



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ANÁLISE ECONÔMICA E TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE REJEITOS INDUSTRIAIS DA EXTRAÇÃO DE PEDRA PRECIOSA

William Widmar Cadore

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

william@uri.edu.br

Fernanda De Marco

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

fernanda_demarco@hotmail.com

Maiara Giacomini

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

maiaragiacomini@hotmail.com

Tuani Zat

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

tuani zat@hotmail.com

Mariana Bandiera

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.

marianabandiera@hotmail.com

Resumo. A grande quantidade de resíduos sólidos produzidos no planeta vem sendo analisado nos últimos anos. Nesse contexto, a pesquisa propõe a utilização de rejeitos industriais oriundos da extração de pedra ametista na região do Médio Alto Uruguai. E, tem como objetivo analisar a viabilidade econômica e técnica da utilização desses rejeitos como substituição total dos agregados para a produção de artefatos de concreto. Quanto as perspectivas econômicas, foram levantados os insumos de blocos produzidos no laboratório e comparados com os custos das peças fornecidas no mercado local. Foram moldados corpos de provas de 5x10 em misturas de referência e com substituição dos agregados. Verificou-se a evolução da resistência a compressão após 3, 7 e 28 dias. Os resultados mostraram um consumo

menor de cimento na argamassa utilizando o rejeito, o valor por metro cúbico da argamassa se torna aproximadamente 15% mais econômica do que a mistura com a areia natural.

Palavras-chave: Concreto. Rejeitos. Análise econômica.

1. INTRODUÇÃO

As NBR 15115 (2004) [1] e NBR 15116 (2004) [2] estabelecem procedimentos para a utilização de resíduos sólidos da construção civil em pavimentação, preparo de concreto sem função estrutural e execução de camadas de pavimentação, além disso, existem estudos que apresentam vários outros materiais que podem ser reciclados e utilizados substituindo totalmente ou

parcialmente os agregados naturais na fabricação do concreto visando uma aplicação conveniente a esses resíduos (CAPANEMA et al., 2014; CAMPOS; PAULON, 2015 [3]).

Em vista da existência de jazidas de pedra ametista na região do Alto Uruguai e da quantidade de resíduos provenientes da sua extração que vem se acumulando com o passar dos anos e que até então eram dispostos em encostas de morros e saídas das furnas, optou-se por estudar a sua possível utilização na produção de artefatos de concreto.

Nesse contexto, a utilização inteligente de rejeitos surge como uma forma de reduzir custos e proporcionar benefícios significativos ao meio ambiente, não só por deixar de dispor resíduos inertes na natureza como por reduzir a crescente retirada de agregados naturais.

2. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Agregados artificiais

Os agregados para construção civil são os materiais mais consumidos no mundo, da mesma forma com que, na produção de concretos e argamassas, eles ocupam cerca de 75% do volume da mistura. São materiais granulares, com forma e volume indefinidos (LA SERNA; REZENDE, 2009 [4]).

Na produção dos protótipos propostos para este trabalho foi utilizado um material de origem industrial oriundo do município de Frederico Westphalen, ensaiado na forma em que se encontra depois de britado, com partículas de tamanhos variados e principalmente, bastante material fino.

2.2 Artefatos de concreto e cimento Portland

Blocos intertravados são peças pré-moldadas de concreto utilizadas para pavimentação que, quando instalados de forma correta, são capazes de resistir a movimentações, afundamento ou quebra

(COSTA; GUMIERI; BRANDÃO, 2014[5]).

O cimento utilizado para a produção dos blocos de concreto geralmente é de alta resistência inicial (CPV-ARI), o que proporciona ao concreto maior rendimento, pois esse cimento possui alta reatividade em baixas idades devido ao grau de moagem a que é submetido (BRAVO, 2014 [6]).

2.3 Avaliação econômica e sustentável

A preocupação da sociedade com a preservação do meio ambiente vem se destacando a cada dia, e essa inquietação se dá também pelas indústrias geradoras de resíduos, as quais vêm aplicando os conceitos de sustentabilidade como forma de reduzir os impactos ambientais provocados, mas também visando diminuir os custos de produção. Um desses conceitos utilizados para gerenciamento de resíduos é o conceito dos 3 R's que significam "Reduzir, Reciclar e Reutilizar" e compreendem tanto a área econômica, quanto a ambiental e social (STEPHANOU, 2013[7]).

3. RESULTADOS

Os resultados das resistências obtidas no ensaio de compressão dos corpos-de-prova utilizando 100% de areia natural e o ensaio utilizando 50% pó pedra ametista e 50% areia são apresentados na Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Resistências corpos-de-prova utilizando 100% areia natural.

| Idade | 3 | | | 7 | | | 28 | | |
|--------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|
| a/c | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Fc MPa | 9,5 | 8,2 | 7,3 | 11,5 | 14,6 | 8,3 | 14,3 | 12,3 | 9,2 |

Através da análise da compressão, observou-se que os valores ficaram abaixo das amostras de referência. Esse fato ocorre pelo alto teor de material fino introduzido na produção da argamassa.

Tabela 2. Resistências corpos-de-prova 50% pó pedra ametista e 50% areia industrial.

| Idade | 3 | | | 7 | | | 28 | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| a/c | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| f _c MPa | 7,7 | 6,8 | 4,6 | 9,3 | 5,8 | 4,8 | 15,7 | 9,6 | 8,2 |

A comparação entre as resistências alcançadas pelas misturas após 28 dias de cura tem uma uniformidade maior nos resultados para a argamassa utilizando areia natural, enquanto que a argamassa produzida com a mistura do pó teve um resultado maior para a relação a/c de 0,4, sendo superior à de argamassa com areia natural, porém as relações a/c de 0,5 e 0,6 mostraram resultados mais distantes dos quase 16 MPa alcançados pela relação 0,4.

Optou-se por igualar as resistências para os dois tipos de argamassas sugeridas inicialmente. Para tanto, utilizou-se as equações obtidas pela curva de Abrams e demonstradas na Tabela 3, o qual apresenta o f_{ck} dos corpos-de-prova produzidos aos 28 dias de idade e calculou-se uma nova relação a/c que iguala as resistências dos traços de R50 e R100 para 10 MPa.

Tabela 3. Igualdade de resistência.

| Traço | a/c | f _{c28} (MPa) | Equação da regressão | a/c |
|-------|-----|------------------------|-----------------------------|-------|
| R50 | 0,4 | 15,7 | $y = 53,785e^{-3,217x}$ | 0,523 |
| | 0,5 | 9,63 | | |
| | 0,6 | 8,25 | | |
| R100 | 0,4 | 14,3 | $y = 34,746e^{2,165x0,523}$ | 0,575 |
| | 0,5 | 12,3 | | |
| | 0,6 | 9,28 | | |

A partir dos dados de cada um dos insumos utilizados e as relações a/c que foram trabalhadas é possível fazer o cálculo do consumo de cimento em cada mistura, apresentado na Tabela 4.

O consumo de cimento para a mistura com a substituição é cerca de 17% mais baixa para as três relações a/c. Em relação ao custo por m² dos dois traços propostos, a mistura R50 mostra uma economia de 14% comparada com a mistura produzida com os agregados naturais. Em igualdade de

resistência de 10 MPa, um novo consumo de cimento foi obtido, apontados na Tabela 5.

Tabela 4. Análise de consumo e custo para os traços propostos inicialmente.

| Traço | a/c | f _{c28} MPa | Δf _c (%) | C _c kg/m ³ | ΔC _c (%) | R\$/m ³ | ΔR\$/m ³ |
|-------|-----|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| R50 | 0,4 | 15,7 | - | 284,15 | - | 285,02 | - |
| | 0,5 | 9,63 | 38,66 | 276,27 | 2,78 | 275,83 | 3,22 |
| | 0,6 | 8,25 | 47,45 | 268,81 | 5,40 | 267,23 | 6,24 |
| R100 | 0,4 | 14,3 | - | 346,53 | - | 335,14 | - |
| | 0,5 | 12,3 | 13,99 | 334,92 | 3,35 | 324,11 | 3,29 |
| | 0,6 | 9,28 | 35,10 | 324,07 | 6,48 | 313,79 | 6,37 |

Tabela 5. Análise de consumo e custo para os traços em igualdade de resistência.

| Traço | a/c | C _c (kg/m ³) | ΔC _c (%) | R\$/m ³ | ΔR\$/m ³ (%) |
|-------|-------|-------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| R100 | 0,523 | 292,63 | - | 246,22 | - |
| R50 | 0,575 | 326,71 | -11,65 | 291,08 | -18,22 |

O consumo de cimento para o traço utilizando o pó da pedra ametista e a areia industrializada é 11,65% menor, conseqüentemente, o custo por metro quadrado também é menor para a mistura R50, com diferença de valores de mais de 18%.

Em relação a análise econômica dos protótipos, observa-se na Tabela 6 os efeitos da incorporação de resíduos sólidos.

Tabela 6. Análise econômica dos protótipos.

| Traço | Tipo | R\$ / m ³ | Volume/ unid. (m ³) | \$/unid. | R\$/milheiro |
|-------|--------------------|----------------------|---------------------------------|----------|--------------|
| R100 | Piso Intertravados | 291,08 | 0,0012 | 0,34 | 349,29 |
| | Bloco vazado | 291,08 | 0,00723 | 2,10 | 2107,13 |
| R50 | Piso Intertravados | 246,22 | 0,0012 | 0,29 | 295,46 |
| | Bloco vazado | 246,22 | 0,00723 | 1,78 | 1782,39 |

Percebe-se uma grande economia nos protótipos fabricados a partir dos agregados artificiais. Entre os blocos para piso intertravados, a cada mil unidades economizam-se cerca de R\$53,83 ou então 15,4%, enquanto que para os blocos

vazados, a economia é ainda maior, mostrando mais de R\$324,74 de diferença entre milheiros dos dois traços. A Tabela 7 indica a comparação entre duas empresas.

Tabela 7. Comparação entre protótipos e produtos comerciais.

| Traço | Tipo | Protótipos pesquisa | Empresa A | Empresa B |
|-------|--------------------|---------------------|-----------|-----------|
| | | R\$/unid | R\$/unid | R\$/unid |
| R50 | Piso Intertravados | 0,34 | 0,92 | 0,574 |
| | Bloco vazado | 2,10 | 3,00 | 2,16 |
| R100 | Piso Intertravados | 0,29 | - | - |
| | Bloco vazado | 1,78 | - | - |

Os resultados como um todo, promoveram uma investigação profunda sobre que forma podemos desfrutar de ganhos econômicos e também ambientais aproveitando resíduos sólidos para a produção de artefatos de concreto. Os resultados obtidos nos traços com relações a/c idênticas, quando comparados entre si, apresentaram uma pequena diferença, evidenciando que as características de ambos os materiais possuem uma semelhança muito grande quando confrontados pela resistência de cada mistura. Em relação a produção de blocos, os resultados mostraram que, além de um consumo menor de cimento quando comparado ao consumo na fabricação destas peças com argamassa utilizando o agregado natural, o valor por metro cúbico da argamassa se torna mais econômica.

4. REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004.

[3] CAPANEMA, D. C. O. et al. Estudo do uso de rejeitos como agregados para o concreto. Percurso Acadêmico. Belo Horizonte, v. 4, n. 7, p.135-144, jan./jun. 2014.

[4] LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. Agregados para construção civil. São Paulo, 2009.

[5] COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDAO, P. R. G. Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed. Rev. IBRACON Estrut. Mater. São Paulo, v. 7, n.2, p. 228-259, abr. 2014.

[6] BRAVO, R. S. Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim. 2014, 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. 2014.

[7] STEPHANOU, J. Gestão de resíduos sólidos: um modelo integrado que gera benefícios econômicos, sociais e ambientais. Sustentabilidade: Resultados de Pesquisas do PPGA/UFRGS. Porto Alegre, abr. 2016.