

Concretos utilizando resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) como substituição parcial do cimento Portland

Daniela Evaniki Pedroso (Universidade Tuiuti do Paraná) danievaniki@hotmail.com
Cleber Luis Pedroso (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) cleber.ped@gmail.com
Jefferson Slomp Rodrigues Filho (Universidade Tuiuti do Paraná) jefferson88@gmail.com
Marco Presa (Universidade Tuiuti do Paraná) marquinhosqb@hotmail.com
Eliane Pereira de Lima (Universidade Tuiuti do Paraná) eliane.lima@utp.br

Resumo:

Este artigo propõe a utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) através da substituição parcial (10%, 15 e 20%) do cimento Portland na produção de concretos. Especificamente pela comparação das propriedades no estado fresco e endurecido de concretos fabricados com a substituição parcial do cimento Portland pelo RCMG que irá atuar como adição pozolânica. No estado fresco pode-se observar que quanto maior a quantidade de adição do RCMG menor é o abatimento do concreto. Também foi observado que a incorporação de adições RCMG tende a aumentar a coesão do concreto, porém essa propriedade pode ser apenas observada e não mensurada. No estado endurecido observou-se que quanto maior a quantidade de adição do RCMG maior foi a resistência à compressão axial simples dos concretos. Esse aumento na resistência não foi muito considerável, porém houve um grande ganho ambiental, visto que há uma diminuição nas emissões de CO₂ ao meio ambiente quando se substitui parte do cimento Portland por um resíduo industrial.

Palavras chave: Resíduo de corte de mármore e granito, concreto, resíduos industriais.

Concretes using marble and granite cutting residue (RCMG) as partial replacement of Portland cement

Abstract

This paper proposes the use of marble and granite cutting residue (RCMG) by partially replacing (10%, 15 and 20%) Portland cement in concrete production. Specifically by comparing the fresh and hardened properties of concretes made with the partial replacement of the Portland cement by the RCMG that will act as a pozzolanic addition. In the fresh state it can be observed that the higher the amount of addition of the RCMG, the lower the concrete abatement. It was also observed that the incorporation of RCMG additions tends to increase the cohesion of the concrete, but this property can only be observed and not measured. In the hardened state it was observed that the higher the amount of addition of the RCMG the greater the resistance to the simple axial compression of the concretes. This increase in resistance was not very significant, but there was a great environmental gain, since there is a decrease in CO₂ emissions to the environment when part of the Portland cement is replaced by an industrial waste.

Key-words: Marble and granite cutting waste, Concrete, Industrial waste.

1. Introdução

A carência dos recursos naturais, destinação e acondicionamento inadequado dos resíduos industriais e a degradação ambiental causada pela liberação do dióxido de carbono (CO₂) na produção do clínquer faz com que novas alternativas surjam, levando à adoção de práticas de redução, reutilização e reciclagem. A indústria da construção civil é um setor que consome grande volume dos recursos naturais e parece ser a mais apropriada para absorver os resíduos industriais, principalmente os gerados em seu setor.

A maior parte das emissões de CO₂ na confecção do concreto ocorre durante a produção do cimento. Cada tonelada de clínquer gera, em média, 600 kg de CO₂ (MALHOTRA e MEHTA, 1996). Segundo Mehta (2009), uma maneira de reduzir o consumo de clínquer é por meio da substituição do cimento Portland comum por outros materiais.

Este artigo propõe a utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) através da substituição parcial (10%, 15 e 20%) do cimento Portland na produção de concretos. Especificamente pela comparação das propriedades no estado fresco e endurecido de concretos fabricados com a substituição parcial do cimento Portland pelo RCMG que irá atuar como adição pozolânica.

O RCMG é um resíduo proveniente do corte, serragem e polimento de rochas ornamentais como mármore e granitos. Esse resíduo apresenta elevado teor de sílica (59,56%), alumina (16,46 %), óxidos de ferro (6,58 %) e óxido de cálcio (6,14%), sendo que o óxido de cálcio é proveniente da cal utilizada como lubrificante dos equipamentos (serras) e o ferro, da granalha utilizada como abrasivo (LIMA *et al.*, 2010).

O Brasil é considerado o quarto maior produtor de rochas ornamentais e esses materiais são muito empregados em edificações, principalmente revestimentos e pavimentações (GONÇALVES, 2000; NOBREGA *et al.*, 2015). A produção nacional de resíduo de corte e beneficiamento de mármore e granito gira em torno de 240.000 toneladas por ano (LOPES e FIGUEIREDO, 2006).

O processo de beneficiamento dessas rochas (corte, serragem e polimento) gera uma lama abrasiva, contendo grãos finos, que é drenada por um sistema de esgotamento, seguindo para tanques de decantação. A água é reutilizada e o material sólido é retirado dos tanques e depositado nos pátios das empresas, em terrenos clandestinos ou em caçambas para serem recolhidas (LOPES e FIGUEIREDO, 2006; NOBREGA *et al.*, 2015).

Porém, quando a lama do beneficiamento de mármore e granito é descartada de forma incorreta pode causar graves problemas ambientais, como a contaminação de lagos e mananciais, assoreamento de rios, e também doenças à população (LOPES e FIGUEIREDO, 2006; NOBREGA *et al.*, 2015).

O resíduo de beneficiamento das rochas ornamentais é classificado como Classe III – Inerte. Portanto, seu emprego na construção civil não causa risco ambiental e nem a saúde humana (LOPES e FIGUEIREDO, 2006).

Conhecer as características químicas do resíduo é fundamental para avaliação do potencial e desempenho da aplicação em que este será utilizado (GONÇALVES, 2003). O resíduo de corte de mármore e granito possui grande potencial para adição a matrizes cimentícias, pois apresenta grande estabilidade e resistência à abrasão. Sua composição química indica compatibilidade com as matrizes cimentícias, e sua forma granular com elevada finura o torna um material com bom potencial para utilização como adição mineral em concretos e argamassas (NOBREGA *et al.*, 2015).

Por definição, as pozolanas são substâncias formadas por sílica e alumina que, em presença de água, tem capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos de poder aglomerante, tais como silicatos e aluminatos de cálcio hidratado (FAIRBAIRN *et al.*, 2010). Logo, parece ser viável a utilização do resíduo de corte de mármore e granito como pozolana em concretos.

As pozolanas podem contribuir no ganho de resistência mecânica e na redução de água para a trabalhabilidade devido ao efeito físico das partículas na distribuição granulométrica do sistema (NITA e JOHN, 2007). São tidos como exemplos os pós finos de calcário, quartzo e resíduos de serragem de mármore e granito. Nesse contexto, deve-se considerar o benefício ambiental da utilização dos pós inertes em concretos e argamassas, quando esses resultam de resíduos ou subprodutos industriais (SALES e ALFERES FILHO, 2014).

Nesse sentido, cada vez mais as indústrias buscam por novos materiais que apresentem eficiência e ao mesmo tempo proporcionem um descarte e reaproveitamento sustentável (NOBREGA *et al.*, 2015). Além da tendência de empresas que incorporem princípios de preservação ambiental na tomada de decisões visando preservar sua imagem como indústria ambientalmente responsável (SALES e ALFERES FILHO, 2014).

2. Materiais e métodos

Nesta etapa são descritos os procedimentos adotados no presente artigo, com o intuito de desenvolver concretos com substituição parcial do cimento Portland por resíduo de corte de mármore e granito.

2.1 Caracterização dos materiais

Para a realização do estudo se obteve o resíduo de corte de mármore e granito em uma empresa da Região Metropolitana de Curitiba. O cimento utilizado foi o CP II-Z-32 que tem em sua composição, de 6 a 14 % de pozolana. Optou-se pela utilização de 100% de agregado miúdo e grão natural, sendo o agregado grão composto por brita 0 (pedrisco) e brita 1. Também para a confecção do concreto foi utilizado aditivo superplastificante.

2.2 Desenvolvimento de um traço piloto

O traço piloto foi desenvolvido pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). As misturas de concreto foram produzidas a partir de um traço mantido constante, em massa, de 1 : 1,67 : 0,95 : 1,74, de cimento, areia, brita 0 e brita 1. Dosaram-se os concretos a partir de uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa, com relação água/cimento igual a 0,45. Houve também o acréscimo de aditivo superplastificante, sendo a dosagem do mesmo de 2% em relação ao peso do cimento em quilos (Kg).

As substituições do resíduo de corte de mármore e granito pelo cimento Portland são apresentadas na Tabela 1:

Traço	Adição do resíduo de corte de mármore e granito (%)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (l)	RCMG (kg)	Aditivo superplastificante (ml)
1	0	10	14,5	7,8	26,1	4,9	0	20
2	10	9	14,5	7,8	26,1	4,9	1	20
3	15	8,5	14,5	7,8	26,1	4,9	1,5	20
4	20	8	14,5	7,8	26,1	4,9	2	20

Tabela 1 – Quantitativo de materiais para execução dos concretos

2.3 Preparo dos concretos, verificação dos abatimentos e moldagem dos corpos de prova

O concreto foi preparado numa betoneira de 400 litros, disponível no laboratório de materiais da Universidade da Tuiuti, conforme Figura 1:



Figura 1 – Betoneira de 400 litros

A sequência de colocação dos materiais se deu por 100% da brita, 50% da água, 100% do cimento e adição do resíduo de corte de mármore e granito, 100% areia e o restante da água com aditivo. Conforme observado na Figura 2, após o preparo do concreto, foi determinada a consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998).



Figura 2 – Verificação da consistência do concreto

Para verificação da consistência do concreto, o molde de tronco de cone foi limpo e umedecido com água e colocado sobre uma placa metálica, igualmente limpa e umedecida, em uma superfície plana. Em seguida o molde foi fixado pelos pés do operador, e preenchido com três camadas de concreto em volumes iguais. Cada camada foi adensada com 25 golpes da haste de socamento, distribuídos uniformemente. Após o adensamento, removeu-se o excesso de concreto com o auxílio de uma colher de pedreiro e fez-se a limpeza da placa metálica. O molde foi elevado pelas alças, levantando-o pela posição vertical, com velocidade constante, num

tempo de aproximadamente 8 segundos. O abatimento do tronco de cone é a distância da base superior do molde ao centro da base da amostra, medida através da régua metálica em mm, conforme apresentado na Figura 2.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram moldados, para cada tipo de traço utilizado na pesquisa, 02 corpos de prova, conforme observado na Figura 3, sendo rompidos aos 28 dias, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).



Figura 3 – Moldagem de dois corpos de prova para cada traço de concreto

Antes de proceder à moldagem dos corpos de prova, foi passado uma fina camada de óleo mineral internamente ao corpo de prova para facilitar a desmoldagem. Foi utilizado corpos de prova 10x20cm, logo efetuou-se duas camadas de concreto em volumes iguais e com a haste foi aplicado 12 golpes para o adensamento do concreto. Os golpes foram distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde. Tomou-se o cuidado para que cada uma das camadas fosse adensada em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20 mm na camada anterior. A última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que ao ser adensada complete todo o volume do molde e em seguida procedeu-se o rasamento com uma régua metálica, eliminando o material em excesso. Os corpos de prova foram identificados com uma etiqueta distinguindo o traço e a data de moldagem, conforme observado na Figura 3.

2.4 Cura úmida por 28 dias

A cura inicial dos corpos de prova ocorreram durante 24 horas, os mesmos foram armazenados em local protegido de intempéries. Após a cura inicial, ou seja após o período de 24 horas da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados e imersos durante o tempo de cura, nesse caso 28 dias, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015).



Figura 4 – Cura úmida dos corpos de prova de concreto

A cura úmida consiste em manter a superfície do concreto úmida por meio de aplicação de água, para isso os corpos de prova ficaram num tanque de imersão em uma solução de hidróxido de cálcio a uma temperatura de 23°C, conforme observado na Figura 4.

2.5 Avaliação da Resistência à Compressão

O ensaio de resistência compressão axial simples foi utilizado para aferir a resistência mecânica à compressão do concreto moldado. O ensaio de compressão axial simples foi realizado de acordo com a sua norma NBR 5739 (ABNT, 2015).

A resistência à compressão axial simples (F_c), em MPa, foi calculada conforme equação abaixo:

$$F_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Em que F é a força máxima alcançada, em newtons e D é o diâmetro do corpo de prova em milímetros.

3. Resultados

No estado fresco foi avaliada a influência da adição do RCMG na consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). A consistência do concreto define a capacidade e facilidade com que os concretos possam ser lançados e adensados. Os resultados do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) estão apresentados na Tabela 2.

Traço	Adição do resíduo de corte de mármore e granito (%)	<i>Slump Test</i> (mm) NBR NM 67
1	0	30
2	10	30
3	15	25
4	20	20

Tabela 2 – Consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) dos concretos

Conforme observado na Tabela 2, quanto maior a quantidade de adição do RCMG menor é o abatimento do concreto. O que se pode também observar em laboratório foi que a incorporação de adições RCMG tende a aumentar a coesão do concreto, porém essa propriedade pode ser apenas observada e não mensurada. A coesão do concreto é capacidade do concreto em manter sua homogeneidade durante o processo de adensamento.

No estado endurecido foi definido como parâmetro para avaliação das propriedades mecânicas a resistência à compressão axial simples de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2015). Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial simples estão apresentados na Tabela 3.

Traço	Adição do resíduo de corte de mármore e granito (%)	Resistencia à compressão axial simples (MPa) NBR5739
1	0	31,4
2	10	31,8
3	15	32,1
4	20	32,7

Tabela 3 – Resistência à compressão axial simples dos concretos

Conforme observado na Tabela 3, quanto maior a quantidade de adição do RCMG maior foi a resistência à compressão axial simples dos concretos. Esse aumento na resistência não foi muito considerável, porém pode-se afirmar que há um grande ganho ambiental, visto que há uma diminuição nas emissões de CO₂ ao meio ambiente quando se substitui parte do cimento Portland por um resíduo industrial.

Na Figura 5, pode se observar a proporcionalidade entre produção de cimento Portland e suas emissões de CO₂, ou seja quanto maior a percentagem aceitável da utilização de um resíduos industrial, menor será a emissão de CO₂.

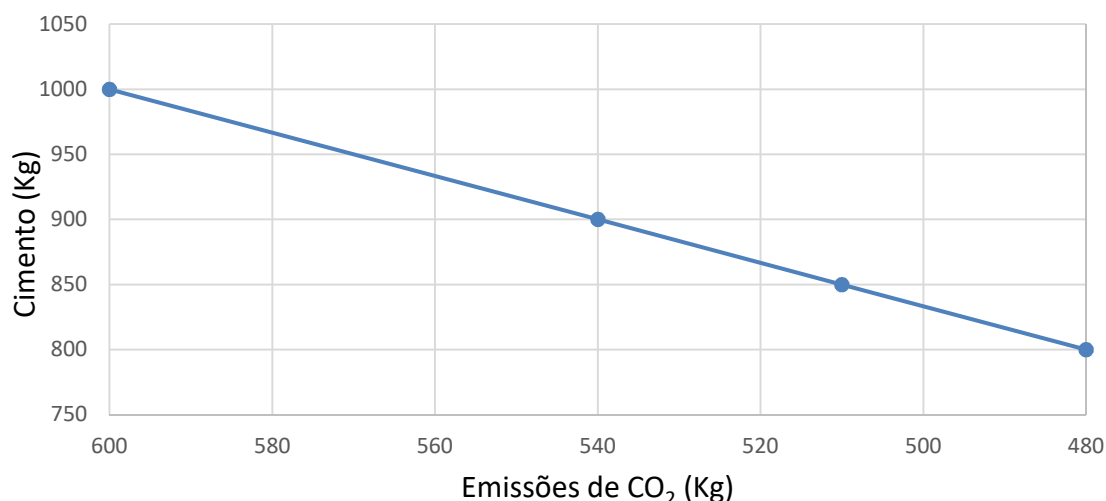


Figura 5 – Relação produção de cimento Portland X Emissões de CO₂

Pode-se observar na Figura 5 que com a adição de 20% de RCMG há uma redução na emissão de CO₂ de 600Kg para 480Kg devido a diminuição no uso de cimento.

4. Conclusão

A utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) através da substituição parcial do cimento Portland na produção de concretos pode ser considerada positiva, pode-se observar que no estado fresco quanto maior a quantidade de adição do RCMG menor é o abatimento do concreto. O que também pode ser observado em laboratório foi que a incorporação de adições RCMG tende a aumentar a coesão do concreto, porém essa propriedade pode ser apenas observada e não mensurada.

No estado endurecido a resistência à compressão axial simples para o concreto de traço piloto foi de 31,4MPa, quando houve substituição de 10% do cimento Portland pelo RCMG a resistência foi de 31,8MPa, para 15% de substituição 32,1MPa e para 20% de substituição 32,7MPa. Pode-se observar que não houve grande ganho de resistência, porém há um grande ganho ambiental, visto que há uma diminuição nas emissões de CO₂ ao meio ambiente quando se substitui parte do cimento Portland por um resíduo industrial.

O maior beneficiado com a aplicação dos resultados obtidos neste artigo é a preservação do meio ambiente, comprovando que há a possibilidade de utilização do RCMG transformando a máxima percentagem de resíduos em insumos que voltem para cadeia produtiva, prevenindo uma possível contaminação ao meio ambiente e, principalmente, minimizando a extração de recursos naturais devido à utilização destes resíduos.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1998.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738: Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. 2015.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 2007.

FAIRBAIRN, E. M. R. *et al.* Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of environmental management*, v. 91, n. 9, p. 1864-1871, 2010. ISSN 0301-4797.

GONÇALVES, J. P. *Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos*. 2000.

LIMA, R. C. O.; NEVES, G. A.; CARVALHO, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 5, p. 24-31, 2010.

LOPES, J. L.; FIGUEIREDO, P. *Estudo do Potencial de Utilização do Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito (RBMG), como Filler, na Produção de Concretos*. Goiânia: Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da UFG, 2006.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. *Pozzolan and Cementitious Materials*. Advances in Concrete Technology. Vol 1, CANEMET. Canadá, 1996.

MEHTA; MONTEIRO, P. *Concreto Microestrutura, Propriedades e Matérias* - 2ª Ed. Editora Ibracon. 2008.

NITA, C.; JOHN, V. M. *Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, p. 8-9, 2007.



VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil. 06 a 08 de dezembro de 2017

NOBREGA, A. K. C. et al. *Caracterização do resíduo de pó de pedra ornamental adicionado à argamassa em substituição parcial ao cimento.* Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 13172-13179, 2015. ISSN 2359-1757.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. D. S. *Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto.* 2014. ISSN 1678-8621.