

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JACKELINE BORGES ELIAS**

**TARCÍSIO FLÁVIO DA SILVA**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL NO  
CONCRETO POR AREIA DE BRITAGEM**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**JACKELINE BORGES ELIAS  
TARCÍSIO FLÁVIO DA SILVA**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL NO  
CONCRETO POR AREIA DE BRITAGEM**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ELIAS, JACKELINE BORGES/ SILVA, TARCÍSIO FLÁVIO

Análise da substituição da areia natural no concreto por areia de britagem

109P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Areia Natural	2. Concreto
3. Gnaisse	4. Quartzito
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ELIAS, Jackeline Borges; SILVA, Tarcísio Flávio. Análise da substituição da areia natural no concreto por areia de britagem. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 104p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jackeline Borges Elias

Tarcísio Flávio da Silva

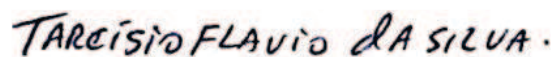
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da substituição da areia natural no concreto por areia de britagem.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

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.



Jackeline Borges Elias  
jackelineb.elias@gmail.com



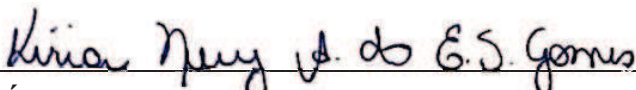
Tarcísio Flávio da Silva  
tarcisioflavio2009@hotmail.com

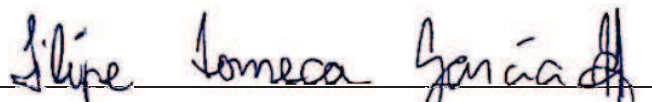
**JACKELINE BORGES ELIAS  
TARCÍSIO FLÁVIO DA SILVA**


**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL NO  
CONCRETO POR AREIA DE BRITAGEM**

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

**APROVADO POR:**

  
KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)

  
FILIPE FONSECA GARCIA, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

  
TIAGO DE LIMA BENTO PEREIRA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de NOVEMBRO de 2018.**

## AGRADECIMENTOS

A caminho desta conquista vivi muitas experiências, ampliei minha visão e conhecimento. O certo é que, ao olhar para trás, preciso reconhecer e agradecer a todos que contribuíram para que, hoje, eu pudesse chegar aonde cheguei.

A cada amanhecer eu agradeço ao meu Deus pelo sopro da vida e não seria diferente neste momento tão significativo em meu coração. Agradeço a Deus por não permitir que as adversidades me desestimulassem a continuar essa trajetória. Agradeço também a Deus porque o meu sonho também se tornou um sonho D'ELE. E incansavelmente, continuo agradecendo a Deus por tamanha sabedoria e persistência presenteados a mim quando muito foi preciso e por amigos maravilhosos com quem eu pude conviver ao longo destes anos.

Agradeço aos queridos professores a quem eu tive a honra de conhecer e estudar, mas em especial, agradeço de forma carinhosa a minha excelente orientadora Kiria Gomes, por todo apoio, incentivo, prestatividade e disponibilidade, ambos mais que fundamentais no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, razões da minha vida, por acreditarem na minha graduação ao verem de perto o meu esforço e dedicação para com este curso.

E para que um novo ciclo repleto de grandes desafios e possibilidades possa chegar, encerro a etapa de graduação com a sensação de dever cumprido.

“O seu começo parecerá modesto, mas o seu futuro será de grande prosperidade. Jó 8:7”.

Jackeline Borges Elias

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades;

Aos meus pais que me deram apoio e incentivo nas horas difíceis;

A minha esposa, que me estimulou durante todo o tempo e compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos;

Às minhas filhas, obrigado. Suas palavras de incentivo, otimismo e orgulho não me deixaram desistir da faculdade, muito menos desse trabalho de conclusão;

Aos meus amigos, muito obrigado por todas as vezes que estiveram ao meu lado;

A esta instituição, seu corpo docente, direção e administração, obrigado pela confiança a mim depositada permitindo cada vez mais o meu crescimento;

A minha orientadora Kiria Gomes, obrigado pelo suporte, paciência e incentivo durante as orientações;

E a todos que participaram direta ou indiretamente da minha vida acadêmica, minha eterna gratidão!

Tarcísio Flávio da Silva

## RESUMO

Devido ao preço elevado da areia natural utilizada na construção civil no município de Anápolis/GO e região e a grande atividade extrativista em todo país, este trabalho propõe a utilização da areia de britagem de rochas metamórficas como alternativa para a substituição da areia natural na produção de concreto para fins estruturais, verificando a viabilidade técnica e econômica desta substituição. Após pesquisa bibliográfica, realizou-se a caracterização de dois agregados propostos resultantes do processo de britagem e trituração dos minerais gnaiss e quartzo para produção das amostras de concreto com substituição total da areia natural por areias de britagem em proporções intercaladas de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% na composição do traço. As propriedades apresentadas no traço com 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo atenderam os requisitos de resistência à compressão axial, absorção de água e índice de vazios exigidos por norma para o uso em concreto estrutural, mostrando-se viável tecnicamente na substituição total de areia natural, inclusive, por superar os resultados do traço de referência. Verificou-se também que a substituição da areia natural por areias de britagem pode reduzir consideravelmente o custo de produção do concreto estrutural em até 14,4%, desta forma, mostrando viabilidade econômica total na substituição da areia natural no mercado regional, principalmente devido à produção da areia de britagem ser realizada nos canteiros das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, reduzindo assim o custo de seu frete aos pontos de consumo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Areia natural, Areia de britagem, Concreto, Gnaiss e Quartzo.

## **ABSTRACT**

Due to the high price of natural sand used in construction in the municipality of Anápolis / GO and region and the great extractivist activity in the whole country, this work proposes the use of crushing sand of metamorphic rocks as an alternative for the replacement of natural sand in production of concrete for structural purposes, verifying the technical and economic feasibility of this substitution. After a literature search, two proposed aggregates were obtained from the crushing and grinding process of the gneiss and quartz minerals for the production of the concrete samples with total replacement of the natural sand by crushing sands in intercalated proportions of 20%, 40%, 60%, 80% and 100% in trace composition. The properties presented in the trace with 80% gneiss crushing sand and 20% quartz crushing sand met the requirements of axial compression strength, water absorption and void index required by the standard for use in structural concrete, showing is technically feasible in the total replacement of natural sand, including, by exceeding the results of the reference trace. It was also found that the replacement of natural sand by crushing sands can considerably reduce the cost of production of structural concrete by up to 14,4%, thus showing total economic viability in the replacement of natural sand in the regional market, mainly due to production of crushing sand is carried out in the quarries of the quarries, located near the great urban centers, thus reducing the cost of their freight to the points of consumption.

**KEYWORDS:** Natural sand, Crushing sand, Concrete, Gneiss and quartz.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Passagem de luz e projeção de sombra.....	38
Figura 2 - Memorial de Veteranos de Iberville Parish, em Louisiana/EUA .....	38
Figura 3 - Extração de areia natural pelo método de cava seca.....	45
Figura 4 - Modelo alemão de draga hidráulica para extração mineral por cava submersa .....	45
Figura 5 - Modelo de draga improvisada para cava submersa ilegal em pleno funcionamento nas margens do Rio Araguaia.....	45
Figura 6 - Britador de mandíbula .....	51
Figura 7 - Britador Cônico .....	51
Figura 8 - Britador de martelo .....	52
Figura 9 - Lavra em pedreira para extração de gnaiss na pedreira Brita Anápolis.....	53
Figura 10 - Processo de cominuição do gnaiss resultando no produto final: areia de britagem .....	53
Figura 11 - Disposição das areias de britagem de gnaiss e quartzo.....	55
Figura 12 - Brita <sub>1</sub> utilizada nos traços .....	57
Figura 13 - Curva de Abrams para fixação da relação água/cimento.....	59
Figura 14 - Produção do concreto na betoneira.....	66
Figura 15 - Corpos de prova moldados em repouso.....	66
Figura 16 - Cura do concreto em câmara úmida .....	66
Figura 17 - Amostras submersas por 72 horas após secagem em estufa.....	69
Figura 18 - Amostras em fervura durante 5 horas .....	69
Figura 19 - Pesagem final da amostra após ebulição.....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - <i>Slump Test</i> realizado com nos traços de concreto executados .....	68
Quadro 2 - Características dos rompimentos à compressão axial aos 28 dias .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da consistência do concreto em função do resultado do <i>slump test</i> ..	24
Tabela 2 - Indicação para o tipo de construção em função do resultado do <i>slump test</i> .....	24
Tabela 3 - Produção de Bens Minerais no Brasil em 2014 .....	43
Tabela 4 - Utilização da areia natural na construção civil.....	48
Tabela 5 - Propriedades típicas de algumas rochas .....	50
Tabela 6 - Resultado dos ensaios físicos do cimento CPM Z 32 .....	54
Tabela 7 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia Natural (AN) .....	56
Tabela 8 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia de britagem de gnaiss (ABG).....	56
Tabela 9 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia de Britagem de Quartzo (ABQ).....	57
Tabela 10 - Composição granulométrica da amostra de 5 kg de Brita 1 (B1) .....	58
Tabela 11 - Consumo de água em função do abatimento e DMC da Brita 1.....	60
Tabela 12 - Determinação do volume de brita ( $V_b$ ).....	61
Tabela 13 - Traço para concreto com a utilização da areia de britagem do gnaiss (ABG) ....	64
Tabela 14 - Traço para concreto com a utilização da areia de britagem do quartzo (ABQ) ....	64
Tabela 15 - Traços utilizados nos concretos produzidos.....	65
Tabela 16 - Resultados do <i>Slump Test</i> por traço elaborado.....	67
Tabela 17 - Resultados das pesagens das amostras para determinação da Absorção de água e Índice de vazios da amostra do traço referencial de areia natural.....	70
Tabela 18 - Resultados dos dados coletados das amostras, segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009).....	71
Tabela 19 - Resultados dos cálculos para Absorção de água e Índice de Vazios utilizando as Equações 7 e 8.....	72
Tabela 20 - Média dos rompimentos à compressão axial aos 7, 21 e 28 dias.....	73
Tabela 21 - Composição de custos para execução do $m^3$ de concreto por amostra .....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média dos rompimentos à compressão axial para os traços referenciais.....	73
Gráfico 2 - Média dos resultados à compressão axial dos traços com proporções de areias de britagem.....	74
Gráfico 3 - Comparativo entre o traço de referência de areia natural com o melhor resultado dos traços com utilização de areia de britagem .....	74
Gráfico 4 - Média de rompimentos de todos os traços executados .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Areia de Britagem
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABG	Areia de britagem do gnaiss
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABQ	Areia de britagem do quartzo
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AN	Areia natural
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil
B1	Brita 1
C <sub>a</sub>	Consumo de água
C <sub>b</sub>	Consumo de brita
C <sub>c</sub>	Consumo de cimento
CD	Concreto denso ou pesado
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CL	Concreto leve
CP	Cimento Portland
CV	Concreto convencional
DMC	Diâmetro máximo característico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EVA	Acetato-vinilo de etileno
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
PMB	Produção Mineral Brasileira
SANEAGO	Saneamento de Goiás
V <sub>b</sub>	Volume de brita
V <sub>m</sub>	Volume do agregado miúdo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
1.3 METODOLOGIA .....	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2 CONCRETO .....</b>	<b>21</b>
2.1 HISTÓRICO .....	21
2.2 CONCEITO .....	22
<b>2.2.1 Fatores que influenciam na qualidade do concreto.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2 Definições e propriedades do concreto no estado fresco.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Definições e propriedades do concreto no estado endurecido.....</b>	<b>25</b>
2.3 COMPONENTES DO CONCRETO CONVENCIONAL .....	27
<b>2.3.1 Aglomerante.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2 Água.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3 Agregados graúdo e miúdo.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.4 Aditivos químicos e adições .....</b>	<b>31</b>
2.4 TIPOS DE CONCRETO.....	33
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO.....	39
<b>3 EXTRAÇÃO DA AREIA E SEUS PROCESSOS .....</b>	<b>40</b>
3.1 MEIO AMBIENTE.....	40
3.2 EXTRAÇÃO DA AREIA NATURAL.....	41
<b>3.2.1 Escassez da areia natural.....</b>	<b>48</b>
3.3 EXTRAÇÃO DA AREIA DE BRITAGEM.....	49
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>54</b>
4.1 MÉTODO DE DOSAGEM .....	54
4.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS .....	54
<b>4.2.1 Cimento Portland .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.2 Água.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.3 Agregado miúdo .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.4 Agregado graúdo .....</b>	<b>57</b>

4.3	CÁLCULO PARA DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS.....	58
4.3.1	<b>Traço referência para concreto com a utilização de areia natural.....</b>	<b>58</b>
4.3.1.1	Fixação da relação água/cimento (a/c).....	58
4.3.1.2	Determinação do consumo de materiais .....	60
4.3.1.2.1	<i>Consumo de água</i> .....	60
4.3.1.2.2	<i>Consumo de cimento</i> .....	60
4.3.1.2.3	<i>Consumo de agregado graúdo</i> .....	61
4.3.1.2.4	<i>Consumo do agregado miúdo</i> .....	62
4.3.1.3	Apresentação do traço.....	62
4.3.2	<b>Traço referência para concreto com a utilização de areias de britagem .....</b>	<b>63</b>
4.3.3	<b>Determinação dos traços unitários utilizando areias de britagem em substituição a areia natural e moldagem dos corpos de prova .....</b>	<b>64</b>
5	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
5.1	TRABALHABILIDADE DO CONCRETO.....	67
5.2	ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS .....	69
5.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL .....	72
5.4	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	77
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
6.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	80
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXO A – FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS (FISPQ).....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO B – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA NATURAL (AN) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO C - LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA NATURAL (AN) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO D – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO E – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO F – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO G – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS.....</b>	<b>92</b>

<b>ANEXO H – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO I – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO J – LAUDO DE ROMPIMENTOS PARA OS TRAÇOS DE REFERÊNCIA E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 28 DIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO K –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO L –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO M –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO N – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO O – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO P – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO Q – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO R – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS .....</b>	<b>103</b>



**ANEXO S – LAUDO DE ROMPIMENTOS PARA O TRAÇOS 20% DE AREIA DE  
BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO  
(ABQ); 40% ABG E 60% ABQ; 60% ABG E 40% ABQ E 80% ABG E 20% ABQ AOS  
28 DIAS..... 104**

## 1 INTRODUÇÃO

Na área de Engenharia Civil, especificamente no período acadêmico, é muito comum que o estudante de engenharia tende a se descuidar sobre a importância da disciplina “Ciências dos Materiais de Construção” a fim de se dedicar a disciplinas possivelmente mais difíceis ou que exijam maior raciocínio. Nesta disciplina em específico, estudam-se sobre os diferentes materiais utilizados pelo engenheiro, como suas obtenções, propriedades, comportamentos e técnicas de emprego como elementos constituintes das edificações. Quando se procede ao cálculo de uma viga, por exemplo, a Resistência dos Materiais, a Mecânica, a Estática e disciplinas correlatas fornecem as fórmulas que permitem conhecer as tensões internas e as forças externas que ela irá suportar. Mas é o conhecimento dos Materiais de Construção que possibilitará ao projetista escolher aquele que poderá resistir a essas tensões (BAUER, 2012).

Para construir é preciso conhecer a origem, as qualidades, os defeitos e as possibilidades de cada material a fim de alcançar o objetivo desejado, e para Agopyan e Jhon (2012), a cadeia produtiva da Construção Civil é responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído, o qual precisa ser permanentemente atualizado e ao mesmo tempo mantido. Todas as atividades humanas dependem de um ambiente construído, e o tamanho desse ambiente implica grandes impactos ambientais que depende de uma enorme cadeia produtiva: extração de matérias-primas, grande produção e transporte de materiais e componentes, concepção e projetos, execução, práticas de uso e manutenção e ao final da vida útil, a demolição, além da produção e destinação de resíduos ao longo da vida útil.

A Construção Civil produz e utiliza um dos mais conhecidos elementos, o concreto. É importante destacar o grande volume utilizado desse material (composto por uma mistura de água, aglomerante e agregados) que além de ser o material mais utilizado na Construção Civil, também é conhecido por sua resistência, propriedades térmicas e acústicas. Alguns componentes do concreto são de origem industrial como os aglomerantes e aditivos, outros, em sua grande maioria são de origem natural como os agregados e água. A Construção Civil é a indústria que consome a maior quantidade de recursos naturais como forma de agregados, e de acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2011), esses agregados utilizados no traço do concreto podem ser obtidos por meio de processos artificiais originados a partir da britagem e trituração da rocha ou ainda através da extração diretamente da natureza em leitos de rios, como: areias e pedregulhos. Essa última etapa (extração mineral) que envolve recursos ambientais, econômicos e tem impactos que atingem a todos os cidadãos, empresas e órgãos

governamentais e não apenas aos seus usuários diretos, atualmente tem forçado mudanças culturais, tecnológicas e de comportamento para atender às demandas de uma sociedade cada vez mais bem esclarecida e exigente em relação à preservação do meio ambiente (AGOPYAN; JHON, 2012).

Lelles *et al.* (2005), considera que as atividades de extração mineral são de grande importância para o desenvolvimento social, mas também podem ser responsáveis por impactos ambientais negativos que podem se tornar irreversíveis. Estes impactos podem ser agravados a partir dos processos de industrialização e crescimento das cidades, aumentando a necessidade de grande busca de matéria prima de origem natural.

Apesar de uma conscientização tardia, a Construção Civil vem tomando ações decisivas para se tornar menos agressiva à natureza, por meio de posturas cada vez mais proativas (AGOPYAN; JHON, 2012). Por exemplo, a areia natural (AN), um dos componentes utilizados no traço do concreto conhecida por aumentar a resistência do material cimentício e colaborar na redução dos custos (INO *et al.*, 2010), hoje, por se tratar de um material escasso no mercado da construção civil, o seu custo que antigamente era reduzido, vem aumentando nos últimos anos em função de pelo menos dois motivos: o primeiro, maior controle dos órgãos fiscalizadores na extração da areia natural afim de diminuir a extração irregular e minimizar o impactos causados pela mesma, fazendo com que este processo aumente o seu valor final. E o segundo fator que está relacionado ao transporte, isto ocorre quando o centro de extração tem ficado cada vez mais distante dos centros de consumo.

Este assunto tem sido fonte de pesquisa há algum tempo para que a AN possa ser substituída por outros tipos de areias, sem que haja o comprometimento da resistência do traço do concreto na condição de otimização da construção. Caso este, da areia de britagem (AB), resultado do processo de britagem e trituração de minerais disponíveis em grande quantidade na natureza.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Boa parte das edificações, ainda são executadas de forma convencional, consumindo uma quantidade muito grande de recursos naturais, desta forma, é totalmente relevante que se dê atenção e importância à racionalização para o melhor aproveitamento destes recursos, que em boa parte deles, estão se esgotando na natureza. Para este caso, torna-se imprescindível a necessidade de entendimento e compreensão do profissional ao lidar com o manuseio dos agregados naturais escassos ou não, pois requer extrema responsabilidade, de modo que, todo

e qualquer recurso seja devidamente aplicado no máximo de seu potencial, permitindo paralelamente a busca contínua por processos inovadores na área de sustentabilidade (INO *et al.*, 2010).

Este trabalho propõe a utilização de recursos naturais disponíveis na cidade de Anápolis/GO e região, que dispõe em sua geologia, de uma abundante formação rochosa metamórfica, tornando viável a extração desses minerais, que após o processo cominuição, formarão um resíduo de areia o qual poderá ser utilizado no traço de concreto, evitando o seu descarte desnecessário. O intuito da atividade é diminuir, os impactos gerados pelo processo de extração de areia natural concentrados nos leitos de rios e cavas submersas redirecionando esse tipo de lavra para pedreiras regionais, comprovando que é possível a substituição total da areia natural, sendo a opção mais viável técnica e economicamente, devido à sua escassez e elevado custo. Foi levado em consideração também que o traço composto por areias de britagem possa ser divulgado e aplicado futuramente.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral o redirecionamento das extrações de areia natural para lavras que utilizem o processo de cava seca em pedreiras, e por consequência, o desenvolvimento de um processo economicamente viável para obtenção de um traço com característica adequada as outras dosagens convencionais para a construção civil, contribuindo na redução ou substituição completa do consumo de areia natural por areia de britagem.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Fazer o ensaio de granulometria dos agregados gráudo e miúdo (areia natural e areia de britagem dos minerais gnaisse e quartzo) para análise do seu desempenho e posterior elaboração do traço;
- b) Realizar os ensaios de caracterização dos agregados selecionados para o estudo (areia natural e areia de britagem dos minerais gnaisse e quartzo e brita 1);

- c) Comparar o resultado final (*slump test*, absorção de água, índice de vazios e resistência à compressão axial) dos traços obtidos através dos ensaios experimentais do concreto com a substituição da areia natural por adições de areia de britagem;
- d) Apresentar as vantagens da substituição da areia natural por areia de britagem;
- e) Promover a utilização do melhor traço obtido através dos ensaios realizados.

### 1.3 METODOLOGIA

Para a fundamentação teórica deste trabalho, foram utilizados referenciais como: livros, bibliotecas digitais, revistas, publicações de artigos de mestrado e doutorado que viabilizem direcionar a pesquisa a todos os interessados nas vantagens técnicas, econômicas e ambientais envolvendo a utilização das adições e substituições de minerais. Também foram utilizadas normas técnicas para melhor definição e compreensão do assunto.

Quanto à parte experimental, os ensaios foram realizados no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis-UniEVANGÉLICA e foi constituído em:

- Aquisição dos agregados miúdos em uma concreteira da região de Anápolis-Goiás;
- Realização dos ensaios para determinação da composição granulométrica dos agregados gráudo e miúdo segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa específica e unitária dos agregados miúdo e gráudo conforme prescrevem as normas NBR NM 52 (ABNT, 2009), NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Desenvolvimento dos traços para concreto seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (PORTLAND, 2016);
- Elaboração do ensaio *Slump Test* em todos os traços executados de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998);
- Elaboração e moldagem dos corpos de prova de acordo os padrões determinados pela NBR 5738 (ABNT, 2016);
- Elaboração de ensaio para determinação da absorção de água e índice de vazios para concreto no estado endurecido de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009);
- Realização do ensaio de compressão axial conforme o método estabelecido pela NBR 5739 (ABNT, 2018);
- Análise dos resultados obtidos.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi concluído em 104 páginas, sendo o primeiro capítulo introdutório dividido em: objetivos (geral e específicos), justificativa e metodologia. Os tópicos abordam o processo de substituição da areia natural (AN) por areia de britagem a fim de redirecionarmos as extrações da AN para pedreiras cujos minerais estudados (gnaisse e quartzo) existam em grande quantidade.

O segundo capítulo traz o conceito sobre o concreto, seus componentes e propriedades, exemplificando os mais variados tipos desse excelente material amplamente empregado na área da construção civil.

Para o terceiro capítulo, são descritos os mais conhecidos tipos existentes de extração mineral para obtenção da AN, assim, bem como o descritivo do processo de cominuição dos minerais gnaisse e quartzo, selecionados para serem os agregados miúdos substitutos da AN do traço de concreto calculado.

O quarto capítulo relata o programa experimental com todos os ensaios realizados para os agregados graúdo e miúdo, sendo eles: composição granulométrica, especificação de massa específica e unitária, elaboração do traço experimental de concreto seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), posteriormente, moldagem dos corpos de prova, ensaios do concreto no seu estado fresco, disposição das amostras em câmara úmida e ensaios do concreto no seu estado endurecido.

O quinto capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a cerca da trabalhabilidade, absorção de água por imersão e índice de vazios, resistência dos rompimentos à compressão axial e composição de custos dos traços por m<sup>3</sup>.

O sexto capítulo trata das considerações finais a respeito da substituição total da AN por areias de britagem e sugestões para futuros trabalhos objetivando um melhor uso de minerais transformados em agregados miúdos com capacidade total de utilização nos traços de concreto.

## 2 CONCRETO

### 2.1 HISTÓRICO

O concreto tem sua aplicação nos mais variados tipos de estruturas, desde pequenas construções a grandiosas como: pontes com grandes vãos, barragens e sofisticadas edificações com estruturas protendidas. Quando comparado a outros materiais como metais e cerâmicas, o concreto é sempre o menos oneroso, normalmente por não haver necessidade de mão de obra especializada por ser considerada operação padrão na construção requisitando menor energia para ser produzido, assim bem como por apresentar resistência e durabilidade adequadas (COUTINHO, 2006).

Desde que o homem habita na Terra, ele tem a necessidade básica de moradia a fim de abrigar-se das intempéries em que conviviam. Com o passar dos anos, a busca por melhoria permitiu que grandes materiais encontrados na natureza pudessem ser aplicados na construção de maneira revolucionária no intuito de adaptá-los as suas necessidades, permitindo assim maior conforto e qualidade de vida.

Coutinho (2006) relata que há indícios de que o material cimentício mais antigo foi descoberto nas margens do rio Danúbio, em 5600 a.C. Julga-se também que a mistura de inertes com um ligante, provavelmente cal ou gesso, foi utilizada na construção das pirâmides do Egito. Nesse mesmo país, há uma descrição do emprego de argamassa e um material semelhante ao concreto num mural de Tebas, datado de 1950 a.C.

Na antiguidade foram os romanos em que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, os quais lhes possibilitaram criar amplos vãos principalmente em forma de arco, abóbadas e cúpulas com altíssimas dimensões. Bastos (2006) por sua vez, descreve que os romanos combinavam o concreto da época a outros materiais disponíveis como tijolo de argila, pedra e barro. Grandes obras projetadas e executadas como o Arco de Constantino (Roma), Catedral Santa Maria de Fiori (Florença), Coliseu (Roma), Panteão (Roma) e outras, são atrações conhecidas mundialmente que permanecem como destaques no meio arquitetônico.

Portanto, dentre tantas especulações, pode-se concluir que o concreto convencional nada mais é que um elemento aperfeiçoado, fruto do trabalho de homens por gerações que a partir do grande crescimento da civilização humana com necessidades de moradia desenvolveram técnicas e teorias permitindo que grandes projetos arquitetônicos fossem colocados em prática.

Vasconcelos e Isaia (2005) destacam que desde as primícias do uso contínuo do concreto no século XX, o Brasil se sobressaiu nesse âmbito em razão de projetistas e executores destacáveis que dentre várias obras brasileiras em concreto elevaram o país ao conhecimento mundial das construções de concreto. Estão incluídos na listagem a Marquise da Tribuna dos Sócios do Jockey Clube do Rio de Janeiro (1926), com 22,4 m em balanço; estátua do Cristo Redentor (1930), Ponte da Amizade (1962), Museu de Arte de São Paulo (1968), Ponte Presidente Costa e Silva, comumente conhecida como Rio-Nitéroi (1974), Barragem de gravidade de Itaipu (1982), entre outras. É evidente o aproveitamento das potencialidades do concreto no Brasil. A engenharia brasileira realizou diversos tipos de obras admiráveis graças à qualificação dos engenheiros, arquitetos e demais profissionais envolvidos.

## 2.2 CONCEITO

Conforme prescrito na NBR 12655 (ABNT, 2015), concreto convencional de Cimento Portland (CP), é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacálcio, sílica ativa e outros materiais pozzolânicos), os quais desenvolvem propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

Para Coutinho (2006), a definição de concreto de maneira simplificada, nada mais é que um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areia, com um ligante hidráulico (CP), água e, eventualmente, aditivos e adições. E em função do poder de endurecimento originados da reação do aglomerante com água permitindo também a união entre os agregados, a mistura adquire resistência podendo ser utilizada como material de construção.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o índice de concreto hoje é muito maior do que há 40 anos. Estima-se que o consumo de concreto no mundo seja de aproximadamente 11 bilhões de toneladas métricas ao ano, fazendo do concreto o segundo material mais consumido pelo homem no planeta, depois da água, com isso, o concreto é o material mais importante da Engenharia Civil o qual, claro, tem várias aplicabilidades, tais como: estruturas, revestimentos, pavimentos, paredes, lajes, fundações, canalizações, taludes entre outros.

Ambrozewicz (2012), diz que para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar:

- As propriedades de cada um dos materiais componentes deste material;



- As propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las;
- O proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura;
- O modo de executar o controle durante a fabricação e após o endurecimento.

### **2.2.1 Fatores que influenciam na qualidade do concreto**

Ambrozewicz (2012) especifica que para serem obtidas as características essenciais do concreto, como a facilidade de manuseio quando fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade quando endurecido, é preciso conhecer os fatores que influenciem na sua qualidade, evitando vários problemas decorrentes da baixa de resistência do material:

- Qualidade dos materiais: materiais de boa qualidade produzem concreto de boa qualidade;
- Proporção adequada: deve-se considerar a relação entre as quantidades de cimento e de agregados, de agregados miúdo e graúdo, água e cimento;
- Manipulação adequada: após a mistura, o concreto deve ser transportado imediatamente, lançado nas fôrmas e adensado corretamente;
- Cálculo estrutural: o traço de concreto dependerá do tipo de estrutura dimensionada, em função disso, um bom projeto deve especificar a resistência mínima a ser considerada;
- Execução das fôrmas: mantém a geometria, posicionamento e alinhamento das peças estruturais, protege o concreto contra grandes variações de temperatura evitando retrações, além de garantir estanqueidade para evitar a perda de água e finos, garantindo boa qualidade do produto final;
- Cura cuidadosa: a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientais favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura de água necessária à hidratação do cimento.

Ou seja, a proporção de cada material aplicado na fabricação do concreto se torna demasiadamente essencial para a obtenção de um traço adequado seguindo exatamente as especificações e particularidades de cada projeto.

O concreto deverá apresentar, quando recém-misturado, ainda em seu estado fresco, propriedades de plasticidade que facilitem o seu transporte e adensamento. Essa fase

apresenta um intervalo de tempo efêmero, habitualmente de 1 a 5 horas. E, quando endurecido, propriedades que atendam ao especificado em projeto quanto às resistências à compressão, à tração e outras (YAZIGI, 2011).

### 2.2.2 Definições e propriedades do concreto no estado fresco

A NBR 12655 (ABNT, 2015) descreve os termos e definições para concreto no seu estado fresco como o concreto totalmente misturado e que ainda encontra-se no seu estado plástico, capaz de ser adensado através de um método escolhido. Sua trabalhabilidade é a propriedade que identifica a sua maior ou menor propensão para ser empregado com determinada facilidade sem a perda de sua uniformidade sendo caracterizado por sua consistência.

Durante o processo de execução do traço de concreto, além dos fatores que influenciam diretamente na sua qualidade, existem ensaios que contribuem para a verificação da qualidade e boa trabalhabilidade do material no seu estado fresco que será empregado nos mais variados tipos de construção, como é o caso do *Slump Test* (também conhecido como ensaio do tronco de cone) que permite através da visualização e resultado do abatimento, a possibilidade imediata de utilização do concreto ou a confirmação de um lote que não teve uma boa mistura dos agregados. As Tabelas 1 e 2 especificam detalhadamente a classificação das consistências e recomendações para aplicabilidade segundo o resultado do abatimento.

**Tabela 1 - Classificação da consistência do concreto em função do resultado do *slump test***

<b>Consistência</b>	<b>Abatimento (cm)</b>	<b>Aplicabilidade</b>
Seca	0 a 2	Pré-fabricados, concreto
Firme	2 a 5	massa, concreto protendido,
Média	5 a 12	vibração normal, adensamento
Mole	12 a 18	manual, concreto
Fluída	18 a 25	autoadensável.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Tabela 2 - Indicação para o tipo de construção em função do resultado do *slump test***

<b>Abatimento (cm)</b>	<b>Tipos de Construção</b>
3 a 10	Fundações, tubulões, paredes grossas
5 a 10	Vigas, lajes, paredes finas
3 a 5	Pavimentos
2 a 5	Obras maciças

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Enfim, a trabalhabilidade do concreto fresco tem efeito direto na capacidade de bombeamento e construtibilidade, porque determina a facilidade com que a mistura do concreto poderá ser manipulada sem que haja segregação prejudicial. Na maioria das vezes, uma mistura de concreto de difícil lançamento e adensamento não somente aumenta o custo de manipulação, como também reduz a resistência, durabilidade expondo uma aparência deficiente (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A consistência do concreto fresco não deve ir além da necessária para a facilidade de aplicação, compactação e acabamento. Ou seja, a trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto à qualidade do concreto.

### **2.2.3 Definições e propriedades do concreto no estado endurecido**

Para o concreto no seu estado endurecido a NBR 12655 (ABNT, 2015) o define como estado sólido em que já desenvolveu propriedades mecânicas. E para essa condição, existem diversos ensaios conhecidos que são capazes de promover resultados bem satisfatórios que orientam e confirmam que o traço elaborado terá bom desempenho, são exemplos: ensaios de absorção de água e índice de vazios, resistência à compressão e tração, entre outros.

A NBR 9778 (ABNT, 2009) descreve que absorção de água é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. A taxa de absorção de água, por exemplo, é uma boa medida da qualidade de um concreto e de sua durabilidade potencial, principalmente quando exposto a meios agressivos. Mehta e Monteiro (2008) especificam que os baixos valores de absorção indicam que íons agressivos terão dificuldade de penetrar no concreto. Pesquisas experimentais apontam que os valores de absorção da água são reduzidos com a diminuição na relação água/cimento, aumento no tempo de cura e aumento no grau de consolidação. Para Neville (2016), a absorção de água por imersão permite constatar se houve boa distribuição granulométrica dos agregados a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade tem influência direta na permeabilidade devido à permissão de penetração de substâncias presentes no ambiente, tornando-se agentes agressivos na resistência da estrutura. Neville (2016) descreve ainda que a maioria dos bons concretos tem absorção bem menor do que 10% em massa.

O concreto é um material que por suas características de constituição apresenta índice de vazios em seu interior (MAGALHÃES, s/d). A NBR 9778 (ABNT, 2009) descreve o ensaio como a relação de volumes de poros permeáveis e o volume total da amostra. Dois fatores podem contribuir diretamente com o aumento de porosidade, sendo:

- Adição de água além do necessário para a hidratação do cimento para o fornecimento de melhor trabalhabilidade ao concreto. O excesso de água evapora, deixando vazios no concreto;
- Considerável quantidade de ar incorporada ao concreto durante a mistura e adensamento, dando abertura para o aumento do índice de vazios.

Para o ensaio de resistência à compressão axial, o corpo de prova é submetido a diferentes níveis de carga até o seu rompimento, garantindo a resistência do concreto na estrutura conforme as especificações do projetista. Essa característica é a mais importante do concreto, pois está relacionada diretamente com a estrutura da pasta de cimento hidratada. O concreto é disposto em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes amostras possam ser comparadas (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Como em termos de resistência, o concreto responde de forma variável com o tempo, adota-se como resistências padrão para concreto aquela obtida em ensaio padronizado de resistência à compressão do concreto, que deve ser realizado aos 28 dias (GRAZIANO, 2005).

Em relação ao ensaio de resistência à tração, trata-se do oposto do ensaio de resistência à compressão, cujos valores podem ser bastante diferentes. Neste ensaio é possível submeter o material a uma carga axial que tende a alongá-lo até sua ruptura, ou seja, o corpo é deformado por alongamento, até o momento em que se rompe. A resistência à tração permite maior conhecimento sobre como os materiais reagem a esses esforços, quais os limites de tração que suportam e a carga aplicada (ARAÚJO, 2014).

E ainda no estado endurecido, a NBR 12655 (ABNT, 2015) menciona que o concreto pode ser classificado mediante a sua massa específica sendo:

Concreto Convencional (CV): concreto com massa específica seca, compreendida entre  $2.000\text{kg/m}^3$  e  $2.800\text{kg/m}^3$  sendo comumente utilizado para fins estruturais;

Concreto Leve (CL): concreto com massa específica seca, inferior a  $2.000\text{kg/m}^3$ . Essa leveza é possível devido à substituição dos agregados convencionais mais pesados, por agregados mais leves, como argila expandida, vermiculita, isopor ou EVA (Acetato-vinilo de etileno) ou ainda pela incorporação de bolhas de ar no material. Ele pode ser utilizado para preencher espaços vazios no preenchimento de lajes para que não cause problemas aos cálculos estruturais;

Concreto pesado ou denso (CD): concreto com massa específica seca, superior a  $2.800\text{kg/m}^3$ , muito utilizado para blindagem contra radiação (clínicas, hospitais, salas de exames), usinas nucleares e como contrapeso em gasodutos, é um concreto elaborado com a utilização de agregados de alta densidade.

## 2.3 COMPONENTES DO CONCRETO CONVENCIONAL

### 2.3.1 Aglomerante

Por si só, o cimento não é um aglomerante, mas desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação (ou seja, a partir da reação química dos componentes do cimento com a água). Segundo estudiosos, o cimento hidráulico mais comumente utilizado para fazer o traço do concreto convencional é o Cimento Portland (CP) que consiste essencialmente de silicatos reativos de cálcio. Silicatos de cálcio hidratados formados durante a hidratação do CP são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis no ambiente aquoso (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Neville (2016) descreve que o Cimento Portland (CP), no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas coesivas que o faz capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta. Os componentes principais do CP determinados por análise química são: cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de magnésio (MgO), álcalis (Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e sulfatos (SO<sub>3</sub>). Posterior à extração e britagem do calcário, o agregado é misturado a outros componentes que passarão por uma espécie de analisador, responsável por garantir a qualidade dos componentes, posteriormente, via esteira, todos os materiais em forma de mistura e com grãos ainda em diversos tamanhos, passam por moagem tomando forma de farinha. Esse material homogeneizado é estocado em silos de armazenagem passando por torres de ciclone, forno (essas substâncias reagem entre si no forno em altíssima temperatura, aproximadamente a 1.450°C), resfriador (neste ponto, a farinha torna-se grãos maiores – clínquer) e novamente estocagem para posterior moagem do clínquer. Esse material fino e moído recebe a adição de um pequeno teor de sulfato de cálcio acrescido de aditivos (filler, pozolana e escória). O material resultante é o Cimento Portland (CP), tão utilizado em todo o mundo.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), o tipo de cimento deve ser especificado no projeto levando em consideração os tipos de detalhes arquitetônicos e executivos, a aplicação do concreto, o calor de hidratação do cimento, as condições de cura, as dimensões da estrutura e as condições de exposições naturais ou peculiares de trabalho da estrutura. Todos os agregados utilizados em concreto de Cimento Portland devem cumprir os requisitos prescritos na NBR 7211 (ABNT, 2009) que especifica e classifica os agregados miúdos e graúdos segundo as peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2011).

O Cimento Portland (CP), por se tratar de um material perecível, é preciso estar atento com os cuidados necessários durante seu transporte e armazenamento, para conservação de suas propriedades, pelo maior tempo possível, seja ele disposto em sacos ou granel, tanto no canteiro de obras como no depósito. Para material disposto em sacos, a NBR 7211 (ABNT, 2009) recomenda que o produto seja guardado em pilhas, em local fechado e protegido de ações da chuva, névoa ou condensação. As pilhas de sacos de CP devem estar apoiadas em paletes ou estrados não podendo em momento algum ter contato direto com o chão. Armazenar em pilhas de no máximo 15 unidades se for utilizado dentro do período de 15 dias no canteiro de obras e 10 unidades no máximo quando permanecerem por um período mais longo. Já para o CP fornecido a granel, este deve ser estocado em silo estanque, provido de um respiradouro com filtro para reter impurezas, tubulação de carga e descarga e janela para inspeção constante do material.

### 2.3.2 Água

Os compostos presentes no Cimento Portland (CP) são anidros, mas, quando postos em contato com a água, reagem com ela formando produtos hidratados. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis (PETRUCCI, 1998).

De acordo com Kihara e Centurione (2005) a hidratação do cimento Portland não depende exclusivamente dos componentes mineralógicos do clínquer e das adições ativas do cimento, mas também da relação água-cimento, finura, temperatura, procedimentos de cura e outros fatores físicos. A necessidade dos componentes do clínquer em atingirem seu campo de estabilidade sob as condições ambientais está relacionada com a avidez do cimento por água. Dessa forma, os elementos químicos, juntamente com a água, rearranjam-se em novos sistemas cristalinos, conferindo rigidez à mistura, que é a principal propriedade reológica que se espera do produto.

Para Neville (2016), reconhecidamente, a água é necessária para produzir uma mistura de trabalhabilidade adequada e, é claro para hidratar o cimento, e ela está envolvida em toda a vida útil do concreto (para o bem e para o mal). Além de atuar significativamente na trabalhabilidade e na resistência, exerce importante influência nos seguintes aspectos: pega, hidratação, retração por secagem, fluência, ingresso de sais, ruptura brusca do concreto de relação água/cimento muito baixa, manchamento superficial, ataque químico ao concreto, corrosão de armaduras, carbonatação, propriedades térmicas, cavitação e etc., por essas

razões, a adequabilidade da água de amassamento e para cura devem ser estudadas. Deve ser feita a distinção entre a qualidade da água de amassamento e o ataque ao concreto por águas agressivas.

No preparo do concreto, é de grande relevância o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é o principal elemento responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar (BERTINI *et al.*, 2012).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) recomenda cuidado no armazenamento da água utilizada no processo de amassamento do concreto, sendo necessário que o líquido seja guardado em estanques com tampas, evitando posterior contaminação por substâncias estranhas como galhos, óleos, folhas, raízes e outros. Caso haja contaminação, a água deve ser descartada e em caso de dúvidas devem-se coletar amostras para ensaios de qualidade. Ou seja, água boa para concreto é água boa para beber.

### **2.3.3 Agregados graúdo e miúdo**

Mehta e Monteiro (2008) especificam como agregado, um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada escória de alto-forno ou resíduos de construção e demolição, que é usado como um meio cimentício para produzir o concreto.

Para Neville (2016), a princípio, os agregados eram tidos como materiais inertes, dispersos na parte de cimento, e eram utilizados principalmente por razões econômicas. Hoje, os agregados já não podem ser considerados verdadeiramente como inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e algumas vezes químicas, influenciam diretamente o desempenho do concreto. Os agregados são consideravelmente mais baratos que o cimento, então é mais econômico utilizá-los na maior quantidade possível, diminuindo assim, a quantidade de cimento. Entretanto, é válido ressaltar que a economia, não chega a ser a única razão para o uso de agregados: eles proveem vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que tem maior estabilidade de volume e maior durabilidade do que a pasta de cimento hidratada.

É de grande relevância ressaltar que a influência que o agregado miúdo exerce sobre o concreto é praticamente a mesma influência exercida pelo agregado graúdo: quanto mais fino, maior o consumo de pasta de cimento, quanto mais grosso, maior a quantidade de vazios

no concreto. O agregado miúdo tem função de preencher os vazios deixados pelo agregado graúdo, ou seja, um não substitui o outro.

Passuelo (2005) complementa que um dos conceitos básicos da ciência dos materiais é: a microestrutura de qualquer material estará diretamente relacionada com as suas propriedades. Assim, além da constituição mineralógica e da composição química de um agregado, a sua microestrutura deverá ser levada em conta. Um exemplo facilmente aplicável para o caso de agregados é a porcentagem de absorção d'água, que espelha o volume de vazios de grãos e que acaba se constituindo num bom índice de avaliação preliminar para qualificação dos agregados visto que, quanto maior for a água absorvida, em geral, menor será a compacidade (propriedade fundamental na qualificação de agregados para concreto).

Segundo as especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados utilizados no traço do concreto podem ser classificados em:

- Agregado graúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010);
- Agregado miúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010);

Para fácil entendimento, Bauer (2012) determina que os agregados podem ser classificados também segundo as dimensões de suas partículas:

- Miúdo: as areias;
- Graúdo: os cascalhos e as britas.

Os agregados descritos na NBR 9935 (ABNT, 2011), ainda podem ser classificados como de origem natural, artificial, reciclado, reciclado de resíduo da construção civil, reciclado de concreto, reciclado misto e especial. Nesta mesma norma, é descrito a definição de areia e pedra britada (ou brita):

- Agregado natural: material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem;
- Agregado artificial: material granular resultante do processo industrial envolvendo alteração mineralógica, química ou físico-química da matéria-prima original, para



uso como agregado em concreto ou argamassa;

- Agregado reciclado: material granular obtido de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, para uso como agregado;
- Agregado reciclado de resíduo da construção civil: material granular obtido do processo de beneficiamento de resíduos de construção ou demolição da construção civil;
- Agregado reciclado de concreto: material granular obtido por reciclagem de resíduos de concreto fresco ou endurecido, constituído na sua fração graúda (> 4,75mm) de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de Cimento Portland ou de material pétreo e com propriedades que atendam a NBR 15116 (ABNT, 2004);
- Agregado especial: material granular cujas propriedades podem conferir ao concreto ou argamassa um desempenho que permita ou auxilie no atendimento de solicitações específicas em aplicações não usuais;
- Areia: agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificial de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais. É chamada areia natural se resultante de ações de agentes da natureza; de areia artificial quando proveniente de processos industriais; de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem; e de areia de britagem, quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas;
- Pedra britada ou brita: agregado graúdo originado da cominuição mecânica da rocha.

#### **2.3.4 Aditivos químicos e adições**

Aditivos químicos são as substâncias que são adicionadas intencionalmente ao concreto imediatamente antes ou durante a mistura, com o fim de reforçar ou potencializar certas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização (PETRUCCI, 1998).

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), aditivos químicos são materiais massa do cimento contido no concreto, para modificar ou potencializar as propriedades da mistura no estado fresco ou no estado endurecido.

Devido a sua grande popularidade, os aditivos químicos são comumente incluídos no concreto. Os aditivos variam muito na sua composição química, muitos desempenham até mais de uma função. Hoje, em todo o mundo, a maior parte do concreto produzido contém um

ou mais aditivos/adições. Estima-se que de 80 a 90% do concreto produzido nos países desenvolvidos contenham aditivos químicos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os aditivos químicos mais usuais segundo Mehta e Monteiro (2008) são:

- Tenso-ativos (plastificantes, superplastificantes, redutores de água): melhoram a fluidez e plasticidade dos concretos (aumentam o índice de consistência), permitindo melhor compactação com menor dispêndio de energia; reduzem a quantidade de água, diminuindo a retração, aumentando a resistência ou economizando aglomerante;
- Incorporadores de ar: aumentam a durabilidade dos concretos (maior resistência à ação deletéria de líquidos agressivos), melhoram a plasticidade, melhoram o comportamento do material durante o transporte (menor possibilidade de segregação), contribuem para a redução da exsudação e aumentam a resistência do concreto aos ciclos de congelamento e descongelamento. São utilizados em concretos submetidos a grandes variações de temperatura (gelo e degelo, câmaras frigoríficas, etc.) e também em concreto-massa, pois diminuem o atrito entre os agregados;
- Aceleradores de pega: aumenta a velocidade de crescimento da resistência, permitindo a desforma mais rápida, liberando rapidamente o ambiente para continuidade da construção. São usados quando o concreto deve ser lançado em temperaturas baixas ou em casos de serviços urgentes de reparos. Também são utilizados na execução de pré-moldados e de concreto projetado.
- Retardadores de pega: são úteis para evitar as juntas frias (mantêm o concreto plástico por um período maior, evitando-se que as sucessivas camadas lançadas criem juntas frias com descontinuidade estrutural); ajudam na concretagem em tempo quente, quando a pega normal é acelerada pela temperatura mais alta (melhoram o balanço térmico pela maior facilidade de dissipação do calor gerado e evitam grande aumento de temperatura); são utilizados no retardamento do endurecimento do concreto quando se deseja obter um acabamento arquitetônico com agregado exposto; ajudam no controle de grandes unidades estruturais para manter o concreto trabalhável durante o lançamento;
- Impermeabilizantes: agem por ação repulsiva com relação à água ou por obturação dos poros; reduzem a penetração de umidade sob pressão e de elementos agressivos; são utilizados em argamassas de reparo, rejuntas e nos concretos de reservatórios;

- Produtores de gás ou espuma: são capazes de produzir, na massa do concreto, bolhas de gás ou de espuma, dando origem aos concretos porosos, celulares ou aerados, que possuem baixo peso específico e melhor desempenho no isolamento térmico e proteção contra o fogo. São utilizados em pisos, lajes e recuperação de estruturas;
- Fungicidas, germicidas e inseticidas: controlam o crescimento de algas ou líquens no concreto endurecido durante um determinado tempo;
- Inibidores de corrosão de armaduras: são efetivos no controle e redução das taxas de corrosão das armaduras; são utilizados nos materiais de reparo e em concretos submetidos à ação de cloretos.

Quanto às adições minerais, normalmente são adicionadas ao concreto em grandes quantidades. Além da redução de custos e do ganho na trabalhabilidade do concreto fresco, elas podem melhorar a resistência do concreto à fissuração térmica, à expansão causada pela reação álcali-agregado e ao ataque por sulfato. Os materiais pozolânicos naturais e subprodutos industriais como cinzas volantes e escória, são as adições normalmente usadas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Mas como todo material, as adições também exigem cuidado e atenção, pois tendem a aumentar a coesão e a diminuir a trabalhabilidade, como é o caso de cinza volante quando utilizada para substituir parte do agregado miúdo. Por exemplo, a adição de material inerte com diâmetro inferior a 125µm, como o filer (que tem a função de um agregado ultrafino) é importante para se obter boa trabalhabilidade para a execução de concreto bombeado, mas essa adição em excesso pode provocar fissuras devido à alta retração durante a fase de cura do concreto (PASSUELO, 2005).

## 2.4 TIPOS DE CONCRETO

Além do concreto convencional (a base de Cimento Portland, água e agregados graúdo e miúdo), ao acrescentar adições e aço, surgem outros tipos de concretos resistentes como o concreto armado (devido à presença do aço acrescido no material, esse concreto tem como função básica, resistir aos esforços por tração) e concretos especiais executados para atender a necessidade do projeto, local e tempo para conclusão da obra.

Para Salgado (2009), a tecnologia do concreto pode conferir ao projetista e ao construtor para as mais diversas aplicações e finalidades. Destacam-se neste meio:

- Concreto bombeável: sua utilização se tornou usual na construção civil, atendendo desde residências a edifícios de grandes alturas. A sua dosagem é apropriada para utilização em bombas de concreto, evitando segregação e perdas de material. Sua resistência pode ser de 10,0 a 40,0MPa. É aplicado em obras civis em geral, obras industriais e peças pré-moldadas. O serviço de bombeamento se caracteriza por dar uma maior rapidez a concretagem, diminuir a mão de obra para o transporte e aplicação do concreto. Por eliminar o uso de carrinhos de mão ou similares e utilizar um concreto que permite uma melhor trabalhabilidade, esse concreto necessita de menor vibração resultando em um melhor acabamento;
- Concreto rolado: é utilizado em pavimentações urbanas, como sub-base de pavimentos e barragens de grande porte devido o seu acabamento não ser tão bom quanto aos concretos utilizados em pisos industriais ou na pavimentação de pistas de aeroportos e rodovias;
- Concreto de alta resistência inicial: tem a característica de atingir grande resistência, com pouca idade, podendo dar mais velocidade à obra ou ser utilizado para atender situações emergenciais. Sua aplicação pode ser necessária em indústrias de pré-moldados, em estruturas convencionais ou protendidas, na fabricação de tubos e artefatos de concreto, entre outras. O aumento na velocidade das obras que este concreto pode gerar, traz consigo a redução dos custos com funcionários, com aluguéis de fôrmas, equipamentos e diversos outros ganhos de produtividade. A alta resistência inicial é fruto de uma dosagem racional do concreto, feita com base nas características específicas de cada obra. Portanto, a obra deve fornecer o maior número de informações possíveis para a elaboração do traço, que pode exigir aditivos especiais, tipos específicos de cimento e adições;
- Concreto de pavimento rígido: o principal requisito exigido para esse concreto é a resistência à tração na flexão e ao desgaste superficial. Trata-se de um concreto de fácil lançamento e execução. É aplicado em estradas e vias urbanas. As vantagens são: resistência, durabilidade, menor custo de manutenção, economia em iluminação pública, menor risco de acidentes, menor temperatura superficial, entre outras;
- Concreto resfriado com gelo: concreto gelado, ou melhor, resfriado, é aquele que tem a temperatura de lançamento reduzida, através da adição de gelo à mistura, em substituição total ou parcial da água da dosagem. Para se fazer este tipo de concreto, o gelo deve ser moído e ficar à disposição da central dosadora em caminhões

refrigeradores. Ele só deve ser colocado no caminhão betoneira, momentos antes da carga. Em obras de grande porte são necessárias logísticas especiais, que podem incluir até a montagem de uma estrutura para produzir seu próprio gelo. Sua adição tem como objetivo principal, a redução das tensões térmicas, através da diminuição do calor de hidratação nas primeiras horas. Este procedimento, além de evitar fissuras, mantém por mais tempo a trabalhabilidade e gera uma melhor evolução da resistência à compressão. É bastante utilizado em estruturas de grandes dimensões (barragens, alguns tipos de fundações, blocos com alto consumo de cimento e etc.);

- Concreto submerso: é a denominação dada ao concreto que é aplicado na presença de água, como alguns tubulões, barragens, estruturas submersas no mar ou em água doce, estruturas de contenção ou em meio à lama bentonítica, como é o caso das paredes diafragma. Suas características principais são de dar uma maior coesão aos grãos, não permitindo a dispersão do concreto ao entrar em contato com a água e oferecer uma maior resistência química ao concreto;
- Concreto pré-moldado: é aquele em que os elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes e outros, são moldados e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura. Este conjunto de peças é também conhecido pelo nome de estrutura pré-fabricada, e podem ser adquiridas junto a empresas especializadas, ou moldadas no próprio canteiro da obra;
- Concreto protendido: a resistência à tração do concreto está situada na ordem de 10% de sua resistência à compressão, sendo geralmente desprezada nos cálculos estruturais. A protensão pode ser definida como um artifício de introduzir na estrutura, um estado prévio de alongamento dos cabos e cordoalhas através de equipamentos especiais, como macaco hidráulico. Dentro das vantagens que esta técnica pode oferecer, tem-se a redução na incidência de fissuras, diminuição na dimensão das peças devido à maior resistência dos materiais empregados, possibilidade de vencer vãos maiores do que o concreto armado convencional, além de reduzir o peso próprio da estrutura;
- Concreto de alto desempenho: normalmente elaborado com adições minerais tipo sílica ativa e metacaulim e aditivos superplastificantes. Os concretos assim obtidos possuem excelentes propriedades. É aplicado em obras especiais, hidráulicas em geral e em recuperações onde há a necessidade de um período menor para desforma.

As vantagens são: aumento da durabilidade e vida útil das obras; redução dos custos da obra e melhor aproveitamento das áreas disponíveis para construção;

- Concreto aditivado: na sua composição recebe produtos químicos chamados de aditivos que possuem propriedades para potencializar algumas de suas características, tais como plasticidade, impermeabilidade, resistência, durabilidade e outras;
- Concreto colorido: é o concreto normal adicionado de pigmentos especiais, os quais conferem ao concreto várias cores com diferentes tonalidades (amarela, azul, vermelha, verde, marrom e preta). É aplicado em pisos, calçadas e fachadas. Sua utilização elimina o acabamento em pintura e pode ser usado como marcador de áreas específicas;
- Concreto projetado: é lançado por equipamentos especiais e em grande velocidade sobre uma determinada superfície, proporcionando a compactação e a aderência do mesmo. Geralmente são utilizados para revestimentos de túneis, paredes, pilares, contenção de encostas, entre outros;
- Concreto celular: faz parte de um grupo denominado de concretos leves e sem função estrutural, que consiste no uso de aditivos incorporadores de ar que criam minúsculas bolhas de ar na massa do concreto com a diferença de que ao invés de utilizar agregados de reduzida massa específica em sua composição, ele é obtido através da adição de um tipo especial de espuma ao concreto. Sua utilização é bastante difundida pelo mundo, sendo aplicado em paredes, divisórias, nivelamento de pisos, isolamento térmico em lajes de cobertura e terraços e painéis pré-fabricados;
- Concreto com adição de fibras: normalmente elaborado com fibras de nylon, polipropileno e aço, dependendo das condições de projeto. Os concretos assim obtidos inibem os efeitos da fissuração por retração. As vantagens são: aumento da durabilidade das obras quanto à abrasão e desgaste superficial, melhor resistência à tração do concreto e pode ser utilizado em pistas de aeroportos;
- Concreto autoadensável: trata-se de um concreto de elevada plasticidade, maior durabilidade e fácil aplicação. Em alguns casos, pode ter a sua reologia controlada com a utilização de aditivos de última geração. É aplicado em fundações especiais tipo hélice contínua e paredes diafragma, peças delgadas e peças densamente armadas. Dispensa a utilização total ou parcial de vibradores, tem maior produtividade no lançamento e reduz os custos com mão de obra;

- Concreto fluido: concreto que apresenta como característica principal a alta plasticidade ou fluidez que dispensa vibração. Possui granulometria para evitar a segregação dos materiais durante seu lançamento ou adensamento e é indicado para concretagem de peças delgadas e peças com alta concentração de armadura com difícil adensamento;
- Concreto impermeável: concreto com relação água/cimento limitada se dosado com um cimento apropriado de alto forno ou pozolânico. Aplicado em obras hidráulicas em geral, estações de tratamento d'água e esgoto e barragens. O aumento da durabilidade e a redução dos custos de manutenção são vantagens bem consideráveis deste tipo de concreto;
- Concreto sem finos: dono de elevada porosidade como sua maior característica, a densidade desse agregado varia de acordo com o agregado utilizado: brita, seixo ou argila expandida. É aplicado em drenagens e enchimentos. Sua principal vantagem é a baixa densidade;
- Microconcreto ou Grount: agregado de pequenos diâmetros com no máximo 4,8 mm com adição de aditivos especiais que permitem fluidez e são autoadensáveis. É utilizado no preenchimento de vazios e juntas de blocos de alvenaria estrutural, bases de máquinas e de estruturas;
- Concreto com microssílica: usado quando há a necessidade de elevadas resistências físicas e ataques químicos, resultando em maior durabilidade. A microssílica é um aglomerante altamente reativo que incorpora características especiais como resistências de 50 a 200 MPa;
- Concreto aparente: utilizado quando se deseja execução de peças que vão receber revestimento adicional. Assim, o uso de fôrmas de madeira plastificadas ou metálicas é imprescindível e o uso de aditivos plastificantes é altamente recomendável.
- Concreto translúcido: junção do concreto convencional, fibra de vidro e milhares de fibras ópticas que variam de 2 $\mu$ m a 2mm. O feixe de luz, ao incidir na superfície do concreto, atravessa o material, ilumina o meio oposto e produz o efeito translúcido, e dependendo da distância do objeto da superfície e do observador, também é capaz de perceber suas cores (Figura 1). Embora a produção e cura desse concreto sejam igual a do concreto convencional, o material apresenta maior resistência ao fogo, densidade de 2.100kg/m<sup>3</sup>, maior maleabilidade e impermeabilidade. Essas características associadas à resistência dificultam as chances de fissuras e

infiltrações. Sua maior desvantagem é que se trata de um material não regularizado podendo apenas ser utilizado como elemento de vedação com uso restrito a decoração (SOUZA; DINIZ, 2017). Além dos países em que o material já está sendo produzido industrialmente, como: Alemanha, Áustria, República Tcheca e Suécia, o Estados Unidos aderiu à nova tecnologia em um museu de destaque na cidade de Louisiana conforme ilustra a Figura 2.

**Figura 1 - Passagem de luz e projeção de sombra**



Fonte: TECNOSIL, 2014.

**Figura 2 - Memorial de Veteranos de Iberville Parish, em Louisiana/EUA**



Fonte: TECNOSIL, 2014.



## 2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO

Há ao menos quatro razões vantajosas para que o concreto seja o material mais utilizado na construção civil de acordo com Mehta e Monteiro (2008):

A primeira refere-se a excelente resistência do concreto à água. Diferentemente da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de enfrentar a ação da água sem grave deterioração torna-o um material ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte da água. O seu uso para barragens, revestimentos de canais e pavimentos é algo comum de se encontrar em quase todos os lugares do mundo.

O segundo motivo para o uso do concreto é a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos. Isto porque o concreto fresco é de consistência plástica, permitindo boa trabalhabilidade, favorecendo o fluxo do material para o interior das fôrmas pré-fabricadas. Depois de algumas horas, quando o concreto está solidificado e endurecido, tornando-se massa consistente, a fôrma pode ser removida e reutilizada.

O terceiro motivo que vem a favorecer a escolha do concreto quando comparado ao aço como material de construção, dizem respeito à manutenção e resistência ao fogo. A resistência ao fogo talvez seja o mais importante aspecto da segurança de uma plataforma marítima e, ao mesmo tempo, é onde as vantagens do concreto são mais evidentes por exemplo.

E um quarto motivo para a popularidade do concreto entre os engenheiros e talvez o mais conhecido, é o seu baixo custo e rápida disponibilidade do material para uma obra além de grande mão de obra disponível. Contudo, como todo e qualquer material utilizado na construção civil, o concreto exige cuidados em seu preparo, lançamento e processo de cura, como é denominado esse processo de endurecimento, tornando-o resistente e mais durável quando bem realizada (YAZIGI, 2011).

Assim como vantagens, o concreto também apresenta algumas desvantagens as quais se sobressaem outros tipos de estruturas como a metálica e madeira. Helene e Andrade (2010) descrevem que um edifício muito alto, por exemplo, aumentará o peso próprio da estrutura exigindo em paralelo um maior gasto com fundação, que tem participação relevante no orçamento final. O concreto exige um tempo de cura o qual pode paralisar algumas etapas da obra e quando executado *in loco* demanda vários materiais diferentes, além do grande quantitativo de profissionais envolvidos (armadores, carpinteiros, pedreiros, entre outros).

### 3 EXTRAÇÃO DA AREIA E SEUS PROCESSOS

#### 3.1 MEIO AMBIENTE

A evolução chega e nos proporciona conforto e praticidade para que vivamos bem, porém, as consequências são inevitáveis com o aumento da população e das necessidades básicas que são supridas muitas vezes por nosso meio ambiente. Ao desenvolver uma atividade sócioeconômica, os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo homem, permite que sejam destruídas de maneira irracional as bases da sua própria sustentação, não percebendo que dependem de uma base ecológica tanto para a sua própria vida quanto para a de seus descendentes.

A construção civil teve um avanço significativo nos últimos anos e isso impulsiona a demanda por atividades extrativistas no país. A areia natural (AN) um dos materiais utilizados no concreto, tornou-se escassa no mercado nacional em função da qualidade dos rios, aumento considerável de processos erosivos, alterações nos cursos da água devido ao assoreamento, extrações ilegais e aumento considerável no custo final do produto devido à distância entre o local de extração e centros urbanos (LELLES *et al.*, 2005).

Agopyan e John (2012) diz que é imprescindível a incorporação e inovação pela Construção Civil para mudanças e melhorias em suas atividades. A definição mais simples que se tem para inovação é a do conhecimento colocado em prática, isto é, o conhecimento aplicado e adotado pelos setores produtivos. Pequenas novidades, de forma frequente e contínua, permitiu grande evolução do setor.

Hoje, é possível que as atividades extrativistas para obtenção da AN sejam um tanto mais amenas já que é possível que as mesmas sejam redirecionadas diretamente para pedreiras regionais cujos minerais estão em maior quantidade disponível para extração. Após o processo de britagem e trituração dos minerais, e já em sua forma de agregado miúdo, a substituição da AN pode ser realizada por areias de britagem sem perder a sua principal característica de resistência no traço do concreto. Isso não resolverá de vez o problema da escassez do agregado, no entanto, alternativas também tem sido estudadas como, por exemplo, reaproveitamento de materiais inutilizados no canteiro de obras para substituição do agregado natural. Entretanto, isso é alvo de outra temática de estudo a qual esse trabalho em específico não aborda.

### 3.2 EXTRAÇÃO DA AREIA NATURAL

A areia, que é um tipo de rocha sedimentar, tem sua formação a partir do acúmulo de resíduos de outros tipos de rochas provenientes do intemperismo e erosão. Esses fragmentos transportados pelo gelo, vento e água são depositados naturalmente com o passar dos tempos.

A areia natural apresenta várias definições e na literatura geológica, é definida como um material detrítico com variação de tamanho de partículas definidos composto principalmente por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Porém, suas principais definições são feitas no sentido de representar um material mineral granular não coesivo, com tamanho de partículas situado entre limites definidos, com composição química e mineralógica variada e com origem inorgânica (CANTO, 2001). Dependendo da composição da rocha, a areia natural pode conter diferentes minerais como: feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, monazita, cassiterita, entre outros.

O Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental do Setor de Extração Mineral elaborado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA descreve os tipos de rochas que podem fazer parte da composição da areia natural (IBAMA, 2001):

- Feldspato: mais abundante grupo de minerais constituintes das rochas ígneas. Podem ocorrer em rochas que sofreram metamorfismo térmico ou regional e também são importantes constituintes de rochas sedimentares;
- Mica: designação comum aos membros de um grupo de silicatos monoclinicos, foliados, com excelente clivagem basal; são comuns em muitas rochas ígneas e metamórficas, usadas como isolantes e algumas vezes em objetos ornamentais;
- Zircão: é encontrado na maioria das rochas ígneas e em algumas rochas metamórficas como pequenos cristais ou grãos, nas quais estão amplamente distribuídos, mas raramente ultrapassam 1% da massa total da rocha. Também é encontrado como grãos aluviais em algumas rochas sedimentares devido a sua alta dureza. Possuem elevado índice de refração;
- Magnetita: minério óxido de ferro cúbico, de cor preta, fortemente magnética, opaca. A magnetita é o mineral ferrimagnético mais importante da natureza;
- Ilmenita: constituinte de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares;

- Monazita: minério fosfato natural de cério, lantânio, mesotório, tório e de outros metais raros existentes nas denominadas areias monazíticas, que se cristaliza no sistema monoclínico;
- Cassiterita: minério de óxido de estanho tetragonal, marrom ou preto, de brilho adamantino.

Ao falar da areia natural, imediatamente vincula-se a este mineral a modalidade a qual possibilita a sua extração: a mineração. Essa é uma das atividades humanas que mais contribui para a alteração da superfície terrestre, afetando a área lavrada e os seus arredores, causando impactos negativos sobre a água, o ar, o solo, o subsolo, a flora, a fauna, e a paisagem como um todo. Por outro lado, tem grande alcance social, na medida em que, como todo empreendimento econômico, está ligado à geração de emprego e renda (LELLES *et al.*, 2005).

Por se tratar da extração de recursos naturais não renováveis da crosta terrestre, a mineração geralmente é vista como uma atividade altamente impactante e não sustentável. Por outro lado, a mineração também é a base da sociedade industrial moderna, fornecendo matéria-prima para todos os demais setores da economia, sendo, portanto, essencial ao desenvolvimento (IBAMA, 2001). Essa atividade é considerada de tal forma estratégica que no Brasil os depósitos minerais (jazidas) são bens públicos, extraídos por concessão do estado. Os efeitos ambientais e socioeconômicos do aproveitamento destes jazimentos dependem, principalmente, da forma na qual esta atividade será planejada e, principalmente, como será desenvolvida.

Segundo o Sumário Mineral (DNPM, 2015), a mineração de areia em leitos fluviais é responsável por 90% da produção brasileira e somente 10% são provenientes de várzeas. A Constituição Federal de 1988 (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988), assim como a Resolução nº 001 (BRASIL, 1986) considera a mineração como uma atividade modificadora do meio ambiente e, portanto, passível de uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

Embora seja uma atividade causadora de impactos ambientais, a evolução da Produção Mineral Brasileira (PMB) demonstra o quanto o Brasil avançou no crescimento e diversificação da exploração de seus recursos minerais. Em 2014 foram US\$ 40 bilhões de arrecadação (Tabela 3) somente para a área de extração mineral dividida em diversas categorias, batendo recorde na produção de alguns minerais. É válido ressaltar que além da grande arrecadação que este setor produz para o país, o setor extrativo mineral possui mais de 214.070 empregos diretos de acordo com os dados do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) de julho/2015 (IBRAM, 2015).

Tabela 3 - Produção de Bens Minerais no Brasil em 2014

Bens Minerais	Valores em toneladas
<b>Agregados para Construção Civil</b>	<b>673.000.000</b>
Minério de Ferro	400.000.000
Bauxita	32.000.000
Alumínio Primário	962.000
Fosfato	6.800.000
Potássio Concentrado	460.000
Zinco Concentrado	250.000
Cobre	219.000
Liga de Níobio	80.000
Níquel Contido	80.000
Ouro	80

Fonte: IBRAM, 2015.

Nos primórdios da civilização, a extração mineral era conduzida sem o conhecimento do jazimento e sem nenhum planejamento, o que ao mesmo tempo acarretava o desperdício de recursos, a falta de aproveitamento integral do local a ser explorado e uma enorme gama de impactos ambientais. Esta forma de extração mineral não corresponde à definição atualmente aplicada para mineração, mas ainda é encontrada no Brasil, na forma de garimpo. Conforme o documento “Diretrizes Ambientais para o Setor Mineral”, em termos técnicos, a atividade de extração mineral que é definida como mineração propriamente dita, engloba as atividades de pesquisa, lavra e beneficiamento de minerais, e se caracteriza pela existência de um plano de aproveitamento econômico de um corpo mineral conhecido. A atividade assim definida compreende três etapas, que correspondem à implantação, operação e desativação. Neste sentido, a mineração configura-se como uma forma de uso temporário do solo (IBAMA, 2001).

O Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral, ao descrever a classificação dos empreendimentos de extração mineral, considerou parâmetros como: porte e estrutura, que determina que cada setor tem suas próprias características socioeconômicas e impactos ambientais associados; tipo de minério: a partir das informações obtidas no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2015) sobre os minérios extraídos no Brasil, foram estabelecidos 15 grupos de minérios, que apresentam características próprias quanto aos impactos ambientais gerados pela sua extração; e tipo de lavra: que condiciona os principais efeitos ambientais sobre a paisagem, bem como o ambiente final e o uso futuro da área minerada. Neste mesmo manual, foram estabelecidos

cinco tipos diferentes de lavra, que apresentam efeitos ambientais específicos (pedreiras, cavas, lavras em fatias, dragagens e lavras subterrâneas) que permitem a extração dos minerais (IBAMA, 2001).

Bauer (2012) descreve os principais tipos de lavras existentes para obtenção de areia natural a partir de processos bastante conhecidos no meio da extração:

- Leito de rio: a areia é extraída por dragagem diretamente do canal do rio, em geral espera-se uma reposição parcial ou total dos volumes extraídos principalmente durante a época da cheia. A dragagem é feita através de bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores. As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até os silos. O processo da extração por este método é semelhante ao método de cava submersa;
- Cava seca: também explora camadas individualizadas em taludes de solo em cavas secas, por desmonte hidráulico com mangueiras d'água sob pressão. Estes jatos incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos ou rochas alteradas. A polpa (junção de sedimentos e água) resultante desse processo, é dragada após a concentração em lagoas de decantação estrategicamente localizadas e bombeadas para silos ou pilhas de estoque após a passagem por peneiramento simples para calibração granulométrica e retirada de materiais contaminantes – Figura 3;
- Cava submersa: camadas individualizadas de areia dos taludes dos solos localizados às margens dos rios são exploradas a partir de dragas flutuantes que lançam o produto dragado diretamente na margem do curso d'água ou em barcas flutuantes, que são descarregadas nos silos de estocagem ou diretamente em pilhas ao ar livre. Antes da disposição do agregado em silos ou pilhas, a polpa (junção de sedimentos e água) passa por um processo de peneiramento simples para verificação granulométrica e retirada de contaminantes. Este método é o mais facilmente encontrado, e, portanto o de maior facilitador para extrações ilegais. No estado de Goiás, inúmeras dragas são apreendidas por não terem Alvará de Funcionamento e Licença Ambiental. O Rio Araguaia, Rio das Almas e Rio Santana são alguns dos mais explorados.

A Figura 4 ilustra um modelo moderno de draga hidráulica de origem alemã e a Figura 5 mostra o uso de draga hidráulica em modelo improvisado para extração ilegal de areia natural no Rio Araguaia.

**Figura 3 - Extração de areia natural pelo método de cava seca**



Fonte: ANEPAC, 2018.

**Figura 4 - Modelo alemão de draga hidráulica para extração mineral por cava submersa**



Fonte: MACHINES, 2018.

**Figura 5 - Modelo de draga improvisada para cava submersa ilegal em pleno funcionamento nas margens do Rio Araguaia**



Fonte: ELMAR, 2015.

A extração de areia nos córregos e rios interfere no meio ambiente de forma significativa atraindo atenções dos governantes e entidades relacionadas ao meio. Segundo Bruchi e Peixoto (1997), os principais impactos ocasionados pela extração dos bens minerais mencionados são:

- Alteração da paisagem: em função da utilização dos equipamentos que provocam modificações do relevo/paisagem nos locais de extração;
- Supressão da vegetação: é provocada pela operação de equipamentos, pela disposição do material minerado e dos rejeitos e pelo transporte da produção, embora considerada impacto direto, é reversível, se houver manejo adequado da vegetação existente no local;
- Modificações na estrutura do solo: a atividade mineradora ocasiona alterações nas características do solo, provocando elevação do nível de compactação, de exposição solar e mudança na estrutura microbiológica, entre outras;
- Interferência sobre a fauna: a remoção da vegetação, a modificação na estrutura do solo e o próprio desenvolvimento da atividade, entre outros fatores, provocam uma evasão ou mesmo alterações nos hábitos da fauna local. É reversível a partir da adoção de técnicas de manejo adequado da fauna;
- Compactação do solo: provocada pela movimentação dos equipamentos de extração, carregamento e transporte, interfere na permeabilidade do solo, dificultando ou mesmo impedindo a sua reabilitação natural contribuindo para o arraste de sedimentos para os corpos d'água;
- Conflitos de uso dos recursos naturais: o solo, a água e o ar têm os seus usos múltiplos definidos e de acordo com os hábitos locais. Deve ser meta constante das unidades de planejamento dos municípios a busca de uma compatibilização dos seus usos habituais com o desenvolvimento da atividade de mineradora, para minimizar os conflitos entre eles;
- Alteração nas calhas dos cursos d'água: são provocadas pelo emprego de equipamentos de desagregação sobre os leitos dos cursos d'água, eliminando barramentos naturais ou introduzindo bancos de sedimentos, que podem interferir na direção e na velocidade do fluxo d'água;
- Alterações no nível do lençol freático: resultados dos trabalhos de extração podem provocar a subsidência do terreno, acomodação de terra, colocando em risco edificações no entorno do empreendimento, além do que, o rebaixamento do nível



d'água podendo ocasionar a desativação de poços de captação d'água nas proximidades da extração;

- Trepidação: provocada, principalmente, pela movimentação de equipamentos de desmonte, carregamento e transporte. A trepidação ocasiona perturbações na estabilidade das edificações, estradas, pontes e outros, existentes no entorno da área de extração;
- Poluição sonora: provocada principalmente por equipamentos de extração, carregamento e transporte, trazendo aumento de ruído na área de influência do empreendimento;
- Poluição atmosférica: tanto o processo extrativo quanto a estocagem e o tráfego de veículos ocasionam acréscimo nos índices de poluição atmosférica, não só pela possibilidade de aumento de partículas minerais à atmosfera, como também de gases e partículas provenientes da queima de combustíveis. Esse impacto é mais significativo nos períodos de seca;
- Contaminação por óleos e graxas: ocasionado pelo manuseio inadequado e falta de manutenção preventiva de motores dos equipamentos. Na ausência de medidas preventivas devem-se evitar os lançamentos diretos nos corpos d'água e no solo;
- Instabilidade de margens e taludes: são resultados do revolvimento do fundo dos corpos d'água, extração efetuada próximo das margens, declividade do terreno associadas ao tipo de solo que compõe os taludes, que para a ocasião costumam ser instáveis;
- Turbidez das águas: o processo extrativista gera áreas de turbilhonamento, com a consequente diluição de partículas sólidas nas águas. O lançamento de efluentes e também a exposição de solos desnudos, em especial nas áreas de preservação permanente, propiciam o carregamento de partículas sólidas para os corpos d'água e aumentam a turbidez das águas, o que motiva a ocorrência de conflitos de uso do recurso;
- Resíduos sólidos: devido a movimentação de terra para extração mineral ocorrem a formação de leiras de solo orgânico, que devem ser tratadas para não se tornarem focos de sedimentos. O desmonte das leiras e a sua total utilização na reabilitação da área devem ser previstos e dimensionados desde a fase de planejamento do empreendimento. As atividades humanas aliadas ao processo extrativo geram inúmeros resíduos sólidos (lixo);

- Alterações no tráfego: ocasionam modificações no fluxo de veículos de transporte e de extração do minério, contribuindo para o aumento dos índices de poluição atmosférica e sonora, da trepidação e dos riscos de acidentes de trânsito;
- O desenvolvimento da extração mineral afeta a qualidade da água e do solo para outros usos.

Embora tamanhas desvantagens relacionadas à extração mineral, essa atividade além de garantir recordes em sua produção, emprega milhares de trabalhadores e no art. 225 § 2º da Constituição Federal (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988) a mineração é o único empreendimento ao qual foi dado formalmente o direito constitucional de degradar áreas, desde que seja feita sua reabilitação posterior.

### 3.2.1 Escassez da areia natural

A crescente urbanização é um dos fatores que tem levado a esterilização ou restrição de exploração de importantes depósitos, e a Tabela 4 indica o aumento gradativo da quantidade de areia natural utilizada em toneladas entre os anos de 2001 e 2007. As extrações de areia natural realizada nas várzeas e leitos de rios estão resultando na migração dos mineradores para locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, o que onera consideravelmente o preço final do produto chegando a representar para a Construção Civil, segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados (ANEPAC, 2018), cerca de 75% do preço final da areia. O constante aumento no valor do frete no Brasil desde o ano 2000 tem contribuído consideravelmente para o aumento do preço deste agregado inviabilizando a sua utilização direta tornando-o um material escasso em diversas regiões (ALMEIDA; SAMPAIO; SILVA, 2005).

**Tabela 4 - Utilização da areia natural na construção civil.**

<b>Ano</b>	<b>Areia (10<sup>6</sup> t)</b>
2001	244,4
2002	240,8
2003	214,1
2004	201
2005	238
2006	255
2007	279

Fonte: DNPM, 2018.

Outro fator para a escassez do agregado é em função da burocracia dos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente que determinam requisitos básicos para serem seguidos como: estudo do local e impactos causados antes, durante e posterior à atividade extrativista para posteriormente liberarem a Licença Ambiental para uma determinada área, e isso infelizmente, também tem contribuído, para que as atividades extrativistas ilegais no país ganhem maior espaço, onerando mais uma vez no custo final do agregado (IBAMA, 2001).

É fato que a aquisição de areia natural tem se tornado mais difícil a cada dia, e como exemplo de que tudo evolui, hoje, empresas concreteiras, com visão ampliada, têm utilizado areias de britagem, que é o resultado da cominuição (processo de britagem e trituração) das rochas abundantes em uma determinada região para substituição parcial ou total da areia natural, garantindo não somente a resistência no traço de concreto, mas também a redução de valores na compra do material.

A areia de britagem, vinda do processo seco, é um material mais barato que o do processo úmido (areia natural/areia lavada/areia de rio) (BAUER, 2012).

### 3.3 EXTRAÇÃO DA AREIA DE BRITAGEM

Rochas metamórficas mostram um bom potencial como matéria prima na produção de agregados para concreto. São exemplos de rochas metamórficas o gnaisse, quartzito (seu principal componente é o quartzo) e xisto, mas a textura desse último pode ser limitante do seu uso. Passuelo (2005) descreve algumas propriedades típicas de rochas e relaciona que as rochas sedimentares são as que apresentam menor aptidão na produção de agregado para concreto, isso em função da sua porosidade quase sempre alta, baixa resistência mecânica e em alguns casos, estrutura em forma de camadas que dificultam o seu desempenho na forma granular. São conhecidos como rochas sedimentares: os arenitos, argilitos, calcário entre outros, podendo ser utilizadas quando o nível de exigência técnica for baixo. As rochas ígneas (ou magmáticas) é a que melhor tem condições de ser utilizada como matéria-prima, devido a sua composição mineralógica e textura, porque tendem a produzir microestruturas mais densas e compactas. Alguns exemplos de rochas ígneas bem conhecidas são os granitos e basaltos. A Tabela 5 descreve a partir do tipo de rocha qual a sua resistência à compressão axial, massa específica e módulo de deformação dentro das classificações rochosas (metamórficas, sedimentares e ígneas).

Tabela 5 - Propriedades típicas de algumas rochas

Tipo de Rocha	Resistência à Compressão (MPa)			Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Deformação (GPa)
	Mínima	Média	Máxima		
Granito	100	150	240	2600/2700	40/70
Basalto	180	220	280	2750/2950	60/100
Gnaisse	100	150	240	2550/2700	40/70
Calcário	90	120	200	2600/2800	30/50
Xisto	100	120	180	2300/2500	25/40
Quartzito	130	260	400	2550/2700	50/100
Arenito	50	70	150	2200/2400	20/40

Fonte: PASSUELO (2005).

Bauer (2012) especifica agregado de britagem como aquele proveniente do processo de cominuição de rochas e classificação a seco nas pedreiras que são destinados a diversas aplicações na construção civil, tais como o concreto convencional (de Cimento Portland), pavimentação, aterros, enrocamento e outros. A produção dos agregados britados é realizada nas pedreiras em duas fases distintas: a partir do desmonte e britagem.

- O desmonte é o desenvolvimento da fase de ataque que começa pela remoção do chamado capeamento do solo e rocha decomposta que pode ter espessuras muito variáveis, recobrando o maciço de rocha sã. Nessa operação, chamada de decapagem, é preciso deixar uma face limpa e aberta para a perfuração espaçada da rocha, convenientemente distribuída para que os furos originados, quando preenchidos com explosivos, possam proporcionar na detonação, fragmentação adequada da rocha em tamanhos compatíveis com os equipamentos de britagem disponíveis. O desmonte produz, na base de lavra, um conjunto de blocos de rocha de volumes variáveis e aqueles com volumes que não permitam sua carga nos britadores deverão ser perfurados novamente e submetidos a um fogo secundário, ou mais modernamente, impactados por uma carga cônica suspensa que reduzirá seu tamanho, podendo ser um rompedor acoplado a uma escavadeira que procederá com a fragmentação dos matacos (rochas maiores);
- Os britadores são os equipamentos responsáveis pela diminuição dos blocos desmontados a fragmentos de dimensões apropriadas ao uso da construção civil. Mecanicamente, os britadores são classificados em diferentes tipos. Os principais são o de mandíbula, cônico e de martelo (Figuras 6, 7 e 8). Após a fase de desmonte, as escavadeiras fazem a carga do material e os caminhões abastecem a unidade primária

da produção, composta por britador de mandíbula, responsáveis por desmontar as rochas maticos que são cominuídas e posteriormente levadas para a unidade secundária, composta por britadores cônicos e peneiras que fazem o processamento do material, sendo feito o desmonte da pedra e em seguida a classificação do material e sucessivamente para o ciclo terciário que é composto pelo britador de impacto martelo e peneira, sendo alimentado com brita, onde posteriormente recebe a sua classificação.

**Figura 6 - Britador de mandíbula**



Fonte: MÁQUINAS FÁRIA, 2018.

**Figura 7 - Britador Cônico**



Fonte: SIMPLEX EQUIPAMENTOS, 2018.

**Figura 8 - Britador de martelo**



Fonte: STONECRUSHER MACHINE,  
2018.

Recentemente, com a exaustão das jazidas de agregados miúdos próximas dos grandes centros, o uso da areia de britagem como agregado para o concreto de Cimento Portland (CP) tem crescido muito. A areia de britagem (AB) tem sido muito valorizada tanto no aspecto comercial, quanto nas suas características, especialmente quanto a sua curva granulométrica e à natureza e quantidade de finos presentes. Uma quantidade controlada de finos, dependendo de suas características, é fundamental, porque o seu excesso pode causar o aumento de água na mistura do concreto e problemas decorrentes desse excesso poderão aparecer posteriormente, como fissuras por retração (PASSUELO, 2005).

O processo de cominuição dos minerais para utilização como agregado miúdo nos traços de concreto são ecologicamente corretos, pois diminui a extração da areia natural amenizando os impactos causados no meio ambiente. E diferentemente da areia natural, pode-se determinar a curva granulométrica da areia de britagem e assegurar total qualidade no produto final sem a presença de impurezas (SOUZA, 2016).

No estado de Goiás, existem várias pedreiras no ramo de extração mineral de gnaiss e quartzo que são rochas abundantes na região, tornando viável que as lavras para extrações de areia natural possam ser redirecionadas de cavas submersas para pedreiras para obtenção do produto final. São exemplos da região: Areal Ouro Branco, MBM Mineração, Brita Anápolis, Brita Campo Limpo, Brita Araguaia. Além do estado de Goiás, os minerais gnaiss e quartzo, fonte de pesquisa deste trabalho, também são encontrados em abundância em outras localidades como: Pará, São Paulo e Tocantins (GIACOMINI, 2009). As Figuras 9 e 10 mostram o tipo de lavra em pedreira para extração do mineral gnaiss e processo de cominuição da brita resultando no produto final de interesse: areia de britagem.

**Figura 9 - Lavra em pedreira para extração de gnaiss na pedreira Brita Anápolis**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Figura 10 - Processo de cominuição do gnaiss resultando no produto final: areia de britagem**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 4.1 MÉTODO DE DOSAGEM

Escolheu-se como base para a dosagem de concreto o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) que fornecerá uma primeira aproximação da quantidade dos materiais por meio de uma mistura experimental. Para a definição do traço foram necessários: os ensaios de análise granulométrica, massa específica e unitária dos agregados, dimensão máxima característica do agregado graúdo e módulo de finura do agregado miúdo. Com isso, após os cálculos necessários, obteve-se um traço base para posterior ajuste de dosagem.

### 4.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS

#### 4.2.1 Cimento Portland

O cimento utilizado nos traços foi o CII Z 32 da marca Ciplan. O material foi adquirido em uma loja de materiais de construção da cidade de Anápolis. O armazenamento deste produto, após questionamento ao vendedor, ocorreu conforme os parâmetros da NBR 7211 (ABNT, 2009), que preza pela preservação da qualidade do cimento onde o armazenamento do produto deve ser feito em locais secos e protegidos da umidade. A Ciplan disponibiliza para consulta os resultados dos valores médios de referência referente aos ensaios físicos do cimento utilizado conformes dados descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado dos ensaios físicos do cimento CII Z 32

ENSAIOS FÍSICOS						
Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Blaine	Início de Pega	Fim de Pega
15,0 MPa	23,0 MPa	28,0 MPa	33,0 MPa	5.000	195 min	270 min

Fonte: CIPLAN, s.d.

#### 4.2.2 Água

A água utilizada é potável e distribuída pela SANEAGO (Saneamento de Goiás), ao Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis-UniEVANGÉLICA.



### 4.2.3 Agregado miúdo

Os agregados miúdos foram cedidos pela concreteira Ciplan (localizada na região de Anápolis).

- Areia natural: origem em Israelândia/GO (local: DG Materiais);
- Areia de britagem do gnaiss (ABG): origem em Anápolis/GO (local: Brita Anápolis);
- Areia de britagem do quartzo (ABQ): origem em Abadiânia/GO (Local: Areal Ouro Branco).

Todos os agregados foram caracterizados conforme especificações da NBR NM 248 (ABNT, 2003). E para melhor obtenção de resultados, foi realizada uma sequência de dois testes para cada ensaio: composição granulométrica para a areia natural, areia de britagem de gnaiss (ABG) e areia de britagem de quartzo (ABQ) e massa específica conforme as NBR NM 45 (ABNT, 2006). As Tabelas 7, 8 e 9 mostram a média desses resultados.

Conforme disposição da Figura 11 é possível notar que as areias de britagem têm cores bem características, diferentemente da cor da areia natural. A areia de cor cinza é a ABG (material pulverulento) e a areia de coloração rosa é a ABQ (material granulométrico).

**Figura 11 - Disposição das areias de britagem de gnaiss e quartzo**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Tabela 7 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia Natural (AN)

Abertura	Massa Retida (g)	Porcentagem retida simples (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
4,75 mm	0	0	0
2,36 mm	29,7	5,94	5,94
1,18 mm	41,4	8,28	14,22
600 µm	94,2	18,84	33,06
300 µm	256,6	51,32	84,38
150 µm	63,9	12,78	97,16
Resíduo	14,2	2,84	100
Σ =	500	100	

Massa Específica: 3.571 kg/m<sup>3</sup>

Classificação	Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Característica (mm)
Fina	2,35	4,75 mm

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Tabela 8 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia de britagem de gnaiss (ABG)

Abertura	Massa Retida (g)	Porcentagem retida simples (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
4,75 mm	0	0	0
2,36 mm	78,6	15,72	15,72
1,18 mm	132,85	26,57	42,29
600 µm	90,14	18,03	60,32
300 µm	70,95	14,19	74,51
150 µm	47,58	9,52	84,03
Resíduo	79,87	15,97	100
Σ =	499,99	100	

Massa Específica: 3.056 kg/m<sup>3</sup>

Classificação	Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Característica (mm)
Fina	2,77	4,75 mm

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Tabela 9 - Composição granulométrica da amostra de 500 g de Areia de Britagem de Quartzzo (ABQ)

Abertura	Massa Retida (g)	Porcentagem retida simples (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
4,75 mm	21,19	4,24	4,24
2,36 mm	24,31	4,86	9,10
1,18 mm	52,37	10,47	15,57
600 µm	86,55	17,31	36,88
300 µm	121,58	24,32	61,20
150 µm	128,60	25,72	86,92
Resíduo	65,43	13,09	100
Σ =	499,59	100	

Massa Específica: 3.378 kg/m<sup>3</sup>

Classificação	Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Característica (mm)
Fina	2,14	4,75 mm

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

#### 4.2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo escolhido para utilização em todos os traços foi a Brita 1 (B1) – com dimensão máxima característica de 19 mm (Figura 12). O material foi disponibilizado pelo Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis-UniEVANGÉLICA e todos os ensaios foram realizados duas vezes para melhor obtenção dos resultados. A Tabela 10 descreve a média dos resultados.

Figura 12 - Brita 1 utilizada nos traços



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Tabela 10 - Composição granulométrica da amostra de 5 kg de Brita 1 (B1)

Abertura	Massa Retida (g)	Porcentagem retida simples (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
25 mm	0	0	0
19 mm	0	0	0
12,5 mm	3.500	70	70
9,50 mm	1.350	27	97
4,75 mm	145	2,9	99,9
2,36 mm	30	0,6	100,5
Resíduo	4	0,08	100,58
$\Sigma =$	5.029	100,58	

Massa Unitária: 1.427,87 kg/m<sup>3</sup>

Massa Específica: 2.734,73 kg/m<sup>3</sup>

Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Característica (mm)
3,67	19 mm

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

### 4.3 CÁLCULO PARA DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

#### 4.3.1 Traço referência para concreto com a utilização de areia natural

##### 4.3.1.1 Fixação da relação água/cimento (a/c)

Os requisitos para dosagem de concreto são basicamente: a trabalhabilidade do material, resistência físico mecânica, porosidade, condição de exposição e custo final. Para determinação da relação água/cimento (a/c) é necessário à obtenção da resistência média à compressão do concreto prevista para 28 dias ( $f_{c28}$ ). De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), é necessária a utilização de variabilidade para obtenção do  $f_{c28}$ , devido às inconstâncias predominantes nas construções. Essa mesma NBR descreve que o cálculo da resistência da dosagem do concreto depende das suas condições de preparo. Para a ocasião, o desvio padrão adotado é 4,0 (condição a) já que é aplicável a todos os tipos de concreto. Para o  $f_{ck}$  foi adotado a resistência mínima de 25MPa para utilização em concretos estruturais.

Através da Equação (1) a resistência do concreto aos 28 dias será calculada, para que em seguida seja possível determinar o consumo dos materiais chegando ao traço base experimental.

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

Onde:

$f_{c28}$  = resistência do concreto pretendida ao final dos 28 dias;

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto;

$S_d$  = desvio padrão.

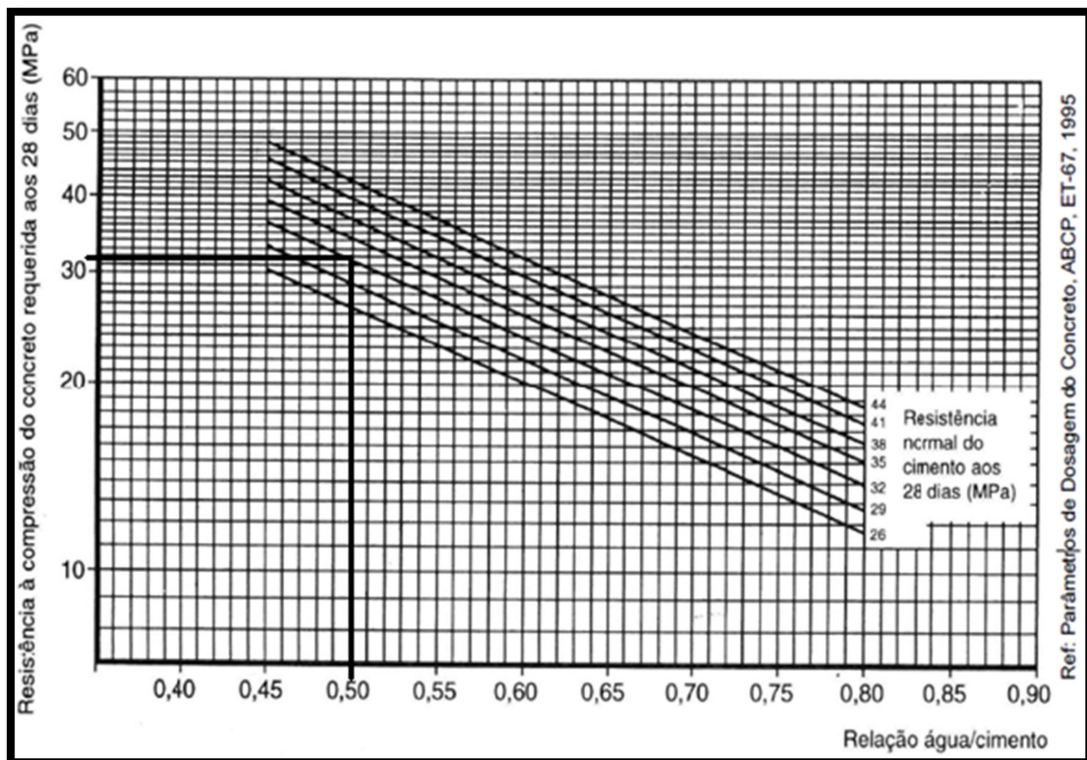
Ao atribuir os valores a Equação 1, tem-se:

$$f_{c28} = 25 + 1,65 * 4$$

$$f_{c28} = 31,6 \text{ MPa.}$$

A partir do resultado obtido, é possível fixar a relação água/cimento (a/c) em função da curva de Abrams do cimento (Figura 13).

Figura 13 - Curva de Abrams para fixação da relação água/cimento



Fonte: RODRIGUES, 1998 (adaptado).

O resultado do  $f_{c28}$  combinado com a resistência normal do cimento utilizado (CP II Z 32), mostra no gráfico de curvas o valor de 0,50 para relação de fixação de água/cimento.

#### 4.3.1.2 Determinação do consumo de materiais

##### 4.3.1.2.1 Consumo de água

Para a definição do consumo de água ( $C_a$ ), são necessários os dados do diâmetro máximo característico (DMC) da Brita 1 (B1) e abatimento escolhido. Para a ocasião, o abatimento adotado é de 80 a 100 mm ( $\pm 10$  mm) e DMC da B1 é de 19 mm conforme resultados na análise granulométrica.

A Tabela 11 indica que em função do abatimento adotado e DMC da B1, o consumo de água será de 205 litros.

**Tabela 11 -Consumo de água em função do abatimento e DMC da Brita 1**

<b>Consumo de água aproximado (L/m<sup>3</sup>)</b>					
Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: RODRIGUES, 1998.

##### 4.3.1.2.2 Consumo de cimento

O consumo de cimento ( $C_c$ ) depende diretamente do consumo de água ( $C_a$ ) e fixação da relação água/cimento ( $a/c$ ), os resultados encontrados anteriormente são utilizados na Equação (2):

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{205}{0,50}$$

$$C_c = 410 \text{ kg/m}^3.$$

Portanto, o consumo de cimento para o traço experimental é de 410 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.1.2.3 Consumo de agregado graúdo

Para a determinação do consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ), preliminarmente, é necessário calcular a relação do Diâmetro Máximo Característico (DMC) da Brita 1 (B1) em função do Módulo de Finura (MF) da areia. O valor do módulo de finura obtido através da composição granulométrica da areia natural (AN), indicado na Tabela 7, foi de 2,35, adotando assim o valor de 2,4. O agregado graúdo escolhido foi B<sub>1</sub>, com dimensão máxima característica de 19,0 mm, portanto, tem-se que  $V_b = 0,710$ . A Tabela 12 indica o resultado em volume.

Tabela 12 - Determinação do volume de brita ( $V_b$ )

Módulo de finura da areia (MF)	Dimensão máxima dos agregados (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: RODRIGUES, 1998.

Para definição do consumo do agregado graúdo, é necessário o valor da massa unitária ( $\gamma_b$ ) da B1. A Equação 3 representa o cálculo do consumo de brita ( $C_b$ ) seca por m<sup>3</sup> de concreto.

$$C_b = V_b * \gamma_b \quad (3)$$

$$C_b = 0,710 * 1427,87$$

$$C_b = 1013,79 \text{ Kg/m}^3.$$

Portanto, tem-se que o consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ) é de 1013,79 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.1.2.4 Consumo do agregado miúdo

A determinação do volume do agregado miúdo ( $V_m$ ) em  $m^3$  é dada pela relação entre a soma do consumo volumétrico de cimento, areia e brita, ambos divididos por suas respectivas massas específicas, de acordo com a Equação 4. A massa específica do cimento utilizada foi a mesma descrita na Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) disponibilizada para consulta do site da Ciplan e no Anexo A deste trabalho.

$$V_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\delta_c} + \frac{C_b}{\delta_b} + \frac{C_a}{\delta_a} \right) \quad (4)$$

Onde:

$\delta_c$  = massa específica do cimento;

$\delta_b$  = massa específica da brita;

$\delta_a$  = massa específica da água.

$$V_m = \left( \frac{410}{3200} + \frac{1013,79}{2734,73} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_m = \mathbf{0,296.}$$

Baseado no resultado anterior de volume de agregado miúdo ( $V_m$ ), tem-se o consumo de areia ( $C_a$ ) através da Equação 5:

$$C_a = V_m * \delta_{\text{areia}} \quad (5)$$

$$C_a = 0,296 * 3571$$

$$C_a = \mathbf{1057,02 \text{ kg/m}^3.}$$

Portanto, o resultado do consumo de agregado miúdo é de 1057,02 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.1.3 Apresentação do traço

A apresentação do traço é dada conforme a Equação (6):



$$\frac{C_c}{C_c} + \frac{C_{a1}}{C_c} + \frac{C_b}{C_c} + \frac{C_{a2}}{C_c} \quad (6)$$

Onde:

$C_c$  = consumo de cimento;

$C_{a1}$  = consumo de areia;

$C_{b1}$  = consumo de brita 1;

$C_{a2}$  = consumo de água.

Logo:

$$\frac{410}{410} + \frac{1057,02}{410} + \frac{1013,79}{410} + \frac{205}{410}$$

**Traço unitário base = 1: 2,58: 2,47: 0,5.**

Para definição do traço em massa, utilizou-se como referência uma unidade do saco de cimento com embalagem de 50 kg:

1 \* 50 kg/saco de cimento = 50 kg de cimento para o traço de areia natural;

2,58 \* 50 kg/saco de cimento = 129 kg de areia;

2,47 \* 50 kg/saco de cimento = 123,50 kg de brita 1;

0,5 \* 50 kg/saco de cimento = 25 kg de água correspondentes a iguais 25 litros de água.

Todavia, durante a execução deste mesmo traço experimental, percebeu-se durante a mistura na betoneira o concreto com aspecto de “farofa”, constatando a necessidade apenas de aumento no consumo da água em 2 litros, mantendo a relação água/cimento.

#### **4.3.2 Traço referência para concreto com a utilização de areias de britagem**

Como o objetivo deste trabalho é a substituição total da areia natural (AN) no traço do concreto, foi necessário determinar também o cálculo unitário de dosagem para outros dois traços referenciais: um traço utilizando 100% da utilização da areia de britagem do gnaisse (ABG) e outro traço com 100% da utilização da areia de britagem do quartzo (ABQ). Estes

dois traços possibilitaram que novas proporções fossem igualmente trabalhadas, resultando em um melhor comparativo para o estudo e conclusão.

Portanto, como o método escolhido para a dosagem do concreto é o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), as Tabelas 13 e 14 descreverão os resultados obtidos através do cálculo da dosagem com utilização das areias de britagem dos minerais gnaiss e quartzo.

**Tabela 13 - Traço para concreto com a utilização da areia de britagem do gnaiss (ABG)**

Resistência do concreto ( $f_{c28}$ )	Relação a/c	Consumo de Materiais			
		Consumo de Água ( $C_{a1}$ )	Consumo de Cimento ( $C_c$ )	Consumo Agregado Graúdo ( $C_{b1}$ )	Consumo Agregado Miúdo ( $C_{a2}$ )
31,60 MPa	0,5	205 litros	410 kg/m <sup>3</sup>	956,67 kg/m <sup>3</sup>	977,92 kg/m <sup>3</sup>
Apresentação do Traço Unitário 1: 2,39: 2,33: 0,5			Apresentação do Traço Utilizado 50: 119,50: 116,50: 25		

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Tabela 14 - Traço para concreto com a utilização da areia de britagem do quartzo (ABQ)**

Resistência do concreto ( $f_{c28}$ )	Relação a/c	Consumo de Materiais			
		Consumo de Água ( $C_{a1}$ )	Consumo de Cimento ( $C_c$ )	Consumo Agregado Graúdo ( $C_{b1}$ )	Consumo Agregado Miúdo ( $C_{a2}$ )
31,60 MPa	0,5	205 litros	410 kg/m <sup>3</sup>	1042,35 kg/m <sup>3</sup>	979,62 kg/m <sup>3</sup>
Apresentação do Traço Unitário: 1: 2,39: 2,54: 0,55			Apresentação do Traço Utilizado 50: 119,50: 127: 27,5		

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

#### **4.3.3 Determinação dos traços unitários utilizando areias de britagem em substituição a areia natural e moldagem dos corpos de prova**

Como descrito anteriormente sobre o objetivo da substituição total da areia natural (AN) no traço de concreto, para que seja concluída essa viabilidade ou não na produção de

concreto com areia de britagem de gnaiss (ABG) e areia de britagem de quartzo (ABQ), a média dos resultados dos quantitativos tanto do agregado graúdo quanto agregado miúdo possibilitaram a elaboração de novos traços em proporções agrupadas de 20% (ABG) e 80% (ABQ), 40% (ABG) e 60% (ABQ), 50% (ABG) e 50% (ABQ), 60% (ABG) e 40% (ABQ) e 80% (ABG) e 20% (ABQ), com isso, houve um total de 8 traços executados.

A Tabela 15 especifica a proporção utilizada de cada elemento nos traços de concreto executados.

**Tabela 15 - Traços utilizados nos concretos produzidos**

<b>Traço</b>	<b>Cimento (kg)</b>	<b>AN (kg)</b>	<b>ABG (kg)</b>	<b>ABQ (kg)</b>	<b>Brita 1 (kg)</b>	<b>Água (kg)</b>
Referencial de AN	50	129	—	—	123,5	27
Referencial de ABG	50	—	119,5	—	116,5	25
Referencial de ABQ	50	—	—	119,5	127	27,5
20% ABG e 80% ABQ	50	—	23,9	95,6	121,75	26
40% ABG e 60% ABQ	50	—	47,8	71,7	121,75	27
50% ABG e 50% ABQ	50	—	59,75	59,75	121,75	26
60% ABG e 40% ABQ	50	—	71,7	47,8	121,75	26,4
80% ABG e 20% ABQ	50	—	95,6	23,9	121,75	26,25

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Foram moldados um total de 128 corpos de prova, sendo 5 corpos de prova destinados aos rompimentos à compressão axial aos 7, 21 e 28 dias por traço elaborado. Para a ocasião, reservou-se 8 corpos de prova (1 para cada traço desenvolvido), moldados totalmente isentos de substância oleosa que pudesse intervir em resultados futuros, e utilizados posteriormente para o ensaio de absorção de água e índice de vazios conforme prevê a NBR 9778 (ABNT, 2009).

Os corpos de prova utilizados possuem a dimensão de 10x20 cm e volume de 1 dcm<sup>3</sup>. As moldagens foram realizadas em conformidade com a NBR 5738 (ABNT, 2016) nos dias 21 e 25/09/2018 no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis-UniEVANGÉLICA. Nas figuras 14, 15 e 16 são apresentadas sequencialmente a produção do concreto na betoneira, os primeiros corpos de prova em repouso pelas primeiras 12 horas após a moldagem e, cura do concreto após a desforma armazenados em câmara úmida em temperatura de (23 ± 2)°C e umidade relativa do ar superior a 95% condizente com as exigências da NBR 5738 (ANBT, 2016).

**Figura 14 - Produção do concreto na betoneira**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Figura 15 - Corpos de prova moldados em repouso**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Figura 16 - Cura do concreto em câmara úmida**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

O *Slump Test* ou abatimento do tronco de cone tem como objetivo constatar visualmente a facilidade e trabalhabilidade com que o concreto fresco flui antes de se estabelecer. Esse mesmo teste pode ser utilizado ainda como um indicador de verificação de um lote misturado indevidamente (BERTOLINI, 2010). Para o estudo foram promovidas 8 sequências de *Slump Test*, um para cada traço de concreto conforme especificado na Tabela 16, seguindo os parâmetros descritos pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Todos os resultados estiveram dentro do previsto, uma vez que o intuito é um concreto para fins estruturais.

**Tabela 16 - Resultados do *Slump Test* por traço elaborado**

<b>Traço</b>	<b>Abatimento (cm)</b>
Referencial de AN	6
Referencial de ABG	6
Referencial de ABQ	7
20% ABG e 80% ABQ	7
40% ABG e 60% ABQ	6
50% ABG e 50% ABQ	5
60% ABG e 40% ABQ	4
80% ABG e 20% ABQ	6

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Todos os traços apresentaram uma trabalhabilidade satisfatória, podendo ser utilizados em qualquer tipo de obra conforme descritivo na Tabela 2, desprezando no momento os resultados à compressão axial.

Os traços que apresentaram um abatimento igual ao traço de referência da areia natural (AN) foram os que utilizaram: 100% de areia de britagem de gnaiss (ABG), 40% de (ABG) somado a 60% de areia de britagem de quartzo (ABQ) e 80% de (ABG) somado a 20% de (ABQ).

Os traços com proporções que apresentaram menor trabalhabilidade foram os que utilizaram 50% de ABG com 50% de ABQ e 60% de ABG com 40% de ABQ.

O traço com utilização de 50% de ABG somado a 50% de ABQ, com abatimento igual a 5, por coincidência, é um dos traços com menor resistência à compressão axial.

O Quadro 1 relaciona o resultado de cada *Slump Test* ao traço correspondente executado.

Quadro 1 - *Slump Test* realizado com nos traços de concreto executados

	<p><b>Abatimento 6 cm</b> Traço Referencial com 100% de areia natural.</p>		<p><b>Abatimento 6 cm</b> Traço com 40% de areia de britagem de gnaiss e 60% de areia de britagem de quartzo.</p>
	<p><b>Abatimento 6 cm</b> Traço Referencial com 100% de areia de britagem de gnaiss.</p>		<p><b>Abatimento 5 cm</b> Traço com 50% de areia de britagem de gnaiss e 50% de areia de britagem de quartzo.</p>
	<p><b>Abatimento 7 cm</b> Traço Referencial com 100% de areia de britagem de quartzo.</p>		<p><b>Abatimento 4 cm</b> Traço com 60% de areia de britagem de gnaiss e 40% de areia de britagem de quartzo.</p>
	<p><b>Abatimento 7 cm</b> Traço com 20% de areia de britagem de gnaiss e 80% de areia de britagem de quartzo.</p>		<p><b>Abatimento 6 cm</b> Traço com 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo.</p>

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

## 5.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS

Para o trabalho em questão, foi realizado o ensaio de absorção e índice de vazios conforme especifica a NBR 9778 (ABNT, 2009) vigente. Os traços foram moldados em corpos de prova com dimensões de 10x20 cm e volume de 1 dcm<sup>3</sup> totalmente isentos de substância líquida e gordurosa (total de 8 unidades). Posteriormente ao repouso dos corpos de prova por 12 horas, o material foi transferido para estufa, permanecendo no local por 72 horas a  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Em seguida, passou por processo de imersão em água por 72 horas (Figura 17) e completada a etapa de saturação, as amostras foram levadas a ebulição progressivamente durante 5 horas (Figura 18). Após o esfriamento natural da amostra, foram registradas as massas tanto na balança hidrostática quanto convencional (Figura 19).

**Figura 17 - Amostras submersas por 72 horas após secagem em estufa**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Figura 18 - Amostras em fervura durante 5 horas**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Figura 19 - Pesagem final da amostra após ebulição**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Para a determinação de absorção de água e índice de vazios, é necessário que ambos se dêem através das Equações 7 e 8 sequencialmente, tendo como base inicialmente os resultados relacionados a amostra do traço referencial com utilização de 100% de areia natural (AN), conforme especificado na Tabela 17.

**Tabela 17 - Resultados das pesagens das amostras para determinação da Absorção de água e Índice de vazios da amostra do traço referencial de areia natural**

Traço	Amostra seca em estufa	Amostra imersa em água por 72 horas	Amostra fervida por imersão por 5 horas	Balança hidrostática
	Peso final	Peso final	Peso final	Peso final
Referencial de AN	3.510 kg	3.700 kg	3.715 kg	2.111 kg

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Para a absorção de água, tem-se o resultado em porcentagem (%).

$$A = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

A = absorção de água;

$M_{\text{sat}}$  = é a massa da amostra saturada em água após imersão por fervura;

$M_s$  = é a massa da amostra seca em estufa.



$$A = \frac{3715 - 3510}{3510} \times 100$$

**A = 5,84 ou aproximadamente 6%.**

Para o índice de vazios, tem-se também o resultado em porcentagem (%).

$$I_v = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$I_v$  = índice de vazios;

$M_{\text{sat}}$  = é a massa da amostra saturada em água após imersão por fervura;

$M_s$  = é a massa da amostra seca em estufa;

$M_i$  = é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

$$I_v = \frac{3715 - 3510}{3715 - 2111} \times 100$$

**$I_v = 12,78\%$ .**

Para os dados coletados seguindo as especificações da NBR 9778 (ABNT, 2009) das amostras dos outros 7 traços executados com a utilização das areias de britagem gnaisse e quartzo, estes, serão relacionados em duas tabelas distintas: a Tabela 18 indicará os dados após as pesagens de cada etapa concluída e a Tabela 19 descreverá os resultados em função dos cálculos de Absorção de Água e Índice de Vazios utilizando as mesmas Equações 7 e 8.

**Tabela 18 - Resultados dos dados coletados das amostras, segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009)**  
(continua)

Traço	Amostra seca em estufa	Amostra imersa em água (72 h)	Amostra fervida em imersão (5 h)	Balança hidrostática
	Peso final	Peso final	Peso final	Peso final
Referencial de ABG	3.655 kg	3.845 kg	3.855 kg	2.271 kg
Referencial de ABQ	3.315 kg	3.545 kg	3.575 kg	2.022 kg
20% ABG e 80% ABQ	3.405 kg	3.620 kg	3.640 kg	2.052 kg
40% ABG e 60% ABQ	3.475 kg	3.675 kg	3.690 kg	2.105 kg
50% ABG e 50% ABQ	3.505 kg	3.705 kg	3.715 kg	2.073 kg
60% ABG e 40% ABQ	3.550 kg	3.720 kg	3.730 kg	2.175 kg

**Tabela 18 - Resultados dos dados coletados das amostras, segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009)**  
(conclusão)

Traço	Amostra seca em estufa	Amostra imersa em água (72 h)	Amostra fervida por imersão (5 h)	Balança hidrostática
	Peso final	Peso final	Peso final	Peso final
80% ABG e 20% ABQ	3.590 kg	3.775 kg	3.785 kg	2.169 kg

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Tabela 19 - Resultados dos cálculos para Absorção de água e Índice de Vazios**  
utilizando as Equações 7 e 8

Traço	Absorção de Água (%)	Índice de Vazios (%)
Referencial de ABG	5,47	12,63
Referencial de ABQ	7,84	16,74
20% ABG e 80% ABQ	6,90	14,8
40% ABG e 60% ABQ	6,19	13,56
50% ABG e 50% ABQ	5,99	12,79
60% ABG e 40% ABQ	5,07	11,58
80% ABG e 20% ABQ	5,43	12,07

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Com base na análise dos resultados obtidos e descritos na Tabela 19, tem-se que os três melhores resultados em relação à absorção de água são as amostras, em ordem crescente para as porcentagens, dos traços 60% areia de britagem de gnaiss (ABG) e 40% de areia de britagem de quartzo (ABQ), 80% areia de ABG e 20% de ABQ e por último, o traço de referência utilizando 100% de ABG. Segundo Neville (2016), os bons traços de concretos são os que registram absorção menor do que 10% em massa, ou seja, entende-se que todos os traços obtiveram resultados dentro do esperado.

Já para os resultados dos índices de vazios, eles estão ligados diretamente à absorção de água, uma vez que para uma amostra ser considerada porosa, o índice de vazios deve ter entre 15% e 35% de seu volume total (ACI 522, 2010). Como os resultados de 7 amostras obtidas (de um total de 8 amostras) encontram-se abaixo do limite descrito, podem-se considerar os índices de vazios como aceitáveis para o ensaio.

### 5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Para estudo complementar de todos os traços executados, além dos ensaios de *Slump Test* e Absorção de Água e Índice de Vazios realizados, verificou-se também a resistência dos rompimentos à compressão axial realizados aos 7, 21 e 28 dias para avaliação do

comportamento dos corpos de prova e média dos resultados tendo como parâmetro um  $f_{ck}$  de 25MPa. O intuito é encontrar o traço que melhor corresponda ao objetivo proposto para posterior aplicação em fins estruturais. A Tabela 20 mostra a média dos resultados dos rompimentos à compressão axial.

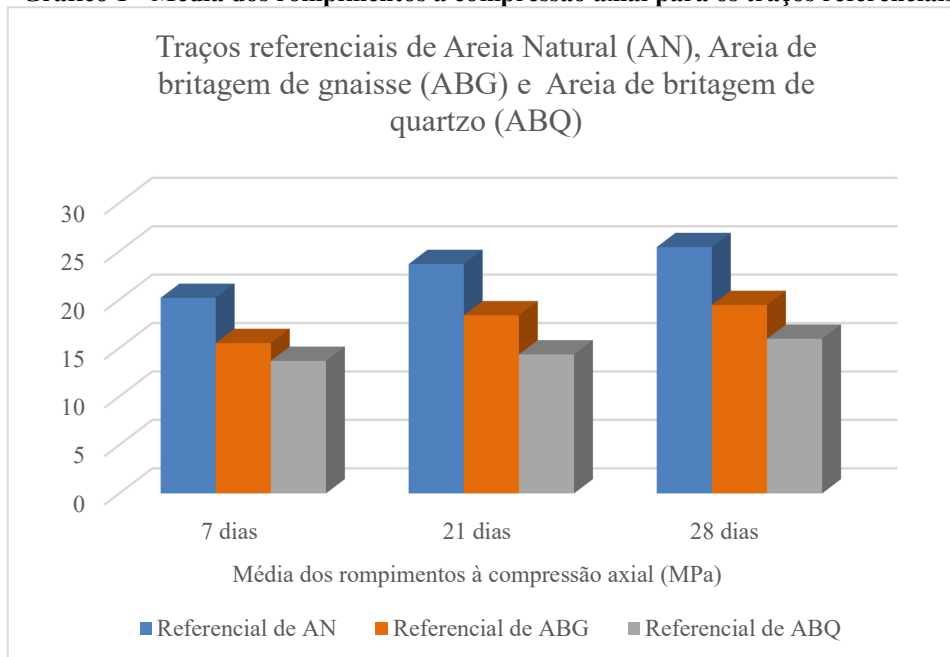
**Tabela 20 - Média dos rompimentos à compressão axial aos 7, 21 e 28 dias**

Traço	Média dos rompimentos à compressão axial (MPa)		
	7 dias	21 dias	28 dias
Referencial de AN	20,18	23,68	25,43
Referencial de ABG	15,52	18,38	19,45
Referencial de ABQ	13,68	14,34	15,96
20% ABG e 80% ABQ	16,16	17,66	19,22
40% ABG e 60% ABQ	16,24	19,46	21,45
50% ABG e 50% ABQ	15,74	18,38	19,69
60% ABG e 40% ABQ	18,85	22,26	23,9
80% ABG e 20% ABQ	20	26,68	27,31

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

O Gráfico 1 apresenta a média das resistências à compressão axial das amostras dos concretos referenciais aos 7, 21 e 28 dias.

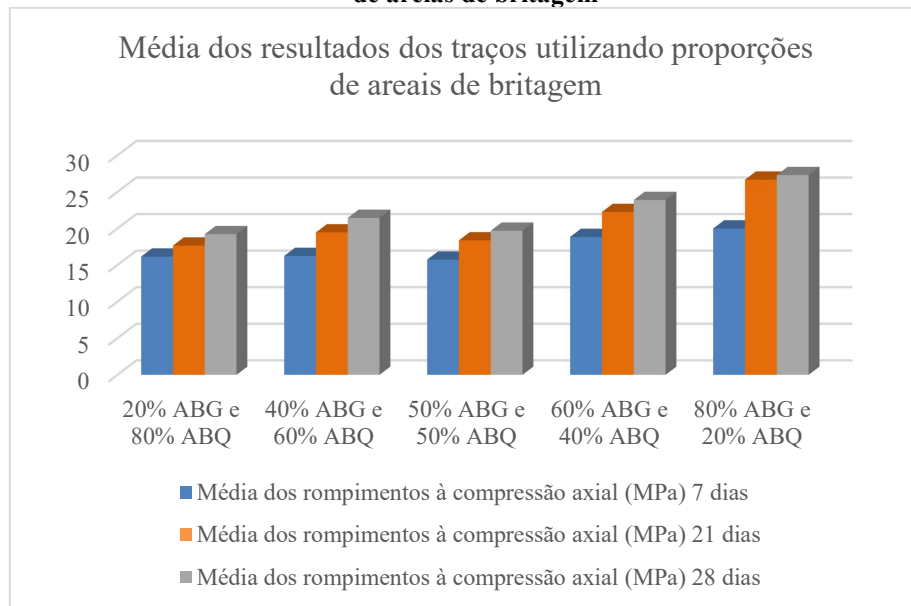
**Gráfico 1 - Média dos rompimentos à compressão axial para os traços referenciais**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

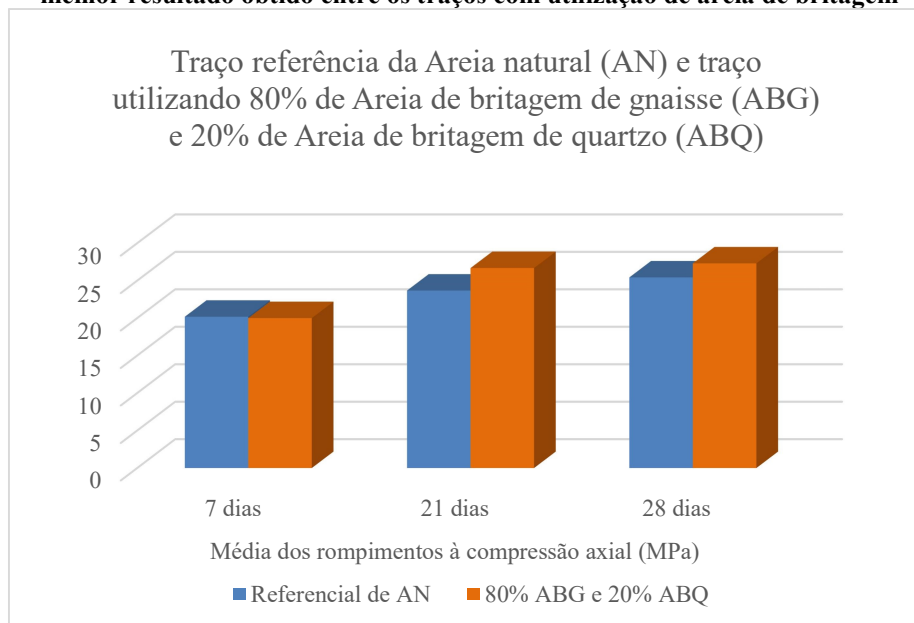
No Gráfico 2 serão apresentados as médias dos rompimentos nos dias 7, 21 e 28 para os traços em que foram utilizados o critério de proporções de areias de britagem. O Gráfico 3 mostra o comparativo entre o traço de referência de areia natural com o melhor resultado obtido do traço em que foi utilizado areias de britagem. O Gráfico 4 resume todos os resultados do ensaio à compressão axial para melhor visualização do comparativo.

**Gráfico 2 - Média dos resultados à compressão axial dos traços com proporções de areias de britagem**



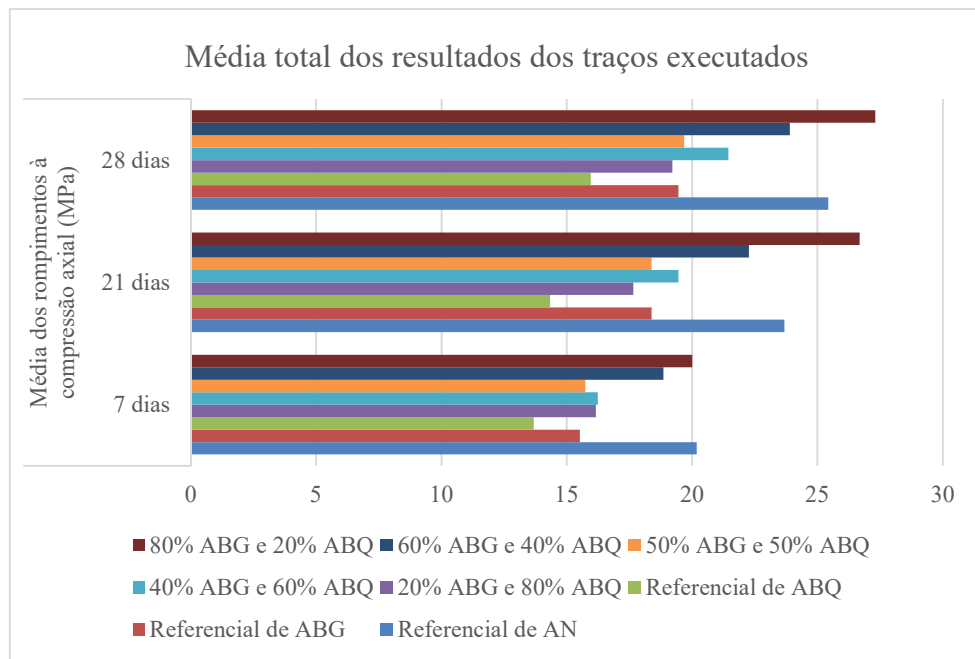
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

**Gráfico 3 - Comparativo entre o traço de referência de areia natural com o melhor resultado obtido entre os traços com utilização de areia de britagem**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Gráfico 4 - Média de rompimentos de todos os traços executados





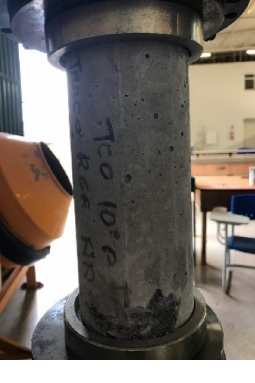




Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Os traços com as menores resistências foram os que continham uma maior porcentagem de areia de britagem de quartzo, que é o traço de referência de areia de britagem de quartzo (ABQ) e o traço com utilização de 20% de areia de britagem de gnaïsse (ABG) somado a 80% de areia de britagem de quartzo (ABQ). Ou seja, quando a areia de britagem de quartzo é utilizada em maior proporção que a areia de britagem de gnaïsse, o resultado final à compressão axial não atende as especificações da norma para um concreto com fins estruturais. Outro traço que não obteve bom resultado foi a proporção igualmente dividida entre as areias de britagem, sendo 50% de areia de britagem de gnaïsse (ABG) e 50% de areia de britagem de quartzo (ABQ), neste caso, conclui-se que em mais uma condição em que se tem uma grande quantidade da areia de britagem de quartzo, a resistência diminui consideravelmente.

Visivelmente, nota-se que a melhor resistência entre os traços com utilização de areia de britagem está relacionado a amostra do traço com 80% de areia de britagem de gnaïsse (ABG) e 20% de areia de britagem de quartzo (ABQ), cujo resultado também é superior ao traço referencial de areia natural. Este resultado corresponde ao objetivo geral do trabalho, o qual foi proposto a substituição em 100% da areia natural. Ou seja, a areia de britagem de gnaïsse é um agregado com grandes possibilidades na construção civil.

O Quadro 2, a seguir, contém as imagens dos rompimentos das amostras aos 28 dias. Os laudos dos rompimentos unitários estão disponíveis nos Anexos de B a S.

**Quadro 2 - Características dos rompimentos à compressão axial aos 28 dias**

	<p>Traço referência de areia natural (AN).</p>		<p>Traço com 40% de areia de gnaiss e 60% de areia de quartzo.</p>
	<p>Traço referência de areia de britagem de gnaiss (ABG).</p>		<p>Traço com 50% de areia de gnaiss e 50% de areia de quartzo.</p>
	<p>Traço referência de areia de britagem de quartzo (ABG).</p>		<p>Traço com 60% de areia de gnaiss e 40% de areia de quartzo.</p>
	<p>Traço com 20% de areia de gnaiss e 80% de areia de quartzo.</p>		<p>Traço com 80% de areia de gnaiss e 20% de areia de quartzo.</p>

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

#### 5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Como exemplificado na subseção 3.2.1, mediante o esgotamento das jazidas de extrações minerais mais próximas dos grandes centros de consumo e restrição desta atividade extrativista por órgãos de fiscalização ambiental, diversas regiões conhecidas pela exploração mineral se tornaram inutilizadas, e a exploração de areia natural tem ocorrido cada vez mais distante, chegando a extremos entre produtor e consumidor, caso este de uma concreteira da cidade de Anápolis a qual adquire o agregado natural diretamente do município de Israelândia/GO, totalizando uma distância de aproximadamente 284 km. Diante deste cenário, a indústria da construção civil passou a se mobilizar, e ocorrências como esta despertaram nos tecnologistas especialistas em materiais de construção, o estudo para que empresas da área recorram ao uso parcial ou total da areia de britagem na produção de traços de concreto, uma vez que antes ficavam empilhados nos pátios sem destinação adequada, poluindo o ar e os cursos d'água (ALMEIDA; SAMPAIO; SILVA, 2005).

No geral, para Mehta e Monteiro (2008) a mais óbvia consideração na escolha dos materiais componentes do concreto é que além de serem aceitáveis, tem que ser ao mesmo tempo economicamente atrativos. Em outras palavras, quando há material disponível por diversas fontes com significativa diferença de preço, usualmente, não há motivo para que o fornecedor de material com o menor custo não seja escolhido, a menos que existam razões técnicas demonstráveis de que o material não será adequado para o tipo de trabalho em questão. Ainda sim, e talvez por tradição ou outras razões não válidas, alguns profissionais continuam a requerer materiais para o concreto que são mais caros e eventualmente desnecessários.

A primeira ordem para o estudo das areias de britagem é que se vê facilmente a possibilidade do redirecionamento das áreas mineradas em leitos de rios, para pedreiras onde haja grande quantidade de rochas que podem ser utilizadas para essa finalidade amenizando impactos ambientais maiores. A segunda ordem é totalmente econômica, pois uma das grandes vantagens da areia de britagem é que a sua produção pode ser realizada no canteiro das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, o que reduziria o custo da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor, a indústria da construção civil. Embora o valor do m<sup>3</sup> de areia ou brita seja baixo, o mercado de agregados é bastante promissor, pois corresponde por 60% do volume de uma obra de construção civil (SANTOS, 2015).

Comprovando a viabilidade econômica na aquisição de areias de britagem de gnaiss e quartzo em relação a areia natural, foi feita uma pesquisa com fornecedores regionais para

um comparativo dos valores totais gastos na composição de m<sup>3</sup> do traço de concreto, tendo como base os três referenciais calculados (100% com areia natural, 100% com areia de britagem de gnaiss e 100% de areia de britagem de quartzo) além da composição de custos do traço com o melhor resultado ao ensaio de resistência à compressão axial (80% de areia de britagem de gnaiss com 20% de areia de britagem de quartzo). A Tabela 21 indica os custos por traço após consulta nas mineradoras regionais sobre os valores dos agregados utilizados na pesquisa.

**Tabela 21 - Composição de custos para execução do m<sup>3</sup> de concreto por amostra**

<b>Amostra</b>	<b>Cimento (R\$)</b>	<b>Areia (R\$)</b>	<b>Brita 1 (R\$)</b>	<b>Água (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Referencial de AN	169,50	95,71	62,13	2,06	329,40
Referencial de ABG	171,65	48,02	62,94	2,09	284,70
Referencial de ABQ	168,08	43,02	61,63	2,05	274,78
80% ABG e 20% ABQ	170,45	46,87	62,50	2,08	281,90

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Nota-se na Tabela 21 que os valores de produção dos traços de concreto decrescem na medida em que se utiliza como recurso apenas a areia de britagem. E que o custo mais alto é correspondente ao traço com a utilização da areia natural. A mesma Tabela confirma ainda que a amostra com 80% de areia de britagem de gnaiss (ABG) e 20% de areia de britagem de quartzo (ABQ) além de ser a mais resistente ao ser submetida à compressão axial, também supera o traço de referência de areia natural em custos.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho constituiu-se na possibilidade da substituição total da areia natural no traço de concreto por areias de britagem de rochas abundantes em Anápolis/GO e região, no intuito de comprovar que os agregados do estudo permitem uma boa trabalhabilidade e resistência final com  $f_{ck}$  suficiente para execução de obras estruturais, além de ser economicamente viável e ainda permitir a redução dos impactos gerados pelo processo de extração de areia natural concentrados nos leitos de rios e cavas submersas redirecionando esse tipo de lavra para pedreiras regionais.

Através dos ensaios realizados, tem-se que o objetivo do estudo foi alcançado, pois se comprovou uma boa qualidade de concreto.

No *Slump Test*, através do visual, foi possível trabalhar de maneira facilitada na moldagem dos corpos de prova dentro das características específicas de cada agregado que permitiu a confirmação de sua aplicabilidade em obras civis.

Para o ensaio de absorção de água, todos os resultados foram inferiores a 10%, e os traços das amostras de 40% de areia de britagem de gnaiss e 60% de areia de quartzo, 60% de areia de gnaiss e 40% de areia de britagem de quartzo e 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo tiveram os menores dados registrados.

Como os resultados do ensaio de índice de vazios estiveram ligados diretamente aos de absorção de água, os dados foram considerados aceitáveis para as amostras obtidas, uma vez que encontram-se abaixo do limite de referência, com exceção apenas para o traço utilizando 100% de areia de britagem de quartzo, sendo considerado como uma amostra porosa.

O ensaio de resistência à compressão axial, realmente comprovou que as proporções de areias de britagem foram eficazes para estudo complementar, neste caso:

- A substituição da areia natural no concreto convencional pode impactar positivamente na resistência final;
- O traço utilizando maiores porcentagens da areia de britagem do quartzo, não apresentaram resultados acima da média. O  $f_{ck}$  mais próximo de 25MPa foi a proporção igual a 60% de areia de britagem de gnaiss e 40% de areia de britagem de quartzo com uma resistência igual a 23,9 MPa, entretanto, esse detalhe pode ser resolvido com a troca do tipo de cimento;
- O traço com proporções iguais de areias de britagem, sendo 50% de areia de britagem de gnaiss e 50% de areia de britagem de quartzo não atende a expectativa

do trabalho, sendo possível perceber que a areia de britagem de gnaiss é um agregado que melhor fornece resistência final superando a resistência da areia de britagem de quartzo;

- É importante ressaltar que a areia de britagem de gnaiss sozinha não dá boa resistência, ela só é eficiente quando misturada com a areia de britagem de quartzo, e a melhor proporção foi de 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo com 27,31MPa obtido aos 28 dias e valor do m<sup>3</sup> igual a R\$ 281,90;
- Dos traços com abatimento iguais a 6, os resultados também foram superados no ensaio de resistência à compressão axial nas amostras do traço de referência de areia natural e no traço de proporção de 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo em relação aos demais que tiveram abatimentos superiores ou inferiores.

Portanto, utilizando a areia de britagem, além da eficiência em resistência tem-se também o ganho ambiental e econômico onde se comprovou uma redução de aproximadamente 14,4% no custo final do m<sup>3</sup> do traço do concreto utilizando a proporção de 80% de areia de britagem de gnaiss e 20% de areia de britagem de quartzo (total de R\$ 281,90) em comparação ao traço com utilização apenas de areia natural (total de R\$ 329,40).

## 6.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para futuros trabalhos, pede-se:

- Execução de dois traços para complementar os resultados já encontrados: um traço com a proporção de 10% de areia de britagem de gnaiss somado a 90% de areia de britagem de quartzo e o inverso proporcional e outro traço com a proporção de 30% de areia de britagem de gnaiss somado a 70% de areia de britagem de quartzo e o seu inverso proporcional;
- Execução de traço de concreto utilizando areia de britagem e areia reciclada;
- Execução de ensaio de outra propriedade mecânica como resistência à tração;
- Estudo do comportamento da areia de britagem através de outros métodos de dosagens;

- Estudo da fadiga do concreto para estruturas onde ocorram carregamentos cíclicos como é o caso de estruturas *offshore* sujeitas a ações de ondas e ventos (pontes, pavimentos rodoviários e aeroviários).

## REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 522. **522R-10** Report on Pervious. 2010.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade da construção civil**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2012. 138 p.

ALMEIDA, S. L. M. de; SAMPAIO, J. A.; SILVA, V. S. **Produção de areia artificial com base em finos de brita de granito**. 2005. 5 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2005/CAC00080005.pdf> Acesso em: 13 fev. 2018.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório**. São Paulo: Pini Ltda, 2012. 460 p.

ANEPAC (Org.). **História da areia e brita**. 2018. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>. Acesso em: 15 out. 2018.

ARAÚJO, F. R. **Avaliação das propriedades mecânicas do aço**. 2014. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia Civil de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível em: [file:///C:/Users/Jackeline%20B.%20Elias/Downloads/TCC\\_Jonathan\\_Final\\_Publicar%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jackeline%20B.%20Elias/Downloads/TCC_Jonathan_Final_Publicar%20(1).pdf). Acesso em: 01 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8 p.

———. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 6 p.

———. **NBR NM 53: Agregado Graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 8 p.

———. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p

———. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

———. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 20 p.

———. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9 p.

———. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.

———. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 9 p.

———. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 4 p.

———. **NBR 9935:** Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 12 p.

———. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 23 p.

———. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 12 p.

BASTOS, P. S. S. (Ed.). **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado: NOTAS DE AULA.** 2006. Disponível em: [http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798\\_Estruturas de Concreto I/HIST.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf). Acesso em: 08 jun. 2018.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488p.

BERTINI, A A et al. **O concreto como material construtivo:** <https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>. 2012. Elaborado por Grupo Pet Civil da UFC. Disponível em: <https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>. Acesso em: 09 set. 2018.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: PATOLOGIA, REABILITAÇÃO, PREVENÇÃO.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. 4p. Brasília, 1986.

BRUCHI, D. M.; PEIXOTO, M.C.D. **Extração de areia de cascalho e argila:** Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Belo Horizonte: Fundação Estadual do meio Ambiente, 1997. Vol 04. 90 p.

CANTO, E L. **Mineiras, minérios e metais:** De onde vêm? Para onde vão? 5. ed. São Paulo: Moderna, 2001. 128 p.

CIPLAN, Cimento. **Ensaio físico do cimento CPH Z 32.** S.D. Disponível em: <http://www.ciplan.com.br/pt-br/produtos#cimento-portland>>. Acesso em: 19 out. 2018.

CONSTITUIÇÃO FEDERAL DE 88. Constituição (1985). Emenda Constitucional nº 96, de 24 de julho de 1985, Brasília.

COUTINHO, A S. **Fabrico e propriedades do betão**. Vol I. Lisboa: LNEC, 2006. 646 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **DNPM 2016**: Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2015. 40 p.

ELMAR, E. (Tocantins). Portal do Tocantins. **Extração irregular no Rio Araguaia** 2015. Disponível em: <http://www.portaldotocantins.com/2015/06/23/mpe-quer-evitar-extracao-irregular-de-areia-no-rio-araguaia/>. Acesso em: 15 out. 2018.

GIACOMINI, B. **Gnaisse**. 2009. BIBLIOTECA DIGITAL DE CIÊNCIAS DA UNICAMP. Disponível em: <https://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=1052#.WwgoODQvzI>. Acesso em: 25 maio 2018.

GRAZIANO, F. P. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 155 p.

HELENE, P.; ANDRADE T. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2010. v2. p.954-988.

IBAMA - **Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral**, Brandt Meio Ambiente, Brasília, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira** (2015). Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>. Acesso em: 14 out.2018.

INO, A. et al. **Materiais de construção civil e princípios de ciência engenharia de materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S L. **O Cimento Portland: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 322 p.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d' água**, Revista Árvores, v. 29, n. 3, 2005. 439-444 p.

MACHINES, B. M. **Draga hidráulica**. Disponível em: [https://www.berky.de/496-BERKY\\_model\\_6780\\_Dredge\\_King.html](https://www.berky.de/496-BERKY_model_6780_Dredge_King.html). Acesso em: 15 out. 2018.

MAGALHÃES, F. C. **Concreto de Cimento Portland** – Especificações e ensaios. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios. Rio Grande do Sul, s/d.

MAQUINAS FARIA (Org.). **Britador de mandíbula**. 2018. Disponível em: <http://maquinasfaria.com.br/project/britador-de-mandibulas/>. Acesso em: 08 jun. 2018.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**: 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 669 p.

- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**: 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.
- PASSUELO, A. et al. **Concreto: ENSINO, PESQUISA E REALIZAÇÕES**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1600 p.
- PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998. 299 p.
- PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Dosagem de concreto**: importância, parâmetros e ajustes laboratoriais (Método ABCP). 2016. FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA UNICAMP. Disponível em: [http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/\\_resumos/eng6.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng6.pdf). Acesso em: 01 set. 2018.
- RIBEIRO, C. C; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 212 p.
- RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem de concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.
- SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 2. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2009. 317 p.
- SANTOS, L. S. **Areia artificial para uso em construção civil**. 2015. 6 f. Artigo para iniciação científica (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- SIMPLEX, Equipamentos (Org.). **Britadores cônicos**. 2018. Disponível em: <http://www.simplex.ind.br/britadores-conicos-simplex/>. Acesso em: 08 jun. 2018.
- SOUZA, S. M. M. P.; DINIZ, M. J. **Concreto translúcido: LUZ NATURAL PARA AMBIENTES FECHADOS**. REEC: REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA CIVIL, Goiânia, v. 13, p.1-5, 10 ago. 2017. Semestral.
- SOUZA, T. S. **Areia industrial**. 2016. Elaborada por Britador São Geraldo. Disponível em: <http://www.britadorsaogeraldo.com.br/areia-industrial>. Acesso em: 8 jun. 2018.
- STONECRUSHER-MACHINE. **Britador de martelo**. 2018. Disponível em: <http://stone-processmachine.com/1-8-hammer-crusher.html>. Acesso em: 08 jun. 2018.
- TECNOSIL, M. **Concreto translúcido: SAIBA TUDO SOBRE ESSA INOVAÇÃO PARA AS CONSTRUÇÕES**. 2014. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-translucido-saiba-tudo-sobre-essa-inovacao-para-as-construcoes/>. Acesso em: 16 set. 2018.
- VASCONCELOS, A. C.; ISAIA, G. C. **O concreto: da era clássica à contemporânea**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2005. V1. p.45-74.
- YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 11. ed. São Paulo: Pini, 2011. 795 p.

## ANEXO A – FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS (FISPQ)

 <b>FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ (NBR 14725)</b>																												
<b>1 IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA</b>																												
<b>CIMENTO PORTLAND</b> Produto químico preparado CAS 65997-15-1 O cimento Portland é constituído basicamente de clínquer portland finamente moído e gesso. Podem, ainda, ser adicionados outros materiais normalizados dependendo do tipo que se deseje. Pode ter a seguinte composição, conforme a mistura que for preparada:																												
EMPRESA: CIPLAN Cimentos Planalto S/A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Faixa de concentração (%)</th> <th>Número CAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Silicato tricálcico</td> <td>20 - 70</td> <td>12168-85-3</td> </tr> <tr> <td>Silicato dicálcico</td> <td>10 - 60</td> <td>10034-77-2</td> </tr> <tr> <td>Ferro-aluminato de cálcio</td> <td>5 - 15</td> <td>12068-35-8</td> </tr> <tr> <td>Sulfato de cálcio</td> <td>2 - 10</td> <td>vários</td> </tr> <tr> <td>Aluminato tricálcico</td> <td>1 - 15</td> <td>1242-78-3</td> </tr> <tr> <td>Carbonato de cálcio</td> <td>0 - 5</td> <td>1317-65-3</td> </tr> <tr> <td>Óxido de magnésio</td> <td>0 - 4</td> <td>1309-48-4</td> </tr> <tr> <td>Óxido de cálcio</td> <td>0 - 0,2</td> <td>1305-78-8</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Faixa de concentração (%)	Número CAS	Silicato tricálcico	20 - 70	12168-85-3	Silicato dicálcico	10 - 60	10034-77-2	Ferro-aluminato de cálcio	5 - 15	12068-35-8	Sulfato de cálcio	2 - 10	vários	Aluminato tricálcico	1 - 15	1242-78-3	Carbonato de cálcio	0 - 5	1317-65-3	Óxido de magnésio	0 - 4	1309-48-4	Óxido de cálcio	0 - 0,2	1305-78-8
Componente	Faixa de concentração (%)	Número CAS																										
Silicato tricálcico	20 - 70	12168-85-3																										
Silicato dicálcico	10 - 60	10034-77-2																										
Ferro-aluminato de cálcio	5 - 15	12068-35-8																										
Sulfato de cálcio	2 - 10	vários																										
Aluminato tricálcico	1 - 15	1242-78-3																										
Carbonato de cálcio	0 - 5	1317-65-3																										
Óxido de magnésio	0 - 4	1309-48-4																										
Óxido de cálcio	0 - 0,2	1305-78-8																										
MARCAS: CIPLAN																												
ENDEREÇO: Rodovia DF 205 Km 2,7 Fercal Sobradinho DF																												
TELEFONE DA FABRICA/ EMERGÊNCIA: 0800 61 3352 / 61 3487 9000																												
<b>3 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS</b>																												
<b>4 MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS</b>																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Efeitos / Sintomas da exposição</th> <th>Prevenção</th> <th>Ação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Inalação</b> Exposição à poeira pode causar irritação das vias respiratórias. O efeito depende do grau de exposição. Exposição repetida e prolongada pode causar tenção no tórax, tosse, danos ao pulmão.</td> <td>O Trabalho em ambiente ventilado, de preferência com uso de máscaras ou sob outro tipo de exaustão. Caso haja possibilidade de concentrações inaceitáveis de poeira no ar, e não seja possível a utilização de proteção coletiva eficiente, deve ser elaborado um programa de proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa no 1 de 11/04/1994 do MT.</td> <td>Remover a pessoa para local fresco e arejado. Procure assistência médica</td> </tr> <tr> <td><b>Pele</b> A pasta de cimento apresenta um pH elevado pode irritar a pele em caso de contato prolongado. O contato efetivo com o pó pode causar eczema.</td> <td>Evitar contato com a pele. Usar roupas e luvas resistentes a abrasão e materiais alcalino. Não usar cremes nas mãos no lugar de luvas.</td> <td>La var imediatamente com água corrente e sabão por pelo menos quinze minutos. Remover toda a roupa contaminada, principalmente com cimento úmido, para evitar contato com a pele, procurar assistência médica.</td> </tr> <tr> <td><b>Olhos</b> Pode ocorrer irritação, queimadura e danos na córnea. Exposição a longo prazo podem causar queima química ou ulceração no olhos.</td> <td>Usar óculos de proteção. Não devem ser utilizados lentes de contato.</td> <td>Lavar imediatamente com água por quinze minutos. Assegurar que as pálpebras estejam abertas e que os olhos estejam em todas as direções. Procurar assistência médica.</td> </tr> <tr> <td><b>Ingestão</b> Pode causar queimadura na mucosa da boca, esôfago e estômago. A ingestão de grande quantidade podem causar problemas intestinais e possíveis formação de agregado sólido no estômago e intestino.</td> <td>Não fumar, beber ou comer no ambiente de trabalho. Lavar as mãos antes das refeições. Evitar todas as práticas de trabalho que possam permitir o contato com a boca.</td> <td>Não provocar vômito. Fornecer bastante água ou leite. Procurar assistência médica.</td> </tr> <tr> <td><b>Meio Ambiente</b> O cimento não apresenta riscos ao meio ambiente.</td> <td>Evitar descarte de cimento no esgoto nas águas de superfície (rios, córrego e lagos)</td> <td>Disponibilizar o material para reciclagem ou alocar em aterros sanitários</td> </tr> </tbody> </table>	Efeitos / Sintomas da exposição	Prevenção	Ação	<b>Inalação</b> Exposição à poeira pode causar irritação das vias respiratórias. O efeito depende do grau de exposição. Exposição repetida e prolongada pode causar tenção no tórax, tosse, danos ao pulmão.	O Trabalho em ambiente ventilado, de preferência com uso de máscaras ou sob outro tipo de exaustão. Caso haja possibilidade de concentrações inaceitáveis de poeira no ar, e não seja possível a utilização de proteção coletiva eficiente, deve ser elaborado um programa de proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa no 1 de 11/04/1994 do MT.	Remover a pessoa para local fresco e arejado. Procure assistência médica	<b>Pele</b> A pasta de cimento apresenta um pH elevado pode irritar a pele em caso de contato prolongado. O contato efetivo com o pó pode causar eczema.	Evitar contato com a pele. Usar roupas e luvas resistentes a abrasão e materiais alcalino. Não usar cremes nas mãos no lugar de luvas.	La var imediatamente com água corrente e sabão por pelo menos quinze minutos. Remover toda a roupa contaminada, principalmente com cimento úmido, para evitar contato com a pele, procurar assistência médica.	<b>Olhos</b> Pode ocorrer irritação, queimadura e danos na córnea. Exposição a longo prazo podem causar queima química ou ulceração no olhos.	Usar óculos de proteção. Não devem ser utilizados lentes de contato.	Lavar imediatamente com água por quinze minutos. Assegurar que as pálpebras estejam abertas e que os olhos estejam em todas as direções. Procurar assistência médica.	<b>Ingestão</b> Pode causar queimadura na mucosa da boca, esôfago e estômago. A ingestão de grande quantidade podem causar problemas intestinais e possíveis formação de agregado sólido no estômago e intestino.	Não fumar, beber ou comer no ambiente de trabalho. Lavar as mãos antes das refeições. Evitar todas as práticas de trabalho que possam permitir o contato com a boca.	Não provocar vômito. Fornecer bastante água ou leite. Procurar assistência médica.	<b>Meio Ambiente</b> O cimento não apresenta riscos ao meio ambiente.	Evitar descarte de cimento no esgoto nas águas de superfície (rios, córrego e lagos)	Disponibilizar o material para reciclagem ou alocar em aterros sanitários										
Efeitos / Sintomas da exposição	Prevenção	Ação																										
<b>Inalação</b> Exposição à poeira pode causar irritação das vias respiratórias. O efeito depende do grau de exposição. Exposição repetida e prolongada pode causar tenção no tórax, tosse, danos ao pulmão.	O Trabalho em ambiente ventilado, de preferência com uso de máscaras ou sob outro tipo de exaustão. Caso haja possibilidade de concentrações inaceitáveis de poeira no ar, e não seja possível a utilização de proteção coletiva eficiente, deve ser elaborado um programa de proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa no 1 de 11/04/1994 do MT.	Remover a pessoa para local fresco e arejado. Procure assistência médica																										
<b>Pele</b> A pasta de cimento apresenta um pH elevado pode irritar a pele em caso de contato prolongado. O contato efetivo com o pó pode causar eczema.	Evitar contato com a pele. Usar roupas e luvas resistentes a abrasão e materiais alcalino. Não usar cremes nas mãos no lugar de luvas.	La var imediatamente com água corrente e sabão por pelo menos quinze minutos. Remover toda a roupa contaminada, principalmente com cimento úmido, para evitar contato com a pele, procurar assistência médica.																										
<b>Olhos</b> Pode ocorrer irritação, queimadura e danos na córnea. Exposição a longo prazo podem causar queima química ou ulceração no olhos.	Usar óculos de proteção. Não devem ser utilizados lentes de contato.	Lavar imediatamente com água por quinze minutos. Assegurar que as pálpebras estejam abertas e que os olhos estejam em todas as direções. Procurar assistência médica.																										
<b>Ingestão</b> Pode causar queimadura na mucosa da boca, esôfago e estômago. A ingestão de grande quantidade podem causar problemas intestinais e possíveis formação de agregado sólido no estômago e intestino.	Não fumar, beber ou comer no ambiente de trabalho. Lavar as mãos antes das refeições. Evitar todas as práticas de trabalho que possam permitir o contato com a boca.	Não provocar vômito. Fornecer bastante água ou leite. Procurar assistência médica.																										
<b>Meio Ambiente</b> O cimento não apresenta riscos ao meio ambiente.	Evitar descarte de cimento no esgoto nas águas de superfície (rios, córrego e lagos)	Disponibilizar o material para reciclagem ou alocar em aterros sanitários																										
<b>5 MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO</b> O cimento não é inflamável. Todas as medidas de extinção são utilizáveis nos casos de incêndio nas proximidades.	<b>6 MEDIDAS DE CONTROLE DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO</b> Limpar todo o derramamento deste material para evitar levantamento de poeira e coletar em recipiente adequado. O cimento endurecido pode ser eliminado como resíduo inerte.	<b>7 MANUSEIO E ARMAZENAMENTO</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Manuseio</th> <th>Armazenamento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Manusear com cuidado. Evitar contato com a pele. Evitar geração de poeira.</td> <td>Estocar em local seco, protegido de umidade e água, e produtos químicos que possam provocar reações perigosas. Manter os recipientes bem fechados e protegidos de danos.</td> </tr> </tbody> </table>	Manuseio	Armazenamento	Manusear com cuidado. Evitar contato com a pele. Evitar geração de poeira.	Estocar em local seco, protegido de umidade e água, e produtos químicos que possam provocar reações perigosas. Manter os recipientes bem fechados e protegidos de danos.																						
Manuseio	Armazenamento																											
Manusear com cuidado. Evitar contato com a pele. Evitar geração de poeira.	Estocar em local seco, protegido de umidade e água, e produtos químicos que possam provocar reações perigosas. Manter os recipientes bem fechados e protegidos de danos.																											
<b>8 CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL</b> Valores limites de exposição 10 mg/m <sup>3</sup> , concentração média de 8 horas. Utilizar exaustores para manter o nível de poeiras abaixo dos limites de exposição em locais de trabalho com ventilação fraca e empoirados																												
<b>Proteção respiratória:</b> Em condições normais nenhuma proteção respiratória é requerida. Usar proteção respiratória em condições com alta concentração de poeira.	<b>Proteção para os olhos:</b> Usar óculos normais ou óculos de proteção para evitar contato com os olhos. Não é recomendado usar lente de contato ao manusear este produto em condições alta concentração de poeira.	<b>Proteção para a pele:</b> Usar luvas impermeáveis, botas e roupas protetora para evitar contato com a pele.																										
<b>9 PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICA - Estado físico: sólido (na forma de pó fino), sem cheiro, cor: cinza</b>																												
pH em Solução Aquosa	12 ≤ pH ≤ 14	Pressão de vapor (mm Hg)	Não Aplicável																									
Ponto de Ebulição	Não Aplicável	Solubilidade em água	até 1,5 g/l a 20°C																									
Ponto de Fusão	Não Aplicável	Ponto de Fulgor	Não Aplicável																									
Massa Específica Absoluta	2,8 ≤ γ ≤ 3,2 g/cm <sup>3</sup> a 20°C	Densidade relativa do vapor 20°C	Não Aplicável																									
		Massa Específica Aparente	0,9 a 1,2 g/cm <sup>3</sup> a 20°C																									
<b>10 ESTABILIDADE e REATIVIDADE - Produto Estável</b>																												
Condições a evitar: Umidade durante a estocagem		Substâncias incompatíveis: nenhuma																										
Necessidade de aditivos para evitar reações perigosas: nenhuma		Produtos perigosos da decomposição: nenhum																										
<b>11 INFORMAÇÕES TOXILÓGICAS</b> Ver itens 3 e 4																												
<b>12 INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS - Não reconhecida toxicidade às plantas ou animais</b>																												
Mobilidade: Nenhuma		Persistência/ Degradabilidade: Os componentes do cimento endurecidos são insolúveis																										
Bioacumulação: Nenhuma		Comportamento esperado: Em caso de derramamento em meio úmido ocorre aumento do pH da água (mais básico)																										
<b>13 CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO</b> Pequenas quantidades de material podem ser dispostas como resíduo comum ou devolvida ao recipiente para uso posterior se não estiver contaminada. Após o endurecimento o cimento pode ser eliminado como resíduo inerte. Disponibilizar as embalagens utilizadas em aterros sanitário ou incinerador. Caso haja regulamentação específica na região deve-se utilizá-la.																												
<b>14 INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE</b> O Cimento Portland não é considerado produto químico perigoso, portanto não se aplicam códigos e classificações para transporte terrestre, fluvial, marítimo ou aéreo.																												
<b>15 REGULAMENTAÇÕES</b> Por não ser produto químico perigoso ou tóxico não existem regulamentações específicas.																												
<b>16 OUTRAS INFORMAÇÕES</b> É importante diferenciar cimento de concreto, que é uma mistura de cimento, areia e outros materiais.																												
ENDEREÇO: Rodovia DF 205 Km 2,7 Fercal Sobradinho DF																												



## ANEXO B – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA NATURAL (AN) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência AN  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

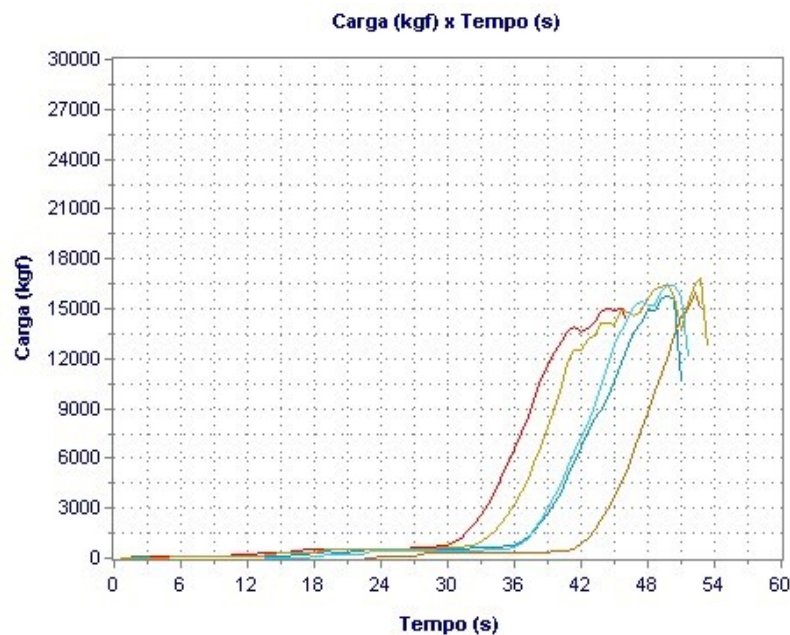
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	19,8 (MPa)	15.840 (kgf)	
02	7	19,1 (MPa)	15.330 (kgf)	
03	7	21,0 (MPa)	16.790 (kgf)	
04	7	20,5 (MPa)	16.380 (kgf)	
05	7	20,5 (MPa)	16.450 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaíos



## ANEXO C - LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA NATURAL (AN) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência AN  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

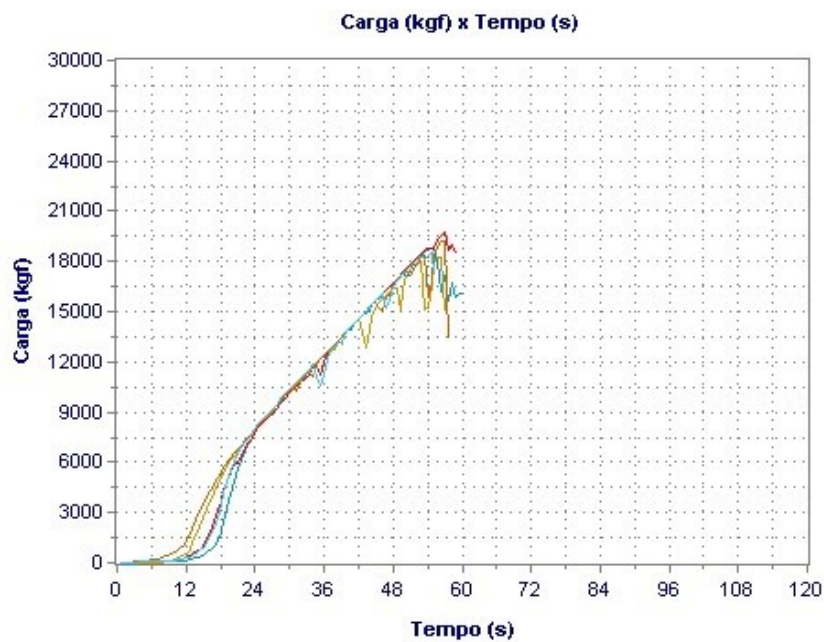
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	20	23,6 (MPa)	18.920 (kgf)	
07	20	24,6 (MPa)	19.740 (kgf)	
08	20	22,9 (MPa)	18.320 (kgf)	
09	20	24,1 (MPa)	19.280 (kgf)	
10	20	23,2 (MPa)	18.580 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaiois



## ANEXO D – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência ABG  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

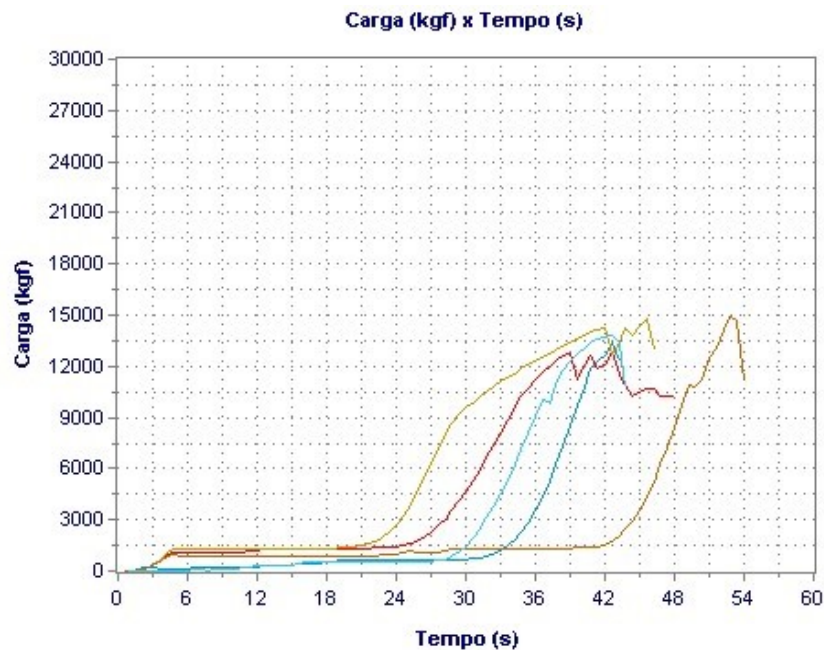
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	17,0 (MPa)	13.600 (kgf)	
02	7	16,0 (MPa)	12.850 (kgf)	
03	7	18,6 (MPa)	14.860 (kgf)	
04	7	18,8 (MPa)	15.070 (kgf)	
05	7	17,2 (MPa)	13.800 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO E – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência ABG  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

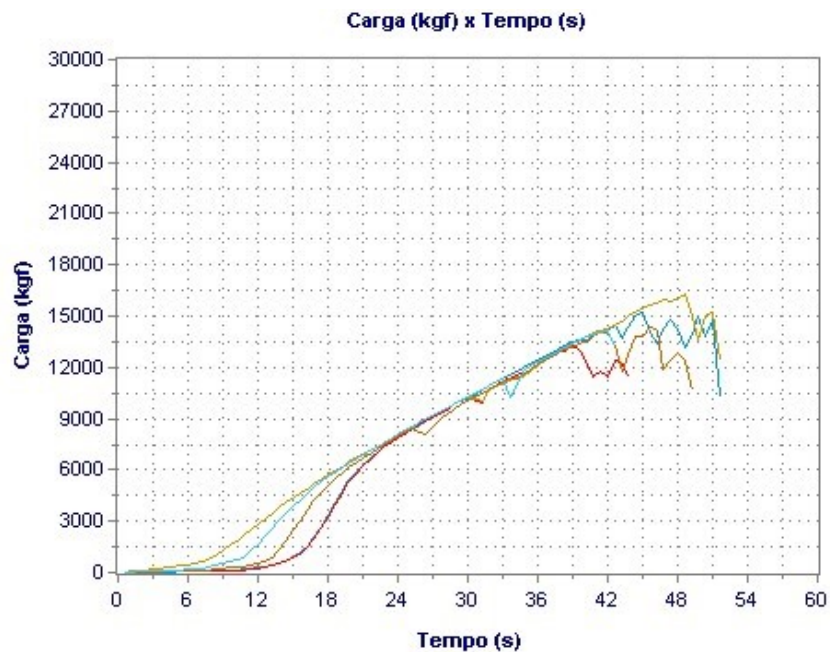
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	20	19,0 (MPa)	15.210 (kgf)	
07	20	16,7 (MPa)	13.400 (kgf)	
08	20	20,5 (MPa)	16.390 (kgf)	
09	20	18,1 (MPa)	14.500 (kgf)	
10	20	17,6 (MPa)	14.100 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios



## ANEXO F – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

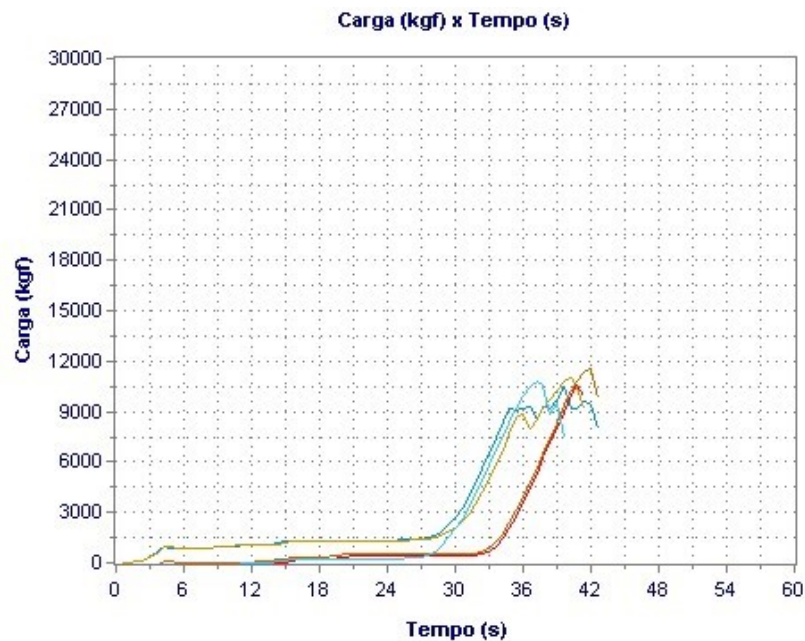
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	13,0 (MPa)	10.440 (kgf)	
02	7	13,7 (MPa)	10.950 (kgf)	
03	7	13,8 (MPa)	11.050 (kgf)	
04	7	14,4 (MPa)	11.550 (kgf)	
05	7	13,5 (MPa)	10.780 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO G – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO REFERÊNCIA DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Referência ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável: 21/09/2018  
 Data de Moldagem:

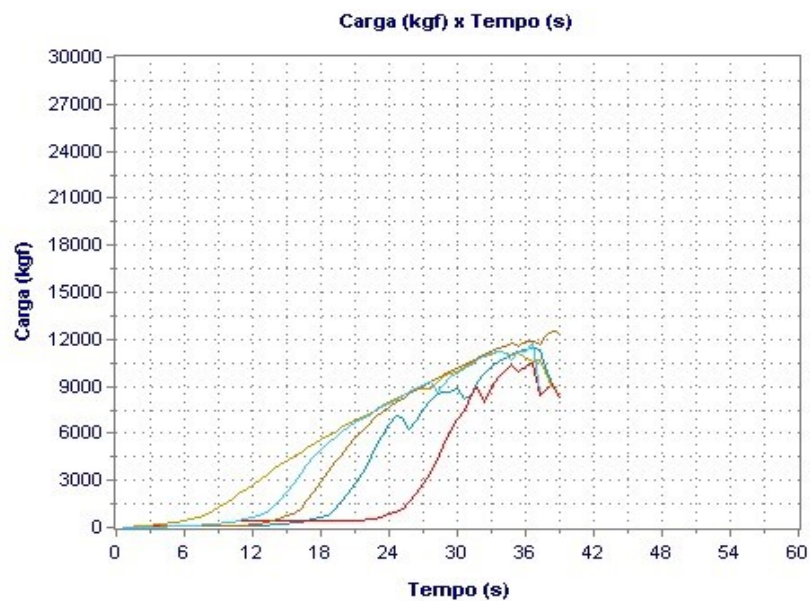
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	20	14,3 (MPa)	11.460 (kgf)	
07	20	13,2 (MPa)	10.560 (kgf)	
08	20	14,0 (MPa)	11.250 (kgf)	
09	20	15,6 (MPa)	12.490 (kgf)	
10	20	14,6 (MPa)	11.730 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO H – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 50% ABG E 50% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

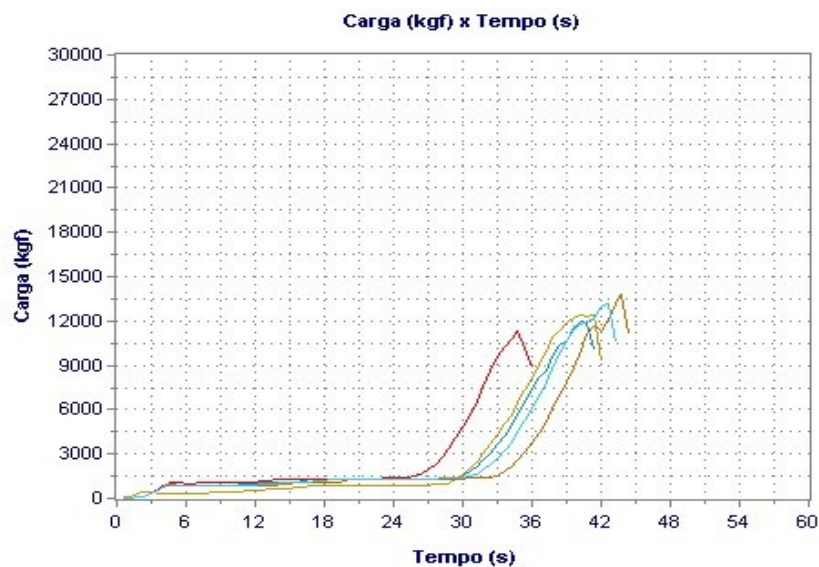
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	15,1 (MPa)	12.120 (kgf)	
02	7	14,1 (MPa)	11.280 (kgf)	
03	7	15,7 (MPa)	12.560 (kgf)	
04	7	17,2 (MPa)	13.770 (kgf)	
05	7	16,6 (MPa)	13.300 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO I – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 50% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 50% ABG E 50% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 21/09/2018

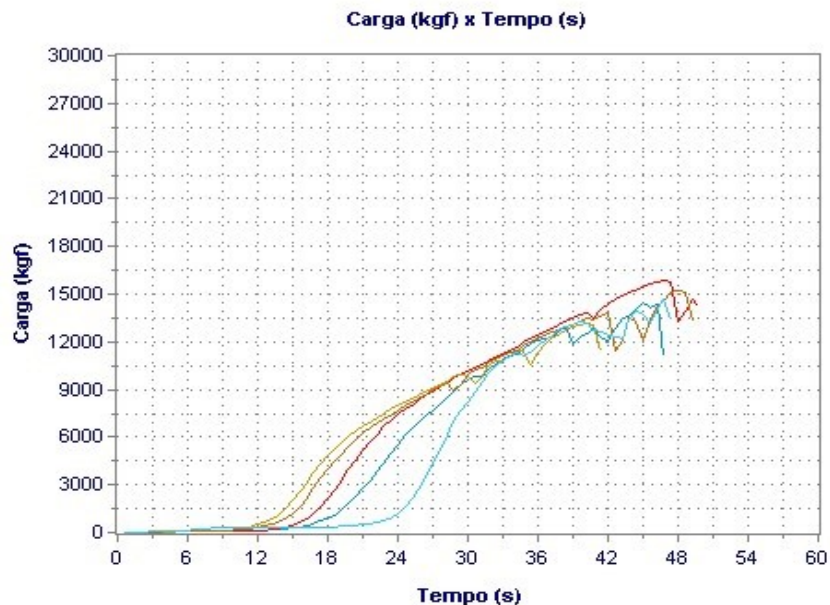
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	20	18,0 (MPa)	14.430 (kgf)	
07	20	19,9 (MPa)	15.910 (kgf)	
08	20	16,4 (MPa)	13.140 (kgf)	
09	20	19,1 (MPa)	15.260 (kgf)	
10	20	18,5 (MPa)	14.780 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio







## ANEXO K –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 20% ABG E 80% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

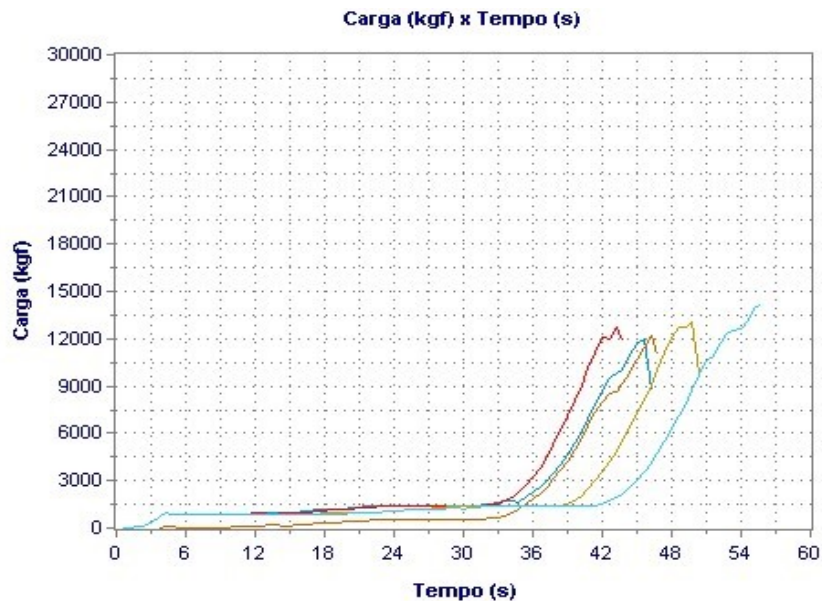
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	15,0 (MPa)	12.020 (kgf)	
02	7	16,3 (MPa)	13.070 (kgf)	
03	7	16,5 (MPa)	13.200 (kgf)	
04	7	15,2 (MPa)	12.200 (kgf)	
05	7	17,8 (MPa)	14.220 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO L –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 20% ABG E 80% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

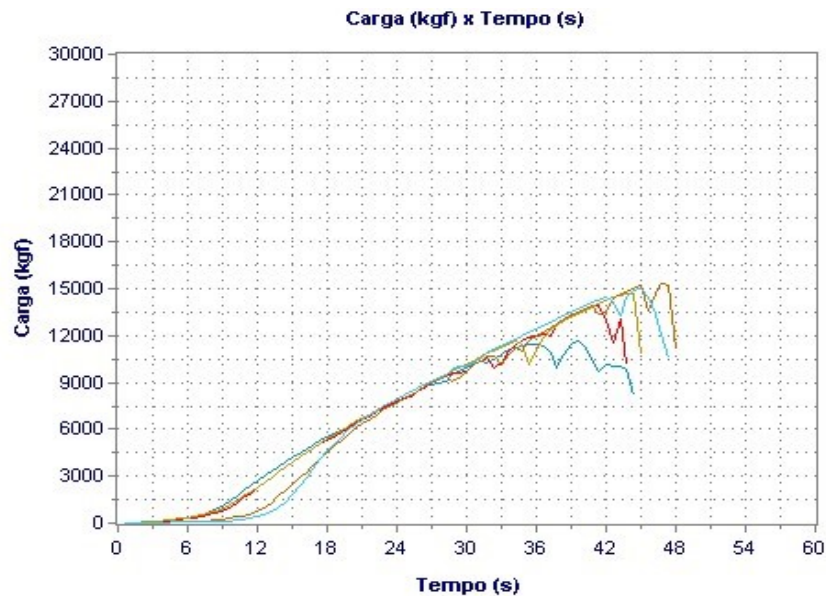
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	21	14,5 (MPa)	11.620 (kgf)	
07	21	17,5 (MPa)	13.980 (kgf)	
08	21	18,4 (MPa)	14.730 (kgf)	
09	21	19,2 (MPa)	15.350 (kgf)	
10	21	18,7 (MPa)	14.980 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



**ANEXO M –LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS**



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

**Dados Cadastrais da Amostra**

Amostra: 40% ABG E 60% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

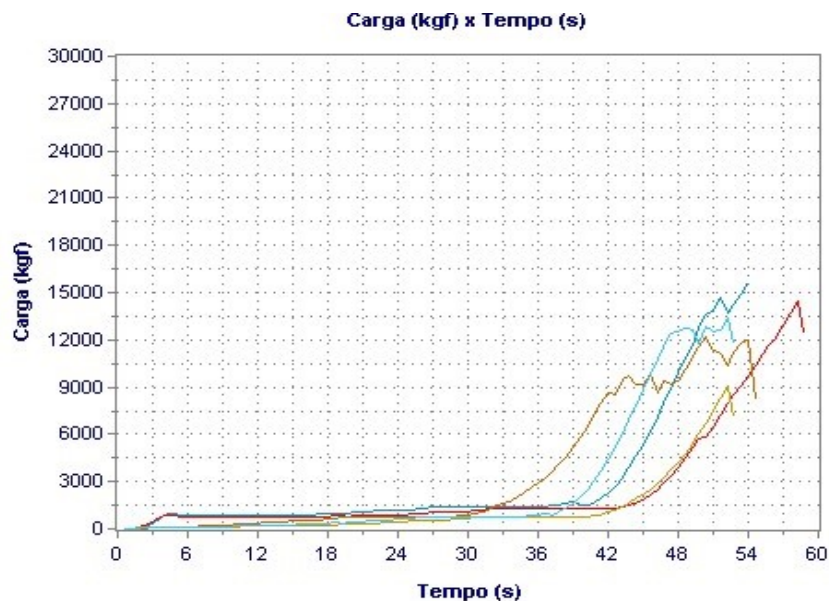
**Dados Complementares**

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

**Dados dos Corpos de Prova**

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	19,6 (MPa)	15.660 (kgf)	
02	7	18,3 (MPa)	14.620 (kgf)	
03	7	11,3 (MPa)	9.050 (kgf)	
04	7	15,2 (MPa)	12.150 (kgf)	
05	7	16,8 (MPa)	13.430 (kgf)	

**Gráfico dos Ensaio**



## ANEXO N – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 40% ABG E 60% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

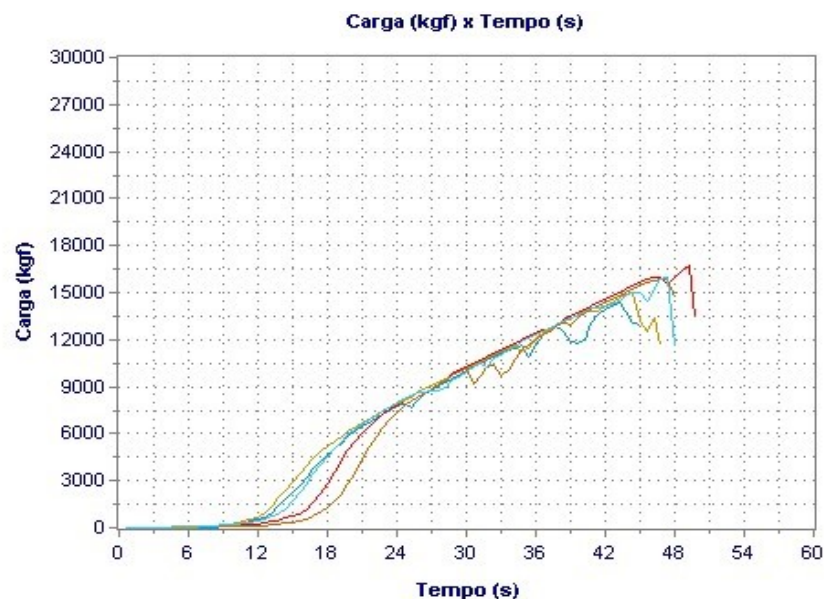
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	21	18,0 (MPa)	14.450 (kgf)	
07	21	20,9 (MPa)	16.720 (kgf)	
08	21	18,7 (MPa)	14.950 (kgf)	
09	21	19,8 (MPa)	15.890 (kgf)	
10	21	19,9 (MPa)	15.940 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO O – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 60% ABG E 40% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

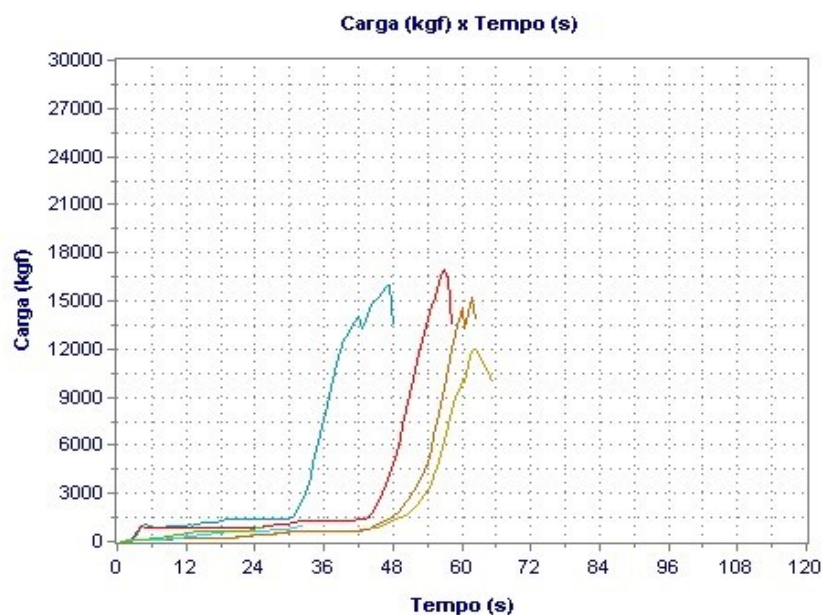
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	19,9 (MPa)	15.970 (kgf)	
02	7	21,1 (MPa)	16.910 (kgf)	
03	7	15,3 (MPa)	12.270 (kgf)	
04	7	19,1 (MPa)	15.320 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO P – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 60% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 40% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 60% ABG E 40% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

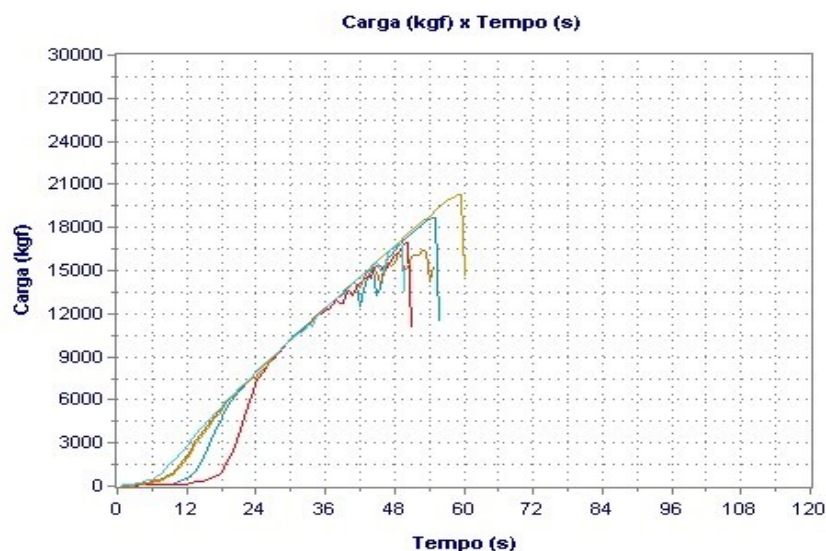
### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	21	23,4 (MPa)	18.740 (kgf)	
07	21	21,1 (MPa)	16.910 (kgf)	
08	21	25,4 (MPa)	20.330 (kgf)	
09	21	20,4 (MPa)	16.350 (kgf)	
10	21	21,0 (MPa)	16.850 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio



## ANEXO Q – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 80% ABG E 20% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	7	21,7 (MPa)	17.400 (kgf)	
02	7	20,2 (MPa)	16.190 (kgf)	
03	7	19,3 (MPa)	15.430 (kgf)	
04	7	19,8 (MPa)	15.860 (kgf)	
05	7	19,0 (MPa)	15.220 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaio





## ANEXO R – LAUDO DE ROMPIMENTO PARA O TRAÇO 80% DE AREIA DE BRITAGEM DE GNAISSE (ABG) E 20% DE AREIA DE BRITAGEM DE QUARTZO (ABQ) AOS 21 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: 80% ABG E 20% ABQ  
 Tipo de ensaio: Compressão Axial  
 Cliente:  
 Responsável:  
 Data de Moldagem: 25/09/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
 Distância fixação extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
06	21	25,9 (MPa)	20.770 (kgf)	
07	21	28,7 (MPa)	23.010 (kgf)	
08	21	25,0 (MPa)	20.000 (kgf)	
09	21	26,6 (MPa)	21.330 (kgf)	
10	21	27,2 (MPa)	21.750 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

