

INFLUÊNCIA DOS ADITIVOS MINERAIS, CURA TÉRMICA E MICROFIBRAS DE AÇO EM CONCRETO DE PÓS REATIVOS

JOÃO VICTOR DA CUNHA OLIVEIRA^{1*}; FRANKSLALE FABIAN DINIZ DE ANDRADE MEIRA²;
MIRIAM DE NORMANDO LIRA³; KENNEDY FLÁVIO MEIRA DE LUCENA⁴

¹Graduando de CST em Construção de Edifícios, IFPB, Campina Grande-PB, joavictorwo@gmail.com;

²Dr. em Eng. Civil, Prof. EBTT, IFPB, Campina Grande-PB, frankslale.meira@ifpb.edu.br;

³Graduanda de CST em Construção de Edifícios, IFPB, Campina Grande-PB, miriamnormando1@hotmail.com;

⁴Dr. Prof. Titular, IFPB, Campina Grande-PB, kennedy.lucena@ifpb.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A busca por materiais de comportamento mecânico elevado configura-se na atualidade em compósitos de alto desempenho que possuem em sua metodologia de obtenção o estudo do fator de empacotamento das partículas, bem como a granulometria empregada de cada material e seu exclusivo tratamento térmico para acelerar o ganho de resistência em idades iniciais. Este trabalho busca esclarecer as influências, em diferentes traços, relacionadas ao emprego em diferentes quantidades de adições minerais, aditivo superplastificante, microfibras de aço, fator água/cimento, além do tipo de tratamento térmico e método de adensamento adotado para conformação dos moldes cilíndricos de concreto de pós reativos, avaliando a resistência à compressão axial nas idades de 7 e 14 dias. De acordo com os resultados obtidos, a redução do fator água/cimento e do aditivo superplastificante apresentou maiores resistências à compressão, todavia essa redução de forma excessiva prejudica o processo de hidratação, implicando na não completa hidratação de todas as partículas de cimento, resultando em menores resistências. Foi observado que a aplicação de tratamento térmico e adensamento por meio de vibrador de imersão em camadas agiram como fatores essenciais no aumento das resistências, e que o tempo de isoterma do compósito corrobora o respectivo aumento até sua estabilização nas temperaturas estudadas, evitando que se aplique demasiado tempo para realização da isoterma.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto de pós reativos, cura térmica, adições minerais, microfibras de aço.

INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES, THERMAL CURE AND STEEL MICROFIBERS IN REACTIVE POWDER CONCRETE

ABSTRACT: The search for materials of high mechanical behavior currently configured in high performance composites that have in your obtaining the study methodology of packaging factor of particles, as well as the material and size of each employee your exclusive thermal treatment to accelerate the resistance gain in early ages. This work seeks to clarify the influences, in different strokes, related to the use in different quantities of mineral additives, superplasticizer additive, steel microfibers, water / cement factor, besides the type of thermal treatment and method of densification adopted for the conformation of the concrete cylindrical molds of reactive powders concrete, evaluating the resistance to axial compression at the ages of 7 and 14 days. According to the results obtained, the reduction of the water/cement factor and the superplasticizer additive presented greater resistance to compression, however this excessive reduction damages the hydration process, implying in the complete hydration of all the cement particles, resulting in lower resistance. It was observed that the application of heat treatment and densification through layered immersion vibrator acted as key factors in the increase of the resistance, and that the time of isotherm of composite corroborates their increase until stabilization in your temperatures studied, avoiding that applies too long to perform the isotherm.

KEYWORDS: Reactive powders concrete, thermal cure, mineral additives, steel microfibers.

INTRODUÇÃO

O concreto de pós reativos (CPR) foi criado para suprir demandas que desde a criação do concreto convencional de cimento Portland são buscadas: menor relação água/cimento, maior durabilidade, melhor empacotamento das partículas, maior resistência, melhor ductilidade e tenacidade, baixa porosidade, melhor densificação da zona de transição, etc.

Tutikian et al. (2011) explicam que o princípio do CPR está em primeiro plano associado à retirada do agregado graúdo da composição, restando apenas materiais que do ponto de vista granulométrico, e convencional, são semelhantes à argamassa, aumentando significativamente a superfície específica que compõe o esqueleto granular do compósito (Andrade, 2015), incorporando em sua composição microfibras de aço em casos de adequação estrutural, com uso excluyente dos vergalhões de aço.

De maneira simplificada, entende-se como CPR o material cuja composição é constituída basicamente de pós, onde a granulometria dos materiais aplicados não excede o valor de 2 mm com viés de aplicação em elementos estruturais. Vanderlei (2004) esclarece que o material oferece grandes resistências à compressão, além de poder resistir com eficácia aos esforços de tração quando adicionada em sua composição fibras metálicas.

É notado por Figueiredo (2011) que “quando se adicionam fibras de resistência e módulo de elasticidade adequados e num teor apropriado, o concreto deixa de ter o caráter marcadamente frágil”, o que assegura uma menor fissuração do compósito, ratificando a recomendação para o uso em concretos convencionais armados ou não, e servindo de armadura complementar para redução de fissuração.

Sintetizando os parâmetros que permitem expor os benefícios de se aplicar ao CPR procedimentos de cura térmica, Richard & Cheyrezy (1995) enfatizam que o tratamento térmico acelera de forma substancial a reatividade pozolânica no decorrer da modificação da microestrutura dos hidratos que estão sendo formados, que permanecem amorfos em temperaturas de cura até 90°C.

Verificando que o uso das adições minerais transfere ao produto final melhorias no que compreende o melhor empacotamento das partículas e preenchimento dos vazios, ante esse processo preenchidos pela água de amassamento, pelos produtos de hidratação do cimento Portland, a aplicação de mais de uma adição mineral produz efeito sinérgico que ratifica maiores resistências em tempo hábil, que para Rigo (2016) viabiliza a produção de concretos com propriedades estruturais superiores para que sejam aplicados em obras usuais. Isso suscita a geração de C-S-H (silicato de cálcio hidratado), de baixa densidade, produto de hidratação fundamental na obtenção de elevado desempenho físico-mecânico em produtos de matriz cimentícia (Pelisser et al., 2009).

Este trabalho objetiva identificar as influências que o concreto de pós reativos, que detêm em sua composição mais de 1 aditivo mineral, sofre mediante diferentes processos de cura térmica, adensamento e conformação, e variabilidade no quantitativo das matérias-primas aplicadas ao estudo, aferindo o desempenho mecânico aos 7 e 14 dias.

MATERIAL E MÉTODOS

Tomando como base o traço desenvolvido por Vanderlei (2004), para o estudo experimental do concreto de pós reativos (Tabela 1), foram elaboradas 7 composições, em massa, para avaliar o comportamento que cada composição testada sobre o material no estado endurecido (Tabela 2).

Tabela 1. Formulação padrão de amparo na análise de concreto de pós reativos.

Cimento	Areia	Pó de Quartzo	Sílica Ativa	Superplastificante	Água (a/c)
1	1,101	0,235	0,246	0,030	0,180

Em virtude de o pó de quartzo não estar disponível na área de estudo, utilizou-se o metacaulim, por ser um material de granulometria semelhante (#325), desejando-se produzir resultados similares para as idades estudadas.

Em contrapartida, o metacaulim é reativo na presença do hidróxido de cálcio, produto de hidratação do cimento, o que provoca aumento da resistência do produto final advindas das propriedades pozolânicas do material.

Dessa forma o consumo não pôde ser semelhante ao mesmo do pó de quartzo adotado por Vanderlei (2004), sendo reduzido sua quantidade em virtude da não realização correta e completa das reações pela sua alta quantidade.

Tabela 2. Traços estabelecidos para avaliação de concreto de pós reativos.

Traço – 1 (Sem tratamento térmico + Sem vibração)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,290
Traço – 2 (Tratamento térmico 1 + Vibração 1)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,290
Traço – 3 * (Tratamento térmico 2 + Vibração 2)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,177	0,197	0,120	0,214
Traço – 4 (Tratamento térmico 3 + Vibração 2)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,070	0,120	0,085	0,214
Traço – 5 (Tratamento térmico 3 + Vibração 2)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,060	0,110	0,075	0,194
Traço – 6 (Tratamento térmico 4 + Vibração 2)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,050	0,100	0,065	0,194
Traço – 7 (Tratamento térmico 4 + Vibração 2)					
Cimento	Areia	Metacaulim	Microssílica	Aditivo SP	Água (a/c)
1	1,050	0,050	0,080	0,060	0,184

* Traço – 3 = adicionado teor de 1% de microfibras metálicas conforme ficha técnica do fabricante.

Com o auxílio de argamassadeira adaptada (batedeira planetária) seguiram-se as seguintes etapas na fabricação do CPR: misturou-se com o auxílio de saco plástico os materiais secos (cimento, areia, microssílica e metacaulim) e em paralelo com o auxílio de proveta e béquer, mediu-se a massa de água (com temperatura entre 1 e 3 °C), e de aditivo superplastificante, misturando-os em um único líquido.

As microfibras de aço, para este trabalho experimental, foram do tipo Dramix® da família 3D com comprimento de 30 mm, diâmetro de 0,62 mm, fator de forma (l/d) 45, e módulo de Young de ± 210.000 MPa com tolerância média de $\pm 7,5$ %.

Adicionou-se metade do material seco e aos poucos, colocou-se o líquido para iniciar o processo de homogeneização. Logo após boa parte do líquido ser adicionado à metade do material seco, submeteu-se à argamassadeira para conferir melhor eficácia na mistura, adicionando-se aos poucos o material seco intercalado com o líquido, até finalizar todo procedimento, durando cerca de 15 minutos, e depois por mais 5 minutos o material foi submetido à velocidade máxima da argamassadeira.

A etapa de moldagem foi constituída pela fabricação dos protótipos através do adensamento com vibrador portátil de imersão, usando de forma a proporcionar o melhor empacotamento da mistura e minimização dos poros existentes na superfície interna da fôrma cilíndrica. A condição de Vibração 1 consistiu em dividir o procedimento em 2 camadas com 30 segundos de vibração, e a condição de Vibração 2 consistiu em dividir em 3 camadas com 30 segundos de vibração.

Após finalizar o processo de adensamento, os mesmos foram cobertos com plástico filme e reservados até serem desmoldados com 24 horas, ficando imergidos nos béqueres à 25 °C, até serem direcionados para o processo de cura térmica em estufa elétrica SOLAB Modelo SL-100 com potência de 3.000 W e circulação de ar forçada, com auxílio de béqueres.

Vale ressaltar que a água não evaporou ao ponto de deixar os protótipos não submersos totalmente ao final do tempo determinado, tomando-se esse cuidado mediante testes preliminares para verificar o nível da água após o procedimento oficial.

No tratamento 1, o tempo de pré-cura foi de 72 horas, com isoterma de 16 horas à temperatura de 75 °C, e tempo total de aquecimento de 20 horas. No tratamento 2, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 80 horas à temperatura de 65 °C, e tempo total de aquecimento de 84 horas. No tratamento 3, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 40 horas à temperatura de 60 °C, e tempo total de aquecimento de 44 horas. No tratamento 4, o tempo de pré-cura foi de 30 horas, com isoterma de 32 horas à temperatura de 60 °C, e tempo total de aquecimento de 36 horas.

Para todos os tratamentos considerou-se 4 horas do aumento da temperatura + isoterma, e depois mais 4 horas até o resfriamento total da água, para etiquetagem e armazenamento dos moldes até atingirem as idades de 7 e 14 dias para realização dos testes de resistência à compressão axial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponderando cada tipo de cura e adensamento injetado aos traços elegidos, a Tabela 3 expõe as médias obtidas a partir dos rompimentos realizados para as idades de 7 e 14 dias. Em seguida, o Gráfico 1 evidencia uma amostragem global do comportamento dos traços frente à diminuição do fator a/c, melhoramento no tipo de adensamento (diante do aumento de 1 camada), e no discernimento quanto a escolha dos intervalos para cada tipo de tratamento térmico acondicionado aos protótipos.

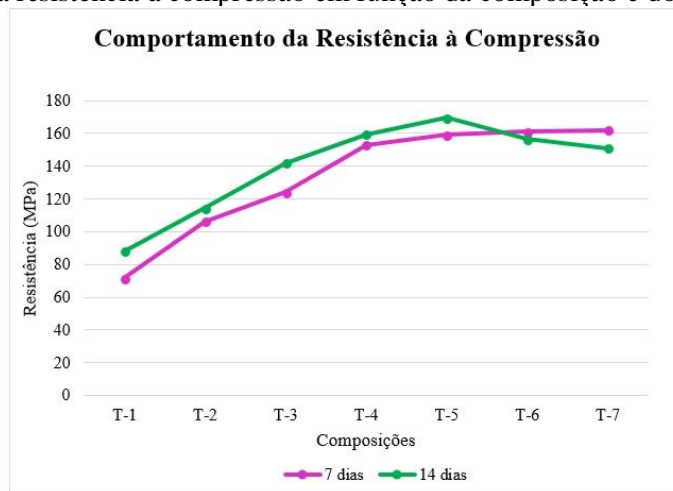
Tabela 3. Desempenho mecânico quanto à resistência à compressão axial.

Traços	Idades	
	7 dias	14 dias
T-1	71,54 MPa	88,18 MPa
T-2	106,203 MPa	114,482 MPa
T-3	123,951 MPa	141,94 MPa
T-4	152,959 MPa	159,38 MPa
T-5	159,18 MPa	169,399 MPa
T-6	160,954 MPa	156,523 MPa
T-7	161,97 MPa	150,91 MPa

Observou-se que, para os resultados obtidos, o melhor traço com resultados satisfatórios de elevadas resistências foi o T-5. Comparando com os dados resultantes da pesquisa de Vanderlei (2004), que para 7 dias o mesmo atingiu o valor de 105,65 MPa, houve um aumento de mais de 50% na resistência à compressão. Com exceção do traço T-1, que não recebeu tratamento térmico ou adensamento adequando à mistura quando no estado fresco, todos os outros traços superaram a marca de Vanderlei (2004) aos 7 dias.

O tratamento térmico no qual submeteu-se os protótipos acelerou o processo de produção dos hidratos que compõem a matriz cimentícia do material, podendo ser observado que as isotermas dos traços T-2, T-4, T-5, T-6 e T-7, apesar de haverem diferenças no tempo e na temperatura, não alteraram de forma veemente a progressão de 7 para 14 dias, notando-se também um avanço semelhante para o traço T-3, que mesmo recebendo uma isoterma de 84 horas, não propiciou um resultado diferenciado dos demais, inferindo que exista um período ideal na obtenção de resultados satisfatórios com menor dispêndio energético.

Gráfico 1. Variação da resistência à compressão em função da composição e do tempo de cura.



Os traços T-6 e T-7 obtiveram resultados melhores que o T-5 na idade de 7 dias, porém não foram considerados como melhores para este estudo pois não houveram progressões dos valores aos 14 dias de idade, além de não terem superado a marca de Vanderlei (2004) nessa idade, que foi de 159,60

MPa, e traço T-5 denotou 169,399 MPa de resistência, superando em 6,13% a marca alcançada pelo autor. O traço T-1 novamente não alcançou a marca do autor confrontado.

A influência das microfibras para o traço T-3 corroborou melhor progressão, dentre todos os traços, aos 14 dias idade, uma vez que as dobras nas pontas de cada fibra favorecem uma ancoragem interna que, a partir do alto módulo de Young, absorvem e distribuem mais uniformemente o carregamento recebido durante o teste de resistência, associado ao aumento da ductilidade e tenacidade do material, tendo sido demonstrado através do aumento em 14,5% na resistividade mecânica.

Atribui-se o declínio das progressões no desempenho mecânico para os traços T-6 e T-7 em virtude da redução drástica do fator a/c , podendo-se interpretar que não houve a correta e total hidratação de todas as partículas de cimento Portland que compõem a mistura, reduzindo o empacotamento do compósito através da criação de zonas ausentes de fases cristalinas provenientes dessa reação química. A não produção dos compostos hidratados favorecem com que parte das adições minerais permaneçam inativas, não preenchendo os vazios deixados pela água, após o processo de cura, devido a baixa produção de C-S-H.

A pequena diferença para os resultados obtidos nas progressões dos traços T-4 e T-5, aos 7 e 14 dias, associa-se ao fato de usar-se 2 adições minerais, onde propiciou-se o avanço mais rápido das reações na primeira idade pelo trabalho sinérgico do metacaulim com a microssílica, que para a segunda idade analisada, progrediu em percentuais de 4,19% e 6,41%, respectivamente, avançando mais lentamente por motivo das reações com maior intensidade terem ocorrido antes, durante, e depois do processo de cura térmica do material em frações de horas. Comparando com Vanderlei (2004), a progressão aos 14 dias avançou mais de 50% em comparação aos 7 dias, já que o mesmo utilizou apenas a microssílica como adição mineral.

CONCLUSÃO

Pode-se compreender que os traços desenvolvidos para este estudo de concreto de pós reativos denotam grande atenção no que concerne a correta aplicação dos procedimentos de adensamento, cura térmica e dosagem equilibrada dos materiais envolvidos.

O uso de microfibras metálicas ratifica no melhoramento das propriedades do material no estado endurecido para idades mais avançadas, da mesma forma que o uso sinérgico das adições minerais acelera o processo produtivo desse tipo de concreto para artefatos pré-moldados, como também uma aplicação mais rápida pela obtenção de mais de 80% da resistência final aos 7 dias de idade, que com uso sensato de tempo ideal de cura térmica entre 35 e 40 horas à 60°C, garante-se um potencial avanço nas etapas construtivas de uma obra que dependa fortemente desse material.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa, na modalidade PIBITI, ao primeiro autor. Ao IFPB – Campus Campina Grande pela estrutura laboratorial. Às empresas: Elizabeth Cimentos, BASF S.A., Belgo Bekaert & ArcellorMittal, Maia Macedo, e Tecnosil pelas doações das matérias-primas para realização do estudo.

REFERÊNCIAS

- Andrade, T. C. C. S. Avaliação do tipo de cura nas propriedades de concretos de pós reativos. Curitiba: UFPR, 2015. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil).
- Figueiredo, A. D. Concreto reforçado com fibras. São Paulo: USP, 2011. 248f. Tese (Livre-Docência).
- Pelisser, F.; Gleize, P. J. P.; Mikowski, A. Propriedades nanomecânicas do silicato de cálcio hidratado de síntese. Ambiente Construído, v.9, n.42, p.129-139, 2009.
- Richard, P.; Cheyrezy, M. Composition of reactive powder concretes. Cement and Concrete Research, v.25, n.7, p.1501-1511, 1995.
- Rigo, L. A. Estudo da sinergia entre nano sílica e micro sílica em argamassas para aplicação em concretos como proposta de melhoria de desempenho. Pato Branco: UTFPR, 2016. 83f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil).
- Tutikian, B. F.; Isaia, G. C.; Helene, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. In: Isaia, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap.36, p.1238-1325.
- Vanderlei, R. D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. São Carlos: USP, 2004. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas).