

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA OBTIDA PELO CONCRETO COM A
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CONCENTRAÇÕES DE PÓ
DE PEDRA DE ROCHA CALCÁRIA¹.**

**STUDY OF THE STRENGTH OBTAINED BY CONCRETE WITH THE
PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY CONCENTRATIONS OF
LIMESTONE POWDER¹.**

José Lucas de Oliveira Câmara Silva²;

Márcio José Lima de Oliveira³;

Ronaldo Araújo De Fontes⁴;

Me. Emerson dos Santos Silva⁵.

Resumo: O avanço do país está correlacionado ao aperfeiçoamento da indústria, principalmente na área da construção civil, no enquanto está ocorrência gera problemas ambientais. Por exemplo, a indústria cimenteira tem grande contribuição para as emissões de gás carbônico (CO_2) do mundo. Através disso, são desenvolvidas pesquisas baseadas na substituição desse aglomerante por materiais que sejam semelhantes em relação as suas propriedades, com o intuito de minimizar a degradação ambiental, sem que haja perda das características fornecidas pelo cimento tradicional. Assim, este trabalho tem como objetivo propor a substituição parcial de cimento por pó de pedra calcária, levando como base estudos realizados por diversos autores. Além disso, após toda análise dos estudos, foi elaborado um traço com concentrações de substituição na tentativa de encontrar uma mistura com características semelhantes às aquelas oferecidas por 100% do cimento. Isto traz uma diminuição dos impactos econômicos e ambientais, já que utilizou o pó de pedra encontrado em uma caeira do Rio Grande do Norte para substituir 5%, 10% e 15% do cimento na execução de concretos para construções residências convencionais, sendo seu desempenho avaliado por ensaio de compressão de corpos de prova. O resultado obtido no trabalho levantado demonstra a efetividade da substituição parcial de pó de pedra no cimento, principalmente na proporção de 5%, na qual foram observados os melhores valores em relação à resistência e trabalhabilidade do concreto. Através deles evidenciou se as vantagens e as desvantagens de sua utilização, sobretudo no que tange a fatores econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Substituição parcial de cimento. Ensaio de compressão. Emissão de gás carbônico (CO_2).

Abstract: The advancement of the country is correlated to the improvement of the industry, especially in the area of civil construction, while this occurrence generates environmental problems. For example, the cement industry has a large contribution to carbon dioxide emissions (CO_2) in the world. Through this, researches are developed based on the replacement of this binder by materials that are similar in relation to their properties, in order to minimize environmental degradation, without losing the characteristics provided by traditional cement. Thus, this paper aims to propose the partial

replacement of cement by limestone powder, based on studies conducted by several authors. In addition, after all analysis of the studies, a mixture with replacement concentrations was elaborated in an attempt to find a mixture with similar characteristics to those offered by 100% of the cement. This brings a decrease in economic and environmental impacts, since it used the stone powder found in a caeira in Rio Grande do Norte to replace 5%, 10% and 15% of cement in the execution of concrete for conventional residential construction, and its performance was evaluated by compression test bodies. The results obtained in this study demonstrate the effectiveness of the partial replacement of stone powder in cement, especially in the proportion of 5%, in which the best values were observed in relation to strength and workability of concrete. Through them, the advantages and disadvantages of its use were evidenced, especially with regard to economic and environmental factors.

Keywords: Partial cement replacement. Compression test. Emission of carbon dioxide (CO₂).

1 INTRODUÇÃO

A construção civil foi um setor da economia que obteve crescimento e alta demanda de materiais diante da crise causada pela Covid-19. Mesmo diante da paralização de várias atividades no país, as reformas ou construções tiveram um aumento, em virtude da maior aproximação do indivíduo com sua residência, sendo essa a partir de agora muito mais que um local de dormida, ademais de trabalho e lazer (LEITE, 2020).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no fim de agosto de 2020, as empresas do ramo da construção civil, cerca de 54,8%, tiveram problemas em acessar insumos, matérias primas e outros tipos de produtos. Ressalta-se que, a alta demanda dos materiais de construção civil fizeram com que construtoras atrasassem obras por meses, devido à falta de recursos para abastecer a estrutura, fazendo com que os poucos materiais que eram encontrados no mercado obtivessem um aumento considerável, provocando um encarecimento da obra (ABREU, 2020).

Para NBR 12655 (ABNT, 2015) (Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento), “o concreto é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo, graúdo e água, além da adição ou não de minerais”. Por sua vez, o pó de pedra é o resíduo proveniente da britagem de

¹ - Título do Artigo apresentado à Universidade Potiguar, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

^{2, 3 e 4} – Graduandos em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar do Rio Grande do Norte, da sede em Mossoró/RN.

⁵ – Orientador do artigo científico, com Mestrado em Engenharia de Processos.

rochas em pedreiras, possuindo um valor comercial inexistente, contudo sendo bem trabalhada pode substituir o cimento e trazer ganhos financeiros para a gestão de obras (ALMEIDA, 2000).

Geralmente, todos os processos de extração de matéria-prima geram resíduos que não têm um destino ou um aproveitamento adequado, e, segundo a pesquisa desenvolvida pela Accenture, publicada em seu livro “*Waste to Wealth*”, até 2030 cerca de 4,5 trilhões de dólares serão oriundos do processo de economia circular, consistindo na transformação de sobras em matéria-prima.

Como poderia ser utilizado esse material em pró da sustentabilidade ambiental? E de que forma poderíamos manter ou até aumentar a resistência do concreto através de um traço mais vantajoso economicamente?

A resistência do concreto em um empreendimento é de extrema importância, já que um traço mal executado ou fora do que foi dimensionado poderá acarretar retrabalho e prejuízo financeiro, fatores esses que podem inviabilizar uma obra. Destaca-se, que a avaliação de um traço adequado, é oriundo de uma série de ensaios realizados desde o recebimento do caminhão betoneira para concretos usinados, até testes laboratoriais para os que são fabricado in loco (BAEUR, 2019).

Considerando a grande utilidade do concreto dentro das construções e o custo dos materiais em conjunto com a escassez destes, a alternativa de substituir parcialmente o cimento pelo pó de rocha calcária, sendo este a sobra do processo de extração de rochas calcárias, e que pode ser encontrado com facilidade na região Leste-Oeste no Rio Grande do Norte, poderá ser uma solução diante do acúmulo de material na região. Com isso, ele passará a ter uma utilização e poderá suprir aquele parcialmente, sendo uma alternativa para a produção do concreto, além de trazer um melhor custo-benefício para a obra e reduzir os impactos ambientais desse material na região NISZ (2012 APUD IBRACON, 2017, p.2).

Assim, o intuito do desenvolvimento deste estudo, é propor a substituição parcial do cimento por pó de pedra calcária, na tentativa de custear um empreendimento com valor mais acessível. Em seguida, analisar a concentração utilizada para a formulação de um traço com uma resistência mecânica semelhante ao encontrado com o método convencional de preparação. Diminuir a degradação ambiental causada pelo acúmulo de resíduos na região de Almino Afonso-RN, local de onde o material foi extraído. E por fim, verificar se o concreto sofre alguma consequência, em virtude da aplicação de um material pulverulento na mistura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Serão apresentados através do estudo bibliográfico os resultados de ensaios realizados por diferentes autores, onde estes foram comprovados cientificamente, sendo assim, um guia para o desenvolvimento do estudo.

2.1 Definição do Concreto

O concreto é uma mistura utilizada na construção civil, onde sua composição é composta de agregado miúdo, gráudo, água e aglomerante, pode-se aplicar aditivos e outros tipos de atribuições com o objetivo de melhorar as propriedades específicas oriundas dessa combinação (NEVILLE, 2015).

2.2 Breve resumo sobre a história do concreto

O concreto como qualquer outro material existente passou por um longo percurso para o seu desenvolvimento. Pode-se considerar o início da utilização do concreto a partir do século II a.C., com a descoberta de um agente aglomerante cimentício, oriundo da baía de Nápoles, na Itália, próximo a cidade de Pozzuoli. Da qual, ele recebeu o nome de “pozolona” em homenagem a cidade. Um exemplo da sua utilidade, foi através da civilização romana que deu origem a diversos tipos de construções, utilizando esse material em sua argamassa. O Pórtico Amélia, construído em 193 a.C, é uma exemplificação dessa combinação adotada (METHA e MONTEIRO, 1994).

[...] materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes [...]. (NBR 12653, ABNT, 2015, p.02).

O desenvolvimento do concreto convencional teve origem em 1756, através do engenheiro britânico John Smeathon, que deu o primeiro passo para a invenção do cimento Portland, por meio do uso de cal hidráulica combinado com agregado grosso e

tijolo em pó. Essa mistura foi utilizada em 1793 na construção do Farol Eddystone (CARVALHO, 2008).

O concreto como é conhecido hoje se deve ao empresário britânico Joseph Aspdin, que realizou a produção no ano de 1824 do cimento Portland, recebendo a sua patente no mesmo ano. O concreto revolucionou o modelo de construção da época até os dias atuais, onde passou a ser a mistura mais consumida do mundo após a água (HELENE; ANDRADE, 2010).

Conforme Lima (2014), o concreto estimulou as construções, em virtude de suas propriedades, principalmente sua ótima resistência, que é originada pela distribuição granulométrica e maleabilidade antes de seu enrijecimento.

2.3 Componentes do Concreto

De acordo com Petrucci (1998) e Isaia (2007), os componentes do concreto consistem na adição de água mais cimento, dando a este composto o nome de pasta, aplicando-a ao agregado miúdo, obtém-se argamassa, e por fim adicionando agregado graúdo a essa mistura, se obtém o concreto.

2.3.1 Cimento Portland

Para Bauer (2008) e Mehta e Monteiro (2014), o cimento Portland é o material que pode ser obtido pela pulverização de clínquer. Além disso, Petrucci (1998) retrata o cimento Portland de forma semelhante, definindo-o como sendo um produto obtido pela moagem do clínquer. Segundo Bauer (2008), esse material possibilita a adição de outras substâncias com o intuito de facilitar o seu uso e melhorar suas propriedades.

O cimento é o material que possui propriedades adesivas e coesivas capaz de realizar a união entre fragmentos e minerais, para a formação de um material com características melhoradas (NEVILLE, 2015).

2.3.1.1 Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI)

De acordo com a NBR 5733 (1991), o cimento Portland de alta resistência inicial é um aglomerante obtido pela moagem do clínquer, constituído em grande parte por

silicatos de cálcio de propriedades hidráulicas. Vale salientar que durante a moagem é permitida adição de materiais carbonáticos, possuindo até 5% da composição da massa do cimento, sendo o restante representada por clínquer e sulfatos de cálcio.

2.3.2 Água

A água é imprescindível para a produção do concreto, em virtude das reações químicas do cimento, conhecidas como reações de hidratação, que são responsáveis por assegurar as propriedades de resistência e durabilidade da mistura. Ademais, tem a função de lubrificar as partículas para favorecer a trabalhabilidade do concreto (BASTOS, 2019).

Para Petrucci (1998) e Fusco (2012), recomenda-se que a água de amassamento usada na confecção do concreto, seja potável. Além disso, ambos defendem que ela não deve apresentar níveis de impurezas, que são responsáveis por proporcionar problemas nas reações químicas do cimento.

Entretanto, Neville e Brooks (2013) mencionam o cuidado ao utilizar água potável, devido a existência de elevados índices de potássio e sódio. Por outro lado, eles consideram a utilização de água não potável, desde que seja limpa e tenha os critérios de minerais adequados.

A condição da água não é o única responsável pelas anomalias ou irregularidades no concreto, mas sim o exagero dela (PETRUCCI, 1998). Assim, Metha e Monteiro (1994) apresentam que a quantidade de água e cimento empregada na confecção do concreto, é o fator determinante da sua resistência. De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), o fator água/cimento “é a relação em massa entre o conteúdo efetivo de água e o conteúdo de cimento Portland e outros materiais cimentícios”.

Abrams através do livro “*Design of Concrete Mixtures*” publicado em 1919, demonstrou pela lei de Abrams, que a resistência do concreto está inversamente proporcional com a função água/cimento da mistura, conforme equação abaixo:

$$f = \frac{A}{B^x}$$

Onde:

(Eq.01)

f = resistência;

A e B = constantes empíricas;

x = relação água/cimento.

De acordo com Neville (2015), o fator água/cimento determina a porosidade da pasta do cimento enrijecido, seja qual for a etapa de hidratação. Por fim, esse fator também influencia acompanhado do nível de adensamento, a quantidade de vazios no concreto.

2.3.3 Agregados

Os agregados são formados por partículas muito finas de sólidos, são incoesivos, possuem atuação química inerte, e diferentes granulometrias (BAUER, 2008). Para Neville e Brooks (2013), e Menossi (2004), os agregados ocupam entre 70% e 75% do volume total da mistura, logo a qualidade desse material é um fator determinante no desempenho do concreto.

Mehta e Monteiro (1994), afirmam que a qualidade desse material está relacionada a sua geometria, pois interfere diretamente nas propriedades do concreto, principalmente no seu estado fresco, uma vez que partículas alongadas e angulosas necessitam de um maior volume de pasta de cimento para uma trabalhabilidade adequada. Logo, existem diversas formas geométricas de agregados, como as alongadas, lamelares e cúbicas, sendo esta última a mais indicada para a confecção do concreto (BAUER, 2013).

Por fim, os agregados são classificados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), em agregado miúdo e graúdo, a partir das suas dimensões. A diferença entre eles, é que o miúdo passa pela peneira de abertura de 4,75 mm, enquanto o graúdo fica retido na peneira de 4,75 mm, ambos seguindo os parâmetros da ABNT NBR NM ISO 3310-1 (Peneiras de ensaio– Requisitos técnicos e verificação – Parte 1:Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico).

2.4 Propriedades do concreto

O concreto possui duas fases diferentes, a primeira é chamada de concreto no estado fresco, na qual faz-se menção ao tempo necessário de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto, esse período varia de 1 a 5 horas. Já a segunda fase, recebe o nome de concreto no estado endurecido, onde envolve a hidratação do cimento, que se bem realizada interfere diretamente na vida útil da estrutura (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.4.1 Propriedades do concreto no estado fresco

O estado fresco do concreto é obtido desde a sua confecção até o lançamento nas fôrmas, ele terá que possuir uma trabalhabilidade de acordo com seu destino (Neville e Brooks, 2013). Além disso, Bauer (2008) completa afirmando que, durante o estado fresco deve-se considerar o concreto no estado endurecido, uma vez que neste estado a combinação dos materiais deve-se apresentar homogênea e com um valor mínimo de vazios, para que não afetem o resultado da mistura.

Para Helene e Andrade (2007), existem diferentes tipos de propriedades encontradas no estado fresco, todavia as que se destacam é a consistência e trabalhabilidade.

2.4.1.1 Consistência e Trabalhabilidade

Para Alves (1993) e Andriolo (1984), a propriedade do concreto no estado fresco que envolve a facilidade de mistura, transporte, lançamento e adensamento, sem que exista perda de homogeneidade, é chamada de trabalhabilidade. Sob o mesmo ponto de vista Metha e Monteiro (2008), mencionam que “uma mistura de concreto que não possa ser lançada facilmente ou adensada em sua totalidade provavelmente não fornecerá as características de resistência e trabalhabilidade esperadas”.

Por fim, a trabalhabilidade será caracterizada pelo nível de consistência que se encontra o concreto (GUERRA, 2013).

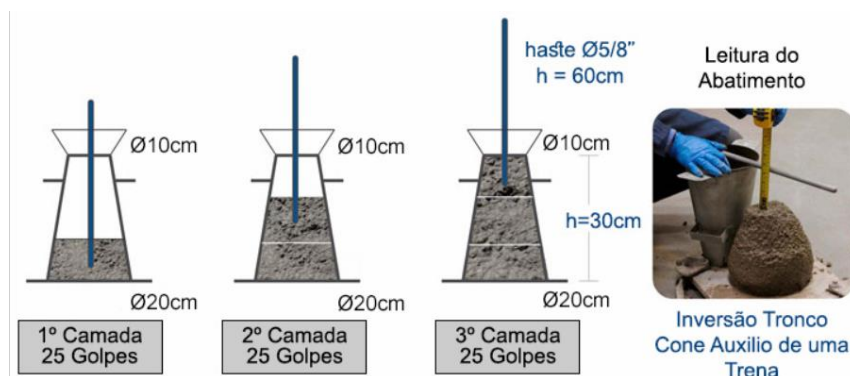
A consistência está diretamente ligada ao nível de fluidez do concreto no estado fresco, possuindo a relação de água e materiais secos como o fator primordial na sua obtenção. Existem alguns processos para se medir a consistência da massa, dentre esses, o mais utilizado no Brasil é o “*Slump test*”, devido sua fácil execução in loco SARAIVA (2000 APUD ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2018, p.23).

De acordo com a NBR 16889 (ABNT, 2020), o ensaio de abatimento do tronco de cone, ou “*Slump test*”, serve para a determinação da consistência do concreto no estado fresco pela medida do seu assentamento, este ensaio pode ser realizado tanto na obra como no laboratório. Para um estudo correto, deve-se separar a origem e o lote de cada amostra estudada.

Na realização do ensaio utiliza-se alguns aparelhos: o molde padronizado para colocar o concreto dentro, a haste para compactar o concreto a cada etapa de preenchimento no molde, a placa base para apoiar o molde e manter a superfície de teste nivelada, a régua que é utilizada para medir o abatimento do concreto fresco após a retirada do molde, e a concha que desempenha a função de preencher o molde.

O processo de teste se faz durante o preenchimento do molde com o concreto, que é aplicado e dividido no molde em 3 camadas iguais, onde entre uma camada e outra deve-se adensar o concreto da camada anterior, realizando 25 golpes com a haste, sempre tentando uniformizar os golpes para um melhor adensamento. Após o preenchimento por completo do molde, se faz o nivelamento da superfície com a haste em movimentos rolantes para garantir a consistência da mistura. Em instantes após a retirada do molde, mede-se o abatimento do concreto, determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo do concreto, sempre tentando aproximar o resultado com 5 mm de precisão e assim determinar o abatimento expresso em milímetros, conforme figura 1.

Figura 1: Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Engwhere (2019).

2.4.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

A NBR 12655 (ABNT, 2015), expõem que quando o concreto passa do estado plástico para o endurecido, este adquire resistência mecânica e está apropriado para receber esforços mecânicos. Para Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), as principais propriedades que a mistura deve apresentar no seu endurecimento são: resistência a compressão, impermeabilidade e durabilidade, e a correta aplicação do fator água/cimento influenciam diretamente nessas características.

2.4.2.1 Resistência à compressão

Para Petrucci (2005), a propriedade primordial do concreto no estado endurecido é a resistência a compressão. Metha e Monteiro (1994), e Isaia (2005) complementam que a resistência do material está relacionada com a capacidade de resistir aos esforços sem sofrer ruptura.

Giongo e Jacintho (2010), citam que os fatores que influenciam na resistência mecânica do concreto, são: a granulometria dos agregados, o cimento utilizado e a relação água/cimento. Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), acrescentam que a porosidade é outro fator que afeta a resistência do concreto, e a define como a quantidade de vazios presentes no mesmo. Todavia, Neville e Brooks (2013) mencionam que ao atingir a desejável resistência à compressão, provavelmente não haverá interferência dos fatores e as propriedades serão atingidas.

De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), o ensaio de compressão de corpos de prova é realizado para verificar se o concreto utilizado satisfaz todos os parâmetros especificados pelo projeto, além de analisar a resistência a compressão do concreto.

O procedimento consiste em realizar as moldagens de corpos de prova de concreto conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016), dando atenção para o local onde a mistura foi utilizada, com o intuito de facilitar uma possível manutenção, caso ela não atinja a resistência esperada pelo projeto. O processo envolve o rompimento de corpos de prova em períodos especificadas pela NBR 5739 (ABNT, 2018) e que devem ser seguidos à risca, com uma pequena tolerância de tempo, tanto para mais, como para menos, caso seja necessário.

Para a realização do processo é necessária uma máquina para ensaio de compressão, ela precisa estar calibrada e deve atender todas as especificações da ISO 7500-1. Ressalta-se ainda que ela deve permanecer próxima de uma fonte de energia estável para não ocorrer mudanças de força na hora do teste, o eixo dos pratos da máquina deve estar centralizado ao eixo central dos corpos de prova, para não ocorrer desvio de esforços na aplicação do ensaio, seguindo a figura 2.

Figura 2: Ensaio de resistência a compressão do concreto



Fonte: Engenium.Ej (2018).

Após a realização do rompimento dos corpos de prova ensaiados, a máquina irá mostrar os parâmetros necessários e verificar o quanto de resistência a compressão o concreto apresenta. Por fim, a partir dos resultados encontrados, será possível averiguar se o concreto está apto para ser utilizado no local onde foi aplicado ou se será preciso realizar retrabalho.

2.4.2.2 Durabilidade e impermeabilidade

A durabilidade é basicamente um atributo que o concreto possui de resistir aos intempéries que está submetido SARAIVA (2000 APUD ARAÚJO, RODRIGUES E FREITAS, 2018, p.29). Além disso, Newman e Choo (2003), complementam que a durabilidade não é uma propriedade do concreto, mas na verdade um desempenho diante das condições de exposição.

Para Fusco (2012), a durabilidade do concreto é influenciada diretamente pela impermeabilidade, pois uma mistura impermeável impede a passagem de agentes agressivos. A NBR 9575 (ABNT, 2010), define a impermeabilidade, como a propriedade responsável por impedir a passagem de fluidos e outros tipos de fontes agressivas. Mehta e Monteiro (2014) acrescentam que essa propriedade é adquirida utilizando a dosagem adequada de cimento, um fator água/cimento reduzido e executando o adensamento, e a cura de maneira correta.

2.5 Utilização de resíduos no concreto

O concreto nos últimos anos se adaptou aos diversos tipos de construções, através de melhorias nas suas propriedades que foram alcançadas por pesquisas inovadoras, que buscaram modernizar a mistura através da substituição ou adição de novos materiais em sua fórmula (SILVA, 2018). Dentro dessas pesquisas, a sustentabilidade foi uma tema que ganhou relevância ao passar dos anos, em virtude de buscar atender o desenvolvimento humano sem que haja a destruição do meio ambiente (RIBAS, 2020).

Para Neville (2015), as propriedades do concreto dependem das características dos agregados utilizados, seja pelo tipo ou por sua granulometria. Dito isso, existe uma elevada demanda desse material, uma vez que a maior parte da extração desse material é realizada em rios e lagos, por isso diversas são as buscas por opções que possibilitem a substituição dos agregados, para tentar retardar os impactos da extração e promover alternativas sustentáveis (MENOSSE, 2004). Lodi (2006), ainda ressalta que existe uma grande escassez de jazidas de agregado miúdo perto de locais de elevado índice de consumo, ocasionando a crescente falta desse material nas construções, esse problema tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas de substituição, que se aproximem do padrão da mistura convencional.

Conforme Lodi (2006), o concreto é o meio de construção mais utilizado do mundo, tendo em sua constituição cerca de 30% de agregado miúdo, cuja extração traz grandes impactos ao meio ambiente. Posto isto, Lelles (2005) retrata a relevância da extração da areia natural, mas ressalta os grandes riscos causados por essa atividade extrativista. Em virtude disso, novos mecanismos para a obtenção deste material estão sendo estudadas e a utilização de resíduos provenientes da construção civil pode ser uma solução, diante desse “mar” de incógnitas (VIACELLI, 2012).

2.5.1 Utilização de pó de pedra no concreto

Em prol disso, a utilização do pó de pedra como meio de substituir o cimento passa a ser recorrente, já que a demanda de concretos mais resistentes e o elevado custo quanto ao transporte do agregado natural, tornam essa alternativa uma boa saída diante da falta de material (WEIDMANN, 2008). Dessa forma, Viacelli (2012) afirma que essa possibilidade de se utilizar um material oriundo da britagem de rochas, causa um ganho considerável no preço final da mistura. Um exemplo disso é encontrado no sudoeste do

Paraná, no qual se chega a percorrer mais de 200 km para a obtenção do agregado natural, causando um encarecimento desse material.

Andriolo (2005), define o pó de pedra como um material fino que possui partículas com diâmetro inferior a 0,075 mm, onde estas possuem geometrias irregulares e superfícies rugosas. Esse material é classificado como um resíduo obtido do processo de britagem de rochas, onde ele é triturado e peneirado, e representa de 15% a 20% do que foi extraído do processamento da rocha (SÁ, 2006).

2.6 Estudo da utilização das concentrações de resíduos no concreto

A pesquisa de Freitas (2021) verificou amostras com teores de substituição de cimento por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na proporção de 10%, sendo que nesta alteração demonstraram a efetividade desse procedimento, na qual foram observados melhores valores em relação a resistência e trabalhabilidade do concreto. Já Raniero e Pereira (2018) fizeram a substituição de 2% e de 5% de cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar e perceberam que quanto maior a porcentagem de cinzas presente no concreto menor o resultado do “Slump test”.

Entretanto, Menossi (1994 APUD BONAVETTI, 2004, p.22) alerta sobre a quantidade de adição desse material, pois seus ensaios experimentais mostraram que o consumo de água cresce em função da quantidade utilizada de pó de pedra, diminuindo assim a trabalhabilidade da mistura.

Além disso, Hammes (2018) enaltece que concretos confeccionados com a inserção de pó de pedra podem ser usados com as substituições estudadas, pois em grande parte os resultados foram superiores ao traço de referência, sendo essa uma alternativa ambiental correta e viável.

Vale salientar, a importância de estar atento sobre a granulometria do material a ser utilizada para substituir o cimento, onde o pó de pedra necessita possuir um diâmetro inferior a 4,8 mm, para ser considerado um agregado miúdo, seguindo a NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

3 METODOLOGIA

O método de pesquisa aplicado se dá por procedimentos do tipo comparativo, que busca analisar um conteúdo e assim gerar uma base quantitativa. Assim foi elaborado toda a descrição dos métodos de ensaios utilizados, bem como as especificações das normas, equipamentos e materiais envolvidos.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a formulação dos procedimentos foram água, areia média, brita 01, pó de rocha calcária e cimento Portland (CP V – ARI). As granulometrias dos agregados utilizados estão definidas no quadro 1 e seguindo os parâmetros da ABNT NBR NM ISO 3310-1 (Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação- parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico).

Quadro 1: Granulometria dos componentes do traço.

Areia média	Entre 0,42 e 2 mm
Brita 01 Comercial	Diâmetro de 9,5 a 19 mm
Pó de pedra calcária	Diâmetro inferior a 4,8 mm

Fonte: Autores, 2022.

A areia usada na confecção do concreto, foi extraída do leito de um rio, no município de Mossoró/RN, ela foi retirada de forma manual, com auxílio de pá. A brita do tipo granítica e o pó de pedra calcária foram retirados de uma pedreira em Almino Afonso/RN. Por fim, o cimento Portland (CP V – ARI), com alto grau de finura e menor teor de filler, foi usado no desenvolvimento do estudo, sendo esse adquirido no comércio local do município de Mossoró/RN.

3.2 Métodos

3.2.1 Traço

O traço foi confeccionado a partir da finalidade da sua utilização, sendo ele elaborado na formulação de contrapiso, possuindo assim como traço base aquele especificado na tabela 1 como traço 1.

A produção dos corpos de prova do concreto foi realizada com 4 traços distintos, sendo o primeiro um traço convencional, sem a adição de resíduo e os demais com concentrações diferentes de pó de rocha calcária de 5%, 10% e 15%. As representações dos traços utilizados estão inseridas na tabela 1. Sendo que a relação água/cimento foi mensurada através da tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), levando em consideração a classe de agressividade II (Urbana).

Tabela 1: Traços dos ensaios.

Traço 01 (0%)	1:3:3:0,6
Traço 02 (5%)	1:3:3:0,6
Traço 03 (10%)	1:3:3:0,6
Traço 04 (15%)	1:3:3:0,6

Fonte: Autores, 2022.

A partir dos traços elaborados e em posse da NBR 12655 (ABNT, 2006), é realizado a mensuração da quantidade de materiais que será utilizada para aplicação dos itens retratados na tabela 1, sendo quantidade suficiente para elaboração do “*Slump test*” e da moldagem de corpos de prova. Suas concentrações são encontradas na tabela 2.

Tabela 2: Consumo de materiais.

Consumo por traço	Materiais (Kg)
Traço 01 (0%)	10:30:30:6
Traço 02 (5%)	9,5:30:30:6
Traço 03 (10%)	9,0:30:30:6
Traço 04 (15%)	8,5:30:30:6

Fonte: Autores, 2022.

3.2.2 Procedimentos para elaboração do concreto

O experimento abrange a produção de 4 tipos de concretos diferentes, conforme mostrado na tabela 1, na qual o primeiro traço é o de referência, e os demais possuem distintas adições de pó de pedra calcária. Para cada traço serão moldados 12 corpos de prova, sendo estes divididos em 4 grupos com diferentes períodos de rompimento, respectivamente, 3, 7 e 14 dias.

3.2.2.1 Ensaio granulométrico

Primeiramente, para se obter as granulometrias descritas no quadro 1, foi utilizada a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que determina as séries de peneiras para realizar o peneiramento dos agregados. Através do quadro 2, é encontrado a ordem e a numeração de peneiras que devem ser obedecidas.

Quadro 2: Serie de peneiras.

Série normal	Série intermediária
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: Adaptação da tabela 1 da NBR NM 248, 2013.

Para o auxílio desse ensaio de peneiramento foi utilizado o agitador mecânico, com a finalidade de melhores resultados, foto 1.

Foto 1: Agitador Mecânico



Fonte: Autores, 2022.

Para o ensaio granulométrico dos agregados foi utilizado a série de peneiras abordadas no quadro 2 e da NBR 7211 (ABNT, 2009), obtendo os resultados apresentados no item resultados e discussões desse estudo, juntamente com o gráfico gerado por este ensaio. No entanto, para o pó de pedra foi realizado o peneiramento na peneira de malha 200 mm, com o intuito de se equivaler com a granulometria do cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI).

Foto 2: Peneiramento Manual do pó de pedra



Fonte: Autores, 2022.

3.2.2.2 Preparação do traço

Foi utilizado uma estufa com a temperatura em torno de 100°C ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) para a secagem da areia média e do pó de rocha durante um período de um dia completo (24 horas). Também foi realizado ao ar livre, no mesmo intervalo de tempo, a secagem da brita. O procedimento está representando na foto 3, seguindo todos os itens mencionados anteriormente e baseado na norma NBR 6457 (ABNT, 2016).

Foto 3: Secagem dos agregados.



Fonte: Autores, 2022.

Após a realização da secagem, realizou-se a formulação e a produção do traço convencional, que será de base comparativa para os traços que possuem as adições. Esse traço de referência é baseado na monografia de Bezerra (2019), que utilizou a quantidade dos materiais da seguinte maneira: 1,0: 0,0: 3,0: 4,0: 0,8 (Cimento, pó de rocha, areia, brita e relação água/cimento). Como dito, o autor utilizou um fator água/cimento de 0,8 para o traço convencional, porém em todas as formulações, será adotado a relação água/cimento apresentada na tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), na qual sua mensuração se dá pela classe de agressividade ambiental.

3.2.2.4 Produção do concreto

Para a confecção do concreto, todos os materiais foram separados de acordo com as proporções do traço contidas na tabela 2, conforme foto 4.

Foto 4: Separação dos materiais



Fonte: Autores, 2022.

Os materiais foram colocados de forma sucessiva na betoneira, na seguinte ordem: brita 01, cimento Portland (CP – V ARI), $\frac{1}{2}$ da areia média e $\frac{1}{2}$ da água. A betoneira será acionada e permanecerá assim durante o período de 1 minuto. Após isso, o restante da areia média e água serão adicionados e a betoneira será novamente acionada, para a homogeneização da massa.

Foto 5: Realização do traço.



Fonte: Autores, 2022.

3.2.2.3 Ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*)

Após a produção do concreto, foi retirado uma amostra e realizou-se o ensaio de “*Slump test*”, para determinar a consistência e verificar a trabalhabilidade da massa. Os materiais utilizados no ensaio, estão descritos na tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Materiais de ensaio.

Molde metálico;
Haste de adensamento;
Placa de base;
Concha de seção U;
Régua.

Fonte: Autores, 2022.

A separação e organização dos materiais é uma etapa crucial no desenvolvimento do ensaio, ele consiste na utilização de um molde de metal, com aberturas na base superior e inferior do instrumento. Por sua vez, a haste deve ser de aço, e com superfície cilíndrica. Já a placa de base, é utilizada para ter o apoio do molde, e a concha, é responsável por inserir a amostra no molde. Mas, para medir o abatimento do concreto, se utiliza uma régua.

O tipo de adensamento utilizado no procedimento do ensaio, vai de acordo com a tabela 4. O adensamento manual foi adotado, para verificar a consistência da amostra de concreto.

Tabela 4: Classes de consistência.

Classe	Abatimento (mm)	Método de adensamento
S10	$10 \leq A \leq 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A \leq 100$	Mecânico/Manual
S100	$100 \leq A \leq 160$	

Fonte: Adaptação da tabela 2 da ABNT NBR 5738, 2015.

De acordo com a norma NBR 16889 (ABNT, 2020), o molde foi preenchido com concreto, onde este foi dividido em 3 partes iguais, na qual em cada divisão aplicou-se 25 golpes com a haste, sempre tentando uniformizar os golpes para melhor adensamento. Depois que o molde foi completamente preenchido, utilizou-se a haste com movimentos rolantes para o nivelamento de sua superfície. A partir disso, o molde foi retirado na direção vertical, com um movimento contínuo. Depois que ele foi retirado, foi observado que o concreto sofreu um abatimento/desmoronamento, onde esse foi medido com auxílio de uma régua, utilizando como referência à altura do molde.

Foi utilizada a ABNT NBR 5738 (2015 – Versão corrigida 2016), como referência para se obter a consistência adequada, onde segundo ela, para que o concreto esteja no padrão adequado de consistência e possa ser trabalhável, ele deve possuir um abatimento entre 50 e 100 mm. O ensaio de consistência serve de guia para determinação do fator água/cimento, pois ao se utilizar um traço e este possuir uma boa consistência e trabalhabilidade, é possível determinar o fator pela razão entre a massa de água e de cimento.

3.2.2.4 Ensaio de compressão dos corpos de prova

O ensaio foi realizado através da prensa hidráulica do laboratório de Construção civil da UNP, Campus Mossoró/RN. A partir da norma NBR 5739 (ABNT, 2018), realizou-se o ensaio de compressão de corpos de prova, que é utilizado para mensurar a resistência do concreto em seu estado endurecido. Antes da realização do ensaio, foi realizado a moldagem dos corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016).

3.2.2.4.1 Moldagem dos corpos de prova

Antes de formular os corpos de prova, realizou-se a lubrificação do molde com óleo mineral, utilizando um pincel. Os moldes utilizados para o ensaio possuem forma geométrica cilíndrica, com as seguintes dimensões: diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. A quantidade de camadas e de golpes efetuados para a realização do ensaio, seguem o requisito 7.4.1.2 da NBR 5738 (ABNT, 2016). O tipo de adensamento é determinante

para a mensuração do número de camadas e golpes. A partir disso, é encontrado na tabela 5, a quantidade de níveis usadas no teste.

Tabela 5: Número de camadas e golpes baseado pelo tipo de adensamento

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50

Fonte: Adaptação da tabela 3 da ABNT NBR 5738, 2016.

Como exposto, o corpo de prova possui sua forma geométrica cilíndrica com diâmetro de 100 mm e o adensamento de suas camadas será realizada de forma manual. Utilizando esse dados e baseado na tabela 5, é efetuado 12 golpes em cada camada, para um total de 2 camadas, conforme foto 6.

Foto 6: Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autores, 2022.

Após a elaboração dos corpos de prova, eles ficaram durante um período de 24 horas em estado de secagem natural (foto 7).

Foto 7: Secagem dos corpos de prova



Fonte: Autores, 2022.

Após isso foram desmoldados e submersos na água/cal para que seja realizada o processo de cura da massa (foto 8).

Foto 8: corpos de prova submersos com água e cal



Fonte: Autores, 2022.

3.2.2.4.2 Execução do ensaio de compressão

Foram moldados 12 corpos de prova para cada traço, na qual, após a desmoldagem os corpos de prova permaneceram submersos por um intervalo de 3, 7 e 14 dias. O ensaio de compressão foi realizado em 3 idades, aos 3, 7 e 14 dias. Contudo, antes da realização do ensaio foi realizada o nivelamento das superfícies dos corpos de prova, com o intuito de melhorar a aderência entre a prensa hidráulica e o material ensaiado, e fazer com que a força fosse aplicada uniformemente, como exemplificado na figura 3.

Figura 3: Nivelamento do corpo de prova



Fonte: INDUSTRIA, 2021.

De forma geral, foram moldados 48 corpos de prova, sendo a ruptura através da NBR 5739 (ABNT, 2018). O processo de rompimento cessou-se, em virtude do aparecimento de fissuras e perda da força aplicada no corpo de prova.

Foto 9: Corpo de prova



Fonte: Autores, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Logo após a realização dos ensaios citados anteriormente, obtivemos então alguns resultados, na qual podemos verificar e analisar os mesmo a seguir:

4.1 Granulometria dos agregados

No processo de peneiramento da areia, obtivemos então os dados expostos no quadro 3.

Quadro 3: Resultado do peneiramento da areia.

Serie Normal e Serie Intermediária - NBR NM 248					Valores da Norma			
Peneira	M1 =	1 kg	Médias		Limite Inferiores	Limite Inferiores	Limite Superiores	Limite Superiores
# mm	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	0	0	0	7
4,8	0	0	0	0	0	0	5	10
2,4	0,04	4	4	4	0	10	20	25
1,2	0,075	7,5	7,5	11,5	5	20	30	50
0,6	0,275	27,5	27,5	39	15	35	55	70
0,3	0,475	47,5	47,5	86,5	50	65	85	95
0,15	0,115	11,5	11,5	98	85	90	95	100
Fundo	0,02	2	2	100				
Soma	1	100	100	339				

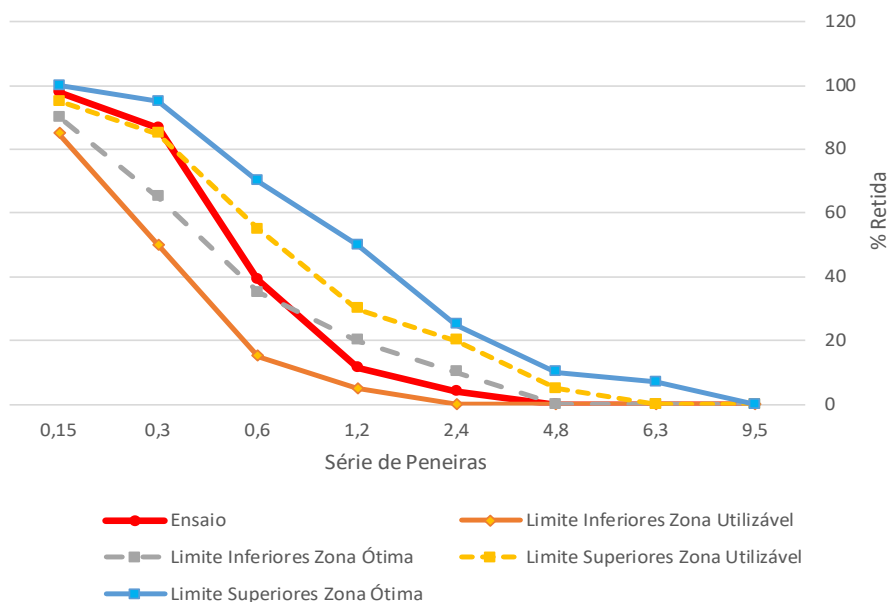
Dmax 2,4 mm

MF 2,39

Fonte: Autores, 2022.

Conforme mostrado no quadro e representado na NBR 7211 (ABNT, 2009), podemos perceber que a maior parte dos grãos de areia ficaram retidos na peneira com as malhas 1,2 mm e 0,3 mm, o que classifica assim como um material de características média conforme NBR 7215 (ABNT, 2019). Nas peneiras 6,30 mm e 4,75 mm ficaram retidas apenas alguns pedregulhos presentes na amostra. A partir dos dados, foi mensurado o gráfico 1.

Gráfico 1: Ensaio de granulometria da areia média.



Fonte: Autores, 2022.

O mesmo procedimento foi realizado para o pó de pedra, contudo todo o material foi peneirado na malha de 200 mm, com a finalidade de assemelhar com a granulometria do cimento Portland, conforme representado na foto 10.

Todo o processo foi realizado através do peneiramento manual e do agitador mecânico.

Foto 10: Peneiramento do pó de pedra.



Fonte: Autores, 2022.

Para a brita, foi adotado o mesmo procedimento, mudando apenas as malhas das peneiras, sendo então classificado como peneiramento grosso. Na qual podemos observar os dados obtidos no quadro 4.

Quadro 4: Resultado do peneiramento da brita.

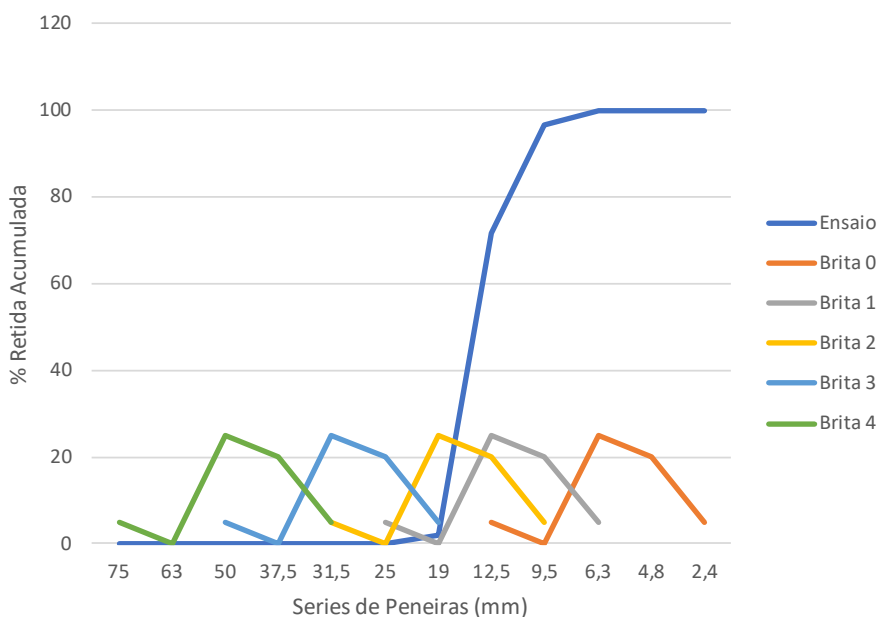
Serie Normal e Serie Intermediária - NBR NM 248					Valores da Norma				
Peneira	M1 =	1 kg	Médias		Classificação (Graduação)				
# mm	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac	Brita 0	Brita 1	Brita 2	Brita 3	Brita 4
75	0	0	0	0					5
63	0	0	0	0					13
50	0	0	0	0				5	25
37,5	0	0	0	0				13	20
31,5	0	0	0	0			5	25	5
25	0	0	0	0		5	13	20	
19	0,02	2	2	2		13	25	5	
12,5	0,695	69,5	69,5	71,5	5	25	20		
9,5	0,25	25	25	96,5	13	20	5		
6,3	0,035	3,5	3,5	100	25	5			
4,8	0	0	0	100	20				
2,4	0	0	0	100	5				
1,2	0	0	0	100					
0,6	0	0	0	100					
0,3	0	0	0	100					
0,15	0	0	0	100					
Fundo	0	0	0	100					
Soma	1	100	100	970					

Dmax 19 mm
MF 6,95

Fonte: Autores, 2022.

Conforme podemos ver, a maior quantidade de material retido no peneiramento da brita se apresentou nas peneiras 12,5 mm e 9,50 mm, sendo assim classificada de acordo com o Quadro 1 como brita 01.

Gráfico 2: Ensaio granulométrico do agregado graúdo.



Fonte: Autores, 2022.

4.2 Abatimento dos concretos

Conforme citado na metodologia, realizamos o ensaio “*Slump test.*”, na qual obtivemos os seguintes resultados mencionados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultado do abatimento dos concretos.

Abatimentos dos concretos	
Traços – Identificação	Abatimentos
Traço Base – (0%)	2,5 cm
Traço 1 – (5%)	1,5 cm
Traço 2 – (10%)	1,5 cm
Traço 3 – (15%)	1,0 cm

Fonte: Autores, 2022.

Conforme podemos analisar, não houve grandes variações mediante o ensaio de abatimento dos concretos. Apresentando apenas um menor abatimento no traço 1 e traço 2, tendo em visto que são materiais com quantidades distintas, já que a quantidade de água utilizada foi a mesma para todos os traços (a/c de 0,6), sendo assim o traço 3, se apresentou como concreto mais seco, em virtude disso, o valor do abatimento dele, tende a ser menor.

A exemplificação do ensaio é encontrada na foto 11.

Foto 11: Abatimento do concreto



Fonte: Autores, 2022.

4.3 Resistência a compressão

Conforme descrito na metodologia, realizou-se o ensaio de resistência a compressão, obtendo assim os seguintes resultados explícitos de forma resumida na foto 7.

Foto 12: Rompimento do corpo de prova.



Fonte: Autores, 2022.

Os seguintes valores foram mensurados através da média dos 2 (dois) melhores corpos de prova de cada traço na sua requerida idade de ruptura.

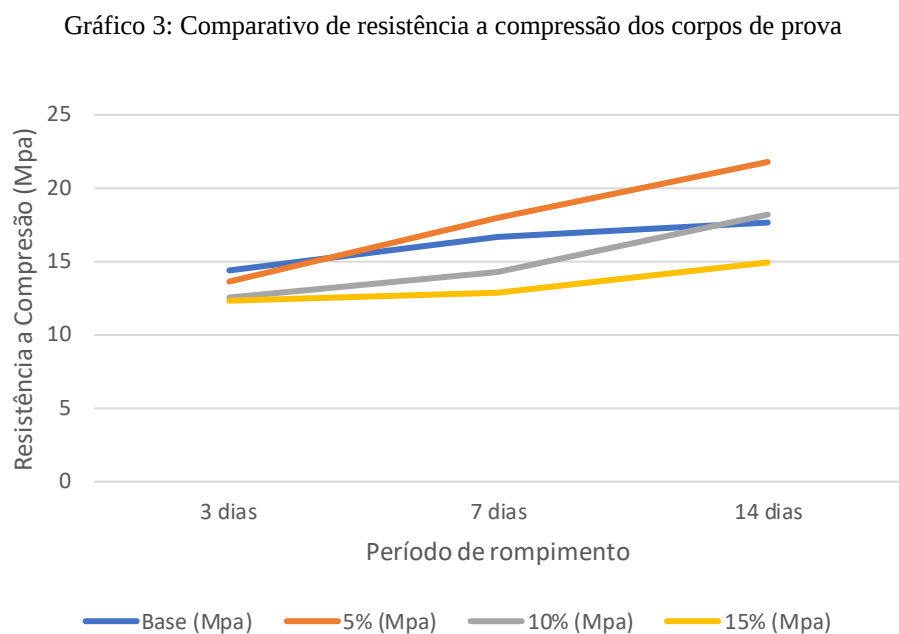
Tabela 7: Resistência a compressão dos corpos de prova.

Tabela Resumo			
	3 dias	7 dias	14 dias
Base (Mpa)	14,45	16,65	17,7
5% (Mpa)	13,7	18,05	21,85
10% (Mpa)	12,55	14,35	18,2
15% (Mpa)	12,3	12,85	15

Fonte: Autores, 2022.

Com esses resultados mostrados acima, podemos analisar que o traço onde obtivemos uma maior resistência a compressão, foi o traço cujo a dosagem apresentava um total de 5% de pó de pedra. Além disso, podemos também perceber que os concretos com a substituição do pó de pedra, em relação ao cimento, apresentaram uma maior resistência para 5% e 10%, porém uma menor resistência em uso de 15% de pó de pedra.

A partir dos resultados foi realizado um gráfico que consiste no comparativo das resistências encontradas nos corpos de provas rompidos aos 3, 7 e aos 14 dias.



Fonte: Autores, 2022.

4.4 Viabilidade financeira

A viabilidade financeira mensura por meio dos lucros e gastos, se um determinado produto poderá gerar lucro ou não para o negócio. A partir dela é possível verificar a efetividade de um projeto. Para verificação da viabilidade financeira, foi realizado uma pesquisa, na qual foi solicitado o valor o pó de pedra e do cimento. A representação dos resultados está inserida na tabela 8.

Tabela 8: Estudo da Viabilidade Econômica.

Viabilidade econômica (2022)		
<i>Identificação</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor (R\$)</i>
Cimento	1 m ³	560,00
Pó de pedra	1 m ³	60,00

Fonte: Autores, 2022.

Podemos então perceber o quão viável economicamente se torna o pó de pedra em substituição ao cimento, pois se torna um material bem mais barato, equivalente a um ganho superior a 100%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado com os experimentos realizados, foi possível verificar uma serie de dados referentes ao material em análise, o pó de pedra. Esse material por sua vez, apresentou uma maior viabilidade através do ensaio de compressão no traço equivalente a 5% de substituição do cimento, sendo os demais valores bem semelhantes ou menores aos encontrados pela formulação base, tornando-se assim um material parcialmente viável, sendo sua concentração assimilada ao máximo em 5%.

Após a realização do processo de granulometria, verificamos que o modulo de finura do pó de pedra é semelhante ao do cimento, consistindo assim uma maior resistência a compressão com concentração de até 5%, mas possuindo uma menor resistência em comparação com traços mais substituídos.

Os concretos produzidos com pó de pedra podem ser aplicados com até 5% de substituição ao cimento. Já que no requerido traço os resultados foram superiores aos traços de referência, e consistindo em uma opção ambiental correta e economicamente viável. Contudo, pode-se observar quanto maior foi o uso do pó de pedra necessita-se de maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, dessa forma sugere-se o uso de aditivos para que não haja perda de resistência do concreto como ocorreu no traço equivalente a 15% de substituição.

Conforme visto, é perceptível o elevado crescimento do consumo de cimento para fins construtivos e conseqüentemente surgem as desvantagens ambientais resultantes desse processo, sendo assim, o uso do pó de pedra na construção civil, se apresenta como sendo uma alternativa sustentável, visto que esse elemento se trata de um resíduo

proveniente do processo de britagem e apenas estocado nos pátios das pedreiras. Outro fator considerável para a utilização dele é a viabilidade econômica, pois esse produto possui um menor valor comercial quando comparado ao cimento.

Logo, com base nos dados obtidos e sabendo que um concreto estrutural deve ter uma ótima resistência e sabendo também que os resultados obtidos considera que a adição do pó de pedra no concreto nas porcentagens de 5%, 10% e 15% melhorou a trabalhabilidade, mas diminuiu a resistência do mesmo, então o mesmo não é indicado para concretos de função estrutural, mas podendo ser utilizado em estruturas sem função estrutural podendo ser citado o caso de chapisco, emboço, reboco, piso e contrapiso que os mesmos não necessitam de grande resistência.

6 REFERÊNCIAS

ABRAMS, Duff A.. **Design of Concrete Mixtures**. Chicago: Structural Materials Research Laboratory, 1919. 25 p.

ADNORMAS (ed.). **O ensaio à compressão em concreto**. 2019. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2019/03/05/o-ensaio-a-compressao-em-concreto>. Acesso em: 23 nov. 2021.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. São Paulo, 2000. 118 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia e Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ALVES, J.D., Manual de Tecnologia do Concreto. 3º ed. , Goiânia, Editora UFG, 1993.

ALVES, Rogério. **RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND: CORRELAÇÃO DE ENSAIO À COMPRESSÃO AXIAL COM ESCLEROMETRIA**. 2017. 100 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017.

ANDRIOLO, F. R. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto**. In: **Seminário: O uso da fração fina da britagem**. II SUFFIB, São Paulo, 2005. Anais, São Paulo, EFUSP, 2005.

ANDRIOLO, F.R. **Construção de concreto, manual de práticas para controle e execução**. São Paulo: PINI, 1984.

ARAÚJO, L.; RODRIGUES, R.; FREITAS, F. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: [s.n.], 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2020. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: Abnt, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto — ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos- Especificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM-ISO 3310-1:2010**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 20 p.

BASTOS, Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. Bauru: Unesp, 2019. 89 p.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **UMA BREVE HISTÓRIA DO CIMENTO PORTLAND**. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 11 out. 2021.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais da construção**. 5. Ed. Revisada, Rio de Janeiro: LTC, 2008. 471 p.

BEZERRA, Leardo Simplício et al. **Análise da substituição parcial da areia por pó de rocha calcária no concreto**. 2019.

BRANCO, Caio Pércles. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CURADO ENTRE -5°C E 0°C**. 2012. 41 f. TCC (Graduação) – Curso de Curso Superior de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL, Agência. **Material de construção some e empresários já veem atrasos em obras**. 2020. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/economia/material-de-construcao-some-e-empresarios-ja-veem-atrasos-em-obras/155363/>. Acesso em: 25 ago. 2021.

CARVALHO, J. C. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CONCRETO, Inova (org.). **História do concreto: saiba mais sobre este material construtivo**. 2019. Disponível em: <https://www.inovaconcreto.com.br/blog/historia-do-concreto/>. Acesso em: 11 out. 2021.

CONCRETO: MATERIAL CONSTRUTIVO MAIS CONSUMIDO NO MUNDO. Curitiba: INSS, 2009.

ENGENIUM.EJ. **Controle Tecnológico de Concreto**. 2018. Disponível em: <https://www.engeniumej.com/post/2018/09/29/controle-tecnol%C3%B3gico-de-concreto>. Acesso em: 27 out. 2021.

ENGWHERE, Blog do Erp Técnico (org.). **Slump Test do Concreto, Como Fazer na Obra**. 2019. Disponível em: <https://36lump36-obra.engwhere.com.br/internet/36lump-test-do-concreto-como-fazer-obra/>. Acesso em: 27 out. 2021.

FALCÃO, BAUER, .**LA Materiais de Construção - Vol. 1**. Grupo GEN, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 07 out. 2021.

FREITAS, Kaique Antônio Alves. **APLICABILIDADE DE CONCRETO ENRIQUECIDO COM CINZAS PROVINDAS DO BENEFICIAMENTO DA CANA DE AÇÚCAR**. 2021. 46p. Monografia (Curso Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 2 ed. São Paulo, SP: PINI, 2012.

GIONGO, J. S.; JACINTHO, A. E. P. G. D. **Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais**. São Carlos: [s.n.], 2007.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Trabalhabilidade**. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/trabalhabilidade.html>. Acesso em: 17 out. 2021.

HAMMES, Raissa et al. Análise estatística da substituição da areia natural por pó de pedra no concreto. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2018.

HELENE, P.; ANDRADE T. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2010. V2. P.954-988.

IBGE, Agência (org.). **Custos da construção civil sobem 0,88% em agosto, maior alta do ano**. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28817-custos-da-construcao-civil-sobem-0-88-em-agosto-maior-alta-do-ano>. Acesso em: 08 out. 2021.

INDUSTRIA, Setor (org.). **Retífica para Corpo de provas FULL**. Disponível em: <http://setorindustria.com.br/maquinas/retifica-para-corpo-de-provas-full/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. 792 p.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. PEF 5707 – Conceção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. São Paulo- SP, 1998.

LELLES, Leandro Camillo de. Et al. **Perfil Ambiental Qualitativo da Extração de Areia em Cursos D'Água**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29,n.3, p.439-444, 2005.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, T. C.; LIMA, S. F. D. **Concreto e suas inovações. Caderno de graduação - Ciências exatas e tecnológicas**. Maceió: Universidade Tiradentes, v. 1, pg 31-40, maio 2014.

LODI, Victor Hugo. **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE AREIA DE BRITAGEM EM CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND NA REGIÃO DE CHAPECÓ-SC**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina Convênio Unochapecó, Florianópolis, 2006.

MATOS, Lucas Felipe de. **Avaliação da substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo agregado miúdo de britagem (pó de pedra) quanto às características mecânicas do concreto.** 2018.

MCGUINNESS, Matthew. **A economia circular pode desbloquear US \$ 4,5 trilhões de crescimento econômico, encontra novo livro da Accenture.** 2015. Disponível em: <https://newsroom.accenture.com/37ews/the-circular-economy-could-unlock-4-5-trillion-of-economic-growth-finds-new-book-by-accenture.htm>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MEHTA, K.P.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. PINI, 1994.

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais.** 2 ed .São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira, 2004.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** 5 ed. São Paulo. PINI, 2015.

NEWMAN, J.; CHOO, B. S. **Advanced concrete technology: concrete properties.** [S.l.]: Elsevier, 2003.

NISZ, Christian Fernando. **VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DO PÓ DE PEDRA PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO.** Belém-Pa: Confea, 2017. 5 p.

NUNES JUNIOR, Jurandi José. **EFEITO DO PÓ DE PEDRA EM ARGAMASSA PARA ALVENARIA ESTRUTURAL.** Disponível em: <http://37epositorio.unesc.net/bitstream/1/1724/1/Jurandi%20Jos%C3%A9%20Nunes%20Junior.pdf>. Acesso em: 21 set. 2021.

PANALYTICAL, Malvern (org.). **Analizador de XRF pequeno, poderoso e portátil.** Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/epsilon-range/epsilon1>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. São Paulo: Globo, 1998. 307 p.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 14ª ed., revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 2005, 307 p.

RANIERO, J. A; PEREIRA, J. A. **Análise da resistência do concreto com a substituição do traço de cimento pelo composto de cinza e bagaço de cana-de-açúcar.** Naviraí: II Encontro Internacional de Desenvolvimento e Inovação, 2018.

Revista Científica Semana Acadêmica - ISSN 2236-6717
Conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), este texto científico publicado em periódico eletrônico deve ser citado da seguinte forma: SILVA, Eliaquim Imbiriba da. OS PRINCIPAIS AVANÇOS E BARREIRAS DE

NOVAS TECNOLOGIAS DE CONCRETO. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, N°. 000140, 12/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/os-principais-avancos-e-barreiras-de-novas-tecnologias-de-concreto>
Acessado em: 21/10/2021

Revista Científica Semana Acadêmica – ISSN 2236-6717
Conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), este texto científico publicado em periódico eletrônico deve ser citado da seguinte forma: SILVA, Eliaquim Imbiriba da. **OS PRINCIPAIS AVANÇOS E BARREIRAS DE NOVAS TECNOLOGIAS DE CONCRETO**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, N°. 000140, 12/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/os-principais-avancos-e-barreiras-de-novas-tecnologias-de-concreto>
Acessado em: 12/10/2021

RIBAS, Ianca Milena Oliveti. **RESÍDUOS PARA INCORPORAÇÃO EM TRAÇOS DE CONCRETO CONVENCIONAL**. 2020. 123 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020.

SÁ, MARIA DAS VITÓRIAS, **Influência na substituição da areia natural por pó de pedra, no comportamento mecânico, microestrutura e eletroquímico dos concretos**. Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, 2006.

SARAIWA, Marco Antônio Caixeta. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**. 2018. 70 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Evangélica de Goiás, Anápolis, 2018.
SHOW, Redação Concrete. **A evolução do concreto: novidades que podem impactar o setor**. 2020. Disponível em: <https://newsroom.accenture.com/news/the-circular-economy-could-unlock-4-5-trillion-of-economic-growth-finds-new-book-by-accenture.htm>. Acesso em: 29 ago. 2021.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SJÖSTRÖM, C. **Durability and sustainable use of building materials**. In: LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. (Ed.). Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.

VIACELLI, Luana. **ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO BRITADO EM CONCRETO CONVENCIONAL**. 2012. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FORMA E DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDOS DE BRITAGEM NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. 2008. 295 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.