

Areia de britagem como alternativa à areia natural na confecção de concreto: um panorama sobre o estado da arte

DOI: 10.20396/labore.v14i0.8659725

Cleidson Guimarães

<<https://orcid.org/0000-0002-9608-5947>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

Mário Vinicius Aguiar Gomes

<<https://orcid.org/0000-0001-7535-4522>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

RESUMO

As fontes de areia natural, proveniente dos leitos dos rios, se encontram cada vez mais distantes dos centros de consumo, causando como consequência o aumento gradativo do seu custo ao longo dos anos. Redução das jazidas e burocracia para legalização ambiental também são fatores que impulsionam novas pesquisas relacionadas à substituição da areia natural como agregado miúdo pela indústria da construção civil. Por meio deste trabalho procura-se expor o estado da arte das pesquisas realizadas, por meio das plataformas Web of Science, Lens e Google Acadêmico, acerca de uma alternativa para a areia natural na fabricação do concreto, visando aprimorar a inserção dos agregados artificiais no mercado e suas técnicas de utilização. Estudos vêm mostrando os benefícios da utilização da areia de britagem no concreto como também o que vem dificultando o seu emprego. A forma angular de suas partículas e a quantidade de finos acaba por resultar no uso de mais água para atender a parâmetros de trabalhabilidade. Contudo, o aumento da resistência à compressão simples e melhoria de algumas das propriedades do concreto coloca a areia de britagem como uma grande promissora na indústria da construção civil.

PALAVRAS-CHAVE

Areia natural. Areia de britagem. Matrizes cimentícias.

Crushed sand as an alternative to natural sand in concrete confection: a state-of-the-art view

ABSTRACT

The sources of natural sand, coming from the river beds, are increasingly distant from the consumption centers, causing, as a consequence, the gradual increase in their cost over the years. Reduction of deposits and bureaucracy for environmental legalization are also factors that drive new research related to the replacement of natural sand as a fine aggregate by the construction industry. This work seeks to expose the state of the art of the researches carried out, through the Web of Science, Lens and Google Scholar platforms, about an alternative to natural sand in the manufacture of concrete, aiming to improve the insertion of artificial aggregates in the market and its utilization techniques. Studies have shown the benefits of using crushing sand in concrete as well as what has been hampering its use. The angular shape of its particles and the amount of fines end up resulting in the use of more water to meet workability parameters. However, the increase in resistance to simple compression and the improvement of some of the concrete properties places the crushing sand as a great promise in the construction industry.

KEYWORDS

Natural sand. Crushed sand. Cementitious matrices.

1. Introdução

A produção de areia é um importante setor na cadeia da indústria da construção civil, cuja demanda no mercado vem sofrendo crescente aumento ao longo do tempo. Quaresma (2009) destaca que na projeção para 2030, aponta-se que o consumo possa atingir 524 milhões de toneladas no “cenário frágil”, 827 milhões de toneladas no “cenário vigoroso” e 1.276 milhões de toneladas no “cenário inovador”, segundo critérios do RT 01 de Calaes.

A demanda por areia natural é bastante elevada nos países em desenvolvimento devido ao crescimento rápido da infraestrutura que resulta da escassez de abastecimento (Benabed, 2018). Essa escassez, atrelada a diversos fatores, vem levando a busca por agregados em regiões cada vez mais afastadas dos centros urbanos, onerando o valor final da areia natural, dado que a distância entre o produtor e o consumidor tem sido de aproximadamente 100 km, levando a um aumento do frete e, conseqüentemente, o preço do produto final (Ferreira & Fonseca Junior, 2013).

Outro impasse seriam as restrições ambientais à extração da areia provindas de várzeas e leitos de rios. No Brasil, 70% da extração da areia advém do leito de rios e 30% de cavas secas, cavas imersas de planícies costeiras, fundo de vales, terraços aluviais, entre outros (Luz & Almeida, 2012).

Os principais impactos ambientais dessa atividade de extração de areia são: geração de resíduos com particulados nos rios, cavas inundadas com mudança do nível freático, alteração paisagística, desmatamento, emissão de particulados atmosféricos resultantes do movimento de caminhões fora de estrada, ruído das máquinas etc. (Quaresma, 2009 *apud* Luz & Almeida, 2012).

A constante preocupação com a preservação do meio ambiente e o aumento gradativo do custo na obtenção de areia natural nos grandes centros, tem incentivado a identificação de materiais alternativos para substituir a demanda por areia natural. Uma solução para a redução dos problemas relacionados à extração da areia natural e à disposição dos resíduos das pedreiras tem sido a produção de areia artificial a partir dos resíduos gerados no processo de britagem para a produção de agregado graúdo (Neville, 1997 *apud* Drago *et al.* 2009).

O uso da areia de britagem só traz benefícios ao meio ambiente, pois os resíduos gerados da britagem de rochas, para a produção de agregados ao concreto – finos de pedra – são raramente utilizados, constituindo-se em um problema ecológico devido à dispersão destes pelo vento e pelas águas (Klein, 2008).

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo apresentar o estudo do estado da arte do uso da areia de britagem como alternativa à areia natural para fabricação de concreto, abordando uma visão geral da produção científica a respeito, evidenciando a evolução da aplicação da areia artificial pela indústria da construção civil e suas perspectivas futuras.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada através dos sites de busca acadêmica Web of Science, Lens e Google Acadêmico. Tais plataformas são compostas por um amplo banco de dados, o que proporcionou meios eficientes de coleta e análise de informações. A busca no “Web of Science” foi realizada a partir de todas as bases de dados disponíveis no sistema, através de uma combinação dos termos *crushed, sand* e *concrete*. A pesquisa em modo avançada foi refinada para o idioma inglês, documentos em forma artigo, tempo estipulado entre 2000 e 2019 e com índices SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI.

O emprego desses termos resultou em um número de 47 artigos. Todos esses artigos foram avaliados e filtrados com base nas palavras chaves que eles apresentaram e caso as palavras chaves se relacionassem com o tema de pesquisa esses artigos eram guardados. Em seguida aplicou-se um segundo filtro baseando-se na atenciosa leitura do resumo.

Artigos que apresentavam palavras chaves associados ao tema de pesquisa e cujo resumo descrevia um artigo com metodologia e resultados associados ao tema deste trabalho, então os itens eram selecionados em um novo grupo. Posteriormente, cada artigo foi lido minuciosamente para levantar suas ideias principais e a partir delas estabelecer um cenário do estado da arte do uso da areia de britagem como um material a ser utilizado como agregado miúdo para produção de matrizes cimentícias.

Os artigos e dissertações de língua portuguesa foram encontrados com o auxílio dos sites de busca científica

Lens e Google Acadêmico através da combinação de títulos relacionados à areia artificial (*areia de britagem, pó de pedra, finos de britagem*) na produção de concreto.

A metodologia de escolha de todos os artigos baixados pelas plataformas Lens e Google Acadêmico foi similar à utilizada pelo site de buscas Web of Science, ou seja, baixou-se os artigos e aplicou-se um filtro inicial através de suas palavras chaves, e em seguida uma leitura dos resumos para que verificasse se o artigo tratava da revisão do estado da arte levantado nesta pesquisa.

Após esses filtros foram levantados as principais ideias de cada um dos artigos, na qual a síntese de todas as ideias principais constituiu o núcleo desse trabalho. O acesso a todas essas plataformas de pesquisa foi possível através da parceria da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) com o acervo de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

3. Resultados e discussões

3.1. PRODUÇÃO DE CONCRETO COM AREIA DE BRITAGEM

A utilização das areias obtidas a partir da fragmentação de rochas em substituição à areia natural, não é recente. Na Europa e Estados Unidos já vem sendo utilizada desde os anos 1970 (Buest, 2006 *apud* Viero, 2010), uma década após a fabricação em série dos primeiros equipamentos utilizados para britagem do percentual fino do material (Almeida & Sampaio, 2002). Os primeiros registros de aplicação no Brasil são de 1982, na construção de barragens (Itaipu, Salto Santiago, Salto Osório, entre outras) (Buest, 2006 *apud* Viero, 2010).

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA DE BRITAGEM

As características dos agregados influenciam, de maneira significativa, das propriedades no estado fresco e endurecido das matrizes cimentícias. Areias naturais, que são formadas por atrito entre os grãos e o leito do rio, possuem grãos mais arredondados, já as areias de britagem, em geral, possuem grãos mais angulosos (Metha & Monteiro, 2008; Park, 2012). “A forma do grão influencia na trabalhabilidade das misturas de concreto, onde grãos menos arredondados e mais irregulares demandam maior quantidade de água, além de conferirem à mistura um aspecto mais áspero” (Drago *et al.* 2009).

Segundo Shen (2018) a principal diferença entre a areia de britagem e a natural é a forma, o teor de pó e gradação, e todos eles têm influência sobre o desempenho das matrizes cimentícias. Shen (2018) também expõe que a resistência dos concretos também é influenciada pela forma da partícula da areia de britagem porque sua força de adesão com a pasta de cimento é mais intensa do que a de areias naturais.

O formato dos grãos das areias de britagem depende da origem mineralógica da rocha matriz e do tipo do processo de trituração da rocha. Os resultados obtidos por Fabro *et al.* (2011) demonstram que os agregados processados por britadores do tipo Cone ou Martelo são realmente mais lamelares do que os agregados britados por britadores do tipo VSI (tipo giroférico de impacto vertical), pois apresentaram os menores coeficientes de forma e indicadores de lamelaridade.

Matos (2018) pode identificar que a areia de britagem de origem basáltica não apresenta distribuição uniforme das partículas, apresentando excessos de alguns grãos de mesmo diâmetro, já as de origem granítica, foi percebida uma distribuição mais uniforme dos grãos. Shen (2018) pode concluir que a gradação da areia de britagem é considerada um fator negativo no desempenho do concreto, porque a areia de britagem (AB) possui menos partículas entre 0,15 e 0,6 mm que a areia natural, e sua curva de distribuição de partículas é muito próxima dos limites superior e inferior do requisito de classificação de agregado miúdo para concreto (as curvas granulométricas estudadas por Shen foram ajustada pela curva de Fuller com $n=0,5$).

3.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO COM AREIA DE BRITAGEM NO ESTADO FRESCO

3.3.1. EFEITO DA AREIA DE BRITAGEM SOBRE A DEMANDA DE ÁGUA E CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

Uma grande parte das pesquisas de referência relata que quanto maior o teor de areia de britagem adicionado ao concreto, maior é a quantidade de água necessária para a manutenção do abatimento dentro da faixa determinada. Esse fato é explicado pelo maior teor de finos da areia de britagem, em comparação à areia natural (Akrouf *et al.*, 2010; Drago *et al.*, 2009; Ishikawa, 2010), apresentando a areia de britagem superfície específica maior em relação à areia natural e forma dos grãos mais ásperos e angulosos (Drago *et al.* 2009).

Em termos gerais, a partir da análise dos valores obtidos, segue-se que é necessário aumentar na ordem de 25-30 kg/m³ de água em concreto com areia de britagem para alcançar a consistência do concreto com areias naturais, que podem ser traduzidas em um aumento no conteúdo de poros do 2,5-3,0% do volume de concreto no estado endurecido (Cabrera *et al.*, 2011).

3.3.2. EFEITO DE ADITIVOS EM CONCRETOS COM AREIA DE BRITAGEM

É notório que o uso de aditivos superplastificantes ajudaria a suprir a demanda a mais de água para o alcance da consistência desejada, porém, perceberam Cabrera e al (2011) e Park (2012) que para concretos com areia de britagem atingirem fluidez suficiente é necessário usar uma dose de aditivo superior ao utilizado em concretos com areias naturais.

Cabrera (2011) relatou que mesmo com altas doses de todos os aditivos estudados (incorporador de ar, plastificante e superplastificante), não foram suficientes para coincidir com o produzido com areia natural; e afirma a necessidade de se realizar um ajuste das dosagens durante a utilização de aditivos em concretos com areias de britagem, e estabelecer se a maior dosagem de aditivos não originam efeitos nocivos à qualidade do concreto, como a redução de resistência, durabilidade e efeitos de exsudação.

3.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO COM AREIA DE BRITAGEM NO ESTADO ENDURECIDO

3.4.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de Fabro *et al.* (2011) do ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias evidenciaram que todos os concretos nos quais houveram substituição da areia natural pela de britagem apresentaram resistência à compressão superior ao concreto com 100% de areia natural.

Ao analisarem traços de concreto de auto desempenho, de Sena Barbosa (2019), Park (2012) também observaram ganhos na resistência mecânica, mesmo com uma relação água/cimento maior em relação aos seus respectivos traços referência. Ishikawa (2010) – que também estudou concretos de alta resistência comparando a areia natural com a artificial – relatou que mesmo em traços com a mesma quantidade de aditivos e relação água/cimento para ambos os agregados, obtiveram valores de resistência superior a 60 MPa para todos os concretos testados, parâmetro de alta resistência conforme a NBR 8953 (ABNT, 2015).

Essa ocorrência pode ser explicada pelo efeito de preenchimento que a quantidade de finos da areia de britagem proporcionou aos concretos produzidos, diminuindo os vazios, gerando influência na resistência mecânica (de Sena Barbosa, 2019 e Fabro *et al.*, 2011).

Yun *et al.* (2015) mostraram em seus estudos a variação no volume de ar de acordo com o tipo e taxa de substituição pela areia triturada. Quanto maior o teor de areia de britagem, menor o volume de ar do concreto justamente pela quantidade de partículas finas, explicam os autores.

Segundo Matos (2018), concretos com areias de britagem de origem basáltica, com maiores taxas de material pulverulento, possuem melhores resultados da resistência à compressão comparada aos com areia de britagem granítica.

Em sua análise experimental, Drago (2009) avaliou a resistência à compressão de duas maneiras: Fixando um valor de abatimento pelo tronco cone ($[80 \pm 10]$ mm) comum para todos os traços de substituições de areia natural por artificial (0, 40, 70 e 100%); e posteriormente fixando em vez do abatimento a taxa de relação água/cimento para 0,55, 0,60 e 0,65. Os resultados obtidos ao igualar o abatimento para todos os traços mostraram redução na resistência à compressão à medida que se aumentava a quantidade de areia de britagem nas misturas. A explicação para essa redução foi justamente a maior demanda por água para o alcance do mesmo abatimento do concreto de referência (100% de areia natural), influenciando diretamente na resistência. Entretanto, foi possível notar que quanto menor o teor de cimento no traço, menor o efeito da substituição da areia de britagem pela natural sobre a resistência mecânica.

O mesmo estudo demonstra que ao comparar concretos com diferentes substituições de agregados e teores de relação água/cimento fixados (0,55; 0,60 e 0,65), a tendência foi de aumento da resistência para maiores porcentagens de areia de britagem na composição.

Em concretos com menores teores de cimento Portland, com relação água/cimento 0,65, a maior quantidade de areia de britagem (100%) e o consequente maior teor de finos possibilitaram o preenchimento de vazios na

mistura e um possível refinamento de poros, que acarretaram uma maior resistência à compressão (melhor empacotamento dos grãos) do que em concretos com porcentagens reduzidas de areia de britagem. Ou seja, o preenchimento dos vazios devido ao incremento da areia de britagem compensava o efeito da redução do teor de cimento Portland na resistência a compressão simples.

3.4.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Segundo Sbrighi Neto (2011) *apud* Matos (2018), a quantidade máxima de absorção de água do agregado está relacionada com a porosidade do mesmo, que por sua vez está relacionada com a aderência entre o agregado e a pasta cimentícia.

Os resultados de Ishikawa (2010) mostram que a absorção de água por imersão e do índice de vazios alcançados em concretos produzidos com areia de britagem apresentam valores menores em relação aos concretos produzidos com areia natural. Logo, concretos produzidos com areias artificiais apresentam melhores desempenhos de durabilidade em relação ao concreto com areia natural (concretos com absorção menor que 6% são considerados de grande durabilidade em tecnologia de concreto).

3.4.3. INFLUÊNCIA DA AREIA DE BRITAGEM NA MICROESTRUTURA DA ZONA DE TRANSIÇÃO PASTA/AGREGADO

“Existe uma forte relação entre a espessura e a qualidade da zona de transição e as propriedades mecânicas e a durabilidade dos concretos” (Monteiro, 1993 e Paulon, 2005 *apud* Rossignolo, 2009). Indicando a importância do estudo da zona de transição objetivando a melhoria do desempenho do concreto.

Devido à alta relação água-cimento, a zona de transição interfacial ocorre a formação de uma estrutura mais porosa do que na pasta de cimento (Shen, 2018).

Metha e Monteiro (1994) explica que a incorporação de adições minerais como a areia de britagem tende a modificar a estrutura da zona de transição, pois poderá haver a colmatação dos poros capilares devido ao alto teor de finos. Essa colmatação dos poros torna a zona de transição mais densa, principalmente em concretos convencionais (Almeida, 2006).

Avaliando a influência da areia de britagem na microdureza da zona de transição interfacial, Shen (2018) observou espessura da zona de transição na ordem de 107 μm , para o concreto de referência (com areia natural), e 93 μm para concretos com adição de areia de britagem.

Almeida (2006) pode constatar que concretos de classe de 20 MPa com adição de areia de britagem, apresentam uma interface agregado pasta de cimento mais fechada, com uma provável zona de transição menos porosa.

Logo, a utilização de agregados com granulometria de menores dimensões resulta em espessuras reduzidas da zona de transição e uma diminuição da relação a/c da região, contribuindo em uma menor porosidade e consequentemente aumento da resistência à compressão do concreto.

3.5. O CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIAS ARTIFICIAIS

O concreto autoadensável representa uma evolução dos concretos especiais, sendo como principal característica a sua capacidade de fluir no interior das fôrmas por ação do peso próprio, ou seja, sem a influência de qualquer vibração externa (adensamento). Com isso, os concretos autoadensáveis eliminam problemas relacionados ao processo de adensamento, especialmente em elementos com grande densidade de armadura, ou em áreas de difícil acesso (Melo, 2005).

A composição dos concretos autoadensáveis requerem uma elevada quantidade de finos para limitar o risco de exsudação e segregação (Benyamina *et al.*, 2019). Logo, o aumento de estudos relacionados a esse tipo de concreto contendo areia de britagem com elevada concentração de finos de calcário vem se tornando significativo.

Benyamina *et al.* (2019) investigaram a influência do aumento da concentração de finos de calcário de areia britada nas propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do concreto autoadensável. Para isso, foram preparadas cinco misturas de CAA (concreto auto adensável) com a substituição da areia de britagem por finos de calcário (0%, 5%, 10%, 15% e 20%). Os finos de calcário foram obtidos através da passagem da areia de britagem pela peneira de 80 μm .

Foi notada uma redução da resistência à compressão simples aos 28 dias, com o aumento susceptível de finos. No entanto, ao decorrer das substituições, observou-se um aumento da resistência à compressão em idades de 3 e 7 dias. Esse aumento da resistência em idades precoces pode ser explicado pela maior hidratação dos grãos de cimento Portland devido aos sítios de nucleação criados pelos finos de calcário (o mesmo efeito também ocorreu sobre os resultados quanto à resistência a flexão).

Benyamina *et al.* (2019) obtiveram resultados de diminuição da trabalhabilidade do CAA com o incremento sucessível de finos (devido a maior demanda por água), reduções da absorção de água capilar (devido ao preenchimento dos poros por partículas finas) e uma menor migração de íons cloreto (melhoria na durabilidade do CAA com o aumento de finos).

Avaliando as propriedades do CAA com substituições da areia de rio por areia de britagem, Benabed (2018) percebeu um ganho de resistência do concreto autoadensável com 25% de substituição da areia de rio por areia de britagem. O autor destaca que o ganho de resistência mecânica dos concretos contendo areia de britagem em conjunto com areia de rios parece está ligado ao incremento de finos de calcário como também ao maior tamanho dos grãos de AB comparando-os aos da areia natural.

Outros autores (Abdulghani, 2010; Shaikh & Diami, 2011 *apud* Benabed, 2018) conseguiram relacionar um melhoria nas propriedades mecânicas (ganho de resistência) à forma das partículas (bordas afiadas) de areia de britagem, por favorecerem uma melhor aderência ao cimento Portland do que as partículas mais arredondadas da areia de rios.

Os estudos de Kothai e Malathy (2012) e R'mili *et al.* (2009) obtiveram resultados semelhantes de uma boa resistência mecânica em termos de compressão, tração e flexão com substituição de areia natural por industrial na faixa de 30%.

3.5.1. O CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM A COMBINAÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM COM AREIA DE DUNAS DO DESERTO

Outros estudos mostraram o efeito da contribuição da areia de britagem em concreto auto adensável de forma combinada com outras areias. Combinações com areias de dunas foram destaque nos resultados da busca, uma vez que elas são abundantes nos países de clima desérticos, sem muito uso na construção civil (distribuição restrita do tamanho de suas partículas), e por ser uma areia extrafina (os concretos altamente fluidos requerem maiores proporções de partículas finas) podendo ser um componente interessante do CAA.

Benabed (2018) verificou os efeitos das combinações de areia de britagem, areia de dunas e areia de rio sobre a fluidez, capacidade de passagem, resistência à segregação e a compressão nos 28 dias. De forma parecida Benmerioul *et al.* (2017) estudaram os efeitos da incorporação da AB na composição do concreto e o efeito da substituição gradual pela AD (areia de dunas) no comportamento do CAA nos estados fresco e endurecido.

Os resultados obtidos por Benabed e Benmerioul mostraram que a adição da areia de dunas até 25% (<30%) melhoram os parâmetros de trabalhabilidade do CAA. Além disso, são necessárias quantidades adicionais de água e superplastificante para atender às propriedades de auto compactação. Benabed *et al.* puderam concluir que em diferentes conteúdos de combinações de areia de rio com areia de britagem, as características reológicas e mecânicas são atendidas e cumprem as recomendações para fabricação de CAA. No entanto, o uso de altas dosagens de areia de dunas reduz os parâmetros reológicos.

Uma redução na resistência à compressão foi observada em CAA com misturas binárias e ternárias de areia moída, areia de dunas e areia de brita. Isto significa que a areia da duna diminui a resistência à compressão do CAA devido ao seu tamanho de partícula muito fino, alta área de superfície e alta porosidade, o que resulta em menos compactação de CAA do que os produzidos com areia de britagem.

Benmerioul *et al.* (2017) destacaram a redução da resistência mecânica quando é aumentada a adição de areia de dunas nos concretos com areia de britagem, mas que é possível alcançar valores aceitáveis para areia de dunas em proporções moderadas. Em termos de especificação de durabilidade em concretos autoadensáveis com acréscimo de areia de dunas em areia de britagem, constatou-se que os coeficientes de absorção de água por capilaridade e por imersão aumentam quando se adiciona areia de duna a areia de britagem (maior porosidade), enquanto o coeficiente de permeabilidade diminui.

4. Conclusão

De forma geral, é possível observar o avanço da ciência dos materiais (especificamente de matrizes cimentícias) na perspectiva de buscar alternativas de substituição de agregados naturais por agregados artificiais. Observa-se a possibilidade de substituição do agregado natural por AB com melhorias nas propriedades das matrizes cimentícias e efeitos colaterais que necessitam ser avaliados antes da utilização do concreto ou argamassa. De forma específica, pode afirmar:

- A forma dos grãos (angular) e a maior quantidade de finos presentes nas areias de britagem promovem aumento na demanda de água para atender a trabalhabilidade desejada na fabricação de concretos;
- A origem mineralógica da rocha e a forma como foi britada influencia na lamelaridade das partículas e conseqüentemente no rearranjo granulométrico das matrizes cimentícias;
- Matrizes cimentícias contendo areia de britagem promovem aumento significativo no teor de aditivos para aproximar resultados de consistência aos concretos de referência (100% de areia natural de rios);
- Existe ganho de resistência à compressão simples em concretos convencionais e de alta resistência com o incremento de areia de britagem;
- Concretos produzidos com areias artificiais apresentam melhores desempenhos de durabilidade em relação ao concreto com areia natural, devido a menor absorção de água por imersão resultante do melhor preenchimento dos poros por partículas finas;
- O uso de areia de britagem na fabricação do concreto melhora a zona de transição da interface entre o agregado e as pastas de cimento;
- Concretos autoadensáveis apresentam melhorias nas propriedades com o incremento da areia de britagem, com destaque em substituições de 25% da areia natural de rios por areia de britagem;

5. Referências

- Akrout, K. et al. (2010). Rheological, mechanical and structural performances of crushed limestone sand concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 4 (2), pp. 97-104.
- Almeida, S. L. M., & Sampaio, J. A. (2002). Obtenção de Areia Artificial com base em finos de pedreiras. *Revista Areia & Brita* (São Paulo), n.20, pp. 32-36.
- Almeida, M. das V. V. de (2006). *Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Benyamina, Smain et al. (2019). Performance of self-compacting concrete with manufactured crushed sand. *Advances in Concrete Construction*, 7 (2), 87-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/acc.2019.7.2.087>
- Benabed, Benchaa (2018). Effect of combined use of crushed sand and Algerian desert dune sand on fresh properties and strength of self-compacting concrete. *Epitoamyag – Journal of Silicate Based & Composite Materials*, 70(5), 155-166.
- BENMEROUJ, Farid et al. (2017). Valorization of the crushed dune sand in the formulation of self-compacting-concrete. *Procedia Engineering*, 171, pp. 672-678. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.408
- Cabrera, O. A., Traversa, L. P., & Ortega, N. F. (2011). Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. *Materiales de Construcción*, 303, pp. 401-416.
- Drago, C., De Verney, J. C. K., & Pereira, F. M. (2009). Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. Rem: *Revista Escola de Minas*, 62 (3), 399-408.
- De Sena Barbosa, M. et al. (2019). Produção de Concreto de Alto Desempenho (CAD) com adição de pó de pedra. *Revista InterScientia*, 7 (1), 200-217.
- Ferreira, G. E., & Fonseca Junior, C. A. F. (2013). Mercado de agregados no Brasil. *XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology*, Goiânia, GO, Brasil.
- Fabro, F., Gava, G. P., Grigoli, H. B., & Meneghetti, L. C. (2011). *Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto*. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 4 (2), 191-212.

- Ishikawa, P. H. (2010). Concreto de alto desempenho com areia artificial. *Boletim Técnico da FATEC-SP*, BT, 28, p. 42.
- Klein, N. S. (2008). *Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento), Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, Brasil.
- Kothai, L., & Malathy, R. (2012). Strength studies on self-compacting concrete with manufactured sand as partial replacement of natural sand. *European Journal of Scientific Research*, 89 (3), 490-496.
- Luz, A. B. da, & Almeida, S. L. M. de (2012). Operações de lavra de areia. In S. L. M., & A. B. Luz (Eds.). *Manual de agregados para a construção civil* (2a. ed., cap. 10, pp. 183-193). Rio de Janeiro : CETEM/MCTI.
- Melo, K. A. de (2005). *Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Metha, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2008). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais* (3a. ed.). São Paulo : IBRACON.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., & Carmona Filho, A. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo : Pini.
- Matos, L. F. de (2018). *Avaliação da substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo agregado miúdo de britagem (pó de pedra) quanto às características mecânicas do concreto*. TCC (Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil.
- Park, S. (2012). Study on the fluidity and strength properties of high performance concrete utilizing crushed sand. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 6 (4), 231-237.
- Quaresma, L. F. (2009). *Produto 22 – Agregados para construção civil. Relatório técnico 31 – Perfil de areia para construção civil*. J. Mendo Consultoria. Recuperado de: http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construxo_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d.
- Rmili, A., Bem Ouezdou, M., Added, M., & Ghorbel, I. (2009). Incorporation of crushed sands and Tunisian desert sands in the composition of self-compacting concrete, Part II: SCC fresh and hardened states characteristics. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 3, pp.11-14.
- Rossignolo, J. A. (2009). Concreto Leve Estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. *Ambiente Construído*, 9 (4), 119-127.
- Shen, W., Liu, Y., Wang, Z., et al. (2018). Influence of manufactured sand's characteristics on its concrete performance. *Construction and Building Materials*, 172, pp. 574-583. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.139
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8953 (2015). *Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*.
- Viero, E. H. (2010). *Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil.
- Yun, Yong-Ho et al. (2015). Fundamental Characteristics of Concrete According to Fineness Modulus and Replacement Ratio of Crushed Sand. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 3 (3), 244-251.