

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AGREGADOS MIÚDOS PROVENIENTES DE SERRA DE MADEIRA E BRITAGEM DE ROCHAS EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA NATURAL NO CONCRETO

Kelly Nara de Carvalho Gama¹

Larissa Renata da Silva²

Pedro Valle Salles³

Liliane Cruz Gomes de Souza Santos⁴

Fabricia Nunes de Jesus⁵

Hélio Augusto Goulart Diniz⁶

RESUMO

As atividades humanas relacionadas à construção civil são grandes geradoras de impactos ambientais, tanto pela exploração excessiva dos recursos não renováveis quanto pela deposição inadequada de resíduos. Neste contexto, a atividade de extração de areia é considerada geradora de impacto, uma vez que esse material é encontrado principalmente em cavas e leitos de rios, e sua remoção causa prejuízos ao solo, à vegetação e à fauna. Outro problema reside no fato dos resíduos originados da indústria madeireira e da britagem de rochas como pó de serra e pó de pedra não serem adequadamente destinados, tornando-se prejudiciais ao meio ambiente. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar substituições de 20 e 50% de pó de pedra e pó de serra no concreto, em relação ao volume de areia na confecção de concreto. A primeira etapa constituiu-se da caracterização dos agregados através dos ensaios: composição granulométrica, massa específica, massa unitária, volume de vazios, teor pulverulento e absorção. O pó de pedra apresentou resultados próximos aos da areia, exceto para o teor pulverulento. Já o pó de serra apresentou grandes variações em relação ao agregado natural. Com os corpos-de-prova de concreto prontos, foram realizados ensaios de resistência à compressão, módulo estático de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por imersão. Foi medida também a consistência pelo abatimento do tronco de cone. Não foi possível realizar ensaios com os corpos de prova com 50% de serra de madeira, devido à desintegração durante a cura. Para os corpos com 20% de serragem, apenas a resistência à compressão axial e absorção de água foram viáveis. De modo geral, o pó de pedra mostrou-se viável para o concreto, apresentando resultados próximos e, em alguns casos, melhores que o concreto referência. Já para o uso do pó de serra, são necessários maiores estudos, de forma que suas partículas possam ser rearranjadas no concreto para diminuir o índice de vazios e melhorar as propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Resíduos. Pó de serra. Pó de pedra. Sustentabilidade. Concreto.

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN FINE AGGREGATES FROM WOOD SAWDUST AND CRUSHED ROCKS AS A REPLACEMENT FOR NATURAL SAND IN CONCRETE

ABSTRACT

Human activities related to civil construction are major sources of environmental impacts, both due to the excessive exploitation of nonrenewable resources and the inadequate disposal of waste. In this context, sand extraction is considered highly impactful, since this material is mainly found in pits and riverbeds, and its removal causes damage to the soil, vegetation, and fauna. Another issue concerns waste that, when not properly managed, becomes harmful to the environment, such as residues from the timber industry and rock crushing—namely sawdust and stone dust, respectively. Therefore, the present study aimed to evaluate the substitution of 20% and 50% of natural sand with stone dust and sawdust in concrete mixtures. The first stage consisted of characterizing the aggregates through tests of particle size distribution, specific mass, bulk density, void content, fines content, and water absorption. Stone dust showed results close to those of natural sand, except for fines content. Sawdust, on the other hand, presented significant variations compared to natural sand. With the concrete specimens prepared, tests were conducted for compressive strength, static modulus of elasticity, splitting tensile strength, and water absorption by immersion.

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

² Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

³ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. pedrovallesalles025@gmail.com

⁴ Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

⁶ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte (Bolsista do Programa Pesquisa Produtividade), Minas Gerais, Brasil.

Consistency was also measured using the slump test. It was not possible to carry out tests with specimens containing 50% sawdust, due to their disintegration during curing. For specimens with 20% sawdust, only axial compressive strength and water absorption tests were feasible. Overall, stone dust proved viable for use in concrete, presenting results comparable to, and in some cases better than, the reference concrete. In the case of sawdust, further studies are required so that its particles can be rearranged within the concrete matrix to reduce the void ratio and improve mechanical properties.

Keywords: Waste, Sawdust, Stone dust, Sustainability, Concrete.

Recebido em 22 de setembro de 2025. Aprovado em 05 de outubro de 2025

INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades humanas que mais contribui para o acúmulo de resíduos e escassez de recursos naturais (BRENNER, 2015). Neste sentido, faz-se necessário o estudo de materiais alternativos que reduzam os impactos da exploração da areia natural, encontrada principalmente em cursos d'água.

A areia, agregado miúdo utilizado na produção de concreto, é um dos recursos mais explorados do mundo. O Instituto Minere (2018) alerta para a exploração desordenada desse recurso a fim de integrar materiais sustentáveis ao concreto.

Na busca de possíveis substitutos para a areia, é preciso avaliar diferentes cenários, A exemplo, as madeiras, que produzem grandes quantidades de pó de serra, muitas vezes queimados ou descartados inadequadamente e o pó de pedra, proveniente da britagem de rochas. Ambos podem ser considerados na substituição da areia desde que atendam a requisitos de granulometria, forma e resistência (ALMEIDA; BISPO; DAVID, 2013).

Conforme Teodoro (2013), os agregados reduzem o consumo de cimento e conferem trabalhabilidade ao concreto. Moura e Gonçalves (2002) afirmam que a construção civil, por consumir grandes volumes de agregados, é indicada para absorver resíduos sólidos.

Diante disso, questiona-se: os resíduos de pó de serra e pó de pedra possuem aplicabilidade na substituição da areia no concreto? Como se comporta a resistência à compressão axial do concreto quando usados esses materiais?

A pesquisa busca contribuir para o conhecimento sobre materiais alternativos, propondo aplicação sustentável de resíduos, diminuindo a extração de recursos não renováveis, cujas jazidas estão cada vez mais exauridas frente ao intenso consumo.

Garcez, Gatto e Santos (2013) observaram que substituições de 25 e 50% de pó de serra resultaram em menores perdas de resistência em relação ao concreto referência, enquanto teores de 75% e 100% apresentaram perdas acentuadas. Menossi et al. (2010) verificaram que o pó de pedra aumentou a resistência à compressão ao longo do tempo, com 25% e 50% apresentando melhor consistência. Esses autores atribuíram a perda rápida de trabalhabilidade à alta absorção de água dos finos do pó de pedra. Assim, neste trabalho, os valores de substituição adotados foram 20 e 50% para ambos os resíduos.

O objetivo geral é propor substituição parcial de 20 e 50% dos agregados miúdos por pó de serra e pó de pedra. Os objetivos específicos incluem caracterizar os materiais, desenvolver o traço, determinar propriedades mecânicas e comparar concretos com areia e com agregados alternativos.

As principais referências utilizadas foram Bauer (2012), Garcez, Gatto e Santos (2013), Menossi et al. (2010), Moraes, Oliveira e Ritt (2015), Neville (2016) e Santos et al. (2016).

A pesquisa é de natureza básica, de caráter exploratório e explicativo, com abordagem quantitativa dos dados obtidos por experimentos.

REVISÃO DA LITERATURA

Devido aos danos ambientais, órgãos de fiscalização vêm coibindo a extração desordenada de recursos minerais, principalmente a areia natural dos rios. A urbanização também restringe a

exploração de reservas próximas a áreas urbanas (KITAMURA, 2011).

Campos (2015) destaca a importância de pesquisas que utilizem agregados alternativos, como o pó de pedra, para o desenvolvimento sustentável.

Agregados

Segundo Bauer (2012), agregado é material particulado, incoeso, constituído por partículas de diversos tamanhos. Por muito tempo sua utilização na pasta de cimento foi atribuída a razões econômicas. Neville (2016), entretanto, aponta que além disso os agregados trazem vantagens técnicas, conferindo ao concreto maior durabilidade e estabilidade de volume.

Suas propriedades dependem da rocha matriz (composição química, mineral, massa específica, dureza, resistência, porosidade e cor) e também de características próprias, como forma, dimensão, textura superficial e absorção. Quando satisfatórias, resultam em bom concreto (NEVILLE, 2016).

Os agregados se classificam quanto à origem (naturais ou industrializados), dimensões (miúdo ou gráudo) e peso específico (leves, médios ou pesados) (BAUER, 2012). A NBR 9935 (ABNT, 2011) define agregado natural como material utilizado tal como encontrado na natureza, podendo ser apenas lavado, classificado ou britado.

Para Guacelli (2010), agregados miúdos, além de preencher argamassas, influenciam propriedades como trabalhabilidade, retenção de água, aderência e impermeabilidade.

Obtenção dos agregados miúdos

Areia natural

A areia é o agregado miúdo natural mais utilizado em argamassas e concretos, proveniente principalmente de leitos de rios e depósitos aluvionares (BAUER, 2012). Devido à sua ampla exploração, há preocupação quanto ao esgotamento do recurso e aos impactos ambientais.

Segundo Teodoro (2013), a extração agride os rios, aumenta a vazão e acelera a erosão das margens, removendo a cobertura vegetal e tornando o solo estéril. Além disso, a atividade clandestina amplia os danos, degradando ecossistemas frágeis e alterando canais fluviais e paisagens.

As cavas de extração muitas vezes acabam sendo usadas como bota-fora da construção civil ou até como lixões (VIEIRA; REZENDE, 2015).



Figura 1: Areal onde se observa a degradação das margens

Resíduos de madeira

Os resíduos de madeira podem ser classificados de acordo com sua origem em resíduos industriais e resíduos urbanos (Figura 2). O presente trabalho, entretanto, concentra-se no estudo

e aproveitamento dos resíduos provenientes da indústria madeireira, especificamente serrarias e fábricas de compensado. De acordo com Wiecheteck (2009), esses resíduos incluem serragem, cepilho, sólidos de madeira, cascas e outros, sendo gerados desde o transporte da madeira em tora até seu manuseio, processamento e fabricação do produto acabado. Paixão, Ferreira e Stachiw (2014) destacam que, independentemente do tipo de indústria, a geração de resíduos é consequência direta do processamento primário ou secundário da madeira sólida.

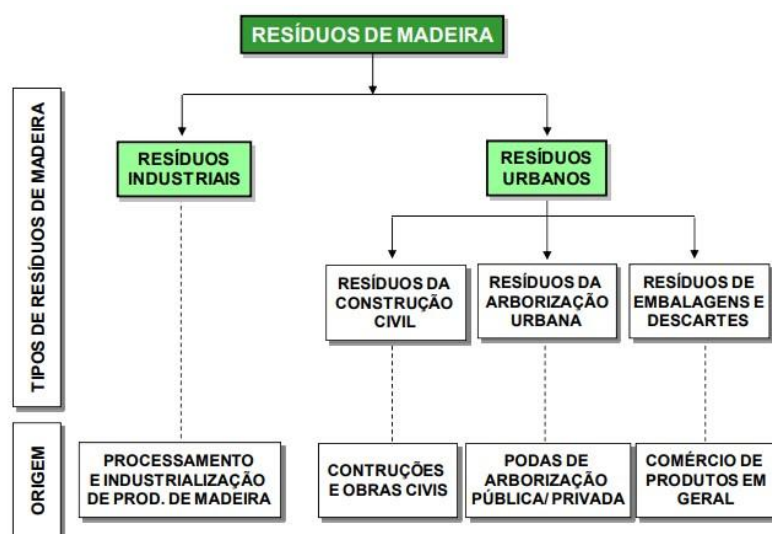


Figura 2: Classificação dos tipos de resíduos de madeira

De acordo com Wiecheteck (2009), uma parcela dos resíduos de madeira da indústria é destinada à produção de produtos de maior valor agregado (PMVA), tais como carvão, cabos, briquetes e embalagens. Esse aproveitamento é mais frequente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, sendo que, nessas regiões, os resíduos também são utilizados em caldeiras e fornos artesanais (olarias). Na região Norte, entretanto, ainda há pouco conhecimento sobre produtos como os pellets de madeira, biocombustível granulado produzido a partir de biomassas vegetais com alto poder calorífico (Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa, s.d.; Figura 3), além de outras possibilidades de aproveitamento, como briquetes. Esse cenário evidencia que, em muitas situações, os resíduos de madeira ainda são percebidos apenas como um problema, e não como uma fonte de renda para a empresa.

A Figura 4 ilustra os tipos de resíduos gerados em uma madeireira, reforçando a diversidade de materiais passíveis de reaproveitamento e as oportunidades de valorização econômica desses resíduos.



Figura 3: Pellets de madeira



Figura 4: Resíduos provenientes da serra de madeira em madeireira

Pó de Pedra

O pó de pedra é o rejeito da exploração de pedreiras, apresentando diâmetro máximo inferior a 4,8 mm (MENOSSSI, 2004). De acordo com Sá (2006), diversas nomenclaturas são utilizadas para esse resíduo, como pó de brita, finos de pedreira e finos de pedra britada, sendo o termo “pó de pedra” o mais comumente empregado.

Segundo Almeida e Sampaio (2002), visando à obtenção de agregados para a construção civil, as rochas, como granitos, gnaisses, basaltos e calcários, são cominuídas em circuitos de britagem terciária ou quaternária, originando produtos comerciais de diferentes dimensões, sendo o pó de pedra aquele com partículas inferiores a 4,8 mm. Muitas vezes, esse agregado oriundo da britagem é caracterizado como um resíduo sem finalidade específica, permanecendo acumulado em pilhas nos pátios das pedreiras, como pode ser observado na Figura 5.

Para Menossi (2004), esse resíduo tem despertado grande interesse, não apenas pelos aspectos ambientais, mas também econômicos, uma vez que as pedreiras podem comercializar um produto proveniente de um rejeito que antes não tinha valor, gerava transtornos de estocagem e impactos ambientais, e que passou a ter um valor final mais acessível. Moraes, Oliveira e Ritt (2015) salientam que a utilização do pó de pedra na confecção de concreto, além de gerar valor de mercado, constitui uma solução para os problemas decorrentes da exploração de areia, contribuindo de maneira positiva para o meio ambiente.



Figura 5: Volume estocados de pó de pedra no pátio da pedreira

Propriedades dos agregados

Massa específica absoluta

A massa específica absoluta pode ser definida como a relação entre a massa do sólido no vácuo e a massa de mesmo volume de água destilada, excluindo-se todos os seus poros. A massa específica do agregado depende da massa específica de seus minerais constituintes e do teor de vazios. A maior parte dos agregados naturais possui massa específica entre 2,6 e 2,7 g/cm³ (NEVILLE, 2016).

Em estudos, Menossi et al. (2010), demonstraram que a massa específica absoluta do pó de pedra é próxima da areia natural, com valores de 2,751 g/cm³ e 2,644 g/cm³, respectivamente. Já o pó de serra, segundo Dantas Filho (2004), apresenta valores na ordem de $1,2 \times 10^{-3}$ g/cm³ para massa específica.

Massa específica unitária

A massa específica unitária corresponde à massa do agregado que preenche um recipiente de volume unitário, sendo utilizada para realizar conversões entre massa e volume. Essa propriedade depende do nível de compactação do agregado, da granulometria e da forma das partículas. Partículas de uma única dimensão podem ser compactadas até certo limite; entretanto, partículas menores podem preencher os vazios entre as maiores, aumentando a massa unitária (NEVILLE, 2016).

De forma semelhante à massa específica absoluta, a massa específica unitária da areia e do pó de pedra apresenta pequenas variações, sendo de 1,491 g/cm³ para o pó de pedra e 1,520 g/cm³ para a areia natural (MENOSSI et al., 2010). Já no estudo de Garcez, Gatto e Santos (2013), observam-se grandes diferenças entre a massa unitária da areia natural e da serragem de madeira, atingindo valores de 1,64 g/cm³ para a areia e 0,16 g/cm³ para a serragem.

Absorção

A porosidade, permeabilidade e absorção dos agregados influenciam diretamente propriedades do concreto, como a aderência, a resistência aos ciclos de congelamento e degelo, a estabilidade química e a resistência à abrasão. A absorção de água pelo agregado também pode causar perda de trabalhabilidade ao longo do tempo (NEVILLE, 2016).

Em relação à absorção, observa-se grande diferença entre a areia e o pó de pedra, sendo a absorção do pó de pedra de 2,71%, enquanto a da areia natural é de 0,39%. Esse comportamento pode ser explicado pelo elevado teor de material pulverulento presente no pó de pedra (MENOSSI et al., 2010). De maneira semelhante, a serragem apresenta alta absorção de água; uma mistura contendo 100% de serragem em substituição à areia requer uma relação água/cimento (A/C) 120% maior para manter a mesma trabalhabilidade (GARCEZ; GATTO; SANTOS, 2013).

Granulometria

Por apresentar distribuição granulométrica bem definida, o pó de pedra proporciona economia de cimento e resulta em estruturas mais compactas. Além disso, por se tratar de um agregado inerte e isento de impurezas, garante maior durabilidade das obras. Contudo, a uniformidade dos grãos pode prejudicar a trabalhabilidade da argamassa, pois dificulta o preenchimento completo dos vazios do concreto. Deve-se também considerar que o teor de pulverulência da areia britada é maior do que o da areia natural, influenciando diretamente a relação água/cimento (A/C) da mistura (TEODORO, 2013).

Em estudos realizados por Santos et al. (2016), verificou-se, por meio de análises de misturas contendo diferentes proporções de areia natural e pó de pedra, que este último encontra-

se dentro da zona utilizável definida pela NBR 7211 (ABNT, 2009), resultando em curva granulométrica próxima aos limites ótimos de utilização.

Já a curva granulométrica da serragem de madeira, segundo ensaios realizados por Dantas Filho (2004), foi classificada como pertencente à zona média (zona 3), de acordo com as normas da NBR 7211 (ABNT).

Material Pulverulento

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) a quantidade de material pulverulento permitido para a areia de britagem é maior que para a areia natural tendo seus limites alterados de 3% para 10% para concreto submetido a desgaste superficial e 5% para 12%, para concreto protegido do desgaste superficial.

Propriedades dos concretos em estado fresco

Durante o período em que o concreto permanece plástico, as características mais importantes são a consistência, a coesão e a homogeneidade, que, combinadas, recebem o nome de trabalhabilidade (DANTAS FILHO, 2004).

A perda de trabalhabilidade do concreto contendo pó de pedra foi comprovada por Morais, Oliveira e Ritt (2015). O Slump Test do concreto constituído com pó de pedra apresentou resultado 40% inferior ao obtido com areia natural como agregado miúdo.

No caso da serragem de madeira, a porcentagem de substituição da areia influencia diretamente a consistência da mistura. Verificou-se ganho de trabalhabilidade nas misturas que continham serragem, pois, à medida que aumentava a substituição, era necessário elevar a relação água/cimento (A/C) para manter a mesma trabalhabilidade (GARCEZ; GATTO; SANTOS, 2013).

Propriedades dos concretos em estado endurecido

Resistência a compressão axial

A resistência à compressão, importante em concretos estruturais, apresenta comportamento satisfatório com a utilização de pó de pedra. Santos et al. (2016) substituíram 40% da areia natural pelo pó de pedra em traços de 20 a 50 MPa e observaram que, aos 28 dias, todos os corpos de prova atingiram a resistência desejada, sendo que os concretos de 20 e 30 MPa superaram o concreto de referência.

Menossi et al. (2010) verificaram ganho de resistência em concretos com substituições de 0 a 100% da areia natural por pó de pedra, aos 7, 28 e 91 dias, mantendo fator A/C fixo. Ajustando a relação A/C para abatimento de 60 mm, o traço com 50% de substituição apresentou melhor rendimento que os traços com 100% de areia ou 100% de pó de pedra.

Já Garcez, Gatto e Santos (2013) observaram que a substituição de areia por serragem de madeira reduz a resistência à compressão, embora os valores ainda se mantenham aceitáveis para concretos de baixa resistência.

Resistência à tração por compressão diametral

Kitamura (2011) ao realizar os ensaios de resistência à tração por compressão diametral para seis corpos-de-prova para cada idade (3, 7, 28, 90 e 120 dias) e com diferentes níveis de substituição da areia natural por pó de pedra (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) verificou que todos os resultados são aceitáveis, pois apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%. Já para a adição de pó de serra, obtêm-se uma redução do limite de resistência a compressão axial à medida que é inserido serragem no traço do concreto, o que reflete em uma redução do limite de resistência no ensaio de tração por compressão diametral (GARCEZ; GATTO E SANTOS, 2013).

Módulo estático de elasticidade à compressão

O módulo de elasticidade do concreto com areia de britagem apresenta valores aproximadamente 30% inferiores aos de concretos produzidos com areia natural. Essa redução pode ser explicada pelo teor de material pulverulento, que aumenta a quantidade de argamassa e diminui a proporção de agregado graúdo, resultando em menor módulo de elasticidade (VIERO, 2010).

No caso de concretos com serragem de madeira, o módulo de elasticidade estático apresentou comportamento similar ao da massa específica e da resistência à compressão. À medida que se aumentou o teor de substituição, ocorreu redução do módulo, conforme ensaios de ultrassom e de resistência à compressão (GARCEZ; GATTO; SANTOS, 2013).

Absorção de água por imersão e índice de vazios

Garcez, Gatto e Santos (2013) analisaram o teor de umidade em concretos com diferentes percentuais de substituição de areia por pó de serra e observaram que não há diferença estatística significativa, a 5% de probabilidade de erro, entre os tratamentos de 0% e 25%, nem entre 50% e 75% de substituição. Embora os corpos-de-prova tenham sido mantidos por sete dias em câmara úmida para auxiliar na estabilização, a absorção de água variou conforme o teor de serragem: quanto maior a substituição, maior a absorção.

Em contraste, Vieiro (2010) relata que as areias de britagem apresentam índices de absorção semelhantes aos da areia natural, não alterando significativamente as características do concreto.

METODOLOGIA

O estudo proposto, foi abordado de forma quantitativa, baseado nos seguintes procedimentos: levantamento bibliográfico, estudo experimental e pesquisa quantitativa.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como básica que, segundo Prodanov e Freitas (2013), objetiva-se em gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da ciência, porém, sem aplicação prática prevista. Para esse mesmo autor (2013), a pesquisa de natureza básica deve envolver verdades e interesses universais, característica deste trabalho, pela abordagem de um material de construção muito utilizado em todo o mundo: o concreto.

Em relação aos objetivos propostos, a pesquisa assumiu de imediato um caráter exploratório e, posteriormente, explicativo. Para Prodanov e Freitas (2013), quando a pesquisa se encontra na fase preliminar, o caráter exploratório tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que será investigado e, dessa forma, possibilitar sua definição e seu delineamento, assim como orientar a fixação dos objetivos e a formulação de hipóteses. As hipóteses levantadas para o progresso da pesquisa foram que os resíduos gerados a partir do corte de madeira e britagem de rochas, respectivamente, pó de serra e pó de pedra, possuem aplicabilidade favorável na substituição do agregado miúdo (areia) no concreto.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória, quase sempre constitui uma etapa prévia indispensável para que se possa obter explicações científicas, ou seja, a pesquisa em questão também assumiu o caráter explicativo. Conforme Mattar e outros (2014) expõem, no projeto da pesquisa explicativa faz-se a verificação das hipóteses planteadas e dessa forma institui-se o método experimental, que analisará a veracidade ou não de cada hipótese.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, primeiramente foi realizado uma pesquisa bibliográfica e, subsequente a essa, realizou-se uma pesquisa experimental. Para Fonseca (2002), qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto, e, de acordo com Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos

científicos. Por sua vez, a pesquisa experimental, conforme Prodanov e Freitas (2013), caracterize-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo, a manipulação das variáveis proporciona o estudo da relação entre as causas e os efeitos de determinado fenômeno. No presente trabalho, para a execução da etapa experimental, foram realizados, em laboratório, ensaios físicos de caracterização dos agregados, e, posteriormente, ensaios mecânicos no concreto confeccionado.

Os materiais utilizados para a confecção do concreto foram obtidos em comércios da cidade de João Monlevade. Após a caracterização destes, o projeto seguiu uma abordagem quantitativa, pois, segundo Prodanov e Freitas (2013), através desse tipo de abordagem é possível traduzir em números as informações obtidas, o que possibilitará a devida interpretação dos dados, para, por fim, responder aos questionados pendentes neste estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental adotado, tem por base a caracterização das propriedades dos agregados miúdos e graúdos, através dos seguintes ensaios: composição granulométrica, massa específica, massa unitária, volume de vazios e absorção para o agregado graúdo utilizado. Além disso, foram especificados os procedimentos utilizados nos ensaios mecânicos realizados no concreto em estado endurecido, tendo por base as normas técnicas vigentes. Por fim, os dados obtidos puderam ser analisados e interpretados.

Metodologia de Caracterização do Cimento

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland Tipo V de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), que de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), significa cimento Portland de alta resistência inicial.

O valor de massa específica foi obtido pela técnica de picnometria de gás hélio, o método consiste na determinação da densidade e o volume real dos sólidos. De acordo com Moura e Figueiredo (2002), normalmente utiliza-se o gás hélio por que além de inerte, penetra facilmente nos poros (acessíveis) da amostra, devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor, e, através deste, calcular a massa específica do material.

Metodologia de Caracterização dos Agregados Miúdos

Os agregados miúdos, areia, pó de pedra e pó de serra, foram ensaiados de acordo com as normas: NBR NM 45 (ABNT, 2006), NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 46 (ABNT, 2001), os ensaios foram realizados no Laboratório da UEMG João Monlevade, com exceção da determinação das massas específicas por gás hélio, realizada no Laboratório CEFET-MG.

Determinação da Composição Granulométrica

Para a determinação da granulometria, foi utilizada a NBR NM 248 (ABNT, 2003), dessa forma, as amostras secas em estufa foram peneiradas mecanicamente por 7 minutos. Isso permitiu a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra, como visto na Figura 6.

Para cada agregado, foi realizado duas vezes o mesmo ensaio, com amostras distintas.

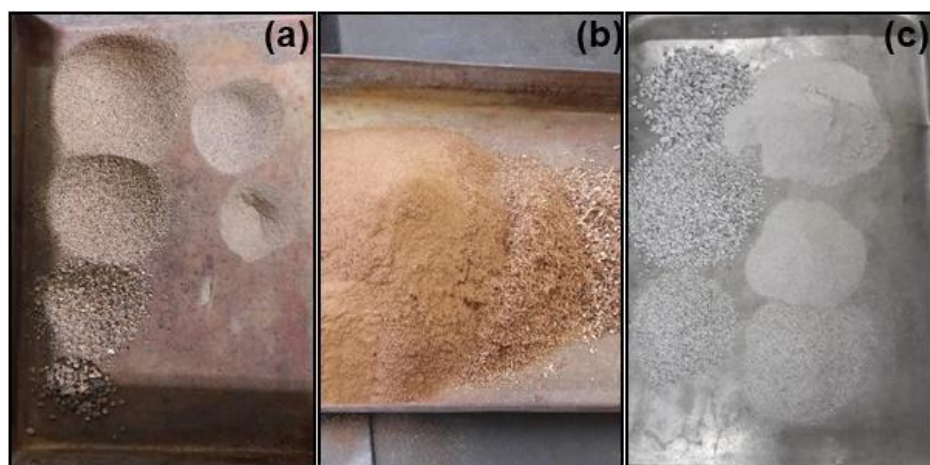


Figura 6: Composição granulométrica dos agregados miúdos, areia (a), pó de serra b) e pó de pedra (c)
Determinação da massa específica

Os ensaios de massa específica dos agregados foram realizados por picnometria à gás hélio.

Determinação da massa unitária e do volume de vazios

Os valores de massa unitária, para os três agregados miúdos: areia, pó de pedra e serra de madeira, foram obtidos por meio das orientações da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

De acordo com a dimensão máxima característica dos agregados foi adotado o método A para o ensaio. Esse método consiste em encher o recipiente com o material, seco em estufa, até um terço de sua capacidade, nivelar a superfície e golpear 25 vezes uniformemente em toda a superfície do material. O procedimento é realizado até encher totalmente o recipiente. Por fim, a massa do recipiente mais seu conteúdo é determinada.

Teor de material pulverulento

A determinação do material fino passante pela peneira de 75 μm , foi determinado através de lavagem seguindo as determinações da NBR NM 46 (ABNT, 2001), conforme procedimento A (lavagem com água).

Metodologia de Caracterização do Agregado Graúdo

O agregado graúdo, brita (gnaisse), foi ensaiado de acordo com as especificações da NBR NM 53 (ABNT, 2003), NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Pela NBR NM 53 (ABNT, 2003), foi determinada a massa específica do agregado seco, massa específica aparente, massa específica do agregado na condição saturado e superfície seca e absorção de água do agregado graúdo.

Já para a determinação da massa unitária e do volume de vazios, foi seguido os parâmetros normativos da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Por fim, para conhecimento da composição granulométrica da brita, utilizou-se a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Descrição Aditivo Plastificante

O aditivo utilizado foi o PlastoFluid RMX 179. Apresenta massa específica de 1,060 a 1,100 g/cm^3 , de acordo com dados disponibilizados pela empresa fabricante Erca Group (ERCA, 2017).

No presente trabalho utilizou-se o teor de 0,8% do aditivo para o concreto convencional e com adição de pó de pedra. Já para os concretos cujo agregado natural foi substituído parcialmente

pela serragem, foram utilizados 1% do aditivo, devido a serragem possuir elevado potencial de absorção. Os valores utilizados de aditivo plastificante estão dentro da faixa recomendada pelo fabricante, que varia de 0,5 a 1,0%.

Metodologia de Confeção dos Corpos-de-Prova

Dosagem do Concreto

O método de dosagem escolhido foi o American Concrete Institute (ACI), que segundo Tutikian e Helene (2011), é o método mais largamente utilizado na América Latina e possui grande aceitação entre os tecnologistas. O concreto foi dosado para resistência a compressão de 35 MPa.

A Tabela 1 exibe o traço definido para o concreto em estudo. Já a Tabela 2 mostra o consumo dos materiais por metro cúbico de concreto.

Tabela 1: Dosagem do Concreto

	Cimento	Areia	Brita	Água
Traço	1	2,15	2,71	0,555

Tabela 2: Consumo de Materiais

Água (l/m³) (W)	Cimento (kg/m³ (C))	Agregados graúdos (kg/m³ (B))	Agregados miúdos (kg/m³ (A))
205	369,37	1000,78	793,09

O pó de pedra e a serragem substituíram 20 e 50% da areia natural no concreto. Os agregados miúdos foram substituídos em volume. A Tabela 3 estabelece as siglas adotadas para cada tipo de concreto fabricado.

Tabela 3: Siglas dos concretos fabricados

Traço fabricado	Sigla
Concreto Referência	CR
Concreto com 20% de pó de serra	20% CPS
Concreto com 50% de pó de serra	50% CPS
Concreto com 20% de pó de pedra	20% CPP
Concreto com 50% de pó de pedra	50% CPP

Moldagem e cura dos Corpos-de-Prova

A moldagem dos corpos-de-prova seguiram as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2003) Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Utilizou-se betoneira CS 150L disponível Centro Tecnológico da UEMG, laboratório de Engenharia Civil para a moldagem. Foram utilizados moldes cilíndricos com dimensões de 10x20 cm.

O método utilizado para a mistura dos materiais na betoneira é chamado Método de Mistura Dupla. Como o próprio nome sugere, esse processo é dividido em duas etapas, as quais somam cinco minutos, na primeira etapa são adicionados os agregados miúdos e graúdos e misturados por trinta segundos, em seguida é acrescentado parte da água de amassamento. Após um minuto de funcionamento da betoneira é adicionado o cimento. No fim de dois minutos, a betoneira é desligada e efetua-se a limpeza das laterais e uma mistura manual. Ao retornar o funcionamento coloca-se a segunda água, neste momento, no presente trabalho, foi adicionado também o aditivo plastificante (PlastoFluid RMX 179). Posteriormente, o processo de mistura é encerrado após dois minutos (SALLES, 2018). Na Figura 7 é possível visualizar o método.

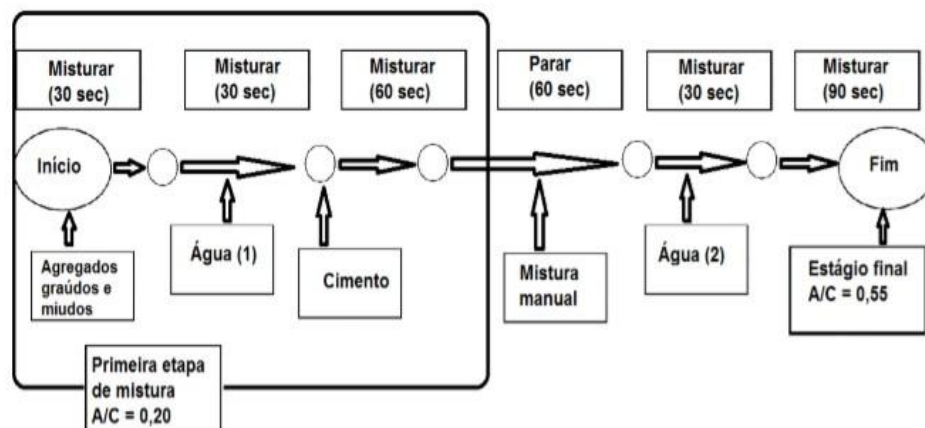


Figura 7: Método de Mistura Dupla

Para o adensamento do concreto, foi utilizado método mecânico com o auxílio da mesa vibratória disponível no mesmo laboratório, da marca Pavitest/Contenco.

Após 24h os corpos-de-prova foram desmoldados e identificados, com exceção dos que obtiveram pó de serra em sua composição que demandou maior tempo de pega para serem desmoldados. Em seguida, foram imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio, até completarem 28 dias, ou seja, idade do ensaio. Foi realizado capeamento dos corpos-de-prova com enxofre.

Metodologia de Caracterização do Concreto

Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone

O ensaio realizado com molde específico, seguiu as referências normativas da NBR NM 67 (ABNT, 1998), recebendo 3 camadas de concreto, que foram compactadas com 25 golpes. Logo após retirado o molde, foi medido o seu assentamento.

Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio tomou como referência a NBR 5739 (ABNT, 2007) Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Os CP's foram rompidos aos 28 dias, conforme a Figura 8. A prensa utilizada é da marca EMIC/INSTRON, disponível no Centro Tecnológico da UEMG João Monlevade.



Figura 8: Corpo de prova sendo rompido à compressão axial na prensa EMIC/INSTRON

Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Seguindo os parâmetros da NBR 7222 (ABNT, 2011), aos 28 dias, os corpos-de-prova foram ensaiados para a determinação da resistência à tração por compressão diametral, o ensaio foi realizado no laboratório CEFET-MG.

Determinação do Módulo Estático de Elasticidade à Compressão

De acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008), foi determinado o módulo estático de elasticidade à compressão. O ensaio foi realizado aos 28 dias, no laboratório CEFET-MG.

Determinação da Absorção de Água por Imersão

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987), que prescreve o método para a determinação da absorção de água por imersão. O ensaio ocorreu após 28 de cura dos corpos-de-prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo visa apresentar e analisar os resultados obtidos através do programa experimental descrito no capítulo anterior. A análise dos resultados, tem como foco a comparação entre os resultados obtidos para a areia natural em comparação ao pó de pedra e serragem.

Caracterização do Cimento

Através da picnometria, obteve-se o valor de 3,058 g/cm³ para a massa específica do cimento utilizado. Demais ensaios de análises químicas e físicas do cimento foram fornecidos pela empresa fabricante em relatório de ensaios de cimento (LAFARGE HOLCIM, 2018).

Caracterização dos Agregados Miúdos

Curva Granulométrica

A Tabela 4 apresenta as quantidades retidas acumuladas médias de cada agregado miúdo utilizado. Em seguida a Figura 9 apresenta as curvas granulométrica dos agregados miúdos, juntamente com os limites utilizáveis conforme NBR 7211 (ANBT, 2009).

Tabela 4: Porcentagens médias acumuladas de agregados miúdos retidos nas peneiras

Peneira (mm)	Areia Natural (%)	Pó de Pedra (%)	Pó de Serra (%)
4,75	0	0	0
2,36	3	15	1
1,18	20	40	4
0,6	50	53	16
0,3	90	72	55
0,15	97	85	89
Fundo	100	100	100

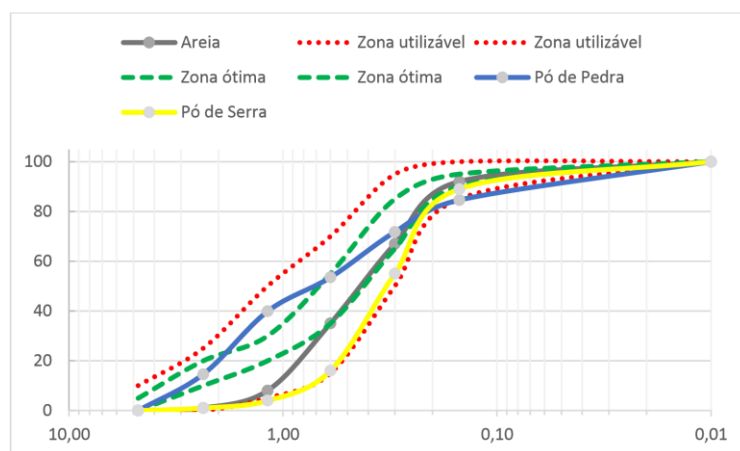


Figura 9: Porcentagens médias acumuladas de agregados miúdos retidos nas peneiras

O módulo de finura encontrado foi respectivamente: 2,61 para a areia, 2,64 para o pó de pedra e 1,65 para o pó de serra, sendo que de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), o módulo de finura da areia e pó de pedra se encontram dentro do limite da zona ótima e o módulo de finura do pó de serra na zona utilizável inferior.

Determinação da massa específica

A Tabela 5 apresenta os resultados para massa específica obtida através do ensaio por picnometria.

Tabela 5: Massa específica dos agregados miúdos

Massa específica Areia (g/cm ³)	Massa específica Pó de Pedra (g/cm ³)	Massa específica Pó de Serra (g/cm ³)
2,711	2,639	1,441

Através dos resultados obtidos, pode-se perceber que a massa específica do pó de pedra apresenta valores similares à massa específica da areia utilizada, enquanto a massa específica do pó de serra é cerca de 53% menor quando comparada a areia.

Determinação da massa unitária e do volume de vazios

A Tabela 6 indica os resultados de massa unitária e índice de volume de vazios obtidos nos ensaios para os agregados miúdos.

Tabela 6: Massa unitária e volume de vazios dos agregados miúdos, valores médios

	Areia	Pó de Pedra	Pó de Serra
pap, Massa unitária do agregado (kg/m ³)	1473,71	1701,90	323,58
Ev, Índice de volume de vazios nos agregados (%)	45,61	34,12	77,50

Observou-se que o pó de pedra apresenta maior massa unitária entre os agregados miúdos utilizados. Em relação ao pó de serra, esse apresenta massa unitária 78% menor em comparação à areia natural. Os resultados obtidos foram coerentes aos obtidos para massa específica, pois os agregados com maiores massas específicas também apresentaram maiores massas unitárias.

Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados alcançados por Menossi et al. (2010), onde a massa unitária do pó de pedra é ligeiramente maior quando comparada a areia, e

também favorece os resultados alcançados por Garcez, Gatto e Santos (2013), que denota grade diferença nos valores de massa unitária para o pó de serra.

Os resultados obtidos revelaram que quanto maior a massa unitária, menor o índice de vazios, fato que pode ser explicado pelo grau de compactação, que depende da forma das partículas. Segundo Neville (2016), as partículas menores são adicionadas entre as maiores, aumentando, a massa unitária dos agregados.

Teor de material pulverulento

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para a determinação do material fino passante pela peneira de 75 μm . Os valores encontrados para a utilização da areia e pó de pedra no concreto estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), que permite valores superiores para os grãos gerados por britagem de rochas (de 12% para concretos protegidos do desgaste superficial). O valor máximo de 12% pode ser considerado desde que seja possível comprovar que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. Já o pó de serra apresentou elevado teor de material pulverulento, o que pode provocar efeitos diversos na mistura, pode ser benéfico, uma vez que, pelas propriedades uniformes e a finura pode contribuir para o efeito fíler, ou provocar efeitos indesejáveis como consumo excessivo de água e baixa trabalhabilidade.

Tabela 7: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm por lavagem (%)

Areia	Pó de Pedra	Pó de Serra
0,54	7.5	9,77

Caracterização do Agregado Graúdo

De acordo com a NBR NM 53 (ABNT, 2003), determinou-se a massa específica do agregado seco, massa específica aparente, massa específica do agregado na condição saturado e superfície seca e absorção de água do agregado graúdo. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 8.

Tabela 8: Propriedades físicas do agregado graúdo, valores médios

d, Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	ds, Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm ³)	da, Massa específica aparente (g/cm ³)	A, Absorção (%)
2,625	2,584	2,558	1

Os valores encontrados para a massa unitária e índice de vazios são representados na Tabela 9, ambos calculados conforme NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Tabela 9: Massa unitária e volume de vazios do agregado graúdo, valores médios

pap, Massa unitária do agregado graúdo (kg/m ³)	Ev, Índice de volume de vazios do agregado graúdo (%)
1442,28	44,94

A brita utilizada possui diâmetro máximo de 19 mm, resultado demonstrado pelo ensaio conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003). De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), classifica-se o agregado graúdo como brita 1. A Figura 10 apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo em estudo.

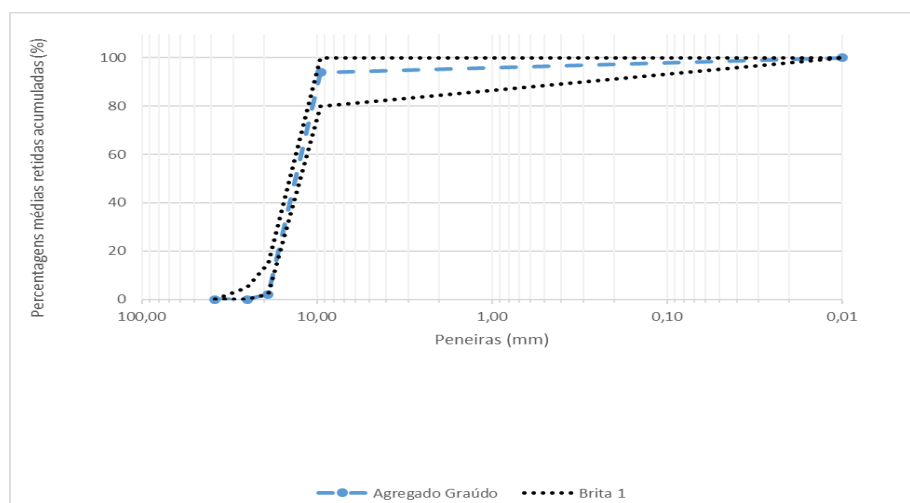


Figura 10: Percentagens médias acumuladas de agregados graúdo retidos nas peneiras

Caracterização do concreto

Os ensaios descritos neste item foram realizados com o objetivo de avaliar as características dos concretos fabricados, através da substituição de 20 e 50% dos concretos utilizando o pó de pedra e pó de serra. No entanto, os concretos utilizando pó de serra não apresentaram resultados satisfatórios, demandaram elevado tempo de pega, permanecendo ainda frágeis nas primeiras 24 horas posteriores à moldagem, como pode ser visto na Figura 11 (a), e, após serem submetidos à cura submersa a maioria dos CP's se perderam (b).

Carvalho (2000) associa a essa ocorrência às interações que ocorrem entre a madeira e o cimento, para esse autor há uma incompatibilidade química entre ambos. Beraldo e Carvalho (2004) explicam que o ataque sofrido pela madeira pela ação dos álcalis do cimento pode converter parcialmente as hemiceluloses e polímeros de açúcar, o que provoca problemas na pega do cimento.

Dessa forma, não foi possível realizar os ensaios para o concreto endurecido que levou 50% de substituição da areia pelo pó de serra, e devido ao número de CP's restantes da moldagem de 20% CPS, foi possível avaliar apenas a trabalhabilidade (Slump Test), resistência a compressão e a absorção de água por imersão.



Figura 11: CP's com adição de pó de serra após 24 horas de moldagem (a) e perda dos CP'S ao iniciar o processo de cura submersa (b)

Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone

A trabalhabilidade do concreto é aferida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone. Para o concreto em estado fresco, seguem os resultados do Slump Test, na Figura 12.

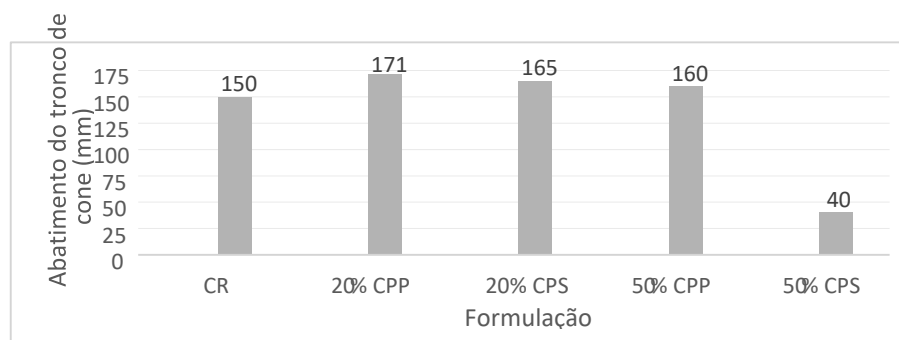


Figura 12: Abatimento médio do tronco de cone (mm)

A quantidade de aditivo utilizada nos concretos levou em conta as características dos agregados presentes na pasta, dessa forma, foi utilizado o valor de 0,8% de plastificante nos CP's referência e com adição de pó de pedra, e, 1% no concreto com a presença de pó de serra. Essa variação deve-se à característica da serra de madeira, sendo essa mais absorvente que os demais agregados.

De acordo com os experimentos Garcez, Gatto e Santos (2013), percebeu-se que quanto maior o percentual de substituição de areia por serragem no concreto, maior foi a quantidade de água exigida para se atingir uma melhor consistência, o que evidencia que a madeira é um material higroscópico, ou seja, um material que possui capacidade de absorver água e posteriormente mantê-la em sua estrutura.

De acordo com Neville (2016), quando o teor de água e as outras proporções da mistura são constantes, a trabalhabilidade é determinada pela dimensão máxima do agregado, sua granulometria, sua forma e textura.

A partir dos dados apresentados, é possível notar que os concretos 20 e 50% de CPP apresentam maiores valores de abatimento do tronco de cone, em relação ao CR. O agregado proveniente da britagem de rochas apresenta um módulo de finura de 2,64, ligeiramente maior que o da areia de 2,61, e maiores teores de finos retidos nas peneiras com menores diâmetros. Dessa forma, atribui-se esse aumento ao efeito filler, originado pela adesão do pó de pedra à massa. De acordo com Tashima et al. (2011), o efeito filler é o preenchimento de vazios do concreto utilizando partículas menores, de forma a reduzir a quantidade de poros, melhorando a coesão da matriz de cimento. Para Wada (2010), esse efeito além de aumentar a compacidade do concreto eleva também a sua resistência.

A substituição de 20% de pó de serra favoreceu os valores de abatimento, o que é explicado pela adição de maior quantidade de plastificante neste concreto, em relação aos demais. Já a adição de 50% de pó de serra no concreto, mostrou grande influência no valor do abatimento, uma vez que houve um excessivo decréscimo, em relação ao concreto referência. Infere-se que a maior concentração desse agregado no concreto tenha absorvido grande quantidade de água, diminuindo a fluidez da mistura.

Resistência à Compressão

A Figura 13 apresenta os resultados médios de resistência à compressão dos concretos fabricados, na idade de 28 dias.

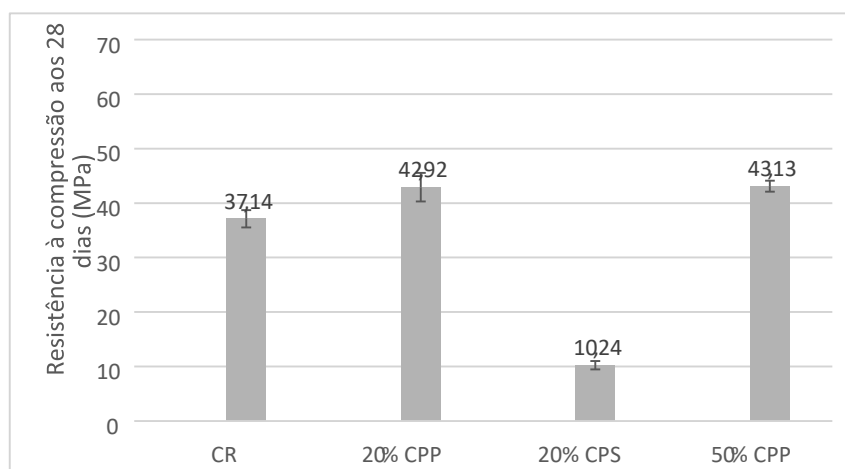


Figura 13: Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)

A partir dos resultados obtidos é possível observar um acréscimo no valor da resistência à compressão dos concretos de 20 e 50% CPP, sendo que a adição de pó de pedra foi responsável pelas maiores resistências, superiores em relação ao CR. Já o concreto 20% CPS obteve resistência demasiadamente inferior ao concreto de referência.

Ao analisar os concretos CPP (20 e 50%), nota-se a semelhança no valor da resistência, ambos apresentaram ganho de aproximadamente 16% de resistência à compressão.

Menossi (2004) confeccionou em seus estudos corpos de prova de concreto, de modo que a areia natural foi gradualmente substituída pelo pó de pedra, nas proporções de 25%, 50%, 75%, e 100%. Com isso constatou que esses finos têm influência direta na resistência à compressão e na trabalhabilidade, pois concretos produzidos sem a presença dos mesmos apresentaram características físicas e químicas inferiores ao concreto com presença de finos. Os resultados estão expostos na Figura 13.

Já o concreto 20% CPS não apresentou resistência satisfatória, de acordo com Garcez, Gatto e Santos (2013) observaram que, quanto maior o percentual de serragem em substituição a areia, menor o limite de resistência do concreto, tanto no ensaio de compressão axial quanto na tração por compressão diametral, sendo que com 100% de serragem em substituição a areia, houve uma redução de aproximadamente 77% no limite de resistência a compressão axial. Miller e Moslemi (1991), explicam essa ocorrência devido às reações inibitórias que podem se desenvolver na interface madeira-cimento, ou na matriz, ocasionando o enfraquecimento das ligações químicas e mecânicas entre madeira e cimento.

Resistência à Tração por Compressão Diametral

Para a obtenção de resistência à tração dos concretos o método utilizado foi a compressão diametral, cujos valores são apresentados na Figura 14

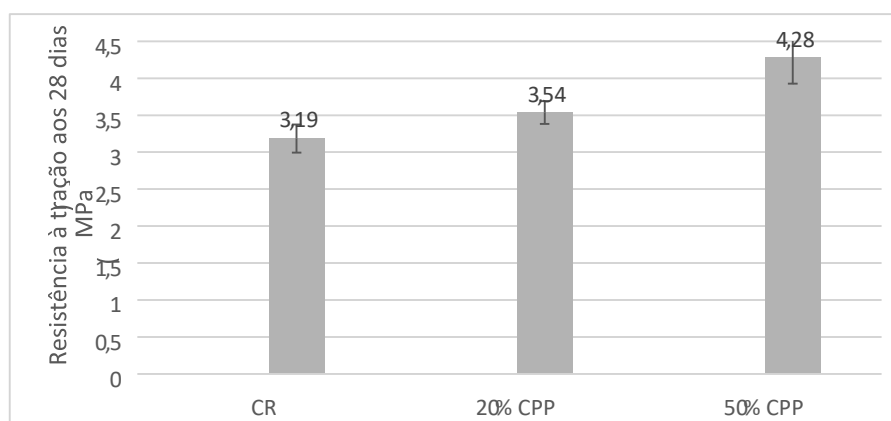


Figura 14: Resistência à tração aos 28 dias (MPa)

Os valores indicam um acréscimo nos resultados de resistência à tração diretamente proporcional ao aumento da porcentagem adicionada de pó de pedra aos concretos. Dessa forma, tanto o 20 e 50% CPP apresentaram resistências maiores que o CR.

Os resultados mostram-se compatíveis com os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, uma vez que o concreto 50% CPP apresentou em ambos os maiores valores de resistência.

Módulo Elástico de Elasticidade à Compressão aos 28 dias

A Figura 15 expõe os resultados dos testes do módulo estático de elasticidade à compressão, aos 28 dias.

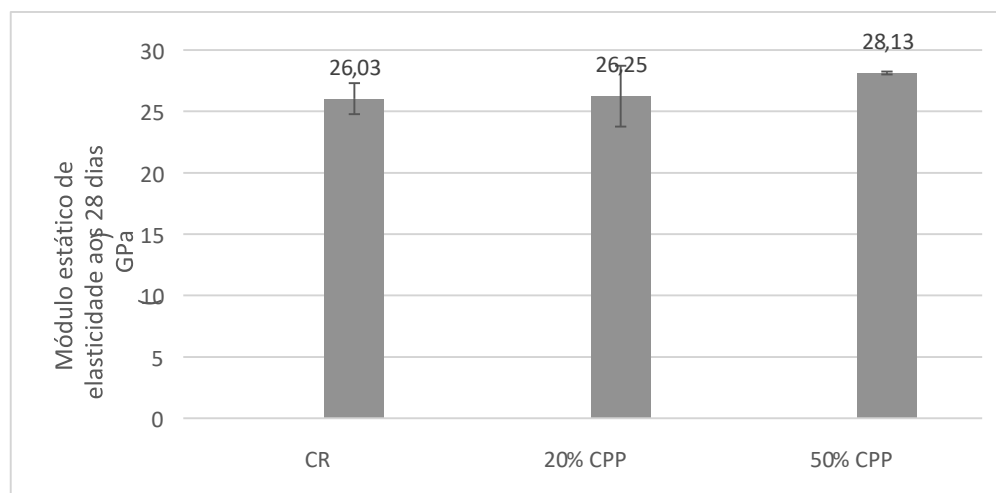


Figura 15: Módulo elástico de elasticidade médio aos 28 dias (GPa)

Através das análises dos dados, pode-se perceber que a substituição da areia natural pelo pó de pedra exerceu pouca influência quanto ao módulo de elasticidade, tendo os valores próximos ao concreto de referência. Observa-se, entretanto, a tendência de incremento para os valores conforme é maior o teor de substituição. Neville (2016) aponta que quanto mais resistente for o concreto, menor será sua deformação, portanto, concretos de alta resistência possui maior módulo de elasticidade. Os resultados apresentados neste trabalho, favorecem as assertivas de Neville (2016), uma vez que, os concretos que apresentaram maiores módulos de elasticidade também apresentaram as maiores resistências, e também corroboram os estudos de Moraes, Oliveira e Ritt (2015), que evidenciaram módulo elástico superior para concretos utilizando areia britada e associam este fato a maior rigidez desse agregado.

Absorção de Água por imersão

A Figura 16 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água por imersão dos corpos-de-prova.

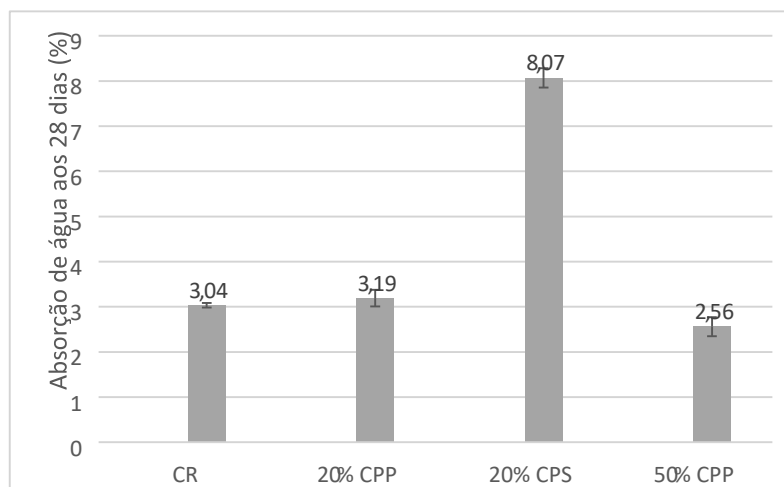


Figura 16: Absorção de água média aos 28 dias (%)

Mais uma vez, no quesito absorção de água por imersão, os concretos que tiveram substituição de areia pelo pó de pedra apresentaram resultados semelhantes ao concreto referência. O 50% CPP teve o menor valor para este ensaio, o pó de pedra possui maior quantidade de material pulverulento comparado a areia natural, e menor índice de vazios, o que implica menor absorção de água para este tipo de concreto.

O índice de absorção de água por imersão do concreto 20% CPS mostrou-se superior aos demais.

CONCLUSÃO

A partir do presente trabalho, é possível inferir que os objetivos do mesmo foram cumpridos, sendo que o concreto utilizando o pó de pedra apresentou resultados satisfatórios para o uso. Já o concreto utilizando pó de serra, foi julgado não exequível, uma vez que, a maioria dos CP's utilizando o pó de serra demandaram um grande tempo de pega e, após submersos em água para a cura, apresentaram-se frágeis e se romperam antes mesmo de atingirem a idade de 28 dias, não sendo possível a realização de todos os ensaios.

Dessa forma, a partir dos experimentos realizados, é possível apontar as seguintes considerações:

A partir das características físicas analisadas, o pó de pedra mostrou-se viável como agregado miúdo no concreto, atendendo a todos os requisitos para esse fim. Os valores obtidos de módulo de finura, massa específica, massa unitária e índice de vazios para o pó de pedra mostraram-se próximos aos da areia natural, embora o teor pulverulento tenha sido superior, porém dentro dos limites normativos.

Em contraste, os ensaios de caracterização da serragem de madeira evidenciaram grandes diferenças em relação à areia, com massa específica, massa unitária e módulo de finura consideravelmente inferiores, e teor pulverulento e índice de vazios significativamente maiores.

Quanto à trabalhabilidade, não houve grandes diferenças entre os concretos confeccionados. O maior valor foi observado no concreto com 20% de pó de pedra, em função do efeito filler. Já a serragem, por ser mais absorvente, exigiu maior quantidade de plastificante para melhorar a trabalhabilidade.

Nos ensaios de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade aos 28 dias e absorção por imersão, os valores obtidos para concretos com pó de pedra foram próximos, iguais ou até superiores aos do concreto referência, demonstrando a viabilidade de sua substituição. Por outro lado, o concreto com pó de serra apresentou resistência à compressão muito inferior, além de maior tempo de pega e endurecimento necessário.

Dessa forma, o pó de serra não é recomendado para substituição do agregado miúdo natural nas condições estudadas, devido ao elevado potencial de absorção, que pode comprometer a

durabilidade do concreto por aumentar a retração. Entretanto, estudos futuros podem permitir sua utilização com melhor arranjo granulométrico, visando melhorar as propriedades do material.

Conclui-se, portanto, que os resíduos oriundos da britagem de rochas são viáveis como substitutos parciais da areia natural no concreto. Já a serragem de madeira requer estudos adicionais para otimizar seu aproveitamento. A utilização de resíduos no concreto apresenta grande relevância ambiental, ao reduzir a exploração de agregados naturais provenientes de leitos de rios.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M.; BISPO, L. H. O.; DAVID, T. A. **Areia artificial a partir de finos de pedreiras brasileiras**. CETEM, 2013.

ALMEIDA, S.L.M.; SAMPAIO, J. A. **Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras**. XIX ENTMME. Recife, 2002.

ABIB - Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa. **Biomassa e Energia Renováveis. Woodpellets: Mercado Internacional Produção e Consumo**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://data.novo.gessulli.com.br/file/2014/08/27/E142912F00001-X544.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem**, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral e corpos-de-prova cilíndricos**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**, 2018.

BAUER, Falcão L. A. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e

Científicos Editora, 2012.

BERALDO, Antonio Ludovico; CARVALHO, José Vitório de. Compósito Eucayptus grandis – cimento Portland. **Scientia Forestalis**, n 65, p. 150-161, um. 2004.

BRENNER, Rafael. **A construção civil sustentável e as cidades**. ISAE Conveniada, 2015. Disponível em: <<http://www.isaebrasil.com.br/artigo/construcaocivil-sustentavel-e-cidades/>>. Acesso em: 23 de mar. 2024.

CAMPOS, Heloisa Fuganti. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: estudo experimental**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015.

CARVALHO, JOSÉ VITÓRIO DE. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto grandis na fabricação de compósitos à base de cimento Portland**. Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. Campinas, 2000.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

ERCA – Químicos para a construção, Cartilha. FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da pesquisa científica**. UECE, 2002. Disponível em: <http://leg.ufpi.br/subsiteFiles/lapnex/arquivos/files/Apostila__METODOLOGIA_DA_PESQUISA%281%29.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2024.

GARCEZ, Mônica Regina; GATTO, Darci Alberto; SANTOS, Thiara; **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com a adição de serragem em substituição ao agregado miúdo**. **Ciência e Engenharia**. V. 22, n.2, p 95 – 104, Julho – Dezembro 2013.

GARCIA, D. P. **Woodpellets, Dólar e Mercado. Pellets de Madeira**, 2018. Disponível em: <http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo. Editora Atlas S.A., 2008.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. Londrina, 2010.

Instituto Minere. **Areia: Um dos recursos minerais mais valiosos do mundo**. 2018. Disponível em: < <http://www.institutominere.com.br/blog/areia-um-dosrecursos-minerais-mais-valiosos-do-mundo>>. Acesso em: 25 de mar. 2024.

KITAMURA, Sérgio. **Estudo Experimental Sobre a Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Granito Triturado, nas Propriedades do Concreto de Cimento Portland**. Nitéroí: Universidade Federal Fluminense, 2011.

Lafarge Holcim. **Relatório de ensaios de cimento**. Pedro Leopoldo, 2018.

MATTAR, Fauze Najib; OLIVEIRA, Braulio; MOTTA, Sergio. **Pesquisa de Marketing: Metodologia, Planejamento, Execução e Análise**. 7. ed. Editora Elsevier, 2014.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Unesp, 2004.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu; MELGES, José Luiz Pinheiro; AKASAKI, Jorge Luís; CAMACHO, Jefferson Sidney; FAZZAN, João Victor; TASHIMA, Mauro Mitsuchi; SALLES, Flávio Moreira. **Pó de pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso as areia na elaboração de misturas de concreto?**. **HOLOS Environment**. V. 10, n.2, p. 209, 2010.

MILLER, D. P.; MOSLEMI, A. A. **Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength.** Society of Wood Science and Technology, 1991.

MORAIS, Guilherme César Martins; OLIVEIRA, Douglas Ribeiro; RITT, Humberto. **Caracterização e aplicação de agregado miúdo britado em concreto de cimento Portland.** *Revista Perquirere*. V. 12, n. 1, p 226-238, Julho 2015.

MOURA, Maria José; FIGUEIREDO, Maria Margarida. **Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus.** Lisboa, 2002.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P. **IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2002.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto.** 5ª ed. Santana: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, Ricardo Castro Nunes; CAMPOS, Rosiany Possati; HADDAD, Assed Naked. **Análise de risco do setor de extração de areia.** XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011.

PAIXÃO, Carolina Pereira Sathler; FERREIRA, Elvino; STACIHW, Rosalvo. **Produção e destinação dos resíduos gerados em serrarias no município de Rolim de Moura – Rondônia:** *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 2014.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani César. **Metodologia do Trabalho Científico-Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** Rio Grande do Sul. 2ª ed. Editora Feevale, 2013.

SÁ, Maria Vitórias Vieira Almeida. **Influência da Substituição de Areia Natural por Pó de Pedra No Comportamento Mecânico, Microestrutural e Eletroquímico de Concretos.** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

SALLES, Pedro Valle. **Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduos de construção e demolição.** Belo Horizonte: Cefet - MG, 2018.

SANTOS, Sílvia; VARELA, Artur Jacques Delfes; JACQUES, Giuliano; PEDRONi, Contesini. **Substituição parcial de agregado miúdo por pó de pedra na produção de concreto.** CONTECC, 2016.

Tashima, Mauro Mitsuuchi; Sousa, Leandro Cirqueira; Akasaki, Jorge Luis; Silva, Everton Jose da; Melges, José Luiz Pinheiro; Bernabeu; Jorge Juan Payá. **REAPROVEITAMENTO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** UNESP, 2011.

TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural.** Juiz de Fora: UFJF, 2013.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. Concreto: Ciência e Tecnologia.** Cap. 12, IBRACON: 2011.

VIEIRA, Eriton Geraldo; REZENDE, Elcio Nacur. **Mineração de areia e meio ambiente: é possível harmonizar?** Londrina: UEL, 2015.

VIERO, Edilson Humberto. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland.** Caxias do Sul: UCS, 2010.

WADA, Patrycia Hanna. **Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas In Loco.** Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2010.

WIECHETECK, Marcelo Ph.D. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos. 2009. Curitiba.