nos concretos com a incorporação de 30% e 50%. Analisando-se os resultados obtidos na idade de 28 dias, os valores variaram de 58,6 MPa a 63,5 MPa. Embora o traço de referência apresente o maior valor, quando realiza-se a análise estatística, essa diferença não é significativa, indicando que a incorporação de até 50% de vidro mantém a resistência à compressão do concreto. Destaca-se que os resultados obtidos indicam que o pó de vidro de dimensão menor que 75 μm é reativo.

3.2 Resistência à tração por compressão diametral dos concretos

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral, bem como o desvio-padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) estão apresentados na Tabela 09.

Tabela 09: Resistência à tração por compressão diametral dos concretos com 7 e 28 dias de idade.

Traços	Resistências à tração por compressão diametral - 7 dias			Estatisticamente diferente de V0?	Resistências à tração por compressão diametral - 28 dias			Estatisticamente diferente de V0?
	Média [MPa]	DP [MPa]	CV (%)		Média [MPa]	DP [MPa]	CV (%)	
V0	5,2	0,41	7,85	-	4,9	0,49	9,93	-
V10	5,1	0,55	10,76	Não	5,2	0,36	6,86	Não
V20	5,0	0,12	2,39	Não	5,4	0,37	6,86	Não
V30	4,8	0,34	7,13	Não	5,8	0,10	1,73	Não
V50	3,9	0,05	1,28	Sim	5,3	0,26	4,94	Não

A Figura 7 ilustra a evolução, no decorrer do tempo, da resistência média dos concretos.

Figura 7: Evolução da resistência à tração por compressão diametral dos concretos.

Na idade de 7 dias, os valores obtidos indicam que a substituição volumétrica de pó de vidro não resulta em acréscimos na resistência à tração por compressão diametral, visto que todos os traços apresentaram valores inferiores ao traço de referência (sem a incorporação de pó de vidro). No entanto, com a análise estatística, observa-se que há diferença significativa em relação ao traço de referência somente no concreto com a incorporação de 50%. Analisando-se os resultados obtidos na idade de 28 dias, os valores variaram de 4,9 MPa a 5,8 MPa. Os valores obtidos, portanto, indicam que a substituição volumétrica de pó de vidro resulta em acréscimos na resistência à tração por compressão diametral, visto que todos os traços apresentaram valores superiores ao traço de referência (sem a incorporação de pó de vidro). Destaca-se que os resultados obtidos indicam que o pó de vidro de dimensão menor que 75 μm é reativo, possivelmente apresentando atividade pozzolânica, sendo este objeto de estudo de outras pesquisas do grupo.

3.3 Absorção de água por capilaridade dos concretos

Os resultados obtidos no ensaio estão apresentados na Tabela 10 e no gráfico da Figura 8, que apresenta a absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo, dos concretos aos 28 dias de idade.

Tabela 10: Absorção de água por capilaridade dos concretos com 28 dias de idade.

Traços	Absorção por capilaridade (g/cm ²)					Ascensão capilar (cm)	Estatisticamente diferente de V0?
	3h	6h	24h	48h	72h		
V0	0,08	0,11	0,22	0,29	0,35	8,1	-
V10	0,08	0,11	0,20	0,28	0,32	8,6	Não
V20	0,08	0,10	0,20	0,27	0,32	8,7	Não
V30	0,07	0,09	0,17	0,24	0,28	8,4	Não
V50	0,08	0,10	0,19	0,27	0,32	8,5	Não

Figura 8: Absorção de água por capilaridade dos concretos aos 28 dias.

Com os resultados obtidos, pode-se verificar que os índices de absorção capilar, de maneira geral, foram menores para os concretos que possuem incorporação de pó de vidro, comparando-se com o traço de referência. Embora haja diferença nos valores do coeficiente de absorção de água dos concretos, pela análise estatística essa diferença não é significativa.

Analisando-se os resultados, pode-se constatar ainda que a ascensão capilar foi praticamente igual para todos os concretos analisados.

4. Conclusões

Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados, conclui-se que:

- A incorporação de até 50% de pó de vidro ao concreto mantém a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral dos concretos na idade de 28 dias, não sendo constatada diferença significativa em relação ao concreto de referência, ou seja, sem a incorporação de pó de vidro;
- Aos 7 dias de idade, observou-se diferença significativa na resistência mecânica dos concretos com 30% e 50% de pó de vidro, indicando que o efeito do pó de vidro ocorre em idades posteriores aos 7 dias;
- Em relação à absorção de água por capilaridade, após 72 horas de ensaio, os coeficientes de absorção de água variaram de 0,28 g/cm³ (para o concreto com 30% de pó de vidro) a 0,35 g/cm³ (para o concreto sem a incorporação de vidro). Pela análise estatística realizada, também verificou-se que não há diferença significativa na absorção de água dos concretos estudados;
- Para as propriedades analisadas, o teor de 50% de pó de vidro é o mais indicado, dentre os teores analisados, pois, além de manter as características das misturas, com menor consumo de cimento, ainda contribui na questão ambiental.

5. Referências

- [1] SANTOS, M. O. Estudo de concretos com adição de nanosílica submetidos à ação combinada de íons cloreto e CO₂. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.
- [2] PATTALI, A.; MATHEW, B. An Experimental Investigation on Strength Properties of Concrete Containing Micro-Silica and Nano-Silica. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 04. n. 06, p. 1692-1694, 2017.
- [3] PATIL, D. M.; SANGLE, K. K. Experimental Investigation of Waste Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete. *International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering*, v.2, 2013.
- [4] RODIER, L; SAVASTANO JR., HOLMER. Use of glass powder residue for the elaboration of eco-efficient cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, 184, 2018.
- [5] NBR 16697 (2018) Cimento Portland - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [6] NBR NM 52 (2009) Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [7] NBR NM 45 (2006) Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [8] NBR NM 30 (2001) Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [9] NBR NM 46 (2003): Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [10] NBR 7211 (2009) Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [11] NBR NM 53 (2009) Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [12] NBR 7215 (1996) Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [13] NBR 5739 (2018) Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [14] NBR 7222 (2011): Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [15] NBR 9779 (2012): Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.