

# SUBSTITUIÇÃO DE AREIA POR MAGNETITA NA FORMULAÇÃO DO CONCRETO

André Carlos Silva <sup>1</sup>  
Marcos Vinicius Agapito Mendes <sup>2</sup>  
Elenice Maria Schons Silva <sup>1</sup>

## Resumo

O concreto é um material muito utilizado na construção civil e composto por agregados miúdos (normalmente areia de rio), agregados graúdos (brita), cimento Portland e água. A extração de areia de rios pode gerar vários impactos ambientais como o assoreamento do leito do rio, desmatamento e contaminação dos recursos hídricos com óleos e graxas. Hoje em dia o processamento de rocha fosfática em Catalão/GO/Brasil gera cerca de 230 t/h de rejeitos de magnetita (30% da alimentação da planta) que é descartado na barragem de rejeito. Este trabalho apresenta a utilização deste rejeito como substituto do agregado miúdo na composição do concreto, sendo uma solução viável ao aumento da resistência à compressão do concreto. Amostras de concreto foram rompidas após 7, 14, 21 e 28 dias, formuladas com 10, 20 e 30% de magnetita em substituição da areia, ambos os materiais na mesma faixa granulométrica. Os resultados mostram que a adição de magnetita no concreto aumentou a sua resistência mecânica consideravelmente.

**Palavras-chave:** Concreto; Magnetita; Resistência mecânica.

## MAGNETITE TAILING REPLACING QUARTZ SAND IN CONCRETE FORMULATION

## Abstract

Concrete is a material widely used in construction and it is composed by small aggregates (usually quartz sand from riverbed), coarse aggregates (gravel), Portland cement and water. The quartz sand extraction from riverbed can lead to environmental impacts, such as siltation of the riverbed, deforestation and contamination of water resources with oils and greases. Nowadays the processing of phosphate rock in Catalão/GO/Brazil generates around 230 t/h of magnetite tailings (30% of the plant feed) which is discarded in the tailings dam. This paper present the utilization of this tailing as substitute of small aggregate in the concrete composition, being a feasible solution with respect to concrete compressive strength. Concrete samples were ruptured after 7, 14, 21 and 28 days, formulated with 10, 20 and 30% of quartz sand substitution for magnetite, both materials in the same size range. Results shows that the magnetite addition in the concrete increased its mechanical strength.

**Keywords:** Concrete; Magnetite; Compressive strength.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria mineral é um ramo da economia que teve um crescimento considerável nos últimos anos. Assim, o mercado tornou-se extremamente competitivo e questões relacionadas a redução de custos ganharam destaque.

Diante deste cenário, o aproveitamento de materiais que até então eram descartados pode se tornar uma solução interessante para a redução de custos, sendo necessário, porém, o desenvolvimento de tecnologias que permitam tal fato.

Atualmente, várias empresas do ramo mineral passaram a comercializar coprodutos provenientes do beneficiamento do produto principal, obtendo renda extra e reduzindo custos com a geração de rejeitos.

O beneficiamento de minerais é uma etapa importante no empreendimento mineiro, que busca concentrar o mineral de interesse. Como resultado deste processo obtém-se um concentrado final e conseqüentemente uma grande quantidade de rejeito, sendo descartados em grandes barragens. Estas,

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Goiás – UFG, Catalão, GO, Brasil. E-mail: [ancarsil@ufg.br](mailto:ancarsil@ufg.br)

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional, Departamento de Mineração, Escola SENAI de Catalão – SENAI, Catalão, GO, Brasil.



por sua vez, geram passivos ambientais de grandes proporções e custos de manutenção e monitoramento.

No beneficiamento de rocha fosfática realizado em Catalão/GO a magnetita é um rejeito descartado em barragens resultante do beneficiamento. De acordo com estudos geológicos da jazida, a produção de concentrado de rocha fosfática ainda permanecerá em atividade pelas próximas décadas e continuará produzindo finos de magnetita como rejeito do beneficiamento.

Portanto, encontrar alternativas que possibilitem o aproveitamento de materiais que são descartados em barragens de rejeito, especialmente os finos de magnetita, evitando a formação de passivos ambientais e gerando receita com a comercialização de um possível coproduto, pode ser um ponto interessante para a competitividade no mercado das empresas que produzem concentrado de rocha fosfática.

A indústria de construção civil, assim como a mineração, consiste em outro ramo da economia que cresce nos últimos anos, principalmente devido ao aumento da população e a necessidade de obras de infraestrutura cada vez mais sofisticadas.

O concreto é um dos principais insumos necessário na construção de obras, sendo consumido em grandes quantidades. Logo, reduções nos custos de produção do mesmo podem representar quantidades significativas no montante final necessário a execução de uma obra qualquer.

Além disso, o concreto deve possuir características únicas que garantam sua qualidade final, principalmente as relacionadas a resistência à compressão. Portanto, a obtenção de um concreto que tenha resistência considerável e possa ser produzido com baixo custo se torna um cenário interessante a indústria de construção civil.

Logo, este trabalho tem como objetivo a busca por alternativas de aproveitamento dos finos de magnetita gerados no beneficiamento de rocha fosfática de Catalão/GO, tendo como principal foco a utilização destes como agregado miúdo na composição do concreto em substituição da areia, almejando ganhos de resistência, redução de custos de produção e, no caso da mineração, diminuição de passivos ambientais e geração de receita com a comercialização de um coproduto.

O concreto consiste em um material heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico (cimento Portland) com materiais inertes a água – agregados miúdos (areia ou pó de pedra) e graúdos (pedra britada) – e água [1].

No concreto os agregados constituem cerca de 70% de todo o material, ganhando uma importância significativa. Consistem basicamente de materiais em forma de grãos e inertes que entram na composição do concreto [2].

A importância da trabalhabilidade na produção do concreto pode ser resumida como a facilidade de lançamento com ausência de segregação. Esta propriedade é mensurada por meio do ensaio de *slump* ou abatimento do tronco de cone [3]. Ainda segundo o autor, a resistência a compressão do concreto, característica muito importante, normalmente é utilizada como parâmetro para a avaliação da

durabilidade do mesmo. Devido a simplicidade de execução é aceita universalmente como parâmetro para a avaliação da qualidade do concreto.

A dosagem de materiais para a produção do concreto é extremamente importante e garante a qualidade final do mesmo e o consumo ótimo dos materiais componentes. Daí a importância da obtenção de um traço adequado a cada situação, que atenda as especificações de cada projeto. O traço consiste na relação entre a quantidade de materiais presentes na produção de concreto e o cimento. Neste trabalho, foi utilizado o método de dosagem desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

## 2. METODOLOGIA

O intuito deste trabalho foi a substituição do agregado miúdo (areia) na composição do concreto por finos de magnetita. Logo, estes dois materiais deveriam possuir a mesma distribuição granulométrica. Assim, o peneiramento da magnetita foi realizado, separando a mesma em várias frações e posteriormente uma composição com a mesma distribuição da areia foi elaborada.

O primeiro passo consistiu na determinação do traço que atenderia as especificações de um concreto com resistência final aos 28 dias de 30 Mpa, utilizando-se para isto o método de dosagem da ABCP [4].

No entanto, alguns dados se faziam necessários para a obtenção do traço por este método. Um deles consistia no módulo de finura da areia, que foi obtido utilizando-se um peneirador de laboratório com malhas de peneiras da série norma I [5]. As massas específicas dos materiais foram obtidas com o auxílio de um picnômetro. Com o traço obtido procedeu-se a modelagem dos corpos de prova, utilizando-se para tal fim o recomendado na Norma Brasileira de Regulamentação [6].

No primeiro instante foi necessária a imprimação de eixo inclinado da betoneira de laboratório (CSM – 150 L), feita com cimento, areia e água na mesma proporção obtida no traço. Com o material dentro da betoneira, seu tambor foi inclinado em vários ângulos de forma que toda superfície interna fosse recoberta pelo material.

Em seguida, os materiais dosados na quantidade correta foram colocados na betoneira de forma parcial, procedendo-se o amassamento da mistura por 5 minutos. Foram preparados corpos de prova com proporções de substituição da areia por magnetita em 10, 20 e 30% em volume, mantendo-se o mesmo volume de agregado miúdo, variando somente o peso devido à densidade diferente entre a magnetita e areia. Também foram elaborados corpos de prova com composição normal, isto é, sem magnetita, para servir como referência.

Com a mistura preparada, o ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado de acordo com a Norma Brasileira de Regulamentação NBR NM 67 [7] visando a aferição da trabalhabilidade. Para isto, foi utilizado um tronco

de cone com apoio para os pés, um funil, uma haste e uma base. Ambos foram previamente recobertos com uma fina camada de óleo vegetal.

Com o tronco de cone posicionado sobre a base, estabilizando-se o mesmo com os pés, a mistura obtida com o amassamento na betoneira foi colocada em três camadas dentro da fôrma, cada uma sendo socada com 25 golpes. Finalizando-se este procedimento, a forma foi retirada e o abatimento da mistura medido com o auxílio de uma régua graduada (Figura 1).

Caso o abatimento requerido ( $70 \pm 10$  mm) fosse atingido, a modelagem dos corpos de prova era iniciada. Em caso negativo, a adição de água ou cimento se fazia necessária e um novo ensaio de abatimento era realizado após o amassamento.

Com o abatimento requerido atingido a mistura estava pronta para ser moldada. Logo, foram utilizadas fôrmas cilíndricas com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Estas foram previamente recobertas com uma fina película de óleo vegetal. A mistura foi adicionada as mesmas em duas camadas, sendo cada uma socada com 12 golpes. O acerto da superfície da fôrma foi realizado com o auxílio de uma colher de pedreiro.

A mistura permaneceu em cura nas fôrmas por 24 horas, sendo retiradas das mesmas após este período, obtendo-se os corpos de prova. Estes últimos permaneceram em processo de cura imersos em água saturada em cal até o momento da ruptura. Foram modelados dois corpos de prova para ambas composições para ruptura com 7, 14 e 21 dias de cura e três para a ruptura com 28 dias de cura.

Os corpos de prova, logo após serem desenformados, apresentaram uma superfície irregular em sua base, causada principalmente pelo fenômeno de exsudação do concreto. Este fato, poderia interferir nos resultados durante a etapa de ruptura. Logo, os mesmos foram serrados em poucos milímetros em uma faceadora, permitindo a obtenção de uma superfície lisa e regular.

Atingidas as idades de ruptura dos corpos de prova, os mesmos foram rompidos com o auxílio de uma prensa hidráulica manual de 45 t da Nowak (Figura 2). Tal procedimento aconteceu de acordo com a Norma Brasileira de Regulamentação, sempre tomando cuidado para manter a uniformidade de inserção de pressão ao corpo de prova.

### 3. RESULTADOS

Os resultados médios encontrados e esperados nos ensaios de ruptura para cada uma das composições elaboradas são apresentados na Tabela I. Pode-se identificar que houve uma discrepância entre os valores esperados e



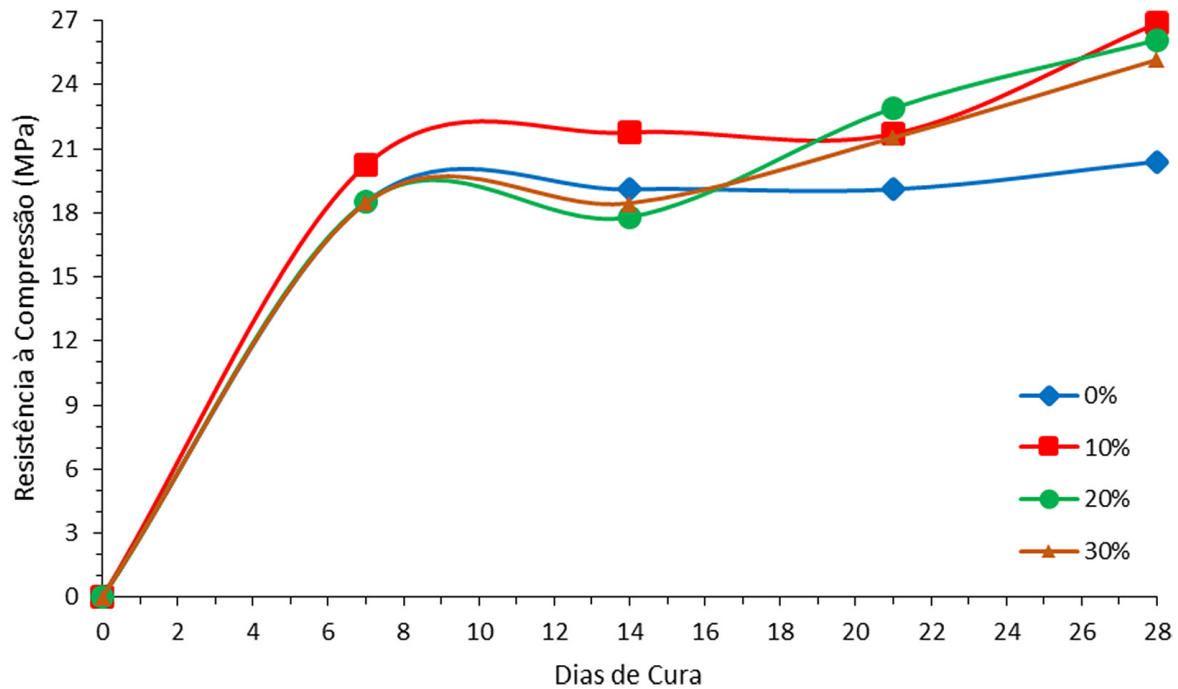
Figura 1. Obtenção do valor do abatimento do tronco de cone da mistura.



Figura 2. Corpo de prova após ruptura.

Tabela I. Resultados médios em MPa dos ensaios de ruptura

Cura (dias)	Porcentagem de magnetita							
	0		10		20		30	
	Esperado (MPa)	Média obtida (MPa)	Esperado (MPa)	Média obtida (MPa)	Esperado (MPa)	Média obtida (MPa)	Esperado (MPa)	Média obtida (MPa)
7	17,3	17,8	14,7	15,6	17,3	16,9	17,9	18,8
14	22,7	18,8	19,3	16,9	22,7	16,6	23,5	17,2
21	25,1	19,1	21,4	15,9	25,1	22,3	26,0	20,7
28	27,0	19,3	23,0	21,9	27,0	25,5	28,0	24,6



**Figura 3.** Resultados normalizados em relação aos corpos de prova sem magnetita.

**Tabela 2.** Resultados de ruptura experimentais em MPa normalizados com relação aos corpos de prova sem magnetita em substituição da areia

Dias de cura	Porcentagem de magnetita			
	0%	10%	20%	30%
7	18,5	20,2	18,5	18,5
14	19,1	21,8	17,8	18,4
21	19,1	21,7	22,9	21,5
28	20,4	26,9	26,1	25,2

obtidos. Vários fatores podem ter contribuído para este fato tais como erros inerentes ao processo de modelagem dos corpos de prova e faceamento dos mesmos. Além disso, variações bruscas na temperatura ambiente que eventualmente ocorreram durante a cura dos corpos de prova podem contribuir significativamente para a discrepância destes dados. Por fim, não menos importante, a ruptura foi realizada com uma prensa manual dotada de um leitor analógico, podendo influenciar também de forma significativa na discrepância dos dados.

A Tabela 2 e o Figura 3 apresentam os dados experimentais de resistência mecânica dos corpos de prova normalizados em relação à composição padrão para os corpos de prova sem magnetita em substituição da areia. Um gráfico também foi elaborado considerando estes dados. Nota-se na Figura 3 que os corpos de prova modelados com magnetita apresentam melhores resultados de resistência à compressão quando comparados com aqueles sem adição de magnetita. Nota-se também que os resultados para os corpos com 20 e 30% de magnetita em substituição da areia apresentaram resultados experimentais menores que os

corpos sem magnetita. Tal fato pode ter ocorrido devido a variações bruscas de temperatura que ocorreram próximo a data de ruptura dos mesmos, prejudicando o processo de cura. Além disso, erros nestes corpos de prova durante o processo de faceamento também podem contribuir.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que houve uma discrepância entre os resultados experimentais e teóricos, fato que pode ter ocorrido devido aos erros inerentes ao processo de modelagem, faceamento, cura e ruptura dos corpos de prova.

Assim, a elaboração de uma maior quantidade de corpos de prova para cada composição torna-se necessária para diminuir o desvio padrão entre as amostras e consequentemente esta divergência.

No entanto, os resultados demonstram que os corpos de prova com substituição parcial da areia por magnetita apresentam melhores resultados aos ensaios de compressão que aqueles sem substituição. Isto permite concluir que a magnetita em substituição da areia na composição do concreto traz ganhos de resistência ao mesmo consideráveis.

Mesmo assim, ainda serão necessários vários ensaios para demonstrar até que limite a substituição de areia por magnetita na composição do concreto traz realmente benefícios a resistência final do mesmo. Portanto, objetiva-se continuar este trabalho com a elaboração de novos corpos de prova com aumento na proporção de substituição da areia por magnetita na composição do concreto.

## REFERÊNCIAS

- 1 Benetti RK. Traços de concreto convencional com incorporação de aditivo acelerador de pega: análise da resistência nas primeiras idades [monografia]. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul; 2007.
- 2 Melo VAR. Utilização do resíduo gerado na exploração do itabirito em substituição ao agregado miúdo natural para preparação de argamassa de cimento Portland [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Rede Temática em Engenharia de Materiais – REDEMAT; 2012.
- 3 Mendes MVA. Aproveitamento de finos de magnetite gerados no processamento de rocha fosfática [monografia]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2014.
- 4 Assunção JW. Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná [dissertação de mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2002.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 721 I : Agregados para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT; 2009.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT; 2003.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT; 1996.

Recebido em: 29 Out. 2015

Aceito em: 04 Mar. 2016