



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005*

**Lawrence Bertolucci Rodrigues de Azevedo Lima**

## **AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA DE RIO POR AREIA ARTIFICIAL - MÉTODO DE DOSAGEM ACI/ABCP**

**Palmas - TO**

**2015/2**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Lawrence Bertolucci Rodrigues de Azevedo Lima**

## **AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA DE RIO POR AREIA ARTIFICIAL - MÉTODO DE DOSAGEM ACI/ABCP**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCCII) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Denis Cardoso Parente

Palmas - TO

2015/2

LAWRENCE BERTOLUCCI RODRIGUES DE AZEVEDO LIMA

**AVALIAÇÃO DA RESISTENCIA DO CONCRETO COM A  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA DE RIO POR AREIA  
ARTIFICIAL - MÉTODO DE DOSAGEM ACI/ABCP**

Trabalho apresentado como requisito parcial da pelo  
Professor Especialista: Denis Cardoso disciplina  
Trabalho de Conclusão de Curso II (TCCII) do curso de  
Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista  
Denis Cardoso Parente.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.Esp. Dênis Cardoso Parente  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Examinador  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Examinador  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO  
2015/2

## RESUMO

O trabalho objetiva estudar e produzir experimentalmente concreto convencional com resistência a compressão de 25 MPa, com substituição parcial da areia natural de rio, por areia artificial. O concreto convencional é utilizado e especificado em larga escala na construção civil, devido ao baixo custo e facilidade de produção. Para alcançar os resultados, foi necessário uma análise por meio de caracterização física dos agregados, no qual, utilizou-se o método de dosagem ACI/ABCP, e ainda, o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone no estado fresco, com intuito de avaliar a trabalhabilidade e o ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos no estado, endurecido. Os percentuais de areia natural substituída por areia artificial, foram de 10%, 15% e 20%. Preocupou-se em manter a quantidade material pulverulento na areia em 5% no agregado miúdo. Os resultados evidenciam que a medida que aumentava a substituição parcial da areia natural de rio, por areia artificial, o abatimento do concreto no estado fresco diminuía, constatou-se também que no ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos no estado endurecido, houve apenas uma diferença no rompimento dos corpos de provas aos 3 dias, enquanto que nas demais idades não houve alterações, todos atendendo a resistência desejada. Com isso observa-se a possibilidade de utilização de areia artificial na produção de concreto convencional, como uma alternativa para a produção de concreto. Tal ação trará benefícios ao meio ambiente ao incorporar tais materiais que são tratados como resíduos de britadores de granito na cidade de Palmas.

**Palavras-Chaves:** Areia artificial, Concreto convencional, Trabalhabilidade e Resistência

## ABSTRACT

The work aims to study and experimentally produce conventional concrete with 25 MPa compressive strength, with partial replacement of natural river sand by artificial sand. Conventional concrete is used and large-scale specified by builders, engineers and architects because of their low cost and ease of production. To make this concrete, it was necessary to analysis by means of physical characterization of the aggregates, which used the ICA / ABCP determination method, the same way it was necessary to test for determining consistency of the truncated cone of the rebate in the fresh state with order to evaluate the workability and compression testing of cylindrical bodies of the test piece in the hardened state. The choice of the quantities of partially replaced by natural sand artificial sand, were 10%, 15% and 20%. Due to the large presence of pulverulent material on the artificial sand, there was a concern not to exceed the total amount of 5% pulverulent material in fine aggregate. The results showed that as increasing the partial replacement of natural river sand by artificial sand concrete the reduction in fresh decreased since the compression test of cylindrical bodies of the test piece in the hardened state there was only a difference in the disruption of bodies of evidence to 3 days and at other ages there were no changes neither positive nor negative, given all the resistance that have been designed. Thus notes the possibility of using conventional artificial sand in concrete production, as an alternative to the production of concrete. This action will also bring environmental benefits by incorporating these materials that are now treated like granite crushers waste in the city of Palmas.

Key Words: Sand artificial, conventional concrete, Workability and Strength

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pirâmides do Egito.....	12
Figura 2- Panteão Romano. ....	12
Figura 3: Tipos de areia quanto às dimensões.....	15
Figura 4 - Britas de dimensões variadas.....	15
Figura 5 - Britador que produz areia artificial a esquerda.....	16
<b>Figura 6:</b> Determinação da massa unitária do agregado miúdo .....	25
Figura 7 – Ensaio de Determinação da Granulometria.....	25
Figura 8 - Ensaio de Determinação de Material Pulverulento da Areia Natural.....	25
Figura 9- Ensaio de Determinação de Material Pulverulento da Areia Artificial .....	26
Figura 10 - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone da mistura inicial. ....	34
Figura 11 - Corpos de provas após desmoldados, prontos para serem levados para cura úmida. .....	34
Figura 12 - Corpo de prova colocado para realização do ensaio de (Resistência a compressão aos 28 dias) .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	19
Tabela 2 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material. ....	20
Tabela 3 – Traço Referência.....	29
Tabela 4 – Traços com Substituição.....	29
Tabela 5 - Caracterização dos Materiais quanto a sua massa específica e unitária.....	30
Tabela 6 - Caracterização dos Materiais quanto a seu módulo de finura e diâmetro máximo e material pulverulento. ....	30
Tabela 7–Substituição de material de acordo com ensaio de caracterização .....	32
Tabela 8 - Resultados de Abatimento.....	33
Tabela 9 - Resultados de Resistência a compressão.....	35

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
2.3 Justificativa e Relevância .....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
3.1 CONCRETO.....	10
3.2 CIMENTO .....	11
3.3 AGREGADOS .....	13
3.3.1 Definição .....	13
3.3.2 Origem .....	14
3.3.3 Dimensões .....	14
3.4 AREIA ARTIFICIAL .....	15
3.5 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	17
3.5.1 Resistencia .....	17
3.5.2 Trabalhabilidade .....	17
3.6 FATOR ÁGUA CIMENTO.....	17



3.7 ANÁLISE GRANULOMETRIA.....	18
3.8 MODULO DE FINURA .....	19
3.9 MATERIAL PULVERULENTO .....	19
3.10 DOSAGEM DE CONCRETO – DESVIO PADRÃO .....	21
3.10.1 Critério Brasileiro .....	21
3.10.2 Sustentabilidade .....	21
3.11 PROPRIEDADES IMPORTANTES DOS MATERIAIS .....	22
3.11.1 Massa específica .....	22
3.11.2 Massa unitária.....	22
3.11.3 Umidade .....	23
4.METODOLOGIA .....	24
4.1 Materiais Utilizados.....	24
4.2 Etapas da metodologia .....	26
1ª Etapa – Caracterização dos materiais.....	26
2ª Etapa – Definição da substituição de agregado miúdo em cada traço.....	26
3ª Etapa – Escolha da Resistência do concreto .....	27
4ª Etapa – Método de dosagem do concreto convencional .....	27
5ª Etapa – Produção de concreto .....	28
6ª Etapa – Ensaio de Abatimento .....	28
7ª Etapa – Moldar os corpos de prova e Cura .....	28
8ª Etapa – Ensaio de resistência a compressão.....	28
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29
5.1 Definição dos traços.....	29
5.2 Ensaio de Caracterização .....	29
5.4 Influência do estado Fresco.....	32

5.5 Influência do estado endurecido .....	35
6.CONCLUSÕES FINAIS.....	37
7. REFERENCIAL .....	39
ANEXO A – MEMORIAL DE CALCULO DE DOSAGEM.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil é uma prática comum dividir concreto em classes por sua resistência e uso. O concreto com resistência moderada tem resistência a compressão entre 20 MPa e 40 MPa. E são comumente chamados de concreto normal e convencional, devido ao seu uso para maioria das obras estruturais (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Nesse contexto com intuito de fornecer mais informações sobre essa classe de concreto foi adotado para analisar e produzir de forma experimental um concreto convencional de resistência a compressão de 25 MPa.

Mehta e Monteiro (2014), afirmam que os agregados representam cerca de 60% a 80% do volume do concreto e este costuma ser visto como um material de enchimento inerte, no entanto tem influência sobre a resistência no estado endurecido e trabalhabilidade no estado fresco. E Aoki (2009), ressalta que a areia representa cerca de 30% do volume do concreto. Portanto, sua extração natural, com o passar do tempo, ficará insustentável.

Dentro deste contexto percebe-se a grande importância da areia na produção de concreto, portanto faz-se necessário verificar alternativas mais viáveis para o fornecimento da areia, podendo ser natural ou artificial. Tendo visto o custo para o fornecimento, desempenho técnicos e a sustentabilidade.

Aoki (2009), explica que o fornecimento de areia natural em grandes centros como Rio de Janeiro, São Paulo e outras regiões metropolitanas sofrem dificuldades em manter a produção ou extração, devido as exigências ambientais e pelo alto custo do transporte, as longas distâncias podem chegar nestas cidades ser acima de 100 quilômetros, fazendo com que o custo do transporte seja superior ao próprio material.

Já a areia artificial obtida nas instalações de britagem, geralmente tem sua produção em locais mais próximos das centrais de concreto ou das obras e ainda aproveitam parte do material de descarte das minerações. Os fabricantes de equipamentos de britagem investem cada vez mais em tecnologia para obter materiais regulares, com boa distribuição granulométrica e baixo teor de material pulverulento. Ou seja, procura-se ficar mais próximo possível da areia natural, o que permitiria sua substituição total. Hoje, ainda é comum a substituição parcial, embora em determinados processos, pelo alto custo da areia natural, a utilização seja de 100%. (AOKI, 2009)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência da substituição da areia natural de rio por areia artificial na resistência de um concreto convencional.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar 3 traços com a substituição de 10%, 15% e 20% da areia natural por areia artificial.
- Avaliar a influência da substituição da areia natural por areia artificial, nas propriedades de trabalhabilidade no estado fresco e de resistência a compressão no estado endurecido;
- Verificar a viabilidade técnica da utilização da areia artificial proveniente de uma pedreira da cidade de Palmas/TO.

## 2.3 Justificativa e Relevância

Em determinadas regiões do país, além das restrições ambientais à exploração do produto e ao alto custo da areia natural, existem dificuldades em se obter areia natural de boa qualidade, o que justifica a busca por soluções tecnológicas alternativas. A dificuldade de obtenção de areia natural de qualidade e à proibição da sua retirada em algumas áreas geram a necessidade de extração da areia em locais distantes dos principais centros de consumo, elevando gastos com transporte, que correspondem a cerca de 70% do custo final da areia (CETEM, 2015).

Hoje em Palmas as empresas de britadores de rochas, concreteiras e depósitos de matérias de construção ainda não consomem e nem comercializam a areia artificial com o objetivo de compor o agregado miúdo do concreto, na sua totalidade e nem de forma parcial. É tratado como resíduo da produção de agregados graúdo, com isso lotando os pátios de rejeito e apenas os comercializam como aterro, cobertura de solo, insumo para jardinagem e outros fins.

Esse cenário ocorre em Palmas possivelmente por ser uma cidade nova, com certa facilidade de obtenção de areia natural, causando uma sensação de falta de preocupação com o esgotamento e dificuldades futura na exploração deste material.

Justamente neste ponto que este estudo faz-se necessário a fim de antever uma necessidade futura de difícil exploração ocasionado pela legislação ambiental e até escassez do mesmo. Mesmo que isso não ocorra a curto e médio prazo devido a cidade de Palmas está inserida numa região muito rica neste recurso mineral, deve-se buscar viabilizar o uso da areia artificial afim de reutilizar o que hoje é tratado como resíduo na cidade de Palmas e buscar ganhos nos aspectos tecnológicos do concreto.

Portanto, torna-se fundamental destacar a relevância de trabalhos como este que estudem soluções sustentáveis e a utilização de novos materiais no setor da construção civil.

Dessa forma o presente estudo se justificou pela importância da consciência quanto à preservação do meio ambiente de maneira sustentável, e da necessidade de adoção de práticas viáveis.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CONCRETO

O concreto no ramo da construção civil em suas diversas esferas e especializações tem um uso significativo, é possível encontra-lo nas construções desde as residências para moradias mais simples até em obras de alta complexidade como as usinas hidrelétricas e nucleares, saneamentos, e, plataformas de extração petrolífera móveis. A Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), afirma que cerca de aproximadamente 11 bilhões de toneladas de concreto são utilizadas anualmente Pedroso (2009)

Para Mehta e Monteiro (2014) existem três razões que levam ao uso massificante do concreto pelo homem e assim podem ser elencadas:

- Primeira – a alta resistência que o concreto possui a deterioração provocada pela água que o torna ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte da água.
- Segunda - a disponibilidade com a qual elementos estruturais podem ser encontrados e a variedade de formas e tamanhos, que permite em estado fresco consistência plástica que favorece moldar em diversas formas.
- Terceiro a popularidade do concreto entre os engenheiros por ser um composto de baixo custo.

Concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. (MEHTA E MONTEIRO, 1994, p. 08).

Para a fabricação de um concreto de alta resistência é necessário uma pasta de cimento simples seja juntado a massa, ocorre que alto custo do cimento, faz com que seja acrescentado outros materiais, conhecidos como materiais agregados visando obter a resistência e a consistência desejada, quando alcança uma distribuição granulométrica ótima como combinação de agregado miúdo/grauído, isso faz com que baixe a quantidade necessária da pasta de cimento e automaticamente há a redução do custo, portanto a qualidade da consistência e da resistência do concreto, está diretamente ligada a quantidade combinadas e empregadas em sua composição e produção e não no desempenho das propriedades das matérias-primas. (ISAIA, 2011)

O concreto é a um composto do cimento Portland que tem a propriedade de aglomerante hidráulico que é misturado a agregados miúdos, graúdos, ambos inertes e com a adição de água, geram um material homogêneo com propriedades plásticas no seu estado fresco que facilita o transporte, lançamento, adensamento e acabamento. Após algumas horas começa a secar, perdendo assim sua plasticidade e adquirindo no estado endurecido sua principal propriedade a resistência a compressão.

Por ser um produto onde seus ingredientes são de fácil aquisição e a sua produção é bem simples, se tornou um dos principais materiais na construção em Palmas, Tocantins.

### 3.2 CIMENTO

O cimento Portland ou simplesmente cimento é um pó fino dotado de propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que ao ser juntado a água sofre uma ação de endurecimento, produzindo um agente ligante, de importantíssimo valor para a construção civil

Para Neville (2011, p.1) o cimento, no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta. Essa definição abrange uma grande variedade de materiais.

Neville (2011, p.1) na construção civil o termo “cimento” é restrito a materiais aglomerantes utilizados com pedras, areia, tijolos, blocos de alvenaria, etc. Para a fabricação desse tipo de cimento, ou seja o cimento hidráulico, são utilizados os compostos de calcário, que resulta em um cimento que na produção de concreto tem a propriedade de reagir e endurecer sob a água.

Mehta e Monteiro descrevem como definição para cimento Portland:

É um cimento hidráulico produzido pela pulverização de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e até 5% de calcário como adição na moagem. (2014, P. 217)

O cimento é um dos compostos da construção civil, que remota a história da humanidade, no Egito antigo inicialmente era fabricado como gesso puro e calcinado. O uso do cimento por este povo, foi capaz de produzir construções seculares, que na época atual

ainda causa emoção as pessoas, como é o caso das pirâmides, famosas pela arquitetura e pelo tempo que perduram.



**Figura 1** - Pirâmides do Egito.  
**Fonte:** Site [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)

Outro povos que descobriram e fizeram uso do cimento na antiguidade foram os gregos e romanos, eles utilizavam o calcário calcinado e, posteriormente aperfeiçoando as suas técnicas, desenvolveram uma mistura de cal e água, areia e pedra fragmentada dando origem, aos primeiros tijolos ou telhas em cacos. Trata-se aqui do primeiro concreto da história. No caso dos romanos a estrutura de suas construções era de alvenaria de pedra ligada com argamassa, que perduram por séculos como é o exemplo do Coliseu em Roma, e a ponte Du Gard, próximo de Nîmes, e estruturas de concreto como o Panteon, em Roma, resistem até hoje, com o aglomerante ainda firme e resistente. (Neville ,1997)



**Figura 2**- Panteão Romano.  
**Fonte:** Associação Brasileira de Cimento Portland

As construções milenares demonstram, a resistência e consistência que tem o cimento e o concreto, a capacidade de ultrapassar as questões climáticas e atemporais.



### 3.3 AGREGADOS

Para a fabricação do concreto o agregado é um elemento fundamental para a dosagem deste concreto, pois corresponde a aproximadamente 70% (setenta) por cento a 80% (oitenta) por cento do volume de concreto produzido, isso agrega valor ao concreto pelo seu custo mais baixo, quando analisado economicamente na razão de unidade/volume, o ganho torna-se relevante quando comparado ao custo que o cimento, pontualmente os agregados tornam-se decisivos em certas propriedades, entre as quais: redução de retração na pasta do cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhoria na trabalhabilidade entre outros (NEVES, 2009).

Nos concretos de grandes volumes e de resistências moderadas os agregados tem grande influência na composição, tanto no aspecto relacionado a economia quanto, quanto na capacidade que possui de modificar a trabalhabilidade e também a resistência, apenas variando as proporções a serem usadas e o tipo de agregado.

O uso dos agregados, está relacionado a quantidade utilizada na fabricação do concreto, quanto maior a quantidade de agregado, menor será o fator água/cimento, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação e, portanto menor dano à aderência entre o agregado e a pasta do cimento e também seriam menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento. (NEVILLE, 1997).

A influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também e significativamente quanto absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. (NEVILLE, 1997).

#### 3.3.1 Definição

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 9935/2011, os elementos agregados são materiais granulares, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para preparação de argamassas e concretos.

**Agregado natural** é o material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual é encontrado na natureza, podendo ser submetido a lavagem, classificação ou britagem.

**Agregado artificial** é o material granular resultante de processo industrial envolvendo alteração mineralógica, química ou físico-química da matéria original, para uso como agregado em concreto ou argamassa.

**Agregado miúdo** é o material cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 micrômetros.

**Agregado graúdo** é o material cujos grãos passam pela peneira com abertura de malhar de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm. (BRASIL, 2011)

### 3.3.2 Origem

Em Palmas há grande oferta de agregados miúdos e graúdos de origem natural proveniente do leito do lago artificial que margeia a cidade e também possuem em sua proximidade algumas mineradoras que exploração rochas de granito.

Os naturais de densidade média: serão encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada de agregado: areias de barranco, mina, rios, dunas, e mar, seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solo pedregulhoso (NEVILLE,1997).

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celulares granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras pomes, escória vulcânicas ou tufo. Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada, trabalhada enfim beneficiada de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem a britagem de rocha estáveis (NEVES, (2009)

### 3.3.3 Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias quartzosas, os graúdos: seixos rolado, cascalho, britas e os agregados pétreos de grandes grãos de pedras 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecidas especificações da ABNT-NBR- 7211 e 9935.

Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos:

- Grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm.
- Grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213.

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis,

minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734,



**Figura 3:** Tipos de areia quanto às dimensões  
**Fonte:** Grupo Aleixo

A Figura 3 apresenta as faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, media ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213 (BRASIL, 2009).



**Figura 4 -** Britas de dimensões variadas.  
**Fonte:** Sucess Engenharia

### 3.4 AREIA ARTIFICIAL

A areia artificial, é conseguida por meio da quebra de rochas estáveis por meio do britamento, denominado Pedrisco, possui os tamanhos de partículas passante na peneira 4,8 mm. Esta areia possui grãos mais alongados e está livre de impurezas orgânicas, por este motivo novos estudos surgem sobre este agregado avaliando suas propriedades quando utilizado em concretos e argamassas (COSTA, 2005).

Lodi e Prudêncio Junior (2006) colocam que,

Historicamente, a areia de rocha, era um material pouco desejável devido à sua elevada aspereza e pela ocorrência de silte e argila, presença esta que prejudica a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, elevando a demanda de água de trabalhabilidade dos concretos e o atrito interno das partículas sólidas da mistura. Como consequência, os autores salientam que ocorre um elevado consumo de cimento nos concretos, para se atingir um mesmo nível de resistência à compressão, quando se utiliza areia de britagem em substituição à natural.

Concretos com adição de areia de britagem, apesar da maior demanda de água, apresentaram maior resistência à compressão, 66% (sesseis) por cento superior do que concretos produzidos com areia natural, quando utilizada areias de origem basáltica, granítica ou calcária acreditasse que esse aumento deve-se pela micro estrutura e resistência as rochas de origem utilizadas para obtenção de areia artificial. (MENOSSI, 2004)



**Figura 5** - Britador que produz areia artificial a esquerda  
**Fonte:** Autor, 2015.

A Figura 5 mostra as máquinas trabalhando para a retirada da matéria prima de britas, este processo torna a areia artificial, um agente de menor de gradação ao meio ambiente, que aquele em que a areia é retirada do solo do rio, além de possuir mais aderência que a areia natural, por possuir seus grão angulosos e ásperos (TIECHER , 2003).

### **3.5 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

#### **3.5.1 Resistencia**

A resistência de um material é definida como a capacidade para resistir a tensão sem se romper. Por isso no concreto é a propriedade mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade. Nos sólidos, existe uma relação inversa fundamental entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. (MEHTA E MONTEIRO, 2014)

A resistência do concreto normalmente é considerada sua propriedade mais importante, embora, em muitas situações praticas, outras características, como a durabilidade e a permeabilidade, possam ser mais relevantes. No entanto a resistência costuma fornecer uma ideia geral da qualidade do concreto, visto que está diretamente relacionada a estrutura da pasta de cimento hidratada. Além do mais, a resistência é, quase invariavelmente, um elemento fundamental no projeto estrutural, e é especificada para fins de controle. (NEVILLE, 2011)

#### **3.5.2 Trabalhabilidade**

Embora o concreto fresco tenha interesse apenas transitório, deve ser ressaltado que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciado pelo grau de adensamento. Portanto, é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação. (NEVILLE, 1997)

Os vazios do concreto são, na verdade, bolhas de ar aprisionado ou espaços deixados depois de retirado o excesso de água. (NEVILLE, 1997)

### **3.6 FATOR ÁGUA CIMENTO**

A relação água/cimento é o fator principal para obtenção de concretos, ela define a trabalhabilidade da massa e interfere na resistência do concreto.

Em 1918, como resultado de extenso programa de ensaios no Instituto Lewis, Universidade de Illinois, Duff Abrams determinou que existia uma relação entre o fator água/cimento e a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

O efeito do aumento do fator água/cimento na porosidade para um dado grau de hidratação do cimento, a relação água/cimento-resistência no concreto pode ser facilmente

explicada como uma consequência natural do progressivo enfraquecimento da matriz devido ao aumento da porosidade com o aumento do fator água/cimento. (MEHTA E MONTEIRO 1994)

### **3.7 ANÁLISE GRANULOMETRIA**

Esta denominação um tanto grandiosa é dada a simples operação de separar uma amostra de agregado em frações, cada uma delas consistindo de partículas com igual tamanho. Na prática, cada fração contém partículas entre determinados limites que são as aberturas de peneiras padronizadas. (NEVILLE, 1997)

#### 3.7.1 Granulometria

A granulometria é um parâmetro físico dos agregados utilizada tanto para a caracterização quanto para a sua classificação.

Se granulometria é contínua (partículas distribuídas uniformemente por todas as dimensões da menor a maior) e se as partículas têm uma forma adequada é possível obter-se um concreto compacto e resistente para um teor mínimo de cimento, reduzindo paralelamente o risco de segregação. (HEWLETT, 1998 apud BUEST, 2006).

A distribuição das partículas de um agregado segundo suas dimensões é designada por granulometria e tem a influência sobre as propriedades do concreto. (SOUZA COUTINHO, 1999 apud BUEST, 2006)

#### 3.7.2 Curva granulométrica

O resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente e, por essa razão, são usadas as curvas granulométricas. Com uma curva é possível ver, num simples relance, se a granulometria de uma amostra se enquadra em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em determinado tamanho. (NEVILLE, 1997)

### 3.8 MODULO DE FINURA

Pode ser considerado como um tamanho médio ponderado de uma peneira onde o material retido, contando-se as peneiras a partir da mais fina. O modulo de finura é a média logarítmica da distribuição de tamanho de partículas. No entanto é evidente que um parâmetro, a média, não pode ser representativo de uma distribuição: assim, um mesmo modulo de finura pode representar um número infinito de distribuições de tamanhos ou curvas granulométricas completamente diferentes. Portanto, o modulo de finura não pode ser usado como uma representação simples de granulometria, mas é útil detectar pequenas variações do agregado de uma mesma origem. Apesar disso, dentro de certas limitações, o modulo de finura pode dar indicação do comportamento provável de uma mistura feita com um agregado com certa granulometria, e o uso do modulo de finura para avaliação de agregados tem alguns adeptos. (Neville, 1997)

**Tabela 1** - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36mm	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

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

**Fonte:** ABNT NBR 7211:2009

### 3.9 MATERIAL PULVERULENTO

A utilização de agregado miúdo muito fino ou muito grosso é indispensável, pois os agregados muito finos aumentarão a água unitária, com o aumento indesejável da retração por secagem que, além do mais, facilitará a segregação. As grossas aumentarão a tendência a exsudação do concreto. (HELENE E TERZIAN, 1995)

A areia artificial é dotada de uma grande quantidade de material pulverulento que confere uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água. Por outro lado, quando em grandes quantidades, se torna ser prejudicial à qualidade do concreto.

Quanto maior a quantidade desse material maior será a superfície a ser umedecida, logo necessitará de uma elevada quantidade de água acarretando uma diminuição da resistência do concreto. Como forma de minimizar ou até mesmo eliminar essa desvantagem a areia pode ser submetida a um processo de lavagem, o que a torna excelente para utilização.

O material pulverulento encontrado nas areias naturais tem origem argilosa que prejudica a resistência mecânica, já na areia artificial esse material tem a mesma composição da rocha de onde originou. ( RIBEIRO, 2010)

Assim, segundo a NBR 7211, a quantidade de material pulverulento permitida para areia artificial é maior do que para areia natural, seja em concreto submetido a desgaste superficial ou não.

**Tabela 2** - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa á massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos <sup>A</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência a compressão comparativos	10%

**A** Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante apreciação petrográfica, pode-se prescindindo ensaio de quantificação dos materiais. Carbonosos (ASTM C 123)

**B** Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: ABNT NBR 7211:2009



### 3.10 DOSAGEM DE CONCRETO – DESVIO PADRÃO

#### 3.10.1 Critério Brasileiro

Conforme NBR 6118. NB 1 ,1978. (Mehta e Monteiro (1994, P. 330-331)

$$F_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

**F<sub>cj</sub>** é a resistência média de dosagem, a j dias de idade, em Mpa, **f<sub>ck</sub>** é a resistência característica do concreto a compressão, especificada no projeto estrutural a j dias de idade, em Mpa.

**S<sub>d</sub>** é o desvio padrão, quando não for conhecido o desvio padrão, será fixado o desvio padrão S<sub>d</sub> pelo critério a seguir;

- A) “Todos os materiais forem medidos em massa e houver medidor de agua, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e de agua em função das determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados;”

$$S_d=4,0 \text{ Mpa}$$

- B) “O cimento for medido em massa e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de agua, em função de determinações frequentes e precisas de teor de umidade dos agregados;”

$$S_d=5,5 \text{ Mpa}$$

- C) “Quando o cimento for medido em massa e os agregados em volume e houver medidor de água corrigindo-se a quantidade total de água em função da umidade dos agregados, simplesmente estimada;”

$$S_d=7,0 \text{ Mpa}$$

#### 3.10.2 Sustentabilidade

Segundo RIBEIRO (2010), junto com a grande demanda de produção de concreto está a demanda pelos agregados que são partes constituintes do mesmo. A areia natural ao ser dragada dos rios faz com que sua calha natural seja modificada, leva a um aumento da vazão de água e acelera assim o ritmo de erosão das margens. Enquanto isso, a areia artificial que fica congestionando o pátio de rejeitos dos britadores altera a paisagem, gera poeira, obstrui canais de drenagem e também causa o assoreamento de rios.

Uma alternativa ecológica e econômica para a construção civil é a utilização deste material em substituição a areia natural no preparo do concreto. (RIBEIRO, 2010)

Ribeiro ainda diz que outro fator responsável por contribuir para uma vantagem econômica é localização dos pontos de extração e beneficiamento de ambas as areias. Em função da grande extração ao longo do tempo as jazidas de areia natural estão cada vez mais afastadas dos centros urbanos, necessitando ser transportada a grandes distancias. Esse processo de transporte gera um custo que reflete no preço final do produto. Em contrapartida, a produção de areia artificial se dá bem próximo do seu consumidor final.

### 3.11 PROPRIEDADES IMPORTANTES DOS MATERIAIS

#### 3.11.1 Massa específica

Dá-se o nome de massa específica de um material granular ou pulverulento (pó) à massa deste em relação ao volume das partículas sólidas (volume dos grãos, dos cheios ou volume real), sem contar os vazios, isto é, da unidade de volume deste material compactado.

Normas:

- NBR 9776– Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman

- NBR 9937– Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo

- NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica - método de ensaio

#### 3.11.2 Massa unitária

A massa unitária é definida como a massa pelo volume do material granular ou pulverulento (pó), considerando-se os vazios. Designa-se por “ $\delta$ ” e deve ser menor que “ $\gamma$ ” do mesmo material, pois o volume é maior. É utilizado para transformações de medidas de materiais de volume para massa e vice-versa.

Normas:

- NBR 7251– Agregado no estado solto - Determinação da massa unitária

- Não existem normas específicas para a determinação da massa unitária da cal e do cimento.

### 3.11.3 Umidade

Umidade é a relação entre a quantidade de água existente e a massa seca de material. Em termos de dosagem de concretos, os dados relativos à umidade dos agregados são indispensáveis para a correção das proporções da água de mistura e dos agregados adicionados, pois a quantidade de água transportada pelos mesmos para o concreto altera substancialmente a relação água/cimento.

Normas:

- NBR 9775 – Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1987.

## **4.METODOLOGIA**

### **4.1 Materiais Utilizados**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados materiais encontrados na região de Palmas/TO.

#### **4.1.1 Cimento**

O cimento utilizado foi CP II-Z-32-RS, fabricado pela empresa Votorantim.

#### **4.1.2 Areia Natural**

Foi adotado areia encontrada no laboratório do CEULP/ULBRA. A massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,589 kg/ dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 52:2002, de 2,659 kg/dm<sup>3</sup>.

#### **4.1.3 Areia Artificial**

Foi utilizada areia artificial de origem granítica com massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,499 kg/ dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 52:2002, de 2,713 kg/dm<sup>3</sup>.

#### **4.1.4 Brita**

Foi utilizada brita de origem granítica, proveniente da pedreira Anhanguera com massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,35 kg/ dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 53:2002, de 2,695 kg/dm<sup>3</sup>.

As Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam os ensaios realizados neste trabalho.



**Figura 6:** Determinação da massa unitária do agregado miúdo  
**Fonte:**Autor,2015.



**Figura 7 –** Ensaio de Determinação da Granulometria  
**Fonte:** Autor, 2015



**Figura 8 -** Ensaio de Determinação de Material Pulverulento da Areia Natural  
**Fonte:** Autor, 2015



**Figura 9-** Ensaio de Determinação de Material Pulverulento da Areia Artificial  
**Fonte:** Autor, 2015

#### 4.2 Etapas da metodologia

1ª Etapa – Caracterização dos materiais- Nesta etapa foi feita a caracterização de todos os materiais que compuserem o traço de referência e os 3 outros traços com substituição parcial da areia natural por areia artificial.

##### **Os ensaio de caracterização foram:**

- Massa específica do agregado miúdo de acordo com a norma NBR NM 52:2009
- Massa específica do agregado graúdo de acordo com a norma NBR NM 45:2006
- Massa unitária do agregado miúdo de acordo com a norma NBR NM 45:2006
- Massa unitária do agregado graúdo de acordo com a norma NBR NM 45:2006
- Granulometria do agregado miúdo de acordo com a norma NBR NM 248:2003
- Granulometria do agregado graúdo de acordo com a norma NBR NM 248:2003
- Material pulverulento do agregado miúdo de acordo com a norma NBR NM 46

2ª Etapa – Definição da substituição de agregado miúdo em cada traço – Momento em que foram definidos as quantidades de areia natural que foram substituída por areia artificial, tendo como critério a norma ABNT NBR NM 46, onde determina que a quantidade máxima de material pulverulento não pode ultrapassar 5%.

##### **Os traços foram os seguintes:**

- 01 traço referência com 100% de areia natural;
- 01 traço com 90% de areia natural e 10% de areia artificial;
- 1 traço com 85% de areia natural e 15% de areia artificial;

- 01 traço com 80% de areia natural e 20% de areia artificial;

3ª Etapa – Escolha da Resistência do concreto - A escolha de um concreto de 25 MPa foi com objetivo de analisar um concreto convencional que seja de grande consumo na cidade de Palmas. De acordo com informações coletadas na empresa concreteira CIPLAN em Palmas, Tocantins. O concreto de 25 MPa foi o mais vendido no primeiro semestre do ano de 2015, tendo representado 38,45% de todo o concreto comercializado.

4ª Etapa – Método de dosagem do concreto convencional - O desenvolvimento dos traços foram através do método de dosagem de concreto ACI/ABCP. De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2014) este método foi publicado pela Associação brasileira de Cimento Portland em 1984, que consiste numa adaptação prática do método americano às condições brasileiras e permite a utilização de agregados graúdos britados e agregados miúdos que se enquadram que se enquadram na norma NBR 7211 – Agregados para Concreto. Neville (2011) afirma que este método é dividido em 8 passos:

Passo 1 - Escolha do abatimento - O abatimento projetado foi de 8 +- 2cm para tipos de construção, pilares de edifícios. Este valor foi retirado da tabela do livro MEHTA e MONTEIRO (2014)

Passo 2 - Escolha da dimensão máxima do agregado - Este valor foi de 19 mm e foi obtido pelo ensaio de granulometria do agregado graúdo.

Passo 3 - Estimativa da quantidade de água e teor de ar

Passo 4 - Seleção da relação água/cimento - Foi adotado um desvio padrão de 5,5, o que representa um nível de controle de qualidade moderado.

Passa 5 - Cálculo do consumo de cimento

Passo 6 - Estimativa do teor de agregado graúdo

Passo 7 - Estimativa do teor de agregado miúdo

Passo 8 - Ajustes das proporções.

De acordo com Neville (2011) em qualquer processo de dosagem é necessário realizar misturas experimentais, caso a trabalhabilidade esteja fora do projetado no passo 1, deve-se ajustar as proporções afim de manter o fator água/cimento constante em todos os traços para obter uma mesma resistência.

#### 5ª Etapa – Produção de concreto

O concreto foi confeccionado de acordo com a norma NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação. Foi elaborado no laboratório de materiais e estrutura do CEULP/ULBRA em Palmas, Tocantins. No laboratório foi utilizado uma betoneira com capacidade de 400 litros para misturar todos os materiais e todos estes foram medidos em massa.

#### 6ª Etapa – Ensaio de Abatimento

O ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone de acordo com a norma NBR NM 67, foi realizado com intuito de avaliar o resultado de trabalhabilidade de todos os traços confeccionados.

#### 7ª Etapa – Moldar os corpos de prova e Cura

O processo de moldagem dos corpos de provas cilíndricos seguiram a norma NBR 5738:2015. Foram moldados 02 corpos de prova cilíndricos de 15x30cm para cada idade e traços, totalizando 32 corpos de provas e a cura seguiu o determinado pela norma NBR 9479:2006 – Argamassa e concreto – câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de provas. Após 24 horas foram submersos por completo em um tanque com água dentro do próprio laboratório.

#### 8ª Etapa – Ensaio de resistência a compressão

Nesta etapa o ensaio de compressão de corpos cilíndricos de acordo com a norma NBR 5739:2007. Os corpos de prova foram sendo retirados do tanque 24 horas antes de realizar os ensaios nas idades estabelecidas para avaliar a resistência a compressão, que foram, 3, 7, 14 e 28 dias.



## 5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Definição dos traços

O traço de referência, sem substituição parcial da areia natural por areia artificial foi elaborado através do método de dosagem ACI/ABCP, utilizando os dados coletados da caracterização de todos os materiais empregados para a produção experimental deste concreto convencional para uma resistência característica a compressão de 25 MPa e uma resistência média do concreto à compressão a 28 dias de idade de 34,4 MPa.

**Tabela 3 – Traço Referência**

Traço Referência			
Material	Relação em Massa	Consumo Kg/m <sup>3</sup>	Quantidade p/Betoneira
Cimento CP II-Z-32-RS	1	418,75	10
Areia Natural	1,91	799,81	19,1
Brita	2,19	917,06	21,9
Água	0,48	201	4,8

Fonte: Autor, 2015.

Os demais traços foram baseados pelo traço referência onde a areia natural foi substituída parcialmente pela areia artificial nas proporções de 10, 15 e 20%, de acordo como foi definido na segunda etapa da metodologia.

**Tabela 4 – Traços com Substituição**

Traços com substituição					
Traço	Cimento CP II-Z-32-RS	Areia Natural (kg/m <sup>3</sup> )	Areia Artificial (kg/m <sup>3</sup> )	Brita (kg/m <sup>3</sup> )	Água (litros/m <sup>3</sup> )
T 10	1 - 418,75 kg	1,719 - 719,82	0,191 - 79,98	2,19 - 917,06	201
T 15	1 - 418,75 kg	1,861 - 679,83	0,286 - 119,97	2,19 - 917,06	201
T 20	1 - 418,75 kg	1,752 - 639,84	0,382 - 159,96	2,19 - 917,06	201

Fonte: Autor, 2015.

### 5.2 Ensaio de Caracterização

Os materiais utilizados nos traços deste presente trabalho possuem a seguinte características.

**Tabela 5** - Caracterização dos Materiais quanto a sua massa específica e unitária

Ensaio	Areia Artificial	Areia Natural	Brita
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,713	2,659	2,695
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,499	1,589	1,35

Fonte: Autor, 2015.

**Tabela 6** - Caracterização dos Materiais quanto a seu modulo de finura e diâmetro máximo e material pulverulento.

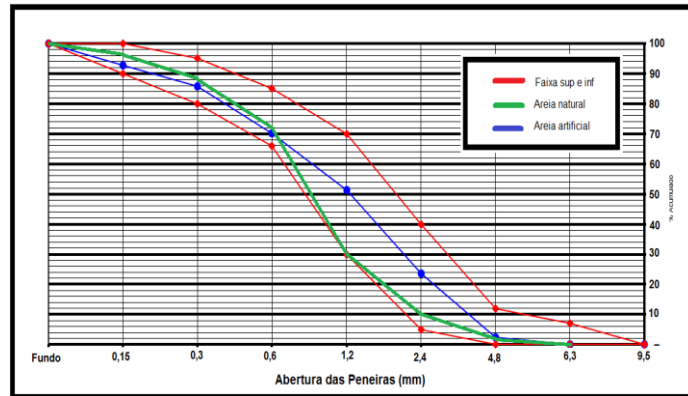
Ensaio	Areia Artificial	Areia Natural	Brita
Diâmetro Máximo (mm)	4,8	4,8	19
Modulo de Finura	3,26	2,92	4,37
Material Pulverulento	14,24%	1,24%	-

Fonte: Autor, 2015.

Observa-se que estas amostras de areia artificial e areia natural possuem características físicas que as colocam dentro da mesma faixa de módulo de finura, diâmetro máximo igual, de acordo com a norma da ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação.

O diâmetro máximo foi o mesmo das duas areias e é por definição de agregado miúdo pela norma NBR 7211 são agregados cujo os grãos maximos passam pela peneira 4,75 mm

A **tabela 1** - que foi retirada da norma citada acima, determina que o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50, mostrando assim que ambas as areias estão na mesmo zona.



**GRAFICO 1 – Curva granulometria da areia artificial e areia natural**

Fonte: Autor, 2015

No gráfico 1 apresenta a curva granulométrica da areia artificial e da areia natural, comparando as duas areias de acordo com o material retido em cada peneira, verifica-se que as duas análises estão dentro da faixa superior e da faixa inferior de materiais utilizáveis de acordo com a tabela 1.

Ao analisar a primeira peneira que é a 4,8 percebe-se que ambas possuem quantidades semelhantes de material retido, 2,62% da areia natural e 2,46% da areia artificial, na peneira 2,4 reteve 23,66% de areia artificial e 7,88% de areia natural, essa tendência mante-se na peneira 1,2, onde a areia artificial teve 51,30% de material retido acumulado e a areia natural, 29,76%, nos revelando que a areia artificial possui em sua composição granulométrica agregados miúdos maiores que a da areia natural.

Continuando a análise do gráfico 1, na peneira 0,6 ocorreu que a areia artificial reteve 70,26% e a natural 71,86%, desta forma a areia natural ultrapassou a quantidade de material retido da areia artificial, isso nos revela que a areia natural possui 42,10% de um material que passou na peneira 1,2 e ficou retido na 0,6, mostrando uma grande quantidade de material homogêneo.

Na peneira 0,3 houve quantidades semelhantes de materiais retidos em ambas as areias, 15,78% na areia natural e 15,48% na areia artificial, e na última peneira, a 0,15 foi retido 8,28% na areia natural e 7,04% na areia artificial, assim o somatório acumulado de material retido até a última peneira foi 95,92% na areia natural e 92,78% na areia artificial e no fundo restou 4,08% da areia natural e 7,22% da areia artificial.

É necessário ressaltar que há diferença da quantidade de material do fundo da peneira e da quantidade material pulverulento, a areia natural foi apenas de 1,24% e da areia artificial 14,24%, esta diferença do fundo para a quantidade de material pulverulento é resultante de acordo com NEVILLE (2011), o pó fino podem formar

filmes semelhantes da argila aderentes aos agregados, sendo necessário que sofra um processo de lavagem, para poder separar o pó dos outros grãos maiores assim possibilita medir a quantidade total de material pulverulento que passa na peneira com abertura de 75 micrômetros.

Na tabela 10 apresenta o resultado do ensaio de material pulverulento, que na norma NBR 7211 é considerado substancia nociva e esta norma determina que a quantidade máxima relativa a massa do agregado miúdo não ultrapasse o valor de 5%.

De acordo com NEVILLE (2011) os matérias finos, menores que 75 micrometros não devem ser excessivos, pois, devido sua finura e a conseqüente elevada área molhada superficial, eles aumentam a demanda por água para a molhagem de todas as partículas da mistura.

Para não afetar a trabalhabilidade dos traços de concreto devido ao elevado teor de material pulverulento na areia artificial, foi estipulado que a quantidade máxima de areia natural substituída por areia artificial fosse de 20%.

**Tabela 7**–Substituição de material de acordo com ensaio de caracterização

MATERIAL PULVERULENTO				
AREIA NATURAL	1,24%	AREIA ARTIFICIAL	14,24%	TOTAL DE MATERIAL PULVERULENTO
100,00%		0,00%		1,24%
95,00%		5,00%		1,89%
90,00%		10,00%		2,54%
85,00%		15,00%		3,19%
80,00%		20,00%		3,84%
75,00%		25,00%		4,49%
70,00%		30,00%		5,14%

Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4 Influência do estado Fresco

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2014, p.356) a trabalhabilidade do concreto fresco tem efeito direto na capacidade de bombeamento e na construbilidade, porque determina a facilidade com que uma mistura de concreto pode ser manipulada sem que haja segregação prejudicial.

NEVILLE (2011, p 195) ressalta que ela é propriedade vital em relação ao produto acabado, pois o concreto deve ter trabalhabilidade que permita o máximo de adensamento

possível com uma quantidade mínima razoável de energia ou com quantidade de esforço que for possível aplicar em determinadas condições.

A presença excessiva de materiais pulverulentos na areia artificial causou uma diminuição gradativamente a trabalhabilidade do concreto a medida que aumentava a substituição parcial da areia natural, devido a conseqüente elevada área superficial do matérias finos que afeta a trabalhabilidade e aumenta a demanda por água.

Porem a substituição da areia natural por areia artificial chegou apenas a 20%, fazendo com que o valor total, não ultrapassasse os 5% de material pulverulento aceito por norma.

O Fator agua cimento está ligado a necessidade de trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência a compressão no estado endurecido, neste estudo não houve necessidade de ajuste do fator agua/cimento pois o abatimento ficou dentro do especificado que é 80 +- 20 mm.

Quanto maior for o fator a/c melhor será a trabalhabilidade no estado fresco porem afetara a resistência a compressão no estado endurecido, pois a agua em excesso e não utilizada na reação química do concreto dará lugar a porosidade, reduzindo a capacidade de resistir a forças de compressão, impermeabilidade e durabilidade.

Os resultados de determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 8 - Resultados de Abatimento**

<b>Traço</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
<b>TR</b>	100
<b>T10</b>	85
<b>T15</b>	68
<b>T20</b>	60

Fonte: Autor, 2015

Traço Referencia – Apresentou a melhor trabalhabilidade devido ao baixo teor de materiais pulverulentos.

Traços com adição de areia artificial – Apresentou gradativamente uma perca de trabalhabilidade devido ao alto teor de materiais pulverulentos.

De acordo com RIBEIRO, (2010) à alta concentração de finos tem-se uma maior superfície a ser molhada necessitando de uma maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade. O material pulverulento influencia na consistência do concreto. Aumentando a quantidade de água aumenta-se a quantidade de cimento a ser adicionada para que não haja perda na resistência.

A afirmação de RIBEIRO, (2010) comprova os resultados obtidos neste trabalho pois foi observado que quanto maior o teor de substituição menor a trabalhabilidade do concreto.



**Figura 10** - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone da mistura inicial.  
**Fonte:** Autor, 2015.

Após realização do slump teste foram moldados dois corpos de prova para cada idade, corpos de provas esses que foram desmoldados 24 horas depois de sua moldagem e levados a cura úmida submersa até as referidas datas de ensaio.



**Figura 11** - Corpos de provas após desmoldados, prontos para serem levados para cura úmida.  
**Fonte:** Autor, 2015.

## 5.5 Influência do estado endurecido

Resistência a compressão é a característica mais importante do concreto no seu estado endurecido, portanto, a Resistência Característica do Concreto à Compressão ( $f_{ck}$ ) é um dos dados utilizados no cálculo estrutural. O presente trabalho propôs analisar a influência da substituição parcial da areia natural de rio por areia artificial nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido.

O TR foi calculado para um  $f_{ck}$  de 25 MPa e um  $f_{cj}$  aos 28 dias de 34,4 Mpa.

A tabela abaixo apresenta os resultados da média de resistência a compressão feita pela resistência obtida pelo rompimento dos dois corpos de prova para cada idade, dos traços elaborados neste trabalho.

Na análise dos resultados, comparou-se o traço de referência com concretos empregando-se: substituição de 10, 15 e 20% de areia artificial. Na Tabela 12 apresentam-se os resultados de resistências à compressão correspondentes a cada uma das idades de rompimento.

**Tabela 9 - Resultados de Resistência a compressão**

Amostra (Dias)	Resistência (Mpa)			
	Traço Ref.	Traço Sub. 10%	Traço Sub. 15%	Traço Sub. 20%
Idade				
3	19,85	18,7	18,8	18,65
7	22,55	23,05	19,7	24,65
14	25,25	24,25	24,3	24,5
28	28,1	28,55	25,1	28,05

Fonte: Autor, 2015

Nos resultados obtidos pelo ensaio de rompimento a compressão aos 3 dias, o traço de referência apresentou resultado superior a todos os demais que tem substituição da areia natural por artificial, possivelmente pela dificuldade de hidratação destes devido a quantidade de materiais finos (pulverulento) inertes da areia artificial.

Observa-se que, todos os traços atingiram a resistência proposta para o trabalho de 25 Mpa aos 28 dias de cura.

A Substituição de 15% aos 28 dias, apresentou uma resistência de 10,67% menor que o traço referência.

A Substituição de 10% aos 28 dias, apresentou uma resistência de 1,57% maior que o traço referência, sendo essa a maior resistência alcançada entre os traços elaborados neste trabalho. Portanto, levando em conta apenas as propriedades estudadas, os concretos fabricados com substituição parcial de areia artificial apresentam-se como uma alternativa aplicável e sustentável, porém sem acréscimos expressivos de resistência.



**Figura 12** - Corpo de prova colocado para realização do ensaio de (Resistência a compressão aos 28 dias)  
**Fonte:** Autor, 2015.



## 6. CONCLUSÕES FINAIS

A substituição parcial da areia natural de rio por areia artificial para um concreto convencional com resistência a compressão de 25 MPa, feito através da dosagem de concreto pelo método ACI/ABCP, mostrou-se viável de acordo com as substituições propostas, visto que os resultados no estado fresco mesmo que houve uma tendência de perda de trabalhabilidade a medida que aumentava as substituições das areias, não ultrapassou a margem de abatimento dimensionada que foi de  $8 \pm 2$  cm.

É importante ressaltar que a areia artificial apresentou 14,24% de material pulverulento em sua composição, este valor é bem superior aos 5% aceito pela norma NBR 7211:2008. E a areia natural apresentou 1,24%, por isso foi definido que a substituição parcial máxima da areia natural por areia artificial ficasse em apenas 20%, isso gerou um valor global de material pulverulento no agregado miúdo de 3,84%, assim ficando dentro do aceito pela norma e evitando elevada perda de trabalhabilidade.

Os corpos de provas cilíndricos de concreto no estado endurecido foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão, aos 3 dias pode-se perceber que o traço de referência teve um resultado superior a todos os outros traços com substituição parcial das areias, possivelmente isso se deve a quantidade de materiais finos que atrapalhou a hidratação inicial do cimento. Aos 28 dias todos traços de concretos com ou sem substituição parcial de areias ultrapassaram a resistência de 25 MPa. Constata-se que nas idades, 7, 14 e 28 dias não pode-se perceber relações de tendências de resultados que possam gerar hipóteses e conclusões.

A resistência a compressão estudada foi de 25 MPa, porém para se obter através do método de dosagem ACI/ABCP foi dimensionado 34,4 MPa pois o valor de resistência a sofreu alteração devido ao desvio padrão que faz parte do processo de dosagem por este método.

Conclui-se que as características do concreto com areia artificial analisada, não apresentaram diferenças significativas no estado fresco e no estado endurecido, entretanto os resultados mesmo que não tenham alcançado o resultado de resistência média do concreto à compressão de 28 dias de idade que foi de 34,4 MPa, não deixam de ser satisfatórios pois todos os traços de substituição ultrapassaram a resistência característica a compressão que foi de 25 MPa que era a proposta do estudo.

É importante lembrar, que para confirmar a utilização sem restrições deste material, sugere-se que seja aprofundado novos estudos sobre o tema, analisando-se outras propriedades que não foram contempladas nesse trabalho, tais como: a composição química

dos materiais, o módulo de elasticidade, a retração por secagem, a abrasão, além da realização de um estudo complementar para se avaliar o comportamento, ao longo do tempo, e a durabilidade do material, com a utilização de diferentes teores de substituições de areia artificial, resistência de dosagem diferentes e que seja usado aditivo para manter a resistência à compressão em virtude da quantidade de água para se obter uma trabalhabilidade adequada.

## 7. REFERENCIAL

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto** – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996

*Areia Artificial X Impacto Ambiental*. Disponível no <[www.canalciencia.ibict.br](http://www.canalciencia.ibict.br)> Acesso em 12 de abril de 2015.

AOKI, Jorge. **Custos e características técnicas determinam a opção para a escolha do material mais adequado. Areia natural ou areia artificial**. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/areia-natural-ou-artificial/>> Acesso em 15 out 2015

BUEST NETO, Guilherme Teodoro. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland** – Curitiba; UFPR, 2006. 149 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Deptº de Eng Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM. **Areia artificial pode ser a opção mais barata**. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br>> Acesso em: 13 mar. 2015.

COSTA, Marlo Jorge da. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento portland: aplicabilidade de um método de dosagem** – Ijuí; UNIJUÍ, 2005. 46 p. Trabalho de conclusão de curso, Deptº de Eng Civil, Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2005.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo IBRACON, 2011.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LODI, V. H., PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó - SC**. In: Workshop Desempenho de Sistemas Construtivos, Uno Chapecó, Chapecó, SC, novembro de 2006.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora IBRACON Ltda, 2ª Edição. São Paulo, 2014.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Ilha Solteira: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade estadual Paulista, 2004. 97p. (Dissertação de Mestrado).

NEVES, Idércio França Das. **Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Editora Pini, 1997.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Editora bookman, 5º edição, 2015.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland** / Eladio G. R. Petrucci. – 14ª ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 2005.

RIBEIRO, Benício Costa. **UTILIZAÇÃO DA AREIA ARTIFICIAL (AREIA DE BRITA) NO PREPARO DO CONCRETO**. Viçosa, 2010. Disponível em <<http://followscience.com/content/158679/concreto-com-areia-artificial/>> Acesso em: 9 Out. 2015.

HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

## ANEXO A – MEMORIAL DE CALCULO DE DOSAGEM

$D_{max} = 19\text{mm}$  – (Maior diâmetro obtido no ensaio de granulometria)

Slump =  $75\text{mm} \pm 25\text{ mm}$  – (Fundações, paredes e sapatas armadas)

$V_{\text{água}} = 201$  litros (tabela 04 – Requisitos aproximados de água de amassamento e teor de ar incorporado em função do abatimento e do diâmetro máximo característico do agregado graúdo).

SD = 5,5 (desvio padrão da dosagem para obra com rigor mediano conforme NBR 12.655)

$$F_{cj} = f_{ck} + 1,65 * SD$$

$$F_{c28} = 25 + 1,65 * 5,5$$

$$F_{c28} = 34,0\text{Mpa}$$

$a/c = 0,48$  – (tabela 05 – relação água/cimento em função da resistência característica)

$201/c = 0,48$  – (massa de cimento obtida por meio da relação  $a/c = 0,48$ )

$$C_{\text{cimento}} = 418,75\text{Kg}$$

$V_{\text{Brita}} = 0,682\text{m}^3$  - (Tabela 06 – volume de agregado graúdo conformado em função do módulo de finura da areia e do diâmetro máximo característico da brita).

$$V_{\text{areia}} = 1,0 - (V_{\text{Brita}} + V_{\text{cimento}} + V_{\text{água}} + V_{\text{ar}})$$

$$V_{\text{areia}} = 1,0 - (0,342 + 0,139 + 0,201 + 0,015)$$

$$V_{\text{areia}} = 0,303\text{m}^3$$

### Traco em massa

$$\frac{418,75}{418,75} : \frac{805,67}{418,75} : \frac{920,7}{418,75} ; \frac{201}{418,75}$$

$$1 : 1,91 : 2,19 : 0,48$$

### Traco massa/volume

$$1 : \frac{1,91}{\delta a} : \frac{2,19}{\delta b} ; \frac{0,48}{\delta \text{água}}$$

$\delta a$ -massa unitária do agregado miúdo

$\delta b$ -massa unitária do agregado graúdo

$\delta \text{água}$ -massa unitária da água

$$1 : \frac{1,91}{1,59} : \frac{2,19}{1,35} ; \frac{0,48}{1,0}$$

$$1 : 1,21 : 1,62 : 0,48$$