



VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETO COM ADIÇÃO DE FÍLER CALCÁRIO

OLIVEIRA, Adriane Maria Wanderley (1); LEITE, Anna Gabriela Fechine (2); LUCIO, Denis Sousa (3); FERREIRA, Gabriel Soares (4)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB), adrianewoliveira@gmail.com; Universidade Federal da Paraíba (UFPB), annagfechine@hotmail.com; Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ), densousa@outlook.com; Universidade Federal da Paraíba (UFPB), gabrielsoaresf@hotmail.com.

RESUMO

O filer calcário caracteriza-se como um pó fino, originário da rocha calcária, que pode ser classificado como calcítico ou dolomítico, dependendo de sua composição química. Em geral, possui estrutura porosa e apresenta superfície rugosa, sendo utilizado como adição no concreto visando melhorar algumas características relacionadas à durabilidade, como o efeito químico, físico, diluição, preenchimento dos vazios, hidratação do cimento, microestrutura. O aumento da durabilidade dos concretos frente à algumas patologias pode ser alcançado, como no caso da Reação álcali-agregado, pela redução do teor de álcalis, ou no caso de meios sujeitos a sulfatos, pela redução nos aluminatos. Além disso, seu uso é positivo do ponto de vista ambiental, pois ao utilizar-se sílica ativa, filer calcário e filer basalto em substituição ao cimento, agrega-se significativo ganho ecológico, já que estes são resíduos industriais. Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da adição do filer calcário no concreto, substituindo parte do cimento Portland. A metodologia baseou-se em ensaios nos materiais e verificação da resistência à compressão, com o objetivo de verificar a influência do filer calcário no concreto. Avaliou-se 3 (três) níveis de substituição: 10%, 30% e 50%. Foram realizados ensaios de caracterização nos materiais, com atenção especial à massa unitária dos agregados, para o melhor preenchimento dos vazios na mistura. Os resultados obtidos apresentam a diminuição da resistência à compressão do concreto proporcionalmente ao aumento da substituição do cimento Portland pelo filer calcário, resultado também obtido por outros pesquisadores.

Palavras-chave: Filer Calcário. Adição. Concreto. Cimento Portland.

ABSTRACT

The limestone filler is characterized as a fine powder, originating from limestone, which can be classified as calcitic or dolomitic, depending on its chemical composition. In general, it has a porous structure and presents a rough surface. The limestone filler is used as an addition in the concrete to improve some characteristics related to the durability, such as chemical effect, physical, dilution, filling voids, cement hydration, microstructure. In addition, it is a positive contribution to sustainable development, because when using active silica, limestone filler and basalt filler instead of cement, a significant ecological gain is added, since these are industrial waste. This work aims to study the influence of the addition of limestone on the concrete, replacing part of Portland cement. The methodology was based on tests on the materials and verification of the compressive strength, with the objective of verifying the influence of the lime filler on the concrete. Three substitution levels were evaluated: 10%, 30% and 50%. Characterization tests were carried out on the materials, with special attention to the unit mass of the aggregates, to better fill the voids in the mixture. The results obtained show a decrease in the compressive strength of the concrete in proportion to the increase of the Portland cement replacement by the limestone filler, a result also obtained by other researchers.

Palavras-chave: Limestone Filler. Addition. Concrete. Portland cement.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto sentido na resistência a compressão do concreto ao substituir parte do cimento por diferentes teores de filer calcário.

O fíler calcário caracteriza-se como um pó fino, originário da rocha calcário, que pode ser classificado como calcítico ou dolomítico, dependendo de sua composição química. Em geral, possui estrutura porosa e apresenta superfície rugosa (MORAES, 2010 apud FELEKOĞLU, 2009).

Gomes et al. (2003) afirmam que o estudo de concretos especiais que utilizam alta dosagem de resíduos sólidos industriais na forma de finos, é uma contribuição positiva para o desenvolvimento sustentável. Ao utilizar-se sílica ativa, fíler calcário e fíler basalto em substituição ao cimento, agregam significativo ganho ecológico, já que estes são resíduos industriais.

Segundo Moraes (2010) o fíler calcário foi considerado por muito tempo como um material inerte. De acordo com Modler *et al.* (2007), as adições do tipo inerte são incorporadas ao concreto para conferir melhores resultados de coesão, viscosidade, refinamento dos poros da pasta de cimento hidratada e da zona de transição, e melhorar a resistência ao ataque por agentes agressivos.

Porém, conforme citam Pera *et al.* (1999), sabe-se que o fíler calcário participa também do processo de hidratação do cimento. Sua atuação não se dá por meio da produção de C-S-H, como no caso dos materiais pozolânicos, mas sim devido à precipitação dos hidratos de aluminato de cálcio (C₃A) e à interação entre o silicato tricálcico (C₃S) e o carbonato de cálcio (CaCO₃).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Schutter (2011) o efeito do fíler de calcário pode ser levado em conta em alguns requisitos de durabilidade, tais como:.

2.1 Efeito químico

Embora em grande parte o fíler calcário seja inerte, faz parte de algumas reações de hidratação relacionadas com as fases de aluminato. Bonavetti *et al.* (2001) discorre que em cimentos portland, o enchimento calcário modifica as reações. Em sua pesquisa, três dias após a mistura, foi detectado monocarboaluminato na pasta hidratante. Este composto também foi encontrado por outros pesquisadores em momentos diferentes relacionados ao conteúdo de C₃A do cimento. Este produto de hidratação é provavelmente fornecido pela transformação do monossulfoaluminato em monocarboaluminato, porque o último composto é mais estável (POPPE, 2004; SCHUTTER; POPPE, 2007)

2.2 Efeito físico

O fíler calcário produz uma aceleração da hidratação nas primeiras idades devido ao efeito físico (compactação e nucleação heterogênea). (IRASSAR, *et al* 2015). Turcry *et al* (2005) verificou que, para teores crescentes de filler calcário, a influência da adição de calcário sobre a hidratação do cimento chegava a dobrar o grau de hidratação.

2.3 Efeito da diluição

A presença do fíler calcário também tem um efeito de diluição (IRASSAR, *et al*, 2015). O efeito diluição é resultado da substituição de parte do cimento pela mesma quantidade de filler calcário, o que leva a um aumento na relação a/c efetiva, efeito esse que é anulado com a substituição da areia por filler. O efeito de diluição pode também ser observado com o uso de outros materiais inertes, a exemplo do quartzo (LAWRENCE *et al*, 2003).

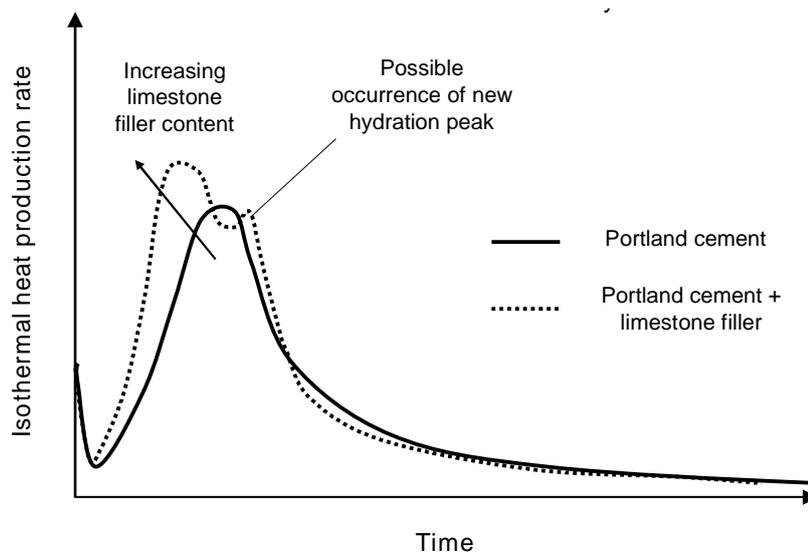
2.4 Efeito filler

No efeito filler, as partículas mais finas podem atuar como um material de enchimento para preencher as lacunas entre as partículas de maiores dimensões, o que leva a uma mudança na porosidade da mistura, reduzindo a quantidade necessária para garantir trabalhabilidade.

2.5 Hidratação

Como bem ilustrado por Schutter (2011) podemos verificar o efeito resultante do fíler calcário sobre a hidratação do cimento, mostrando a taxa de produção de calor durante a hidratação em condições isotérmicas – figura 1. Devido ao aumento das possibilidades de nucleação pela presença do fíler calcário, o período de indução é encurtado e a hidratação é acelerada em comparação com o caso do cimento Portland puro. O valor máximo da taxa de produção de calor isotérmico (segundo pico) aumenta quando a relação cimento / pó diminui, isto é, quando mais fíler calcário e menos cimento Portland. Além disso, um novo (terceiro) pico de hidratação pode ocorrer em algumas combinações de cimento Portland (rico em C₃A) e de calcário.

Figura 1 - Efeito do fíler calcário na hidratação do cimento

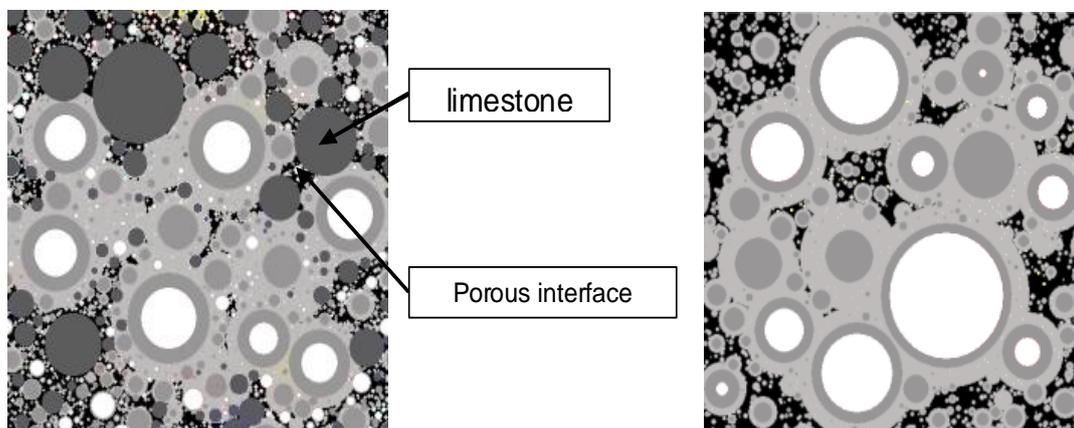


Fonte: Schutter (2011)

2.6 Microestrutura

Como resultado das propriedades (quase) inertes do material de enchimento de calcário, pode ser obtida uma microestrutura um pouco mais porosa entre partículas de carga de calcário vizinhas, como ilustrado na figura 2, mostrando uma microestrutura simulada. Estas zonas mais porosas foram confirmadas por microscopia electrónica de varredura (MEV) em amostras de pasta real. Apesar destas zonas porosas, a porosidade total da pasta de cimento do tipo de enchimento de calcário é menor do que a pasta de cimento Portland puro, como mostrado por MEV e por porosimetria de intrusão de mercúrio (SCHUTTER, G. POPPE, A. M. TAERWE, L., 2007; SCHUTTER *et. al.*, 2007; BILLBERG, P. 2001).

Figura 2 - (Esquerda) Estrutura 2D de uma pasta auto compacta contendo carga calcária, com um grau de hidratação de 0,62, porosidade 10%; (direita) estrutura 2D de uma pasta tradicional com grau de hidratação de 0,62, porosidade 17,4%



Fonte: Schutter (2011)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste no estudo da influência da adição do fíler calcário no concreto, substituindo, em parte, o cimento Portland. Foram avaliados 3 (três) níveis de substituição: 10%, 30% e 50%. Com o objetivo de diminuir os espaços vazios no concreto foram calculadas proporções de agregados graúdos que resultasse na maior massa unitária; assim, somando ao efeito da adição estudada, busca-se um concreto menos poroso, conseqüentemente mais resistente a ataques de agentes externos.

O trabalho dividiu-se em duas etapas:

- Etapa 1 – ensaios nos materiais

Esta etapa compreende o estudo dos materiais utilizados, necessários para dosagem do traço e determinação da maior massa unitária dos agregados.

- Etapa 2 – verificação da resistência à compressão.

Última etapa do estudo, em que após confeccionados os corpos de prova foram realizados os ensaios de resistência a compressão, com o objetivo

de verificar a influencia do fíler calcário no concreto. A resistencia a compressão foi verificada com 7 e 28 dias.

Os ensaios nos materiais foram realizados no Laboratório de ensaios de materiais e Estruturas/LABEME, da Universidade Federal da Paraíba. A massa unitária no estado solto foi determinada pela (NBR 7251/82); a massa unitária no estado compactado foi determinada pela NBR 7810/83.

Tabela 1 - Massa unitária do estado solto dos agregados

MASSA UNITARIA NO ESTADO SOLTO			
MEDIDA	BRITA 19	BRITA 12,5	AREIA
	MASSA (Kg)	MASSA (Kg)	MASSA (Kg)
1	15,05	15,65	15
2	14,8	15,85	15,15
3	15,1	15,75	15,25
MEDIA	14,98	15,75	15,13

Fonte: Autores (2017)

Tabela 2 – Massa unitária no estado compactado dos agregados

MASSA UNITARIA NO ESTADO COMPACTADO		
MEDIDA	BRITA 19	BRITA 12,5
	MASSA (Kg)	MASSA (Kg)
1	16,3	16,6
2	16,35	16,8
3	16,45	16,85
MEDIA	16,37	16,75

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3 – massa unitária dos agregados

MASSA MISTURA		
MEDIDA	BRITA 19	60% DE BRITA 19 40 % DE BRITA 12,5
	MASSA (Kg)	
1	16	
2	16,55	
3	16,4	
MEDIA	16,52	

Fonte: Autores (2017)

Tabela 4 – massa unitária dos agregados

MASSA MISTURA		
MEDIDA	BRITA 19	70% DE BRITA 19 30 % DE BRITA 12,5
	MASSA (Kg)	
4	16,55	
5	16,7	
6	16,4	
MEDIA	16,55	

Fonte: Autores (2017)

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da massa unitária dos agregados. Optou-se pela utilização da proporção de 70% de brita 19 e 30% de brita 12,5. Esta mistura resultou na maior unitária se enquadrando no objetivo de diminuição dos espaços vazios no concreto por maior coesão dos agregados.

O traço adotado no estudo foi: 1:1,65:1,89:0,45, traço de referência previamente estudado dosado para ter resistência à compressão aos 28 dias $f_{ck}=20\text{MPa}$. O cimento utilizado foi o CP V-ARI, que não contém adições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do slump test para as substituições estudadas, 10%, 30% e 50% de fíler, encontra-se na tabela 5.

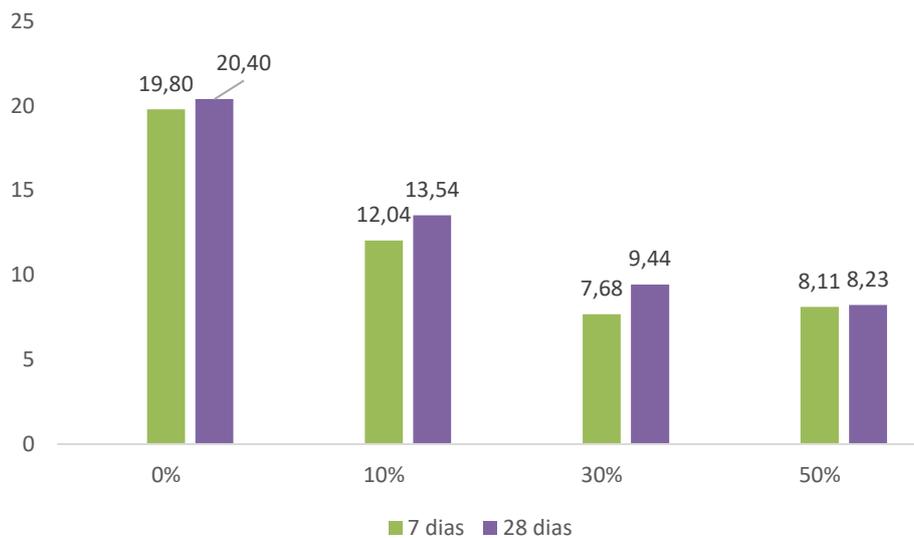
Tabela 5 – Resultado do slump test

SLUMP TEST	mm
TRACO DE REFERENCIA	130
10% DE FÍLER	130
30% DE FÍLER	140
50% DE FÍLER	150

Fonte: Autores (2017)

Os resultados do ensaio de resistência a compressão estão dispostos na figura 3.

Figura 3 - Resultado do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autores (2017)

Como podemos observar na Figura 3, os valores das resistências à compressão do concreto com a adição de fíler calcário encontram-se abaixo da resistência do concreto de referência, sem adições minerais (0%). Tal comportamento está dentro do esperado na literatura.

No pior cenário, substituição de 30%, houve um decréscimo de resistência a compressão 12,3 MPa em relação ao concreto de referência .

Os resultados obtidos neste trabalho não diferem do estudo de Bonavetti *et al.* (1999), que utilizando 10 e 20% de substituição em massa do cimento Portland por fíler calcário, constataram que o aumento no teor resultou em diminuição dos valores das resistências mecânicas; assim como Krstulovic *et al.*(1994) observaram que misturas contendo pequenas quantidades de fíler calcário não afetam a resistência do concreto, mas também demonstraram que este material diminui a trabalhabilidade do concreto.

Moraes (2001) também constatou a diminuição da resistência mecânica com o aumento do fíler, visto que os resultados da série com fíler calcário foram os mais baixos, sendo os menores valores 11,5 MPa para 28 dias e 12,7 MPa aos 91 dias, obtidos para as misturas com 50% de fíler calcário e relação água/aglomerante nominal 0,65.

Assim, mesmo trabalhando com a maximização da massa unitária dos agregados, visando aumentar o empacotamento das partículas, não se obteve bons resultados com relação à resistência mecânica.

4 CONCLUSÕES

Após os experimentos apresentados, pode-se identificar que:

Com relação a consistência do concreto do estado fresco foi verificada uma relação inversamente proporcional. Aumento no teor de fíler resulta em diminuição da consistência do concreto – aumento de abatimento no teste de slump. Para as substituições de 10%, 30% e 50% os percentuais de abatimento em relação a amostra de referência foram respectivamente 0%; 7,14% e

13,33%. Este resultado difere do encontrado por Krstulovic *et al.* (1994) que para misturas contendo pequenas quantidades de fíler calcário este material diminui a trabalhabilidade do concreto.

Com relação a resistência à compressão obteve-se resultados compatíveis com Bonavetti *et al.* (1999), Moraes (2001) e Krstulovic (1994) – diminuição da resistência mecânica. Para as substituições de 10%, 30% e 50% a perda de resistência aos 28 dias foi respectivamente 31,62%; 52,32% e 58,43%.

Para estudos futuros sugere-se analisar a influência do tipo de cimento na mistura. A verificação da resistência a meios agressivos também deve ser efetuada, visando verificar o impacto da mudança de porosidade frente aos agentes agressivos.

REFERÊNCIAS

BILLBERG, P. Influence of filler characteristics on SCC rheology and early hydration, in: K. Ozawa, M. Ouchi (eds.), **Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete**, Tokyo 2001, p. 285-294.

BONAVETTI, V. L. et al. **Studies on the carboaluminate formation in limestone filler-blended cements**, Cem Concr Res 31, 6, 2001, 853-859.

BONAVETTI, V.; DONZA, H.; RAHHAL, V. and IRASSAR, E.F., High-Strength Concrete with limestone filler cements. In: **Second CANMET/ACI International Conference of High-Performance Concrete, Proceedings**. Gramado, Brasil, 1999.

GOMES, P.C.C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. y BERNARD, C. Experimental optimization of high-strength self-compacting concrete. **Proceedings of The Second International Symposium on Self-Compacting Concrete**. Tokio, Ja+
+3pan, 2001, p.377–386.

IRASSAR, E. F. BOANAVETTI, G. MENÉNDIS, M. F. C. Hidratação e propriedades de cimentos compostos (com três adições) com fíler calcário e escória. **Revista ALCONPAT**, Yucatan, v. 05, n. 2, p. 83-95, mai – ago. 2015.

KRSTULOVIC, P.; POPOVIC, K. and KAMENIC, N. A new approach in evaluation of filler effect in cement – effects on strength and workability of mortars and concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 24, n. 4, p. 721-727, 1994.

LAWRENCE, P.; CYR, M.; RINGOT, E.. **Mineral admixtures in mortars. Effect of inert materials on short-term hydration**. **Cement and Concrete Research**, Vol.33, 2003.

MODLER, L. E.; RUPP, R. F.; PREDIGER, P. W.; BOEIRA, F. D. **Concreto bombeável com adição de finos basálticos – Análise das características físicas**. In: **Congresso Brasileiro do Concreto - CBC, 49.**, Bento Gonçalves, 2007. Anais. São Paulo: IBRACON, 2007.

MORAES, K. A. M. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFPE. Recife, 2010.

MORAES, R. C. **Efeitos físico e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFMS. Santa Maria-RS, 2001.

PIOVEZAM, I. A. R. et al. **Resistência à compressão do concreto autoadensável: influência da atividade pozolânica do calcário e do basalto.** RECIE, Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 95-100, jan.-dez. 2006.

POPPE, A. M. ;SCHUTTER, G.; BREUGEL, V. '**Numerical simulation of the hydration process and the development of microstructure of self-compacting cement paste containing limestone as filler**', **Materials and Structures**, 40, 2007, 865-875.

POPPE, A. M. **Influence of fillers on hydration and properties of self-compacting concrete**, Doctoral thesis (in Dutch), Ghent University, 2004.

POPPE, A.; SCHUTTER, G. **Cement hydration in the presence of high filler contents**, **Cement & Concrete Research**, 35, 2005, 2290-2299.

SCHUTTER, G. Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete. **36th conference on our world in concrete & structures**. Singapore, 2011.

TURCRY, P.; LOUKILI, A.; MOUNANGA, A.; LEGRAND, J.. **Influence of limestone filler on cement hydration and chemical shrinkage at early age.** UFR Sciences et techniques. Paris, 2005.