

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
LUCAS MILLER OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO**

FORMIGA-MG

2018

LUCAS MILLER OLIVEIRA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Formiga - UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. D.r Tiago de Moraes Faria Novaes.

FORMIGA-MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

O48 Oliveira, Lucas Miller.
Análise da influência da utilização de areia industrial na resistência à
compressão em peças de concreto / Lucas Miller Oliveira.– 2018.
57 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Concreto. 2. Areia. 3. Resistência. I. Título.

CDD 624.1834

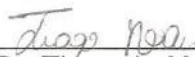
Catálogo elaborado na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Lucas Miller Oliveira

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM
PEÇAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário de Formiga -
UNIFOR-MG, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof. D.r Tiago de Moraes Faria Novais
Orientador



Prof. D.r Paulo José Silva
UNIFOR-MG



Eng. Tiago da Silva Vieira
Engenharia Civil

Formiga, 07 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer a todas as pessoas que, de algum modo, nos momentos serenos e, ou, apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida.

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar a chance de viver momentos tão intensos, me fortificando para que eu pudesse ir além dos meus limites.

Ao meu querido pai, Joel da Cruz, que em nenhum momento mediu esforços para fazer deste sonho realidade. Obrigada pelas palavras de incentivo, pela relação de carinho e amor.

À minha mãe Luisa Maria, pelos ensinamentos de toda a vida, esses que fundamentaram o que hoje sou. Obrigado pelo seu carinho e imenso amor de mãe. Obrigado pelas orações e apoio.

Aos meus irmãos Guilherme e Raissa, que sempre me apoiaram tanto durante esses cinco anos. Sua presença significou confiança.

À minha namorada Ana Elisa, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigado pelo incentivo, paciência e companheirismo.

A todos meus colegas de sala, em especial Felipe, Brenner, Leandro e Igor que se dispuseram a me ajudar na realização deste trabalho a todo momento.

Por fim, agradeço imensamente a todos os professores que passaram pela minha formação e que foram os grandes construtores do meu conhecimento, em especial ao professor Tiago de Moraes, pela ajuda prestimosa, paciência e carinho que sempre me acolheu.

E a todos aqueles, que acreditaram em mim, e contribuíram para a realização deste sonho, meu sincero muito obrigado.

RESUMO

O concreto, sendo um dos materiais mais utilizados no mundo, faz com que a busca por novos materiais que irão impactar menos o meio ambiente vem sendo cada vez mais necessário. Uma solução é a utilização da areia industrial, que é proveniente do rejeito do processo de britagem da rocha Gnáissica, através desta utilização reduzir-se-á o acúmulo de materiais em depósitos. Com isso foram feitos concretos com diferentes teores de substituição, nas proporções de 100% areia natural e 0% areia industrial e, a cada traço, foi acrescentando 10% de areia industrial e diminuindo a mesma porcentagem de areia natural. O resultado obtido através do ensaio de resistência à compressão axial simples demonstrou que a areia natural apresentou maior resistência do que a areia industrial, mas, mesmo assim, ambas atingiram a resistência mínima adotada de 20 MPa. Foi feito um comparativo financeiro entre as duas areias sobre 1m³ de concreto, para que fosse analisado qual seria mais viável, com todo o levantamento feito a areia natural teve um menor custo, na qual se pode dizer que tanto na resistência ou no custo à areia natural seria mais viável do que a areia industrial.

Palavras-chave: Concreto. Areia. Resistência.

ABSTRACT

Concrete, being one of the most used materials in the world, makes the search for new materials that will impact less the environment becoming more and more necessary. One solution is the use of industrial sand, which comes from the tailings of the crushing process of gnaissicrocks, through this use will reduce the accumulation of materials in tanks. Concrete was made with different levels of substitution in the proportions of 100% natural sand and 0% industrial sand and, with each trait, was added 10% of industrial sand and reducing the same percentage of natural sand. The results obtained by the simple axial compression *test* demonstrated that the natural sand presented higher resistance than the industrial sand but, even so, both reached the adopted minimum resistance of 20 MPa. A financial comparison was made between the two sands on 1m³ of concrete, so that it could be analyzed which would be more viable, with all the survey made the natural sand had a lower cost, in which it can be said that both in the resistance or the cost the sand would be more viable than industrial sand.

Keywords: Concrete. Sand. Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de execução do Slump Test.	17
Figura 2 - Influência da cura úmida na resistência.	21
Figura 3 - Mecanismo de ruptura à compressão.	22
Figura 4 - Os dois tipos de corpos de provas mais utilizados.	23
Figura 5 - Esquema do aparelho de Victac.	28
Figura 6 - Mesa cadente para ensaio de consistência.	30
Figura 7 - Evolução média da resistência à compressão dos tipos de cimento Portland.	31
Figura 8 - A - Areia Industrial e B - Areia Natural	40
Figura 9 - Mistura manual do material para confecção dos corpos-de-prova. ..	42
Figura 10 - Realização do teste de abatimento do tronco de cone (slump test)	43
Figura 11 - Adensamento manual do concreto para confecção dos corpos de prova.	44
Figura 12 - Retirada dos moldes dos corpos de prova.	45
Figura 13 - Cura dos corpos de prova com diferentes porcentagens de substituição de areia natural por areia artificial em tanque com água.	46
Figura 14 – Rompimento dos corpos de prova.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tolerância admissíveis no abatimento definidas pela NBR NM 67 (1998).....	17
Tabela 2 - Tipos de cimento Portland e suas referidas normas ABNT	27
Tabela 3 - Principais compostos químicos do clínquer.....	29
Tabela 4 -Principais utilizações dos agregados	32
Tabela 5 - Densidade Aparentes Médias	33
Tabela 6 - Limites na distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	34
Tabela 7 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	36
Tabela 8 - Levantamento financeiro dos materiais	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – A variação das porcentagens dos agregados.....	43
Quadro 2 - A variação das porcentagens dos agregados	50
Gráfico 1 – Resistência à compressão dos corpos de prova.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO GERAL	13
2.1	Objetivos Específicos.....	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1	Concreto	15
4.1.1	Propriedades do concreto fresco.....	15
4.1.1.1	Consistência	16
4.1.1.2	Plasticidade	17
4.1.1.3	Trabalhabilidade.....	18
4.1.1.4	Exsudação	19
4.1.2	Cura do concreto	19
4.1.3	Resistência à compressão.....	21
4.1.4	Métodos de Dosagem.....	24
4.2	Cimento <i>Portland</i>	25
4.2.1	Propriedades físicas.....	27
4.2.2	Propriedades químicas	28
4.2.3	Resistência.....	30
4.3	Agregados	31
4.3.1	Agregado Graúdo	33
4.3.2	Agregado miúdo – Areia Natural	35
4.3.3	Agregado miúdo – Areia Industrial	36
4.3.4	Impacto Ambiental.....	37
4.4	Água.....	38
5	MATERIAIS E MÉTODO	39
5.1	Materiais empregados	39
5.2	Métodos de dosagem	40
5.3	<i>Slump test</i>	43
5.4	Moldagem e cura dos corpos-de-prova	44
5.5	Custos.....	47
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1	Análise do concreto no estado fresco	49

6.2	Resistência à compressão axial simples.....	49
6.3	Comparativo financeiro.....	54
7	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores causadores de degradação ambiental. É um dos motivos para tal é a emissão de gases poluentes provindos da queima e da extração de recursos naturais para suprir a produção de cimento, a extração e transporte dos agregados, onde a degradação é elevada pelo fato de ser necessário o desmatamento para que possa se fazer a extração dos materiais. Dado este fato, crescente é o número de pesquisas sobre a utilização de materiais alternativos neste setor, objetivando processos produtivos menos impactantes a fim de dar uma melhor destinação aos resíduos gerados dentro da própria construção.

Assim, a utilização de resíduos da própria construção civil, ou até mesmo de outros setores produtivos, surgiu com o intuito de diminuir a extração de novos recursos naturais para confecção do concreto. Muitos tipos de resíduos já foram estudados, tendo em vista a alteração e melhoria das propriedades físicas mecânicas do concreto. É um dos principais motivos para a procura de novos materiais é que a extração de materiais essenciais como a brita e areia, fica mais difícil a cada dia, pela diminuição da matéria prima e por muitas das vezes o local de extração ficar longe de grandes centros e a busca por novos materiais se faz cada dia mais necessária.

Os estudos desenvolvidos nos últimos anos têm mostrado algumas das principais preocupações dos pesquisadores da construção civil, a busca de materiais alternativos e a reciclagem de resíduos industriais para diminuir o uso de recursos naturais, evitando, assim, a degradação do meio ambiente.

E com isso este trabalho tem o intuito de analisar a viabilidade da utilização de areia industrial em substituição à areia natural, sendo analisada a resistência à compressão axial simples e o custo financeiro, na qual poderá se verificar qual agregado é mais viável em ambos.

2 OBJETIVO GERAL

Analisar a variação da resistência à compressão simples em corpos de prova de concreto confeccionados com areia comum e com areia industrial.

2.1 Objetivos específicos

Propõem-se, no presente trabalho, os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as características físicas e granulométricas de uma areia industrial;
- Promover um comparativo de custos em relação à utilização dos dois tipos de agregados;
- Analisar a aplicabilidade da areia industrial segundo diferentes aplicações e normas nacionais.

3 JUSTIFICATIVA

Embora pareça um material criado recentemente, a areia de britagem (como é chamada popularmente), já possui uma história de 40 anos no Brasil, sendo que seu grande avanço ocorreu nos últimos dez anos (OHASHI, 2006).

Três grandes aspectos justificam o objetivo desta pesquisa: a conservação do meio-ambiente, o qual atualmente sofre grandes danos pela extração da areia natural; a viabilidade técnica, afim revelar quais os resultados, quais as resistências são características do concreto de areia artificial, e a viabilidade econômica, que atualmente pela utilização de areia artificial não agrega grandes custos em sua produção, podendo assim ter preço mais baixo que areia natural, no mercado da construção civil.

O estudo em questão parte da preocupação com o meio ambiente, ou seja, o impacto ambiental gerado pela extração da areia natural. Sabe-se que esta atividade pode, ao longo do tempo, provocar o assoreamento dos rios e lagos, jazidas naturais de areia. Afetando diretamente o ecossistema, e até mesmo a biodiversidade das espécies. A busca por novos materiais com melhor desempenho e que, durante seu processo, tenham uma menor degradação ambiental, se faz a cada dia necessária, pois a construção civil é uma das áreas que mais degrada o meio ambiente e a busca dessas novas tecnologias que proporciona fazer o reaproveitamento de materiais que antes erram jogados fora, cada dia ganha mais força e as empresas investem em novas pesquisas buscando um melhor aproveitamento de todos os materiais.

Com os avanços das tecnologias do concreto, os estudos dos agregados que compõe o traço vêm se tornando cada vez mais necessários. Os agregados são responsáveis pela determinação do custo e trabalhabilidade do concreto. Por isso os estudos sobre a areia de britagem para empresas do ramo da construção civil tornam-se essenciais.

A areia industrial tem como vantagem seu beneficiamento, possibilitando ter uma granulométrica homogênea, acarretando em traços semelhantes. E a areia natural já possui agregados de superfície lisa, fazendo que o concreto tenha menor resistência à tração (COSTA, 2005). Tendo um grande papel ambiental, fabricada através do beneficiamento de agregados graúdos que não teriam outro destino,

sendo jogados em bota-fora, ocasionando ocupações de terras para seu armazenamento, viram uma forma de substituir à areia natural e ajudando o meio ambiente.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Concreto

Visto que o concreto é um material muito utilizado na construção civil, obtido através da mistura dos agregados miúdos (areia), agregados graúdos (pedra britada), cimento e água (aglomerantes), podendo-se adicionar aditivos que influenciam no desempenho (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Com a grande influência do concreto de cimento *Portland*, tem se desenvolvido diversas pesquisas, com o intuito de aperfeiçoar a resistência mecânica e a durabilidade, na qual podemos dizer que são as duas propriedades de maior relevância do concreto de cimento *Portland*(RIBOLI, 2012).

De acordo com Frazão *et al.* (2007), os agregados são utilizados no concreto tanto por razões técnicas quanto econômicas, e suas funções no concreto são:

- Contribuir para que os grãos resistam aos esforços solicitantes e com intempéries;
- Reduzir as variações de volume;
- Reduzir custos do concreto.

Contudo, para que os agregados cumpram com suas funções no concreto, necessitam apresentar no geral, algumas características:

- Ter uma boa distribuição granulométrica, para permitir uma boa compacidade do concreto;
- De forma granular ligados entre si;
- Adequada resistência mecânica;
- Adequada composição mineralógica;
- Ausência de impurezas que possam diminuir a durabilidade do concreto;
- Propriedades térmicas dentro dos limites, de forma que não causem, durante o endurecimento da mistura, anisotropias físicas nefastas.

4.1.1 Propriedades do concreto fresco

Quando se está na fase de projeto, são estabelecidos diversos parâmetros para atender às necessidades de estabilidade e durabilidade dos concretos no seu estado endurecido. No entanto, para que se atinja esses parâmetros, a execução

dos elementos estruturais deve atender a certas propriedades. O concreto no estado fresco deve possuir uma trabalhabilidade que possibilite o transporte, o lançamento, o adensamento e o acabamento sem perder a homogeneidade. Para isto, o concreto no estado fresco deve se preservar, ao longo de certas etapas, com fluidez e coesão mínimas, de acordo com as condições de lançamento do concreto. A fluidez é a facilidade de mobilidade e a coesão é a resistência à exsudação e à segregação. Sendo que as principais propriedades do concreto no estado fresco são: consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade (VIEIRO, 2010).

4.1.1.1 Consistência

A primeira propriedade do concreto fresco que deve ser considerada é a sua consistência. Corresponde a maior ou menor capacidade que o concreto fresco tem de se deformar, relacionando-se ao processo de transporte, lançamento e adensamento do concreto (CARVALHO; FILHO, 2016).

Segundo Vieiro (2010), a consistência é determinada através do grau de fluidez do concreto no estado fresco, tratando-se da mobilidade da massa. Sendo que a relação entre a água e os agregados secos é o fator que mais influência na consistência.

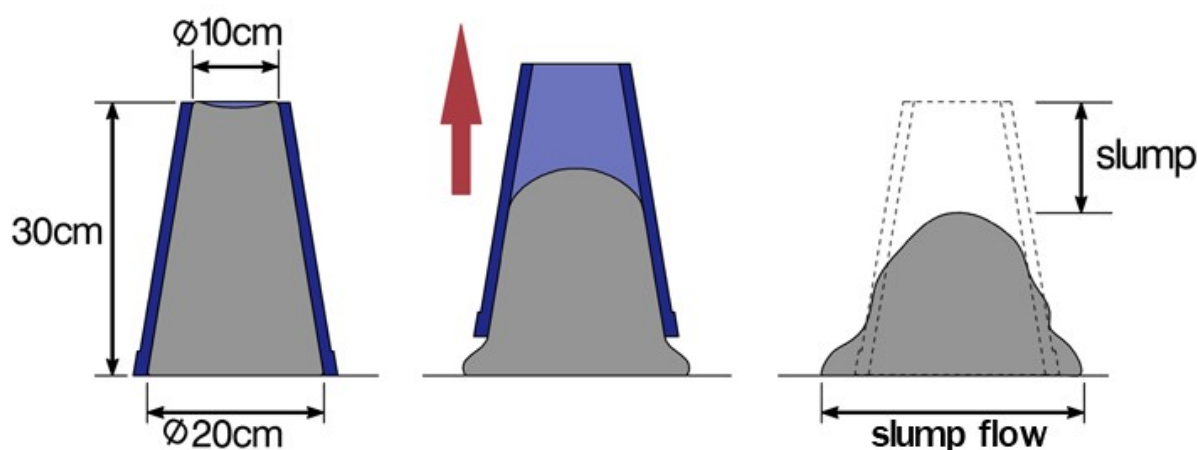
Nos concretos que apresentam uma alta taxa de armadura deve-se empregar concretos com menor consistência, pois apresentam maior dificuldade de adensamento. Na ocorrência de menor quantidade de armadura nas peças, é preferível utilizar concretos com maior consistência e com menor quantidade de água. No caso de peças inclinadas como escadas e sapatas, o concreto deve ter menor consistência para que garanta a forma adequada das peças (CARVALHO; FILHO, 2016).

Segundo a NBR NM 67 (1998), o molde para o corpo-de-prova deve ser feito de metal e com espessura igual ou superior a 1,5 mm, seu interior deve ser liso e livre de protuberâncias. O molde deve ter forma de um tronco de cone oco, e com as seguintes dimensões internas:

- Diâmetro da base inferior: 200 mm \pm 2 mm;
- Diâmetro da base superior: 100 mm \pm 2 mm;
- Altura: 300 mm \pm 2 mm.

De acordo com Viero (2010), para a verificação da consistência é utilizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, mais conhecido como *Slump Test*, sendo um dos mais utilizados no Brasil, devido a sua facilidade de execução. Isaia (2007) completa que, nos concretos especiais como, por exemplo, os concretos usinados ou bombeados, as características para a trabalhabilidade não dependerão só do abatimento, mas também do diâmetro máximo do agregado graúdo, do consumo de cimento e do teor de argamassa. A FIG. 1 abaixo mostra o método de ensaio definido pela normalização brasileira para determinação da consistência do concreto fresco através do abatimento de cone.

Figura 1 - Esquema de execução do *Slump Test*



Fonte: TEODORO (2013).

Segundo Teodoro (2013), Para a execução do *Slump Test* é feito a coleta da amostra de concreto, colocar a fôrma tronco-cônica sobre uma placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone, em seguida o tronco é preenchido em três camadas de cada camada é golpeada 25 vezes por uma haste, após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto, alisar a superfície com uma régua metálica e em seguida retirar o cone, com a retirada do molde é feita a medição do abatimento que consiste na distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto moldado. A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade, a TAB. 1, mostra as tolerâncias admissíveis no abatimento.

Tabela 1 - Tolerâncias admissíveis no abatimento definidas pela NBR NM 67 (1998)

ABATIMENTO (MM)	TOLERÂNCIA (MM)
de 10 a 90	± 10
de 100 a 150	± 20
acima de 160	± 30

Fonte: (ISAIA, 2007).

4.1.1.2 Plasticidade

De acordo com Viero (2010), é definida através da facilidade de moldagem do concreto fresco sem sofrer o rompimento. Tendo que ser analisado a consistência e o grau de coesão dos materiais utilizados, sendo que quando não há existência de coesão entre os materiais eles se separam, sucedendo a segregação.

Segundo CINCOTTO *et al.* (1995), a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação após a redução do esforço a que foi submetida, sendo influenciada pelo teor de ar, natureza, aglomerante e pela intensidade da mistura das argamassas. A plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade que, em termos práticos, significa a facilidade de manuseio por parte do operário que a prepara e a aplica.

4.1.1.3 Trabalhabilidade

É definido pela ASTM C-125(2007) que a trabalhabilidade do concreto é a propriedade que define o esforço necessário para se manipular uma quantidade de concreto fresco, para que aja uma mínima perda de homogeneidade.

De acordo com Carvalho e Filho (2016), um concreto com *slump* alto é, em tese, fácil de ser lançado e adensado, o que o torna de boa trabalhabilidade. Assim como a consistência, a trabalhabilidade está relacionada com a granulometria dos agregados e dos aditivos, sendo o principal fator água/cimento. (Relação entre a quantidade de água e a quantidade de cimento usada na mistura do concreto).

A trabalhabilidade do concreto terá de ser adaptável de acordo com as dimensões da parte que será concretada, juntamente com a distribuição das

armaduras e o lançamento e o adensamento que será utilizado (NBR 6118, 2014).

PETRUCCI (1998) define que existem dois fatores que influenciam na trabalhabilidade:

Fatores internos:

- Consistência, determinada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- Proporção entre cimento e agregado, conhecido com traço;
- Proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde a granulometria do concreto;
- Formato dos grãos dos agregados, sendo relacionado de acordo com a obtenção dos agregados, natural ou artificial;
- Aditivos plastificantes.

Fatores externos:

- De acordo com a mistura: manual ou mecânica;
- Tipo de transporte;
- Conforme o lançamento;
- Tipo de adensamento;
- Dimensões e armadura dos elementos.

4.1.1.4 Exsudação

A exsudação acontece quando parte da água do concreto se separa, tendendo a subir para a superfície, pois de todos os constituintes a água é a que possui menor massa específica e os métodos impróprios de adensamento também podem provocar a segregação do concreto. A exsudação pode causar o enfraquecimento entre a ligação pasta agregado e pasta armadura, também, pode aumentar a permeabilidade e a formação de nata na superfície dos elementos (BAUER, 2012).

4.1.2 Cura do concreto

Em relação ao objetivo de obtenção de um concreto de alta qualidade, o lançamento do concreto deve ser seguido pela cura em um ambiente adequado durante os primeiros estágios de endurecimento. Cura é a designação dada aos processos usados para promover a hidratação do cimento e, dessa forma, o desenvolvimento da sua resistência. A cura tem um processo que consiste em controlar a temperatura e o movimento da água que está dentro para fora do concreto e assim vice-versa, sendo que afeta a resistência do concreto, e também a durabilidade (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A água utilizada no concreto não é empregada totalmente nas reações químicas, sendo que parte dela controla o calor gerado na reação de hidratação. Assim sendo é recomendado avaliar qual é a melhor cura do concreto sobre temperaturas baixas ou altas, as temperaturas altas beneficiam o concreto, pois aceleram o processo de ganho de resistência (CARVALHO; FILHO, 2016).

No caso de peças usuais, pode-se tomar precauções para que não ocorra a retração, umas delas é molhar constantemente as faces das fôrmas de madeira, antes da concretagem, o que evita a secagem das mesmas, outro processo importante é molhar as superfícies aparentes do concreto. Em lajes e pisos pode-se colocar materiais que deixem a superfície por mais tempo encharcada, podendo ser serragem, esponjas ou outros materiais. Outro procedimento é a cura a vapor, que conserva o ambiente por mais tempo saturado e com temperatura elevada, o que acelera o ganho de resistência da peça, esse processo é indicado principalmente para peças pré-moldadas (CARVALHO; FILHO, 2016).

De acordo com a ABNT NBR 14931 (2004), o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, para que evite a perda de água pela superfície exposta do concreto, assegurando-se que tenha uma superfície com resistência adequada, possibilitando a geração de uma capa superficial durável.

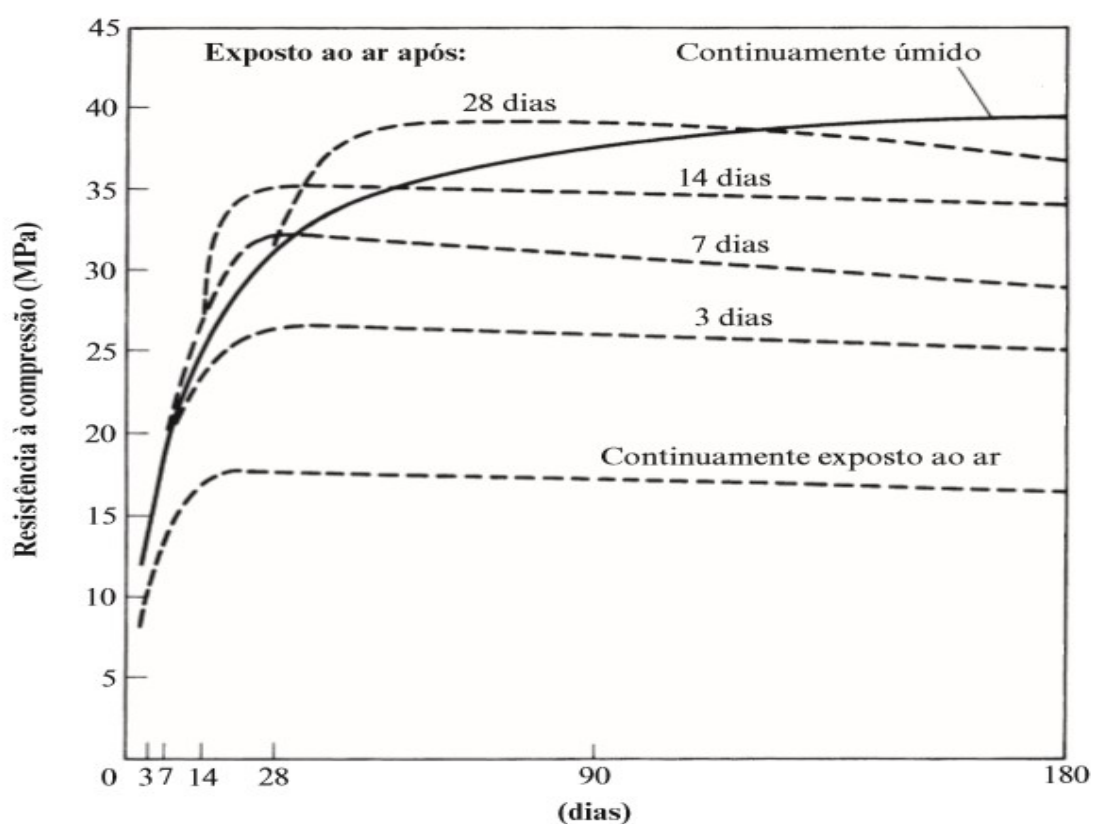
Os fatores mais comuns que podem prejudicar o concreto em seus primeiros dias são: “mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura” (ABNT NBR 14931, 2004).

A cura do concreto é feita após o adensamento, devendo-se observar vários

parâmetros que influenciam em evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, fazendo uma reação de hidratação da mistura. A cura evita o fenômeno de retração, sendo responsável pelo surgimento de fissuras e trincas. De acordo com a Norma Brasileira NB-1 – Projeto e execução de obras de concreto armado deve-se fazer um processo de proteção nos sete primeiros dias, contando a partir do lançamento, sendo feita uma irrigação contínua na superfície do concreto, outro processo é a submersão que é uma lâmina d'água sobre a peça concretada, ou recobrando a superfície com plásticos e similares (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

No caso de concretos aplicados em canteiros, a cura quase sempre cessa bem antes de atingir a máxima hidratação possível. A influência da cura úmida na resistência pode ser verificada na FIG. 2, sendo que as resistências à tração e à compressão são afetadas de maneira similar (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Figura 2 - Influência da cura úmida na resistência



Fonte: (NEVILLE e BROOKS, 2013).

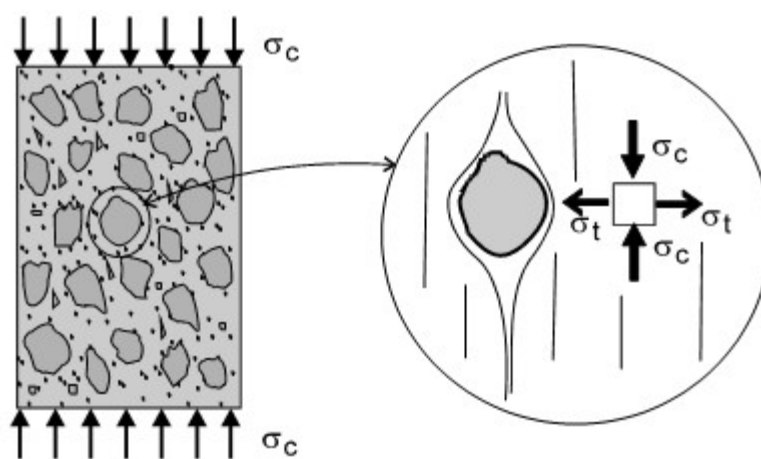
4.1.3 Resistência à compressão

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

Nos sólidos há uma relação fundamental contrária entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Conseqüentemente, no concreto, por se tratar de um material que tem várias fases, a porosidade de cada componente pode tornar-se fator limitante da resistência. Na utilização de agregados naturais nos concretos que geralmente são densos e resistentes, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecida, assim como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo é que influenciam essa propriedade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De acordo com Fusco (2008), os concretos de baixa ou média resistência, melhor dizendo, tendo resistência até 40 MPa, quando ocorre ruptura por compressão longitudinal do concreto, sofre ruptura transversal de tração. A FIG. 3 mostra o mecanismo de ruptura à compressão.

Figura 3 - Mecanismo de ruptura à compressão



Fonte: Fusco (2008).

Os grãos do agregado graúdo são mais rígidos e mais resistentes que a matriz de argamassas, embora no entorno dos agregados ocorram tensões transversais de tração, sendo que a compressão longitudinal aplicada fora é perpendicular ao campo. Como consequência é uma fissuração generalizada,

aparecendo fissuras direcionadas segundo o campo de compressão, podendo haver desagregação da estrutura interna do material (FUSCO, 2008).

De acordo com Cabral (2007), a área de interação de maior interesse é aquela que se forma na superfície do agregado graúdo, formando também em volta de partículas de agregado miúdo. Diante disso, sendo menor a espessura da zona, maior os efeitos de superfície que se originam nas partículas menores interferem com aquelas do agregado graúdo, influenciando assim a extensão final do efeito da zona de transição.

AITCIN (2000) diz que a relação água/cimento dos concretos convencionais é traduzida, em termos micro estrutural, sendo porosa em volta do agregado, na qual se observa uma zona de transição de espessura variável e com maior porosidade. As propriedades mecânicas do concreto convencional em sua maioria, na qual a resistência da pasta de cimento hidratado está relacionada, podendo ser relacionada também a proporção água/cimento.

De acordo com Carvalho e Filho (2016), sendo a principal propriedade do concreto a resistência à compressão, na qual é definida pelo ensaio de corpos de prova que são rompidos em compressão central, com isso nesse ensaio conseguiu-se obter outras características, sendo uma delas é o modulo de elasticidade.

A resistência à compressão pode ser obtida pelo ensaio de curta duração do corpo de prova, que é a aplicação de carga de maneira rápida, a qual é dada por:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

Em que:

f_{cj} – resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias;

N_{rup} – carga de ruptura do corpo de prova; e

A – área da seção transversal do corpo de prova.

O corpo de prova cilíndrico mais usado no Brasil tem um diâmetro base de 15 cm e altura de 30 cm, e tendo também corpos com diâmetro base de 10 cm e altura de 20 cm, como mostra a FIG 4. A resistência a compressão do concreto se dá aos 28 dias após a concretagem (ABNT NBR 6118, 2014) e será estimada a partir do ensaio de certa quantidade de corpos de prova. A sua moldagem é especificada pela

ABNT NBR 5738 (2008) e o ensaio deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR 5739 (2007).

Figura 4 - Os dois tipos de corpos de provas mais utilizados



Fonte: <http://www.solocap.com.br>.

4.1.4 Métodos de Dosagem

O concreto é um material de larga aplicação, sendo obtido pela mistura de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos que influenciam no seu desempenho. A fração de seus componentes (dosagem ou traço) deve satisfazer às condições requerida de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais do concreto.

A tecnologia do concreto envolve várias fases. A primeira delas é a definição da dosagem ou traço, atendendo às condições específicas do projeto estrutural. E a segunda é a produção da massa de concreto, podendo ser realizada no canteiro de obras ou em uma central de dosagem (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Deve-se levar em consideração os fatores econômicos e técnicos, bem como os procedimentos para a estimativa das quantidades da mistura, sendo que, em praticamente em todos os casos, a resistência do concreto deve ser considerada. Deve ser levado em consideração para obter o custo real do concreto a relação dos materiais necessários para a produção de uma determinada resistência média, essa resistência é especificada no projeto pelo projetista estrutural. Normalmente a

resistência para fins estruturais é determinada aos 28 dias, sendo que pode ser estabelecida resistência em outras idades.

A variabilidade esperada ou conhecida determina a resistência média. A partir da adoção de técnicas de controle de qualidade, a variabilidade da resistência do concreto pode ser minimizada de modo que uma resistência média menor seja exigida para atender uma determinada resistência de projeto. Entretanto, o custo da implementação e operação de um sistema de controle mais elaborado deve ser verificado em relação à possível economia em cimento resultante de uma menor resistência média (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Segundo Costa (2011), os materiais heterogêneos que constituem os concretos e a complexidade do seu comportamento, no estado fresco quanto no estado endurecido, expõem vários desafios aos responsáveis pela fabricação e utilização do concreto.

O traço pode ser determinado das seguintes maneiras:

- Traço em peso, referido ao kg de cimento, obtendo-se o teor unitário;
- Traço em peso, referido ao saco de cimento;
- Traço em peso, referido ao consumo de cimento para produção em m³ de concreto;
- Traço dos agregados em volume, referido ao kg de cimento;
- Traço em volume, referido ao litro de cimento;
- Traço em volume, referido ao saco de cimento, utilizado comumente em obras;
- Traço em volume, referido à quantidade de cimento por metro cúbico de concreto, utilizado para levantamento de custos.

Segundo a NBR 12655 (2006), a dosagem ou o traço de concreto é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando materiais disponíveis, havendo dois tipos de dosagem: a dosagem empírica e a dosagem experimental.

Dosagem empírica: É a proporção dos materiais definida pela experiência do construtor ou através da utilização de tabelas, sendo que a dosagem empírica só é permitida para concreto da classe C10 – resistência característica a compressão de 10 MPa, portanto o consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico.

Dosagem experimental: Os materiais e o concreto são obtidos primeiramente

em ensaios de laboratório. O principal conceito é estabelecer o traço de concreto com a resistência e a trabalhabilidade exigida. Existem vários tipos de métodos de dosagem que fazem a correlação entre esses parâmetros, os métodos mais conhecidos no Brasil são: método da ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*, método do ACI – *American Concrete Institute*, método do INT – Instituto Nacional de Tecnologia e o método de IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Tratando-se da dosagem experimental, que está diretamente ligada a definição da relação água-cimento, o que depende da resistência de dosagem, das peculiaridades de cada obra e da definição de uma trabalhabilidade compatível, quanto ao material tanto com a execução do concreto (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

4.2 Cimento *Portland*

Segundo a ABCP (2002), o aglomerante mais utilizado na construção civil é o cimento, conhecido mundialmente como cimento *Portland*, caracterizado como um pó fino acinzentado com propriedades aglomerantes, tendo em sua composição silicatos e aluminatos de cálcio, sendo misturado com água e outros materiais se resultam em concreto, tendo grande resistência e uma grande durabilidade. Criado por Joseph Aspdin, um construtor inglês, que o patenteou em 1824 como cimento *Portland*, por ter características parecidas com uma pedra que era usada em construções naquela época no sul da Inglaterra.

O Cimento *Portland* é obtido através da pulverização do *clinker*, sendo sua principal constituição de silicatos hidráulicos de cálcio, adicionando uma proporção de sulfato de cálcio natural, havendo, possivelmente, adições de algumas substâncias que modificam suas propriedades ou colaboram com seu emprego (BAUER, 2012).

De acordo com Costa (2005), o *clinker* é o principal componente do cimento *Portland* e pode ter adições como o calcário e a argila. Quando em contato com a água reage quimicamente, tornando-se primeiramente pastoso e, depois de endurecido, tem sua resistência e durabilidade elevada. As matérias-primas utilizadas para adquirir diferentes tipos de cimento *Portland* podem ser exemplificadas com o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânico e os materiais carbonáticos, os quais são misturados ao *clinker* na etapa de moagem

permitindo a fabricação dos diversos tipos de cimentos.

Os tipos de cimento *Portland* mais comuns definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT são:

- Cimento *Portland* comum – CP I;
- Cimento *Portland* composto – CP II (contém adição de escória, pozolana e fíler);
- Cimento *Portland* de alto forno – CP III (contém adição de escória de alto forno, tendo um baixo calor de hidratação);
- Cimento *Portland* Pozolânico – CP IV (contém adição de pozolana tendo um baixo calor de hidratação)
- Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial – CP V (contém silicato tricálcico (C3S) em maior quantidade que provoca alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

A TAB. 2 mostra os diferentes tipos de cimento *Portland*, adições, siglas e as normas da ABNT que especificam cada tipo de cimento.

Tabela 2 - Tipos de cimento *Portland* e suas referidas normas ABNT

TIPO DE CIMENTO	ADIÇÕES	SIGLA	NORMA
Cimento <i>Portland</i> Comum	Escória, pozolana ou fíler (até 5%)	CP I-S 32	NBR 5732(1991)
		CP I-S 40	
Cimento <i>Portland</i> Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32	NBR 11578 (1991)
		CP II-E 40	
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Fíler (6-10%)	CP II-F 32	
CP II-F 40			
Cimento <i>Portland</i> de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III-E 32	NBR 5735 (1991)
		CP III-E 40	
Cimento <i>Portland</i> Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	NBR 5736 (1991)
Cimento <i>Portland</i> de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	NBR 5733 (1991)

Fonte: Adaptado de ABCP (2018).

4.2.1 Propriedades físicas

Segundo Bauer (2012), as propriedades físicas do cimento *Portland* devem ser consideradas em três aspectos: suas propriedades em condições naturais, a mistura de cimentos e água, e a mistura da pasta com os agregados. As propriedades da pasta e da argamassa devem ser analisadas quando estiverem em uso, para que seja analisada a eficiência da produção das argamassas e concretos.

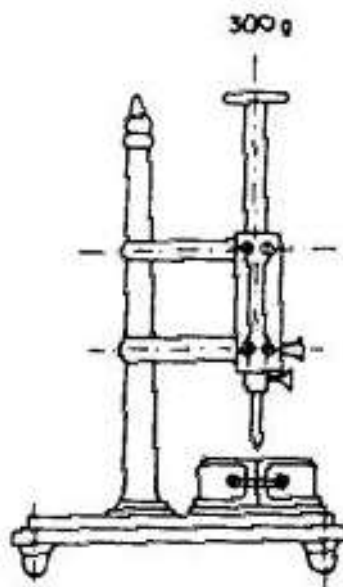
Finura: A granulometria do cimento é estabelecida no processo de fabricação, e está correlacionada ao tamanho dos seus grãos, sendo medida em laboratório utilizando-se a peneira ABNT 0,075 mm. O aumento da finura melhora a resistência, principalmente a resistência da primeira idade, o que diminui a exsudação, que é o fenômeno que consiste na separação espontânea da água de mistura que ocorre pela diferença de densidades entre o cimento e a água e o grau de permeabilidade que prevalece na pasta (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Exsudação: Segundo Bauer (2012), isso ocorre pela diferença de densidade entre os grãos de cimento e a água, que sofrem ação da gravidade e são forçados a sedimentar quando possível, ocasionando a emersão da água expulsando-a da parte inferior. Esta segregação é indesejável, interferindo na uniformidade, na resistência e na durabilidade dos concretos.

Tempo de pega: São dois tipos períodos de tempo de pega, o início se dá pelo tempo gasto para união da água com o cimento *Portland*, ocorrendo a perda parcial da plasticidade, e o fim, é o tempo essencial para a pasta consiga adquirir resistência a uma certa pressão (Muniz, 2008).

De acordo com a NBR NM 65:2002, tempo de início de pega é realizado em ensaios normalizados. O intervalo de tempo necessário desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de $(4,0 \pm 1,0)$ mm da placa base. E o tempo de fim de pega, é o intervalo de tempo decorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta, como mostra na FIG. 5.

Figura 5 - Esquema do aparelho de Victac



Fonte: Bauer (2012)

4.2.2 Propriedades químicas

De acordo com Fusco (2008), os componentes essenciais dos cimentos são a cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), sendo que são aglutinados por sinterização o que significa o aquecimento dos componentes até sua fusão inicial. Bauer (2012) completa dizendo que esses componentes compõem cerca de 95 a 96% de todos elementos óxidos, ou seja, os principais componentes do cimento *Portland*. Em sua composição contém também magnésia, em menor quantidade, e, em pequena porcentagem, anidrido sulfúrico (SO_3), o qual é colocado após a fase de calcinação, sendo adicionado para que haja o retardamento do tempo de pega do produto. O cimento possui outros componentes menores, como impurezas, óxido de potássio (K_2O), óxido de sódio (Na_2O), óxido de titânio (TiO_2), havendo outros componentes de menor relevância. A TAB. 3 mostra um resumo dos principais compostos químicos do *clínquer* e suas conseqüentes propriedades.

Tabela 3 - Principais compostos químicos do *clínquer*

COMPOSTOS	FÓRMULA QUÍMICA	ABREV.	PROPRIEDADES ESPECÍFICAS DECORRENTES DOS COMPOSTOS DO CLÍNQUER
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂ 50 - 65%	C ₃ S	Endurecimento rápido;
			Alto calor de hidratação;
			Alta resistência inicial.
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂ 15-25%	C ₂ S	Endurecimento lento;
			Baixo calor de hidratação;
			Baixa resistência inicial.
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃ 6-10%	C ₃ A	Pega muito rápida controlada com adição de gesso;
			Suscetível ao ataque de sulfatos;
			Alto calor de hidratação, alta retração;
			Baixa resistência final.
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ 3-8%	C ₄ AF	Endurecimento lento, resistente a meios sulfatados, não tem contribuição para a resistência, cor escura.
Cal livre	CaO 0,5-1,5%	C	Aceitável somente em pequenas quantidades; em maiores quantidades, causa aumento de volume e fissuras.

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

4.2.3 Resistência

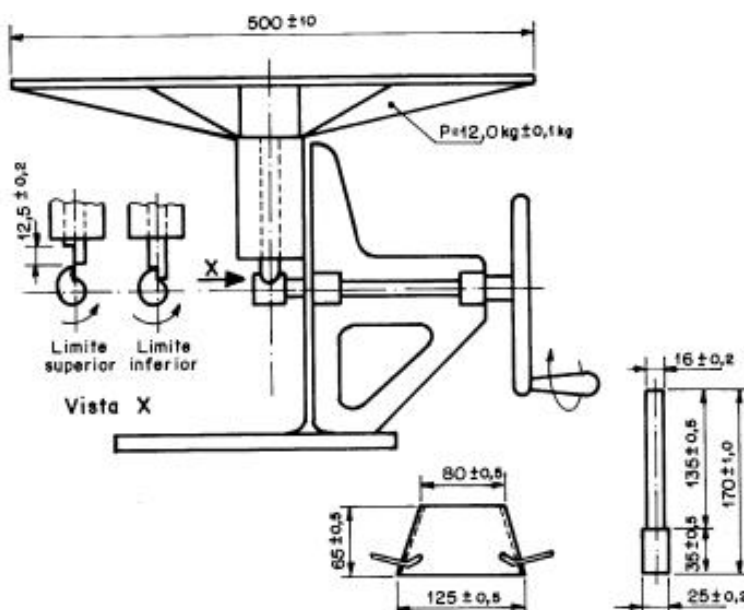
Segundo a NBR 7215 (1996), a resistência mecânica dos cimentos *Portland* é definida através da ruptura à compressão de corpos-de-prova produzidos com argamassa. Sua forma deve ser cilíndrica, tendo definidas suas dimensões, o traço a ser produzido, sua consistência e o tipo de agregado miúdo a ser utilizado é definido pela norma.

Cada corpo de prova é específico para cada país, o Brasil e o Uruguai são os únicos que utilizam corpos-de-prova em formato cilíndrico, com dimensões de 10 cm de altura por 5 cm de diâmetro. A massa utilizada no ensaio deve ter uma consistência determinada no ensaio de escorregamento da argamassa normal sobre

a mesa cadente e o método está descrito na NBR 7215 (MB-1) da ABNT.

São moldados corpos-de-prova de argamassa no formato de um tronco de cone, tendo o diâmetro das bases de 125 e 80 mm e como uma altura de 65 mm sendo moldado em uma plataforma lisa de um mecanismo capaz de promover quedas de 14 mm de altura. São efetuadas durante o ensaio trinta quedas em trinta segundos, conforme mostra a FIG. 6 (BAUER, 2012).

Figura 6 - Mesa cadente para ensaio de consistência

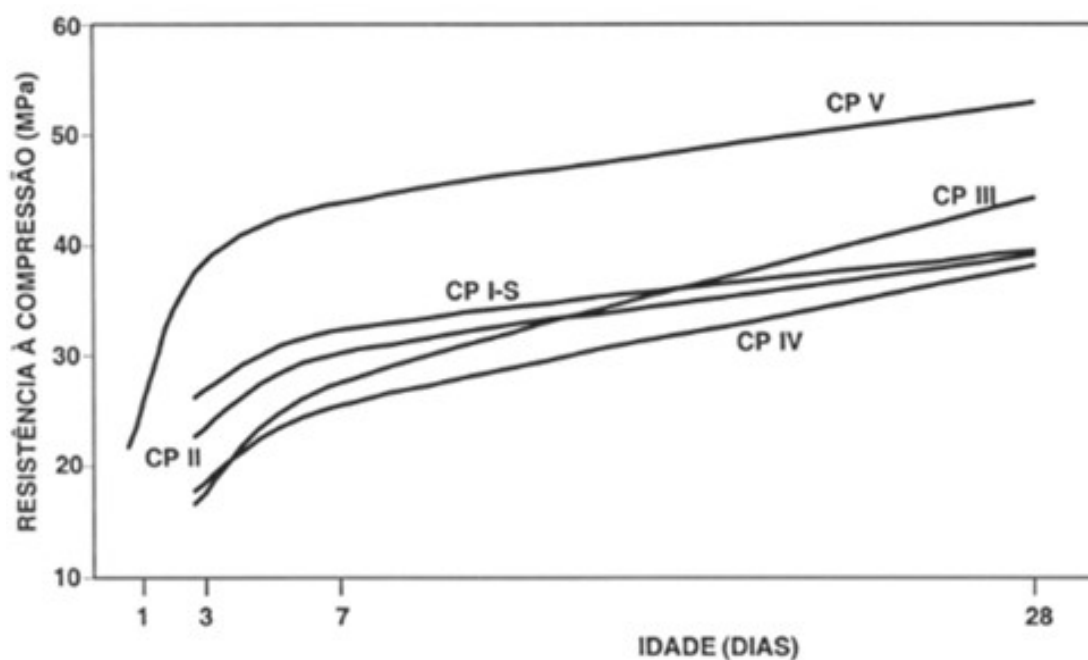


Fonte: NBR 7215 (1996).

De acordo com Bauer (2012), depois da produção os corpos-de-prova são mantidos em câmara úmida por cerca de 24 horas, logo após são imersos até seu rompimento. Se efetua geralmente com 1, 3, 7, 28 dias. A NBR 5732 (EB-1) completa dizendo que ao terceiro dia sua resistência mínima é de 8 MPa. Ao sétimo dia, 15 MPa e ao vigésimo oitavo dia com resistência mínima de 25 MPa.

Na FIG. 7 pode-se observar a evolução média da resistência à compressão de acordo com o tipo de cimento *Portland*.

Figura 7 - Evolução média da resistência à compressão dos tipos de cimento *Portland*



Fonte: ABCP, 1996.

4.3 Agregados

Na Construção Civil os agregados são materiais granulares que não tem sua forma e dimensão estabelecidas para que sejam usados na construção, como as areias naturais ou obtidas através da britagem, os cascalhos, a pedra britada, as argilas, os materiais reciclados, os materiais artificiais que são produzidos através da industrialização, dentre outros (REZENDE, 2009).

Com toda diversidade de materiais existentes no mercado os seus usos estão correlacionados às suas dimensões e granulometria, os mais usados são a areia e a brita. Sendo utilizados de diversas formas pelo consumidor, o seu principal uso é no concreto, contudo também são utilizados para outros fins como mostra a TAB. 4.

Tabela 4 - Principais utilizações dos agregados

Areia Natural e Areia Artificial	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.

Fonte: KULAIF, Yara (2001).

Agregados são os materiais que se unem ao cimento e à água para se conseguir os concretos e as argamassas. São em forma de grãos, como exemplos mais conhecidos têm-se as areias e as britas, que devem ser inertes, o que significa que os materiais não podem provocar um comportamento inesperado. Sua constituição é de cerca de 70% do volume total dos produtos utilizados, ocasionando uma importante atribuição no ponto de vista dos custos. Contudo, oferecem uma menor redução das pastas produzidas com cimento e água e agregando resistência de deterioração superficial das argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Segundo Bauer (2012) define-se como agregado todo material particulado, incoesivo, ou seja, que não tenha nenhuma ação química, tendo diversos tipos de tamanhos com uma grande variedade. Os agregados são classificados de acordo com sua origem, diante das dimensões de suas partículas e diferenciando pelo peso específico aparente.

- Quanto à Origem: Naturais: São os materiais que são extraídos da natureza

na sua forma original como areia e pedregulho. Industrializados: São materiais que sofrem algum tipo de industrialização seja ela qual for sendo utilizada matéria-prima como, rocha, escória de alto-forno e argila.

- De acordo com as Dimensões das Partículas: Agregado Miúdo: as areias. Agregados Graúdos: Cascalhos e as britas.
- Peso Específico Aparente: É determinado perante a densidade do material do qual consistem as partículas, sendo que os agregados são classificados em leves, médios e pesados. A TAB. 5 expõe alguns materiais e seus valores aproximados das médias de densidade aparente.

Tabela 5 - Densidade Aparentes Médias

LEVES		MÉDIOS		PESADOS	
Vermiculita	0,3	calcário	1,4	barita	2,9
argila expandida	0,8	arenito	1,45	hematita	3,2
escória granulada	1,0	cascalho	1,6	magnetita	3,3
		Granito	1,5		
		Areia	1,5*		
		Basalto	1,5		
		Escória	1,7		

*Esta é a densidade aparente média da areia “seca ao ar”.
Fonte: Bauer (2012).

4.3.1 Agregado Graúdo

De acordo com Costa (2005), o agregado graúdo pode ser de forma natural, pedregulho ou seixo, ou artificial, pelo processo de britagem de rochas, pedra britada ou cascalho. Para se ter um agregado com maior qualidade tem de se a utilizar rochas estáveis, sendo inalteráveis so a ação do ar, da água ou do gelo. Não se deve utilizar agregado provenientes de rochas feldspáticas ou xisto, que se decompõe sob a ação da água ou do ar.

No agregado graúdo 95% de sua massa fica retida na peneira e 4,8 mm passam pela abertura de malha de 75 mm, como mostra o TAB.6 da NBR7211 (ABNT, 2005).

Tabela 6 - Limites na distribuição granulométrica do agregado graúdo

PENEIRA COMABERTURA DE MALHA (mm)	PORCENTAGEM, EM AMSSA, RETIDA ACUMULADA				
	ZONA GRANULOMÉTRICA				
	4,75 / 12,5	9,5 / 25	19 / 31,5	25 / 50	37,5 / 75
75	-	-	-	-	0 – 5
63	-	-	-	-	5 – 30
50	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	-	0 – 5	5 – 25	87 – 100	-
19	-	2 – 15	65 – 95	95 – 100	-
12,5	0 – 5	40 – 65	92 – 100	-	-
9,5	2 – 15	80 – 100	95 – 100	-	-
6,3	40 - 65	92 – 100	-	-	-
4,8	80 – 100	95 – 100	-	-	-
2,4	95 – 100	-	-	-	-

Fonte: NBR 7211/2005.

No Brasil as britas são principalmente oriundas da britagem de rochas, sendo as mais utilizadas as de granito e basalto. Sendo que as pedras britadas são peneiradas e classificadas de acordo com a sua granulometria, necessitando ficar retido 95% da amostra em cada classe.

- Brita 0: diâmetro 4,8 - 9,5 mm
- Brita 1: diâmetro 9,5 - 19 mm
- Brita 2: diâmetro 19 - 25 mm
- Brita 3: diâmetro 25 - 50 mm
- Brita 4: diâmetro 50 - 76 mm
- Brita 5: diâmetro 76 - 100 mm

De acordo com Mendes (2002), é importante observar as características dos agregados graúdos, como: a composição da granulometria, a sua reatividade química e sua mineralogia. Ainda (CORDEIRO, 2001) completa dizendo que para se obter agregados de boa resistência, deve-se observar com prudência as propriedades químicas, físicas e mineralógicas que afetam diretamente a resistência do concreto.

4.3.2 Agregado miúdo – Areia Natural

Os agregados miúdos se encontram de duas formas, os que são extraídos de formas naturais, como de rios, que é o mais recomendado, pois não há impurezas como a argila e o *silte*, que melhora o amassamento e diminui o gasto de água. Outra forma é a britagem de rochas, que passa por um processo até chegar à sua granulometria ideal (MENDES, 2002).

A maior parte da areia extraída no Brasil vem do leito de rios ou de minas subterrâneas, formando cava inundadas pelo lençol freático. Sendo que todo material é bombeado para silos suspensos ou colocado em terrenos, até que seja embarcada em caminhões até seu destino (SUMÁRIO MINERAL BRASILEIRO, 2011).

De acordo com Silva (2010) a principal característica dos agregados miúdos é a quantidade de água que ele absorve, em função disso deve se utilizar agregado com um aspecto mais liso e arredondado, possibilitando maior aderência.

A utilização de areia fina na mistura do concreto não é viável, pois não influencia na segregação e na trabalhabilidade. O recomendado, sempre que possível, é que o agregado miúdo tenha um módulo de finura de 2,7 a 3,0. O uso de areias mais grossas acarretará em uma pequena diminuição da quantidade de água usada na mistura, sendo vantajoso quanto a resistência e no ponto de vista econômico (AITCIN, 2000).

De acordo com a ABNT (1983), “o agregado miúdo ou areia natural é o material particulado de origem mineral no qual predomina o quartzo de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,75 mm”. Ainda de acordo com Petrucci (1998, p.58) as areias podem ser classificadas conforme com seu módulo de finura:

- Muito grossas $MF > 3,90$;
- Grossas $3,30 < MF < 3,90$;
- Médias $2,40 < MF < 3,30$;
- Finas $MF < 2,40$.

4.3.3 Agregado miúdo – Areia Industrial

A areia industrial como é denominada, também é conhecida como areia

artificial, sendo oriunda das rochas que são submetidas a um processo de britagem, atingindo a granulometria esperada. O processo de industrialização passa pela extração da rocha mãe, sendo levadas até os britadores, chegando numa granulometria menor que 4,8 mm. Alguns processos são levados a equipamentos de lavagem que separam do produto final o excesso dos finos (COSTA, 2005).

A produção de agregado miúdo a partir do agregado graúdo, ou seja, a produção de areia a partir de pedra britada chamada de areia artificial (GONÇALVES, 2005). A areia, para se encontrar em uma zona ótima para sua aplicação o percentual retirado da peneira 4,8 mm não deve exceder 5 %, e a passante na peneira 0,15 mm não deve exceder 10% (NBR 7211, 2005). Como mostra a TAB.7 os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 7 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

PENEIRA COM ABERTURA DE MALHA (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA			
	LIMITES INFERIORS		LIMITES SUPERIORES	
	ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	ZONA ÓTIMA	ZONA UTILIZÁVEL
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

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

Fonte: ABNT (2005).

De acordo com Costa (2005), conforme a granulometria que a areia artificial possui apresenta diversos usos, sendo:

- Areia média fina (0,075 – 1,20)mm: Argamassa para levantamento de alvenarias e reboco e serviços em que são utilizadas as argamassas em geral;

- Areia média grossa (0,075 – 4,80)mm: Concretos estruturais confeccionados em obras e pré-fabricados e serviços em que são utilizados os concretos em geral;
- Granilha de 4,80mm com pequena porcentagem de finos (<0,075): Salpique para reboco de alvenarias, asfaltos e geral, bocós pré-fabricados em geral e concretos compactados a rolo.

Segundo Reis (2004), a areia industrial britada possui forma mais angulosa dos grãos. Havendo uma superfície mais áspera e com maior porcentagem de finos, o que atrapalha um pouco a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, sendo feita a adição de aditivos químicos plastificantes, e que incorporam pequena porcentagem de ar, ou a adição, inferior de areia quartzosa natural de grãos arredondados para que possa melhorar a trabalhabilidade.

4.3.4 Impacto Ambiental

No que rege a Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986, em seu artigo 1º, considera-se:

Impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Independente de como seja feita a extração da areia ela acarreta impactos ambientais. Podendo ser positivos, proporcionando benefícios sociais, ou negativos, proporcionando diferentes prejuízos (MELO, 2010).

Impactos positivos:

- Geração de empregos diretos e indiretos;
- Dinamização do setor comercial
- Contribuição para o desenvolvimento regional

Impactos negativos:

- Incidência de processos erosivos no solo, em virtude da interferência vinda da

abertura da rede viária e da remoção da vegetação;

- Aumento da turbidez no curso d'água, devido ao revolvimento e desagregação do material mineral no curso d'água, durante o processo de extração de areia.
- Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d'água, tendo em vista a eliminação dos bancos de sedimentos presentes nos leitos dos rios.
- Diminuição da possibilidade de usos múltiplos da água, tendo em vista o aumento da sua turbidez e a possibilidade de sua contaminação.

4.4 Água

Fusco (2008) afirma que a água usada no amassamento do concreto deve ser potável, ou seja, não pode haver nenhum tipo de material que prejudique o concreto. Por alguma eventualidade, se não for possível usar água-potável será primordial que aja o controle do conteúdo de matéria orgânica e os resíduos sólidos existentes, sendo os teores de sulfatos (SO_4) e de cloretos (Cl^-).

As impurezas contidas na água influenciam negativamente na resistência do concreto no seu tempo de pega e ainda resulta em corrosão da armadura. Assim sendo necessário o uso de água potável na produção do concreto, o Ph sugerido para a água deverá ser entre 6,0 e 8,0, podendo se chegar a 9,0.

De acordo com a NBR 6118 (2014), a água utilizada na confecção do concreto armado deverá atender aos seguintes limites:

- $5,8 \leq \text{pH} \leq 8,0$
- Resíduo sólido $\leq 5000 \text{ mg/l}$
- Cloretos (Cl) $\leq 500 \text{ mg/l}$
- Matéria orgânica $\leq 3 \text{ mg/l}$
- Sulfatos (SO_4^{-2}) $\leq 300 \text{ mg/l}$
- Açúcar $\leq 5 \text{ mg/l}$

5 MATERIAIS E MÉTODO

Posteriormente foram realizados ensaios de compressão de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas pertinentes aos mesmos.

5.1 Materiais empregados

O objetivo desse trabalho foi à verificação da possibilidade de substituição da areia natural pela areia industrial em matrizes de cimento *Portland*. Para atingir este objetivo os materiais utilizados deveriam estar de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras. Os materiais utilizados foram de fácil aquisição, levando em conta que são de uso corrente em obras, e suas características são apresentadas a seguir.

A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho tem o efeito de comparação, sendo levada em consideração tanto a resistência como o custo.

Foi utilizado como material aglomerante o cimento *Portland* composto com adição de escória (CP II- E-32), marca CRH, fabricado de acordo com as recomendações da Norma Técnica Brasileira - NBR 11578 (ABNT, 1991).

Para a confecção da matriz cimentícia, necessária para efetuar todo o estudo desse trabalho, foi utilizado cimento comercializado em sacos de papel *kraft* de 50 kg cada.

Utilizaram-se dois tipos de agregados miúdos que estão disponíveis no mercado. Esta escolha foi baseada na necessidade de buscar novos materiais que sejam menos agressivos ao meio ambiente, sem comprometer as propriedades do concreto.

Como agregado miúdo foi utilizado à areia natural média coletada do Rio São Domingos, na cidade de Arcos - MG e a areia industrial média foi fornecida pela Mineradora Santiago, Santa Luzia - MG, sendo que ambas passaram por processo de lavagem e de peneiramento. Como mostra a FIG. 8.

Figura 8 - A - Areia Industrial e B - Areia Natural



Fonte: O autor (2018).

E como agregado graúdo foi escolhido a brita 1 que é a mais utilizada no concreto. A brita foi fornecida pela JF Materiais de Construção Ltda, Arcos - MG.

Como água de emassamento, usou-se água potável fornecida por meio da rede de abastecimento de água da concessionária local, denominada “SAAE – Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto”.

5.2 Métodos de dosagem

Foi aplicado o traço 1:2:1 (cimento, areia natural, agregado graúdo) com fator de água cimento de 0,55, por ser uma composição de grande resistência mecânica em relação aos demais traços usados na construção civil, sendo que o volume da massa total e proporções de cimento, agregado graúdo e água se mantiveram constantes em todos os ensaios, alterando apenas as porcentagens da areia natural e da areia artificial, o qual foi determinado uma resistência mínima de 20 MPa para concreto estrutural, seguindo a NBR 6118 (2014).

A preparação dos traços seguiu as normas da NBR 12655 “Concreto de cimento *Portland* – Preparo, controle e recebimento – Procedimento”, o preparo foi realizado no laboratório “Ciências da Terra” do Centro Universitário de Formiga – Unifor/MG, na cidade de Formiga/MG.

Para saber a quantidade exata de material para o traço, foi necessário determinar o volume de concreto exigido para preencher cada corpo de prova. (Equação 2):

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

Em que:

V = volume do corpo de prova, dm³;

h = altura do corpo de prova, dm; e

r = raio do corpo de prova, dm.

Com o volume do corpo de prova calculado, este foi multiplicado pela quantidade total de corpos de prova que serão necessários para o experimento, com isso, obteve-se o volume total de concreto que será gasto. Deste modo foi possível saber a quantidade exata de material que será utilizada para se confeccionar os traços, utilizando-se a Equação 3:

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{2}{\rho_a} + \frac{1}{\rho_b} + 0,55} \quad (3)$$

Em que:

C = consumo de cimento, kg;

V = volume de concreto, dm³;

ρ_c , ρ_a e ρ_b = massas específicas reais do cimento, areia e brita, kg/dm³.

Com a realização deste cálculo, pode-se obter, multiplicando o valor encontrado pelos valores do traço, a quantidade de material necessário para confecção dos corpos-de-prova. Para dar início aos testes todos os materiais foram pesados, adicionado a massa e, misturados de forma manual (FIG. 9).

Figura 9 – Mistura manual do material para confecção dos corpe-de-prova



Fonte: O autor (2018).

Foram confeccionados 22 corpos-de-prova, sendo feitos 11 traços no total. O primeiro é referente ao traço testemunha, onde a porcentagem de areia artificial foi nula, um concreto convencional. Os demais foram feitos substituindo a areia natural a cada traço até se chegar em 100% de utilização da areia artificial. Para prévia comparação das quantidades segue o QUADRO 1, que mostra as diferentes porcentagens utilizadas nas misturas, prevalecendo a mesma quantidade de cimento e agregado graúdo para todas.

Quadro 1 - A variação das porcentagens dos agregados

Traço	Cimento (kg)	%	Areia natural (kg)	%	Areia artificial (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
1	2,564	100%	2,564	0%	0	2,564	1,024
2	2,564	90%	2,374	10%	0,874	2,564	1,024
3	2,564	80%	2,184	20%	1,054	2,564	1,024
4	2,564	70%	2,000	30%	1,244	2,564	1,024
5	2,564	60%	1,814	40%	1,434	2,564	1,024
6	2,564	50%	1,624	50%	1,624	2,564	1,024
7	2,564	40%	1,434	60%	2,944	2,564	1,024
8	2,564	30%	1,244	70%	2,000	2,564	1,024
9	2,564	20%	1,054	80%	2,184	2,564	1,024
10	2,564	10%	0,874	90%	2,374	2,564	1,024
11	2,564	0%	0	100%	2,564	2,564	1,024

Fonte: O autor (2018).

5.3 Slump test

Foi realizado o *Slump test* para a determinação da consistência do concreto, seguindo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o *slump* consiste em um ensaio onde se tem um molde de metal em formato de tronco de cone oco em ambos dos lados, possuindo 30 cm de altura, com base inferior de 20 cm e superior de 10 cm.

Para que fosse realizado o teste o tronco foi colocado sobre uma placa metálica, com sua base maior para baixo. Em seguida foi realizado o preenchimento em 3 camadas de concreto e cada camada foi golpeada 25 vezes com uma haste.

O molde foi suspenso e retirado lentamente, sendo colocado ao lado do concreto para servir como indicação para medida. Em seguida, a haste foi posicionada sobre o centro do molde e ao centro do concreto e, com a ajuda de uma trena, fez-se a medição da diferença de altura entre ambos, obtendo-se desta forma, o abatimento do concreto dosado, em cm (FIG. 10).

Figura 10 - Realização do teste de abatimento do tronco de cone (*slump test*)



Fonte: O autor (2018).

5.4 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Os corpos de prova foram confeccionados sob dimensões padronizadas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, em moldes de cano PVC, sendo preenchidos em 2 camadas de concreto e adensados manualmente por 12 golpes por camada, conforme NBR 5738 (2015).

Foram feitos 22 corpos de prova, com dois para cada traço, e todos foram identificados previamente com etiquetas. (FIG.11).

Figura 11 - Adensamento manual do concreto para confecção dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Passado 24 horas da mistura do concreto, os corpos de prova foram desenformados, alguns foram virados para baixo, saindo facilmente e outros foram necessários o uso de uma esmerilhadeira e posteriormente identificados para controle (FIG 12).

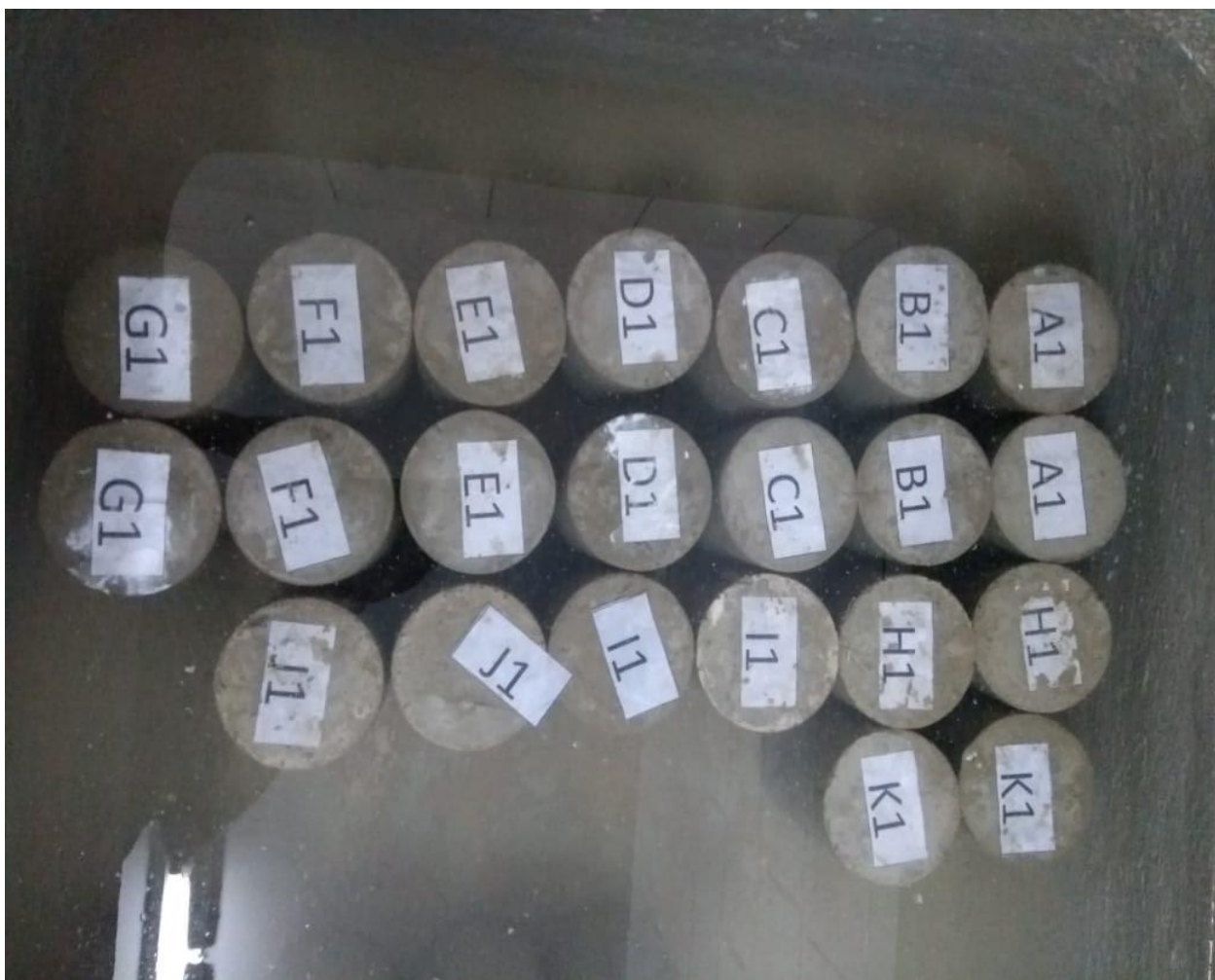
Figura 12 - Retirada dos moldes dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Logo após a retirada dos moldes os corpos de prova foram imersos em um tanque de água (FIG.13), sendo condicionados em sala úmida com temperatura em torno de 23°C, conforme é solicitado na NBR 9479 (ABNT, 1994), ficando submersos até 24 horas antes da realização dos ensaios, totalizando 28 dias de cura.

Figura 13 - Cura dos corpos de prova com diferentes porcentagens de substituição de areia natural por areia artificial em tanque com água.



Fonte: O autor (2018).

Para a realização dos ensaios de compressão, foi necessária a utilização da máquina universal de ensaios modelo WAW-1000 da marca SOLOCAP, localizada no laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, seguindo a norma vigente NBR 5739 (ABNT, 2007) com os corpos de provas na idade de 28 dias.

O rompimento foi realizado com a colocação dos corpos de prova no centro da máquina, com força aplicada de forma uniforme e sem choques mecânicos (FIG.14).

Figura 14 – Rompimento dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Após o rompimento dos 22 corpos de prova, foi obtida uma planilha com a resistência de cada um dos mesmos. Com os dados gerados pelo ensaio, realizou-se o cálculo da resistência à compressão pela equação 4.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (4)$$

Em que:

f_c = resistência a compressão, MPa;

F = força máxima alcançada, N; e

D = diâmetro do corpo de prova, mm.

5.5 Custos

Para que fosse feito o comparativo econômico do uso da areia natural em substituição por areia industrial, foi utilizado o mesmo traço dos corpos de prova 1:2:1 (cimento, areia, brita 1).

Com o auxílio das equações 3 e 4 citadas anteriormente foi calculado a quantidade de material para 1 m³ de concreto, com isso foi feito um levantamento de custos de cada material para se chegasse ao custo total de 1 m³.

Para se confeccionar 1 m³ de concreto foi necessário:

- Cimento: 235,03 kg
- Areia natural: 470,06 kg
- Brita 1: 235,03 kg

Com o levantamento quantitativo feito foi realizado a pesquisa de mercado, onde os valores foram adquiridos nos mesmos fornecedores dos materiais utilizados para confecção dos corpos de prova.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise do concreto no estado fresco

Logo após a mistura dos agregados para o preparo do concreto em estudo, foram realizados ensaios de abatimento do tronco de cone ou *Slump test*, com o objetivo de verificar a trabalhabilidade do concreto no seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está apto para o uso.

Como demonstrado na FIG. 10, já citada anteriormente, o *slump test* que se obteve foi de 180 mm. Existem vários fatores que podem ter influenciado esse resultado, assim, dependendo da aplicação deve-se reduzir a quantidade de água no concreto, para atingir maior consistência.

6.2 Resistência à compressão axial simples

Os resultados encontrados nos ensaios de compressão foram adquiridos rompendo os corpos de provas dos concretos com ou sem substituição da areia natural por areia industrial. Sendo que os mesmos foram submetidos aos ensaios na idade de 28 dias de cura do concreto. Após a realização dos ensaios, foram apresentados os resultados e, em seguida, a análise para se chegar aos resultados finais. Para os ensaios de resistência à compressão foram encontrados os seguintes resultados ilustrados no QUADRO 2.

Quadro 2 - A variação das porcentagens dos agregados

Amostras	F (N)	Traço	Média (N)	MPa
1	186081,125	A	195165,844	24,84929
2	204250,563			
3	190497,031	B	173650,422	22,10986
4	156803,813			
5	161122,453	C	149644,9765	19,05339
6	138167,500			
7	141630,188	D	144499,563	18,39826
8	147368,938			
9	132506,563	E	138527,383	17,63786
10	144548,203			
11	174681,453	F	174029,7655	22,15816
12	173378,078			
13	131436,625	G	122293,547	15,5709
14	113150,469			
15	140521,344	H	149635,25	19,05216
16	158749,156			
17	151940,469	I	149771,422	19,06949
18	147602,375			
19	156745,453	J	156687,0935	19,95002
20	156628,734			
21	141124,406	K	160801,4765	20,47388
22	180478,547			

Fonte: O autor (2018).

Para a realização dos ensaios foi adotada uma resistência mínima de 20 MPa, após a realização dos ensaios de compressão axial simples somente as amostras A, B, F e K conseguiram alcançar a resistência mínima esperada.

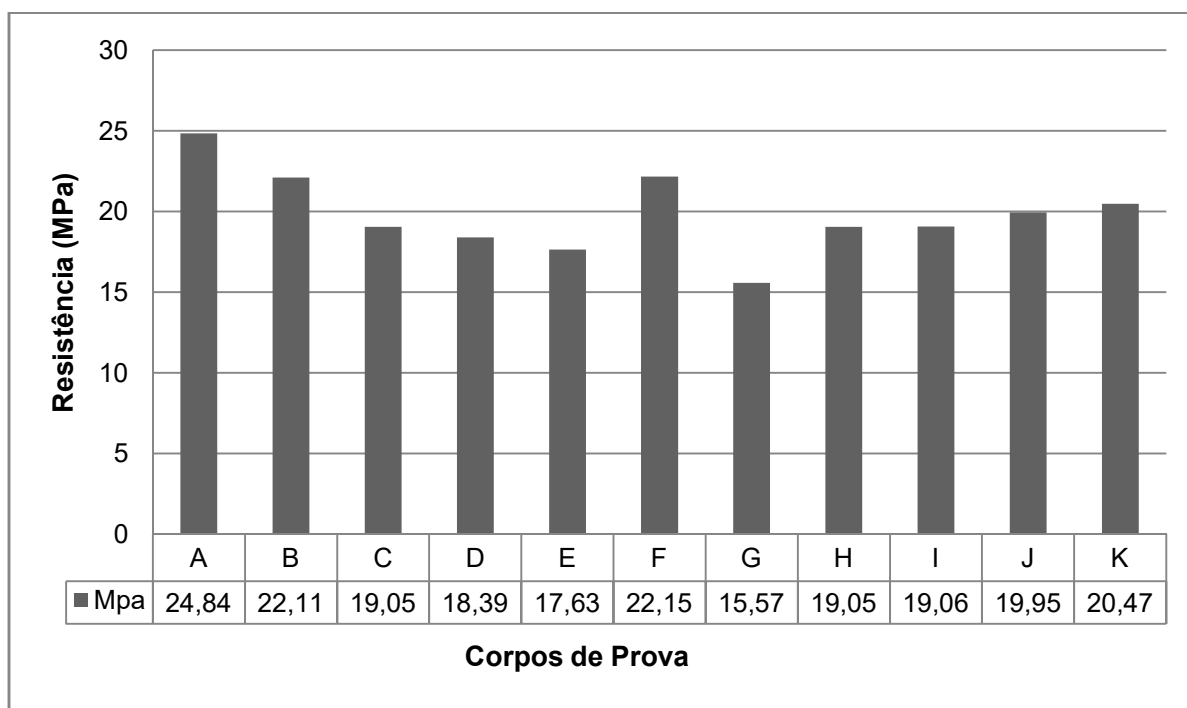
Como mostra o QUADRO 2 houve uma grande variação na resistência dos corpos de prova, sendo que a maior resistência encontrada foi na amostra A, na qual foi utilizado 100% de areia natural, atingindo uma resistência de 24,84 Mpa, e a menor resistência na amostra G que era composta por 60% de areia natural e 40% de areia industrial com uma resistência de 15,57 MPa, sendo uma diferença entre as amostras de 9,27 MPa ou 37,32%, na qual é uma diferença relativa por ter utilizado o mesmo traço.

A amostra G teve uma resistência bem inferior em comparação às outras

amostras, ficando 22,15% abaixo da resistência mínima esperada, podendo ter ocorrido algum problema de execução dos corpos de prova ou até mesmo na composição dos agregados.

Para melhor visualização dos resultados foi criado um gráfico com a resistência a compressão de cada amostra. (GRAF. 1).

Gráfico 1 - Resistência à compressão dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

O GRAF. 1 demonstra os resultados de resistência à compressão obtida para os corpos de prova rompidos com 28 dias de cura. Sendo que os concretos com substituição de agregados miúdos não apresentaram um crescimento tanto quanto ao concreto de referência.

Através dos valores apresentados, nenhuma das substituições foi capaz de superar as resistências à compressão atingidas pelo concreto de referência. E a amostra F, composta por 50% de areia natural e 50% de areia industrial foi o que apresentou uma melhor resistência entre os concretos com substituição aos 28 dias de cura, e vale ressaltar que a amostra F foi superior a amostra K que foi composta por 100% de areia industrial.

Nas amostras A com 100% de areia natural e K com 100% de areia industrial, obteve-se uma resistência superior de 17,5%, ou seja, 4,37 MPa de diferença em

comparação entre as amostras, que pode ser considerada uma diferença relevante, pelo fato de ter sido usado o mesmo traço e os mesmos métodos de ensaio.

Essa diferença na resistência pode ser dada pelo processo que a areia industrial sofre, desde seu processo de extração, passando pela britagem, na qual durante esse processo pode vir a receber impurezas ou até mesmo agentes químicos, como graxas, óleos e outras substâncias e podendo conter materiais orgânicos, folhas, galhos ou até mesmo argila e torrões de terra, assim, influenciando na resistência.

A possível explicação deste fato, apesar de não ter sido realizado o ensaio de retenção de água, é exatamente neste aspecto. Sabe-se que a areia industrial tem módulo de finura maior que a outra, portanto mais superfície específica, de onde se pode concluir que devido a isto a adição da água, de consistência do concreto, foi insuficiente para a hidratação total do cimento, portanto parte da água que foi adicionada à mistura ficou retida na superfície específica da areia industrial.

Com o resultado do ensaio de compressão as amostras C e I, demonstraram a mesma resistência, sendo ela de 19,05 MPa, sendo a amostra C com 80% de areia natural e 20% de areia industrial e a amostra I com 20% de areia natural e 80% de areia industrial, na qual as substituições foram proporcionais, mudando somente o tipo de areia e a alteração não influenciou na resistência.

As duas menores resistências foram a amostra E e G, sendo compostas pela mesma porcentagem, alterando somente o tipo de areia, onde a amostra E é composta por 60% de areia natural e 40% de areia industrial e a amostra G com 40% de areia natural e 60% de areia industrial, na qual a quantidade de areia industrial na amostra G pode ter influenciado na resistência, podendo ter sido ocasionado por alguma impureza ou até mesmo agentes químicos.

A resistência mínima proposta em obter nos ensaios de resistência a compressão seria de 20 MPa, levando essa resistência em consideração a amostra J com 90 % de areia industrial e 10% de areia natural atingiu uma resistência de 19,95 MPa, na qual pode ser considerada que a amostra atingiu a resistência mínima, sendo que essa diferença é irrelevante.

Pode-se observar que a amostra F teve uma resistência de 22,15 MPa o que pode ser considerada ótima, sua composição é de 50% de areia natural e 50 % de areia industrial, essa porcentagem pode ser mais estudada, afim de melhorar a resistência, trabalhabilidade, consistência, plasticidade e exsudação.

Quando se compararam as amostras com maior substituição de areia natural com os de areia industrial, obteve-se que os corpos de prova com porcentagem maior de areia natural alcançaram, em média, uma melhor resistência do que os de areia industrial.

Conclui-se, de todo o estudo desenvolvido que, o concreto de areia industrial, o corpo de prova **K**(100%), pode ser utilizado na construção civil, sendo de bom uso para as cargas características de compressão como fundações e partes estruturas, mesmo não tendo obtido a maior resistência.

Os agregados presentes no concreto podem vir a afetar a resistência do mesmo, sendo levadas em análise as dimensões, forma, textura superficial, granulometria e mineralogia que podem afetar a resistência do concreto, uma alteração na curva granulométrica pode modificar a consistência, a trabalhabilidade do concreto e conseqüente relação *a/c*.

No agregado miúdo em questão pôde-se analisar que a areia industrial, por ser oriunda da britagem, passa pelo processo de peneiramento para que se possam ter varias faixas granulométricas, e a areia utilizada tem sua faixa granulométrica de 1 a 2.4 mm, a qual é fornecida como areia média grossa. Como mostrado no referencial teórico no item 4.3.3, que para concreto estruturais convencionais e peças pré-fabricadas e serviços que são utilizados o concreto em geral o agregado miúdo devem possuir uma granulometria entre 0,075 a 4,80 mm para se encontrar em uma zona ótima para sua aplicação.

Com a granulometria da areia industrial utilizada, pode-se concluir que há uma granulometria homogênea, tendo somente uma granulometria média, na qual que durante o processo de confecção dos corpos de prova afetou somente a trabalhabilidade pela falta de grãos de areia finos e grossos, na qual essa granulometria não influencia na resistência dos corpos de prova.

Um fator que dificulta a substituição de um material pelo outro é a falta de conhecimento específico sobre as características da areia industrial de cada região e a forma como ela pode trazer benefícios para quem passa a utilizá-la, e para o meio ambiente que deixa de ser agredido no momento da exploração da areia natural.

Os resultados, porém, não conduziram a conclusões assertivas sobre o comportamento do concreto em relação à resistência à compressão para concreto de traço convencional. Os resultados vigentes estão induzindo a afirmar que, a proporção de substituição não é representativa e não influenciou na resistência à

compressão. Por isso, sugere-se a realização de novos estudos com uma maior amostragem e com elaboração de parâmetros estatísticos de comparação. E para estudos próximos é viável o estudo das propriedades químicas dos agregados para que seja melhorada a resistência assim tendo uma melhor visualização dos resultados.

6.3 Comparativo financeiro

Foi feito um levantamento quantitativo dos materiais necessários para 1 m³ de concreto, para que fosse feito um comparativo financeiro do uso da areia natural e a areia industrial no concreto, conforme mostra a TAB. 8.

Tabela 8 - Levantamento financeiro dos materiais

Materiais	Unid.	Quant. (kg)	Custos	Sub. Total	Total (1m³)
Areia Natural	kg	470,06	0,048	22,56	R\$ 112,58
Brita 1	kg	235,03	0,033	7,76	
Cimento Portland	kg	235,03	0,35	82,26	
Areia Industrial	kg	470,06	0,059	27,73	R\$ 117,75
Brita 1	kg	235,03	0,033	7,76	
Cimento Portland	kg	235,03	0,35	82,26	

Fonte: O autor (2018).

Pode-se avaliar que a diferença financeira em 1m³ é de apenas 4,39%, não sendo tão expressiva, por se tratar de uma pequena quantidade de material, se for levado em consideração o uso em grande escala, o concreto utilizando a areia natural seria mais viável do que a areia industrial.

O levantamento desconsiderou o transporte dos agregados, pelo fato da areia natural ser extraída na região e a areia industrial ser extraída a 300 km de Formiga, o que elevaria o custo deixando inviável a comparação. Com isso foi levantado somente o custo do produto.

A partir desta análise comparativa de resultados, percebeu-se a importância em se realizar um estudo econômico, posto que este auxiliasse na tomada de decisão quanto ao uso de um ou outro agregado miúdo.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo verificar a substituição da areia natural pela areia industrial no concreto, utilizando o mesmo traço, só alterando a proporção de areia a cada 10%. Para que fosse avaliada esta influência, foram feitos ensaios mecânicos de compressão axial simples e, para fim financeiro, foi realizado um levantamento comparativo da utilização em um mesmo traço, só modificando o agregado miúdo.

A partir da análise dos resultados obtidos no estudo verifica-se que a substituição do agregado miúdo (areia natural) por areia industrial não foi tão satisfatória quanto o esperado pois, nos resultados de resistência à compressão a areia natural teve melhor desempenho. Mesmo assim os traços com 100% de areia natural ou industrial obtiveram a resistência mínima adotada, que foi de 20 MPa.

Também no comparativo financeiro, a areia industrial não teve o resultado esperado, sendo que para 1m³ de concreto obteve uma diferença de 4,39% a mais do que a areia natural. Pode-se dizer que não é uma diferença tão expressiva, mas deve-se observar que isso o resultado baseia-se em 1m³, quando levado em consideração uma maior escala será notada uma diferença considerável.

Dos onze traços confeccionados somente quatro atingiram a resistência mínima, o que leva a concluir que, para a substituição da areia natural pela areia industrial, deverá se fazer outros estudos com outros teores de substituição diferentes, aplicando-se um maior número de amostras de corpos de prova e, se for necessário, utilizar uma nova dosagem de agregados para o concreto conseguir o objetivo para qual for determinado.

REFERÊNCIAS

- AITCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo: Pini, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 12655: **Concreto de cimento *Portland* – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**, -. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**, -. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, -. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, -. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 9479: **Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto**, -. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. NBR – 7211. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215 - **Cimento *Portland* - Determinação da resistência à compressão**, -. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 65 - **Cimento *Portland*- Determinação do tempo de pega**, -. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 - **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, -. Rio de Janeiro, 1998.
- ASTM C-125 - **Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates**.
- BASTOS, S. R. B. b. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina de britagem**. (2005).
- BRASIL (1986). **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.
- BUTTLER, A. M. **Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto**.
- CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granitognaisse nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e**

endurecido. Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007.

CARVALHO, R. C., FILHO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos – SP, 2016.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo, IPT, 1995.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs)**. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

COSTA, M. J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil- UNIJUÍ – Universidade regional do noroeste do estado do rio grande do sul, Injuí, 2005.

EVANGELISTA, R. G. **Avaliação da resistência mecânica do concreto utilizando areia artificial. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão, 2013.**
Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1714/1/CM_COECI_2013_1_11.pdf>. Acesso em 17/03/2018.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: PINI, 2008.

GONÇALVES, Jader F. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial**. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil, Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas na Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IB

JUNIOR, E. R. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**, Revista Especializem, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/Lucas/Downloads/enio-ribeiro-junior-1615287.pdf>. Acesso em 18/03/2018.

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

MELO, T. F. S. **Diagnóstico Ambiental em Área de Exploração Mineral: O Porto de Areia Estrela, em Ponta Grossa - PR**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de

Ponta Grossa, Ponta Grossa - PR, 2010.

MENDES, S. E. da S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MUNIZ, M. V. S. **A influência dos aditivos aceleradores e retardadores de pega sobre a pasta de cimento *Portland***. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. (2013).

PETRUCCI E, G. R. **Concreto de cimento**. São Paulo: Globo, (1998) RACON, 2007. 2v.

REIS, Rubens J. P. **Influência de areias artificiais de rochas britadas na estrutura e nas propriedades de concretos de cimento *Portland***. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

REZENDE, M. M., SERNA, H. A. **Agregados para a Construção Civil**, 2009. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em 20/03/2018.

RIBEIRO, C. C., PINTO, J. D. S., STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte/MG: UFMG, 2011.

RIBOLI, L. E. L. **Resistência mecânica e durabilidade de concretos modificados com polímeros**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Tecnológicas da Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2012.

SILVA, R. do N. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2007. Acesso em 12/04/2018.

VIERO, E. H. **Aplicação da areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento *Portland***. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em materiais da Universidade de Caxias do Sul, 2010.