



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ÉRIKA NERES ROMEIRO NAVES  
TÂNIA APARECIDA ANDRADE BARROS**

**AREIA DE BRITAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
VIABILIDADE DO USO COMO AGREGADO MIÚDO NO  
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**PUBLICAÇÃO Nº: 21**

**GOIANÉSIA / GO  
2019**



**ÉRIKA NERES ROMEIRO NAVES  
TÂNIA APARECIDA ANDRADE BARROS**

**AREIA DE BRITAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
VIABILIDADE DO USO COMO AGREGADO MIÚDO NO  
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**PUBLICAÇÃO N°: 21**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: ESP. ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NAVES, Erika Neres Romeiro; BARROS, Tânia Aparecida Andrade.

Areia de Britagem na construção civil: viabilidade do uso como agregado miúdo no concreto de cimento Portland. 2019, xviii, 58P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Areia Britada	2. Areia Natural
3. Resistência	4. Compressão
I. ENC/FACEG	II. Título (Série)

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NAVES, E. N. R; BARROS, T. A. A. Areia de Britagem na Construção Civil: Viabilidade do Uso como Agregado Miúdo no Concreto de Cimento Portland. TCC, Publicação ENC. PF-021A/19, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia,GO, 58p. 2019.

### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Érika Neres Romeiro Naves

Tânia Aparecida Andrade Barros

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Areia de Britagem na Construção Civil: Viabilidade do Uso como agregado Miúdo no Concreto de Cimento Portland.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Erika Neres Romeiro Naves  
ericannaves@gmail.com  
76381-137 - Goianésia/Go-Brasil

---

Tânia Aparecida Andrade Barros  
taniaandrade159@gmail.com  
CEP – Goianésia/Go - Brasil

**ÉRIKA NERES ROMEIRO NAVES  
TÂNIA APARECIDA ANDRADE BARROS**

**AREIA DE BRITAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
VIABILIDADE DO USO COMO AGREGADO MIÚDO NO  
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Especialista (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**DANIELLY LUZ ARAÚJO DE MORAIS, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**IVANDRO JOSÉ DE FREITAS ROCHA, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 04 de DEZEMBRO de 2019.**

*Dedico este trabalho:  
Ao meu marido Alisson pelo amor, apoio e compreensão;  
aos meus filhos Thales e Henrique pelo amor incondicional;  
aos meus Pais e irmãos que amo tanto e a todos os amigos que contribuíram com minha  
caminhada pois sem o incentivo de cada um eu não teria chegado até aqui;  
Dedido ainda, aos nossos mestres por seu empenho e dedicação à nossa formação.*

Érika Neres Romeiro Naves

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela dádiva de me levantar todos os dias e me conceder sabedoria e paciência suficientes para alcançar meus propósitos e por me confiar uma família abençoada que sempre me incentivou. Ao meu marido Alisson e meus filhos Thales e Henrique pela paciência, compreensão e apoio no decorrer da minha graduação, sem o apoio da minha família eu não teria tanta motivação para continuar. Aos meus Pais Laurêncio e Sandra que me deram o dom da vida. Aos meus irmãos Ariane, Ariádne e Érikson pela motivação e incentivo. Aos demais familiares e amigos pelo incentivo, apoio e motivação.

Ao professor Esp. Robson de Oliveira Félix minha eterna gratidão e respeito por sua disponibilidade, paciência e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho sendo um excepcional orientador e professor no decorrer da graduação. Agradeço a cada professor que fez parte dessa trajetória de cinco anos de curso, pela dedicação e paciência, compartilhando seus conhecimentos, nos ajudando e ensinando com tanta disposição e amor a arte da docência, sinto-me honrada em fazer parte mesmo que indiretamente, da vida de cada um também. A minha amiga, companheira de graduação e trabalho Tânia, por sua amizade, dedicação e companheirismo. Aos demais amigos e colegas de graduação pela amizade e bons momentos. Cada pessoa citada e pessoas que não citei, tiveram de alguma forma um papel fundamental em minha formação e acredito que os meus amigos verdadeiramente sabem que são especiais.

Enfim, agradeço pela vida maravilhosa que tenho, por Deus ter me concedido a honra de fazer parte dessa turma especial, a cada amigo, professor e membros do curso de Engenharia Civil da FACEG, meus sinceros agradecimentos.

Erika Neres Romeiro Naves

*Dedico este trabalho: Para minha mãe, Norma;  
meu esposo Igor; e a toda minha família que, com muito carinho e apoio,  
não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.”*

Tânia Aparecida Andrade Barros

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Norma, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, ao meu esposo Igor que suportou junto comigo todos os momentos difíceis com paciência e compreensão, meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalho, irmãos na amizade, que fizeram parte da minha formação e que irão continuar presentes em minha vida com toda certeza.

Esta fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer a Deus por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado minha meta. Aos professores em especial ao nosso orientador Robson de Oliveira Félix, pela paciência, carinho e dedicação com nosso Trabalho de Conclusão de Curso, reconheço um esforço gigante com muita paciência e sabedoria. Foram eles que me deram recursos e ferramentas para evoluir um pouco mais todos os dias. A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível.

Tânia Aparecida Andrade Barros

*“Feliz do homem que encontrou a sabedoria, daquele que adquiriu a inteligência, porque mais vale esse lucro que o da prata, e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro.”*  
*Provérbios 3: 13,14*

## RESUMO

Mesmo com o avanço em tecnologias na área da construção civil, ainda se utiliza em quantidade significativa de materiais extraídos da natureza, o que vem gerando diversos problemas ambientais e econômicos. Um desses problemas é a degradação do leito dos rios por meio da extração de areia, motivo que tem levantado diversas pesquisas por meio de profissionais de desenvolvimentos tecnológicos na área de concreto a fim de encontrar medidas alternativas que minimizam os impactos ambientais que a construção civil causa. O uso da areia britada como agregado miúdo é uma das alternativas que vem sendo estudada nos últimos tempos, devido sua grande disponibilidade e para melhor aproveitamento dos finos, resultante da cominuição de rochas, beneficiando-os para uso como areia artificial. Avaliamos por meio deste trabalho a viabilidade técnica para a substituição total e parcial da areia natural por areia de britagem proveniente de rochas micaxisto. O trabalho foi desenvolvido na Faculdade Evangélica de Goianésia de acordo com as seguintes etapas: a primeira consistiu na avaliação das características dos materiais constituintes do concreto, na segunda fase foi descrito a metodologia a ser utilizado nos processos avaliativos das propriedades do concreto utilizando o método de dosagem ABCP. Na terceira fase foi produzido 5 tipos de traços com quantidades distintas de areia natural e areia britada, os resultados obtidos mostraram que as mesmas possuem características diferentes, mas em proporções menores se mostrou bastante eficiente e viável a substituição. Os resultados obtidos na avaliação da resistência à compressão axial do concreto para um mesmo traço com proporções diferentes de areia demonstrou que a melhor resistência foi obtida com 25% de areia de britagem em parcialidade com 75% de areia natural, não deixando de descartar a substituição de 50% da areia natural, apesar das diferenças encontradas entre as propriedades das areias utilizadas ficou comprovado que a areia de britagem pode ser utilizada na produção de concreto de cimento Portland em substituição parcial da areia natural.

**Palavras-chave:** Areia Britada, Areia Natural, Resistência, Compressão.

## ABSTRACT

Even with the technology advance in civil construction field, natural materials are still extracted in significant quantity, what has been generating many environmental and economic issues. One of these problems is the riverbed degradation as a consequence of the sand extraction, reason that has raised several researches by professionals from the technological development on concrete field, in order to finding alternative ways to minimize the environmental impact caused by civil construction. The utilization of crushed sand as small aggregate it is one of the alternatives, which has been studied on the last years, owing to its high availability and the best harnessing of fine grains resulted from the rock gridding, benefiting them to use as artificial sand. We evaluated in this work the technical viability of swapping out natural sand, total and partial, of crushed sand from mica schist rock. This work was developed at Goianésia Evangélica College, according to the following stages: firstly, evaluate of concrete's material characteristic; secondly were described the methodology to evaluate processes of the concrete properties made using ABCP method. Thirdly, was made 5 kinds of concrete trace with distinct quantities of natural and crushed sand. The reached results show that both have different characteristic, however in smaller proportion, the swap out manifested pretty efficient and viable. The results obtained during the evaluate of concrete compressive strength to the same trace with different sand proportion demonstrated that the best resistance was reached with 25% of crushed sand in partiality with 75% of natural sand, although the differences find between the both sand properties utilized were proved that the crushed sand can be used to produce the concrete of cement Portland in partial commutation of natural sand.

**Keywords: Crushed Sand, Natural Sand, Resistance, Compression.**

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	7
Figura 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo. ....	9
Figura 3 - Representação esquemática da unidade do agregado. ....	10
Figura 4 - Substâncias nocivas. ....	12
Figura 5 - Tipos de rocha.....	18
Figura 6 - Diagrama de dosagem dos concretos de cimento Portland.....	21
Figura 7 - Curva de Walz . ....	23
Figura 8 - Valores Prévios sobre os materiais e Concreto para cálculo da dosagem. ....	24
Figura 9 - Preparação da amostra para o quarteamento.....	28
Figura 10 - Quarteamento da Areia. ....	29
Figura 11 - Areia Natural depositada no chão. ....	29
Figura 12 - Areia britada depositada no chão direto da esteira. ....	30
Figura 13 - Cadinho com agregado miúdo solto. ....	32
Figura 14 - Agregado graúdo solto.....	33
Figura 15 - Agregado graúdo compactado. ....	34
Figura 16 - Betoneira.....	39
Figura 17- Corpos de prova de concreto recém moldados. ....	40
Figura 18 - Ensaio de Compressão de corpo de prova. ....	41
Figura 19 - Curva granulométrica da areia. ....	44
Figura 20 - Curva granulométrica da brita 1. ....	44
Figura 21 - Histograma do abatimento do concreto. ....	45
Figura 22 - Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias. ....	50
Figura 23 - Variação dos dados da resistência por tratamento por <i>Boxplot</i> . ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa específica e massa unitária. ....	19
Tabela 2 - Quantidade de material por betonada. ....	20
Tabela 3 - Consumo de água aproximado ( $l/m^3$ ). ....	24
Tabela 4 - Volume Compactado seco ( $V_c$ ) de agregado graúdo por $m^3$ de concreto. ....	25
Tabela 5 - Misturas de areia britada e natural em massa. ....	30
Tabela 6 - Parâmetros obtidos para o cálculo do traço. ....	37
Tabela 7 - Parâmetros pré-determinados para o cálculo do traço. ....	37
Tabela 8 - Nomenclatura, Componentes e Abreviações dos traços. ....	38
Tabela 9 - Granulometria do agregado miúdo. ....	43
Tabela 10 - Granulometria do agregado graúdo. ....	44
Tabela 11 - Abatimentos do concreto fresco. ....	45
Tabela 12 - Média das tensões aos 28 dias. ....	46
Tabela 13 - Análise de Variância. ....	47
Tabela 14 - Análise do desdobramento por nível de tempo. ....	48
Tabela 15 - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência, no desdobramento aos 28 dias. ....	49
Tabela 16 - Análise de regressão para variável resistêncano desdobramento de areia natural. para 28 dias. ....	49
Tabela 17 - Custo de areia natural e areia de britagem por metro cúbico. ....	51

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AB – Areia Britada.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI – *American Concrete Institute*.

AN – Areia Natural.

ANEPAC – Associação Nacional de entidades de Produção de agregados para construção.

B – Brita.

CIENTEC – Fundação de ciência e tecnologia.

CT – Célula Teste.

CV – Coeficiente de Variação.

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

F – Valor do F calculado no test F.

FV – Fontes de Variação.

GL – Grau de Liberdade.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

MHE – Museu de minerais, minérios e rochas *Heinz Ebert*.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora.

PIB – Produto Interno Bruto.

P-Value – Medida quantitativa estatística para tomada de decisão

PRAD – Plano de Recuperação de área degradada.

QM – Quadrado Médio.

SQ – Soma dos quadrados

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$a/c$  –água/cimento (adimensional)

$m$  –Relação de agregados secos/cimento ( $kg/dm^3$ )

$Ci$  –Teor de cimento (%)

$Ar$  –Teor de areia (%)

$Br$  – Teor de agregado graúdo (%)

$a$  – Percentual de areia/percentual de cimento (adimensional)

$p$  – Percentual de areia/percentual de cimento (adimensional)

$f_{cj}$  –Resistência à compressão prevista para  $j$  dias (MPa)

$D_{máx}$  –Diâmetro máximo(mm)

$M_f$  –Módulo de finura (adimensional)

$Ca$  –Consumo de água (lts)

$Cb$  – Consumo de brita ( $kg/dm^3$ )

$Vb$  – Volume de brita ( $m^3$ )

$M_{uc}$ – Massa unitária compactada ( $kg/dm^3$ )

$Cc$  –Consumo de cimento

$K$  –Constante dependente do material componente da mistura (adimensional)

$d$  –Massa unitária ( $kg/m^3$ )

$M$ – Massa do agregado( $kg$ )

$V_p$ –Volume aparente ( $dm^3$ )

$V_r$ –Volume real ( $dm^3$ )

$S_d$  –Desvio padrão (MPa)

$H_0$  – Hipótese nula - média igual(adimensional)

$H_1$  –Média diferente(adimensional)

$\gamma$  –Peso específico ( $kg/m^3$ )

$\mu$  - Massa específica ( $kg/dm^3$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	5
2.2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND E SEUS MATERIAIS CONSTITUINTES....	5
<b>2.2.1 Agregados .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2 Características e propriedades dos Agregados .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3 Água .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4 Aditivos .....</b>	<b>13</b>
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	13
<b>2.3.1 Concreto Fresco .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 Trabalhabilidade.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3 Exsudação .....</b>	<b>14</b>
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	14
<b>2.4.1 Resistência .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2 Relação água/cimento .....</b>	<b>15</b>
2.5 USO DE RESÍDUOS E MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONSTRUÇÃO.....	15
<b>2.5.1 Areia de britagem na composição do Concreto .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.2 Rochas utilizadas para a produção de agregados .....</b>	<b>17</b>
2.6 MÉTODOS DE DOSAGEM DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND .....	18
<b>2.6.1 Método do CIENTEC .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6.2 Método do IPT/EPUSP .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.3 Método da ABCP .....</b>	<b>23</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 MÉTODO DE DOSAGEM .....	27
<b>3.1.1 Amostragem .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2 Cimento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.3 Areia Natural.....</b>	<b>29</b>

3.1.4 Areia Artificial .....	30
3.1.5 Agregado Graúdo .....	31
3.1.6 Água .....	31
3.1.7 Determinação da composição granulométrica e execução do ensaio .....	31
3.1.8 Determinação da massa unitária dos agregados miúdo e graúdo solto e compactado.....	31
3.1.9 Determinação das massas específicas dos agregados miúdo e graúdo.....	35
3.2 DOSAGEM DO CONCRETO .....	36
3.2.1. Apresentação do Traço.....	38
3.2.2 Procedimento do ensaio.....	38
3.2.3 Medida de abatimento do tronco cone e execução do ensaio .....	39
3.2.4 Confecção dos corpos de prova de concreto e ensaios .....	40
3.2.5 Ensaio de Compressão Axial.....	40
3.2.6 Análise estatística .....	41
3.2.7 Análise de custo para obtenção dos agregados miúdos .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	43
4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO – SLUMP TEST .....	45
4.3 AVALIAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO – ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL EM CORPOS CILÍNDRICOS .....	46
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
4.4.1 Análise de variância para esquema fatorial 4x5 (4 tempos e 5 doses de areia natural) .....	47
4.4.2 Análise do desdobramento de areia natural dentro de cada nível de tempo.....	48
4.4.3 Teste Tukey .....	48
4.4.4 Análise de Regressão .....	49
4.4.5 Análise dos Custos .....	51
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada uma das mais importantes atividades responsáveis pelo desenvolvimento social e econômico do país, em contrapartida causa grandes impactos ambientais. As atividades de uma construção, consome uma quantidade considerável de areia e cascalho, que são adquiridos por meio de extração no leito dos rios feita por dragagem (OLIVEIRA, 2016).

A atividade humana que causa maior impacto no meio ambiente é a indústria da construção civil, aproximadamente 50% dos recursos naturais que são extraídos, está diretamente ligado a essa atividade, sendo responsável por cerca de 15% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, com 62 empregos indiretos gerados para cada 100 gerados diretamente, investindo mais de 90 milhões por ano e reduzindo o déficit habitacional, ocupando um papel de suma importância na economia, em contrapartida com o fato de ser um grande causador de impactos ambientais no mundo (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

O material mais utilizado na construção civil é o Concreto de cimento Portland e sua principal fonte de agregado miúdo é a areia natural (DRAGO, VERNEY, PEREIRA, 2009). A princípio, os agregados eram tidos somente como material de preenchimento do concreto por não apresentarem reação química ao entrar em contato com a água, sendo eles considerados inertes, portanto com as descobertas sobre a influência na trabalhabilidade das misturas a partir da influência que as partículas exercem, esse tratamento secundário dado aos agregados tornou-se errôneo (OLIVEIRA, 2016).

A areia natural normalmente é extraída em rios e lagos ou próximo a eles, com a preocupação incessante da preservação ambiental é notável o incentivo da busca por alternativas para a substituição deste agregado. O pó de brita como agregado miúdo não é recente nem tampouco de difícil extração, mas a grande quantidade de agregado miúdo natural disponível fez com que esse material tivesse menos utilidade (MATOS, ALLEM, PIVA, 2017).

A extração de areia dos rios provoca erosão em suas margens, pois aumenta a vazão da água devido a modificação da calha natural do leito, resultando em um desequilíbrio ecológico. Uma alternativa para a redução do problema é a utilização da areia proveniente da britagem de rochas como agregado miúdo, em substituição parcial ou total da areia natural extraída por meio de dragagens, o que faz importante pesquisas que possam comprovar a eficácia da substituição total ou parcial do agregado miúdo na composição do concreto (DRAGO, VERNEY, PEREIRA, 2009).

Para obtenção do material à partir do rejeito da britagem, a areia passa por alguns processos até chegar a granulometria correta, primeiro é feito a retirada de materiais impróprios para a britagem, logo, extraem a rocha, feito o transporte até o britador, segue as etapas: Britagem primária, britagem secundária, britagem terciária, peneiramento, classificação e lavagem, estando assim, pronta para o uso (GRUPO HOBI, 2012).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A retirada da areia natural causa danos irreversíveis ao meio ambiente e está gradativamente desfavorável em virtude das inúmeras restrições ambientais, por esse motivo, a construção civil busca uma alternativa que reduza custo, agilize a execução e tenha uma boa durabilidade e resistência. Com o intuito principal de reduzir a extração da areia natural, vêm se destacando a areia de britagem, sua utilização tem se mostrado interessante, pois seu uso não só beneficia o meio ambiente como as próprias Pedreiras e não menos os consumidores, uma vez que a mesma passa por processo de retirada do excesso material pulverulento, ficando livre de materiais orgânicos que possam alterar as características do concreto (ROTH e GARCIAS, 2009).

Ainda segundo Roth e Garcias, a degradação de um ecossistema se dá quando a fauna e flora são comprometidas, quando há perda de fertilidade do solo, alteração na vazão e qualidade do sistema hídrico, motivos diversos como, terraplanagem, construção civil, deposição de lixo e mineração.

Segundo consta no Manual Básico do Promotor de Justiça de Defesa do Meio Ambiente (2010), os impactos ambientais causados pela mineração têm variações conforme o tipo de minério, método de extração utilizado e as características da região explorada, em virtude dos impactos, fica a empresa, durante o período de atividade extrativista, os custos vindouros necessários para a recuperação dos impactos ambientais ocasionados, essa garantia é fiscalizada pelo Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD).

O PRAD é um conjunto de medidas que tem função de garantir que a área degradada terá condições de estabelecer um solo apto para uso, um novo equilíbrio ativo e uma paisagem harmoniosa, conforme normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011).

Uma área degradada tem início na fase de extração dos recursos naturais. Fontes e jazidas sofrem escassez com a retirada da matéria prima, a fauna e flora no entorno da região é diretamente afetada, ocorre processos erosivos, a configuração topográfica, assim como o curso

d'água são modificados, ocorre também aumento da emissão de gases, ruídos e irradiação de vibrações no solo (ROTH e GARCÍAS, 2009).

A ciência do concreto, determina entre outros fatores, obter sua matéria prima a partir dos materiais disponíveis na região em que está sendo produzido. Os agregados naturais provem de tipologias diferentes de rocha sofrendo alterações em suas propriedades físicas e mecânicas, sendo indicado fazer estudos específicos regionais do material (VIERO, 2010).

Grande parte das empresas que produz concreto utiliza areia de britagem, em proporções parciais à areia natural para produção do mesmo, é presumido que seja feito sob critérios rígidos de controle e segurança. Resultados indicam que é tecnicamente viável a substituição de areia natural pela areia de britagem, embora ela apresente diferença nas características decorrente dos processos produtivos, impedindo uma formulação de traço único para areia de britagem, é satisfatório os resultados obtidos (VIEIRO, 2010).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa é analisar a viabilidade técnica de produção de concreto de cimento Portland com desempenho satisfatório à partir da substituição parcial e total da areia natural, obtida mediante extração em rios, por areia proveniente da britagem de rochas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a resistência à compressão e trabalhabilidade do Concreto de Cimento Portland em mistura parcial e total com areia de britagem em substituição à areia natural;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica do uso da areia proveniente da britagem de rochas em substituição da areia natural em Concreto de Cimento Portland na construção civil;
- Contribuir com estudos e análises sobre a substituição parcial e total da areia natural por areia de britagem, com intuito de incentivar a sustentabilidade.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo seguinte, capítulo 2, apresentamos a revisão bibliográfica. No capítulo 3, descrevemos as etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa e aquisição de dados. No capítulo 4, apresentaremos e discutiremos os resultados obtidos por meio dos ensaios realizados e resultados obtidos. No capítulo 5, apresentaremos nossas conclusões a partir dos resultados e comparações entre as amostras e perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a bibliografia utilizada para o embasamento dos estudos e aplicações realizados no trabalho, que abordam desde os impactos ambientais ocasionados pela construção civil até os métodos propostos para amenizar a situação.

### 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Praticamente todas as intervenções realizadas pelo homem pode gerar impactos ao meio ambiente assim como no meio social e econômico, podendo ser influenciada pelo tamanho, uso e funcionalidade da obra, podendo mudar de uma pequena a grande significância de impacto, como por exemplo as barragens, terraplenagens, aterros. Toda construção nova gera impactos, sejam eles sociais, econômicos ou ambientais, levando em consideração que as mudanças causadas pela construção civil intervêm na sociedade por causa da implantação de novas edificações, podemos tomar algumas medidas de forma a evitar ou diminuir os impactos provocados por construções. Utilizando novos materiais ou organizando o canteiro de obras para que os resíduos gerados na construção sejam menores e não apresentem um grande impacto, já que os materiais utilizados na construção civil não são renováveis (BARBISAN et al., 2012).

Algumas obras podem ocasionar impactos que influenciam o ecossistema, sendo capazes de alterá-lo de maneira drástica ou até provocar sua extinção, por meio de inundação de grandes áreas, corte de vegetações, impermeabilização do solo e a sua fase de construção que acaba gerando ruídos, resíduos etc. Na construção civil há leis e diretrizes que dirigem e controlam os impactos provocados por meio de estudos de impacto de vizinhança e ambiental (BARBISAN et al., 2012).

### 2.2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND E SEUS MATERIAIS CONSTITUINTES

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland esse material já era conhecido dos antigos egípcios, seu nome foi dado devido à semelhança com as rochas britânicas da ilha de Portland no século XIX.

O concreto de cimento Portland é um dos materiais estruturais mais importantes da construção civil da atualidade, empregado na composição de argamassas e concretos, e confere

a estes boa maleabilidade no estado fresco. Já no estado endurecido, o cimento Portland na maioria das vezes é responsável pelo desenvolvimento de resistência mecânica elevada e boa resistência de argamassas e concretos (JACQUES, 2013).

O concreto de cimento Portland é composto por duas fases: os agregados e a pasta de cimento, composta de cimento Portland e água. O cimento, ao entrar em contato com a água reage e adquire algumas características ligantes, decorrente de sua hidratação. A mistura enrijece resultando em um material sólido e resistente (VIACELLI, 2012).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o concreto é um material com boa resistência a compressão, sendo classificado em concreto de baixa resistência quando sua tensão de compressão for inferior a 20 MPa, resistência moderada quando se encontra entre 20 e 40MPa e de alta resistência quando sua composição apresenta resultado final de tensão a compressão superior a 40MPa.

A composição química do cimento Portland pode ainda ser alterada quando há o acréscimo de novos compostos, formando assim derivações do cimento que podem agregar ou melhorar algumas de suas características, incluindo suas resistências ou tempo de cura, e entre os compostos mais comuns estão as adições de filler, calcário, pozolanas e escória de alto-forno (JACQUES, 2013).

Conforme Bastos (2002), o concreto é um produto formado pela mistura ordenada e proporcional de cimento Portland, agregados miúdos, graúdos e água, além da possibilidade de adição de outros materiais denominados aditivos, e suas propriedades são influenciadas diretamente pelas proporções e características individuais de cada um desses materiais constituintes.

As matérias primas aplicadas na fabricação do cimento Portland constituem principalmente de sílica, calcário, óxido de ferro e alumina, o clínquer é originado a partir do momento que esses materiais reagem no interior do forno de produção de cimento. Quando a temperatura se eleva a ponto de modificar a mistura crua em líquido pastoso, ao resfriar-se, dá origem a substâncias cristalinas que formam os compostos no interior do forno (VIACELLI, 2012).

Segundo NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se acrescenta, ao longo da operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos pela Norma. No decorrer da moagem, permite-se a adição de misturas como:

escórias granuladas de alto-forno, pozolanas, e materiais carbonáticos, relacionados e apresentados na Figura 1.

**Figura 1** - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 <sup>c</sup>	RS <sup>a</sup> ou BC <sup>b</sup> –		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbonático	CP II-F				
	Com material pozolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V			ARI <sup>d</sup>	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB			25, 32 ou 40 <sup>c</sup>	
	Não estrutural	CPB			–	–

<sup>a</sup> O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

<sup>b</sup> O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

<sup>c</sup> As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

<sup>d</sup> Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: ABNT, 2018.

### 2.2.1 Agregados

Agregado é o material granular, que possui forma e volume diferentes, em geral com propriedades adaptáveis, inerte e com dimensões para uso na construção civil. Agregados naturais podem ser encontrados na natureza como a areia e os seixos, já os agregados artificiais são os que podem ser gerados pela ação do homem por meio de processos industriais ou do rejeito destes conforme NBR 7211 (ABNT, 2009).

O agregado foi classificado como um material granular inerte, espalhado pela pasta de cimento, utilizado por razões econômicas. No entanto esta definição vem sendo reestruturada e hoje pode declarar o agregado um material de construção ligado em um meio todo coesivo de uma pasta de cimento (NEVILLE, 1997).

Características não propícias presentes nos agregados são capazes de produzir um concreto não resistente, assim como comprometer a sua durabilidade. O concreto é definido como pasta de cimento e pedra, tornando-se a pasta o elemento aglutinador das pedras. Encontra-se vazios através das pedras, aguardando para serem completados somente com a pasta de cimento. Em virtude, aplica-se agregado miúdo à areia, para reduzir o gasto de água e

cimento, o que em grandes quantidades é danoso ao concreto, visto que compromete a trabalhabilidade do concreto e provoca retração. A fim de que o resultado obtido seja satisfatório, é fundamental que as dimensões dos agregados sejam distribuídas gradualmente (VIACELLI, 2012).

A terminologia dos agregados é estabelecida de acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), a qual denomina os agregados com relação à natureza:

- Agregado artificial: material decorrente do processo industrial, com a função de aplicação como agregado em argamassa e concreto;
- Agregado natural: material pétreo que pode ser usado como é encontrado na natureza, conseguindo ser submetido à lavagem, britagem ou classificação;
- Agregado miúdo desenvolvido por processos artificiais ou naturais de desintegração de rochas ou por meio de outros processos industriais.

Podemos determinar pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), que possui a terminologia referente a dimensões dos agregados, assim sendo:

- Agregado misto: decorrente da britagem de rochas ou agregado natural, no qual seu beneficiamento resultará em uma distribuição granulométrica formada por agregados miúdos e graúdos;
- Pedrisco: são os grãos que decorrentes da britagem de rocha passam pela peneira através da abertura de malha 12,5mm e são contidos na peneira de malha 4,75mm;
- Pedrisco misto: o mesmo pode ser resultante da britagem de rocha ou não, passa pela peneira de abertura de malha 12,5mm;
- Agregado miúdo: são agregados cujos seus grãos conseguem passar pela peneira com abertura de malha 4,75mm e ficaram retidos na peneira com a abertura de malha 150mm;
- Fíller: é um material granular que passa na peneira de abertura com malha de 150mm;
- Pó de pedra: resultado da britagem de rocha, o mesmo consegue passar na peneira de malha 6,3mm.

As percentagens de material fino fabricado através da britagem do agregado graúdo podem variar em função de diversos fatores, como condição de uso deste equipamento, o próprio equipamento do britador, as naturezas das jazidas em que foi extraído as rochas para a britagem (WEIDMANN, 2008).

## 2.2.2 Características e propriedades dos Agregados

### a) Granulometria

É a distribuição percentual dos seus diferentes tamanhos de grãos, considerando o material e a quantidade, em massa, retido nas peneiras da série normal (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm), definido conforme a NBRNM 248 (ABNT, 2003) como mostra na Figura 2.

A granulometria é conhecida como parâmetro físico dos agregados, usada para sua classificação e para a caracterização, possui grande influência nas propriedades do concreto. Para avaliar a granulometria, utiliza-se análise das dimensões máxima características e módulo de finura. A soma das percentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 corresponde ao Módulo de finura, segundo NBR 7211 (ABNT, 2009).

**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: ABNT, 2009.

b) Massa específica

É a massa por unidade do volume, dos grãos dos agregados, incluindo os vazios impermeáveis e permeáveis e o material sólido, podendo ser definido pelo frasco de picnômetro ou *chapman*. Seu valor é aplicado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas (BASTOS, 2002).

c) Massa específica aparente

A massa específica aparente é o peso da unidade de volume, incluindo neste os vazios, permeáveis ou impermeáveis, contidos nos grãos (PETRUCCI, 1982).

d) Porosidade e absorção

A presença de poros internos nas partículas está relacionada a massa específica do agregado. A permeabilidade, a porosidade e a absorção influenciam em propriedades como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada, e a resistência ao degelo e ao congelamento (BASTOS, 2002).

Os poros do agregado alteram de tamanho, uma vez que os maiores poderão ser visualizados ao microscópio ou a olho nu.



Fonte: NEVILLE, 1997.

Quando encontramos os poros dos agregados preenchidos, sabe-se que ele está saturado e com a superfície seca. Na Figura 3 estão representados os níveis de secagem de um agregado.

O entendimento sobre o teor de umidade é importante no estudo dos agregados, sobretudo quando falamos dos miúdos, devido ao fenômeno do inchamento. A água que está presente em um agregado, intervém na quantidade de água a ser acrescentada no concreto, para ter uma boa trabalhabilidade que seja adequada a resistência definida no processo de dosagem (BASTOS, 2002).

e) Materiais nocivos ao concreto

Abaixo alguns dos materiais nocivos ao concreto segundo Bastos (2002):

- Os torrões de argila são denominados todas as partículas de agregado desagregáveis sob pressão dos dedos. A presença de areias ou argila, sob a forma de torrões é bastante nociva, para a resistência de concreto e argamassas e o seu teor é limitado a 1,5%;
- Materiais carbonosos é as partículas de carvão, madeira, material vegetal sólido e linhito que estão presentes nos agregados. Prejudicam o concreto quando submetido à abrasão, além de atrapalhar na resistência.;
- Materiais pulverulento em geral são areias que possuem impurezas que afetam o processo de hidratação do cimento, impedem a aderência entre a pasta de cimento hidratada e o agregado.

Películas de argila, quando estão presentes na superfície dos agregados, prejudicam na aderência entre a pasta de cimento e o agregado, o concreto não ficará com boa resistência. As partículas finas não podem estar presentes em elevadas quantidades, aumentam a área superficial, em consequência aumenta a demanda de água e cimento. Na Figura 4, é demonstrado as substâncias danosas aos agregados (BASTOS, 2002).

**Figura 4 - Substâncias nocivas.**

Tipos	Agregados	
	Miúdo	Graúdo
Torrões de argila, determinado de acordo com a NBR 7218	1,5	-
- em concreto cuja aparência é importante	-	1,0
- em concreto submetido a desgaste superficial	-	2,0
- nos demais concretos	-	3,0
Material pulverulento, determinado de acordo com a NBR 7219	-	1,0
- em concreto submetido a desgaste superficial	3,0	-
- nos demais concretos	5,0	-
Materiais carbonosos, determinado de acordo com a ASTM C 123	-	-
- em concretos cuja aparência é importante	0,5	0,5
- nos demais concretos	1,0	1,0

*Nota:* para os agregados miúdos, estes limites podem ser aumentados para 5% e 7 % em massa, respectivamente, quando o material que passa pela peneira ABNT 0,075 mm for constituído totalmente de grãos gerados durante o britamento de rochas.(fonte NBR 7211/84)

Fonte: BASTOS, 2002.

#### f) Formato das partículas

Os grãos podem ser arredondados, como os seixos, ou de forma angular e de arestas vivas, podendo apresentar as faces mais ou menos planas, como os da pedra britada. A grande influência na qualidade dos concretos em relação a forma geométrica dos agregados. (BASTOS, 2002).

Sempre que possível, devemos usar os agregados em forma de grãos arredondados pois a quantidade de água necessárias para obter a mistura de um concreto com pedregulhos arredondados será menor que a quantidade água utilizada para o concreto feito com a pedra britada, em razão da sua forma (BAUER, 1979).

Os grãos que tem o formato parecido ao de uma agulha, fornecem concretos com menos trabalhabilidade e necessita de mais pasta de cimento. De acordo norma NBR 7211 (ABNT, 2009), caracteriza que os agregados para concreto possuem, em média, uma relação entre a espessura do grão inferior a 3 e o comprimento, isso quando é determinado pela a NBR 7809 (ABNT, 2019).

#### g) Durabilidade

A durabilidade do concreto de cimento Portland é definida com a sua capacidade de resistir a ataques químicos, ação das intempéries, abrasão ou outro tipo de processo de

deterioração. O concreto durável manterá sua forma original, capacidade de utilização e qualidade, quando for exposto ao meio ambiente (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997), é fundamental que as estruturas de concreto desempenham as funções que lhe foram atribuídas, que suporte a utilidade que foram projetadas e a resistência, durante um tempo de vida previsto. Para ser considerado durável o concreto deve suportar o processo de deterioração, ao qual venha a ser submetido.

### **2.2.3 Água**

Segundo Neville (1997), impurezas que podem ser encontradas na água influenciam negativamente na resistência do concreto, causando manchas na sua superfície, podendo proceder em corrosão da armadura. Portanto devemos tomar a devida cautela quanto à propriedade da água para a cura do concreto e para amassamento. Por regras, Viacelli (2012) ressalta que a água precisará ter pH de 6,0 a 9,0.

### **2.2.4 Aditivos**

Produtos que incorporados em pequena quantidade nos concretos de cimento Portland, alteram as propriedades, para melhorar os concretos em algumas condições. Os tipos de aditivos mais utilizados são: retardadores de pega (R), plastificantes (P), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes aceleradores (SPA) e superplastificantes retardadores (SPR) (RODRIGUES, 2013).

## **2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO**

### **2.3.1 Concreto Fresco**

O concreto em seu estado fresco tem que possuir uma boa trabalhabilidade que permita o seu lançamento, transporte, o adensamento e o acabamento sem que perca a sua homogeneidade. A mistura no estado fresco tem que permanecer durante essas etapas com coesão mínima, de acordo com as condições de lançamento do concreto e fluidez (VIEIRO, 2010).

### **2.3.2 Trabalhabilidade**

Propriedade que indicará a sua maior ou menor capacidade para bom emprego de um concreto, sem que este perca sua homogeneidade. Estar sujeito a fatores externos como dimensões e armaduras das peças, finalidade do uso, qual o tipo de mistura, modo de lançamento, tipo de transporte e o tipo de adensamento e a fatores internos como traço, granulometria dos agregados, consistência, finura do cimento e forma dos grãos dos agregados (BASTOS, 2002).

Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), a trabalhabilidade do concreto tem de ser definida de acordo com as dimensões da peça a concretar, com a distribuição das armaduras, com os processos de lançamento, e os adensamentos a serem usados.

### **2.3.3 Exsudação**

A exsudação é uma forma de separação da água, é segregação, no qual parte da água misturada começa a elevar-se para a superfície de um concreto recentemente aplicado. Isto é em decorrência do fato que os constituintes sólidos da mistura são incapazes de absorver esta água quando a mesma tende a descer, a água é a que possui menor massa específica entre todos os constituintes. Este processo de exsudação pode causar o enfraquecimento da aderência pasta agregado e parte da armadura, aumento da permeabilidade e formação de nata de cimento sobre o concreto (NEVILLE, 1997).

Em consequência de a água de amassamento vir à superfície do concreto recém lançado a parte superior do concreto torna-se bastante úmida, formando um concreto poroso e menos resistente (ALMEIDA, 2002).

## **2.4 PROPRIEDADOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO**

O concreto endurecido tem suas principais propriedades já inerentes e esperados pelo projetista. Entre as características fundamentais que um concreto endurecido precisa possuir podemos citar a durabilidade, resistência e impermeabilidade.

### 2.4.1 Resistência

A resistência está associada à tensão fundamental para causar a ruptura, ficando estabelecida como a tensão máxima que uma amostra de concreto consegue suportar (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), para os termos de resistência de um concreto, depende-se de três fatores:

- Resistência da ligação pasta/agregado;
- Resistência do agregado;
- Resistência da pasta de cimento;

### 2.4.2 Relação água/cimento

O principal fator a ser estudado quando se deseja atingir uma determinada resistência é a relação água/cimento (PRUDÊNCIO, 1999).

A relação água/cimento define a porosidade da pasta de cimento endurecida em qual for o estágio da hidratação. Desta forma, a relação água/cimento quanto ao adensamento, tem influência sobre o volume de vazios do concreto. Quando o concreto está completamente adensado, sabe-se que sua resistência é inversamente equivalente à relação água/cimento. Esta relação foi nomeada “Lei de *Abrams*”. Uma regra que foi estabelecida por *Duff Abrams* no ano de 1919 (NEVILLE, 1997).

## 2.5 USO DE RESÍDUOS E MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONSTRUÇÃO

As atuais discussões na esfera ambiental sobre reutilização de resíduos e redução dos impactos ambientais, principalmente no setor da construção civil, grande vilão na geração de tais resíduos, tem gerado estudos constantes para que a própria área da construção desenvolva novos produtos que tenham em sua composição, materiais reciclados para processos de execução em etapas construtivas (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

### 2.5.1 Areia de britagem na composição do Concreto

Conforme definição da NBR 9935/2011, “Areia de Britagem” é um agregado miúdo originado pelo processo de desintegração ou cominuição mecânica de rochas (ABNT, 2011). Segundo Tokarski (2017), a NBR 9935 de 1987 designava a areia de britagem como areia artificial, posteriormente na revisão de 2005, ficou determinado que este material tivesse como denominação areia de britagem, tendo em vista que é originada da cominuição de rochas que têm suas origens naturais.

Quando relacionamos “Desenvolvimento Sustentável” com Mineração, encontramos algumas barreiras, uma vez que mineração é tida como insustentável, pois o ambiente minerado não pode ser restaurado por completo. Analisando de uma outra forma, a mineração pode ser considerada como desenvolvimento sustentável quando conseguimos minimizar os impactos ambientais, transformando o material explorado, através de tecnologias mais modernas, em mais de um agregado, restringindo as áreas de mineração e aproveitando ao máximo os recursos explorados (SILVA, 2012).

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC, 2018), um dos grandes incentivos para o investimento na areia de brita para a construção civil é a realidade nos grandes centros urbanos, que já não possuem jazidas de areia natural próximo às cidades, aumentando o custo para o transporte e dificultando a entrega do agregado. Um dos pontos diferenciais da areia britada é a forma como é comercializada, enquanto na maioria dos casos a areia natural é vendida por metro cúbico, a areia de brita é vendida em peso de balança, evitando assim possíveis distorções.

Entre as vantagens na utilização da areia produzida no processo de britagem estão uma granulometria regular, que é garantido em seu beneficiamento, formando grãos mais arredondados facilitando o uso do produto no concreto. Outro ponto é a isenção de matéria orgânica em relação à areia natural. A utilização de aditivos plastificantes também impulsiona utilização da areia de brita em grandes projetos, pois com o aditivo torna-se possível que se incorpore uma maior porcentagem do agregado facilitando o bombeamento do concreto à grandes alturas, com isso se torna viável a utilização de até 100% de areia britada em determinados traços de edificações de grande porte (ANEPAC, 2018).

O produto final britado é diretamente influenciado pela característica e disposição dos materiais que constituem a rocha, ou seja, a mineralogia da rocha pode definir os grãos após a britagem em forma e tamanho, podendo ser eles lamelares e alongados ou cúbicos. Essa

influência na característica do agregado é explicada pela estrutura rochosa que possui um tipo de foliação que tende a produzir fragmentos com formas alongadas e lamelares, essas foliações podem ser estratificações, bandamentos e xistosidades, em contrapartida as rochas maciças ou sem estrutura orientada produz fragmentos cúbicos (SILVA, 2016).

Segundo histórico do Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert (MHE, 2019), o termo foliação refere-se ao acabamento ou a estratificação rítmica das rochas, e podem caracterizar-se pela estratificação sedimentar, que são as superfícies que limitam os “leitos” que por vez são caracterizadas por uma mudança de tamanho ou composição dos grãos, temos o tipo de estratificação diferenciada ou “Bandamento Tectônico”, que são as discontinuidades (bandas), quando estas são contínuas a olho nu, e Xistosidade, que são as estruturas visivelmente planares encontradas em rochas que possuem a granulação mais grossa.

Outro fator que influencia na propriedade de forma do agregado, podendo este ser controlado, é o tipo de britador e os parâmetros da britagem como o número de estágios e a abertura de saída do equipamento, como também o grau de redução em que está sendo submetido o material (WEIDMANN, 2008).

### **2.5.2 Rochas utilizadas para a produção de agregados**

As rochas utilizadas na fabricação da areia de britagem existem em praticamente toda a crosta terrestre, a mais utilizadas são, Gnaisses, Calcário, Dolomitos e Basaltos. A utilização deste tipo de agregado em substituição à areia natural não é recente, desde a década de 70 já vem sendo utilizada na Europa e Estados Unidos, no Brasil, temos registradas as primeiras aplicações em construções de grandes barragens como Itaipu, Salto Osório entre outras (VIERO, 2010).

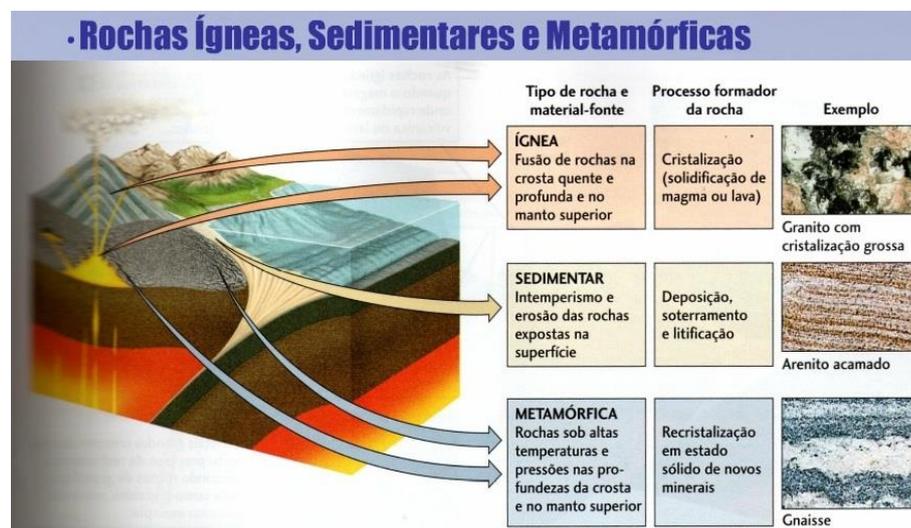
Segundo Bertolino, Palermo e Bertolino (2012), rocha é um material resistente formado por um conjunto de minerais originados de um processo geológico definido. Pode ser formada por um ou mais minerais dispostos segundo condições de pressão e temperatura a qual foram submetidos durante no decorrer de sua formação, também podem ser formadas por material sólido orgânico (Carvão) e material cristalino (Vidro Vulcânico). Sua origem tem as seguintes classificações:

- Ígneas ou Magmáticas – Tem sua formação a partir da consolidação do magma em superfície (ígnea vulcânica) ou em profundidade (ígnea plutônica);

- Sedimentares – Resultado da consolidação de sedimentos oriundos de Erosão, ação de intemperismo, precipitação química e ação biogênica, geralmente são classificadas em químicas, bioquímicas ou detríticas;
- Metamórficas – O termo metamorfismo se dá devido a novas condições de pressão e temperatura que as rochas passam após sua formação, pode ser à partir de rochas sedimentares, ígneas ou até mesmo as metamórficas submetidas à novas condições de formação.

A Figura 5 exemplifica os tipos de rocha.

Figura 5 - Tipos de rocha.



Fonte: BLOG DE GEOGRAFIA, 2017.

## 2.6 MÉTODOS DE DOSAGEM DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

### 2.6.1 Método do CIENTEC

O método da fundação de ciência e tecnologia (CIENTEC) considera a resistência característica a compressão ( $f_{cd}$ ) no cálculo da relação água/cimento, adotando em seu cálculo por meio de constantes um desvio padrão de 7,0 MPa, não considera o uso de aditivos, embora não seja proibido o uso, não prevê a mistura de britas, caso venha ser empregado tal uso, considera como referência o agregado de maior dimensão, para êxito na aplicação do método considerar o agregado miúdo como areia média, por último ressalva que todos os cálculos do

método são confiáveis para agregados obtidos de rochas de boa qualidade e livre de impurezas que possam prejudicar a boa qualidade do concreto (RECENA, 2011).

Ainda segundo Recena (2011), a dosagem pelo método segue as seguintes etapas:

1ª etapa - Identificação das características físicas dos agregados a serem utilizados, a massa específica absoluta e unitária é obtido a partir da Tabela 1, o inchamento da areia para o caso específico é 1,29, o teor de argamassa a ser considerado será de 53% e o teor de água sobre o material seco é de 9,80%, a relação água/cimento (a/c) é dada pela seguinte equação:

$$\frac{a}{c} = \frac{2,00 - \log 20}{1,34} = 0,52 \quad (1)$$

**Tabela 1** - Massa específica e massa unitária.

<b>Agregado</b>	<b>Massa específica (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>
areia	2,63	1,50
brita	2,64	1,29

Fonte: RECENA, 2011.

2ª etapa – Consiste na adoção de um traço piloto inicial 1:m representado pela equação:

$$1 + m = \frac{100 * a/c}{H} = \frac{100 * 0,52}{9,80} = 5,31 \quad (2)$$

Sendo o traço em massa: 1: 4,31

3ª etapa – Cálculo do teor de cimento (Ci), se 1+m = 100% do material seco, então a “1” que representa o cimento deverá ser em percentual como mostra a equação:

$$Ci = \frac{100}{5,31} = 18,83\% \quad (3)$$

4ª etapa – Cálculo do teor de areia (Ar), consiste na diferença entre o teor de argamassa e o teor de cimento, representado pela equação:

$$Ar = 53 - 18,83 = 34,17\% \quad (4)$$

5ª etapa – Cálculo do teor de agregado graúdo (Br), consiste na diferença entre o percentual de material seco e o percentual de argamassa, representado pela equação:

$$Br = 100 - 53 = 47\% \quad (5)$$

6ª etapa – Cálculo de um traço unitário, como o cimento representado em traço é sempre 1, então a expressão em massa de areia (a) será o percentual de areia dividido pelo percentual de cimento, a massa de brita (p) será o percentual da mesma (Br) dividida pelo percentual do cimento, como mostra as equações 6 e 7:

$$a = \frac{34,17}{18,83} = 1,81 \quad (6)$$

$$p = \frac{47}{18,83} = 2,50 \quad (7)$$

7ª etapa – Com os dados anteriores é possível preencher uma tabela para previsão da quantidade de material por betonada, a Tabela 2 está preenchida com base nos cálculos obtidos pelas etapas do método.

**Tabela 2** - Quantidade de material por betonada.

Material	Traço %	Quantidade de Matéria			
		Massa	Massa (Kg)	Volume em dm <sup>3</sup>	
				Areia seca	Areia c/ 4% de umidade
Cimento	18,83	1,00	50	1 saco	1 saco
Areia	34,17	1,81	90,50	60,3	78
Brita	47,00	2,50	125	96,9	97
água	9,80	0,52	26	26,0	22,4

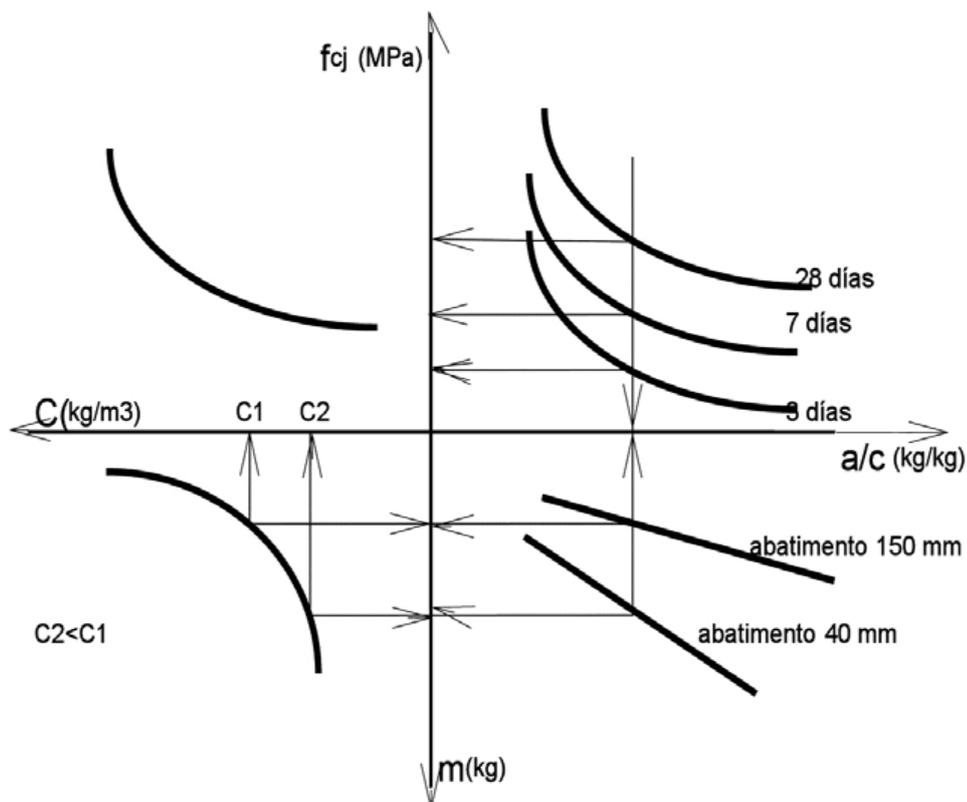
Fonte: RECENA, 2011.

### 2.6.2 Método do IPT/EPUSP

Segundo Toralles et al (2018), a metodologia de dosagem do Instituto de Pesquisas e Tecnologias de São Paulo (IPT) baseia-se na determinação experimental de uma taxa ideal de argamassa para recobrir o agregado graúdo que será utilizado, sendo dividido basicamente em duas etapas. A primeira etapa limita-se em determinar o teor de argamassa ideal e a segunda em traçar um ábaco de dosagem.

Segundo Fochs (2011), o método utiliza três leis comportamentais relacionadas em um gráfico representando um esquema de dosagem sobre três quadrantes, representado pela Figura 6. A densidade do concreto fresco é definida pela forma e composição granulométrica do agregado graúdo e consistência da argamassa. A consistência da argamassa depende da forma e granulometria do agregado miúdo e consistência da pasta, que depende da combinação água/cimento. O método visa a busca de um teor padrão de argamassa desconsiderando a água, através de um estudo experimental de um traço interposto (1:m), que posteriormente será utilizado para os traços (1:m-x; 1:m; 1:m+x), como sendo base.

**Figura 6** - Diagrama de dosagem dos concretos de cimento Portland.



Fonte: RESEARCHGATE,2019.

Fochs (2011) ainda afirma que para determinar o teor ideal da argamassa seca, são realizados testes visuais da mistura manuseando o concreto com uma espátula de aço para verificação do aspecto de trabalhabilidade e acabamento, também pela realização do ensaio de abatimento pelo tronco de cone com a finalidade de visualizar a coesão do concreto fresco. Posteriormente corpos de prova deverão ser moldados de modo que possa ser verificada a resistência a compressão axial em idades pré-estabelecidas, de posse de tais valores, o ábaco embasado nas três leis comportamentais representadas abaixo pode ser montado.

São elas:

Lei de Abrams

$$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2 a/c} \quad (8)$$

Lei de Lyse

$$m = K_3 + K_4 * a/c \quad (9)$$

Lei de Molinari

$$C = \frac{1000}{(K_5 + K_6 * a/c)} \quad (10)$$

Onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão axial, à idade j (MPa);

$a/c$  = relação água/cimento (kg/kg);

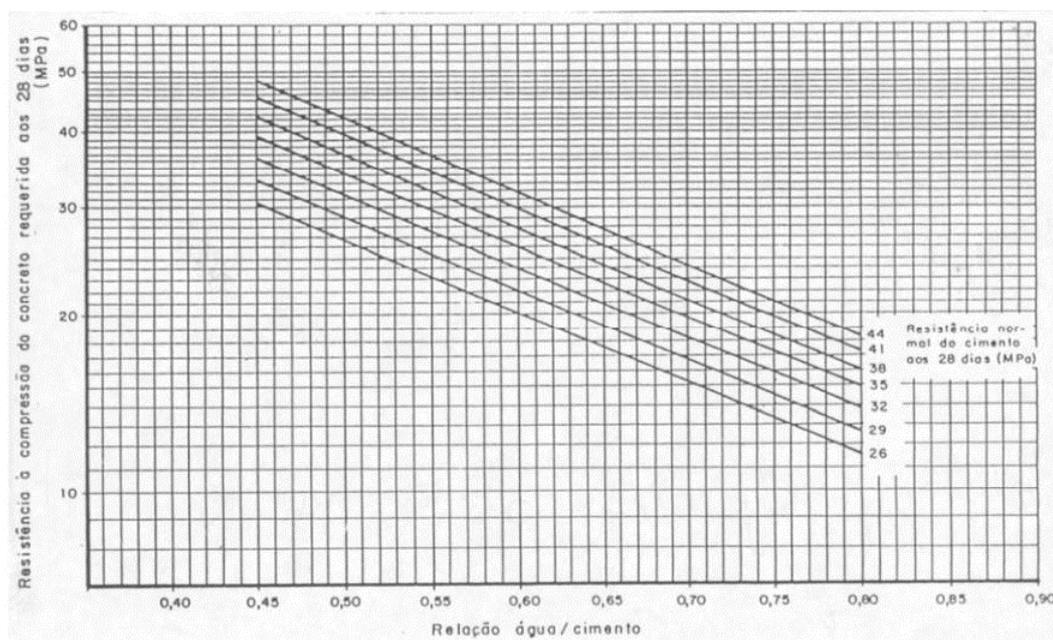
$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$  = constantes dependentes dos materiais componentes da mistura;

$m$  = relação agregados secos/cimento (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.6.3 Método da ABCP

O método de dosagem foi desenvolvido pelo *American Concrete Institute* (ACI) e adequado às condições brasileiras na década de 80 a fim de que fosse cumprido a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) por meio de experimentos (MALTA, 2012).

**Figura 7** - Curva de Walz .



Fonte: TORALLES et al, 2018.

A fixação da combinação a/c deve ser embasada nos critérios de durabilidade e de resistência mecânica. Quanto à resistência, é adotado as curvas de relação a/c pertinente ao tipo de cimento, como as curvas de *Walz* mostradas na Figura 7. No âmbito da durabilidade, devem ser observadas as orientações de relações a/c máximas para as variadas classes de agressividade ambiental, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Segundo Malta (2012), os padrões a serem determinados para o cálculo do traço necessita do conhecimento prévio de alguns parâmetros que estão representados na Figura 8, após definidos os elementos descritos na mesma e a fixação da relação a/c juntamente com a classe de agressividade, o método se resume nas seguintes etapas:

1ª etapa - Determinar os valores para cálculo do traço;

**Figura 8** - Valores Prévios sobre os materiais e Concreto para cálculo da dosagem.

Resistência a compressão do concreto prev. para 28 dias (fcj)	Mpa
Resistência do cimento 28dias	Mpa
Diâmetro máximo (Dmáx) do agregado graúdo	mm
Módulo de finura do agregado miúdo	adimensional
massa unitária compactada do agregado graúdo	kg/dm <sup>3</sup>
massa específica real agregado miúdo	g/cm <sup>3</sup>
massa específica agregado graúdo	kg/dm <sup>3</sup>
abatimento tronco de cone	mm
massa específica do cimento	g/cm <sup>3</sup>

Fonte: AUTORES, 2019.

### 2ª etapa - Cálculo do consumo de água (Ca)

Determinado pela relação entre o diâmetro ótimo (máximo) do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone, valor obtido pela Tabela 3.

**Tabela 3** - Consumo de água aproximado (l/m<sup>3</sup>).

Abatimento	Dimensão máxima característica do Agregado Graúdo (mm)				
(mm)	<b>9,5</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>37,5</b>
<b>40 - 60</b>	220	195	190	185	180
<b>60 - 80</b>	225	200	195	190	185
<b>80 - 100</b>	230	205	200	195	190

Fonte: MALTA, 2012.

### 3ª etapa - Cálculo do consumo de agregado Graúdo (Cb);

$$Cb = Vb * Muc \quad (11)$$

Onde:

*Cb*= Consumo de Brita

*Vb*= Volume de brita, determinado pela relação entre o modulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

*Muc*= Massa unitária compactada do agregado graúdo

A proporção de agregado miúdo/graúdo é feita determinando-se o teor correto de agregado graúdo na mistura, relacionando a sua dimensão máxima característica com o módulo de finura da areia, sendo que o consumo de areia irá ser a relação dos teores de pasta com o agregado graúdo do concreto, o consumo de agregado graúdo é obtido à partir dos dados de volumes compactados a seco da Tabela 4, onde são fornecidos os volumes compactados a seco/m<sup>3</sup> de concreto em função da sua dimensão máxima característica e módulo de finura.

**Tabela 4** - Volume Compactado seco (V<sub>c</sub>) de agregado graúdo por m<sup>3</sup> de concreto.

MF' (MÓD FINURA)	D <sub>máx</sub> (mm)				
	<b>9,5</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>37,5</b>
<b>1,6</b>	0,665	0,790	0,815	0,840	0,865
<b>1,8</b>	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
<b>2,0</b>	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
<b>2,2</b>	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
<b>2,4</b>	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
<b>2,6</b>	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
<b>2,8</b>	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
<b>3,0</b>	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
<b>3,2</b>	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
<b>3,4</b>	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
<b>3,6</b>	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: MALTA, 2012.

4ª etapa - Cálculo do consumo de Cimento (C<sub>c</sub>);

$$C_c = \frac{Ca}{a/c} \quad (12)$$

Onde:

C<sub>c</sub> = Consumo de Cimento

Ca = Consumo de água

a/c = Fator água /cimento

5ª etapa - Cálculo do volume de areia ( $V_a$ );

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (13)$$

6ª etapa - Determinação do Consumo areia ( $C_{ar}$ );

$$C_{ar} = V_a * \gamma_a \quad (14)$$

7ª etapa - Apresentação do Traço

O traço é o indicativo da quantidade em massa ou volume em relação a uma unidade de cimento expresso da seguinte forma:

Cimento: Areia: Brita: Água/Cimento;

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{ar}}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (15)$$

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada na realização deste trabalho é experimental e comparativa, com o objetivo de desenvolver traços para produção de concretos convencionais com o uso de areia proveniente da britagem das rochas, em substituição parcial e total à areia natural. Essa etapa consiste na realização de três fases metodológicas, como descrito abaixo:

- Fase preparatória: coleta do material, preparo e estocagem;
- Fase inicial: caracterização dos materiais e preparo dos equipamentos necessários para realização dos ensaios;
- Fase final: constituída em sua maioria o ensaio de dosagem, de resistência à compressão axial.

#### 3.1 MÉTODO DE DOSAGEM

O método de dosagem utilizado para a mistura de concreto foi o método da Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP, cujo procedimento prévio está abordado no capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) e os diversos materiais a serem utilizados no ensaio estão discriminados a seguir:

1. 80 tubos de 100mm com 20cm de altura;
2. Cadinho com pistilo com capacidade de 1dm<sup>3</sup>;
3. Becker graduado com capacidade de 2000ml;
4. Proveta graduada com capacidade de 1000ml;
5. Desmoldante;
6. Cimento Tocantins;
7. Areia;
8. Brita;
9. Água;
10. Colher de pedreiro;
11. Betoneira 150lts;
12. Balança de precisão;
13. Pincel;

14. Balde Metálico;
15. Cone para “*slumptest*”;
16. Bandeja metálica;
17. Bastão metálico;
18. Prensa de compressão;
19. Régua de metal;
20. Desempenadeira de metal.

### 3.1.1 Amostragem

A amostragem foi realizada de acordo com a norma NBR NM 26 (ABNT, 2001) – Agregados – Amostragem, o quarteamento da amostra segundo norma NBR NM 27 (ABNT, 2001) - Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, a preparação da amostra e quarteamento estão representados nas Figuras 9 e 10.

**Figura 9** - Preparação da amostra para o quarteamento.



Fonte: AUTORES, 2019.

**Figura 10 -** Quarteamento da Areia.



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.1.2 Cimento

O cimento utilizado no ensaio é o CP II F 32 Tocantins - Todas as Obras –marca Votorantim, Empresa Votorantim S/A- unidade Edealina-GO, revendido por Vivenda Materiais para construção. Essa categoria pode atender às normas: CP II E 32, CP II E 32 RS, CP II F 32, CP II Z 32, CP II Z 32 RS, CP III 40 RS, CP IV 32, variando conforme a região. Para o ensaio foi adquirido 2 sacos de cimento de 50 kg cada.

### 3.1.3 Areia Natural

A areia natural utilizada é da região de Jaraguá-GO, Rio do Peixe, fornecida pela Empresa Pedreira Financeira, recebida em canteiro de obra a quantidade de 1 caminhão caçamba com 6 m<sup>3</sup> de areia úmida, depositado diretamente no solo, como mostra Figura 11.

**Figura 11 -** Areia Natural depositada no chão.



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.1.4 Areia Artificial

A areia artificial é proveniente de rocha micaxisto da Pedreira Goiás situada em Abadiânia-GO, e passa por um processo industrial de britagem até atingir a granulometria normatizada para agregado miúdo. A areia britada foi coletada diretamente da planta de britagem no canteiro de obras da pedreira. Foi realizada uma visita técnica a fim de conhecer o processo de britagem e posteriormente foi coletada a amostra úmida recém distribuída da esteira do britador como mostra Figura 12.

**Figura 12** - Areia britada depositada no chão direto da esteira.



Fonte: Autores, 2019.

Com as amostras de areia natural e britada estocadas serão produzidas misturas em proporções apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5** - Misturas de areia britada e natural em massa.

<b>MISTURA</b>	<b>AREIA ARTIFICIAL</b>	<b>AREIA NATURAL</b>
1	-	100%
2	25 %	75 %
3	50 %	50 %
4	75 %	25 %
5	100 %	-

Fonte: Autores, 2019.

Para formação de amostras para os ensaios, o material foi misturado através de um quarteamento, de acordo com a norma NBR NM 27 (ABNT, 2001). As misturas foram estocadas separadamente, em sacos plásticos, para evitar contaminações.

### **3.1.5 Agregado Graúdo**

O agregado graúdo utilizado é a brita 1, proveniente da rocha calcária da região de Vila Propício – GO, fornecida pela Pirecal Pirenópolis Calcário Ltda. Recebida no canteiro de obras a quantidade de um caminhão caçamba com 6 m<sup>3</sup>, depositado diretamente no solo. Foram coletadas amostras de diversos pontos do material total descarregado, com o propósito de seguir a normatização. O material coletado foi acondicionado em sacos e armazenados em local adequado, evitando contaminação e umidade, como o material apresentava visivelmente livre de impurezas e pouco material pulverulento.

### **3.1.6 Água**

A água utilizada foi diretamente das torneiras, do poço artesiano que abastece o Centro Universitário de Anápolis - Unievangélica.

### **3.1.7 Determinação da composição granulométrica e execução do ensaio**

Foi realizado em laboratório, a granulometria dos agregados. A determinação da composição granulométrica foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Foram formadas duas amostras de cada agregado para o ensaio, com massas de 1000g cada (agregado miúdo e graúdo), obedecendo as quantidades mínimas para o ensaio de determinação das composições granulométricas de agregados.

### **3.1.8 Determinação da massa unitária dos agregados miúdo e graúdo solto e compactado**

- Agregado miúdo solto

A massa unitária de um agregado é a razão entre a massa de uma certa quantidade deste agregado e seu volume aparente, normalmente representado pela letra “d”. O método

utilizado para a realização deste ensaio foi a NBR NM 45 (ABNT, 2006) – Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios.

Os materiais utilizados no ensaio para determinação da massa unitária do agregado solto estão relacionados no item 3.1. Em um recipiente com capacidade de 1 dm<sup>3</sup> foi adicionada a areia a uma altura que a mesma ficasse com os grãos soltos, ao preencher o recipiente com areia o mesmo foi levado à balança (tarada) e verificou-se uma massa de areia correspondente a 1630 g (ou 1,63 kg), como mostra Figura 13.

**Figura 13** - Cadinho com agregado miúdo solto.



Fonte: AUTORES, 2019.

Esta massa ocupa um volume (aparente) de 1dm<sup>3</sup>, podendo assim ser representado:

$$d = \frac{M}{V_p}$$

$$d = \frac{1,63}{1} \quad (16)$$

$$d = 1,630 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária

$M$  = massa do agregado

$V_p$  = Volume aparente

- Agregado graúdo solto

Os materiais utilizados no ensaio estão relacionados no item 3.1. Em um recipiente com capacidade de 1 dm<sup>3</sup> foi adicionado a brita a uma altura que a mesma ficasse com os grãos soltos, ao preencher o recipiente com o agregado o mesmo foi levado à balança (tarada) e verificou-se uma massa correspondente a 1635 g (ou 1,635 kg), como Figura 14.

**Figura 14** - Agregado graúdo solto.



Fonte: AUTORES, 2019.

Esta massa ocupa um volume (aparente) de 1dm<sup>3</sup>, podendo assim ser representado:

$$d = \frac{M}{V_p}$$

$$d = \frac{1,635}{1} \quad (17)$$

$$d = 1,635 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária

$M$  = massa do agregado

$V_p$  = Volume aparente

- agregado graúdo compactado

No mesmo recipiente foi colocado um terço da amostra e efetuado adensamento com 25 golpes da haste de metal, conforme NM 45 (ABNT, 2006), o procedimento foi repetido até completar os dois terços como indicado, sem adensar a camada anterior, ao completar a superfície do material foi nivelada e efetuada a pesagem da amostra obteve-se uma massa correspondente a 1732 g (1,732 Kg), como mostra Figura 15.

**Figura 15** - Agregado graúdo compactado.



Fonte: AUTORES, 2019.

Esta massa ocupa um volume (real) de 1dm<sup>3</sup>, podendo assim ser representado:

$$d = \frac{M}{Vr}$$

$$d = \frac{1,732}{1} \quad (18)$$

$$d = 1,732 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária

$M$  = massa do agregado

$Vr$  = Volume aparente

### 3.1.9 Determinação das massas específicas dos agregados miúdo e graúdo

- Massa específica do agregado miúdo

Para a determinação da massa específica dos agregados miúdos foi utilizado o método de ensaio: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente da norma NBR NM 52 (ABNT, 2003).

A massa específica de um agregado é a razão entre a massa de uma quantidade deste agregado e seu volume real, representada pela letra grega “ $\mu$ ”. Determinamos a massa específica da amostra utilizando o valor real adquirido pela massa unitária solta determinando a variação pelo volume de um líquido. No ensaio utilizamos 1000 ml de água em um Becker, adicionamos a amostra do agregado solto correspondente a 1630g e obtemos o volume final de 1600ml, isto nos diz que a o agregado tem um volume real de 600ml (1600 – 1000), em resumo podemos representar como sendo:

$$\mu = \frac{M}{V_r}$$

$$\mu = \frac{1630}{600} \quad (19)$$

$$\mu = 2,717 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$\mu$  = massa específica

$M$  = massa do agregado

$V_r$  = Volume real

- Massa específica do agregado graúdo

O método de ensaio utilizado para a realização é: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, conforme NBR NM 53 (ABNT, 2003).

Determinamos a massa específica da amostra utilizando o valor real adquirido pela massa unitária solta determinando a variação pelo volume de um líquido. No ensaio utilizamos 1000 ml de água em um Becker, adicionamos a amostra solta correspondente a 1635g e obtemos o volume final de 1598ml, isto nos diz que a o agregado tem um volume real de 598ml (1598 – 1000), em resumo podemos representar como sendo:

$$\mu = \frac{M}{V_r}$$

$$\mu = \frac{1635}{598} \quad (20)$$

$$\mu = 2,734 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$\mu$  = massa específica

$M$  = massa do agregado

$V_r$  = Volume real

### 3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

A partir dos ensaios realizados obtivemos os parâmetros iniciais para o cálculo da dosagem de concreto, parâmetros como o  $f_{ck}$  e o abatimento são determinados conforme a necessidade de resistência aos 28 dias e trabalhabilidade do concreto no estado fresco, os valores estão representados na Tabela 6.

Primeiramente determinamos a relação a/c (água/cimento), calculamos o  $f_{c28}$ , que é a resistência de cálculo do concreto aos 28 dias.

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (21)$$

$$f_{c28} = 25 + 1,65 \cdot 4,0$$

$$f_{c28} = 32 \text{ MPa}$$

**Tabela 6** -Parâmetros obtidos para o cálculo do traço.

Parâmetros para cálculo da dosagem de concreto		
$f_{ck}$	25	Mpa
Abatimento	90±10	mm
Sd	4,0	Mpa
Cimento	CP II F - 32	
Massa específica do cimento	3,1	kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura da areia	3,5	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica da areia	2,717	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária da areia solta	1,63	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica da brita	2,734	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária compactada da brita	1,732	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária solta da brita	1,635	kg/dm <sup>3</sup>
Diâmetro máximo da brita	12,5	mm

Fonte: AUTORES, 2019.

A relação a/c foi determinada em função da curva de *Waltz* do cimento representado pela Figura 7 no item 2.7.3 - Método da ABCP, o valor foi obtido a partir da interpolação dos valores entre 30 e 40 MPa e 0,40 e 0,55 ac. A Segunda etapa consiste em determinar o consumo dos materiais. Os dados obtidos com a determinação do consumo de cada agregado estão apresentados na Tabela 7, os mesmos foram calculados a partir do procedimento apresentado no item 2.7.3 - Método da ABCP.

**Tabela 7** - Parâmetros pré-determinados para o cálculo do traço.

Dados obtidos para determinação do traço	
Relação a/c	0,46
volume de brita (Vb)	0,514 m <sup>3</sup>
Consumo de água	222,10 lts
Consumo de agregado graúdo (Cb)	890,25 kg/m <sup>3</sup>
Consumo de Cimento (Cc)	482,83 kg/m <sup>3</sup>
Volume de areia (Va)	0,296 m <sup>3</sup>
Consumo de areia (Car)	804,23 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.2.1. Apresentação do Traço

A partir dos dados obtidos da Tabela 7, e o resultado do cálculo da equação 15, podemos definir o traço na seguinte proporção:

Cimento: Areia: Brita: Água/Cimento;

$$1 : 1,67 : 1,84 : 0,46$$

Foram realizados cinco traços de concreto, sendo que para 3 traços foram realizadas misturas de areia natural com areia britada nas proporções representadas na Tabela 8.

**Tabela 8** - Nomenclatura, Componentes e Abreviações dos traços.

<b>Traço</b>	<b>Componentes</b>	<b>Abreviações</b>
1	100 % Areia Natural + Brita 1	100% AN + B
2	75% Areia Natural + 25% Areia Britada + Brita	75% AN + 25% AB + B
3	50% Areia Natural + 50% Areia Britada + Brita	50% AN + 50% AB + B
4	25% Areia Natural + 75% Areia Britada + Brita	25% AN + 75% AB + B
5	100% Areia Britada + Brita	100% AB + B

Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.2.2 Procedimento do ensaio

Após feito os ensaios preliminares e definição do traço, os materiais foram devidamente pesados, seguindo o seguinte processo: Os materiais secos foram introduzidos na betoneira, vedando a boca da betoneira com um saco plástico e devidamente fixado com um fio para não sair o pó, conforme apresentado na Figura 16, misturamos os materiais durante 1 minuto. Logo após, retirou-se o saco plástico que veda a betoneira e acrescenta-se a água, e durante 3 minutos homogeneizou-se a mistura novamente, verificando a consistência da mesma, e após finalizada essa mistura, o concreto foi submetido ao ensaio no estado fresco de abatimento do tronco de cone.

**Figura 16 - Betoneira.**

Fonte: AUTORES, 2019.

### **3.2.3 Medida de abatimento do tronco cone e execução do ensaio**

Para este ensaio foi utilizado o método de ensaio: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Segundo orientação da norma o molde deve ter a forma de um tronco de cone com dimensões específicas, acompanhado de uma haste de aço, uma placa de base e uma régua de metal. Primeiramente deve ser umedecido o molde e a placa base, o operador do ensaio se posicionará com os pés sobre as aletas do cone, devendo encher rapidamente o molde em 3 camadas de um terço da altura do molde cada uma, compactando cada camada com 25 golpes da haste e em toda sua espessura de forma que os golpes penetrem apenas na camada anterior.

Durante a operação de compactação se a superfície estiver abaixo da borda, o concreto deverá ser completado até ficar em excesso na base, a superfície deverá ser rasada com uma desempenadeira e movimentos rolantes da haste de compactação, feito isso deve-se limpar a placa em volta do molde e levantar cuidadosamente e sem inclinação o tronco de cone entre 5s e 10s, a operação completa desde o preenchimento até a retirada do molde deverá ser realizada sem interrupções em um intervalo de 150s. Imediatamente após retirar o molde medir o abatimento do concreto posicionando o tronco de cone vazio ao lado da massa e determinando a diferença entre a altura dos mesmos, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998).

### 3.2.4 Confeção dos corpos de prova de concreto e ensaios

Conforme norma NBR 5738 (ABNT, 2015) - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, foram moldados os 80 corpos de prova representado pela Figura 17.

O molde adotado foi o de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, por motivos de economia do material utilizado, facilidade no manuseio (peso), capeamento e facilidade de armazenamento. Até completar 24 horas os corpos-de-prova moldados permaneceram dentro do laboratório e cobertos com lona plástica para evitar a evaporação da água, foi realizada uma regularização dos corpos-de-prova, ainda em suas formas, caso a exsudação do concreto provoque diminuição em seu tamanho, para isso foi verificado a cada duas horas o processo de cura inicial.

**Figura 17-** Corpos de prova de concreto recém moldados.



Fonte: AUTORES, 2019.

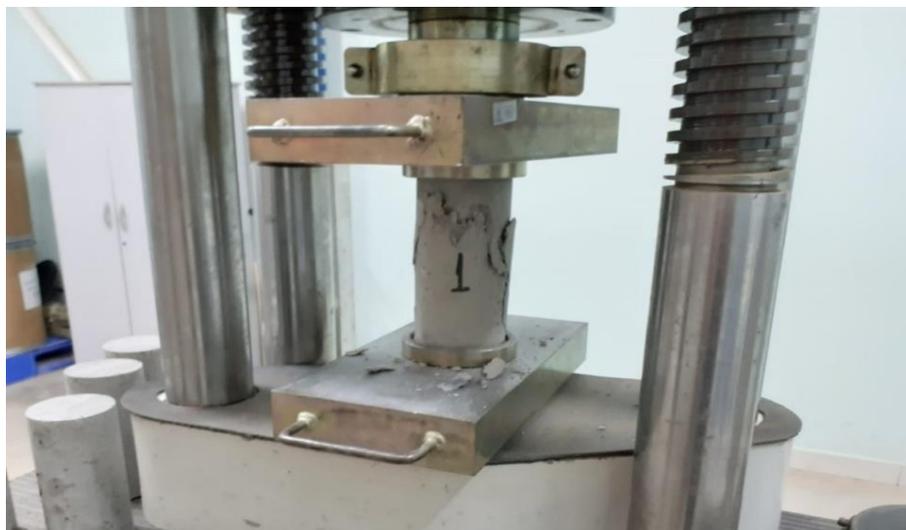
Para essa regularização utilizou-se um nível, para que os corpos-de-prova fiquem nivelados em relação a base, após regularização e secagem, foram guardados na câmara úmida do Laboratório de Estruturas do Centro Universitário de Anápolis - Unievangélica, situado em Anápolis-GO para realização dos ensaios de Compressão de corpos cilíndricos.

### 3.2.5 Ensaio de Compressão Axial

O Ensaio de Compressão axial foi executado conforme NBR 5739 (ABNT, 2018) - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Ainda em processo de cura na

câmara úmida foram executados os rompimentos de 4 amostras por traço com 7, 14, 21 e 28 dias de idade, a Figura 18 representa o rompimento do primeiro corpo de prova.

**Figura 18** - Ensaio de Compressão de corpo de prova.



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.2.6 Análise estatística

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 4x5, sendo quatro intervalos de tempo para análise (7, 14, 21 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova de concreto) e cinco doses de areia natural (0, 25, 50, 75 e 100%) em conjunto com areia artificial, totalizando 20 tratamentos com quatro repetições.

Os tratamentos foram denominados:

- T07-D000 - tempo de 7 dias, 0% de areia natural e 100% de areia artificial;
- T07-D025 - tempo de 7 dias, 25% de areia natural e 75% de areia artificial;
- T07-D050 - tempo de 7 dias, 50% de areia natural e 50% de areia artificial;
- T07-D075 - tempo de 7 dias, 75% de areia natural e 25% de areia artificial;
- T07-D100 - tempo de 7 dias, 100% de areia natural e 0% de areia artificial;
- T14-D000 - tempo de 14 dias, 0% de areia natural e 100% de areia artificial;
- T14-D025 - tempo de 14 dias, 25% de areia natural e 75% de areia artificial;
- T14-D050 - tempo de 14 dias, 50% de areia natural e 50% de areia artificial;
- T14-D075 - tempo de 14 dias, 75% de areia natural e 25% de areia artificial;

- T14-D100 - tempo de 14 dias, 100% de areia natural e 0% de areia artificial;
- T21-D000 - tempo de 21 dias, 0% de areia natural e 100% de areia artificial;
- T21-D025 - tempo de 21 dias, 25% de areia natural e 75% de areia artificial;
- T21-D050 - tempo de 21 dias, 50% de areia natural e 50% de areia artificial;
- T21-D075 - tempo de 21 dias, 75% de areia natural e 25% de areia artificial;
- T21-D100 - tempo de 21 dias, 100% de areia natural e 0% de areia artificial;
- T28-D000 - tempo de 28 dias, 0% de areia natural e 100% de areia artificial;
- T28-D025 - tempo de 28 dias, 25% de areia natural e 75% de areia artificial;
- T28-D050 - tempo de 28 dias, 50% de areia natural e 50% de areia artificial;
- T28-D075 - tempo de 28 dias, 75% de areia natural e 25% de areia artificial;
- T28-D100 - tempo de 28 dias, 100% de areia natural e 0% de areia artificial.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparativo de média pelo teste de tukey a 5% de probabilidade e à análise de regressão quando significativo, utilizando o software SISVAR 5.6, para a variável resistência à compressão, em desdobramento da soma dos quadrados da interação (tempo x doses de areia natural), para verificação de significância (FERREIRA, 2014).

### **3.2.7 Análise de custo para obtenção dos agregados miúdos**

Para verificação da viabilidade econômica da utilização da areia de brita, foi feito um levantamento do custo do material em pontos de venda por metro cúbico de agregado, sendo a areia britada na cidade de Anápolis – GO e a areia natural na cidade de Goianésia – GO.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos das etapas seguidas no capítulo 3, como a Granulometria dos agregados, a avaliação do concreto no estado fresco e endurecido, bem como as análises estatísticas e análise de custo da areia de britagem.

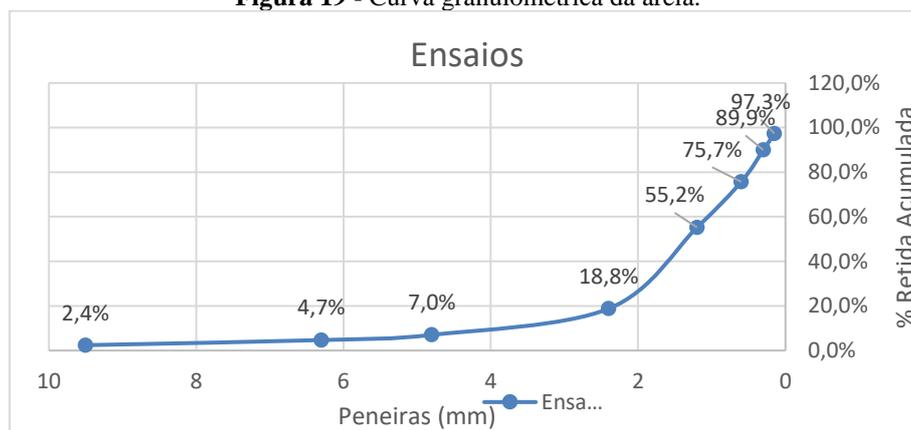
### 4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A determinação da composição granulométrica foi realizada de acordo com NBR NM 248 (ABNT, 2003). Foram formadas duas amostras  $m_1$  e  $m_2$  de cada agregado para o ensaio, com massa de 1000g cada (agregado miúdo e agregado graúdo), obedecendo as quantidades mínimas para o ensaio de determinação das composições granulométricas de agregados, realizado os ensaios das respectivas amostras, os dados granulométricos obtidos para determinação do traço estão apresentados nas Tabelas 9 e 10 e respectivamente pelos gráficos das Figuras 19 e 20.

**Tabela 9** - Granulometria do agregado miúdo.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NM 248:2001 AREIA							
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%Retida	%Retida
n °	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida	Média	Acumulada
3/8"	9,5	29,5	2,95%	17,7	1,8%	2%	2,4%
1/4"	6,3	20,5	2,05%	25,4	2,5%	2%	4,7%
4	4,8	23	2,30%	23,8	2,4%	2%	7,0%
8	2,4	132,9	13,30%	101,7	10,2%	12%	18,8%
16	1,2	429,6	42,99%	299,1	29,9%	36%	55,2%
30	0,6	173,9	17,40%	234,6	23,5%	20%	75,7%
50	0,3	116,5	11,66%	168,7	16,9%	14%	89,9%
100	0,15	54,7	5,47%	93,1	9,3%	7%	97,3%
Fundo	0,01	18,8	1,88%	35,1	3,5%	3%	
total		999,4	99,94%	999,2	99,9%	100%	
Dimensão Máxima Característica: 6,3 mm				Módulo de Finura: 3,5			

Fonte: AUTORES, 2019.

**Figura 19 - Curva granulométrica da areia.**

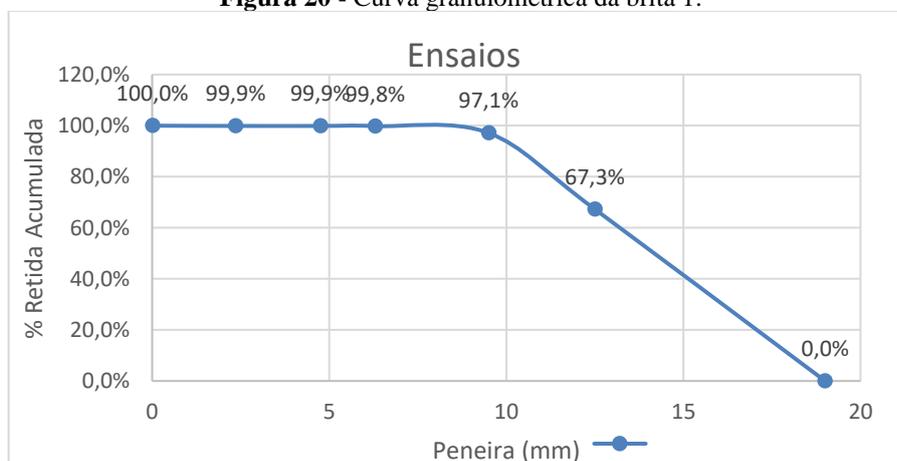
Fonte: AUTORES, 2019.

**Tabela 10 - Granulometria do agregado graúdo.****COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NM 248:2001 - BRITA**

Peneiras nº	(mm)	1ª Determinação		2ª Determinação		Média	% Retida Acumulada
		Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
3/4 "	19	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0%
1/5 "	12,5	605,6	60,5%	740,0	74,0%	67,3%	64%
3/8 "	9,5	359,2	35,9%	238,1	23,8%	29,9%	94%
1/4 "	6,3	32,3	3,2%	21,3	2,1%	2,7%	97%
4	4,75	1,2	0,1%	0,0	0,0%	0,1%	97%
8	2,36	0,6	0,1%	0,0	0,0%	0,1%	97%
fundo	0,01	1,3	0,1%	0,9	0,1%	0,1%	
total		1000	100,0%	1000	100,0%	99,9%	

Diâmetro Máximo: 12,5 mm Brita 1

Fonte: AUTORES, 2019.

**Figura 20 - Curva granulométrica da brita 1.**

Fonte: AUTORES, 2019.

#### 4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO – SLUMP TEST

Foi executado conforme o método de ensaio: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

No estudo de dosagem em questão adotamos o abatimento imediatamente após cada mistura executada para verificar a consistência do concreto, obtivemos os abatimentos conforme Tabela 11.

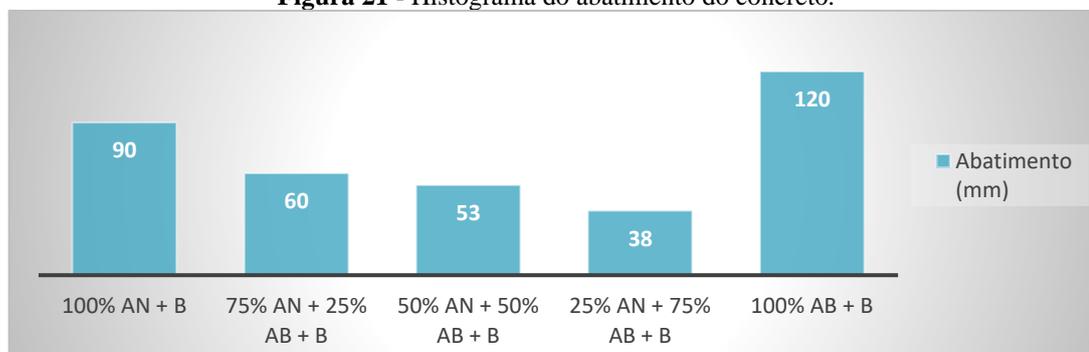
**Tabela 11** - Abatimentos do concreto fresco.

Nomenclatura	Abatimento (mm)
100% AN + B	90
75% AN + 25% AB + B	60
50% AN + 50% AB + B	53
25% AN + 75% AB + B	38
100% AB + B	120

Fonte: AUTORES, 2019.

A consistência do concreto influencia diretamente na trabalhabilidade do mesmo, o termo consistência está relacionado com a mobilidade da mistura e a coesão de seus componentes, à medida que modificamos o grau de umidade da massa que determina a consistência, alteramos sua plasticidade e permitimos maior ou menor deformação do concreto, no experimento feito, apenas foram substituídos porcentagens de areia natural por areia de britagem, sem alterar a relação a/c, portanto foi obtido diferentes valores de abatimentos, os resultados estão representados na Figura 21.

**Figura 21** - Histograma do abatimento do concreto.



Fonte: AUTORES, 2019.

Mediante os resultados, em comparação com abatimento definido em norma, tem-se:

- O abatimento adquirido no tratamento com 100% de areia natural se enquadrou no pré-estabelecido para o cálculo do traço obtendo resultado de 90mm;
- Com 25% de substituição da areia natural, utilizando a mesma relação água/cimento o abatimento foi reduzido para 60 mm, não interferindo significativamente na trabalhabilidade do concreto;
- Com 50% da substituição da areia natural, o abatimento obtido foi 53 mm podendo a depender da destinação do concreto, utilizar aditivo plastificante para obter uma melhor trabalhabilidade sem perder a resistência do mesmo;
- Com 75% da substituição da areia natural o abatimento diminuiu significativamente em relação ao tratamento de areia natural, obtendo um valor de 38mm;
- Com 100% de substituição da areia natural o abatimento aumentou significativamente, talvez por ausência de finos, uma vez que a areia britada em seu processo passa por uma lavagem para retirada do material pulverulento.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO – ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL EM CORPOS CILÍNDRICOS

Foi analisado a resistência à compressão axial, os resultados estão apresentados na Tabela 12 e na análise estatística (item 4.4 e 4.5). Os resultados de resistência a compressão, medidos aos 28 dias, representam a média feita entre quatro amostras de cinco tratamentos, tendo como melhor resultado, o tratamento de 75% de areia natural mais 25% de areia britada.

**Tabela 12** - Média das tensões aos 28 dias.

Tensão de ruptura média aos 28 dias	
Tratamentos	Tensão de ruptura média
100% Areia Natural + 0% Areia britada	36.375 MPa
75% Areia Natural + 25% Areia britada	39.175 MPa
50% Areia Natural + 50 % Areia britada	29.500 MPa
25% Areia Natural + 75 % Areia britada	26.150 MPa
0% Areia Natural + 100 % Areia britada	20.050 MPa

Fonte: AUTORES, 2019.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados atendem aos pressupostos básicos de normalidade e homogeneidade, logo não foi necessária transformação de dados, sendo que a variável analisada foi a resistência à compressão do concreto e os testes realizados foram: Análise de variância para 4 tempos e 5 doses de areia natural, Análise do desdobramento de areia natural dentro de cada nível de tempo, Teste *Tukey* e Análise de regressão.

##### 4.4.1 Análise de variância para esquema fatorial 4x5 (4 tempos e 5 doses de areia natural)

Em estatística podemos trabalhar com duas hipóteses: a nula e a alternativa. A hipótese nula (H0) afirma não haver diferença entre os tratamentos, enquanto a hipótese (H1) afirma o oposto, logo a aceitação de uma implica na rejeição da outra. Como premissa para realização da análise, consideramos a hipótese H1, considerando a existência da diferença entre os tratamentos. A análise de variância para esquema fatorial de 4 tempos e 5 doses de areia natural está representado na Tabela 13.

**Tabela 13** - Análise de Variância.  
Tabela de Análise de Variância

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
Areia Natural	4	2526.718	631.680	334.790	0.0000
tempo	3	764.526	254.842	135.066	0.0000
Areia Natural * tempo	12	57.728	4.811	2.550	0.0086
Desvio	60	113.208	1.887		
Total	79	3462.180			
CV (%) =	5.48				
Média geral:	25.049	Número de observações	80		

Fonte: AUTORES, 2019.

H0: média iguais

H1: médias diferentes

FV: Fontes de Variação

GL: Grau de Liberdade

SQ: Soma dos Quadrados

F: Valor do F calculado no teste F

P-Value: Medida quantitativa estatística para tomada de decisão

Como os valores P-value (P-valor) são inferiores a 0,05 (5%) de probabilidade, rejeita-se a hipótese nula  $H_0$ , ou seja, há diferença significativa entre os tratamentos.

#### 4.4.2 Análise do desdobramento de areia natural dentro de cada nível de tempo

A análise do desdobramento da areia natural dentro de cada nível de tempo, ou seja, para os resultados aos 7, 14, 21 e 28 dias, está representada na Tabela 14.

**Tabela 14** - Análise do desdobramento por nível de tempo.

Tabela de Análise de Variância - Desdobramento Areia natural dentro do tempo					
FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
Areia natural / 7 dias	4	533.683000	113.420.750	70.713	0.0000
Areia natural / 14 dias	4	526.435000	131.608.750	69.753	0.0000
Areia natural / 21 dias	4	569.993000	142.498.250	75.524	0.0000
Areia natural /28dias	4	954.335000	238.583.750	126.449	0.0000
Desvio	60	113.207500	1.886.792		

Fonte: AUTORES, 2019.

FV: Fontes de Variação

GL: Grau de Liberdade

SQ: Soma dos Quadrados

F: Valor do F calculado no teste F

P-Value: Medida quantitativa estatística para tomada de decisão

#### 4.4.3 Teste Tukey

Para análise de variância feita em estudos com mais de dois tratamentos, se faz necessário a aplicação de uma regressão ou de um teste de comparação entre as médias dos mesmos, a fim de concluir qual o melhor entre eles, e o teste *Tukey* é um dos mais utilizados e de fácil aplicação, sendo os resultados obtidos representados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência, no desdobramento aos 28 dias.

Tratamentos (Doses)	Resistência à Compressão
75% AREIA NATURAL	39.1750 a
100% AREIA NATURAL	36.3750 b
50% AREIA NATURAL	29.5000 c
25% AREIA NATURAL	26.1500 d
0% AREIA NATURAL	20.0500 e

Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade  
Fonte: AUTORES, 2019.

Considerando o desdobramento do tratamento "doses de areia natural" dentro do tempo de 28 dias, o melhor resultado quanto a resistência foi a dose de 75% de areia natural, havendo diferença estatística significativa a 5% probabilidade entre todos os tratamentos apresentados acima.

#### 4.4.4 Análise de Regressão

Para obter uma classificação matemática de qual variável obteve maior impacto, foi realizado a análise de regressão. Foram analisados três tipos de regressões: linear, quadrática e cúbica; sendo que em todas as análises, os resultados foram significativos, conforme Tabela 16. A Figura 22 apresenta a regressão linear e quadrática das resistências à compressão aos 28 dias, com respectiva variância.

**Tabela 16** - Análise de regressão para variável resistêncano desdobramento de areia natural. para 28 dias.

Causas de variação	G.L	S.Q	Q.M	F	P-Value	R <sup>2</sup>
linear	1	834.482	834.482	442.276	0.000	87,4
quadrática	1	37.622	37.622	19.939	0.000	91,3
cúbica	1	37.830	37.830	20.050	0.000	99,5
desvio de regressão	1	44.401	44.401	23.532	0.000	
resíduo	60	113.208	1.887			
Total	79	3462.180				

Fonte: AUTORES, 2019.

FV: Fontes de Variação

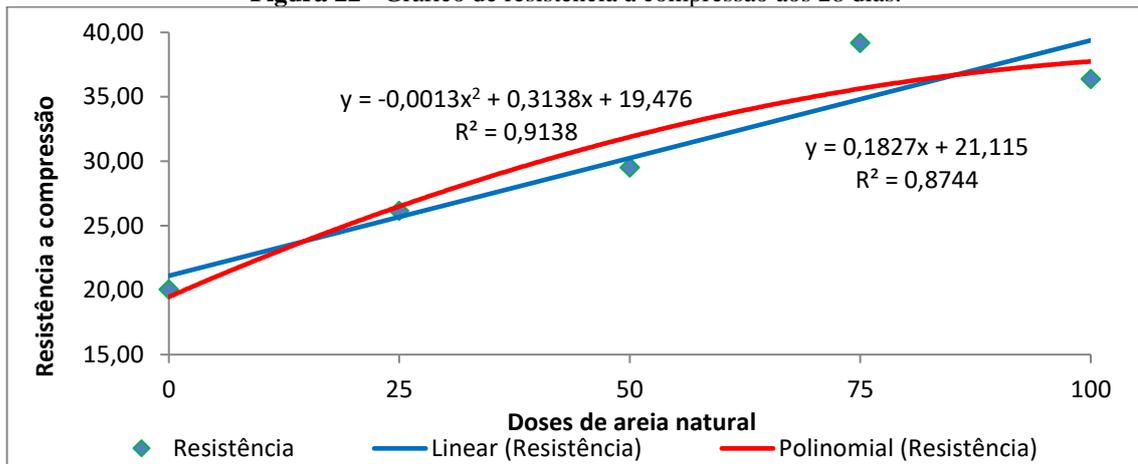
GL: Grau de Liberdade

SQ: Soma dos Quadrados

F: Valor do F calculado no teste F

P-Value: Medida quantitativa estatística para tomada de decisão

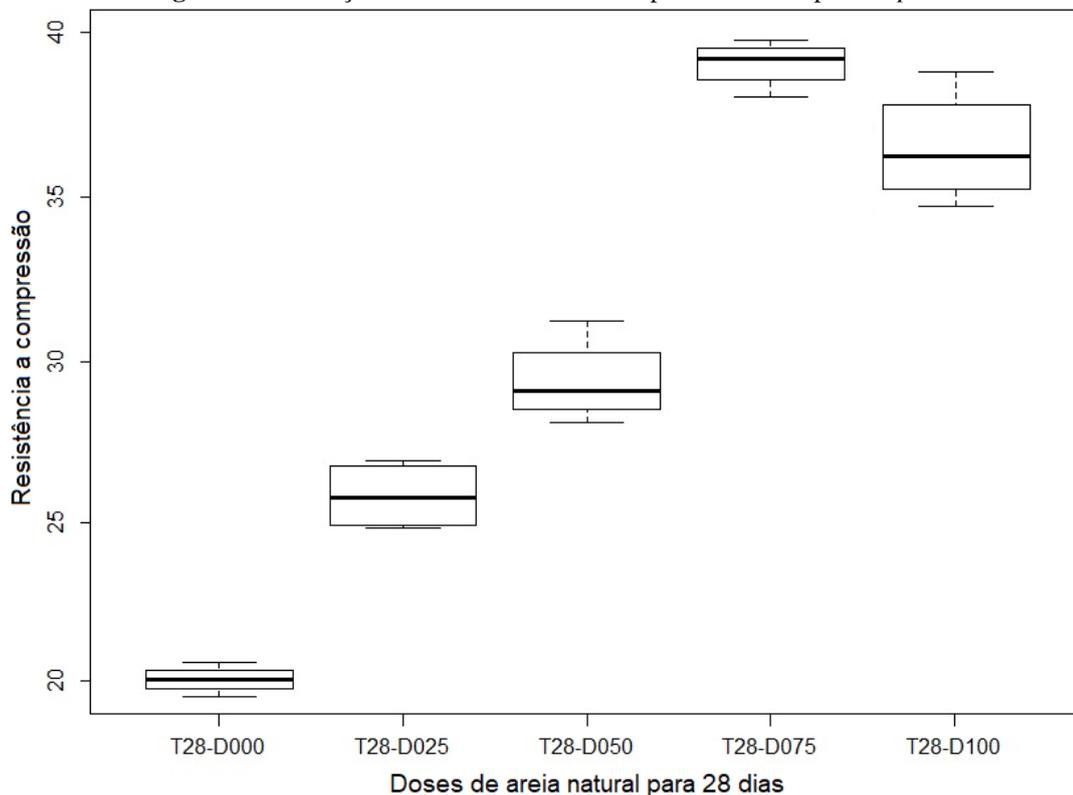
**Figura 22** - Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias.



Fonte: AUTORES, 2019.

A Figura 23 mostra a representação das alterações em cada tratamento por meio de *boxplot*. O objetivo do gráfico é a verificação da distribuição dos dados. Pelos retângulos podemos verificar o centro e a amplitude dos dados, a simetria ou assimetria do conjunto de dados, sendo o centro da distribuição indicado pela linha da mediana e a dispersão é representada pela amplitude. A posição da mediana informa sobre a assimetria na distribuição, para que uma distribuição seja simétrica a mediana se posicionaria no centro do retângulo.

**Figura 23** - Variação dos dados da resistência por tratamento por *Boxplot*.



Fonte: AUTORES, 2019.

#### 4.4.5 Análise dos Custos

O valor de custo da areia britada é R\$ 41,85 por m<sup>3</sup> (metro cúbico) para aquisição em pontos de venda, cotação feita em Anápolis-GO, Dezembro/2019, enquanto a areia natural tem um custo de R\$ 70,77 (setenta reais e setenta e sete centavos) por m<sup>3</sup> (metro cúbico) para aquisição em pontos de venda, cotação feita em Goianésia-GO, Dezembro/2019. A Tabela 17 mostra os custos do agregado miúdo para aquisição em pontos de venda na zona urbana.

**Tabela 17** - Custo de areia natural e areia de britagem por metro cúbico.

Agregado	Custo Total R\$. m <sup>-3</sup>
<b>Areia Natural</b>	70,77
<b>Areia Britagem</b>	41,85

Fonte: AUTORES, 2019.

Mediante os custos apresentados, percebe-se que o custo da areia de britagem é 69,1% inferior à areia natural obtida em depósitos da cidade. Como não há pontos de venda de areia britada em algumas regiões, uma edificação construída em determinada região que não tenha o material disponível iria alavancar um percentual no custo proveniente da inclusão de valor referente à frete.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados, conclui-se que a substituição da areia natural pela areia de britagem é tecnicamente e economicamente à depender da região adquirida, viável. A partir do método de dosagem é possível a determinação da proporção de materiais a serem utilizados no tratamento para adquirir a resistência necessária, no entanto devido o processo produtivo da areia de britagem avaliada, conforme valores obtidos nas análises estatísticas, houve variações significativas nas propriedades do concreto quando substituída em maiores proporções, indicando assim ajustes necessários para alcançar a margem de resistência considerada segura para a utilização do concreto, apresentando a necessidade do cálculo de um traço específico para uma substituição de maior proporção.

A substituição de areia natural por areia britada como agregado miúdo mesmo que parcial irá reduzir significativamente a demanda por areia natural e conseqüentemente a exploração de jazidas em leitos de rios, a areia britada é um subproduto do beneficiamento da britagem de rochas ficando a sua exploração concentrada na extração de agregado graúdo.

O correto seria um maior investimento por parte das empresas que produzem o agregado graúdo no beneficiamento da areia de britagem adequando-a aos padrões normatizados para alcançar a granulometria e teor finos adequados, sendo possível então a produção de concretos com os mesmos padrões técnicos com o diferencial de ser mais sustentável.

Para análises futuras sugere-se aumentar gradativamente o uso da areia britada ajustando o traço para não se perca a resistência do concreto, bem como utilizar areia britada de outros tipos de rocha e britadores.

Finalizando assim, conforme os dados apresentados e discutidos no trabalho, os resultados indicam que o tratamento com 75% de areia natural, ou seja, 25% de substituição por areia de britagem se mostrou o mais resistente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto. Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV – Concreto armado.** 2002. <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 25 de junho. 2013.

ANEPAC, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Revista Areia e brita**, São Paulo. SP, 2018. Quadrimestral. Ed. 73. ISSN 1518-4641.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Uma breve história do cimento portland.** 2009. < <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/> >. Acesso em: 10 de Dezembro. 2019.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7211. Agregado para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935. Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697. Cimento Portland — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118. projeto de estruturas de concreto – procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809. Agregado Graúdo –Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro.** Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 26. Agregados – Amostragem.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27. Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 6467. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

BARBISAN, A.; SPADOTTO, A.; DALLA NORA, D.; LOPES TURELLA, E.; DE WERGENES, T. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** Unoesc & Ciência - ACSA, v. 2, n. 2, p. 173-180, 27 jan. 2012.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais.** 2002. 118 f. Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BAUER, L. A. F. **Matérias de Construção**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1979, 529p.

BERTOLINO, L. C.; PALERMO, NELY.; BERTOLINO, A. V. F. A. **Geologia – Manual de Agregados para a Construção Civil**. 2ª edição. Editores: Adão Benvido da Luz e Salvador Luíz M. de Almeida. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. Rio de Janeiro, 2012.

BLOG DE GEOGRAFIA. **Tipos de Rocha – Magmáticas, Sedimentares e Metamórficas**. 2017. Disponível em: <<https://suburbanodigital.blogspot.com/2017/09/tipos-de-rocha-magmaticas-sedimentares-e-metamorficas.html>> Acesso em: 20/05/2019.

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. **Revisão bibliográfica: Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil** (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). *Cerâmica*, v.61, p.178-189, 2015.

DRAGO, C.; VERNEY, J. C. K.; PEREIRA, F. M. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2009, vol.62, n.3, pp.399-408. ISSN 0370-4467. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672009000300021>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FERREIRA, D.F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FOCHS, R. G. **Estudo Comparativo entre métodos de Dosagem de Concreto Auto adensável**. 2011. 179f. Dissertação (Mestre em Engenharia e Tecnologia dos Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GRUPO HOBI. **Extração e beneficiamento de agregados para Construção Civil-Brita**. 2012. Disponível em: <http://grupohobi.com.br/mineracao/>. Acesso em 14 mar. 2019. Não paginado.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Instrução Normativa nº 4**, de 13 abr. 2011, 14 p.

JACQUES, J.R. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Concreto de Cimento Portland**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MALTA, J. O. **Dosagem de Concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2012. 192f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

MANUAL BÁSICO DO PROMOTOR DE JUSTIÇA DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE/ Sandra Mara Gabelini (Coord) – v.2 Goiânia: Ministério Público de Goiás, ESMP,2010. 156p.

MATOS, L. F.; ALLEM, P. M.; PIVA, J. H. **Avaliação da substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo agregado miúdo de britagem (pó de pedra) quanto às características mecânicas do concreto**. UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2017. Não paginado.

MEHTA, K. P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Editora Pini Ltda, 1.ed. São Paulo, 1994.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**, 2008.

MHE, MUSEU DE MINERAIS, MINÉRIOS E ROCHAS HEINZ EBERT. **Estruturas de Rochas Metamórficas**. 2019. Disponível em <<https://museuhe.com.br/rochas/rochas-metamorficas/texturas-e-estruturas-de-rochas-metamorficas/>> Acesso em 01/05/2019.

NEVILLE, A.M., Tradução GIAMMUSSO S. E.; **Propriedades do concreto**. 2ed, São Paulo: Pini, 1997, 824p.

OLIVEIRA, D.R.B. **Avaliação da Durabilidade de Concretos utilizando areia 100% artificial e com substituição parcial do Cimento Portland por Fíler Calcário.** 2016. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland.** Porto Alegre: Ed. Globo, 1982.307p.

PRUDÊNCIO, JR.L.R. **Tecnologia do Concreto de Cimento Portland.** Florianópolis,1999, 113p. Apostila do Curso de Mestrado em Engenharia Civil - Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 3. ed. RS. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2011, 120p.

RODRIGUES, K. J. **Concreto com resíduo de borracha e brita granítica.** 2013. Trabalho de conclusão de curso (curso de engenharia civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró-RN, 2013.

ROTH, C.D. G.; GARCIAS, C. M. **Construção civil e a degradação ambiental.** Desenvolvimento em Questão, v.7, n.13, p.111-128, 2009. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/2880/construcao-civil-e-a-degradacao-ambiental/i/pt-br>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SILVA, J. P. M.; **Agregados e Sustentabilidade – Manual de Agregados para a Construção Civil.** 2ª edição. Editores: Adão Benvindo da Luz e Salvador Luíz M. de Almeida. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, M. A. P. **Influência das características morfológicas de britas graníticas e gnáissicas na resistência à compressão do concreto.** 2016. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2016.

TOKARSKI, R. B. **Comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento**. 2017.207f. Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

TORALLES, B. M. et al. **Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais**. *Revista Engenharia e Tecnologia*. v. 10, nº 1 abr/2018, p.186-193, ISSN 2176-7270.

VIERO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, 2010.

VIACELLI, Luana. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (curso de engenharia civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Coordenação de Engenharia Civil, Pato Branco, 2012.

WEIDMANN, D.F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 271f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.