



ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR PÓ DE PEDRA BASÁLTICA NO CONCRETO

SABADIN, Heduarda¹

RISSATO, Jhonathan²

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento³

RESUMO:

A utilização do pó de rocha vem crescendo consideravelmente no mercado brasileiro, substituindo o uso da areia natural na composição do concreto, decorrente da geração contínua e crescente desses agregados que está diretamente ligada ao elevado desperdício de materiais na realização dos empreendimentos. Este artigo teve como objetivo principal, analisar o comportamento mecânico do concreto com substituição parcial da areia por pó de rocha basáltica comercializado na cidade de Palotina PR, com intuito de avaliar a consistência do concreto no teste de *Slump*, a resistência à compressão simples do concreto e a resistência à tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias. Trata-se de um estudo realizado no laboratório de construção civil do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, onde foram elaborados 4 tipos de concreto sendo um de referência sem adição de resíduos e outros três com substituição de 10%, 30% e 50% do agregado. Com base nos resultados, a maior resistência à compressão axial obtida foi de 20,13 MPa através do concreto com 50% de teor de substituição, sendo um aumento de 24,80% quando comparado ao concreto de referência. Em relação ao ensaio de tração por compressão diametral, a maior resistência obtida foi de 2,1 MPa com o concreto de teor de substituição igual a 30% e quando comparado ao concreto convencional o aumento registrado foi de 12,29%. Nos ensaios de abatimento observou-se uma coerência nos resultados, uma vez que quanto maior a porcentagem de substituição, menor a trabalhabilidade do concreto. Concluiu-se que a utilização do pó de pedra é viável, porém recomenda-se a utilização de aditivos plastificantes a fim de melhorar a consistência do concreto.

Palavras-chave: Pó de Rocha. Concreto. Agregados. Construção civil.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores econômicos do país atualmente e também uma das principais fontes de geração e degradação ambiental devido à má disposição de seus resíduos das diferentes etapas de seu processo construtivo. Sendo um dos maiores consumidores de recursos naturais, a construção civil pode ser uma das maiores causas da escassez de matéria prima (RODRIGUES e FUCALÉ, 2014).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: hrsabadin@minha.fag.edu.br.

² Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: jrrissato@minha.fag.edu.br.

³ Docente, Mestre, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

De acordo com Duarte e Godinho (2015), o grande volume de entulho gerado pela construção civil está se transformando em um grande problema às cidades e ao país. Inúmeras formas de reuso desses materiais são apresentadas, porém existe uma grande dificuldade cultural para o aproveitamento eficaz do material. Uma em cada cinco obras reciclam seu resíduo, pois o Brasil apresenta aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de entulho anualmente, sendo aproveitado apenas 17 milhões.

A noção das propriedades do concreto preparado com agregados reciclados ainda é pouco reconhecida. Dessa forma, é necessário estudo de dosagens acerca dos concretos reciclados e de sua influência nas diferentes propriedades mecânicas. Logo, é de suma importância buscar novos rumos para a implantação desses recicláveis na própria área da construção civil, deixando seus processos cada vez mais sustentáveis (MALTA, 2012).

Por efeito da alta demanda da areia natural no mercado nacional, as reservas deste agregado encontram-se em estado de exaustão e juntamente com os altos custos de produção e transporte, apresentam impactos diretos no custo do concreto (MENOSSE, 2004).

Mediante esses fatores, a pergunta respondida por esse trabalho é a seguinte: É possível substituir a areia natural utilizada no concreto por pó de rocha basáltica, obtendo maior resistência?

A utilização do pó de rocha vem crescendo consideravelmente no mercado brasileiro, substituindo o uso da areia natural na composição do concreto, sendo um material obtido industrialmente. Visando a utilização como agregado miúdo, crê-se que haverá a homogeneização deste material, garantindo assim, as características e resistências esperadas para o concreto em questão, diferentemente dos agregados miúdos naturais que podem apresentar impurezas de variados tipos, o que impede essa garantia de homogeneização.

Dessa forma, este artigo teve como objetivo principal, analisar o comportamento mecânico do concreto com substituição parcial da areia por pó de rocha basáltica de 10%, 30% e 50%. Os objetivos específicos deste estudo são constituídos por:

- a) Determinar a consistência pelo abatimento do tronco de cone para as diferentes proporções de substituições com pó de pedra;
- b) Determinar qual porcentagem apresenta maior resistência à compressão através do teste de compressão axial;
- c) Determinar qual porcentagem apresenta maior resistência à tração através do teste de tração por compressão diametral;
- d) Verificar qual porcentagem do pó de pedra apresenta o melhor desempenho nas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos de rochas basálticas

No que diz respeito às rochas basálticas, deve-se destacar sua participação como grande fornecedora de materiais de construção a partir da importante atividade de pedreiras distribuídas em diversas regiões. Neste sentido, ao longo da história do país, é possível verificar as grandes construções de pedras de talhe, os calçamentos de paralelepípedos, as pedras e cascalhos das fundações, a areia, a argila, entre diversos outros materiais para este setor (BARBOSA e GURMENDI, 2002).

Nesta área industrial, uma das principais operações para a produção dos minerais usados na construção civil, é a britagem, que é constituída por um processo primário de cominuição, o qual consiste na quebra da rocha, sobretudo, pela ação de esforços compressivos ou de impacto (FRANÇA, *et al.* 2019).

O pó de rocha pode ser definido, então, como produto do processo de beneficiamento dos agregados naturais de britagem, obtido através da trituração de pedras maiores por equipamentos mecânicos (LODI, 2006).

Define-se britagem como sendo um conjunto de operações com a finalidade de fragmentar blocos de minérios, até que se atinja uma granulometria compatível para utilização direta ou para posterior processamento. Ainda pode-se dizer que a fragmentação se dá através de sucessivas etapas de processos de britagem para redução em tamanhos convenientes (LUZ *et al.* 2004).

Portanto, o processo para gerar o pó de pedra se dá através da lavagem do agregado miúdo de britagem, ou seja, injeta-se sob pressão, uma quantidade de água na peneira classificadora final do britador e a separação da mistura é comumente feita por um lavador de roscas helicoidal. (BASTOS, 2003).

O agregado miúdo é um material inerte e isso faz com que sua principal função dentro do concreto seja a de enchimento. Assim, quando é realizada a substituição por materiais com características similares, a qualidade do produto final não é comprometida. Entretanto, a geometria e o tamanho dos grãos necessitam de atenção nos estudos realizados, pois esses dois fatores determinam propriedades significantes do material, como a resistência e a trabalhabilidade do concreto (SANTOS, *et al.* 2019).

2.2 Influência da utilização do pó de rocha nas propriedades do concreto.

2.2.1 Trabalhabilidade

Pode-se afirmar que a trabalhabilidade é uma propriedade transitória influenciada por muitos fatores, como as características e dosagens dos materiais que a constituem e o modo de produção do concreto, que estão associados também à redução de vazios, adensamento, moldagem e resistência à segregação (CORREIA, *et al.* 2014).

A trabalhabilidade do concreto é definida pela ASTM C-125(2007) como a particularidade que estabelece o esforço exigido para operar uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade.

De acordo com Andriolo (2005), define-se o pó de pedra como sendo o material de granulometria fina, o qual apresenta partículas de diâmetro inferior a 4,8 mm, obtida pela britagem de rocha. Esse resíduo de britagem apresenta homogeneidade em sua distribuição granulométrica. No entanto, a trabalhabilidade do concreto tende a reduzir por razão do formato dos grãos apresentarem superfície áspera e de formato anguloso. Quando em forma cúbica provocam interação maior com a mistura, ocasionando uma redução na quantidade de vazios do concreto.

A maior dificuldade para substituição da areia natural por pó de rocha é a questão da trabalhabilidade do concreto, que apresenta redução devido ao formato dos grãos inadequados. Fato que já vem sendo superado devido à contribuição de novos métodos de britagem, como é o caso do impactador de eixo vertical que proporciona, através do impacto de rocha contra rocha, a fragmentação em formatos equidimensionais que garante uma maior trabalhabilidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), trabalhabilidade está relacionada com algumas características do concreto fresco, tais como coesão e consistência e, de modo geral, a consistência é definida como grau de umidade do concreto analisada em termos de abatimento de cone, que relaciona o nível de umidade com o abatimento, sendo ligeiramente proporcionais.

2.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão está diretamente relacionada à estrutura interna que, em termos mecânicos, apresenta um parecer do desempenho do concreto estudado, podendo assim, ser classificada como a propriedade mais importante do concreto.

Obtida por meio de ensaios de corpo de prova, moldados conforme NBR 5738 (ABNT, 2015) e rompidos como estabelece a NBR 5739 (ABNT, 2009), a estimativa de resistência à compressão média f_{cmj} , corresponde a uma resistência especificada f_{ckj} , que deve ser obtida seguindo as indicações da NBR 12655 (ABNT, 2015). Após o rompimento dos corpos de prova, a máquina utilizada apresentará um relatório com gráficos e parâmetros necessários para averiguar se a resistência encontrada está conforme o esperado, e em casos de não atendimento ao exigido, deverá ser solicitado um retrabalho.

Em materiais sólidos há uma relação inversa entre resistência e porosidade. No concreto, devido às várias fases do material, cada componente apresenta uma porosidade diferente, as quais tendem a tornar-se um agente restritivo para a resistência. Em concretos com agregados naturais, os fatores que influenciam nessa propriedade são a pasta de cimento endurecida e a zona de transição da matriz para o agregado graúdo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A resistência à compressão pode ser considerada como a propriedade mais importante do concreto por estar diretamente relacionada com sua estrutura interna, indicando uma estimativa do desempenho em termos mecânicos e indiretamente, da durabilidade (TEODORO, 2013).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), nos sólidos existe uma relação fundamental inversa entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Portanto, no concreto, por tratar-se de um material de várias fases, a porosidade de cada componente pode tornar-se fator limitante da resistência. Nos concretos com agregados naturais, geralmente densos e resistentes, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecida, assim como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, é que influenciam essa propriedade.

Giongo e Jacintho (2010), citam que os fatores que intervêm na resistência mecânica do concreto são: a granulometria dos agregados, o cimento utilizado e a relação água/cimento. Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), complementam que a porosidade é outro fator que influencia diretamente a resistência do concreto, que também é conhecida como a quantidade de vazios presentes no mesmo. Todavia, Neville e Brooks (2013) mencionam que ao encontrar resistência à compressão esperada, é possível que os fatores não interfiram nas propriedades do concreto.

Ao utilizar o pó de pedra no traço do concreto, nota-se um aumento de resistência que não se associa somente ao baixo abatimento, mas com a presença de finos que aumentam a compacidade do concreto, de tal forma que a porosidade reduz, o que o torna mais resistente (MENOSSE, 2004).



2.2.3 Resistência à tração

No ensaio de flexão do concreto simples é encontrado uma tensão de ruptura por tração conhecida como resistência à tração ou também módulo de ruptura. Ao comparar a resistência à tração na flexão com a resistência à tração axial, constata-se que a primeira é aproximadamente duas vezes maior do que a segunda, fato que se explica devido à possibilidade de distribuição linear de tensões não ser verdadeira (ALMEIDA, 2002).

A resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas em ensaios realizados segundo as NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 12142 (ABNT, 2010), respectivamente.

Os ensaios mecânicos, utilizando agregados britados na confecção do concreto, apresentaram maior resistência à tração por compressão diametral e a tração na flexão. Os teores elevados de material interferem diretamente na consistência dos concretos, quanto maior o teor, maior o consumo de cimento e maior quantidade de água na mistura. Nos ensaios realizados, a utilização de 12% do pó de pedra em substituição, obteve-se um aumento de 15,22% na resistência à tração por compressão diametral do concreto (CAMPOS, 2015).

2.2.4 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade (E_{cs}) é obtido seguindo o método de ensaio estabelecido na NBR 8522 (ABNT, 2008), em que é levado em consideração o módulo de deformação tangente inicial, obtido aos 28 dias de idade dias de idade. Por outro lado, o módulo de elasticidade do concreto é mais diretamente influenciado pela rigidez dos componentes individuais e pelas características da zona de transição entre eles. A fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes, como agregados e matriz de cimento, desempenham um papel crucial na determinação do módulo de elasticidade do concreto. Considera-se importante a porosidade do agregado, a pasta de cimento e a zona de transição, tendo em vista que a densidade é inversamente proporcional à porosidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Ao realizar testes com o concreto com pó de pedra, notou-se que os valores de módulo de elasticidade ficaram abaixo do concreto de referência. Entretanto, pode-se dizer que, em pequenas idades, não interferem nos prazos de desforma (NISZ, *et al.* 2017).



O concreto é composto por duas fases: agregados e pasta. Essa pasta apresenta baixo índice de vazios, o que torna pequena a diferença do comportamento elástico das fases, fato que contribui para uma menor tendência à microfissuração do material (FREITAS, 2005).

A aplicação do pó de pedra no concreto não interferiu significativamente no módulo de elasticidade. A maior diferença encontrada foi aos 12% de substituição do pó de pedra que resultou em um aumento médio de 7% em relação ao cimento produzido sem substituição. Tal resultado pode ser explicado devido às amostras terem sido produzidas com o mesmo tipo e teor de agregado graúdo (CAMPOS, 2015).

Embora os concretos com pó de pedra tenham apresentado valores de módulo de elasticidade abaixo do CR, pode-se dizer que não são significativos a ponto de interferir nos prazos de descimbramento em pequenas idades. Portanto, todos os concretos produzidos apresentaram módulos de elasticidade superiores ao mínimo estipulado, tendo como base a resistência do concreto (f_{ck}) predeterminado aos 28 dias (REBMANN, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local de pesquisa

Trata-se de um estudo experimental realizado no laboratório de construção civil do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, com o intuito de substituir parte da areia do concreto por pó de rocha basáltica, o qual é comercializado na cidade de Palotina PR. Foram produzidos quatro tipos de concreto, sendo um sem substituição que serviu de referência para comparação de resultados e outros três com 10%, 30% e 50% de substituição do agregado miúdo. Foi realizado o teste de abatimento do concreto para analisar a consistência do concreto fresco. Posteriormente foram moldados corpos de prova cilíndricos com altura de 20cm e diâmetro igual a 10cm, os quais foram destinados ao ensaio de compressão simples e de tração por compressão diametral na idade de 28 dias.

3.2 Materiais

3.2.1 Agregados miúdos

São classificados como agregados miúdos os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1. – NBR 7211 (ABNT, 2005).

A areia utilizada (Figura 01) é proveniente do município de Guaíra (PR), classificada como areia média. É originada de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais.

Figura 01: Areia média.



Fonte: Autores (2023).

3.2.2 Pó de pedra

O pó de pedra, como é conhecido comercialmente, é o rejeito da exploração de pedreiras, que representa em torno de 15 a 20% da produção de uma instalação de britagem, como consequência da cominuição de rochas.

O pó de pedra utilizado (Figura 02) é proveniente da cidade de Palotina (PR) e, por se tratar de um agregado resultante da britagem da rocha, é candidato à substituição da areia natural.

Figura 02: Pó de pedra.



Fonte: Autores (2023).

3.2.3 Agregado graúdo

São classificados por agregado graúdo os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1. – NBR 7211 (ABNT, 2005).

O agregado graúdo utilizado na pesquisa será a brita 0 com diâmetro máximo de 9,5 mm. Optou-se por utilizar tal agregado por ser mais uniforme e assim, adquirir melhores desempenhos quanto ao adensamento e praticidade na moldagem dos corpos-de-prova, além de obter um concreto mais uniforme e resistente.

3.2.4 Cimento

Para a produção dos concretos foi utilizado o cimento Portland composto (CP-II-Z-32), cujas características devem obedecer às recomendações NBR 11578 (ABNT, 1991) (Figura 03). Optou-se por este tipo de cimento por ser o mais utilizado em obras convencionais na região.

Figura 03: Cimento.



Fonte: Autores (2023).

3.3 Concreto

3.3.1 Traço do concreto

A produção dos corpos de prova do concreto foi realizada com o traço de referência em massa 1:3:4 (cimento: areia: brita) com relação água/cimento de 0,5 e resistência à compressão esperada de 20 MPa, sendo este o traço para concreto convencional, sem a adição de resíduos e os demais com concentrações diferentes de pó de pedra basáltica de 10%, 30% e 50%.

3.3.2 Produção do concreto

A mistura dos materiais foi realizada manualmente, com a seguinte sequência: primeiramente adicionou-se o agregado graúdo, agregado miúdo e 50% da água; a mistura foi batida por 1 minuto; em seguida, adicionado o cimento e o restante da água, realizando a mistura durante 5 minutos para medir o abatimento da mistura e serem moldados os corpos-de-prova.

A moldagem e a cura dos corpos-de-prova de concreto estão estabelecidas na NBR 5738 (ABNT, 2015).

Foram moldados e identificados, para cada traço de concreto proposto, 6 corpos de prova, em fôrma cilíndrica metálica de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura (Figura 04). Após 24 horas

esses corpos de prova foram retirados da fôrma e levados à câmara úmida, onde permaneceram até a idade de ruptura. Após os 28 dias foram retirados da câmara úmida e levados para a prensa hidráulica para realização dos testes de compressão simples e tração por compressão diametral.

Figura 04: Corpo de prova.



Fonte: Autores (2023).

3.4 Ensaios

3.4.1 Trabalhabilidade e consistência

De acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), antes de realizar os ensaios de trabalhabilidade e consistência (figura 05), é importante umedecer o molde cônico e a placa de base com água limpa, para evitar a aderência do concreto às superfícies e facilitar a remoção posterior do molde. O molde cônico deve ser umedecido e posicionado sobre a placa de base, garantindo estabilidade e nivelamento. A placa de base deve estar limpa e sem excesso de água e o molde preenchido com o concreto coletado em três camadas, com aproximadamente um terço da altura do molde compactado.

Portanto, após cada camada, o concreto foi compactado com 25 golpes da haste de socamento, sendo que todas as espessuras de cada camada foram compactadas antes de adicionar a outra. Após a compactação, a superfície do concreto foi raspada com uma desempenadeira, utilizando-se movimentos rolantes da haste de compactação para garantir superfície uniforme e nivelada. A placa de base foi limpa para remover qualquer resíduo de concreto e o molde do concreto foi levantado cuidadosamente na direção vertical, evitando-se movimentos de torção lateral durante a remoção do molde. Imediatamente, após a retirada do molde, o abatimento do

concreto foi medido, determinando-se a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo de prova desmoldado.

Figura 05: Teste de abatimento do cone.



Fonte: Autores (2023).

3.4.2 Compressão axial

Para os ensaios de compressão axial do concreto aos 28 dias (Figura 06), foram rompidos 3 corpos de prova para cada teor de substituição.

Antes de iniciar o ensaio foi realizado a limpeza e secagem das superfícies de contato dos pratos inferiores e superiores, bem como as faces do corpo de prova ou testemunho para garantir uma boa aderência e contato durante o ensaio. Em seguida foi selecionada uma escala de força na máquina de ensaio que estava dentro do intervalo em que a máquina havia sido calibrada e que era adequada para a força de ruptura esperada do corpo de prova ou testemunho, o que garantiu uma leitura precisa da força durante o ensaio. Após isso, iniciou-se o carregamento do corpo de prova ou testemunho com uma velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, de forma contínua e sem choques até que ocorresse uma queda de força no corpo de prova, indicando a ruptura (ABNT NBR 5739, 2018).

Figura 06: Ensaio de compressão axial.



Fonte: Autores (2023).

3.4.3 Tração por compressão diametral

Para os ensaios de tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias (Figura 07), foram rompidos 3 corpos de prova para cada teor de substituição.

Seguindo as instruções da NBR 7222 (ABNT, 2010), o corpo de prova foi posicionado de forma que o plano axial coincidiu com o eixo de aplicação de carga. Em seguida foi utilizado uma tira de chapa dura de metal entre os pratos da máquina e os corpos de prova com intuito de apoiar e proteger os corpos de prova durante o ensaio. Os pratos da máquina foram ajustados até obter uma compressão capaz de manter o corpo de prova em posição, garantindo que este não se movesse ou escapasse durante o ensaio. Logo após, aplicou-se a carga de forma contínua e sem choques, com um crescimento constante da tensão de tração, a qual aumentou 0,05 MPa a cada segundo, com uma tolerância de $\pm 0,02$ Mpa que foi mantida até a ruptura do corpo de prova.

Figura 07: Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Ensaio de abatimento

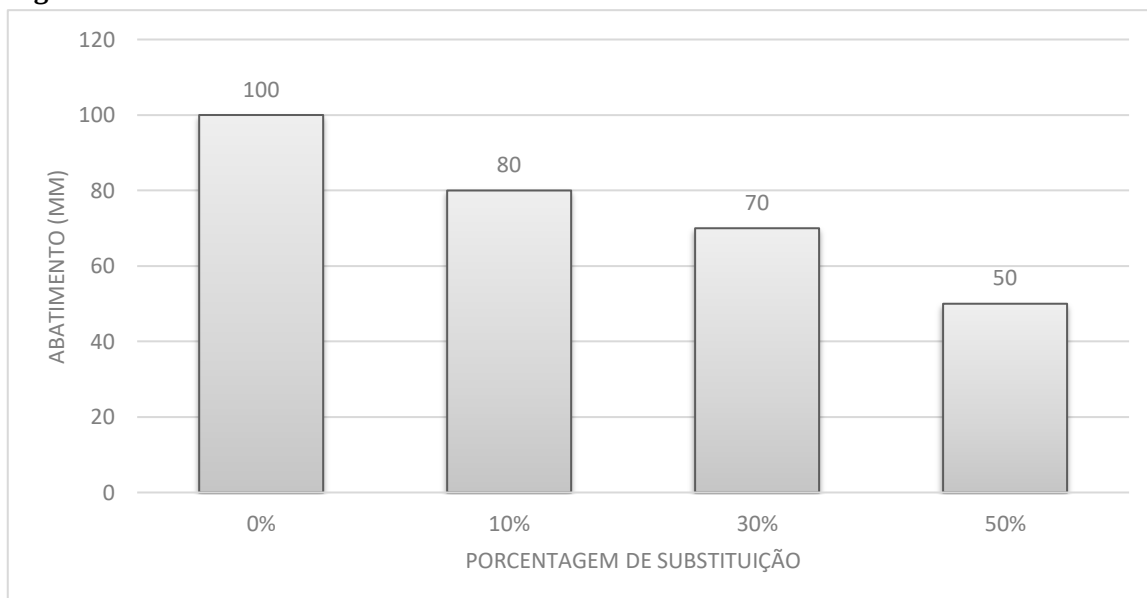
O ensaio de abatimento foi realizado de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Para coleta de dados foi realizado a medição do centro do concreto até a superfície superior do cone, tal medida representa o valor do abatimento do concreto. Os resultados obtidos foram dispostos conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1: Resultados do ensaio de abatimento

TRAÇO	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	ABATIMENTO (mm)	MÉDIA (mm)
I	0%	100	75
II	10%	80	
III	30%	70	
IV	50%	50	

Para melhor visualização e comparação dos dados, os resultados foram apresentados em um Gráfico de barras, conforme Figura 07.

Figura 07: Resultados do teste de abatimento.



Com base no gráfico disposto na Figura 07, observa-se uma coerência nos resultados, uma vez que quanto maior a porcentagem de substituição, menor a trabalhabilidade. Nota-se que houve uma redução de 50% de abatimento quando comparado o resultado do concreto padrão com o concreto que possui 50% de substituição por pó de pedra. Andriolo (2005) citou que a maior dificuldade para substituição da areia natural por pó de rocha é a questão da trabalhabilidade do concreto, que apresenta redução devido ao formato dos grãos inadequados e absorção de água por conta da quantidade de material adicionado.

4.2. Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) e com os resultados obtidos foi realizado uma média entre os 3 corpos de prova rompidos para cada traço, conforme o Quadro 2.

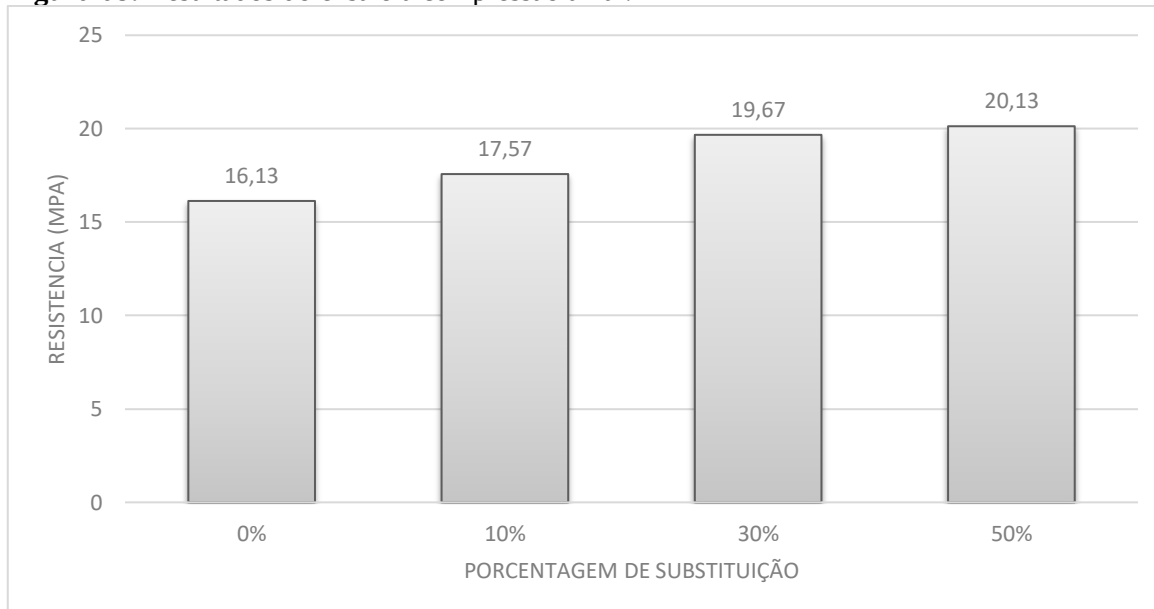


Quadro 2: Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.

AMOSTRA	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
1	0%	16,8	16,13
2	0%	15,8	
3	0%	15,8	
4	10%	17,7	17,57
5	10%	17,5	
6	10%	17,5	
7	30%	19,3	19,67
8	30%	19,9	
9	30%	19,8	
10	50%	20,9	20,13
11	50%	20,3	
12	50%	19,2	

A Figura 08 mostra um gráfico referente ao ensaio de compressão considerando os valores médios para cada traço.

Figura 08: Resultados do ensaio à compressão axial.



Como pode ser observado na Figura 08, a resistência à compressão apresentou um aumento gradativo de acordo com a porcentagem de substituição, iniciando em 16,13 MPa sendo o concreto de referência. Com 10% de substituição obteve-se uma resistência de 17,57MPa. O concreto com 30% de substituição apresentou uma resistência de 19,67MPa e para o concreto com teor de

substituição igual a 50% obteve-se uma resistência de 20,13MPa, o qual apresentou maior resistência.

Ainda analisando a Figura 08, nota-se que o concreto de referência não atingiu a resistência mínima esperada de 20MPa. Levando em conta que todos os corpos de prova foram moldados no mesmo dia, utilizando os mesmos materiais, crê-se que tal resultado seja consequência de o procedimento de mistura ter sido realizado manualmente, o qual pode interferir no tempo de homogeneização, afetando a resistência do concreto.

Os resultados encontrados foram comparados com os resultados obtidos por Menossi (2004), que também observou um acréscimo de resistência gradativo de acordo com a porcentagem de substituição. O aumento de resistência ao longo do tempo no concreto com a adição de pó de pedra pode ser atribuído a dois fatores principais: maior compactidade e propriedades pozolânicas dos finos no material. A compactidade melhora a resistência e as propriedades pozolânicas dos finos contribuem para um ganho adicional de resistência com o tempo.

Na pesquisa realizada por POSSAN *et al.* (2003) com diferentes composições de concreto que incorporavam pó de pedra, os autores identificaram um padrão interessante. Eles notaram que em misturas com menor consumo de cimento e taxas água-cimento mais elevadas, o acréscimo de pó de pedra resultou em um aumento da resistência à compressão, principalmente quando avaliada após 28 dias.

4.3. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado seguindo as instruções da NBR 7222 (ABNT, 2010) e com os resultados obtidos foi realizado uma média entre os 3 corpos de prova rompidos para cada traço, conforme o Quadro 3.

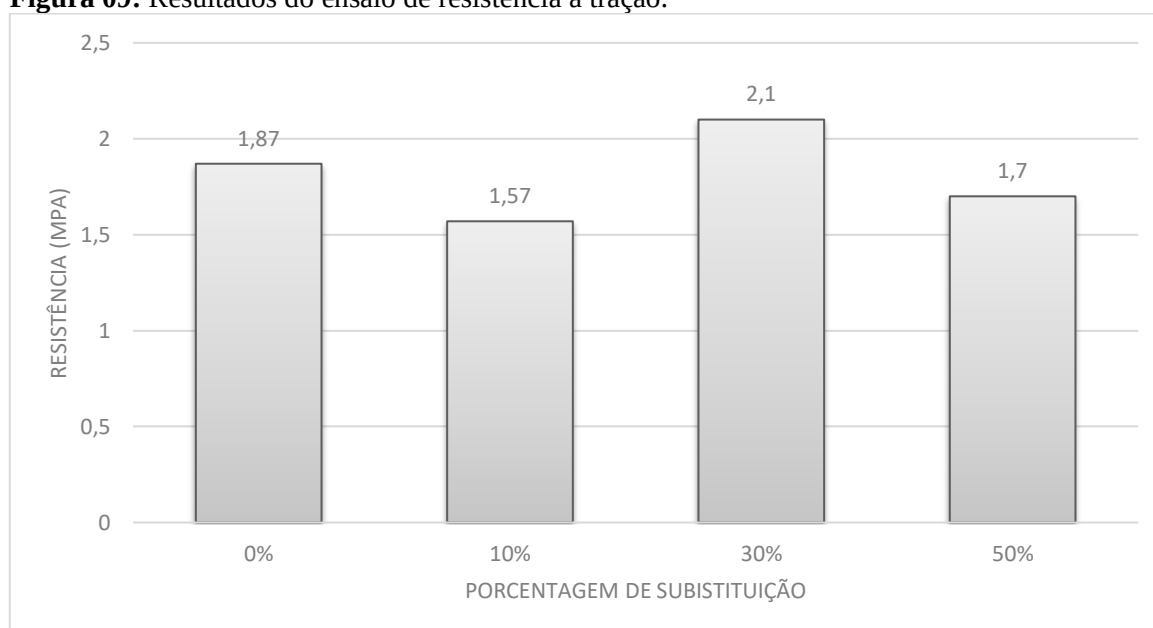
Quadro 3: Resultados do ensaio de resistência à tração.

AMOSTRA	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
1	0%	2,2	1,87
2	0%	1,7	
3	0%	1,7	
4	10%	1,9	1,57
5	10%	1,5	
6	10%	1,3	
7	30%	1,7	

8	30%	2,2	2,10
9	30%	2,4	
10	50%	1,7	1,70
11	50%	2	
12	50%	1,4	

A Figura 09 mostra um gráfico referente ao ensaio de tração considerando os valores médios para cada traço.

Figura 09: Resultados do ensaio de resistência a tração.



Como apresentado na Figura 09, a resistência à tração teve uma variação entre os resultados, sendo os traços com substituições de 10% e 50%, os que apresentaram redução de resistência, diferente do traço com 30% de substituição que apresentou um aumento de 0,23MPa quando comparado ao concreto convencional.

Levando em conta que o processo de mistura do concreto foi realizado manualmente, o tempo de homogeneização nos materiais pode ter sido afetado, acarretando numa variação dos resultados obtidos nos ensaios. Dessa forma, para se obter um concreto com um controle de qualidade mais adequado e conseqüentemente mais homogêneo, é necessário que o concreto seja produzido em uma betoneira para minimizar os efeitos decorrentes da concretagem.

Dados obtidos por Campos (2015), também mostraram resultados positivos em seu teste de tração com traço de concreto diferente. Ao substituir 12% da areia por pó de pedra, o ensaio apresentou um aumento de 5,86 para 7,12 MPa, aproximadamente 21%, enquanto o ensaio



realizado neste trabalho apresentou um aumento de 12%. Tal diferença se dá devido às porcentagens de substituição e à relação água/cimento não serem as mesmas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição parcial da areia pelo pó de pedra e seu resíduo resultou em um aumento na resistência à compressão axial do concreto, destacando-se o traço IV, que alcançou a maior resistência, atingindo 20,13 MPa.

Dessa maneira, pode-se constatar que o pó de pedra demonstrou ser uma opção viável como agregado miúdo quando utilizado em uma proporção significativa de 50% de substituição. Isso, não apenas contribui para a redução de impactos ambientais, mas também oferece uma abordagem economicamente sustentável para o aproveitamento desse material, que até então, sempre teve pouca aplicação na indústria da construção civil. Portanto, levando-se em conta a diminuição de 50% no abatimento do concreto após a substituição, pode-se considerar o uso de um aditivo a fim de melhorar seu abatimento para ser utilizado em obra.

Diante dos estudos e ensaios realizados, podemos concluir que a substituição do agregado miúdo natural pelo pó de pedra no concreto atingiu com êxito o seu objetivo, resultando em um aumento na resistência à compressão axial. Isso representa um avanço significativo e promissor para diversas aplicações na construção e engenharia. No entanto, estudos mais aprofundados em relação à utilização desse material na construção civil, devem ser realizados para possibilitar a identificação e efetivação de melhores alternativas de uso.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de provas prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____**NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____**NBR NM 7211**:2005. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2009.

_____**NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____**NBR 8522**: Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____**NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____**NBR NM 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____**NBR NM 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

BARROS, J. N. **Aproveitamento do pó de rocha basáltica proveniente da atividade mineral na forma de resíduo para aplicação na técnica de rochagem utilizada na agricultura**. TCC (Graduação de Engenharia) – Universidade Federal de Campina Grande. 2018.

CORRÊIA, A. E. SOUZA, D. P. B. **Avaliação da resistência a compressão do concreto através de testemunhos extraídos de construções na cidade Caratinga-MG**. Monografia (Graduação de Engenharia Civil) – Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC). Minas Gerais, 2014.



CAMPOS, H. F. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: estudo experimental.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná. 2015.

FRANÇA, S. C. A. SAMPAIO, J. A. LUZ, A. B. **Tratamento de minérios.** CETEM – Centro de Tecnologia Mineral / MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista. 2004.

REBMANN, M. S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 2011.

SANTOS, B. S. NASCIMENTO, R. F. ANDRADE, S. S. F. BATISTA, L. R. **Utilização do pó de pedra em substituição ao agregado miúdo do concreto.** IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019

SOUZA, F. C. **Avaliação de propriedades mecânicas e físicas do concreto com a adição de pó de brita.** 2019. TCC (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2019.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural.** 2013. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora. 2013.