Argamassa autonivelante com fibras de polipropileno

Luiz Claudio dos Santos Matni [(1)]; Prof. Dr Bernardo Borges Pompeu Neto [(2)]; Prof. M.Sc. Marco Antônio Barbosa de Oliveira [(3)]; Prof. Dr. Dilson Nazareno Pereira Cardoso[(4)].

(1) Universidade Federal do Pará (UFPA) – claudiomatni@gmail.com; (2) Universidade Federal do Pará (UFPA) – pompeu@ufpa.br; (3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tec. do Pará (IFPA) – marco.ufra@gmail.com; (4) Universidade Federal do Pará (UFPA)

RESUMO

A indústria da Construção Civil tem evoluído e modernizado seus sistemas construtivos em diversos aspectos. Argamassas autonivelante apresentam alto desempenho, ótima fluidez, velocidade de execução e consequentemente aumento de produtividade. Porém, ainda são pouco utilizadas em razão da ausência de normas vigentes no País. Manifestações patológicas como falta de aderência, exsudação, segregação, retração e fissuras, tem sido observadas em alguns casos. Neste sentido, visando combater estes efeitos, este artigo apresentará a avaliação reológica desta argamassa, suas propriedades no estado fresco e seu comportamento mecânico no estado endurecido quando adicionadas fibras de polipropileno. O programa experimental consiste na dosagem de argamassa de referência (sem fibras) e com fibras de polipropileno em diferentes teores teóricos, a partir de ensaio reológico, consistência (Cone de fluxo de queda) e tempo de fluxo (Funil-V), recomendadas pela Norma Europeia EFNARC (2002). A caracterização e o controle da argamassa no estado fresco ocorrerão através de ensaio de retenção de fluxo. Os resultados esperados buscam avaliar a eficácia das fibras de polipropileno na redução dos efeitos da retração e fissuração.

Palavras-chave: Argamassa autonivelante, Fibras de polipropileno, Consistência, Fluidez.

Self-leveling mortar with polypropylene fibers

ABSTRACT

The Civil Construction industry has evolved and modernized its construction systems in several aspects. Self-leveling mortars have high performance, excellent flowability, speed of execution and consequently increased productivity. However, they are still little used because of the absence of norms in force in the country. Pathological manifestations such as lack of adherence, exudation, segregation, retraction and fissures have been observed in some cases. In this sense, in order to combat these effects, this article will present the rheological evaluation of this mortar, its properties in the fresh state and its mechanical behavior in the hardened state when polypropylene fibers are added. The experimental program consists in the determination of the reference mortar (without fibers) and polypropylene fibers in different theoretical contents, from the rheological test, the consistency (Fall flow cone) and the flow time (Funil-V) recommended by European Standard EFNARC (2002). Characterization and control of the mortar in the fresh state will occur through a flow retention test. The expected results seek to evaluate the effectiveness of polypropylene fibers in reducing the effects of retraction and cracking.

Key-words: Self-leveling mortar, Polypropylene fibers, Consistency, Fluidity.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Lopes da Silva (2016), na Europa, argamassa autonivelante já é bastante utilizada em grande escala, sendo até mesmo produzida por empresas especializadas. Já no Brasil ainda não há literatura renomada e muito menos norma específica para este compósito cimentício.

Sabe-se, contudo, que a vantajosidade que esse produto representa vai ao encontro das necessidades por processos mais otimizados, produtivos, economicamente viáveis e não menos importante, contribuía com o meio ambiente, como neste caso em que a quantidade de consumo de cimento é bem reduzida se comparada ao método tradicional (farofa), e durabilidade representa menos manutenção.

A argamassa autonivelante é um produto constituído basicamente por formulações a partir de cimento, areia com granulometria selecionada, água e aditivos químicos. Sua principal característica é a elevada fluidez, que permite preencher os espaços vazios e se auto adense no local aplicado, apenas sob o efeito da gravidade e de sua capacidade de fluxo. A argamassa proporciona um melhor espalhamento na área desejada, minimizando os defeitos que possam ser provenientes de falhas de aplicação ou ainda de técnicas inadequadas de moldagem (MARTINS, 2009).

Atrelado a estas vantagens técnicas e econômicas, também se observa variados e importantes estudos que relacionam o uso de fibras nas matrizes cimentícias, visando obter novas características em desempenho no combate à manifestações patológicas. Somando-se a isso, a cinza do caroço do açaí surge como alternativa que pode substituir parcialmente o cimento na argamassa com desempenho satisfatório.

Hamoy (2017) observou nas obras da região metropolitana de Belém e também em outras cidades brasileiras, o emprego de misturas sem controle dos parâmetros reológicos, com fissuração, exsudação excessiva na superfície, baixa resistência de aderência e de abrasão, pega e endurecimento retardado. Verificou também problemas inerentes à execução como a falta de controle da espessura, ausência de preparo do substrato e disposição de juntas, segregação durante o bombeamento, problemas estes que levam também à ocorrência de fissuração e destacamento da argamassa.

As argamassas autonivelantes possuem pouca utilização, e até algumas restrições de uso, não havendo, ainda, normas vigentes no Brasil, carecendo de pesquisas e estudos bibliográficos sobre o comportamento e propriedades dessas argamassas.

Este trabalho tem como objetivo principal, a partir dos experimentos propostos, avaliar o comportamento dessas argamassas quanto aos requisitos e propriedades, quando adicionadas fibras de polipropileno (PP) e substituição parcial do cimento por cinza do caroço de açai, no estado fresco, analisando a consistência e o tempo de fluxo das misturas no sentido de constatar se estas alcançam os parâmetros técnicos para serem classificadas como autonivelantes.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para evidenciar a teoria estudada, o programa experimental utilizou como metodologia algumas referências bibliográficas que pesquisaram a incorporação de fibras sintéticas em argamassas, de onde foi possível definir o traço das argamassas estudadas, os teores de adição de fibras de polipropileno (PP), aditivos e demais materiais a seguir especificados.

Inicialmente foi determinada a argamassa de referência (traço 1:2; a/c 0,5 e 0,65% de aditivo superplastificante) respeitando os parâmetros dos ensaios de consistência e tempo de fluxo, conforme ASTM C1708/C1708M (2016). A partir de então, foram ensaiadas proporções experimentais com cimento, areia, água potável, aditivo superplastificante, adições de fibras (PP) e substituições percentuais de cimento por cinza de caroço de açaí.

1.1. Materiais

No presente estudo utilizou-se de cimento do tipo Portland do tipo CP II-E-32, o cimento Portland CPII E-32, NBR 11.578 (ABNT, 1991), marca POTY, classe de resistência a compressão 32, resistência mínima à compressão que o aglomerante atinge em MPa aos 28 dias de idade, fornecido em embalagens de 50 kg. O CP II-E é constituído de 94% à 66% de clinquer e gesso e de 6% à 34% de escória granulada de alto forno. Possui baixo calor de hidratação, alta resistência a sulfatos e contribui no aumento de resistência mecânica. Quanto aos agregados miúdos decidiu-se optar por areia natural. Segundo o fornecedor, a areia é oriunda do município de Castanhal - Pa, distante 74 km da cidade de Belém. Na dosagem das argamassas foi indispensável a utilização de aditivos para se obter a característica de alta fluidez. Nesta pesquisa, o aditivo utilizado foi o Sika ViscoCrete® 3535 CB, que é um redutor de água superplastificante de pega normal.

Para análise proposta no procedimento experimental deste trabalho, foram dosadas argamassas autonivelante com adição de fibras de polipropileno (PP) no teor de utilização do mercado de acordo

com a especificação e parâmetros técnicos do fabricante, ou seja, 600 g/m³. FibroMac® 12 é uma fibra de polipropileno produzida a partir de multifilamentos indicada para o reforço de concretos e argamassas com a finalidade de gerar um composto homogêneo e controlar a fissuração por retração (FABRICANTE, 2008). Para produção das argamassas foi utilizada água potável fornecida pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

A pesquisa analisou o comportamento da argamassa com a substituição parcial do cimento de cinza do caroço de açaí. Esta cinza é oriunda de fábrica no Município de Castanhal no Pará que obtém caroços nos diversos pontos de coletas do Município. O processo de obtenção da cinza ocorre pela perda de umidade por centrifugação e posterior separação de parte das fibras do mesocarpo do caroço e resíduos impregnados pelo processo de beneficiamento do açaí. Em seguida os caroços, com parte de fibra no mesocarpo, vão ao forno para queima da biomassa em temperatura aproximada de 250°C, com finalidade de coleta do vapor de calor para uso no processo da fábrica.

1.1.1 Caracterização

A tabela1 apresenta a caracterização granulométrica do agregado miúdo segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa específica conforme NBR NM 52 (ABNT, 2009), e a massa unitária, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Tabela 1 - Composição Granulométrica da areia

Peneiras – Série Normal	Amostra	Média dos Resultados	
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Retida acum.
4,750	0,0	0,0 %	0,0 %
2,360	1,4	0,2 %	0,2 %
1,180	19,3	2,5 %	2,7 %
0,600	185,6	24,4 %	27,1 %
0,300	395,2	51,9 %	79,0 %
0,150	135,3	17,8 %	96,8 %
Fundo	24,5	3,2 %	100,0 %

Módulo de finura	2,06
Diâmetro máximo (mm)	1,18
Massa específica (g/cm³)	2,64
Absorção de água	0,56 %
Material fino	1,45 %

Fonte: autores, 2019.

Tabela 2 – Características físicas e mecânicas do cimento.

Densidade específica (g/cm³)	Finura 75 µm (%)	Tempo de pega (min)		Resistência à compressão (MPa)		
		Início	Fim	3 dias	7 dias	28 dias
3,04	3,1	270	340	17,3	25,4	38,2

Fonte: fabricante, 2019.

Tabela 3 - Características químicas do cimento.

SO3 (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe2O3 (%)	Na2O (%)	PF (%)	RI (%)
1,87	22,54	6,36	0,62	56,11	4,05	2,49	0,08	4,86	1,23

Fonte: fabricante, 2019.

Tabela 4 - Características físicas e mecânicas da fibra.

Comprimento (mm)	Diâmetro (µm)	Densidade específica (g/cm³)	Resistência à tração (Mpa)	Dosagem recomendada (g/m³)
12	18	0,91	300	600

Fonte: fabricante, 2019.

Figura 1 – Fibras de Polipropileno.



Fonte: http://www.impervia.com.br/wp-content/uploads/2017/08/bc39de5fa5a00d507291bd9295935eef-synthetic-fibres-cellulose-600x537.jpg

1.2. Parâmetros Reológicos

As propriedades mais importantes para as argamassas autonivelante no estado fresco são a consistência e a resistência à segregação. Evitar a segregação significa manter a mistura homogênea sem separação entre as partículas que a constituem (MARTINS, 2009).

Para que um material autoadensável tenha um ótimo desempenho, uma complexa combinação de propriedades da mistura no estado fresco como fluidez, coesão, trabalhabilidade, compatibilidade entre cimento-aditivos e viscosidade deverão ser trabalhadas harmonicamente (EFNARC, 2002 apud MARTINS, 2009).

1.3. Dosagem das argamassas

O traço utilizado na produção das argamassas para esta pesquisa foi 1:2 (cimento e areia) com teor inicial de a/c de 0,50 para atender os requisitos de desempenho. A adição de fibras aconteceu no teor de 1% (0,72g) em relação ao volume da matriz do compósito. Foram dosadas e ensaiadas 40 misturas com diferentes combinações de água e aditivo superplastificante, com fibra e sem fibras, com cinza e sem cinza. A tabela 5 apresenta as proporções de materiais consumidos para cada tipo de argamassa estudada.

Tabela 5 - Proporções para cada tipo de argamassa estudada.

Argamassa	Fibra		Cimento	Cinza		Areia	Água	Aditivo SP	
	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(ml)	(%)	(g)
Referência	-	-	750	-	-	1500	375	0,65%	4,9
Com fibra	1%	0,72	750	5% - 10%	Var.	1500	Var.	0,65% – 0,95%	Var.
	1%	0,72	750	-	-	1500	Var.	0,65% – 0,95%	Var.
Sem fibra	-	-	750	5% - 10%	Var.	1500	Var.	0,65% – 0,95%	Var.

Fonte: autores, 2019.

Ensaios foram desenvolvidos para quantificar as proporções iniciais dos constituintes a fim de identificar uma primeira mistura (referência) e avaliar o comportamento de cada material (teores de adições, relação a/c, tipo e quantidade de aditivos) utilizado para posteriormente fazer ajustes dos constituintes que servirão de referência. Esses teores determinam as propriedades das argamassas no estado fresco.

Inicialmente a relação água/cimento (a/c) utilizada nesta etapa da pesquisa foi de 0,50 em consequência de alguns parâmetros fornecidos para as argamassas autonivelantes pesquisadas.

1.4. Ensaios

1.1.1 Consistência (Cone de fluxo de queda)

Para determinação da proporção óptima de água/pó volumétrica e dosagem de superplastificante em argamassa, foram realizados testes com Cone de fluxo e V-funil para argamassa. O superplastificante é utilizado para equilibrar a reologia da pasta. O teor de volume de areia na argamassa permanece o mesmo que o determinado acima.

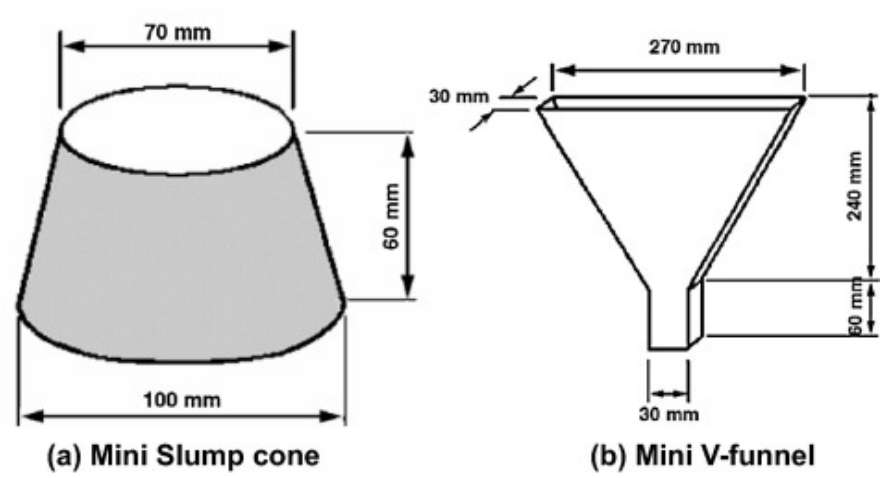
Os valores-alvo são o fluxo de queda de 24 a 26 cm e V-funil tempo de 7 a 11 segundos.

2.1.1 Tempo de fluxo (Funil –V)

Segundo a Norma Européia EFNARC (2002), no fluxo de queda do alvo, onde o tempo do V-funil é mais baixo de 7 segundos, deve ser diminuída a relação da água/pó. Para o fluxo de queda do alvo e o tempo do V-funil em excesso de 11 segundos, a relação da água/pó deve ser aumentada.

Se estes critérios não puderem ser cumpridos, então a combinação particular de materiais é inadequada. Uma análise com um superplastificante diferente é uma alternativa para atingir esses parâmetros. No nosso caso, os critérios foram atingidos seguindo a regra geral.

Figura 2 – Cone e Funil de tempo de fluxo.



Fonte: Norma Européia EFNARC (2002).

Figura 3 – Cone de fluxo.



Figura 4 – Verificação da consistência.



Figura 5 – Determinação do tempo de fluxo da mistura.



Fonte: autores, 2019.

Resultados dos ensaios de consistência e tempo de fluxo para os parâmetros reológicos na fase de dosagem da argamassa autonivelante de referência conforme ASTM C1708/C1708M (2016).

Tabela 6 – Consistência e Tempo de Fluxo da argamassa de referência.

Tentativa	Aditivo SP (%)	Consistência (cm)			Tempo de Fluxo (s)
		D1	D2	D médio	
1ª	0,30	22,00	21,50	21,75	4,0
2ª	0,50	21,00	21,50	21,75	4,0
3ª	0,70	34,50	34,50	34,50	3,5
4ª	0,60	24,00	24,50	24,25	4,5
5ª	**0,65**	**26,00**	**26,00**	**26,00**	**7,0**

Fonte: autores, 2019.

Para atender os parâmetros recomendados pela Norma Européia EFNARC (2002), foram feitas várias tentativas com dosagens de argamassas a partir da referência, com e sem fibras de polipropileno e diferentes teores de cinza do caroço de açai a partir dos ensaios de consistência (Cone de fluxo de queda) e tempo de fluxo (Funil-V). Os resultados estão ilustrados nos gráficos abaixo.

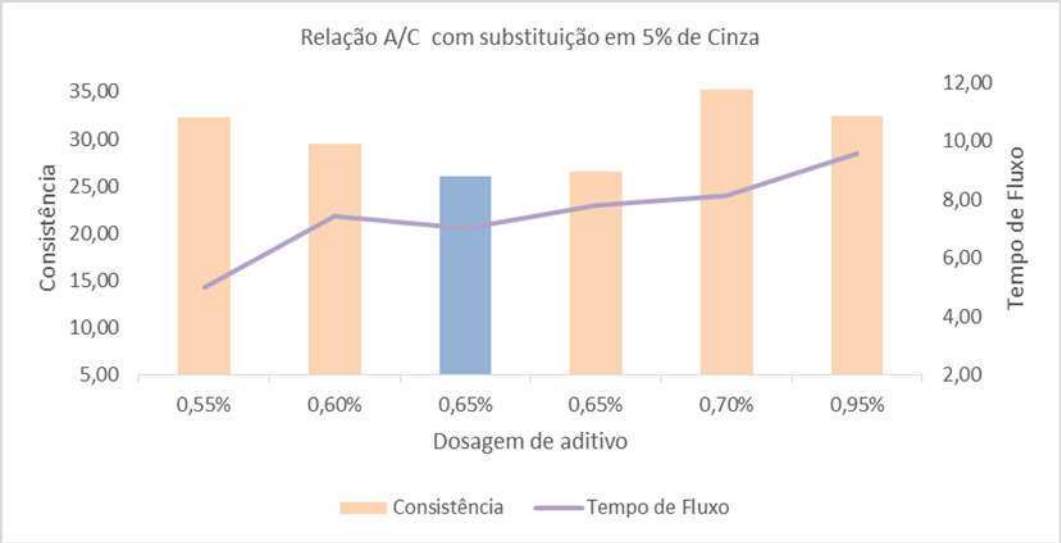
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

3.1.1 Índice de consistência e tempo de fluxo – Sem fibras.

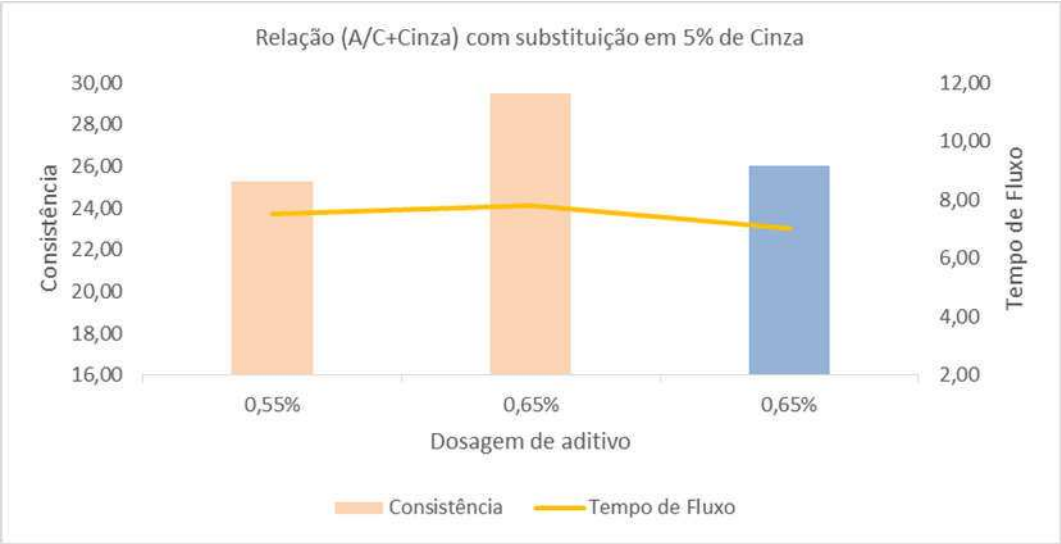
Os ensaios realizados nas dosagens para argamassas com percentual de 5% de cinza em substituição ao cimento, oscilaram dentro dos limites de 0,55% a 0,95%, porém somente no percentual de 0,65% foi possível enquadrar nos requisitos do tempo de fluxo (tempo de fluidez de 7 a 11 segundos) e consistência (diâmetro entre 24cm e 26 cm), ficando claro, neste caso, que mantendo a relação água/cimento, a substituição da cinza não é o grande diferencial e sim a quantidade de aditivo na mistura.

Figura 6 – Gráfico argamassa sem fibra e 5% de cinza.



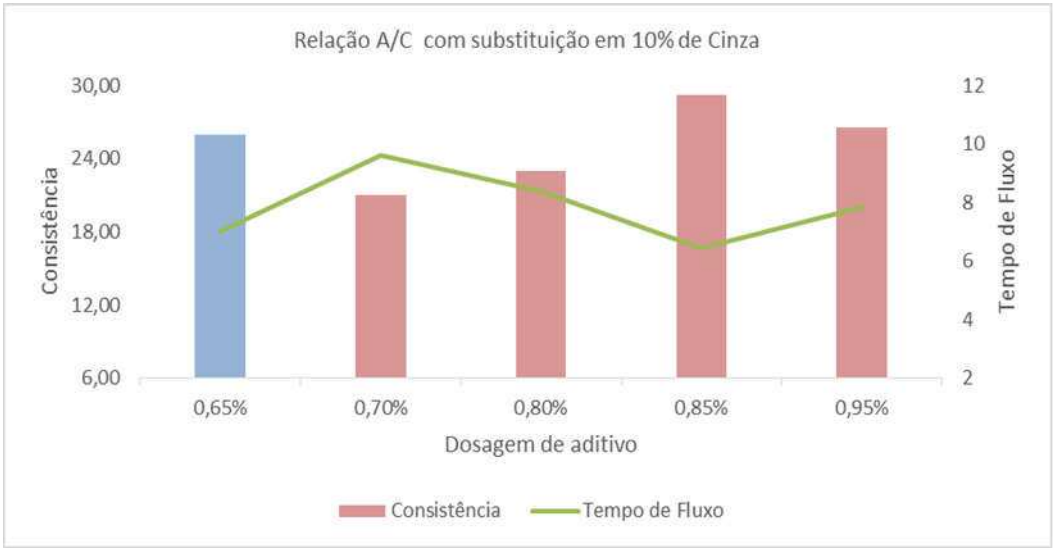
As argamassas dosadas e ensaiadas nessas proporções, demostraram que somente com 0,55% de aditivos, com percentual de 5% de cinza em substituição ao cimento e com a relação água/cimento + cinza, foi possível manter a consistência e o tempo de fluxo da mistura nos padrões aceitáveis.

Figura 7 – Gráfico argamassa (a/c+cinza) sem fibra e 5% de cinza.



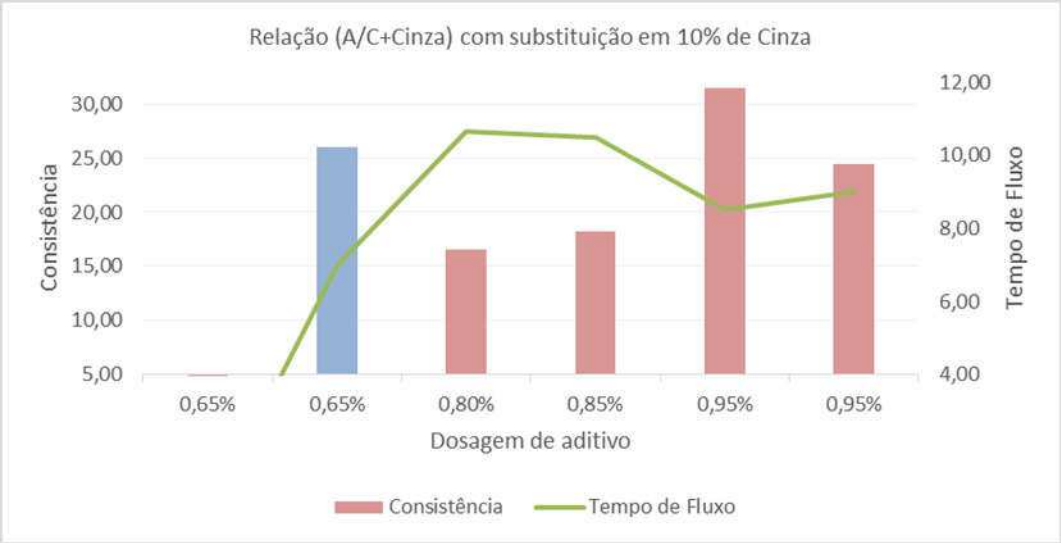
Verificou-se que mesmo mantendo o fator água/cimento da argamassa de referência, a substituição do cimento por cinza no percentual de 10%, teve os requisitos do tempo de fluxo (fluidez de 7 a 11 segundos) e consistência (diâmetro entre 24cm e 26 cm), atendidos na quantidade de aditivo de 0,95%, podendo ser considerada autonivelante para essa dosagem.

Figura 8 – Gráfico argamassa sem fibra e 10% de cinza.



A diminuição de água nas misturas estudadas elevou a quantidade de aditivo para 0,95%, porém a substituição do cimento por cinza no percentual de 10% foi positiva, dada economia de cimento.

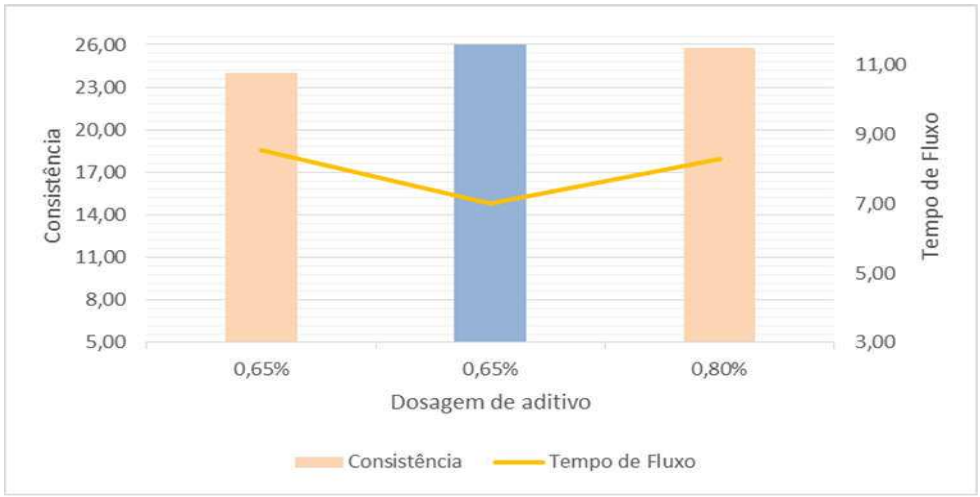
Figura 9 – Gráfico argamassa (a/c+cinza) sem fibra e 10% de cinza.



3.1.1 Índice de consistência e tempo de fluxo – Com fibras.

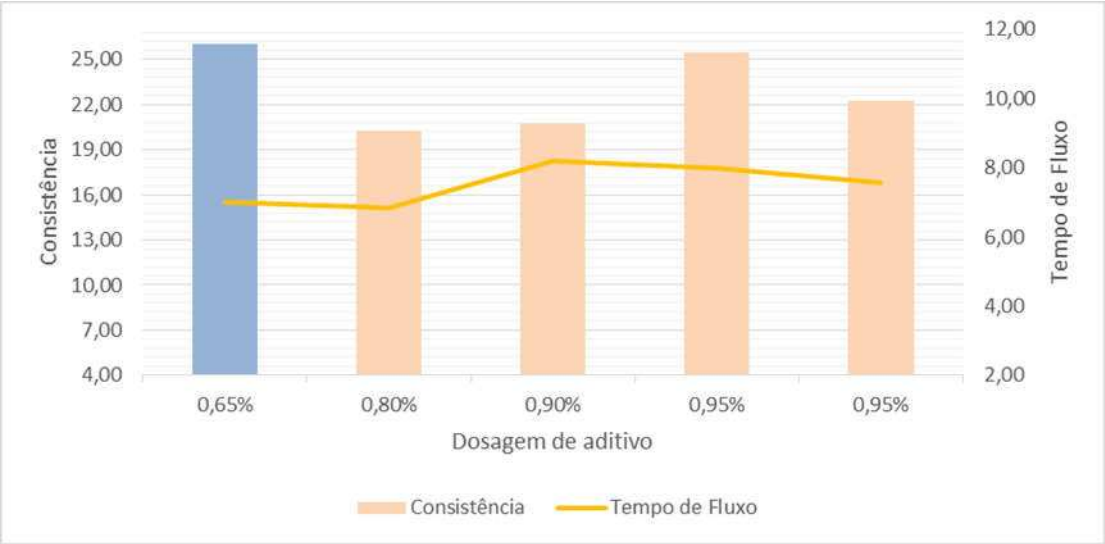
Tanto o fator água/cimento como a dosagem de aditivo, influenciaram na variação da consistência da argamassa. Neste caso, os limites de 0,65% a 0,80% de aditivos atendem o requisito do tempo de fluxo (fluidez de 7 a 11 segundos). Por outro lado, o percentual de 5% de cinza em substituição ao cimento aumenta a fluidez, e a adição de fibras de PP diminui a consistência da mistura deixando-a menos densa.

Figura 10 – Gráfico Argamassa com Fibras e Substituição em 5% de Cinza



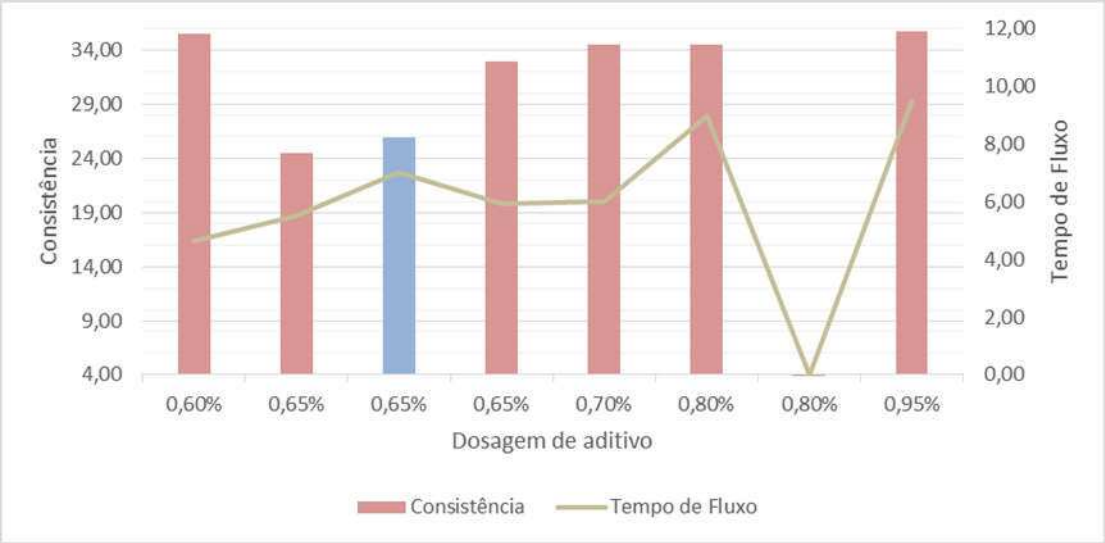
Já o percentual de 10% de cinza em substituição ao cimento só atendeu os parâmetros da EFNARC (2002) quando na dosagem de 0,95% de aditivo para o mesmo teor de fibras de PP e fator água/cimento.

Figura 11 – Argamassa com Fibras e Substituição em 10% de Cinza.



Neste caso, a argamassa com fibra e sem cinza, monstrou um comportamento semelhante a argamassa de referência para um percentual de 0,65% de aditivo, enquadrando-se aos parâmetros de consistência e tempo de fluxo.

Figura 12 – Argamassa com fibras e sem cinzas



4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que ocorreram particularidades interessantes no comportamento das argamassas, uma vez foi possível classifica-las como autonivelantes dados os aspectos técnicos atendidos com as modificações propostas.

Já se sabe que a cinza do caroço de açaí tem grande potencial para atuar na matriz cimentícia nos percentuais de 5% e 10% em substituição ao cimento, sem prejuízos das propriedades das argamassas no estado fresco, e que o caráter econômico e sustentável poderá incentivar outras pesquisas.

Nessas condições, também é possível afirmar que a fibra de PP atua matriz diminuindo a consistência da mistura e aumentando o tempo de fluxo, e quando atua com a cinza produz resultados limitados.

Outro ponto que merece destaque aponta para necessidade de controle do fator água/cimento, que pode ser dimensionado em função do teor de aditivo exigido para mistura de forma a não prejudicar outras propriedades desejadas para as argamassas autonivelantes

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFPA Campus Belém por disponibilizar o Laboratório de Concreto para realização dos ensaios; à UFPA na pessoa do Prof. Dr. Dilson Nazareno Pereira Cardoso, pela contribuição no ensaio com viscosímetro; e finalmente, mas não menos importante, ao Pólo de Protecção da Biodiversidade e Uso Sustentável dos Recursos Naturais – Poloprobio, Prof. Francisco Samonek, por doar as cinzas do caroço de açaí.

6. REFERÊNCIAS

1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. 2005.

2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. 2006.

3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23. Cimento portland - Determinação e massa específica. 2000.

4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. 2003.

5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30. Agregados miúdos - Determinação da absorção de água. 2000.

6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1996.

7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. 2009.

8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998.

9 CARASEK, H., 2007. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, Ibracon.

10 COLOMBO, Felipe Sachet, ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **Análise das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimento com a incorporação de fibras de polipropileno e nylon -** Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 2017.

11 EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. Specification & guidelines for polymer- modified cementitious flooring as wearing surfaces for industrial and commercial use. United Kingdom, 2001

12 FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. 2011. 247 p. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

13 FIORITO Antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos** : estudos e procedimentos de execução [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

14 GOMES, A. O.; GONÇALVES, J. P. **Inovações tecnológicas em canteiros de obras**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.

15 LOPES DA SILVA, S. H. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 2016.

16 NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações.** II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997.

17 RUBIN, A. P. Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desenvolvimento físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

18 SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico**. São Paulo, 2006. 191p. Dissertação em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

19 SILVA, R. P.; BARROS, M. D. B.; JOHN, V. M. **Influência do método de mistura na produção de argamassas com fibras.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, VII. *Anais...*Recife, 2007.

20 SOUZA, Natália Cerqueira de. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. – 2013.

21 TISCOSKI, Bruna De Luca; ANTUNES, Bruna De Luca. **análise do efeito da adição de fibras de polipropileno na resistência de aderência à tração em argamassa de revestimento -** Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 2016.