

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E REATIVIDADE DE AGLOMERANTE ALTERNATIVO A BASE DE FRAÇÃO VERMELHA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, CAL, SÍLICA ATIVA E CIMENTO PORTLAND

Eduardo Dering⁽¹⁾; Daniela Fachini⁽²⁾; José Alberto Cerri⁽³⁾; Márcia Silva de Araújo⁽⁴⁾

(1) UTFPR, e-mail: eduardo_dering@yahoo.com.br

(2) UTFPR e-mail: dfachini@gmail.com

(3) UTFPR, e-mail: cerri@utfpr.edu.br

(4) UTFPR, e-mail: araujo@utfpr.edu.br

Resumo

Os conceitos de sustentabilidade e construção civil verde motivam o estudo de técnicas e materiais alternativos. Dentre os resíduos de construção e demolição (RCD), com a fração cinza (resíduos de concreto e argamassas) têm-se obtido agregados como brita e areias para uso em concretos e argamassas alternativas. O uso da fração vermelha restringe-se a aplicações menos nobres devido às características de elevada absorção de água e finura. Contudo, uma vez que haja uma correta seleção e reciclagem da fração vermelha, esta se torna um material pulverulento e que reage com a cal promovendo a formação de um novo composto com características comparáveis às do cimento Portland. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da substituição parcial do cimento Portland CP-V ARI por um aglomerante alternativo composto por cal, sílica ativa e fração vermelha do RCD, na resistência mecânica à compressão (RMC) e na reatividade das composições. As composições foram definidas por um planejamento experimental do tipo modelagem de mistura simplex linear. Após ajuste da quantidade de água para a pasta e argamassa normal pelo índice de consistência normal, foi analisada a reatividade por meio de: sonda de Tetmajer, agulha de Vicat e calor de hidratação por meio de um dispositivo sensor de fibra óptica com rede de Bragg. Para avaliação da RMC aos 7 dias foram produzidas composições de argamassa normal com areia padrão do IPT e curadas em água. Os resultados mostraram que maiores quantidades de fração vermelha apresentaram os maiores valores da taxa de aquecimento inicial, exigiram a menor relação de água/aglomerante e apresentaram o menor volume aparente. A presença de sílica ativa retarda tanto os tempos de início como o de fim de pega. Composições sem sílica apresentaram as reações com as maiores temperaturas por volta da 6ª hora após a adição de água.

Palavras-chave: Cimento Portland, Aglomerante alternativo, Resíduos de construção e demolição.

Abstract

The sustainability and green building concepts motivate the study of alternative techniques and materials. Among the construction and demolition waste (CDW), with the gray fraction (mortars and concrete waste) have been obtained aggregates as gravel and sand for use in alternative mortars and concretes. The use of red fraction is limited to less noble applications due the high water absorption and fineness characteristics. However, since there is a correct recycling and selection of the red fraction, it becomes a powder material which reacts with the lime to promote the formation of a new compound with comparable characteristics to those of Portland cement. This paper aims to evaluate the influence of partial substitution of CP-V ARI cement for an alternative binder composed of silica fume, lime and CDW red fraction in the compositions mechanical strength (CMS) and reactivity. The compositions were defined by a linear simplex mixture model experimental planning. After adjusting the

water quantity to normal cement paste and to normal consistency rate, the reactivity was analyzed by: Tetmajer probe, Vicat needle and hydration heat by a sensor device with Bragg optical fiber grating. For CMS evaluation, 7 days old mortar compositions specimens were produced with IPT standard sand and cured in water. The results showed that higher amounts of red fraction presented the highest values of the initial heating rate, required the least water/binder ratio and presented the lowest apparent volume. The presence of silica delay the start and end handle times. Compositions without silica present reactions with the highest temperatures at about 6th hour after water addition.

Keywords: *Portland cement, Alternative binder, Construction and demolition waste.*

1. INTRODUÇÃO

A prática do desenvolvimento sustentável na construção civil passa obrigatoriamente pela reformulação dos modos de produção e consumo de matérias-primas. A utilização de materiais alternativos, como resíduos e subprodutos da construção e, o desenvolvimento de novas técnicas de produção são mudanças estritamente necessárias para a melhoria do setor nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais (FACHINI, 2010).

Embora o aglomerante comercial mais utilizado seja o cimento Portland (CP), por outro lado, o aspecto negativo é a liberação de CO₂ durante a fabricação, a qual chega a corresponder a 5% da emissão global (PACHECO, GOMES, JALAI, 2005).

Agregados reciclados têm sido estudados devido ao potencial de uso em estruturas de concretos e argamassas (ÂNGULO, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2006; LEVY, 2001).

A sílica ativa (SA) é um subproduto da fabricação de silício metálico e ligas de ferro-silício, com partículas de morfologia esférica, diâmetros entre 0,02 e 0,5 µm, superfície específica de 20 m²/g e 90% de estrutura amorfa, o que lhe confere elevada reatividade. O uso em concreto favorece a reação pozolânica e também apresenta efeito filer, responsáveis pelo refinamento de poros (ROMANO *et al.* 2008).

Com a liberação progressiva da água, retida pela cal, ao longo do tempo ocorre a cura interna do concreto, hidratando as partículas de cimento anidro e conseqüentemente densificando o gel sem que haja retração excessiva do concreto (HOPPE FILHO, 2002).

Os geopolímeros ou polissialatos são polímeros inorgânicos derivados de materiais com ocorrência geológica natural - silicatos e aluminatos e, o mecanismo de geopolimerização baseia-se na ativação alcalina de aluminossilicatos, gerando uma matriz amorfa de aluminatos e silicatos (DAVIDOVITS, 1991). Em alguns casos o cimento geopolimérico apresenta desempenho muito superior ao cimento Portland, podendo atingir 20 MPa de resistência mecânica à compressão em apenas 4 horas (KOMNITSAS, 2007).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, por meio de ensaios de resistência mecânica a compressão e absorção de água, a influência da substituição de parte do cimento Portland CP-V ARI por cal hidratada, sílica ativa e a fração vermelha do resíduo de construção e demolição.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

As matérias-primas foram utilizadas conforme recebidas dos fornecedores. As amostras de sílica ativa, cal hidratada, cimento CPV-ARI, e a fração vermelha, todas passantes em peneira ABNT nº 200, foram analisadas quanto à superfície específica (Quantachrome, Nova 1200) e densidade específica (Quantachrome Ultrapicnômetro 1000) no Laboratório de Materiais da UEPG. O agregado miúdo utilizado foi areia padrão IPT e água proveniente da rede de distribuição da companhia de água do Paraná (SANEPAR).

3.2. Metodologia Experimental

Para o planejamento dos experimentos foi utilizada uma modelagem de misturas tipo simplex linear e superfícies de resposta para análise dos resultados. Foram elaboradas 4 composições de argamassas compostas por cimento Portland CP-V, fração vermelha, cal e sílica ativa e, uma referência composta somente por cimento CP-V. O teor de substituição do cimento foi de 70% nas 4 composições. O código das composições é formado pela letra inicial do componente seguida de sua fração em peso (Tabela 1).

Amostra		Composição das Misturas (%)			
		Cal	Sílica	Fração Vermelha	Cimento - CPV
3	C70S0FV0CPV30	70,0	0,0	0,0	30
5	C23S47FV0CPV30	23,4	46,6	0,0	30
11	C23S0FV47CPV30	23,4	0,0	46,6	30
17	C38S16FV16CPV30	38	16	16	30
Referência	C0S0FV0CPV100	0,0	0,0	0,0	100

Tabela 1 - Composições obtidas e seus respectivos percentuais em massa

A quantidade de água utilizada para moldagem dos corpos de prova seguiu dois critérios. Em um deles foi determinado o teor de água para obter uma pasta de consistência normal (ABNT NBR NM 43/2003) e no outro, a quantidade de água foi aquela que resultou em um abatimento, mensurado na mesa de abatimento, próximo ou igual ao abatimento da composição referência (ABNT NBR 7215/2003). Após cura por imersão em água de cal por 7 dias, 7 amostras cilíndricas (5x10) cm de cada composição foram caracterizadas quanto a resistência mecânica à compressão axial (RMC) de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Os valores de absorção de água relativa (AA) foram avaliados em 3 amostras para cada composição após 7 dias de cura (ABNT NBR 9778/2005). Tanto os ensaios de RMC como AA, foram realizados para as composições com teores de água obtidos de acordo com os dois critérios, ou seja, da pasta de consistência normal e da argamassa padrão.

4. RESULTADOS DE DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra a caracterização das matérias-primas através da densidade e área específica.

Amostra	Densidade (g/cm ³)	Área específica (m ² /g)
Sílica ativa	2,2706	16,9226
Cal	2,4486	9,8845
CP-V	3,0968	6,8060
Fração vermelha	2,6451	11,3100

Tabela 2 - Densidade e área específica dos materiais utilizados

A partir dos resultados obtidos, construiu-se as superfícies de resposta, como mostrado nas Figuras 1 (a) e 1 (b). A Figuras mostram os resultados de RMC para o critério da pasta de consistência normal (a) e para o critério da argamassa padrão (b).

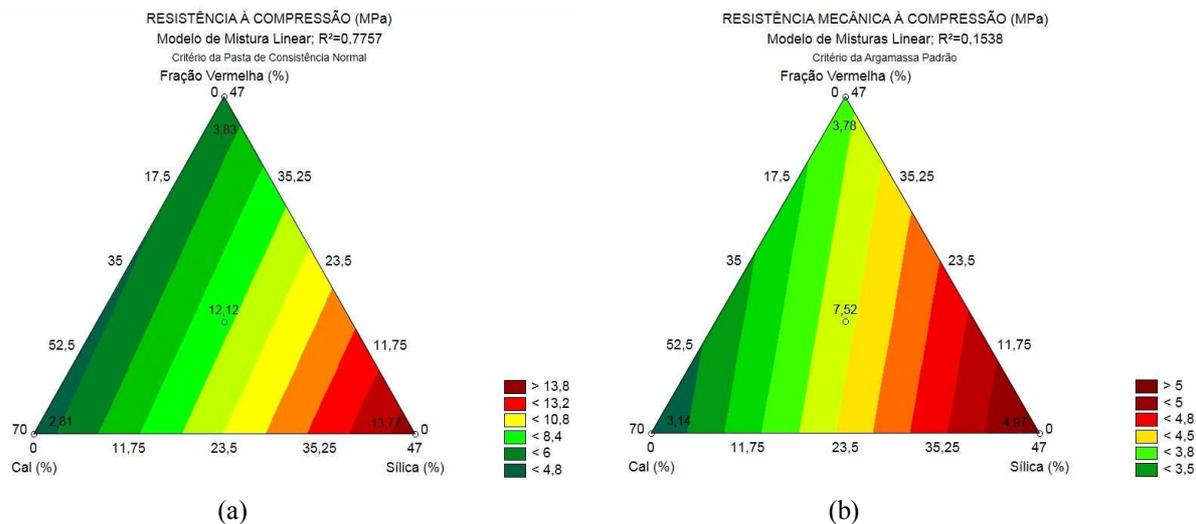


Figura 1 - Comportamento mecânico das composições

Para o ensaio de absorção de água (AA), a Figura 2 apresenta os resultados para o critério da pasta de consistência normal (a) e critério da argamassa padrão (b).

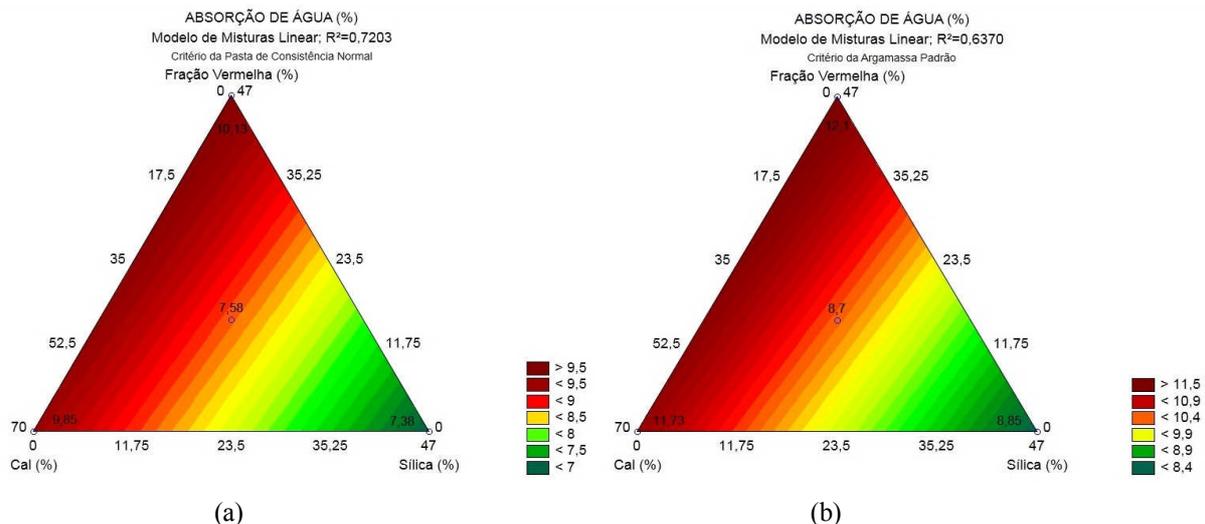


Figura 2 - Comportamento da absorção de água das composições

4. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados obtidos é possível comparar aos resultados com os obtidos para a composição referência (100% CP-V ARI). A composição referência teve RMC média aos 7 dias de 30,5 MPa e AA média de 5,3%. Todas as composições analisadas tiveram desempenho mecânico inferior e absorção de água relativa maior que os apresentados pela referência. As relações água/aglomerante obtidas pelo critério da argamassa padrão foram

superiores às obtidas para a pasta de consistência normal, gerando menores valores de RMC e maiores valores de AA para as composições obtidas pela argamassa padrão. As superfícies de resposta mostram que composições com maiores quantidades relativas de sílica ativa têm maior RMC e menor AA, e composições com maiores quantidades de fração vermelha de RCD e cal apresentam menores valores de RMC e maior AA. Porém, os coeficientes de correlação obtidos com a utilização de modelo simplex linear apresentam-se abaixo do valor 0.8, ou seja, o modelo utilizado pode não representar adequadamente o comportamento das propriedades. Assim, a inserção de mais pontos de análise para a obtenção de um modelo quadrático ou cúbico pode contribuir para a melhor caracterização de tais propriedades. O modelo linear também dificultou a identificação da ocorrência de reações de geopolimerização, porém, a composição 17 (C38S16FV16CPV30) apresentou resultados superiores a todas as outras composições que continham cal e fração vermelha.

REFERÊNCIAS

- ÂNGULO, S. C. **Produção de concretos de agregados reciclados**. 1998. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 1998, 84 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1997. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 43**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003. 14p.
- DAVIDOVITS, J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. **Journal of Thermal Analysis**. v. 37, 1991. Saint Quentin, França. p. 1633-1656.
- FACHINI, D. **Aglomerante alternativo para construção civil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010. 110p.
- HOPPE FILHO, Juarez. **Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de concreto com altos teores de adições minerais**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002. 181 p.
- KOMNITSAS, K., ZAHARAKI, D. Geopolymerization: A review and prospects for the minerals industry. **ScienceDirect**. Minerals Engineering v. 20. Grécia, 2007. 17 p.
- LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 196p.
- OLIVEIRA, D. F., SANTOS V. S., LIRA, H. L., MELO, A. B., NEVES, G. A. Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, 2. 2006. p. 30-36.
- PACHECO, T. F., CASTRO-GOMES, J. P., JALAI, S. - **Ligantes geopoliméricos**: uma alternativa ambiental ao cimento Portland no contexto da economia do carbono. APEB, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/4590>. Acessado em 10/11/2011.
- ROMANO, R. C. O., SCHREURS, H., JOHN, V. M., PILEGGI, R. G. Influência da técnica de dispersão nas propriedades de sílica ativa. **Cerâmica**. v. 54, n. 332. 2008, p. 456-461.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) e as de DT, e a Cia. de Cimentos Itambé, a Cal Hidra e a Empresa Ponta Grossa Ambiental pelas matérias-primas fornecidas.