

# CONCRETO – SUBSTITUIÇÃO DE AREIA DE QUARTZO POR MAGNETITA

**Mendes, Marcos Vinicius Agapito 1 \*;**

**Silva, André Carlos 2;**

**Silva, Elenice Maria Schons 3;**

**Barbosa, Diego Henrique Braga Maya 4**

1 Instrutor em Mineração, Escola SENAI Catalão, Departamento de Mineração, Catalão/GO, Brasil e aluno regular do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás, Catalão/GO,

2 Dr. Professor da Universidade Federal de Goiás, Departamento de Engenharia de Minas, Catalão/GO, Brasil.

3 Professora da Universidade Federal de Goiás, Departamento de Engenharia de Minas, Catalão/GO, Brasil.

5 Instrutor em Mineração, Escola SENAI Catalão, Departamento de Mineração, Catalão/GO, Brasil e aluno regular do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás, Catalão/GO, Brasil.

**\* email: [marcos.vinicius.agapito@gmail.com](mailto:marcos.vinicius.agapito@gmail.com)**

---

**Resumo:** O concreto é um material muito utilizado atualmente e em grandes escalas. É composto basicamente por agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), cimento Portland e água. A extração de areia de leito de rios para utilização na construção civil é na maior parte das vezes uma atividade que ocorre de forma ilegal, gerando impactos ambientais consideráveis tais como assoreamento do leito de rios, desmatamento e contaminação dos recursos hídricos com óleos e graxas. O processamento de rocha fosfática em Catalão/GO gera cerca de 230 t/h de rejeitos de magnetita, o que representa 30% da alimentação da planta. Este material é descartado na barragem de rejeitos. Assim, a substituição do agregado miúdo por magnetita na composição do concreto pode significar diminuição de impactos ambientais gerados pelo processamento de rocha fosfática e na extração de areia de leito de rios, além de gerar um possível incremento na resistência mecânica do concreto. Foram realizados ensaios de compressão axial de corpos de prova formulados com 5 e 10% de magnetita em substituição do agregado miúdo.

**Palavras-chave:** Dosagem; Magnetita; Resistência Mecânica

---

## **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 são essenciais neste momento. Logo, as empresas buscam ao máximo reduzir custos para estarem entre as mais competitivas e se manterem atuantes no mercado. Diante deste cenário, as empresas estão buscando o aproveitamento de materiais que até então eram descartados.

Considerando o setor de construção civil, há uma série de estudos que buscam encontrar materiais alternativos que substituam os componentes do concreto em sua formulação. Tal fato permitiria uma diminuição dos custos de produção e forneceria melhoras em certas características deste produto. Além disso, proporcionaria uma

redução dos impactos ambientais gerados pelo descarte destes materiais alternativos.

Em Catalão/GO o processamento de rocha fosfática é responsável pelo descarte de aproximadamente 230 t/h de magnetita em barragens de rejeito, material sem fins lucrativos neste processo (rejeito). Esta quantidade representa 30% da alimentação da planta. Seu descarte em barragens gera passivos ambientais consideráveis para a empresa devido a necessidade de monitoramento constante, mesmo após a desativação do empreendimento mineiro.

Assim, a utilização de magnetita como material alternativo na composição do concreto pode significar a diminuição dos passivos ambientais gerados pelo processamento de rocha fosfática, além de proporcionar uma possível renda extra com a comercialização de um co-produto. Considerando a produção de concreto, pode proporcionar ganhos importantes de resistência mecânica, fator fundamental em uma obra.

Segundo Rodrigues e Fucale (2014), o ramo de construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais de qualquer economia e a exploração de agregado miúdo cresceu de forma considerável ultimamente, trazendo consigo um aumento dos impactos ambientais. Logo, materiais alternativos como a magnetita, que buscam a substituição deste agregado, pode ser muito eficiente para diminuir a dependência deste insumo, que na maior parte dos casos, principalmente no sudeste goiano, é extraído de leitos de rios, gerando impactos ambientais como o assoreamento, desmatamento e contaminação dos recursos hídricos com óleos e graxas.

O problema deste estudo consiste em buscar alternativas para o rejeito magnético gerado pelo processamento de rocha fosfática na região de Catalão/GO. O objetivo consiste em reduzir impactos ambientais consideráveis causados por dois ramos da economia brasileira extremamente importantes (mineração e construção civil), além de influenciar na competitividade de empresas do setor mineral com a inserção de um co-produto em sua receita e aumentar consideravelmente as características de resistência mecânica de concretos.

O concreto simples é resultante da mistura de agregados miúdos (normalmente areia proveniente da extração em rios), agregados graúdos (brita), cimento Portland e água. Assim, a dosagem destes componentes de forma correta é extremamente importante e garante que as características finais necessárias ao concreto serão atingidas. Além disso, evita o desperdício de materiais que se tornam cada vez mais escassos e caros.

A dosagem pode ser representada pelo traço, que consiste na relação entre os componentes tomando como referência o cimento. Pode ser obtido com relação ao volume ou a massa. Existem vários métodos de dosagem que levam a obtenção de traços otimizados, que buscam a dosagem consciente dos materiais e a otimização das características finais do concreto. Especialmente neste trabalho foi utilizado o método de dosagem proposto pela Associação Brasileira

de Cimento Portland (ABCP), descrito de forma concisa por Assunção (2002).

Mendes (2014) menciona a importância da trabalhabilidade, uma característica do concreto no estado fresco. Consiste basicamente na facilidade de lançamento com ausência de segregação, podendo ser mensurada por meio do ensaio de slump test ou abatimento do tronco de cone. Assim, a trabalhabilidade é muito importante na produção de concreto e deve ser controlada, garantindo que as especificações de projeto sejam atingidas.

A resistência à compressão do concreto, ao contrário da trabalhabilidade, é uma característica do concreto no estado endurecido. Normalmente é utilizada como parâmetro para a avaliação da durabilidade do mesmo. Devido a simplicidade de sua execução é aceita universalmente como parâmetro para a avaliação da qualidade do concreto (MENDES, 2014).

Em qualquer projeto de construção civil a resistência mecânica é muito importante. Normalmente, durante a elaboração do projeto, utiliza-se uma margem de erro que evita possíveis falhas durante a execução da obra. Assim, a norma NBR 12655 (1996) estabelece que a resistência utilizada para a dosagem de concretos deve ser acrescida de um desvio padrão que dependerá das condições de preparo do mesmo. Portanto, têm-se uma resistência característica ( $F_{ck}$ ) (idealizada pelo projetista da obra) e uma resistência média do concreto à compressão ( $F_{cj}$ ), que considera a primeira e um desvio padrão. Tal fato garante que mesmo devido a influências no processo de produção do concreto, a resistência à compressão estará dentro da margem de erro e acima do idealizado pelo projetista.

Um fato interessante acontece com a resistência à compressão dos corpos de prova a medida que a maturidade aumenta. Normalmente são modelados para ruptura com 7, 14, 21 e 28 dias de cura, sendo este último período o ponto em que realmente será atingida a resistência para que foram projetados. Logo, a partir do momento em que são modelados, os corpos de prova ganham resistência mecânica de acordo com o aumento de sua maturidade. Este fato fica claro no Gráfico 1 apresentado abaixo.

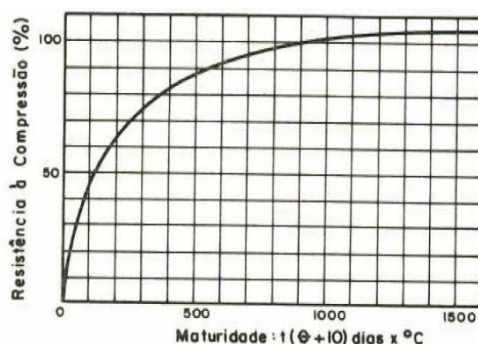


Gráfico 1 - Relação entre resistência à compressão (porcentagem da resistência aos 28 dias) e maturidade (Fonte: adaptado de Rodrigues, 1983).

Portanto, este trabalho se resume a substituição do agregado miúdo (areia) por magnetita na composição do concreto buscando ganhos de resistência mecânica. Esta substituição aconteceu de forma parcial. Foram elaborados corpos de prova com 5 e 10% de substituição. Amostras de referência também foram preparadas. A resistência a compressão projetada (característica) para as amostras foi de 10 MPa.

## **2. Materiais e métodos**

O peneiramento de magnetita se fez necessário devido a necessidade de colocar os dois materiais (areia e magnetita) com a mesma distribuição granulométrica, buscando manter todas as características fixas, modificando somente a natureza do material utilizado como agregado miúdo. Logo, o peneiramento foi realizado com uma série de malhas e posteriormente foi realizado uma composição da magnetita com a mesma distribuição granulométrica da areia utilizada para formulação de corpos de prova de referência.

O traço foi obtido por meio do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e permitiu a dosagem otimizada dos materiais para obter uma resistência final aos 28 dias de 10 MPa. Este último dado se refere a resistência característica do concreto à compressão (NBR 12655, 1996).

O módulo de finura do agregado miúdo é um dado importante e utilizado no cálculo do traço do concreto, sendo obtido com as malhas de peneiras da série normal de acordo com o descrito na NBR 7211 (2009). Além disso, as densidades dos materiais necessárias ao cálculo também foram obtidas por meio de picnometria.

Com o traço definido, todos os materiais foram dosados de forma minuciosa com o auxílio de uma balança de precisão e a modelagem dos corpos de prova iniciada segundo a NBR 5738 (2003).

No primeiro instante, foi necessária a realização de uma imprimação de eixo inclinado da betoneira, o que permitiria uma correta mistura dos materiais dosados sem perda dos mesmos pela adsorção na superfície interna do tambor. A betoneira de laboratório CSM (150 L) recebeu uma pequena quantidade de areia, cimento e água nas mesmas proporções definidas no traço. A mistura destes materiais atingiu toda a superfície interna do tambor devido sua inclinação em vários ângulos. Tal fato permite que o material utilizado para recobrir a superfície interna do tambor não seja proveniente dos materiais dosados que serão utilizados na modelagem dos corpos de prova e consequentemente cause uma redução do volume disponível.

Os materiais dosados foram então colocados na betoneira de forma parcial, procedendo-se o amassamento da mistura por cerca de aproximadamente 5 minutos após a adição de água. Eventualmente, tal procedimento era

paralisado e com o auxílio de uma colher de pedreiro o material grudado na superfície interna do tambor era removido e direcionado novamente a mistura.

Após a conclusão do amassamento fez-se necessário a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone para verificar se a trabalhabilidade da mistura atendia o que foi definido inicialmente ( $70 \pm 10$  mm), sendo realizado de acordo com o descrito na norma NM 67 (1996). Logo, foram utilizados neste ensaio um molde em forma de tronco de cone, uma base, um funil, uma concha e uma haste para proceder o adensamento do material, ambos previamente recobertos com uma fina camada de óleo vegetal para evitar a adsorção da mistura à superfície.

Com o tronco de cone posicionado sobre a base e devidamente apoiado com os pés a mistura proveniente do amassamento foi adicionada com uma concha, auxiliada pelo funil, em três camadas aproximadamente iguais, sendo cada uma socada com 25 golpes utilizando a haste. Finalizando-se este procedimento, a superfície do tronco de cone foi acertada e a fôrma retirada, sendo o abatimento da mistura medido utilizando-se uma régua milimetrada (Figura 1).



Figura 1 - Medida do abatimento do tronco de cone com o auxílio de uma régua milimetrada (Fonte: Autoria própria).

Quando o abatimento do tronco especificado inicialmente fosse atingido a modelagem dos corpos de prova era iniciada. No entanto, quando tal fato não se concretizasse era necessária sua adequação, sendo adicionada água em caso de resultados menores e cimento para aqueles que fossem maiores que o definido inicialmente.

Com o abatimento requerido atingido a modelagem dos corpos de prova foi iniciada. Logo, foram utilizadas fôrmas cilíndricas de 20 cm de altura por 10 cm de

diâmetro, também recobertas por uma fina camada de óleo vegetal. A mistura foi adicionada às fôrmas em duas camadas mais ou menos uniformes, cada uma socada com 12 golpes (NBR 5738, 2003). A superfície da fôrma foi acertada com o auxílio de uma colher de pedreiro (Figura 2).

A mistura resultante do amassamento permaneceu nas fôrmas por 24 horas. Após este período, foi desenformada, dando origem aos corpos de prova. Estes últimos permaneceram em processo de cura, agora submersos em água saturada em cal, até atingirem as idades de ruptura (7, 14 e 21 dias).

Além disso, após serem desenformados, os corpos de prova apresentaram uma superfície irregular em uma de suas bases, resultado do processo de segregação dos materiais. Tal fato teria influência considerável durante o momento de ruptura, pois a pressão poderia ser distribuída de forma irregular ao longo do corpo de prova, mascarando os resultados. Logo, uma etapa de faceamento foi realizada obtendo-se uma superfície lisa e regular.



Figura 2 – Corpos de prova modelados nas fôrmas cilíndricas com suas superfícies acertadas (Fonte: Autoria própria).

Attingidas as idades de cura dos corpos de prova, a ruptura foi realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica com leitor analógico de 45 toneladas seguindo o recomendado na norma NBR 5739 (1994) (Figura 3).





Figura 3 – Corpo de prova após ruptura em prensa hidráulica  
(Fonte: Autoria própria).

### 3. Resultados e discussões

a distribuição granulométrica da magnetita e da areia são apresentadas, respectivamente, pelos gráficos 2 e 3 abaixo. Nota-se que são diferentes, evidenciando a necessidade de separação da magnetita em várias malhas de peneiramento para uma posterior composição de acordo com a distribuição granulométrica da areia.

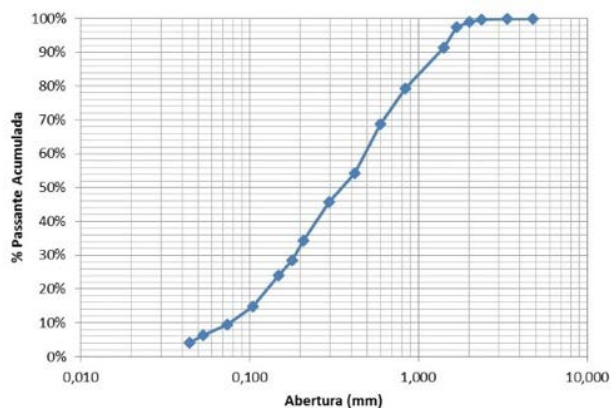


Gráfico 2 – Curva de distribuição granulométrica da magnetita.

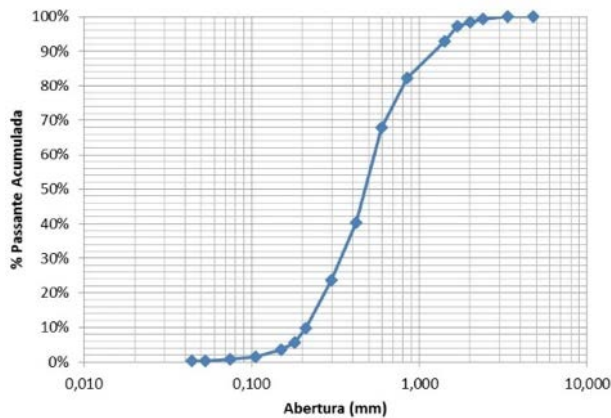


Gráfico 3 – Curva de distribuição granulométrica da areia.

Neste trabalho foi utilizado o cimento Portland CP II – Z – 32 da Ciplan que possui uma resistência aos 28 dias de 32 MPa e massa específica de 2,97 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica da areia, brita e magnetita obtida por picnometria são respectivamente 2,6, 2,8 e 4,3 g/cm<sup>3</sup>. O agregado graúdo utilizado foi uma brita 0 e o módulo de finura da areia ficou em 3,1. O traço final obtido para uma resistência característica de 10 MPa está apresentado no Quadro 1 juntamente com o consumo dos componentes.

COMPONENTES	CONSUMO
Cimento	333,33 (Kg/ m <sup>3</sup> )
Agregado Graúdo	757,5 (Kg/ m <sup>3</sup> )
Agregado Miúdo	1025,43 (Kg/ m <sup>3</sup> )
Água	225 (l/m <sup>3</sup> )
Traço	1 : 3,1 : 2,3 : 0,675

Quadro 1 – Consumo de componentes por m<sup>3</sup> e traço obtido.

O Quadro 2 apresenta os resultados de ruptura para os corpos de prova de referência e aqueles com substituição da areia por magnetita. O Quadro 3 apresenta a resistência característica (Fck), isto é, a resistência projetada inicialmente que aumenta de acordo com a maturidade dos corpos de prova.

Quadro 2 – Resultado dos ensaios de ruptura em MPa para diferentes porcentagens de substituição de areia por magnetita.

Dias de Cura	Porcentagem de Magnetita		
	0%	5%	10%
<b>7</b>	7,5	8,8	9,2
<b>14</b>	8,8	9,4	10
<b>21</b>	10,4	11,3	11,9

Dias de Cura	Resistência Característica ( $F_{ck}$ )
<b>7</b>	6,9
<b>14</b>	8,7
<b>21</b>	9,6
<b>28</b>	10

Quadro 3 – Resistência característica ( $F_{ck}$ ) em MPa parcial de acordo com a maturidade dos corpos de prova.

Ao analisar o Gráfico 4 apresentado abaixo nota-se um gradual acréscimo no valor da resistência à compressão dos corpos de prova com o aumento da maturidade, fato explicado pela figura 1 apresentada anteriormente. As amostras ilustram um aumento da resistência à compressão a medida que há um acréscimo na porcentagem de areia substituída por magnetita. Assim, a proposta inicial deste estudo se concretiza por meio dos dados apresentados, isto é, a substituição do agregado miúdo (areia) por magnetita na composição do concreto realmente proporciona ganhos de resistência mecânica interessantes. Além disso, todas as amostras apresentaram resistência à compressão acima da resistência característica ( $F_{ck}$ ). Não foram modeladas amostras para ruptura aos 28 dias. No entanto, analisando a tendência das curvas no gráfico, percebe-se que a resistência em ambas as amostras conseguiria superar a resistência característica de projeto (10 MPa) aos 28 dias de cura.

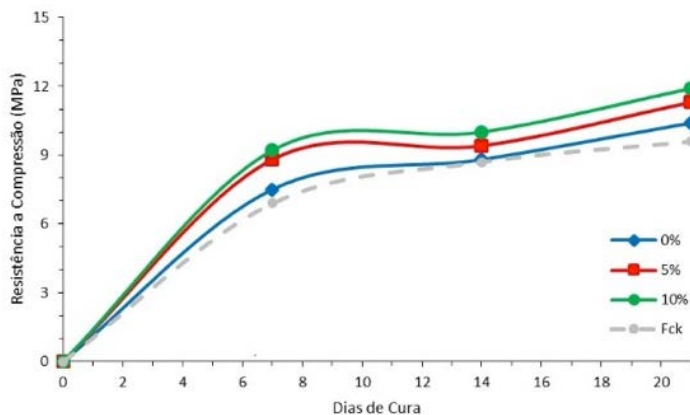


Gráfico 4 – Resultado dos ensaios de ruptura e referência da resistência característica (Fck) definida inicialmente.

## 4. Conclusões

de um modo geral, analisando os dados, a proposta inicial de substituição do agregado miúdo (areia) por magnetita na composição do concreto buscando ganhos de resistência mecânica foi satisfeita. No entanto, ainda se faz necessário vários outros testes no sentido de aumentar a confiabilidade dos dados, tanto no sentido da quantidade de amostras, como na porcentagem de magnetita em substituição da areia utilizada. Além disso, a elaboração de amostras para ruptura aos 28 dias de cura é importante, fato que não foi possível neste trabalho.

Portanto, em trabalhos futuros sobre o assunto será necessário a elaboração de uma quantidade maior de amostras, além de corpos de prova para ruptura com 28 dias. O aumento da proporção de substituição de areia por magnetita é outro ponto importante e que deverá ser realizado. Tal fato, permitirá entender como é o comportamento dos corpos de prova com o aumento da substituição e até que ponto é interessante.

O possível campo magnético causado em construções elaboradas com este tipo de concreto e a radiação devido a presença de elementos radioativos neste material (magnetita) também devem ser estudados. No entanto, são assuntos um tanto complexos que serão abordados em um nível mais avançado.

Assim, com estudos mais detalhados sobre o assunto, o projeto de substituição de areia por magnetita na composição do concreto pode ser tornar futuramente viável, proporcionando a produção de concretos com características de resistência mecânica interessantes, diminuição dos passivos ambientais gerados no processamento de rocha fosfática e impactos ambientais causados pela extração de areia de leitos de rios.

---

## CONCRETE – REPLACEMENT OF QUARTZ SAND BY MAGNETITE

**Abstract:** Concrete is a material widely used currently and in large scales. It is basically composed of fine aggregate (sand), coarse aggregate (gravel), Portland cement and water. The extraction of sand from river beds used to construction industry is in most cases an activity that occurs illegally, generating considerable environmental impacts such as siltation of river beds, deforestation and pollution of water resources with oils and greases. The processing of phosphate rock in Catalão/GO generates about 230 t/h of magnetite tailings, which represents 30% of the plant feed. This material is disposed in the tailings dam. Thus, replacing the fine aggregate of magnetite in composition of concrete can mean reduction of environmental impacts generated by the processing of phosphate rock and sand extraction from river beds, and generate a possible increase in the strength of concrete. Axial compression tests of specimens formulated with 5 and 10% magnetite were performed replacing the fine aggregate.

**Keywords:** Dosage; Magnetite; Mechanical Strength.

---

## Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **CONCRETO: Procedimento para Modelagem e Cura de Corpos-de-Prova**. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **CONCRETO: Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **AGREGADOS PARA CONCRETO: Especificação**. Rio de Janeiro, 2009, 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **CONCRETO: Preparo, Controle e Recebimento**. Rio de Janeiro, 1996, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 67: **DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE**. Rio de Janeiro, 1996, 11p.

ASSUNÇÃO, J. W.. **Curvas de Dosagem para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionados com Materiais da Região Noroeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002, 254p.

MENDES, M. V. A.. **Aproveitamento de Finos de Magnetita Gerados no Processamento de Rocha Fosfática. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas)** – Universidade Federal de Goiás, Catalão, Goiás, 2014, 103p.

RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALÉ, S.. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan./mar. 2014.

RODRIGUES, P. P. F.. **Parâmetros da Dosagem Racional do Concreto.** In: **34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento.** 1983. Anais.