

# **ANÁLISE E PRODUÇÃO DE ARTEFATOS ORIUNDOS DE CONCRETOS COM RESÍDUOS PARA APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS**

Marco de Oliveira Vargas Francisco<sup>1</sup>

Ricardo de Freitas Cabral<sup>2</sup>

## **Resumo**

Atualmente, o meio ambiente e a sociedade vem sendo afetado devido a grande quantidade de resíduos sólidos oriundos da construção civil. Isto ocorre pelo fato de descartes inadequados, que provocam o assoreamento dos rios e também reduzem a vida útil dos aterros sanitários. Por outro lado, esses resíduos podem promover o incentivo da indústria de peças pré-moldadas de concreto, a fim de abranger aos aspectos ambientais e econômicos de forma sustentável. Esta pesquisa teve como objetivo principal, o de analisar o comportamento da areia industrial na composição do concreto sem características estruturais. A metodologia desta pesquisa consistiu da mistura em betoneira do traço 1:2:3 em volume, de cimento, brita e areia, respectivamente. A areia industrial foi substituída nos percentuais de 25,50,75 e 100%, em volume. As caracterizações realizadas foram os ensaios de resistência à compressão axial e o Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O produto com 50% de agregado fino reciclado no traço apresentou o valor de resistência à compressão de 21,8 MPa, e o traço matriz foi de 23,3 MPa. Sendo assim, pode-se afirmar que o percentual de adição de areia industrial no compósito de concreto foi pertinente para o seu uso não estrutural, com a substituição de 50% do agregado.

**Palavras-chave:** Areia industrial. Resistência à compressão. Britagem. MEV.

## **ANALYSIS AND PRODUCTION OF ARTIFACTS CONTAINED WITH RESIDUES FOR NON-STRUCTURAL APPLICATIONS**

### **Abstract**

Nowadays, the environment and society have been affected due to the large amount of solid waste coming from civil construction. This is due to inadequate disposal, which causes silting of rivers and also reduces the useful life of landfills. On the other hand, such waste can promote the industry's incentive for precast concrete parts in order to embrace environmental and economic aspects in a sustainable way. The main objective of this research was to analyze the behavior of industrial sand in concrete composition without structural characteristics. The methodology of this

---

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia de Materiais pelo UniFOA . Docente no UGB/FERP.

<sup>2</sup>Físico, Doutor em Ciência dos Materiais pelo IME. Docente no UniFOA e UGB/FERP.

research consisted of the mixture in cement mixer of the trace 1: 2: 3 in volume, of cement, gravel and sand, respectively. The industrial sand was replaced in percentages of 25.50, 75 and 100% by volume. The characterizations carried out were axial compression strength tests and Scanning Electron Microscopy (SEM). The product with 50% recycled fine aggregate showed the compressive strength value of 21.8 MPa, and the matrix trace was 23.3 MPa. Thus, it can be affirmed that the percentage of addition of industrial sand in the concrete composite was pertinent for its non-structural use, with the replacement of 50% of the aggregate.

**Keywords:** Industrial sand. Compressive strength. Crushing. MEV.

## Introdução

A construção Civil é um grande gerador de resíduo na sociedade, e sua responsabilidade chega a gerar 40% da utilização de produtos naturais obtidos do planeta (TIECHER, 2004). Entre os resíduos gerados, os resíduos de concreto são aqueles que possuem a maior possibilidade de reciclagem, devido ao fato de apresentar menor diversidade quanto as suas características. A utilização do material reciclado proveniente de peças de concreto descartadas para a composição de novos compósitos de concretos reciclados contribuirá para preservar os recursos naturais.

Baseando-se no conceito de autossustentável, a indústria da construção apresenta as condições e métodos de pesquisa para a transformação dos resíduos em materiais de construção, no conceito técnico menos poluidor e, viavelmente econômico (LUCAS, 2008, DENNIS, 2008).

A variação dos agregados reciclados está relacionada com a sua origem, sendo os obtidos através de demolição e relacionados com obras civis, são bastante heterogêneas o que cria uma dificuldade a sua triagem e classificação inviabilizando em alguns casos a sua reciclagem (BUTTLER, 2003, 2007).

Na Holanda e no Japão, são aplicadas regras no contexto da sustentabilidade para a produção de produtos reciclados, isto é, dos resíduos deixados pela construção de obras de pequena, média e grande porte nesses países. Além disso, a falta de matéria prima e a sobrecarga dos aterros sanitários e área de deposição desses resíduos estão cada vez mais lotados, tendo assim a iniciativa e prioridade de reciclar esses materiais (ARAGÃO, 2007).

No Brasil, a produção de entulho é da ordem de 0,55 t por habitante durante o período de um ano. A cidade que mais gera esse tipo de material é São Paulo, onde o índice fica em 0,5 t por habitante e recicla apenas 10% desse total (De PAULA, 2010).

Segundo Butler (2003) os resíduos de concreto apresentam um grande potencial de reciclagem por possuírem em sua maioria quantidades significantes de partículas de cimento sem água, em seus ensaios obteve um compósito com propriedades semelhantes a concretos dosados com agregados naturais.

O objetivo desta pesquisa foi o de produzir e estudar a elaboração de um compósito com a utilização de resíduo de britagem em pedra, onde suas propriedades de resistência sejam equilibradas para sua aplicação em concreto não estrutural.

## **Materiais e Métodos**

Inicialmente as misturas de concreto foram homogeneizadas na betoneira, para cada traço com e sem adição de areia industrial, na relação de 1:2:3, cimento, brita e areia, respectivamente. Fez-se periodicamente o teste de *slump*, até se obter a valor de abatimento programado. O concreto foi depois, envazado nos moldes obedecendo-se ao procedimento de compactação. Neste trabalho, preparou-se as composições de controle, sem adição de areia industrial e com 25, 50 e 100% de areia industrial.

As caracterizações realizadas com os corpos de prova (CPs) foram de resistência à compressão e de MEV.

Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizado a norma técnica NBR 5738 (ABNT, 2008), onde os corpos-de-prova cilíndricos foram moldados nas dimensões de 100 x 200 mm, na proporção de três para cada dosagem e idade. O ensaio foi executado na prensa da EMIC modelo T1000, que possui máxima capacidade de 100 MPa, com taxa de carregamento de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s, constante durante o ensaio. Os resultados de resistência à compressão foram calculados por meio da Equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Onde:

$f_c$  é a resistência à compressão, em MPa;

F é a força expressa em N;

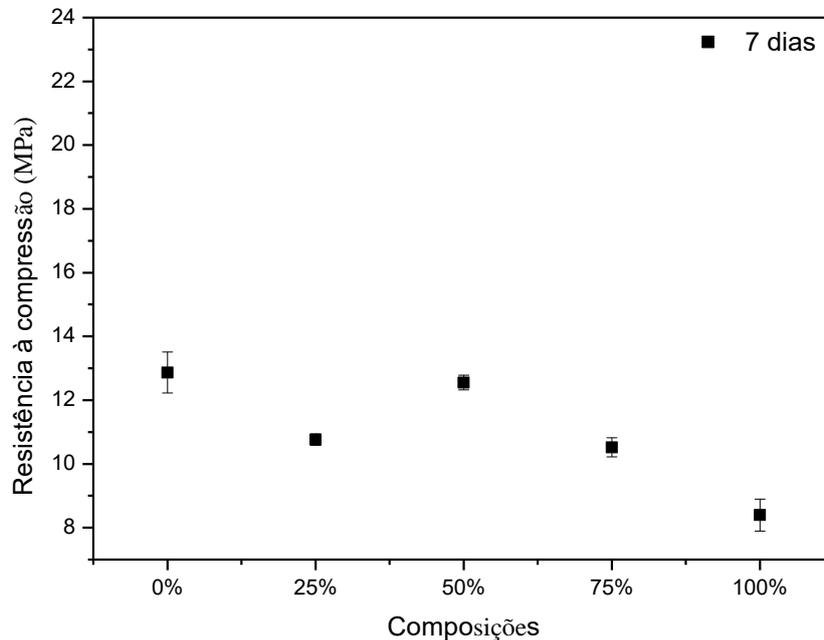
D é o diâmetro do corpo-de-prova, em mm.

Para as análises por MEV foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura da Hitachi, modelo TM3000, onde o seu detector usado foi o de elétrons secundários.

## Resultados e Discussões

Nos resultados apresentados na Figura 1, observa-se a redução da resistência à compressão do concreto nas proporções de 25 % com uma queda de 2,104 MPa de média em comparação com o concreto sem adição do agregado reciclado de 0%, o que está de acordo com a pesquisa de Lucas (2008). Na adição de 50% de agregado reciclado a diferença diminuiu significativamente, sendo o seu resultado mais satisfatório com uma diferença de 0,314 MPa, em relação com o concreto sem adição de agregado reciclado. O resultado da mistura com 75% de agregado reciclado tem uma grande proximidade com a mistura feita com a proporção de 25%, sendo a diferença de 2,347 MPa para a proporção do concreto, sem adição de agregado reciclado. A mistura com 100% de agregado reciclado teve uma queda em média de 4,474 MPa em comparação ao produto sem adição de reciclado. Na análise feita do desvio padrão os resultados de melhor desempenho foram em concretos com adição de 25% de material agregado onde o desvio foi de 0,179 sendo que, o concreto que apresentou melhor resultado em comparação a amostra sem adição de agregado reciclado foi o concreto com adição de 50%, onde o seu desvio padrão foi em 0,230.

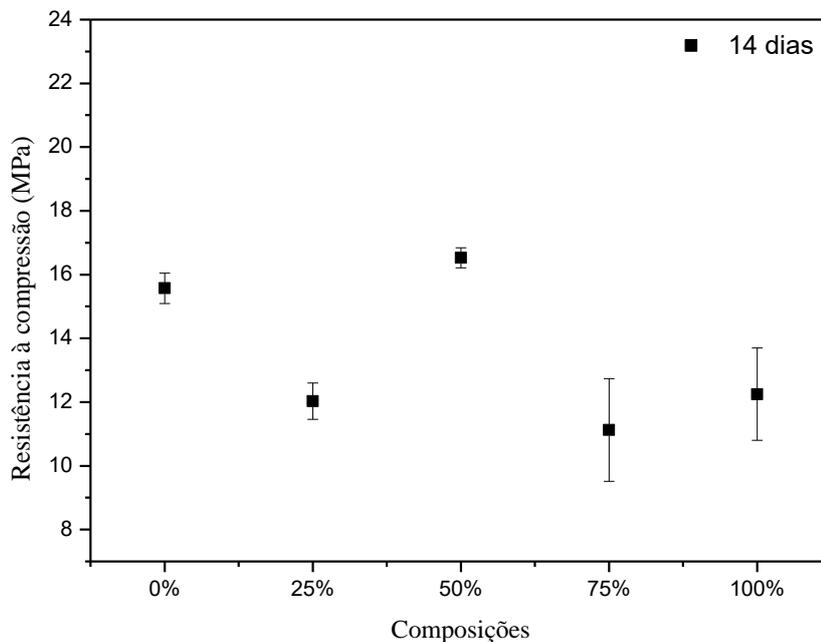
Figura 1. Resultados de resistência à compressão, de sete dias, das amostras de 0, 25, 50, 75 e 100% de areia industrial no concreto.



Fonte: Pesquisa do Autor.

A Figura 2 apresenta os valores de resistência à compressão, onde se observa a redução da resistência do concreto nas proporções de 25 % com uma queda de 3,54 MPa de média em comparação com o concreto sem adição do agregado reciclado. Por outro lado, na mistura de 50% de material reciclado foi obtido uma diferença, isto é, um ganho de resistência de 0,957 MPa, em relação com o concreto sem adição de agregado reciclado. O resultado da mistura com 75% de agregado reciclado teve uma grande proximidade com a mistura feita com a proporção de 25%, sendo a diferença de 0,907 MPa para a proporção do concreto sem adição de agregado reciclado. A mistura com 100% de agregado reciclado teve uma queda com média de 3,323 MPa, em comparação a mistura sem material reciclado. Na análise feita do desvio padrão os resultados de melhor desempenho foram em concretos com adição de 50% de material agregado, onde o desvio foi de 0,316 e sua resistência de 16,527 MPa (De PAULA, 2009, NETO, 2009).

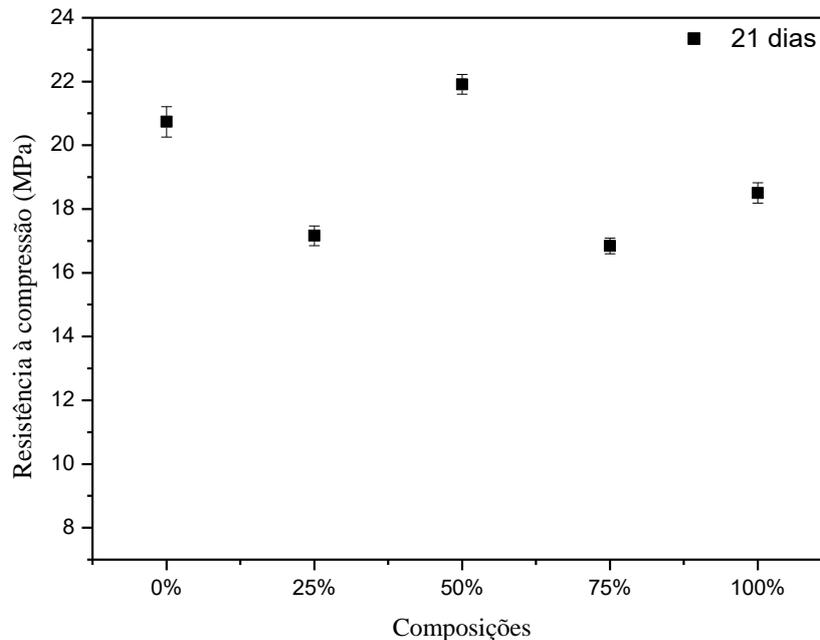
Figura 2. Valores de resistência à compressão, 14 dias, das amostras de 0, 25, 50, 75 e 100% de areia industrial no concreto.



Fonte: Pesquisa do Autor.

Os valores mostrados na Figura 3 denotam que houve uma redução da resistência à compressão do concreto nas proporções de 25 %, com uma queda de 3,577 MPa de média, em comparação com o concreto sem adição do agregado reciclado. Porém, nas composições com 50% de agregado reciclado tem-se um aumento de resistência, onde o seu resultado mais satisfatório apresentou uma diferença de 1,176 MPa, em relação ao concreto sem adição de agregado reciclado. O resultado da mistura com 75% de agregado reciclado teve uma perda de resistência de 3,897 MPa, em relação ao produto sem reciclado. A mistura com 100% de agregado reciclado teve uma queda em média de 2,234 MPa, em comparação ao agregado sem adição de material reciclado (ARAGÃO, 2007). Na análise feita do desvio padrão os resultados de melhor desempenho foram em concretos com adição de 75% de material reciclado, onde o desvio foi de 0,24 sendo que, o concreto que apresentou melhor resultado em comparação a amostra sem adição de material reciclado foi com adição de 50%, onde o seu desvio padrão foi de 0,31.

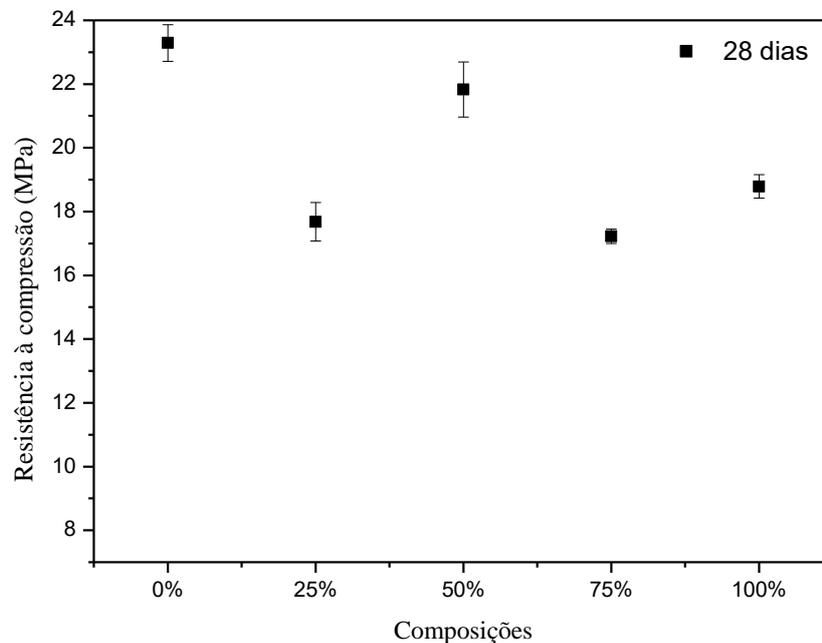
Figura 3. Resultados de resistência à compressão, de 21 dias, das amostras de 0, 25, 50, 75 e 100% de areia industrial no concreto.



Fonte: Pesquisa do Autor.

Nos resultados apresentados na Figura 4, observa-se a redução da resistência à compressão do concreto nas proporções de 25 % com uma queda de 5,61 MPa, quando comparado ao material sem reciclado. Na composição com 50% de agregado reciclado, a diferença diminuiu significativamente, sendo o seu resultado mais satisfatório com uma diferença de 1,46 MPa, em relação com o concreto sem adição de agregado reciclado. O resultado da mistura com 75% de agregado reciclado apresentou uma perda de resistência de 6,063 MPa, para a proporção do concreto sem adição de agregado reciclado. A mistura com 100% de agregado reciclado mostrou uma redução média, na sua resistência de 4,50 MPa, em comparação ao agregado sem adição de material reciclado. Na análise feita do desvio padrão, os resultados de melhor desempenho foram em concretos com adição de 75% de material agregado, onde o desvio padrão foi de 0,23. Por outro lado, o concreto que apresentou melhor resultado em comparação a amostra sem reciclado foi o de 50%, onde o seu desvio padrão foi de 0,86 (HOOD, 2006).

Figura 4. Valores de resistência à compressão, de 28 dias, das amostras de 0, 25, 50, 75 e 100% de areia industrial no concreto

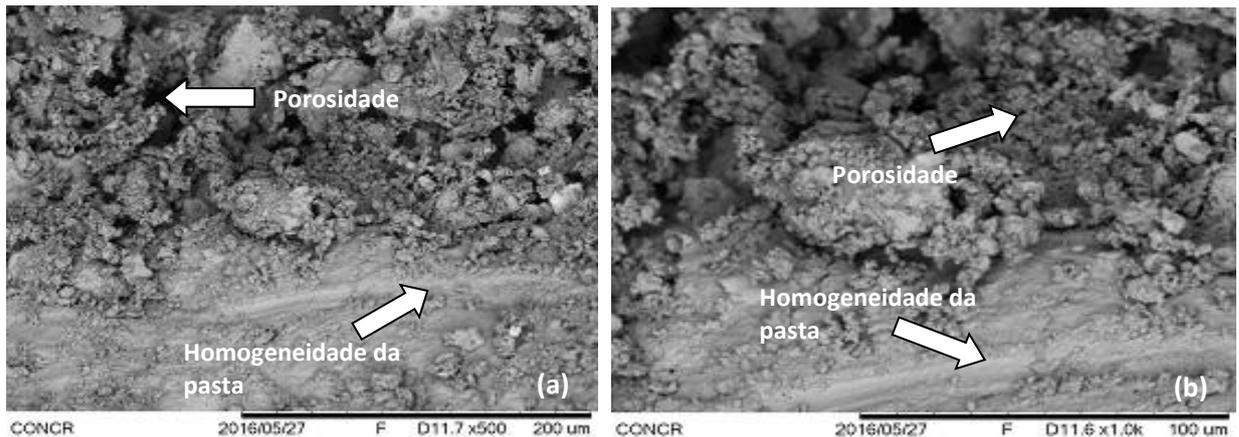


Fonte: Pesquisa do Autor.

A estrutura do concreto é formada de cimento, agregado e também da sua zona de contato conhecida como interface aglutinante junto ao agregado, isso acontece quando existe a formação de uma película de água ao redor do agregado. Segundo Monteiro (2009), com o aumento da relação  $a/c$  (relação de água e cimento), os cristais formados apresentam tamanhos relativamente maior do que os produtos existentes na matriz, o que torna a estrutura da interface mais porosa.

No fragmento dos corpos-de-prova extraído da amostra do traço com a dição de 0% de material reciclado, pode-se observar na figura 5 (a) e (b) que existe uma homogeneidade entre a mistura do cimento com a areia, onde se chama de pasta, mas observou também uma grande quantidade de material solto conforme se identifica como material poroso. Isso pode ocorrer pela falta de hidratação do concreto ou uma falha na mistura dos componentes do concreto, diminuindo a sua capacidade de resistência ao ensaio de compressão.

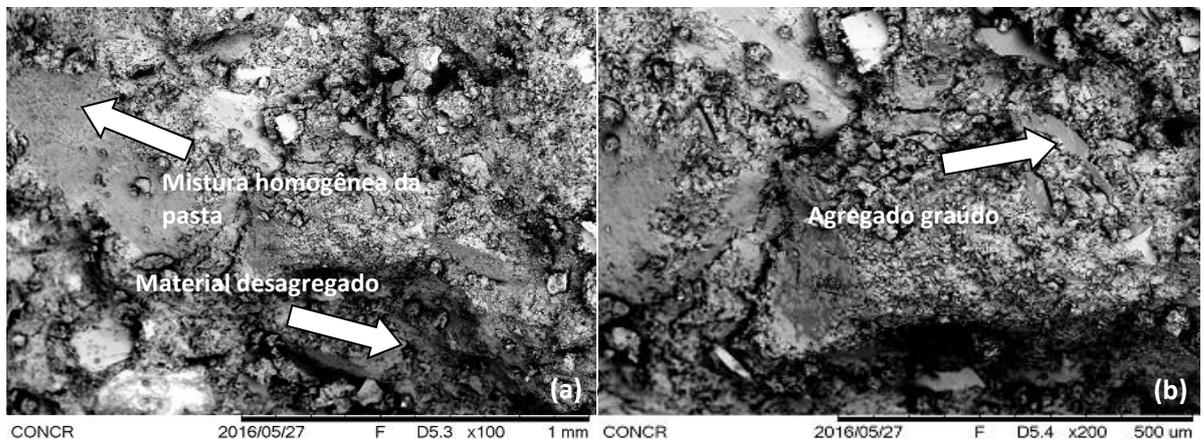
Figura 5. Micrografia da amostra com 0% de material reciclado: (a) 500 X e (b) 1000 X



Fonte: Pesquisa do Autor.

A figura 6 (a) apresenta alguns pontos de mistura homogênea da pasta do aglutinante hidráulico com o agregado e apresenta uma grande quantidade de porosidade e material desagregado. A figura 6 (b) mostra que há um grande índice de material solto com formas variadas, onde apresenta uma baixa aderência ao aglutinante. A mistura de água e cimento aparece em pontos isolados e o agregado graúdo entre esses materiais. Essa observação conclui os resultados dos ensaios com uma baixa resistência à compressão (PALMEIRA, 2010).

Figura 6. Morfologia da mistura com 25% de material reciclado: (a) 100 X e (b) 200 X.

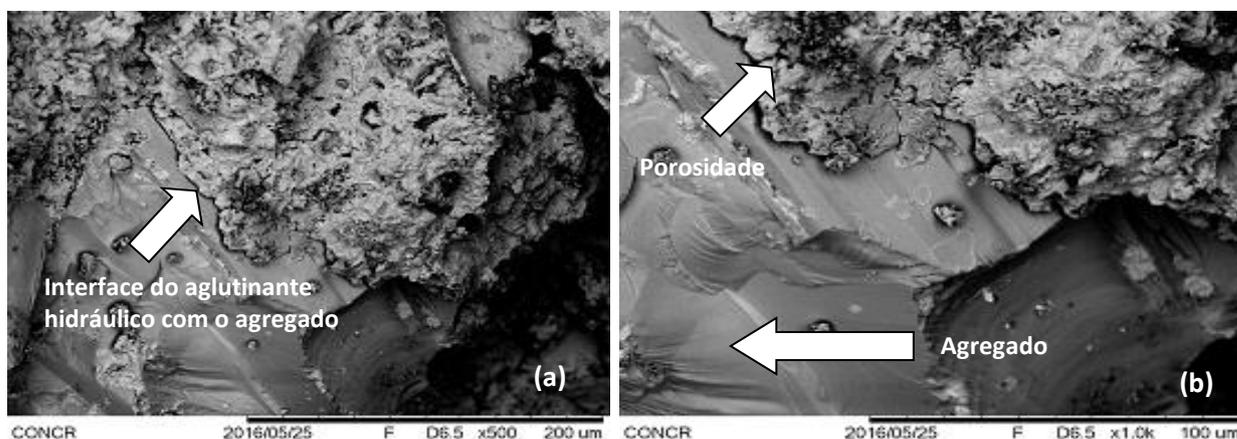


Fonte: Pesquisa do Autor.

A amostra dos corpos de prova fragmentada foi submetida ao ensaio do MEV e foi escolhida em função de seu melhor resultado apresentado nos ensaios de compressão, foi utilizado assim uma amostra com percentual de 50% de agregado reciclado e idade de 28 dias, conforme as figuras 7 (a) e (b).

Conforme pode ser visto nas figuras 7 (a) e (b), existe uma interface entre o aglutinante hidráulico e o agregado graúdo, que permite observar a falta de aderência entre os materiais, o que também foi verificado no trabalho de Buttler (2003, 2007). Foi encontrado também uma grande parte de porosidade devido a variação do material de granulometria heterogênia em substituição da areia de jazida por areia industrial (subproduto de britagem) na proporção de 50%, permitindo uma queda de resistência à compressão do compósito ensaiado, estando de acordo com o trabalho de (PALMEIRA,2010).

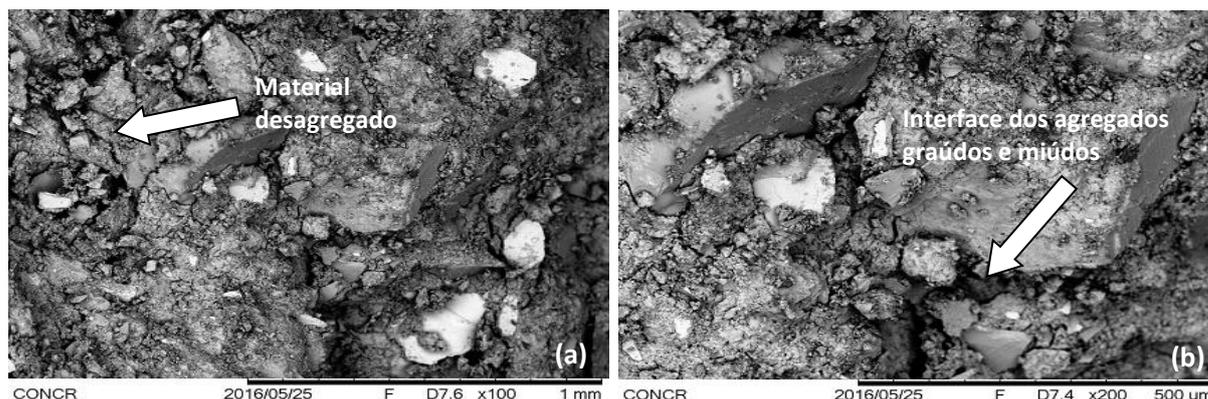
Figura 7: Microestrutura de amostra com 50% de material reciclado: (a) 500 X e (b) 1000 X.



Fonte: Pesquisa do Autor.

O fragmento da amostra de 75% de material reciclado indica um grande índice de material desagregado e uma baixa formação de pasta do aglutinante hidráulico (água e cimento). Nas figuras 8 (a) e (b) pode-se observar a desagregação dos materiais e um grande aumento de vazios e poros. Isso diminui expressivamente a resistência à compressão do compósito (LUCAS, 2008).

Figura 8: Microestrutura da amostra com 75% de material reciclado: (a) 100 X e (b) 200 X.



Fonte: Pesquisa do Autor.

### Considerações finais

A substituição do agregado de jazida natural por agregado artificial para a elaboração de um compósito mostrou-se satisfatório e viável em aplicações não estruturais. A partir dos resultados obtidos considerou-se que a substituição do agregado miúdo de jazida na proporção de 50% por agregado reciclado, obteve uma perda de resistência mecânica em comparação a mistura matriz (0% de material reciclado), mas foi a menor perda de resistência à compressão, reduzindo para 9% a sua resistência.

O compósito ensaiado sem adição de material reciclado teve um resultado de 23,29 MPa onde caracteriza um compósito com limitações para sua utilização em peças estruturas. O traço com adição de 50% de material reciclado, a diferença diminuiu significativamente onde obteve uma perda de 1,46 MPa em comparação ao traço do compósito matriz; Os ensaios onde a substituição foi proporcional de 25% e 75% do material natural pelo o material reciclado apresentou diversos fatores que ocasionaram a sua inutilização. Um dos principais fatores foi o resultado de resistência à compressão que foi insatisfatório em relação a mistura matriz.

O traço realizado com a proporção de 25%, apresentou uma perda de resistência a compressão do compósito de 5,61 MPa na comparação com o traço matriz. A adição de 75% de material reciclado ao traço fez aumentar a sua perda de resistência a compressão, com uma diferença de 6,06 MPa comparando com o traço

matriz. Com o aumento da substituição do agregado de jazida por agregado artificial houve uma perda de resistência mecânica da mistura, onde a substituição de 100% de material reciclado teve uma perda de 20% de sua resistência nos ensaios.

Pode-se concluir que a utilização de agregado reciclado (areia industrial) para a confecção de um concreto compósito tem viabilidade de aplicação na proporção de 50% de utilização de material reciclado, pois os seus resultados foram os mais próximos do concreto compósito sem adição de material reciclado. Esses fatores irão contribuir e proporcionar o consumo de um subproduto e a diminuição dos resíduos gerados que contribuem para melhorar os índices de impacto ocasionados pela indústria da construção civil.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto: procedimento de moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

ARAGÃO, Helio Guimarães. Análise estrutural de lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Alagoas, 2007.

BUTTNER, Alexandre Marques. Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto-Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 2003.

BUTTNER, Alexandre Marques. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 2007.

De PAULA, Luiz Gonzaga. Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Minas Gerais, 2009.

De PAULA, Paulo Roberto Freire. Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade Católica de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2010.

DENIS, L., BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**. Maringá: CESUMAR, v. 1, n.º. 3. p. 407, set./dez. 2008.

HOOD, Rogério da Silva Scott. Análise da viabilidade técnica de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação (Mestrado de engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2006.

NETO, José da Costa Marques. Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande. Tese (Doutorado em Materiais) - Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2009.

PALMEIRA, E. M. Soluções de Baixo Custo Envolvendo Geossintéticos e Materiais Alternativos em Obras Geotécnicas e de Proteção Ambiental. 16º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Gramado, Rio Grande do Sul, 2010.

TIECHER, P. A., PANDOLFO, M. L. Método Experimentais de Dosagem para Concreto Convencional Utilizando Areia Industrial e Demais Agregados da Região de Passo Fundo. I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo, São Paulo, 2004.