

## Influência de Aditivo PVA no Comportamento Reológico de Argamassa Elaborada a Partir de Resíduos Industriais

A. L. M. F. Silva<sup>a\*</sup>, D. N. P. Cardoso<sup>a</sup>, A. M. P. F. Felipe<sup>a</sup>, J. A. S. Souza<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – PPEQ, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, Brasil

\*e-mail: andremileo@ufpa.br

### Resumo

A pesquisa estudou a influência da incorporação de aditivo orgânico polimérico poli-acetato de vinila (PVA) ao comportamento reológico da argamassa elaborada com resíduo da construção civil (RCC) junto com o emprego de cinza volante (CV), resíduo proveniente da combustão do carvão mineral em caldeiras de leito fluidizado. Foram elaborados três traços na proporção 1:3:2:4, 1:3:4:2, e 1:3:1:5 (cimento: cinza: RCC: areia), todos com 30% de cinza e 10% de cimento. Para analisar a influência do aditivo foram confeccionados traços sem e com PVA a 20% da massa de aglomerante. Utilizou-se cimento portland CII-E-32, cinza volante como aglomerante, areia e RCC como agregado miúdo com classificação de acordo com a norma NBR 7211. Os materiais foram submetidos à caracterização física e química através de análise granulométrica, fluorescência de raio-x e espectroscopia no Infravermelho. Os traços de argamassa foram submetidos a ensaios reológicos a fim de avaliar a histerese, o comportamento adesivo, o modelo reológico que pode representar o escoamento dos traços de argamassa no estado fresco e a trabalhabilidade. Os traços de argamassa modificados com o polímero PVA obtiveram melhoras no quesito de adesividade e na trabalhabilidade no estado fresco, e foram melhor representados pelo modelo de Herschel-Bulkley. A pesquisa mostrou que o emprego do aditivo PVA garantiu comportamento reológico satisfatório para aplicação na construção civil.

**Palavras-chave:** argamassa, aditivo, reologia.

## 1. Introdução

A norma NBR 13281<sup>1</sup>, define argamassa para assentamento e revestimento como sendo uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento.

Uma argamassa de qualidade deve ser elaborada e produzida para obter o melhor desempenho e durabilidade. Deve-se ter como enfoque algumas propriedades, tais como: baixo custo de mercado, plasticidade, aderência no estado fresco e no estado endurecido ausência de fissuras, resistência à abrasão, compressão e boa trabalhabilidade<sup>2</sup>.

O aproveitamento de resíduos industriais como matéria-prima destinada à construção civil vem se consolidando como uma alternativa viável do ponto de vista técnico, ambiental e econômico, pois tende a minimizar ou até mesmo eliminar estes resíduos. Cinzas volantes são subprodutos resultantes da combustão do carvão mineral em caldeiras. Para as empresas geradoras, este resíduo torna-se um problema em relação ao descarte final. Desta forma se faz necessário estudar aplicações tecnológicas para essas cinzas. A reutilização de cinzas na formulação de argamassas e concretos é uma alternativa interessante, visto que este material possui atividade pozolânica<sup>3</sup>.

A argamassa convencional apresenta poros, porém esses poros podem ser preenchidos parcialmente ou totalmente com polímero, uma vez preenchidos a área de apoio da carga efetiva ao qual a argamassa é submetida, é ampliada o que favorece o incremento de

sua resistência mecânica bem como dificulta a penetração de agentes agressivos, colaborando para o aumento de sua durabilidade<sup>4</sup>.

O estudo reológico das argamassas está relacionado com a melhoria e facilidade de seu espalhamento e penetração nos poros dos substratos em que as mesmas são aplicadas. O comportamento reológico da argamassa é relevante para o desenvolvimento de novos produtos e para se compreender, os fenômenos que estão envolvidos em seu comportamento, pois em se tratando de argamassas para assentamento e revestimento é necessário avaliar as características no estado fresco, pois os mesmos influenciam de forma direta no produto em estado endurecido.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Cimento Portland

Foi utilizado cimento tipo portland CII E32 da marca Poty. A Tabela 1 mostra suas principais propriedades segundo o fabricante.

### 2.2. Cinza volante

A cinza volante (CV) utilizada no trabalho foi proveniente de refinaria de alumina, localizada no município de Barcarena-Pa. Devido à mesma possuir um tamanho médio de 93,8µm, não necessitou de um tratamento prévio para o seu uso.

### 2.3. Rejeito da Construção Civil (RCC)

A amostra de agregado miúdo reciclado seguiu os requisitos empregados na norma ABNT NBR 7211<sup>5</sup>, onde a matéria prima foi coletada no campus universitário de Belém-Pa, da Universidade Federal do Pará (UFPA), o produto adquirido foi proveniente da reforma do laboratório de Engenharia Química (LEQ).

### 2.4. Areia

A amostra de agregado miúdo reciclado seguiu os requisitos empregados na norma ABNT NBR 7211<sup>5</sup>, onde a matéria prima foi adquirida em estâncias de material de construção entorno da Universidade Federal do Pará.

### 2.5. Aditivo Polimérico PVA

Foi utilizado o poli-acetato de vinila PVA cujas as especificações seguem na Tabela 2.

### 2.6. Caracterização do PVA

Para a caracterização do aditivo PVA por espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR foi necessário uma preparação da amostra, a retirada da mesma da solução aquosa, pois a banda da água se sobrepõe às outras bandas no espectro do FTIR. Após, a amostra foi diluída em solução etanólica. Depois que esta foi posta no local do ensaio, esperou-se o solvente evaporar para iniciar o ensaio. A característica/parâmetro do ensaio estão descritos na Tabela 3.

Para a identificação das bandas e picos existentes no espectro, são utilizadas as tabelas das ligações excitadas em cada comprimento de onda e os espectros encontrados na literatura.

### 2.7. Caracterização da Cinza Volante

A Cinza Volante foi submetida a fluorescência de raio X realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo AxiosMinerals, com tubo de raios-X cerâmico e anodo de ródio. Classificação granulométrica do material de forma a se estudar o tamanho das partículas da cinza volante seguiram a metodologia de serie de peneira taylor. O objetivo dessa etapa foi obter essa matéria-prima nos tamanhos e em quantidades adequadas à formulação das argamassas.

### 2.8. Caracterização do RCC

O RCC foi submetida a fluorescência de raio X realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo AxiosMinerals, com tubo de raios-X cerâmico e anodo de ródio. Classificação granulométrica do material de forma a se estudar o tamanho das partículas da cinza volante seguiram a metodologia prescrita segundo a norma ABNT NBR 7211<sup>5</sup>. O objetivo dessa etapa foi obter essa matéria-prima nos tamanhos e em quantidades adequadas à formulação das argamassas.

### 2.9. Caracterização da areia

A areia foi submetida a fluorescência de raio X realizada utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo AxiosMinerals, com tubo de raios-X cerâmico e

**Tabela 1.** Propriedades do cimento.

Propriedades	Resultados
Resistência à compressão aos 28 dias	≥ 32 MPa
Tempo de pega (h)	Início ≥ 1 Fim 10
Finura: resíduo na peneira 75 mm (%)	≤ 12

**Tabela 2.** Especificações do PVA.

PVA / FICHA TÉCNICA	
Função principal	Adesivo
Aspecto e cor (visual)	Líquido de cor branco leitoso
pH(ABNT 10908)	4,0 +/- 1,0
Massa específica (ABNT 10908)	1,025 +/- 0,02 g/cm
Viscosidade dinâmica	0,00325 Pa.s

**Tabela 3.** Características do ensaio.

Característica de ensaio de espectrometria no infravermelho	
Varredura	320
Resolução	8 cm <sup>-1</sup>
Estado do Sistema	Bom
Método	Usuário
Background Scans	32
Taxa	4.000,00-650,00
Apodização	Triangular
Data/Tempo	18/09/2014 10:48

anodo de ródio. Classificação granulométrica do material de forma a se estudar o tamanho das partículas da cinza volante seguiram a metodologia prescrita segundo a norma ABNT NBR 7211<sup>5</sup>. O objetivo dessa etapa foi obter essa matéria-prima nos tamanhos e em quantidades adequadas à formulação das argamassas.

### 2.10. Composição dos traços de argamassa

A Tabela 4 apresenta a composição dos traços sem adição de PVA

Traços 07, 08 e 09 sem PVA apresentados na Tabela 4 possuem a relação (massa/massa) de água/aglomerante igual 0,875.

A Tabela 5 apresenta a composição dos traços com adição de PVA

Traços 07, 08 e 09 com PVA apresentados na Tabela 5 possuem a relação (massa/massa) de água mais PVA/ aglomerante igual a 0,875 sendo que a quantidade de PVA corresponde a 20% da quantidade de aglomerante.

### 2.11. Ensaio reológico

Os procedimentos da análise reológica foram realizadas em viscosímetro coaxial do tipo SV1 (spindle) a temperatura ambiente de 28 °C

**Tabela 4.** Composição dos traços sem PVA.

Traços	Rejeito (%)	Sílica (%)	Cimento (CP) (%)	Cinza(CV) (%)	H <sub>2</sub> O (%)
07	20	40	10	30	35
08	40	20	10	30	35
09	10	50	10	30	35

**Tabela 5.** Composição dos traços com PVA.

Traços	Rejeito(%)	Sílica(%)	Cimento (CP)(%)	Cinza(CV) (%)	PVA (%)	H <sub>2</sub> O(%)
07	20	40	10	30	20	35
08	40	20	10	30	20	35
09	10	50	10	30	20	35

Programação para curva de Histerese:

- Rampa de aumento de taxa cisalhante de  $0 \text{ s}^{-1}$  a  $600 \text{ s}^{-1}$  em 120 s
- Permanência a  $600 \text{ s}^{-1}$  por 30 s
- Rampa de diminuição de taxa de cisalhante de  $600 \text{ s}^{-1}$  a  $0 \text{ s}^{-1}$  em 120 s

Programação para a curva de tensão versus taxa cisalhante e viscosidade aparente versus taxa cisalhante:

- Rampa de aumento de taxa cisalhante de  $0 \text{ s}^{-1}$  a  $600 \text{ s}^{-1}$  em 120 s

Softwares usados na análise reológica:

- Reowin Job Manager: É um sequenciador de medição, os trabalhos são nomeados nessa plataforma, e são definidas no gerenciador de tarefas.
- Reowin Data Manager: Programa de avaliação em que os dados de medição podem ser guardados separadamente apresentado e processado.

A Figura 1 apresenta a curva de calibração do equipamento VT550.

Para a confiabilidade das respostas das análises, surge a necessidade de verificar a confiabilidade do aparelho, para isso é necessário à realização da sua calibração, como fluido de calibração OP 400, cujas características são de fluido newtoniano como mostrada na Figura 1.

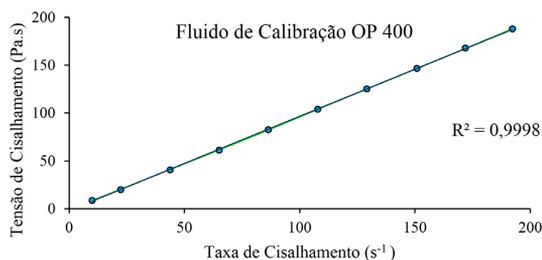
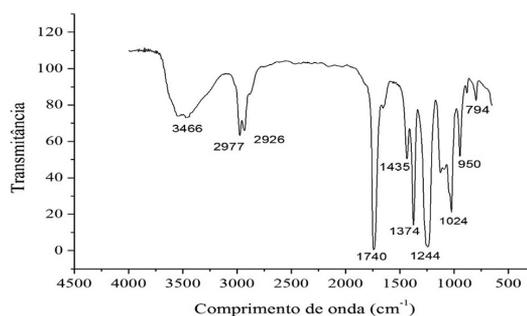
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. PVA

A Figura 2 corresponde ao espectro no infravermelho experimental para a amostra de aditivo orgânico polimérico a base de PVA usado na presente pesquisa.

A Tabela 6 representa os grupos funcionais presentes no espectro experimental do PVA.

Pelo espectro do PVA com os dados presentes na Tabela 7 observa-se a presença dos picos com comprimento de 3466 e o de 1740 confirmando a presença da hidroxila e carbonila grupos funcionais presentes na molécula do PVA.

**Figura 1.** Curva de Calibração do viscosímetro VT550.**Figura 2.** Espectro no infravermelho (FTIR) experimental do PVA.

#### 3.2. Cinza volante

A Tabela 7 representa a caracterização do material por fluorescência de raio x, mostrando que a cinza é composta em sua maioria por sílica (42,531), calcário (19,005) e alumina (16,399) o que caracteriza como um material pozolânico<sup>6</sup>.

A Figura 3 apresenta a análise granulométrica da cinza volante.

Pelos resultados da Figura 3 observa-se que a cinza volante possui um  $d_{50}$  de  $93,8 \mu\text{m}$ .

#### 3.3. Rejeito da Construção Civil (RCC)

A Tabela 8 apresenta os teores de óxidos encontrados no rejeito da construção civil. Observou-se que o RCC é composto em sua maioria (93,41%) por óxidos de silício, e em sua minoria por óxidos de alumínio (0,59%), ferro (0,32%) e potássio (0,19%) o que o caracteriza como agregado miúdo para produção de argamassas.

A Figura 4 mostra a análise granulométrica do RCC usado na elaboração da argamassa.

**Tabela 6.** Grupos funcionais presentes no espectro do PVA.

Identificação	Grupo Característico	Numero de onda $\text{cm}^{-1}$
I	O-H da ligação hidrogênio intermolecular	v 3550-3200
II	C-H dos alcanos	v 2840-3000
III	C=O	1750-1735
IV	C-H do $\text{CH}_3$	$\delta$ próximo a 1450
V	C-O (cristalinidade)	v 1141
VI	C-O-C	v 1150-1085

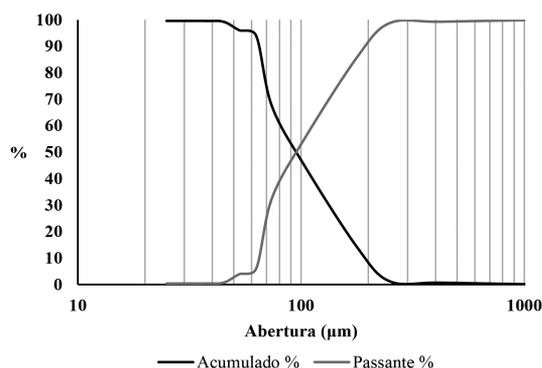
**Tabela 7.** Análise química da cinza volante.

Elemento	Concentração (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,399
$\text{SiO}_2$	42,531
CaO	19,005
$\text{Na}_2\text{O}$	0,941
MgO	1,836
$\text{K}_2\text{O}$	1,61
$\text{TiO}_2$	0,897
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7,081
MnO	0,073
BaO	0,095
ZnO	0,014
$\text{SO}_3$	9,208
SrO	0,046

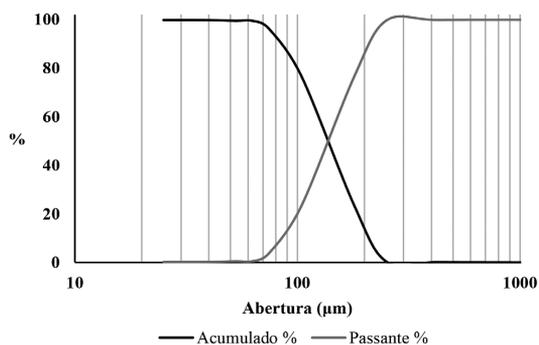
**Tabela 8.** Análise química do rejeito da construção civil.

Elemento	Concentração (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,59
$\text{SiO}_2$	93,41
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,32
$\text{K}_2\text{O}$	0,19
PF*	5,49

PF\* Perda ao Fogo.



**Figura 3.** Análise granulométrica da cinza volante.



**Figura 4.** Análise granulométrica do RCC.

Pela análise granulométrica da Figura 4, observa-se que a areia possui o  $d_{50}$  de 138,9  $\mu\text{m}$ . Deste resultado conclui-se que de acordo com a norma NBR 7211<sup>5</sup>, o mesmo se enquadra como agregado miúdo podendo ser utilizado nas composições dos traços de argamassas.

### 3.4. Sílica (areia)

A Tabela 9 apresenta os teores de óxidos encontrados na areia. Observou-se que a areia é composta em sua maioria (96,73%) por óxidos de silício, e em sua minoria por óxidos de alumínio (0,67%), ferro (0,37%) e potássio (0,21%) o que o caracteriza como agregado miúdo para produção de argamassas.

A Figura 5 mostra a análise granulométrica da sílica usada na elaboração da argamassa.

Pela Figura 5 observa-se que a areia possui o  $d_{50}$  de 111,6  $\mu\text{m}$ . Deste resultado conclui-se que de acordo com a norma NBR 7211<sup>5</sup>, o mesmo se enquadra como agregado miúdo podendo ser utilizado nas composições dos traços de argamassas.

### 3.5. Análise de histerese

A Figura 6 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 07, 08 e 09 sem PVA.

A Figura 7 apresenta o resultado do ensaio de histerese para os traços de argamassa 07, 08 e 09 modificadas com PVA.

Uma argamassa que possui boa trabalhabilidade e consistência, apresenta comportamento tixotrópico segundo Cincotto<sup>7,8</sup>. A tixotropia garante a diminuição da viscosidade aparente quando a argamassa está sendo aplicada, o que favorece o espalhamento e a trabalhabilidade. Segundo Pandolfelli<sup>9</sup> a formação do filme polimérico nos momentos iniciais retarda a evaporação de água presente na argamassa.

Pelos resultados, os traços com e sem aditivo apresentaram comportamento tixotrópico, porém os traços modificados com PVA apresentaram aumento da área de histerese em relação aos traços sem aditivo. Esta característica pode ser devida ao tempo de reestruturação da composição da argamassa, pela formação do filme polimérico. Esse tempo pode favorecer o espalhamento do material quando aplicado, conferindo aos traços com o aditivo polimérico melhoria na trabalhabilidade.

### 3.6. Comportamento adesivo da argamassa

A Figura 8 apresenta os resultados comparativos para os traços 07, 08, e 09 com e sem PVA. Mostrando o comportamento da viscosidade aparente da argamassa quando submetida a uma taxa cisalhante de 0 a 600 s<sup>-1</sup>.

Pela análise do resultado da Figura 8, observa-se que os traços com PVA obtiveram um aumento na viscosidade aparente em relação aos traços sem PVA.

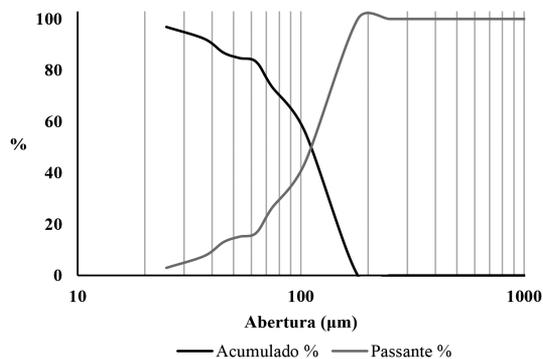


Figura 5. Análise granulométrica da areia.

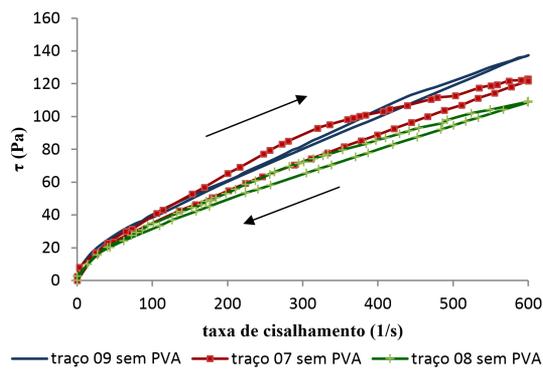


Figura 6. Curva de histerese da argamassa 07, 08 e 09 sem PVA.

Tabela 9. Análise química da areia.

Elemento	Concentração (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67
SiO <sub>2</sub>	96,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
K <sub>2</sub> O	0,21
PF*	2,02

PF\* Perda ao Fogo.

Tabela 10. Modelo reológico para os traços sem PVA.

ARGAMASSA SEM PVA	BINGHAM			HERSCHEL-BULKLEY				
	FATOR 0,875	$\tau_0$ (Pa)	$\eta_p$ (Pa.s)	$R^2$	$\tau_0$ (Pa)	K	n	$R^2$
Traço 07		13,85	0,1635	0,9952	4,905	0,7814	0,7630	0,9996
Traço 08		13,98	0,1487	0,9961	5,301	0,8205	0,7721	0,9997
Traço 09		15,92	0,2069	0,9972	8,226	0,7118	0,8122	0,9996

O aumento de viscosidade ocorre devido principalmente o aditivo ter a característica de diminuir a quantidade de água de amassamento sem comprometer a hidratação do cimento, pois parte dessa água é substituída pelo látex<sup>10</sup>.

A adição de PVA como agente modificador proporcionou um caráter adesivo colante à argamassa, o que é evidenciado pelo aumento de viscosidade, mantendo o comportamento tixotrópico favorecendo a aplicação da argamassa no sentido de reduzir a perda do material por reflexão em superfícies verticais.

### 3.7. Modelo reológico

A Tabela 10 mostra os modelos reológicos, com seus respectivos parâmetros, que representaram o comportamento de escoamento dos traços da argamassa sem PVA.

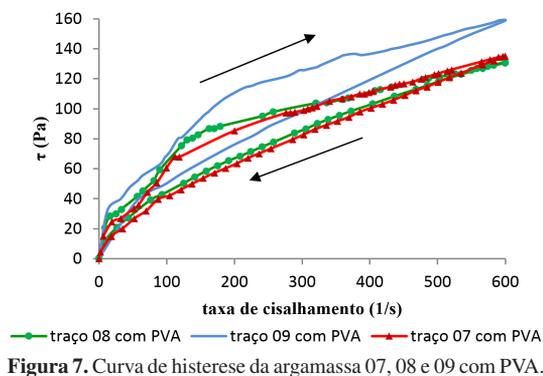


Figura 7. Curva de histerese da argamassa 07, 08 e 09 com PVA.

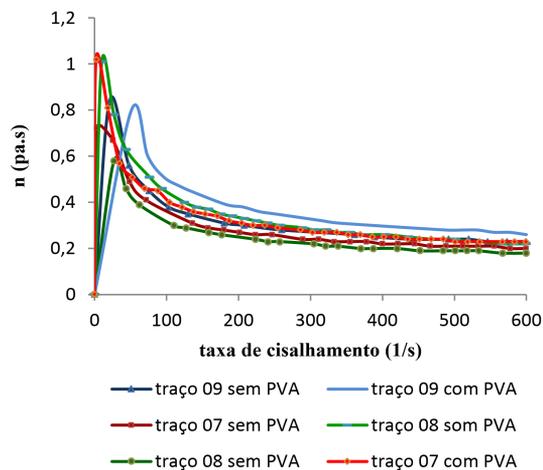


Figura 8. Argamassa 07, 08 e 09 com PVA e sem PVA.

**Tabela 11.** Modelo reológico para os traços com PVA.

ARGAMASSA COM PVA		BINGHAM		HERSCHEL-BULKLEY			
FATOR 0,875	$\tau_0$ (Pa)	$\eta_p$ (Pa.s)	R <sup>2</sup>	$\tau_0$ (Pa)	K	n	R <sup>2</sup>
Traço 07	26,84	0,2365	0,9928	8,678	1,648	0,7084	0,9995
Traço 08	13,46	0,0651	0,9868	7,259	0,678	0,6481	0,9953
Traço 09	25,83	0,2138	0,9911	6,357	1,713	0,7009	0,9995

A Tabela 11 mostra os modelos reológicos, com seus respectivos parâmetros, que representaram o comportamento de escoamento dos traços da argamassa com PVA.

Pelos resultados ambos os modelos de Bingham quanto o de Herschel – Bulkley se ajustam ao comportamento reológico dos traços de argamassa com e sem PVA, sendo que o modelo de Herschel – Bulkley é o que melhor se adequa quando a argamassa no estado fresco escoar sujeito a valores baixos ou altos de cisalhamento.

O modelo de Herschel – Bulkley rege o escoamento dos traços da argamassa para aplicações em que o fator tempo pode ser desprezado ou não é significativo. Caso o fator tempo, seja representativo do fenômeno físico o fator tixotrópico deve ser incorporado ao modelo.

#### 4. Conclusão

A metodologia de avaliação da influencia do emprego de aditivo orgânico polimérico PVA nas propriedades reológicas da argamassa elaborada a partir de rejeito industriais usado neste trabalho de pesquisa forneceu valores de desempenho satisfatório.

Os traços com PVA apresentaram melhoria na adesividade e na trabalhabilidade no estado fresco, em relação aos traços sem PVA.

Os dados experimentais para os traços elaborados com e sem aditivo foram melhores representados pelo modelo de Herschel – Bulkley.

Os ensaios mostraram que a produção de argamassa contendo cinza de carvão mineral e resíduo da construção civil é interessante para a indústria não só no aspecto tecnológico como também em relação à questão ambiental, visto que, a cinza e o resíduo da construção civil possui pouco ou nenhum valor comercial e são resíduos que geram impactos ambientais.

#### Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes etetos: requisitos. Rio de Janeiro, 1995.
- SCANDOLARA, J. P. **Propriedades de argamassas obtidas pela substituição parcial de cimento Portland por rejeitos particulados de tijolo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciencia e Engenharia de Materiais)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2010.
- COIMBRA, M. A.; SANTOS, W. N.; MORELLI, M. R. Recovery of inorganic waste for civil construction. **Cerâmica**, v. 48, n. 306, p. 44-48, 2002.
- FARIAS, J. F. et al. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos. **Cerâmica**, v. 57, p. 395-403, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211**: agregados: especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- JOSHI, R. C.; LOHITA, R. P. **Fly ash in concrete: production, properties and uses**. Ottawa: Gordon and Breach Science Publishers, 1997. 269 p. (Advances in Concrete Technology, v.2).
- CINCOTTO, M. A. et al. Study of the influential factors on the rheological behavior of adhesive mortar available in the market. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, n. 3, p. 399-405, 2013.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118 p.
- PANDOLFELLI, V. C.; CASTRO, S. L. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 18-32, 2009.
- ROYER, B. et al. Efeito da Aplicação do Poliestireno Sulfonado (PSSNa) como aditivo em argamassas e concretos de cimento portland CPV32. **Polimeros: ciência e tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 63-67, 2005.