



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS -
CCHSTL - CAMPUS AÇAILÂNDIA
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO PAULO DE ANDRADE SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CONCRETO CONVENCIONAL DOSADO COM
DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS GRAÚDOS**

Açailândia – MA
2022

PEDRO PAULO DE ANDRADE SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CONCRETO CONVENCIONAL DOSADO COM
DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS GRAÚDOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão/ Campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ma. Ludimilla da Silveira Ferreira.

Açailândia - MA
2022

S586a

Silva, Pedro Paulo de Andrade

Análise comparativa do concreto convencional dosado com diferentes tipos de agregados graúdos / Pedro Paulo de Andrade Silva – Açailândia: UEMASUL, 2022.
74 f. : il.

Monografia (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2022.

Orientador: Prof. Ma. Ludimilla da Silveira Ferreira

1. Concreto convencional. 2. Trabalhabilidade. 3. Resistência. I. Título.

CDU 624.012.4

PEDRO PAULO DE ANDRADE SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CONCRETO CONVENCIONAL DOSADO COM
DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS GRAÚDOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão/ Campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 19/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Ludimilla da Silveira Ferrelra

Prof. Ma. Ludimilla da Silveira Ferrelra (Orientador)
Mestra em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Brenda Gomes de Lima Moura

Prof. Ma. Brenda Gomes de Lima Moura
Mestra em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Andrea Ferraz Silva

Prof. Ma. Andrea Ferraz Silva
Mestra em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

A Deus digno de toda honra e glória e a todos que me ajudaram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me fornecido saúde e força para finalizar está difícil etapa de minha vida.

A minha mãe Wânia Maria pelo amor e suporte, pela educação que foi me dada e pelo apoio fornecido desde o início de minha jornada.

A minha companheira e esposa Bruna Moraes, por todo amor, apoio e incentivo fornecido desde o início de minha formação.

A minha meus familiares em especial ao meu avô Dogival Geronimo por todo suporte fornecido ao longo desta caminhada.

Aos meus colegas e amigos, em especial Vitor Machado e Ludson Bandeira pela ajuda fornecida nesta etapa final.

A todos os professores que me ensinaram nessa trajetória, em especial a minha orientadora profa. Ma. Ludimilla pela orientação, apoio e confiança.

A empresa IMPERMIX e a todos os seus colaboradores, em especial ao Fabiano e Warlen, por ter permitido a realização dos ensaios de resistência à compressão.

A empresa FRANCO Engenharia e a todos os seus colaboradores, por ter permitido a realização dos ensaios de granulometria.

RESUMO

O concreto como material de construção mais utilizado no mundo necessita de alternativas viáveis para a sua produção. Com a grande utilização do seixo rolado como o principal agregado graúdo na cidade de Açailândia – MA, devido a sua maior disponibilidade de comercialização no mercado próximo as obras surgiram a necessidade de se estudar e comparar as propriedades deste concreto em comparação com o concreto convencional de brita granítica, para um mesmo grau de trabalhabilidade. O objetivo deste trabalho consiste em analisar as propriedades físicas, mecânicas e de trabalhabilidade de dois tipos de concreto. Neste intuito, foram realizados ensaios de trabalhabilidade, de massa específica do concreto fresco e produzidos corpos de prova cilíndricos e submetidos a ensaios de resistência a compressão axial e ao ensaio de ultrassom. O concreto produzido com seixo rolado precisou de uma menor quantidade de água em comparação ao produzido com brita granítica para atingir o mesmo grau de trabalhabilidade, apresentando assim uma menor relação água cimento. Os resultados obtidos do ensaio de resistência a compressão mostraram que o concreto com seixo rolado foi superior ao de brita granítica em 28,79% no ensaio de resistência a compressão, neste caso, devido necessitar de uma menor relação água cimento para atingir uma boa trabalhabilidade.

Palavras-chave: Concreto convencional. Trabalhabilidade. Resistência. Seixo rolado. Brita granítica.

ABSTRACT

Concrete as the most used building material in the world needs viable alternatives for its production. With the great use of rolled pebble as the main coarse aggregate in the city of Açailândia - MA, due to its greater availability of commercialization in the nearby market, the works arose the need to study and compare the properties of this concrete in comparison with the conventional concrete of granite crushed stone, for the same degree of workability. The objective of this work is to analyze the physical, mechanical and workability properties of two types of concrete. For this purpose, workability and specific mass tests of fresh concrete were carried out and cylindrical specimens were produced and subjected to axial compression resistance tests and ultrasound tests. Concrete produced with rolled pebbles needed a smaller amount of water compared to that produced with granitic crushed stone to reach the same degree of workability, thus presenting a lower water-cement ratio. The results obtained from the compressive strength test showed that the concrete with rolled pebble was superior to that of granitic gravel by 28.79% in the compressive strength test, in this case, due to the need for a lower water-cement ratio to achieve good workability.

Key Words: Conventional concrete. Workability. Resistance. Rolled pebble. Granite gravel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classes de resistência de concreto estruturais.	19
Figura 2: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	23
Figura 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo.	24
Figura 4: Procedimentos do <i>Slump Test</i>	30
Figura 5: Curva estatística de Gauss.	31
Figura 6: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	33
Figura 7: Agregado miúdo areia.	34
Figura 8: Agregado graúdo brita granítica.	35
Figura 9: Agregado graúdo seixo rolado.	35
Figura 10: Cimento Poty CP II-E-32.	36
Figura 11: Materiais utilizados para aferição do teor de umidade.	37
Figura 12: Materiais em processo de secagem.	37
Figura 13: Materiais para traço com brita.	40
Figura 14: Materiais para traço com seixo.....	40
Figura 15: Processo de imprimação da betoneira	41
Figura 16: Adição de cimento e agregados.	42
Figura 17: Verificação de trabalhabilidade.	43
Figura 18: Verificação de teor de argamassa.	43
Figura 19: Adensamento manual em CP cilíndrico.	44
Figura 20: Processo de cura do concreto.	45
Figura 21: Execução do ensaio <i>Slump test</i>	46
Figura 22: Resultado do ensaio <i>Slump test</i>	47
Figura 23: Aferição da massa do concreto fresco.	48
Figura 24: Aparelho de ultrassom.	50
Figura 25: Ensaio de ultrassom do concreto.	51
Figura 26: Prensa Hidráulica Contenco.....	53
Figura 27: Resultado do ensaio.....	54
Figura 28: Ruptura dos CPs de seixo de 14 dias.	62
Figura 29: Ruptura dos CPs de brita de 14 dias.....	63
Figura 30: Ruptura dos CPs de seixo de 28 dias.	64
Figura 31: Ruptura dos CPs de brita de 28 dias.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dosagem dos agregados.....	42
Tabela 2: Relação entre velocidade de impulso e qualidade do concreto.	52
Tabela 3: Teor de umidade dos agregados miúdos (areia).	55
Tabela 4: Teor de umidade do agregado graúdo brita.....	55
Tabela 5: Teor de umidade do agregado graúdo seixo.	56
Tabela 6: Abatimento do tronco do cone.	60
Tabela 7: Massa específica concreto fresco.....	61
Tabela 8: Carga de ruptura e resistência a compressão do concreto com seixo de 14 dias.....	61
Tabela 9: Carga de ruptura e resistência a compressão do concreto com brita de 14 dias.....	62
Tabela 10: Carga de ruptura e resistência a compressão do concreto com seixo de 28 dias.....	63
Tabela 11: Carga de ruptura e resistência a compressão do concreto com brita de 28 dias.....	64
Tabela 12: Velocidade de propagação de onda ultrassónica nos CPs de seixo...	67
Tabela 13: Velocidade de propagação de onda ultrassónica nos CPs de brita.	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo areia.....	57
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo brita.	58
Gráfico 3: Curva granulométrica do agregado graúdo seixo.....	60
Gráfico 4: Comparativo de crescimento de resistência por idade.	66

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Teor de umidade do agregado	37
Equação 2: Volume do molde	48
Equação 3: Massa específica aparente.....	49
Equação 4: Velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	51
Equação 5: Pressão	54

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas
NBR - Norma Brasileira
HIGEOPAV - Hidráulica, Geotecnia e Pavimentação
MPa – Mega Pascal
CP's – Corpos de Prova
CP – Corpo de Prova

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
1.2. JUSTIFICATIVA.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. CONCRETO	18
2.1.1. Histórico do Concreto	19
2.1.2. Tipos de Concreto	19
2.1.2.1. Concreto convencional	20
2.1.2.2. Concreto autoadensável.....	20
2.1.2.3. Concreto de alta resistência	20
2.1.2.4. Concreto massa.....	20
2.1.3. Componentes do concreto	21
2.1.3.1. Cimento Portland	21
2.1.3.2. Água	21
2.1.3.3. Aditivos e adições	22
2.1.3.4. Agregados	22
2.1.3.4.1. <i>Agregados miúdos</i>	22
2.1.3.4.2. <i>Agregados graúdos</i>	23
2.1.4. Propriedades do concreto fresco	24
2.1.4.1. Consistência e trabalhabilidade.....	25
2.1.4.2. Exsudação.....	25
2.1.5. Propriedades do concreto endurecido	26
2.1.5.1. Massa específica	26
2.1.5.2. Resistência a compressão.....	27
2.1.6. Produção do concreto	27
2.1.6.1. Dosagem	28
2.1.6.2. Mistura.....	28
2.1.6.3. Transporte	28
2.1.6.4. Adensamento.....	29
2.1.6.5. Cura do concreto	29
2.1.7. Ensaios	29
2.1.7.1. Ensaio de abatimento (<i>Slump Test</i>).....	29
2.1.7.2. Ensaio de ultrassom	30
2.1.7.3. Ensaio de Compressão	31
3. METODOLOGIA	32
3.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
3.2. SELEÇÃO DOS MATERIAIS	33
3.2.1. Caracterização dos materiais	33
3.2.1.1. Areia	33
3.2.1.2. Brita granítica.....	34
3.2.1.3. Seixo rolado.....	34
3.2.1.4. Cimento	35
3.2.1.5. Água	36
3.2.2. Teor de Umidade	36
3.2.3. Análise granulométrica dos agregados	37

3.2.3.1. Análise granulométrica dos agregados miúdos	38
3.2.3.2. Análise granulométrica dos agregados graúdos	38
3.3. DEFINIÇÃO DO TRAÇO.....	39
3.4. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	39
3.4.1. Procedimentos de produção do concreto	39
3.4.2. Moldagem dos corpos de prova (CPs)	44
3.5. ENSAIOS DO CONCRETO	45
3.5.1. Ensaios do concreto no estado fresco	45
3.5.1.1. Ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump test) ..	45
3.5.1.2. Massa específica do concreto fresco.....	47
3.5.2. Ensaios no estado endurecido	49
3.5.2.1. Ensaio de ultrassom	49
3.5.2.2. Rompimento dos corpos de provas	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1. TEOR DE UMIDADE DOS AGREGADOS.....	55
4.1.1. Teor de umidade dos agregados miúdos	55
4.1.2. Teor de umidade dos agregados graúdos	55
4.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS	56
4.2.1. Análise granulométrica do agregado miúdo areia	56
4.2.2. Análise granulométrica do agregado graúdo brita	57
4.2.3. Análise granulométrica do agregado graúdo seixo.....	59
4.3. RESULTADO DOS ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO ...	60
4.3.1. Ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone (slump test)	60
4.3.2. Massa específica	61
4.4. RESULTADO DOS ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO	61
4.4.1. Ensaio de resistência a compressão	61
4.4.2. Ensaio de ultrassom	66
5. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto é um material amplamente utilizado na construção civil e possui diversos tipos de aplicações. É considerado o material estrutural mais importante da construção civil, possuindo grande versatilidade em aplicações na arquitetura moderna, exibindo durabilidade e facilidade de manutenção (ISAIA, 2010).

O concreto é um material compósito constituído basicamente de agregados (miúdos e graúdos), e uma matriz de pasta de cimento hidratada. Pode-se dizer que as propriedades deste compósito dependem diretamente da interação entre seus componentes (RODRIGUES *et al.*, 2021). Logo, é válido ressaltar que as qualidades dos materiais e tipos de agregados influenciam exatamente na resistência do concreto. Dentre os parâmetros de resistência mecânica do concreto convencional, a resistência à compressão é uma das suas propriedades mais importantes e está relacionada ao seu tempo de cura.

É de extrema importância a relação água/cimento na determinação da porosidade matriz e da zona de transição, e, portanto, na resistência do concreto (SPERANDIO, 2019). A água desenvolve o papel de tornar o concreto maleável facilitando o seu transporte, adensamento em formas, assim como reagir quimicamente com o cimento, porém a quantidade excessiva pode diminuir a resistência do concreto (YAZIGI, 2021).

O tamanho dos agregados usados no concreto varia de algumas dezenas de milímetros até partículas com seções transversais menores que um décimo de milímetro. Cada mistura tem partículas de tamanhos diferentes, sendo incorporadas partículas de diferentes dimensões (NEVILLE, 2016).

De acordo com Rodrigues e Pompeu Neto (2021), os agregados graúdos apresentam diversas características que podem influenciar na resistência do concreto tais como: tipo de rocha, textura, forma, porosidade, além da dimensão dos grãos, sendo necessário o estudo e controle de qualidade antes e depois da execução da obra. Verificar as propriedades desses agregados podem definir quais esforços ou tecnologias serão empregados ao adensamento ideal para atingir um concreto endurecido de alta qualidade.

A dosagem deve buscar atender propriedades finais de utilização requeridas para o concreto (mecânicas, físicas e de durabilidade), além das

propriedades de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, considerando que estas condições podem variar de caso a caso (ISAIA, 2010).

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), para conhecer as propriedades do concreto produzido devem ser realizados ensaios em seu estado fresco, visando obter informações sobre consistência, trabalhabilidade e homogeneidade, bem como no seu estado endurecido, para então obter sua densidade, compacidade, permeabilidade e resistência.

Com a predominância de estruturas de concreto produzidas com seixo no município de Açailândia - MA, faz-se necessário um estudo comparativo entre as propriedades do concreto convencional contendo seixo rolado e o concreto contendo brita 1 como agregado graúdo.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, será possível analisar e comparar as propriedades físicas e mecânicas dos dois materiais estudados.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar e comparar os diferentes tipos de concreto convencional contendo diferentes agregados graúdos, para a mesma faixa de trabalhabilidade da região Tocantina do Maranhão.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar por meio de ensaios laboratoriais, se haverá influência nas propriedades dos concretos no estado fresco e estado endurecido confeccionados com diferentes tipos de agregados graúdos, visando o mesmo grau de trabalhabilidade;
- Analisar a qualidade dos concretos produzidos por meio da técnica de ultrassom;
- Analisar a qualidade dos concretos produzidos por meio de ensaios de resistência à compressão normal.

1.2. JUSTIFICATIVA

Com a grande utilização do seixo como o principal agregado graúdo na cidade de Açailândia - MA (devido à maior disponibilidade comercial no local) faz-se necessário um estudo e comparação das propriedades do concreto produzido com esse material, tomando como variável de estudo o agregado graúdo utilizado, visando a obtenção do mesmo grau de trabalhabilidade.

A substituição da brita pelo seixo rolado, seja total ou parcial, é um ponto que deve ser explorado, pois, segundo Guimarães (2020) é válido estudar todas as alternativas de produção do concreto. Visto que em algumas regiões do Brasil não se tem abundância as rochas necessárias para a produção da brita.

Diante disso, de acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2015), os ensaios realizados no estado fresco (como o *Slump Test* e massa específica) e os ensaios realizados no estado endurecido (como o ensaio de resistência à compressão e ensaio de ultrassom) são de extrema importância para este trabalho, visto que todos os ensaios são normatizados, assim determinando as reais diferenças entre os concretos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordadas informações gerais acerca do concreto, desde a sua concepção, suas características físicas e químicas, ensaios de caracterização dos materiais, ensaios no concreto fresco, ensaios no concreto endurecido, até a preparação para sua utilização.

2.1. CONCRETO

O concreto é produzido através da mistura adequada de cimento, agregados (grãos e miúdo) e água. É um material amplamente utilizado na engenharia civil, devido a sua resistência a água no estado endurecido, facilidade de se obter diferentes formatos de elementos estruturais e grande disponibilidade das matérias-primas que o compõem. É considerado como um dos materiais de construção civil mais utilizados no mundo, com um consumo estimado de mais de 11 bilhões de toneladas por ano (MACIEL *et al.*, 2020).

O concreto exibe duas características vantajosas e importantes que o destacam em relação a outros materiais de engenharia. A primeira é a sua resistência à água, pois, em contato com a água, sofre menos danos que o aço e a madeira. A segunda é sua maleabilidade no estado fresco, que permite que seja moldado em diversos formatos. Quando recém-misturado, o concreto deve ser moldável e trabalhável para facilitar o uso. O concreto deve ganhar coesão com o passar o tempo e deve apresentar ganho de resistência devido a reação entre o ligante e a água (reações de hidratação) (CARVALHO *et al.*, 2015).

Segundo a ABNT NBR 6118/2014 - *Projeto de estruturas de concreto*, o concreto simples é caracterizado por ter uma resistência razoável à compressão, compreendida entre, entre 20 e 40 MPa, e baixa resistência à tração, em torno de 1/10 de sua resistência à compressão e possui massa específica de aproximadamente 2400 kg/m³.

De acordo com a ABNT NBR 8953/2015 – *Concreto para fins estruturais*, O concreto estrutural é dividido em duas categorias, tendo como base a sua resistência à compressão (f_{ck}). O concreto com resistência à compressão inferior a 20 MPa não é considerado estrutural. Na Figura 1 demonstra as suas classes e resistência característica a compressão.

Figura 1 – Classes de resistência de concreto estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953/2015.

2.1.1. Histórico do concreto

O concreto como conhecemos hoje, material bastante utilizado em diversos ramos da construção civil, é fruto do trabalho de inúmeros homens, que durante milhares de anos aperfeiçoaram os materiais, técnicas e teorias de uso (KAEFER, 1998).

O uso dos materiais cimentícios é bastante antigo. Segundo NEVILLE (2016), os Gregos e Romanos utilizaram calcário calcinado e, posteriormente areia e restos de tijolos ou telhas de calcaria e água, formando assim o primeiro concreto que se tem conhecimento. Em Roma, o concreto era utilizado essencialmente em aquedutos e estradas.

Em 1756, o inglês John Smeaton deu um passo importante no desenvolvimento do cimento, pois, através da calcinação de calcários moles e argilosos surgiu um produto de alta resistência ao qual chamamos de cimento (BATTAGIN, 2010).

2.1.2. Tipos de concreto

Na construção civil o concreto é considerado um dos materiais mais utilizados, já que possui uma grande resistência mecânica resistindo aos esforços que as edificações exercem nas estruturas, e pode ser encontrado nas construções

desde a antiguidade. Com a demanda de desenvolvimento na construção civil, diversos concretos foram desenvolvidos (SOUSA et al., 2018).

2.1.2.1. Concreto convencional

O concreto convencional (ou tradicional) é o mais comum na construção civil, podendo ser aplicado diretamente no solo, em fundações ou em formas, lajes e pisos. Segundo Maciel *et al.* (2020), o concreto convencional é um ótimo material, principalmente devido à sua versatilidade, baixo preço, compatibilidade com os requisitos ambientais, produção intensiva em energia, possibilidade de ser moldado no estado fresco e ganhar resistência após a hidratação do cimento.

2.1.2.2. Concreto autoadensável

O concreto autoadensável é um concreto de alta qualidade que possui a característica de autoadensável quando fresco e oferece maior proteção contra influências externas devido à sua menor porosidade quando endurecido (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Embora o concreto autoadensável tenha uma série de vantagens em seu estado fresco, são suas propriedades endurecidas que interessam aos projetistas estruturais e podem ser sintetizadas para avaliar os seguintes parâmetros: microestrutura, resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência e durabilidade (BERGMANN *et al.*, 2020).

2.1.2.3. Concreto de alta resistência

Segundo Isaia *et al.* (2011), são considerados concretos de alta resistência os concretos que apresentam resistência a compressão superiores a 50 MPa aos 28 dias de idade. Para alcançar esses resultados é necessário que o mesmo seja compacto e estabeleça um índice reduzido de micro fissuração, fazendo-se necessário o uso de aditivos e adições.

2.1.2.4. Concreto massa

O concreto massa é definido como um concreto que, quando aplicado a uma estrutura, requer cuidados para evitar a fissuração causada pelo seu comportamento térmico, ou seja, para reduzir o gradiente térmico entre as partes

interna e externa do concreto. O concreto massa é utilizado em grandes estruturas, por exemplo pilares, vigas, estacas ou barragens (NEVILLE, 2016).

2.1.3. Componentes do concreto

Segundo Seleme (2019), o concreto é um material compósito, formado por cimento, agregados (miúdo e graúdo), água e ar. Podendo também conter adições (como sílica ativa, pozolanas, cinza volante, etc) e aditivos químicos que visam melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

2.1.3.1. Cimento Portland

O cimento Portland foi criado na Inglaterra em 1824, e com sua produção industrial iniciada em 1850. É constituído de um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água, e que após endurecido não se decompõe mesmo que seja novamente submetido à ação da água (Bastos, 2019).

O processo de fabricação do cimento Portland consiste em moer as matérias-primas, misturá-las uniformemente em proporções específicas e queimá-las em um grande forno rotativo (em temperaturas de até 1.450 °C). Onde os materiais são sintetizados, parcialmente derretidos e moldados em esferas conhecidas como clínquer. Após isso o clínquer é resfriado e é adicionado uma pequena quantidade de sulfato de cálcio, depois moído em um pó muito fino (NEVILLE, 2016).

O cimento Portland originou uma verdadeira revolução na construção, devido as suas propriedades de moldabilidade (capacidade de se moldar), hidráulica (capacidade de endurecer na presença do ar e da água), alta resistências aos esforços solicitados e devido de ser constituído de matérias primas abundantes na natureza (SILVA *et al.*, 2019).

2.1.3.2. Água

A relação água/cimento é fundamental na determinação da porosidade da matriz e da zona de transição na interface e, conseqüentemente, na resistência do concreto (SPERANDIO, 2019). A água desenvolve o papel de tornar o concreto maleável facilitando o seu transporte, adensamento em formas, assim como reagir

quimicamente com o cimento, porém a quantidade excessiva pode diminuir a resistência do concreto (YAZIGI, 2021).

A água de amassamento pode conter certas impurezas sem inviabilizar sua utilização. Porém, quando em excesso, tais substâncias têm um efeito nocivo ao concreto, influenciando desfavoravelmente na resistência mecânica, no tempo de pega e na durabilidade (SILVA JÚNIOR, 2014). Portanto, a água de amassamento deve respeitar os parâmetros recomendados pela NBR 15900- 1:2009 - *Água para amassamento do concreto* (ABNT, 2009b).

2.1.3.3. Aditivos e adições

De acordo com Lopes (2019), adições minerais e aditivos químicos são acrescentados no decorrer do processo de mistura e possui a finalidade de melhorar ou conferir propriedades especiais ao concreto, seja no estado fresco ou no estado endurecido, tornando-se componentes indispensáveis na produção dos concretos modernos.

Sua dosagem é comumente expressa em porcentagem da quantidade de cimento utilizada na mistura. Dentre os tipos de aditivos mais utilizados estão os aceleradores, os retardadores, os incorporadores de ar, os redutores de água e os superplastificantes (NEVILLE, 2016).

2.1.3.4. Agregados

Os agregados são materiais essenciais na formulação do concreto, as suas principais características que influenciam nas propriedades do concreto final são: resistência à compressão, granulometria, absorção de água, porosidade e sua forma (ARAUJO *et al.*, 2020).

2.1.3.4.1. Agregados miúdos

De acordo com a ABNT NBR 7211/2009, - *Agregados para concreto*, agregados miúdos são aqueles que possuem partículas que passam pela peneira de 4,75 mm, porém são maiores que 75 µm (peneira nº200). Contudo, é necessário que sua distribuição granulométrica respeite aos limites estabelecidos pela norma, na Figura 2 nos mostra os limites da composição granulométrica dos agregados miúdos.

Figura 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211/2019.

2.1.3.4.2. Agregados graúdos

De acordo com a ABNT NBR 7211/2009, - *Agregados para concreto*, agregados graúdos são aqueles que possuem partículas que passam na peneira de 75mm e ficam retidas na peneira de 4,75 mm. Contudo, é necessário que sua distribuição granulométrica atenda aos limites indicados pela norma. Na Figura 3 é possível verificar os limites da composição granulométrica para agregados graúdos.

Figura 3 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ²⁾	87 – 100	-
19 mm	-	2 - 15 ²⁾	65 ²⁾ - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ²⁾	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211/2019.

Comumente são utilizados dois agregados graúdos no Brasil, a brita e o seixo. A matéria prima para a produção da brita é encontrada com abundância na natureza e devido a isso tem um valor acessível, é minerada em vários locais do Brasil, sendo de extrema importância para o setor mineral do país. De acordo com o SINDIPEDRAS (2022), a brita representa 2% do custo total de uma edificação e 60% do seu volume. Em locais que não há disponibilidade da brita é utilizado o seixo rolado como substituto, um material natural que é encontrado no fundo dos rios e jazidas.

2.1.4. Propriedades do concreto fresco

No estado fresco as principais características do concreto são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade (CARVALHO *et al.*, 2015). Segundo ARAUJO *et al.* (2000) é considerado concreto fresco o material misturado de forma recente, antes do início da pega do aglomerante.

O concreto fresco tem como propriedades sua consistência plástica e moldável em formas de dimensões desejadas. A plasticidade facilita seu transporte, seu lançamento e adensamento (ANDOLFATO, 2002).

2.1.4.1. Consistência e trabalhabilidade

De acordo com BAUER (2019) a consistência pode ter duas definições. Uma é a capacidade do concreto ou argamassa escoar e a outra é a propriedade resistente de um material não newtoniano à deformação.

A análise da consistência do concreto no estado fresco é de extrema importância, visto que exerce influência nas propriedades do estado endurecido e, conseqüentemente, no seu desempenho. Relaciona-se com a fluidez do concreto, ou seja, com a sua capacidade de deformação enquanto fluido (SOUZA, 2021).

Já a trabalhabilidade do concreto, por sua vez, está relacionada com a facilidade ou dificuldade em realizar o processo de adensamento. Assim como na consistência, fatores como granulometria dos materiais, a utilização de aditivos e a relação água/cimento interferem diretamente na trabalhabilidade (PAIVA FILHO, 2017).

No estado fresco, a trabalhabilidade do concreto é determinada pela facilidade de moldar e manipular o concreto sem que haja segregação do mesmo. Logo, tal propriedade é fundamental para garantir adequada compactação que assegura massa específica máxima para o material confeccionado (SOBRAL, 2000).

Almeida (2002) explica que a trabalhabilidade não é somente uma característica inerente ao próprio concreto, mas sim aos métodos de execução adotados de acordo com a natureza da obra.

2.1.4.2. Exsudação

A exsudação é o aparecimento de água na superfície do concreto depois de ter sido lançado e adensado, antes de endurecer. Vários fatores podem influenciar a ocorrência da exsudação, tais como baixa umidade e temperatura excessiva (CATUSSO, 2016).

Este fenômeno se dá quando parte da água segrega do concreto no estado fresco, emergindo para superfície externa do concreto já moldado após o procedimento de adensamento, antes do início do processo de pega. O fenômeno

pode ser uma das consequências da falta de partículas finas na mistura para retê-la (OLIVEIRA *et al.*, 2019)

Oliveira *et al.* (2019) relata que se a água da exsudação evaporar rapidamente, o concreto pode sofrer retração. Consequentemente, é possível que ocorra o aparecimento de fissuras em excesso. Além da retração, a exsudação pode atrapalhar na aderência entre os constituintes e na resistência final requerida para concreto em questão.

A exsudação não necessariamente é prejudicial, visto que a relação água/cimento é diminuída. Porém, com a formação de nata na superfície do elemento moldado, este poderá sofrer desgaste superficial, devido a uma grande porosidade (NEVILLE, 2016).

2.1.5. Propriedades do concreto endurecido

Segundo Araujo *et al.* (2000), o concreto endurecido é o material obtido da mistura dos componentes, após o tempo de cura do aglomerante. A resistência à compressão e durabilidade são umas das propriedades do concreto endurecido. A determinação do parâmetro de resistência à compressão é requerida no dimensionamento de estruturas, estando diretamente ligada à segurança e a estabilidade estrutural (PACHECO, HELENE, 2013).

A durabilidade está relacionada com o conceito de vida útil das construções, sendo considerada de longa durabilidade quando a vida sua útil ultrapassa a especificada vida útil em projeto (BERTOLINI, 2010).

2.1.5.1. Massa específica

A massa específica pode ser definida como a razão entre a massa das partículas totais e o volume que elas ocupam, excluindo os vazios existentes, pois no concreto os agregados podem ser classificados pela massa unitária, que é a relação entre a massa e o volume de sólidos (RIBEIRO *et al.*, 2011).

De acordo com a ABNT NBR 8953:2015 – *Concreto para fins estruturais*, são considerados concretos normais de massa específica seca, os concretos que possuem densidade entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³. Valores abaixo desses são considerados os concretos leves, e acima desses valores são considerados como densos ou pesados.

Conhecido pela sua baixa massa específica e excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico, o concreto leve é produzido com agregados leves, resultando numa redução da massa específica em cerca de 60% da densidade comparada ao concreto comum contendo agregados naturais (MEHTA MONTEIRO, 2008).

Os concretos considerados pesados apresentam peso específico compreendido na faixa de 3360 a 3840 kg/m³ (50% maiores quando comparados com o peso específico do concreto normal) e são, geralmente, produzidos com agregados naturais de elevado peso específico (MEHTA MONTEIRO, 2008).

2.1.5.2. Resistência à compressão

Define-se como resistência a capacidade de um material resistir a um dado valor de tensão (causado pela aplicação de um ou mais tipos de solicitação) sem que haja a ruptura do mesmo.

Em alguns materiais, a ruptura pode acontecer juntamente com o surgimento de fissuras. Para obtenção do parâmetro de resistência em concretos, considera-se o concreto a uma devida idade, com cura ocorrendo submersa em água e determinada temperatura, visto que a mesma depende da relação água/cimento e do grau de adensamento (KELES, 2011).

A principal propriedade do concreto é a resistência à compressão, sendo ela utilizada no dimensionamento de uma estrutura visando garantir a qualidade e segurança da construção, comumente expressa em MPa (ADAO *et al.*, 2010).

A resistência à compressão é o principal requisito do concreto no estado endurecido, visto que os projetos de engenharia detalham que somente com 28 dias de idade é atingida grande parte da resistência a compressão do concreto convencional, entretanto é observado um acréscimo de resistência até em média 1 ano de idade (BAUER, 2019).

2.1.6. Produção do concreto

Para a produção do concreto de cimento Portland de qualidade requer diversos cuidados e técnicas que devem ser seguidas, sendo elas a escolha dos materiais e escolha da dosagem, seguidamente a mistura dos materiais podendo ser de forma mecânica ou manual, sendo assim produzido o concreto fresco. Seguidamente tem que ser transportado de forma correta para ser aplicado, e por

fim seu adensamento e cura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM, 2007).

2.1.6.1. Dosagem

De acordo com Helene e Tutikian (2011), para a realização da dosagem dos concretos é necessário conhecer a melhor proporção entre os materiais que serão utilizados para a produção do concreto, sendo conhecido como traço. O traço pode ser expresso de duas formas, sendo elas em massa ou em volume. Existe uma maior exatidão quando é expressa em massa seca dos materiais.

A dosagem deve buscar atender as propriedades físicas, mecânicas, e de durabilidade solicitadas para tal concreto, também deve atender as características de trabalhabilidade que é indispensável para o transporte e adensamento do concreto, podendo essas condições variar de acordo com a natureza da obra (ISAIA, 2010).

2.1.6.2. Mistura

O processo de mistura consiste na homogeneização dos materiais que podem ser realizadas de forma manual ou por meio de equipamentos como betoneiras, visto que a pasta de cimento e a água devem incorporar todos os agregados, assim formando uma pasta homogênea garantindo que todos os componentes estejam em contato direto, após essa mistura o concreto deve possuir trabalhabilidade e plasticidade que permitem a facilidade do seu uso (PEREIRA, 2008).

2.1.6.3. Transporte

O transporte está diretamente ligado a distância de amassamento do concreto até o local de concretagem, onde deve-se ter cuidado com o meio de transporte utilizado a fim de evitar a desagregação do concreto, que consiste na separação das partículas constituintes do concreto, ou até mesmo ocorrendo a perda da água por meio da evaporação conforme conta na ABNT NBR 14931/2004 – *Execução de estruturas de concreto*.

2.1.6.4. Adensamento

O adensamento de concreto resume-se na movimentação do material, com a finalidade de reduzir o número de vazios e excesso de água do interior da massa, de maneira que se obtenha um concreto homogêneo e compacto, para isso são utilizados vibradores de imersão, que eliminam os vazios existentes na massa de concreto fresco (ARAUJO *et al.*, 2000).

A qualidade das peças concretadas está diretamente ligada a falta de vibração e/ou excesso delas, conseqüentemente devem ser tomados alguns cuidados básicos para alcançar os resultados almejados, sendo eles o preenchimento de todos os espaços das fôrmas e evitando a possível migração da água e do material fino para a superfície (CARVALHO *et al.*, 2015).

2.1.6.5. Cura do concreto

Este é o último processo na produção do concreto, que consiste num conjunto de medidas empregadas que tem por finalidade impedir a evaporação precoce da água utilizada na mistura, sendo que a mesma deverá reagir com o cimento, promovendo a sua hidratação (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Ribeiro *et al.* (2011) também relata que o objetivo do processo de cura é impedir a perda de água para o ambiente, pois a ocorrência de retração pela perda de água excessiva é responsável pelo surgimento de fissuras excessivas e trincas no concreto.

Segundo a NBR 14931, as medidas de proteção contra fissuras devem ocorrer nos primeiros 7 dias (contados após o lançamento e moldagem do elemento em concreto). Recomenda-se molhar a superfície do elemento moldado periodicamente e/ou manter uma película de água sob a superfície externa do elemento que foi concretado.

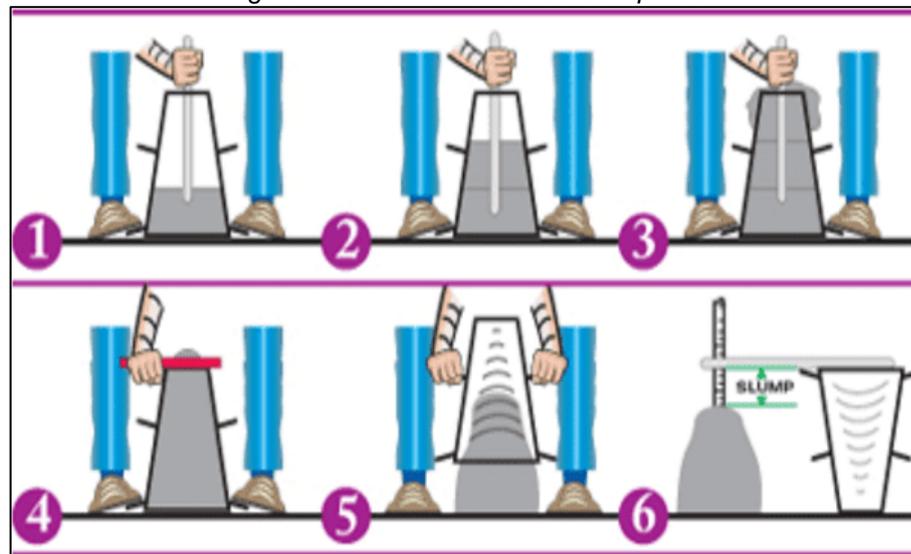
2.1.7. Ensaio

2.1.7.1. Ensaio de abatimento (*slump test*)

Segundo a norma ABNT NBR NM 67/1998 - *Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, também é comumente conhecido como "*Slump Test*", permite verificar a consistência do concreto (Figura 4). Este ensaio é importante, pois por meio do procedimento podemos determinar a

trabalhabilidade do concreto, assim, indicando se o concreto pode, ou não, ser aplicado. Um valor acima do especificado pode indicar excesso de água ou variação da qualidade dos agregados do concreto.

Figura 4 – Procedimentos do *Slump Test*



Fonte: MENDES (2021).

O ensaio é realizado colocando o concreto no estado fresco internamente ao tronco de cone, em três camadas de igual altura. Ao adicionar cada camada, são aplicados 25 golpes uniformes utilizando uma haste metálica de socamento (a haste não deve entrar em contato com o fundo). Após este procedimento, faz-se a remoção do troco de cone. A remoção da estrutura metálica (tronco de cone) faz com que o concreto fluido se abata sob a ação do peso próprio, resultando na própria medida de abatimento, que é o objetivo do ensaio (PASSOS, 2022).

2.1.7.2. Ensaio de ultrassom

A ABNT NBR 8802/2019 - *Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica* descreve os procedimentos para determinação da velocidade de propagação de ondas obtidas através de pulsos ultrassônicos em uma peça de concreto. O ensaio é utilizado para a monitoração da variação do concreto e analisar a homogeneidade do material. A técnica possibilita a detecção de falhas internas de concretagem, como também, as profundidades de fissuras e outras anomalias.

Segundo Fonseca (2021), o método tem uma relação direta com as propriedades de qualidade do concreto, por exemplo, na verificação da homogeneidade do concreto, ou na profundidade de uma fissura.

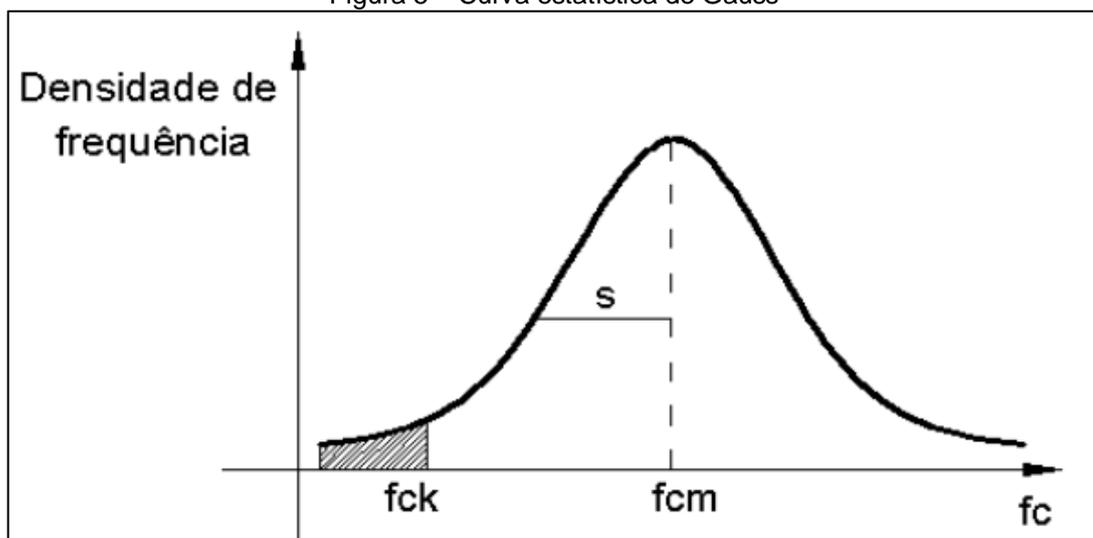
A medição é feita colocando dois sensores que produzem ondas de 10 kHz e 150 kHz em contato com o concreto. No ensaio ultrassônico, são emitidos pulsos de ondas ultrassônicas no interior dos elementos, onde o transdutor emissor transmite os pulsos e um transdutor receptor recebe os pulsos propagados. O aparelho de ultrassom indica o tempo de propagação das ondas e velocidade de propagação (MALHOTRA *et al.*, 2003).

2.1.7.3. Ensaio de compressão

Conforme mostra a NBR 6118, a resistência à compressão pode ser obtida a partir de ensaios de corpos de prova, moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) e devem permanecer em processo de cura úmida ou saturada até atingir a idade requerida para o ensaio como estabelece a NBR 5739 (ABNT, 2018). As dimensões mais usuais para esse ensaio de compressão uniaxial são os de dimensões 10 x 20 cm.

Seguidamente aos ensaios dos corpos de prova, pode ser plotado um gráfico para exibir os valores obtidos em correlação com a quantidade de corpos de prova, sendo denominada como densidade de frequência, esta curva encontrada é chamada de Curva estatística de Gauss na Figura 5.

Figura 5 – Curva estatística de Gauss



Fonte: Pinheiro (2004).

É definido como f_{ck} o valor da resistência que tem 5% de possibilidade de não ser atingido em ensaios de corpos de prova (CP's) de um lote de concreto, conforme estabelece NBR 6118 (ABNT, 2014).

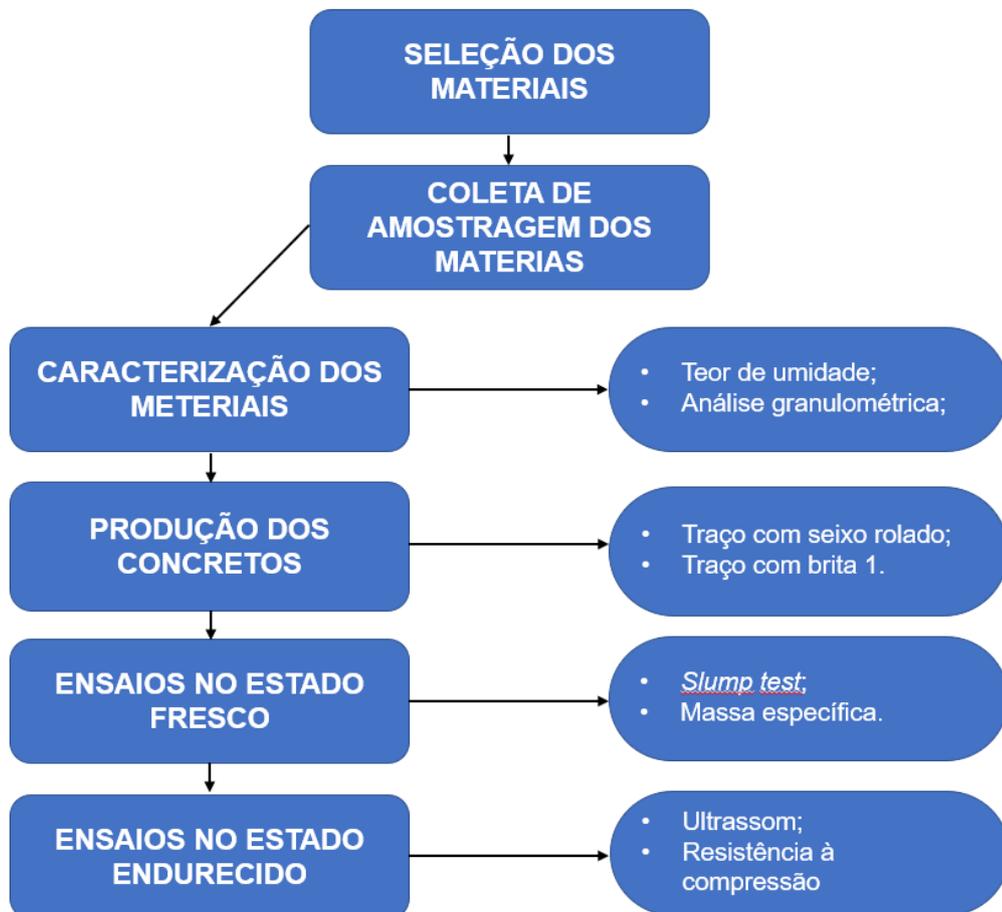
3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada neste trabalho. A presente pesquisa tem caráter experimental e quantitativo, a qual visa realizar comparações de dois traços de concreto com diferentes agregados graúdos, por meio de ensaios e analisar os resultados colhidos.

3.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo tem como finalidade de comparar as propriedades dos concretos produzidos com dois diferentes tipos de agregados graúdos, onde serão ensaiados tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No fluxograma abaixo apresenta de maneira mais clara de cada etapa desta pesquisa, desde a seleção dos materiais até os ensaios no estado endurecido.

Figura 6 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autor (2022).

3.2. SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais foram selecionados de acordo com a disponibilidade comercial na região próxima ao município de Açailândia-MA. A água utilizada foi do abastecimento público, para agregados miúdos foi utilizado a areia média, para agregados graúdos foi utilizado o seixo rolado adquirido comercialmente na cidade de Açailândia - MA e brita 1 adquirido comercialmente na cidade de Buriticupu - MA. O cimento utilizado foi adquirido comercialmente.

3.2.1. Caracterização dos materiais

Nesta etapa foi realizada a caracterização dos materiais e agregados utilizados, tanto no concreto produzido a base de seixo quanto no de brita, e os agregados analisados serão a areia, seixo e brita. Foi realizado o ensaio granulométrico e aferido o teor de umidade dos materiais.

3.2.1.1. Areia

A areia que foi utilizada na fabricação de ambos os concretos foi uma areia adquirida comercialmente na cidade de Açailândia - MA, com informações que é uma areia média conforme mostra a figura 7.

Figura 7 – Agregado miúdo areia



Fonte: Autor (2022).

3.2.1.2. Brita granítica

A brita utilizada na fabricação do concreto foi adquirida comercialmente no município de Buriticupu – MA.

Figura 8 – Agregado graúdo brita granítica



Fonte: Autor (2022).

3.2.1.3. Seixo rolado

O seixo utilizado na fabricação do concreto foi um seixo adquirido através de uma doação com a informação que foi adquirido comercialmente na cidade de Açailândia - MA, é notado que a granulometria deste seixo é de graduação uniforme conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Agregado graúdo seixo rolado



Fonte: Autor (2022).

3.2.1.4. Cimento

O cimento utilizado na fabricação de ambos os concretos, com brita granítica e com seixo rolado, foi o cimento Portland da marca Poty CP II - E-32 (Figura 10) obtido comercialmente, que atende os requisitos da norma para classe de agressividade adotada a fins de estudos comparativos entre os dois tipos de concreto.

Figura 10 – Cimento da Marca Poty do tipo CP II-E-32



Fonte: Autor (2022).

3.2.1.5. Água

A água utilizada na fabricação dos dois tipos de concreto foi obtida através do abastecimento público disponível nas instalações da UEMASUL. É adequada para confecção de concretos e, com isso, descartando a necessidade de ensaios adicionais para verificação de qualidade, conforme ABNT NBR 15900/2009.

3.2.2. Teor de umidade

Foi realizado a aferição do teor de umidade dos agregados, necessário para determinar a quantidade de água presente nestes materiais. Para esta aferição foi utilizado uma estufa de secagem da marca Lucadema (Modelo Luca-80/81) e uma balança semi analítica da marca Marte (modelo AD500). Os equipamentos citados podem ser visualizados na Figura 11.

Figura 11 – Materiais utilizados para aferição do teor de umidade.



Fonte: Autor (2022).

Por meio da utilização da balança semi analítica, foram pesadas 3 amostras de 100g de cada agregado (areia, brita e seixo), e posteriormente colocado para secar na estufa ($105\pm 5^{\circ}\text{C}$) por 24hr (Figura 12).

Figura 12 – Materiais em processo de secagem.



Fonte: Autor (2022).

E por fim, para a medição do teor de umidade foi utilizado a equação 1, que correlaciona a massa inicial com a massa seca e nos informa o teor de umidade do material em %.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

h = teor de umidade do agregado, em porcentagem;

m_i = massa inicial da cápsula com agregado úmido, em gramas;

m_f = massa final da cápsula com agregado seco, em gramas;

m_c = massa da capsula vazia, em gramas.

3.2.3. Análise granulométrica dos agregados

Este tópico apresenta a análise granulométrica dos agregados miúdos e graúdos utilizados, sendo eles areia, seixo e brita. Este ensaio foi realizado pela empresa Franco Engenharia na cidade de Imperatriz - MA.

3.2.3.1. Análise granulométrica dos agregados miúdos

A análise granulométrica do agregado miúdo foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 248/2003 *Agregados – Determinação da Composição Granulométrica*. Onde foi ensaiada uma amostra de 500g de areia (agregado miúdo em questão).

Neste ensaio, foram utilizadas peneiras de aço normatizadas, com abertura de malha de 6,38 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e fundo. A ordem de montagem das peneiras foi da maior abertura nas partes superiores, rumo às de menor abertura de malha nas partes inferiores, finalizando com o fundo. A areia foi despejada na parte superior do jogo de peneiras (na maior abertura de malha) e a agitação do jogo de peneiras ocorreu de forma manual.

Após o peneiramento manual, a massa de areia retida em cada peneira foi pesada em balança semi analítica e quantificada para cada peneira. Com os valores de massa obtidos, foi possível verificar a distribuição granulométrica da areia utilizada, a dimensão máxima característica e obter o módulo de finura do material.

3.2.3.2. Análise granulométrica dos agregados graúdos

A análise granulométrica dos agregados graúdos (seixo rolado e a brita granítica) foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 248/2003 *Agregados – Determinação da Composição Granulométrica*.

Para o procedimento, foram utilizadas peneiras de aço, normatizadas, com abertura de malha de 25,4 mm, 19,1 mm, 12,7 mm, 9,52 mm, 6,38 mm, 4,75 mm, 2,36 mm e fundo. A ordem de montagem das peneiras foi da maior abertura nas partes superiores, rumo às de menor abertura de malha nas partes inferiores, finalizando com o fundo.

Foi necessária a quantidade amostral de 1000g de cada agregado graúdo ensaiado. Cada material foi despejado na peneira de maior abertura de malha (parte superior do jogo de peneiras já montado). A agitação do jogo de peneiras foi realizada manualmente.

3.3. DEFINIÇÃO DO TRAÇO

O traço de concreto é a indicação da quantidade de materiais que o compõem, sendo composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água respectivamente. Na prática, para a produção do traço de concreto, utiliza-se como unidade de medida o volume para a medição das quantidades de materiais necessários. Contudo, para uma maior precisão, neste estudo será utilizada a unidade de medida massa (kg).

Para a escolha do traço de concreto convencional utilizando agregado graúdo brita foi realizado um estudo prévio. Com base em pesquisas anteriores de Barbalho (2017), Silva (2015) e Oliveira e Fenilli (2019) foi escolhido um traço de 1:2:3 e uma relação de água/cimento de 0,60. Consiste em um traço convencional que tem características econômicas, mecânicas, desejáveis para sua utilização, além de fácil preparo.

Para efeito comparativo, foi utilizado o mesmo traço para o concreto utilizando agregado graúdo seixo rolado, porém com uma relação água/cimento que atinja o mesmo grau trabalhabilidade.

3.4. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Para a produção do concreto para ambos os agregados graúdos iremos utilizar o traço 1:2:3, onde para cada 1 parte de cimento iremos utilizar 2 partes de agregado miúdo e 3 partes de agregado graúdo, vale reforçar que será utilizado o mesmo traço para que seja realizada uma comparação válida.

3.4.1. Procedimentos de produção do concreto

No laboratório de Hidráulica, Geotecnia e Pavimentação – HIGEOPAV da UEMASUL com o auxílio de uma balança digital de precisão de capacidade de 10kg, foi pesado e separado em sacos de 4kg todo o material que foi utilizado para a produção de cada traço. Na Figura 13, é possível observar os materiais sólidos utilizados na produção do concreto contendo a brita 1 como agregado graúdo.

Figura 13 – Materiais para traço com brita.



Fonte: Autor (2022).

Também foram fracionados em embalagens contendo 4kg os materiais sólidos que foram utilizados na confecção do concreto contendo seixo rolado como agregado graúdo. As frações de materiais podem ser visualizadas na Figura 14.

Figura 14 – Materiais para traço com seixo.



Fonte: Autor (2022).

Para a mistura dos componentes foi utilizado uma betoneira com capacidade de 120 litros da marca Menegotti. Com a finalidade de evitar perda de argamassa por aderência nas paredes da betoneira, inicialmente foi realizada a

imprimação com um traço de igual proporção ao que seria rodado na sequência, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 – Processo de imprimação da betoneira.



Fonte: Autor (2022).

Após processo de imprimação da betoneira, os materiais foram colocados na betoneira já ligada de acordo com a seguinte ordem: adicionado 50% da água de amassamento, inserindo todo o agregado graúdo, todo o agregado miúdo; após aproximadamente 2 minutos de mistura, foram adicionados o cimento e os 50% restantes da água de amassamento. Após a colocação de todo o material, a betoneira permaneceu ligada por um tempo de 4 minutos, até que a mistura ficasse visualmente homogênea.

Por meio de verificações visuais, foi observado que no traço de concreto com agregado graúdo brita contendo a relação a/c de 0,6, a mistura ficou plástica. Dessa forma, foram adicionadas duas porções de 500g de cimento, 1kg de areia e 1,5 kg de brita conforme a Figura 16.

Figura 16 – Adição de cimento e agregados.



Fonte: Autor (2022).

Com isso mantendo o mesmo traço e mudando somente a relação a/c corrigindo o excesso de plasticidade, assim a relação a/c mudou de 0,6 para 0,53 no traço de brita. A tabela 1 mostra a quantidade de material utilizado na produção de cada tipo de concreto.

Tabela 1 – Dosagem dos agregados

Traço	Cimento (kg)	Agregado miúdo (kg)	Agregado graúdo (kg)	Água (l)	Relação a/c
BRITA	9	18	27	4,8	0,53
SEIXO	8	16	24	4	0,5

Fonte: Autor (2022).

Por meio de verificações práticas, foram efetuadas duas verificações com intuito de analisar o aspecto final da mistura. A primeira verificação consiste em passar uma colher de pedreiro no concreto fresco, tentando deixar a superfície lisa e verificar se o concreto está bem argamassado (Figura 17).

Figura 17 – Verificação de trabalhabilidade.



Fonte: Autor (2022).

A segunda verificação, consiste em introduzir a colher de pedreiro dentro da massa e levantar no sentido vertical até a região superior da betoneira, assim verificando se há despendimento dos agregados graúdo da massa, depois soltar o concreto e verificar se cai de modo compacto e homogêneo, com essa verificação indica que o teor de argamassa é adequado (Figura 18).

Figura 18 – Verificação de teor de argamassa.



Fonte: Autor (2022).

Após essas verificações deu-se início aos ensaios no estado fresco e as moldagens dos corpos de prova (CP's).

3.4.2. Moldagem dos corpos de prova (CP's)

Os corpos de provas foram moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), em formatos cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram confeccionados 10 corpos de provas para cada traço de concreto e o adensamento foi realizado de forma manual com uma haste metálica, conforme exibe a Figura 19. O adensamento se deu em duas camadas, com 15 golpes por camada conforme determina a normativa.

Figura 19 – Adensamento manual em corpo de prova cilíndrico confeccionado em concreto.



Fonte: Autor (2022).

Os corpos de prova permaneceram nos moldes cilíndricos durante 24 horas para que apresentassem a consistência necessária que possibilitasse a desforma dos mesmos. Após desforma, os CP's cilíndricos foram imersos em uma caixa de água, com capacidade de 500L, suturada com cal (vide Figura 20) pelo período de 14 e 28 dias (idade para realização de ensaios mecânicos de resistência no estado endurecido).

Figura 20 – Processo de cura do concreto



Fonte: Autor (2022).

3.5. ENSAIOS DO CONCRETO

Foram realizados ensaios em ambos os concretos no estado fresco e no estado endurecido. Tais ensaios são de extrema importância, pois, com os resultados, teremos informações necessárias para comparação da resistência mecânica, trabalhabilidade, entre outros pontos dos dois tipos de concretos confeccionados neste estudo.

3.5.1. Ensaio do concreto no estado fresco

Neste tópico serão apresentados os ensaios realizados do concreto no estado fresco, sendo eles: o ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone e a aferição da massa específica.

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

A consistência do concreto é um parâmetro que correlaciona com a sua trabalhabilidade. Geralmente, a trabalhabilidade dos concretos plásticos é medida pelo abatimento do tronco de cone, devido à facilidade da aplicação do método para

controlar a uniformidade da produção de concreto. Porém, vale ressaltar que a qualidade e quantidade dos aglomerantes alteram esta medida.

Este ensaio denominado de *Slump Test*, também conhecido como abatimento do tronco de cone, de acordo com a ABNT NBR NM 67/1998 - *Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, onde deverá ser posicionado no molde já umedecido e ir adicionando camadas de concreto e golpear com bastão de aço, após esse processo o molde deve ser levantado verticalmente e medido a diferença de altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova.

Sobre uma placa de base foi colocado um molde em forma de tronco de cone de 300mm de altura e diâmetro inferior de 200mm, diâmetro da parte superior de 100mm, também umedecido para recebimento do concreto a ser ensaiado, em seguida, o molde foi sendo preenchido pelo concreto em 3 camadas sucessivas de forma que cada camada possuísse 1/3 do volume do cone. Em cada camada, antes de ser colocada a camada seguinte, foram aplicados 25 golpes uniformemente distribuídos com a haste de socamento para efetuar a compactação, conforme mostra a figura 21. A última camada foi preenchida além da altura do cone e finalizada com o rasamento da superfície.

Figura 21 – Execução do ensaio *Slump test*.



Fonte: Autor (2022).

A retirada do molde foi feita na direção vertical e cuidadosamente em movimentos constantes, sendo feito num tempo de 5 a 10 segundos. Assim é obtido o resultado do ensaio, ou seja, o abatimento do concreto, verifica-se a diferença entre a altura do molde e a altura do corpo de prova desmoldado, como mostra a figura 22.

Figura 22 – Resultado do ensaio *Slump test*.



Fonte: Autor (2022).

3.5.1.2. Massa específica do concreto fresco

Para encontrar a massa específica do concreto no estado fresco, foi seguido a ABNT NBR 9833/2008 - *Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico*, primeiramente sendo pesado o molde vazio, seguidamente preenchido e pesado novamente, subtraindo o valor obtemos a massa de concreto fresca (Figura 23).

Figura 23 – Aferição da massa do concreto fresco.



Fonte: Autor (2022).

A massa específica é a divisão da massa de concreto pelo volume ocupado, que, nesse caso, corresponde ao volume do molde cilíndrico. Seguindo a Equação 2 podemos achar o volume do molde:

$$V = h \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2)$$

Onde:

V = volume do molde em m³;

h = altura do molde;

r = raio do molde.

Após encontrar o volume e a massa podemos calcular a massa específica utilizando a equação 3 fornecida por norma:

$$\rho_{ap} = \left(\frac{m}{v}\right) \quad (3)$$

Onde:

ρ_{ap} = massa específica aparente em kg/m³;

m = massa de concreto em kg;

v = volume do molde em m³.

3.5.2. Ensaio no estado endurecido

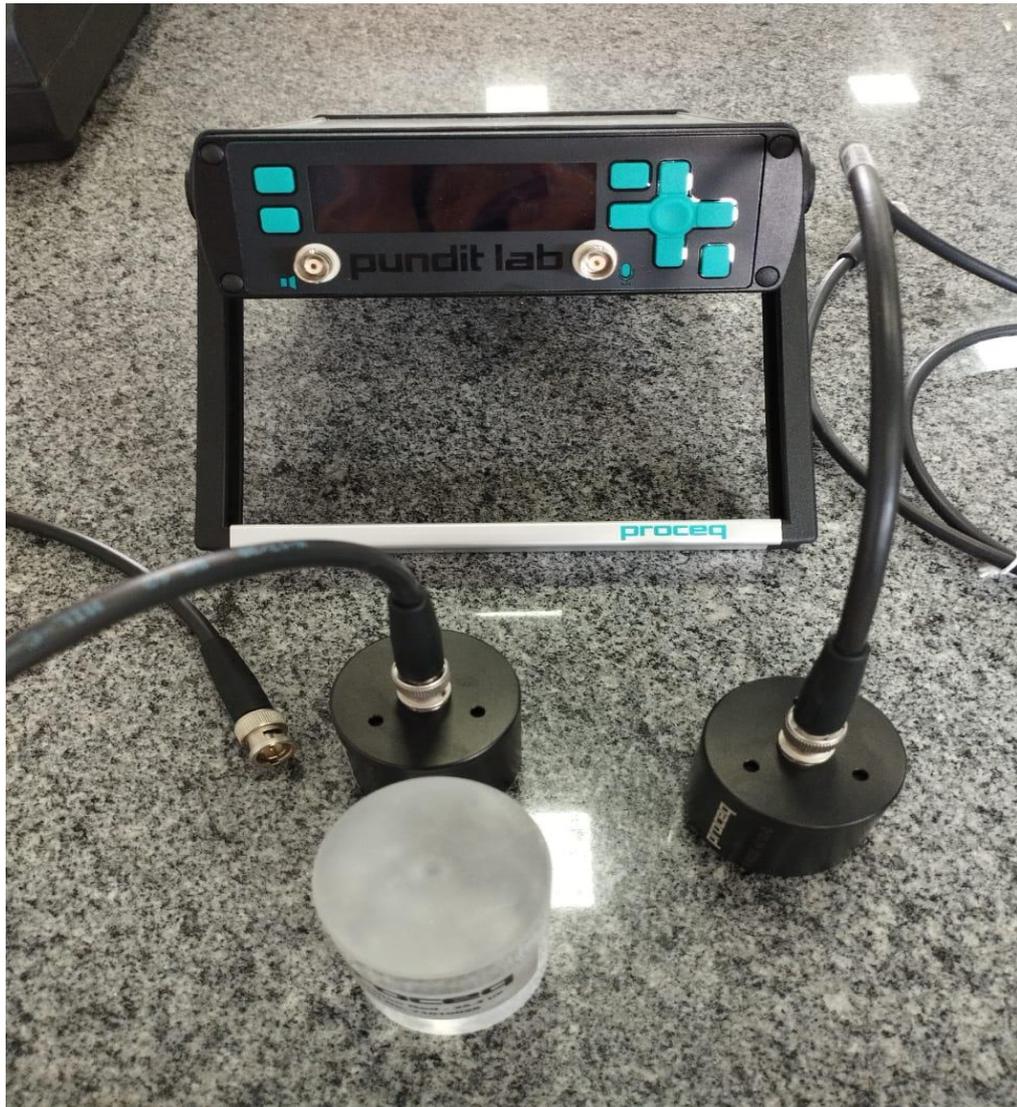
Neste tópico serão apresentados os ensaios que serão realizados no estado endurecido do concreto, sendo eles o ensaio de ultrassom e o ensaio de resistência à compressão.

3.5.2.1. Ensaio de ultrassom

No estado endurecido foi realizado o ensaio de ultrassom, de acordo com a NBR 8802/2019 - *Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Onde foram ensaiados 4 corpos de provas de idade de 34 dias, sendo 2 com o traço de seixo e 2 com o traço de brita.

Para a realização deste ensaio foi utilizado o equipamento da Pundit Lab (marca PROCEQ). O equipamento possui dois transdutores, onde um deles é o emissor e o outro o receptor das ondas ultrassônicas (Figura 24).

Figura 24 – Aparelho de ultrassom.



Fonte: Autor (2022).

Neste ensaio, foi utilizado o método direto. Deste modo cada transdutor foi colocado na extremidade do corpo de prova, no eixo longitudinal. Na Figura 25 é possível observar os CP's utilizados neste ensaio.

Figura 25 – Ensaio de ultrassom do concreto.



Fonte: Autor (2022).

Através do tempo e distância que os pulsos ultrassônicos levam para percorrer o concreto é possível calcular a velocidade desta onda utilizando a equação 4.

$$V = \frac{L}{t} \quad (4)$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda ultrassônica em metros por segundo (m/s);

L = distância entre os eixos dos transdutores em metros (m);

t = tempo decorrido da emissão a recepção da onda em segundos (s).

Após o ensaio, é verificada a velocidade de propagação da onda ultrassônica através com concreto. Com este dado, é possível correlacionar a velocidade do concreto com a qualidade do mesmo, conforme mostra a Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Relação entre velocidade de impulso e qualidade do concreto.

Velocidade de propagação da onda ultrassônica no concreto (m/s)	Qualidade do concreto
> 4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular
2000 a 3000	Ruim
< 2000	Péssimo

Fonte: Adaptado de I. Lawson (2011).

Segundo Lawson (2011), com a utilização da Equação 4, é possível verificar que a velocidade é independente da geometria do material e depende apenas propriedades elásticas do material que permeia. Portanto, o princípio de avaliar a qualidade do concreto é que velocidades comparativamente mais altas são obtidas quando a qualidade do concreto em termos de densidade, homogeneidade e a uniformidade são boas.

3.5.2.2. Rompimento dos corpos de provas

Para o estado endurecido dos concretos confeccionados, foi realizado o ensaio de resistência à compressão, de acordo com a ABNT NBR 5739/2007 - *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Foram ensaiados 4 corpos de provas de cada idade (14 e 28 dias) para cada concreto.

Para a realização deste ensaio, foi utilizada a Prensa Manual Hidráulica da marca Contenco (Modelo I-3001-C), de capacidade de 100 tf (Figura 26), disponível na empresa IMPERMIX localizada no município de Açailândia-MA.

Figura 26 – Prensa Hidráulica Contenco.



Fonte: Autor (2022).

Os CP's foram posicionados na prensa hidráulica, iniciado o ensaio de compressão até a ruptura dos mesmos. Ao término do ensaio, o resultado é fornecido através do painel digital em tonelada força (Tf) (vide Figura 27).

Figura 27 – Resultado do ensaio.



Fonte: Autor (2022).

Ao término, é obtida a carga de ruptura do CP. Com isso, utilizando a Equação 5, é possível determinar o parâmetro de resistência a compressão do respectivo CP.

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Onde:

P = Pressão, em Megapascal (MPa);

F = Carga atuante, em Newtons (N);

A = Area da seção transversal do CP, em milímetros quadrados (mm²).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. TEOR DE UMIDADE DOS AGREGADOS

Neste tópico são apresentados os resultados do aferimento do teor de umidade dos agregados, divididos em dois tópicos: um com agregados miúdos e o outro com agregados graúdos.

4.1.1. Teor de umidade dos agregados miúdos

O teor de umidade da areia foi obtido por meio da diferença da massa inicial com a massa final. Na Tabela 3 encontram-se os valores de teor de umidade deste material.

Tabela 3 - Teor de umidade dos agregados miúdos (areia).

Amostra (areia)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de umidade (%)
1	100	99,95	0,05
2	100	99,96	0,04
3	100	99,96	0,04
Média	100	99,956	0,043

Fonte: Autor (2022).

4.1.2. Teor de umidade dos agregados graúdos

O teor de umidade da brita e do seixo foram obtidos por meio da diferença da massa inicial com a massa final. Nas Tabelas 4 e 5 estão os resultados obtidos para teor de umidade destes materiais.

Tabela 4 - Teor de umidade do agregado graúdo (brita).

Amostra (brita)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de umidade (%)
1	100,89	89,78	11,01
2	100,54	89,25	11,22
3	100,96	89,03	11,81
Média	100,79	89,35	11,34

Fonte: Autor (2022).

Tabela 5 - Teor de umidade do agregado graúdo (seixo).

Amostra (seixo)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de umidade (%)
1	100,06	88,11	11,94
2	100,24	89,28	10,93
3	100,18	88,40	11,75
Média	100,16	88,59	11,54

Fonte: Autor (2022).

Pode-se observar que ambos os agregados graúdos estão em teores de umidade próximos, ambos com aproximadamente 11% de umidade.

4.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

Neste tópico são apresentados os resultados dos ensaios granulométricos dos agregados (areia, brita granítica e seixo rolado).

4.2.1. Análise granulométrica do agregado miúdo areia.

O Quadro 1, a seguir, exhibe os resultados do ensaio granulométrico realizado com uma amostra de 500g do agregado miúdo (areia) utilizado.

Quadro 1 – Composição granulométrica do agregado miúdo areia.

Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
6,3	1,21	0,24%	0,24%	99,76%
4,75	0,47	0,09%	0,34%	99,66%
2,4	5,85	1,17%	1,51%	98,49%
1,2	39,9	8,01%	9,52%	90,48%
0,6	73,03	14,66%	24,18%	75,82%
0,3	314,96	63,22%	87,40%	12,60%
0,15	60,86	12,22%	99,61%	0,39%
fundo	1,92	0,39%	100,00%	0,00%
total	498,2	-	-	-

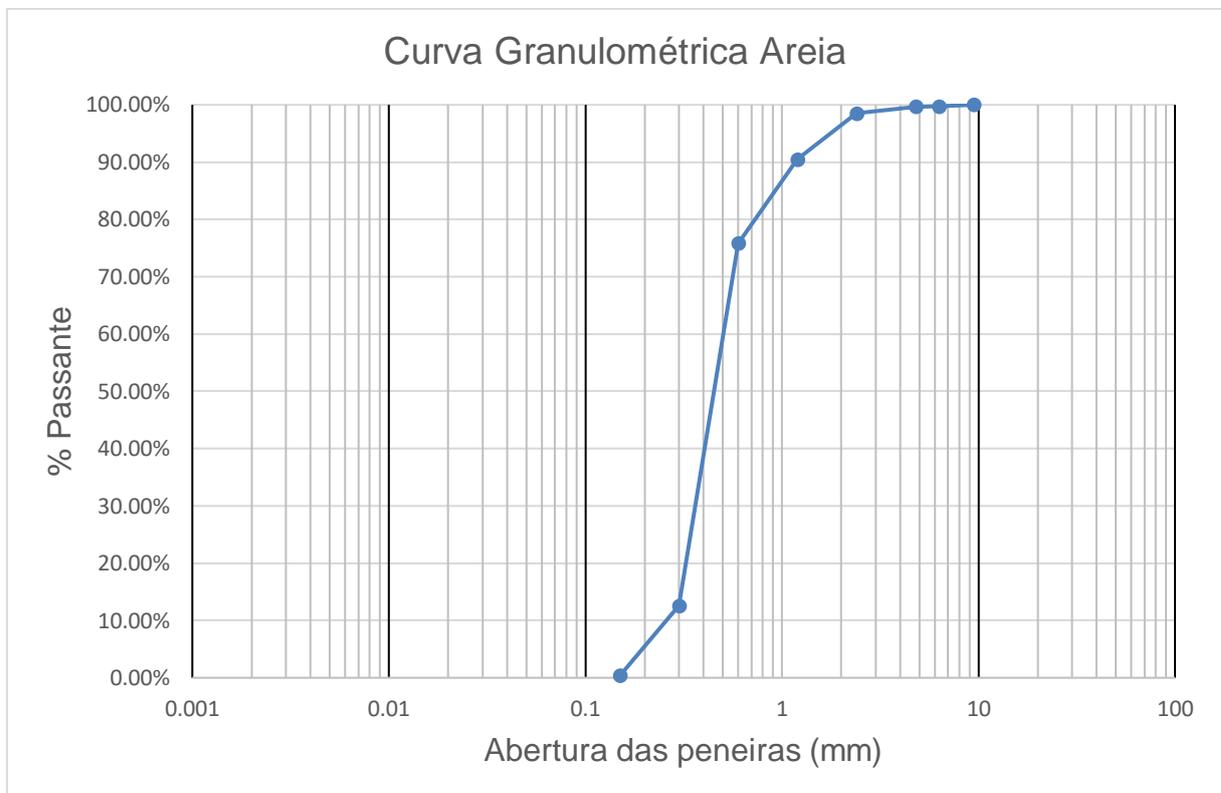
Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos, foi obtido o valor de módulo de finura de 2,22, classificando esta areia como areia média. Ademais, observou-se que a dimensão máxima característica do agregado foi de 6,3 mm, com somente 0,24% retido e com 0,39% de material fino passante na peneira de 0,15mm, estando de

acordo com a norma ABNT NBR 7211/2005 que exige uma porcentagem máxima de 5%.

A curva granulométrica obtida para agregado miúdo (areia) pode ser observada no Gráfico 1. Por meio desta representação gráfica, observou-se que a granulometria da areia foi contínua, exibindo boa distribuição de tamanho de partículas. Tal distribuição pode favorecer a resistência final do concreto por possuir variação dos diâmetros, fazendo com que o concreto tenha menor números de vazios e, conseqüentemente, menor porosidade.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).



Fonte: Autor (2022).

4.2.2. Análise granulométrica do agregado graúdo brita

O Quadro 2, a seguir, exhibe os resultados do ensaio granulométrico realizado com uma amostra de 1003,06g do agregado graúdo brita.

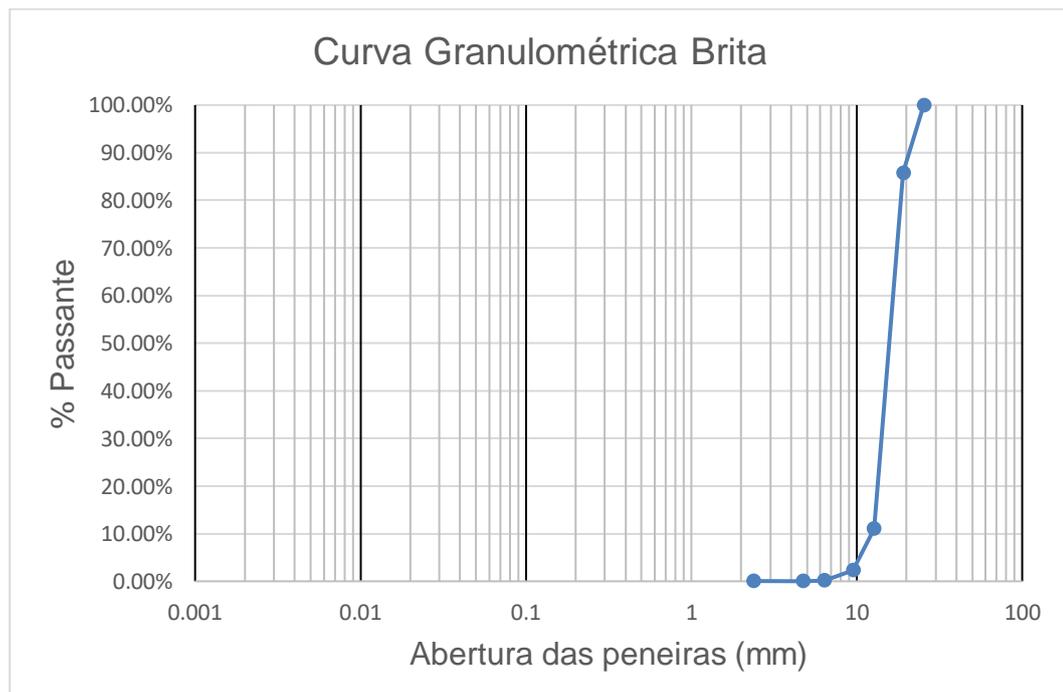
Quadro 2 – Composição granulométrica do agregado graúdo (brita).

Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	% Retida na peneira	% Retida acumulada	% Passante
25,4	0	0,00%	0,00%	100,00%
19,1	142,64	14,22%	14,22%	85,78%
12,7	749,9	74,76%	88,98%	11,02%
9,52	87,42	8,72%	97,70%	2,30%
6,38	21,5	2,14%	99,84%	0,16%
4,75	0,9	0,09%	99,93%	0,07%
2,38	0,13	0,01%	99,94%	0,06%
fundo	0,57	0,06%	100,00%	0,00%
total	1003,06	-	-	-

Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos, constatou-se que a brita granítica deste estudo é classificada como brita 1, possuindo dimensão máxima característica de 19,10 mm e zona granulométrica compreendida na faixa de 9,52/25mm, conforme pode ser observado no Gráfico 2. A brita 1 é um agregado comumente utilizado na produção de concretos convencionais.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado graúdo brita.



Fonte: Autor (2022).

4.2.3. Análise granulométrica do agregado graúdo seixo.

O Quadro 3 apresenta os resultados do ensaio granulométrico realizado com uma amostra de 1000,46g do agregado graúdo seixo.

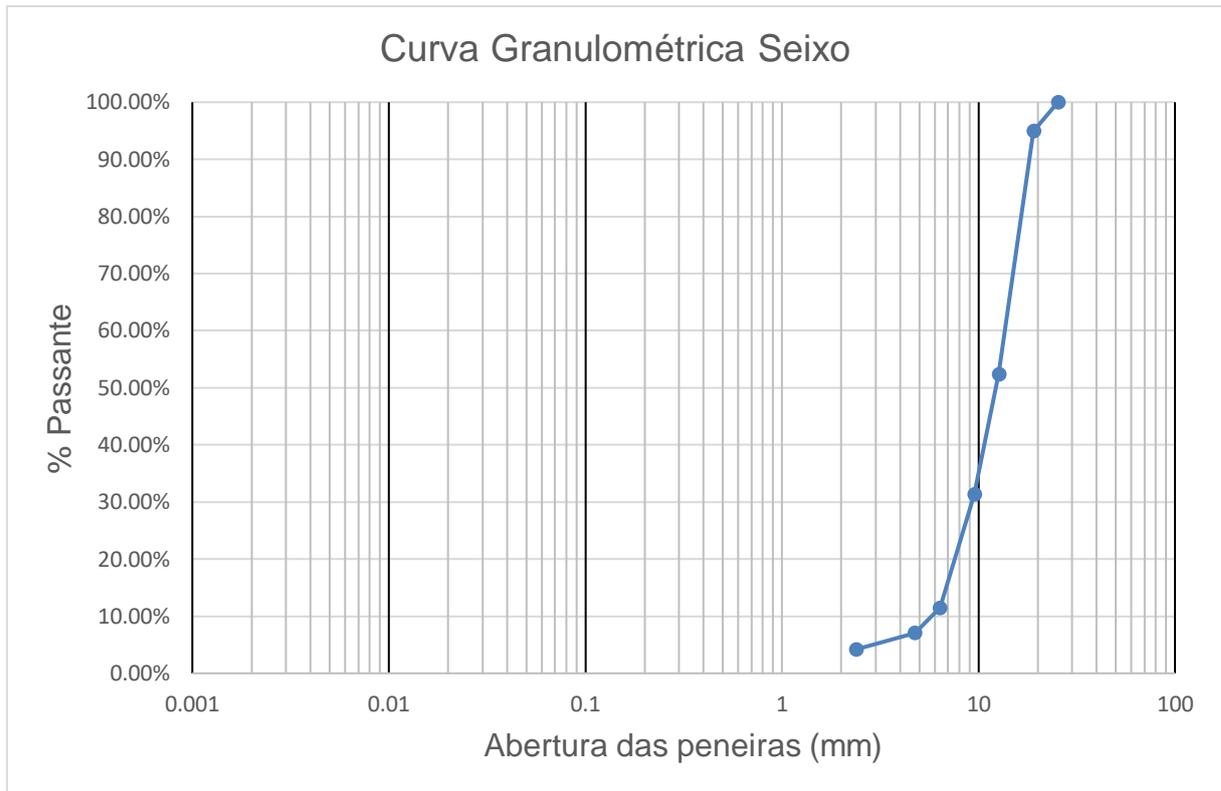
Quadro 3 – Composição granulométrica do agregado graúdo (seixo).

Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	% Retida na peneira	% Retida acumulada	% Passante
25,4	0	0,00%	0,00%	100,00%
19,1	50,36	5,03%	5,03%	94,97%
12,7	425,49	42,53%	47,56%	52,44%
9,52	210,88	21,08%	68,64%	31,36%
6,38	198,5	19,84%	88,48%	11,52%
4,75	44,58	4,46%	92,94%	7,06%
2,38	28,85	2,88%	95,82%	4,18%
fundo	41,8	4,18%	100,00%	0,00%
total	1000,46	-	-	-

Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos, foi observado que o material apresentou granulometria bem distribuída. Notou-se que nesta amostra de agregado graúdo houve presença de material classificado como seixo 0 e seixo 1. Assim, o seixo rolado submetido ao ensaio de granulometria não se enquadrou na zona granulométrica 4,75/12,5mm e 9,5/25mm. Com isso, o seixo foi caracterizado como seixo rolado misto contento seixo 0 e seixo 1.

Gráfico 3 – Curva granulométrica do agregado graúdo (seixo).



Fonte: Autor (2022).

Faça algum comentário sobre a curva granulométrica..

4.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

Neste tópico são apresentados os resultados dos ensaios realizados no estado fresco, sendo eles o abatimento do tronco do cone (*Slump test*) e a aferição de massa específica do concreto fresco.

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

Abaixo na tabela 6 são apresentados os resultados dos ensaios de abatimento do tronco do cone (*Slump test*) realizado nos dois traços de concreto.

Tabela 6 – Abatimento do tronco do cone.

Traço	Abatimento (mm)
Com seixo rolado	135
Com brita granítica	125

Fonte: Autor (2022).

Os resultados do abatimento do tronco do cone de ambos os concretos ficaram bem próximos um do outro, valores esses que apresentam uma boa trabalhabilidade no momento da moldagem e adensamento dos CPs.

4.3.2. Massa específica.

Neste tópico são apresentados os valores obtidos da massa específica dos dois traços de concreto no estado fresco apresentados na tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Massa específica concreto fresco.

Traço	Massa específica (kg/m³)
Com seixo rolado	2401,96
Com brita granítica	2487,91

Fonte: Autor (2022).

Com estes resultados, observamos que em ambos os traços de concreto a massa específica ficaram dentro da massa específica de um concreto convencional.

4.4. RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO

Neste tópico são apresentados os ensaios realizados no concreto no estado endurecido, sendo o ensaio de resistência à compressão e o ensaio de ultrassom.

4.4.1. Ensaio de resistência à compressão

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão realizado nos CP's de seixo de 14 dias de idade, exibindo a carga de ruptura, a resistência à compressão e o valor médio.

Tabela 8 – Carga de ruptura e resistência à compressão do concreto com seixo de 14 dias.

CPs Seixo	Idade (dias)	Carga de ruptura (Tf)	Resistência a compressão (Mpa)
S-1	14	22,36	27,92
S-2	14	24,96	31,16
S-3	14	24,94	31,14
S-4	14	24,91	31,10
Média	14	24,29	30,33

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 28 é possível observar o tipo de ruptura de cada um dos CP's de seixo de 14 dias de idade.

Figura 28 – Ruptura dos CP's de seixo de 14 dias.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão realizados nos CP's de brita de 14 dias de idade, exibindo a carga de ruptura, a resistência à compressão e o valor médio.

Tabela 9 - Carga de ruptura e resistência a compressão do concreto com brita de 14 dias.

CPs Brita	Idade (dias)	Carga de ruptura (Tf)	Resistência a compressão (Mpa)
B-1	14	20	24,97
B-2	14	19,71	24,61
B-3	14	18,67	23,31
B-4	14	17,60	21,97
Média	14	17,74	23,72

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 29 é possível observar o tipo de ruptura de cada um dos CP's de brita de 14 dias de idade.

Figura 29 – Ruptura dos CP's de brita de 14 dias.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão realizado nos CP's de seixo de 28 dias de idade, onde foi verificado um aumento de 9,03% do ensaio anterior de 14 dias.

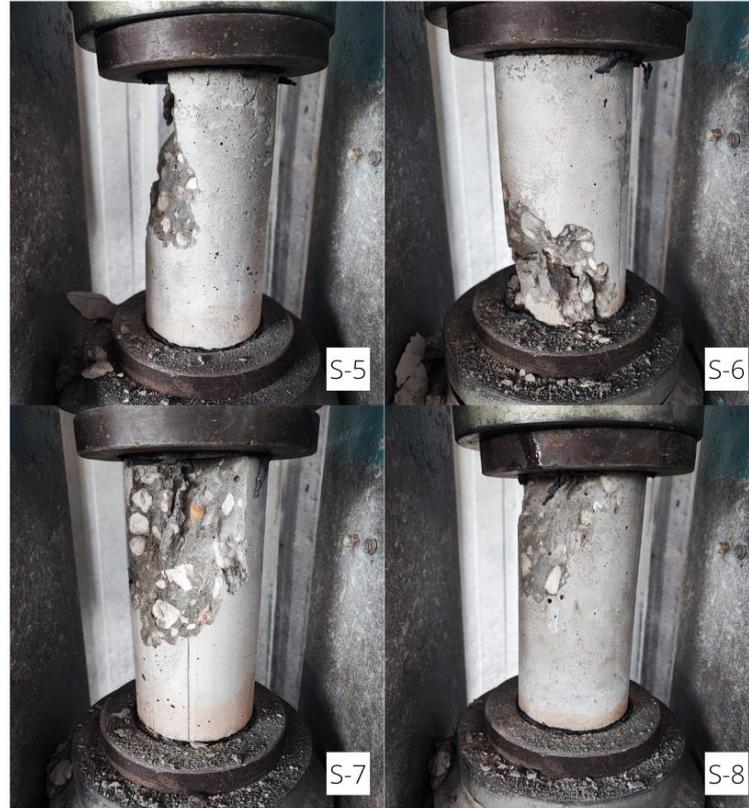
Tabela 10 - Carga de ruptura e resistência à compressão do concreto com seixo de 28 dias.

CPs Seixo	Idade (dias)	Carga de ruptura (Tf)	Resistência a compressão (Mpa)
S-5	28	25,61	31,98
S-6	28	25,40	31,71
S-7	28	24,90	31,09
S-8	28	30,04	37,51
Média	28	26,48	33,07

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 30 é possível observar o tipo de ruptura de cada um dos CP's de seixo de 28 dias de idade.

Figura 30 – Ruptura dos CP's de seixo de 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência à compressão realizados nos CP's de brita de 28 dias de idade. Foi verificado um aumento de 8,30% do ensaio anterior de 14 dias.

Tabela 11 - Carga de ruptura e resistência à compressão do concreto com brita de 28 dias.

CPs Brita	Idade (dias)	Carga de ruptura (Tf)	Resistência a compressão (Mpa)
B-5	28	17,72	22,16
B-6	28	20,64	25,77
B-7	28	21,40	26,72
B-8	28	22,53	28,13
Média	28	20,57	25,69

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 31 é possível observar o tipo de ruptura de cada um dos CP's de brita de 28 dias de idade.

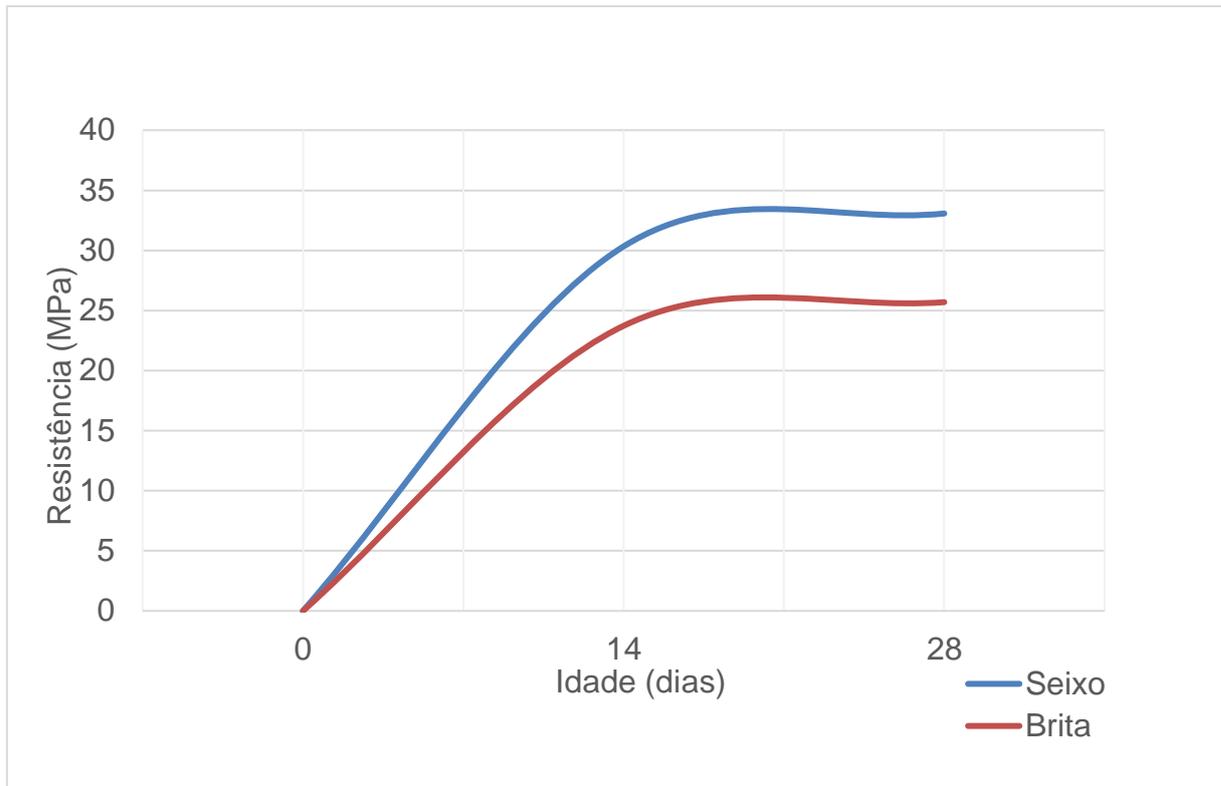
Figura 31 – Ruptura dos CPs de brita de 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

Por meio dos resultados obtidos, foi possível plotar o gráfico do crescimento de resistência de ambos os concretos e assim ter uma comparação, conforme o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Comparativo de crescimento de resistência por idade.



Fonte: Autor (2022).

Foi observado que o concreto contendo seixo rolado exibiu valores de resistência à compressão superiores quando comparados ao concreto contendo brita granítica. O valor da resistência à compressão do concreto contendo seixo, aos 14 dias de idade, foi 27,87% maior em relação ao concreto com brita granítica (para a mesma idade) e, aos 28 dias de idade, foi superior em 28,72% em relação ao concreto contendo brita granítica (para a mesma idade).

4.4.2. Ensaio de ultrassom

As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados obtidos por meio dos ensaios de ultrassom realizados em ambos os traços de concreto. Com este ensaio, obteve-se a velocidade de propagação da onda ultrassônica, possibilitando realizar correlações com a qualidade do concreto.

Tabela 12 – Velocidade de propagação de onda ultrassónica nos CP's de seixo.

CP's Seixo	Idade (dias)	Velocidade de propagação da onda (m/s)
S-9	34	4115
S-10	34	4082
Média	34	4098,5

Fonte: Autor (2022).

Tabela 13 - Velocidade de propagação de onda ultrassónica nos CPs de brita.

CP's Brita	Idade (dias)	Velocidade de propagação da onda (m/s)
B-9	34	4566
B-10	34	4425
Média	34	4495,5

Fonte: Autor (2022).

Com os resultados obtidos neste ensaio, observou-se que o concreto contendo brita granítica atingiu uma velocidade maior de aproximadamente 8,90% em comparação à velocidade verificada no ensaio para o concreto contendo seixo rolado. Ambos os concretos exibiram valores dentro da faixa de qualidade boa em termos de densidade, homogeneidade e a uniformidade.

5. CONCLUSÃO

Os agregados representam grande parte do volume do concreto e exercem grande influência em suas propriedades físicas e mecânicas. Com isso, é de extrema importância a obtenção de traços com boa trabalhabilidade, economicamente e mecanicamente viáveis.

Por meio dos resultados obtidos nos ensaios realizados neste estudo, comparando o seixo rolado e a brita granítica para um mesmo grau de trabalhabilidade notou-se que: Os resultados dos ensaios do concreto no estado fresco ficaram bem próximos um do outro, tanto a massa específica quanto o abatimento do tronco do cone; Já no estado endurecido o concreto produzido com seixo rolado obteve uma resistência média de 33,07 MPa em comparação com a brita granítica que obteve 25,69 MPa, uma vantagem de 28,72%. No ensaio de ultrassom, ambos os concretos tiveram resultados positivos, obtendo valores que correspondem a um concreto de qualidade boa.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, concluiu-se que para que o concreto contendo agregado graúdo brita granítica atinja a mesma trabalhabilidade que o concreto com agregado graúdo seixo rolado, fez necessário o uso de mais água, o que elevou a relação água/cimento para o traço contendo brita granítica e que, conseqüentemente, decorreu no menor valor de resistência mecânica observada para o concreto contendo brita.

Em seguida são apresentados possíveis sugestões para estudos futuros: comparação da resistência mecânica de concretos convencionais versus concreto com adição de escória de alto forno; A realização de traços de concreto com a incorporação de aditivos plastificantes.

REFERÊNCIAS

- ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto Armado: novo milênio, cálculo prático e econômico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.
- ALMEIDA, Janaina Alves. **Influência da adição de resíduo siderúrgico na performance do concreto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.
- ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03.
- AMÂNCIO, Felipe Alves *et al.* **Correlação entre o ensaio de ultrassom e as propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos convencionais**. Revista Técnico-Científica, 2019.
- ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. 2002. 30 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, UNESP, Ilha Solteira, 2002.
- ARAÚJO, Lucas Emanuel Fernandes *et al.* **A falta de controle dos agregados miúdos em diferentes obras de Sobral**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 67714-67723, 2020.
- ARAUJO, R. C. L.; RODRIGUES, L. H. V.; FREITAS, E. G. A. Concreto de Cimento Portland. In: **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000
- ARRIVABENE, Lúcio Flávio. **Uma contribuição ao estudo de utilização da escória bruta e granulada de alto forno para a produção de concretos**. 2000. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL –ABESC. **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo, 2007. 35 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: : Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009b. 11p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** – Concreto – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**– Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**– Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

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

BARBALHO, Anne Priscila de Castro Bezerra. **Análise comparativa entre as propriedades mecânicas de concretos produzidos com brita granítica e com seixo rolado para uma mesma faixa de resistência à compressão**. 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. São Paulo, 2019.

BATTAGIN, A.F; BATTAGIN, I.L.S. **O cimento Portland no Brasil**. In: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. 2 ed. vol 1. São Paulo, 2010.862 p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 6. Ed. Ver. Livros Técnicos e Científicos, 2019.

BERGMANN, Ana Claudia *et al.* concretos autoadensáveis e convencionais: análise das propriedades em estado fresco e endurecido. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 167-178, 2019.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, 2010.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. (2015): Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado. EduFSCar, 4ª. Ed.

CATUSSO, Amanda *et al.* **Interferência da exsudação na carbonatação de concretos**. Anais do INTERCORR2016, Brasil., 2016.

FONSECA, Felipe Borges *et al.* **Ensaaios não destrutivos para avaliação da rigidez em elementos de concreto armado.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 20009-20018, 2021.

GOMES, D. A.; TAVARES, D. P.; CORREA, W. da S. **AVALIAÇÃO TÉCNICA DA FABRICAÇÃO DE CONCRETO COM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–7. DOI: 10.46421/entac.v18i.1036.

GUIMARÃES, Cleidson; GOMES, Mário Vinicius Aguiar. **Areia de britagem como alternativa à areia natural na confecção de concreto: um panorama sobre o estado da arte.** Labor e Engenharia, v. 14, p. e020005-e020005, 2020.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo F. **Dosagem dos concretos de cimento Portland.** Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2011.

ISAIA, G. (2010): **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. IBRACON.

ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo F. **Concreto de alto e ultra-alto desempenho.** Concreto: Ciência e Tecnologia. Cap, v. 36, 2011.

KAEFER, Luís Fernando. **A evolução do concreto armado.** São Paulo, v. 43, 1998.

KELES, K. C. **Influência da basicidade da escória de alto forno como adição ao concreto.** 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

LAWSON, I. *et al.* **Non-destructive evaluation of concrete using ultrasonic pulse velocity.** Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, v. 3, n. 6, p. 499-504, 2011.

LOPES, H. M. T. **Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland.** 2019. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

MACIEL, Lucas Damas; COELHO, Adenilson Roberto; PEREIRA, Helena Ravache Samy. **Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência.** **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

MACIEL, Lucas Damas; COELHO, Adenilson Roberto; PEREIRA, Helena Ravache Samy. **Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência.** **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

MALHOTRA, V. Mohan; CARINO, Nicholas J. **Handbook on nondestructive testing of concrete.** CRC press, 2003.

- MASSUCATO, C. J. **Utilização de escoria de alto forno a carvão vegetal como adição no concreto**. 2005. 122p. Dissertação (Mestrado em engenharia), Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo/ UEC, 2005.
- MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- MENDES, Johnny Gonçalves. **Controle tecnológico do concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 07, Vol. 07, pp. 49-61. Julho de 2021. ISSN: 2448-0959.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 523 p. ISBN 978-85-8260-366-6.
- OKAMURA, H.; OUCHI, K. **Self-compacting concrete**. *Journal of Advanced Concrete Technology*. Tóquio, p. 5-15. abr. 2003.
- OLIVEIRA, E. A.; FENILLI, F. G. **Estudo de dosagem para determinação de traço de concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019
- OLIVEIRA, Éder Alves de; FENILLI, Felipe Gustavo. **Estudo de dosagem para determinação de traço de concreto**. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2019.
- PACHECO J.; HELENE, P. **Boletim Técnico 09**. Porto Alegre: ALCONPAT-BR, 2013.
- PAIVA FILHO, J. C. **Análise Da Resistência À Compressão E Consistência De Concreto Produzido Com Brita Calcária E Aditivo Plastificante**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA. Mossoró, RN, 2017.
- PASSOS, Igor Lira. **Aplicação de algoritmos de aprendizagem de máquinas para previsão de abatimento de tronco de cone e resistência à compressão de concretos convencionais**. 2022.]
- PEREIRA, M. R. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**, 2008. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Estruturas de Concreto: Capítulo 2. In: **Características do concreto**. São Paulo: USP, 2004.
- RIBEIRO, C. C.; PINTO J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 99 p.
- RODRIGUES, Carlos Alberto Santos; NETO, Bernardo Borges Pompeu. **Estudo de concretos produzidos com agregados graúdos comercializados em Altamira** Study of concretes produced with coarse aggregates sold in Altamira. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 6, p. 59003-59017, 2021.

SELEME, Guilherme Ganz. **Análise de viabilidade econômica comparativa entre alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e paredes de concreto armado moldadas no local**. TCC (Engenharia Civil) – Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2019.

SILVA JÚNIOR, F. A. **Avaliação do efeito da adição de resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formulação de compósitos cimentícios**. 2014. 183 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SILVA, Daniela Fernanda; FINEZA, Adonai Gomes; SOARES, Guilherme Silva. **CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM ESCÓRIA (CP II E 32)**. ANAIS SIMPAC, v. 10, n. 1, 2019.

SILVA, José Daniel Jales. **Avaliação da potencialidade de incorporação de um lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SINDIPEDRAS. Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo disponível em: < <http://www.sindipedras.org.br/>>. Acesso em 19/07/2022.

SOBRAL, Hernani Sávio. **PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO**. 5. ED. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 34 p.

SOUSA, Diego Lucena; OLIVEIRA, Mateus Gonçalves; SOUZA, Paulo Sérgio Lima. **Análise comparativa entre dois tipos de agregados utilizados em obras de pequeno e médio porte no município de Tucuruí-PA**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 2, 2018.

SOUZA, A. L. R. **Efeitos da mistura de Sílica ativa e Nanossílica na durabilidade do concreto**. 2021. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-03A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

SPERANDIO, G. S.; CARELLI, J. M. Definição de uma curva de correlação entre a resistência à compressão axial e o índice esclerométrico utilizando diferentes relações água/cimento. **Conhecimento em Construção**, [S. l.], v. 6, p. 73–88, 2019.

VARELA, M. **Minicurso De Dosagem de Concreto método ABCP/ACI**. 2012.

YAZIGI, Walid.; A técnica de edificar. 18. ed. - São Paulo: Blucher, 2021. 894 p.) ISBN 978-65-5506-197-0.