

ESTUDO ENTRE DOIS TIPOS DE AGREGADOS PARA O CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Caroline Elidiana Santos*
Angela Zamboni Piovesan**

Resumo

O concreto é o material de construção mais utilizado; em conjunto com o aço, forma o concreto armado. Portanto, é uma ótima opção para as construções dos mais variados tipos. Quando exposto a fluidos agressivos e a condições ambientais severas, é essencial que o concreto permaneça livre de fissuras e impermeável por um longo período. O concreto convencional, muitas vezes, não supre essa necessidade. O concreto de alto desempenho (CAD) é um concreto além do concreto convencional (CC). Para se obter um CAD, ele deve apresentar alta trabalhabilidade, alta resistência e alta durabilidade. Ao aumentar a resistência dos concretos, principalmente após melhorar a pasta de cimento hidratada e a zona de transição, os agregados tornam-se o elo fraco da mistura. Com o objetivo de um maior estudo sobre o CAD, pretendeu-se analisar qual é a melhor composição granulométrica e, entre o basalto e o granito, qual deles apresenta características mecânicas melhores na produção do CAD. Para o estudo, utilizou-se: cimento Portland, sílica ativa, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivo superplastificante. Foram avaliados oito traços e moldados 80 corpos de prova, analisando-se a consistência no estado fresco e as propriedades mecânicas no estado endurecido em diferentes idades, como resistência à compressão; os estudos foram realizados a fim de se obter a maior resistência possível com a combinação desses materiais. Obteve-se 113,3 MPa de resistência à compressão aos 28 dias com o agregado de origem basáltica. A granulometria que apresentou melhores propriedades foi a de maior dimensão.

Palavras-chave: Concreto de alto desempenho. Basalto. Granito.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado; em conjunto com o aço, forma o concreto armado (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011). Portanto, é uma ótima opção para as construções dos mais variados tipos.

Em virtude da ousada arquitetura e dos ambientes mais agressivos, surge a necessidade de novos materiais. O concreto de alto desempenho (CAD) é o nome adotado para designar um tipo novo de concreto, mais resistente, mais durável e mais trabalhável em obra do que o concreto convencional.

Quando exposto a fluidos agressivos e a condições ambientais severas, é essencial que o concreto permaneça livre de fissuras e impermeável por um longo período. O concreto convencional, muitas vezes, não supre essa necessidade; o concreto de alto desempenho vem atendê-la.

De acordo com Almeida (2005), a constituição desse tipo de concreto nada mais é do que a evolução tecnológica dos concretos tradicionais: brita, areia, cimento e água, aos quais são incorporados alguns aditivos químicos e adições minerais.

Nos concretos de alto desempenho, as propriedades dos agregados são mais importantes do que nos concretos correntes, pois em decorrência da resistência, o agregado pode se tornar o elo fraco da mistura. Com isso, o estudo busca analisar qual tipo de agregado, entre o basalto e o granito, possui propriedade mecânica melhor.

* Graduada de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; caroline.es8@hotmail.com

** Professora Mestre na Universidade do Oeste de Santa Catarina; angela.piovesan@unoesc.edu.br

1.1 JUSTIFICATIVA

O concreto de alto desempenho é um material que apresenta comportamento mais elevado do que o concreto convencional. Para se obter um concreto de alto desempenho, ele deve apresentar alta trabalhabilidade, alta resistência e alta durabilidade.

Ao aumentar a resistência dos concretos, principalmente após melhorar a pasta de cimento hidratada e a zona de transição, os agregados tornam-se o elo fraco da mistura. Ao selecionar agregados com melhores propriedades mecânicas, haverá interferência na resistência à compressão, entre outras propriedades (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Para o concreto de alto desempenho, deve-se selecionar agregados de maior resistência (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011); por isso, o estudo dos agregados é importante no concreto de alto desempenho, e este trabalho pretende comparar os agregados basalto e granito.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar dois tipos de agregados de origens e granulometrias diferentes nas propriedades do concreto de alto desempenho.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Dosar um traço de concreto de alto desempenho;
- b) Analisar as propriedades mecânicas dos concretos;
- c) Analisar a fluidez dos concretos no estado fresco;
- d) Analisar a porosidade dos concretos no estado endurecido.

2 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

O concreto é uma ótima opção para as construções dos mais variados tipos, e cada vez exige-se mais dessa importante opção para estruturas. As notáveis evoluções do cálculo estrutural, aliados ao maior conhecimento do comportamento mecânico do concreto e do aço, permitem que os projetistas especifiquem estruturas mais arrojadas em concreto armado e protendido. Com isso, muitas vezes, o concreto convencional (CC ou OPC – *Ordinary Portland Concrete*) não atende aos requisitos necessários (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011, p. 1283).

Em 1990, Mehta e Aitcin sugeriram o termo Concreto de Alto Desempenho (CAD) (HPC – *High-Performance Concrete*) para misturas de concreto que possuíssem três propriedades: alta trabalhabilidade, alta resistência e alta durabilidade (METHA; MONTEIRO, 2008, p. 493).

Segundo Almeida (2005, p. 1160), a composição do CAD nada mais é do que uma evolução tecnológica dos concretos tradicionais: mistura de brita, areia, cimento e água, ao quais são incorporados alguns aditivos químicos e adições minerais.

3 PROPRIEDADES DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

3.1 DOSAGEM

De acordo com Almeida (2005, p. 1176), cada material, ou seja, cimento, agregados, água, aditivos químicos e adições minerais, deve ser avaliado segundo seu tipo, características de resistência, granulometrias, entre outros,

devendo também, haver a análise da interação e da combinação dos vários materiais entre si. São necessárias misturas experimentais para gerar dados que permitam a escolha dos materiais ótimos e o proporcionamento ideal.

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

É importante controlar as propriedades do concreto no estado fresco por duas razões principais. A primeira é que esse tipo de concreto deve ser facilmente lançado e a segunda é que o CAD, cujas propriedades enquanto fresco estão sob controle, redundará em um concreto endurecido e as propriedades estarão bem controladas (AİTCIN, 2000, p. 391).

Segundo Almeida (2005, p. 1177) e Aitcin (2000, p. 393), a massa unitária do concreto de alto desempenho está frequentemente próxima da 2.500kg/m^3 , um pouco mais alta do que o concreto usual.

3.2.1 Espalhamento

O CAD é um concreto autoadensável e, de acordo com Repette (2011, p. 1777), tem que ter um espalhamento igual ou maior que 550 mm. O tempo para atingir o espalhamento de 500 mm, parâmetro chamado de t_{500} , deve estar entre 2 e 5 segundos.

3.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

De acordo com Paulon (2005, p. 584), existem três propriedades essenciais do concreto endurecido: resistência mecânica, porosidade e durabilidade. A ligação entre a pasta de cimento e o agregado, resulta não apenas de um entrelaçamento mecânico dos produtos de hidratação do cimento com o agregado, como, também, da reação química entre o agregado e a pasta de cimento.

A resistência e a durabilidade do concreto são de suma importância na sua utilização. Na região de contato entre a pasta de cimento e o agregado, a resistência desta região pode ser menor do que a resistência do agregado ou da pasta, que fará com que a transição se torne uma zona de fraqueza na resistência do concreto (PAULON, 2005, p. 584).

3.3.1 Resistência Mecânica

De acordo com Tutikian, Isaia e Helene (2011, p. 1292), quando se fixam relações água/aglomerante baixas, a zona de transição melhora e seleciona agregados adequados, a resistência à compressão é afetada positivamente e obtém-se resistências superiores a 50 MPa.

Em comparação com um concreto convencional de 20 MPa, a resistência à compressão dos CADs pode atingir cerca de 120 MPa (ALMEIDA, 2005, p. 1178).

3.3.2 Porosidade

A porosidade dos CADs é muito diminuída, podendo chegar a menos de 10%, cerca da metade da medida nos concretos convencionais. Há, ainda, indícios de que os poros remanescentes sejam menos contínuos, mais segmentados ou obstruídos, o que confere a baixa permeabilidade dos CADs. Em geral, a porosidade destes concretos é tanto menor quanto menor é a relação A/C, e as menores porosidades correspondem às menores permeabilidades (ALMEIDA, 2005, p. 1180).

3.3.3 Durabilidade

A durabilidade do concreto está empregada para caracterizar a resistência do concreto ao ataque de agentes agressivos físicos e químicos. Os agentes agressivos que atacam o concreto podem ser classificados em duas categorias: externos e internos. Os agentes externos são os íons cloreto, o dióxido de carbono, os sulfatos, os ciclos de congelamento e degelo, as bactérias e os abrasivos. Já como agentes internos, podem ser citados os íons de cloreto incorporados, quando são usados certos aceleradores, e os álcalis do cimento, quando são usados com agregados potencialmente reativos (AİTCIN, 2000, p. 539).

4 MATERIAIS COMPONENTES

A seleção adequada de todos os constituintes da mistura é essencial para se obter um concreto resistente, durável e que apresente condições de trabalhabilidade no estado fresco. Os componentes do CAD são: cimento, adição mineral, aditivo químico, agregado miúdo, agregado graúdo e água (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE 2011, p. 1290).

4.1 CIMENTO

A escolha do cimento para a composição dos CADs é importante, já que ele influencia tanto a resistência da pasta quanto a intensidade da aderência agregado-pasta (ALMEIDA, 2005, p. 1168).

Segundo Tutikian, Isaia e Helene (2011, p. 1290), para produzir-se o CAD, deve-se escolher cimentos o quanto mais puro possível, Cimentos CP I e CP V ARI são os mais recomendados em razão da grande quantidade de pozolanas que serão adicionadas na mistura.

4.2. ADIÇÕES MINERAIS

A utilização de adição mineral nos CADs é importante devido à ação química e física que exercem essas partículas. As adições mais utilizadas são sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011, p. 1292).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008, p. 30), a adição de sílica ativa aumenta a coesão, a resistência e a durabilidade. Conforme Aİtcin (2000, p. 162), aumenta a fluidez, melhora a zona de transição entre a pasta de cimento e os agregados.

4.3 AREIA

Para Almeida (2005, p. 1171), tanto as areias naturais quanto as artificiais provenientes de rochas britadas podem ser empregadas com o mesmo objetivo em CAD. Quanto mais fino o agregado, maior a aderência entre agregado e pasta, em decorrência da sua maior superfície específica exposta à reação.

4.4 ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Os aditivos recomendados para o CAD são os superplastificantes. Sua função é melhorar a consistência do concreto sem aumentar a demanda de água, aumentar as propriedades mecânicas e a durabilidade da mistura (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011, p. 1292).

De acordo com Almeida (2005, p. 1173), as dosagens de superplastificantes nas composições de CAD variam entre 1% e 3% da massa de cimento.

5 PROPRIEDADES E INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS NO CONCRETO

As características relevantes do agregado para a composição do concreto incluem: porosidade, distribuição granulométrica, absorção de água, forma, resistência à compressão e tipo de substâncias presentes. Estas características resultam da composição mineralógica da rocha, das condições de exposição a que a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e o tipo de equipamento para a produção do agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 259).

As rochas são classificadas em três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas. Estes grupos são subdivididos de acordo com sua composição mineralógica e química, textura ou granulação (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 261).

As rochas ígneas se formam pelo resfriamento do magma, acima, abaixo, ou próximo da superfície terrestre. O grau de cristalinidade e a granulação das rochas ígneas variam de acordo com a taxa de resfriamento do magma na época que a rocha se formou (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 261).

As rochas ígneas são as que apresentam, em geral, melhor comportamento geomecânico e são as mais utilizadas em construção civil, no Brasil. As rochas plutônicas têm resistências mecânicas altas, em decorrência da homogeneidade dos corpos rochosos, à forte coesão dos constituintes minerais e à granulação mais grossa. Já as rochas vulcânicas apresentam maiores resistências mecânicas do que as plutônicas, porém, a presença de vesículas tendem a diminuí-las. Maiores quantidades de quartzo aumentam a resistência mecânica das rochas, aumentando sua abrasividade, o que leva a um desgaste de equipamentos como, por exemplo, britadores (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 26).

No Brasil granitos e basaltos, respectivamente, rochas plutônicas e vulcânicas, constituem as rochas mais abundantes no país (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 28).

5.1 BASALTO

Os basaltos são as rochas ígneas vulcânicas mais abundantes, sua maior ocorrência é em forma de derrames. No Brasil, são encontrados na formação da Serra Geral da Bacia do Paraná (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 31).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008, p. 267), o basalto é bom agregado, possui granulação fina e é resistente.

5.2 GRANITO

Os granitos são rochas ácidas plutônicas, que formam a maior parte das cadeias montanhosas. São muito abundantes no Brasil; encontradas em regiões de escudo como Guianas, Brasil Central e Atlântico (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 28).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008, p. 267), o granito é um excelente agregado, porque possui granulação média a grossa, é resistente e produz partículas equidimensionais na britagem e baixa absorção.

6 MATERIAIS UTILIZADOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Universidade do Oeste de Santa Catarina. Para a caracterização dos materiais utilizados no concreto de alto desempenho foram seguidas as normas vigentes.

6.1 AREIA

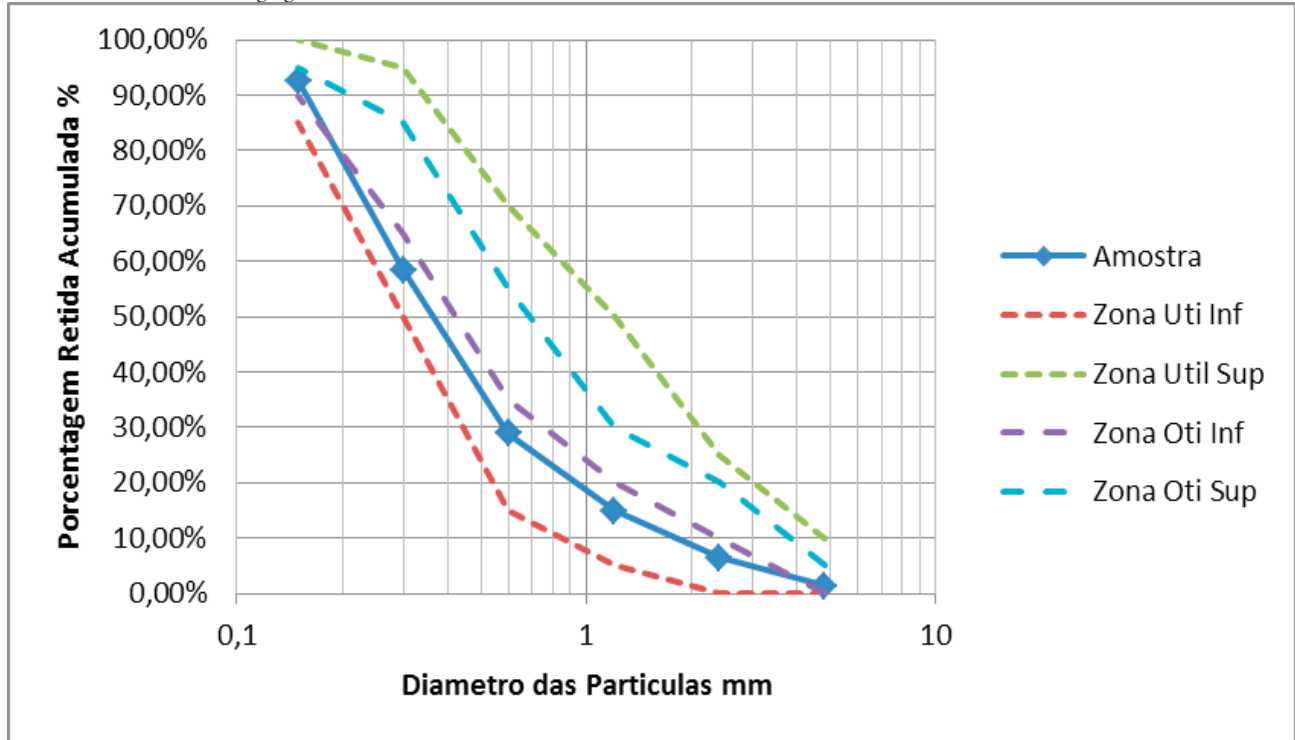
A granulométrica da areia seguiu as recomendações da NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Com os valores obtidos do material retido em cada peneira, foi possível calcular a dimensão máxima característica e o módulo de finura, conforme mostra a Tabela 1 e representa o Gráfico 1:

Tabela 1 – Granulometria areia

Módulo de finura	2,17
Dimensão máxima característica	4,8

Fonte: os autores.

Gráfico 1 – Granulometria agregado miúdo



Fonte: os autores.

Para determinar a massa específica e a massa específica aparente da areia seguiu-se a NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Com os valores determinados nos ensaios, obteve-se a massa específica no valor de 2,577 g/cm³ para a areia.

Para a determinação da massa unitária, seguiu-se as orientações da NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e o volume de vazios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). A massa unitária obtida da areia foi de 1,502 g/cm³.

6.2 AGREGADO GRAÚDO

Para obter as características do basalto e do granito foram realizados os seguintes ensaios: distribuição granulométrica, massa específica e massa unitária.

Para a granulometria do agregado graúdo (basalto e granito), seguiu-se as recomendações da NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Com os valores obtidos do material retido em cada peneira, é possível calcular a dimensão máxima característica e o módulo de finura, conforme mostram as Tabelas 2 e 3 e representam os Gráficos 2 e 3.

Tabela 2 – Granulometria basalto

Módulo de finura	5,91
Dimensão máxima característica	9,5

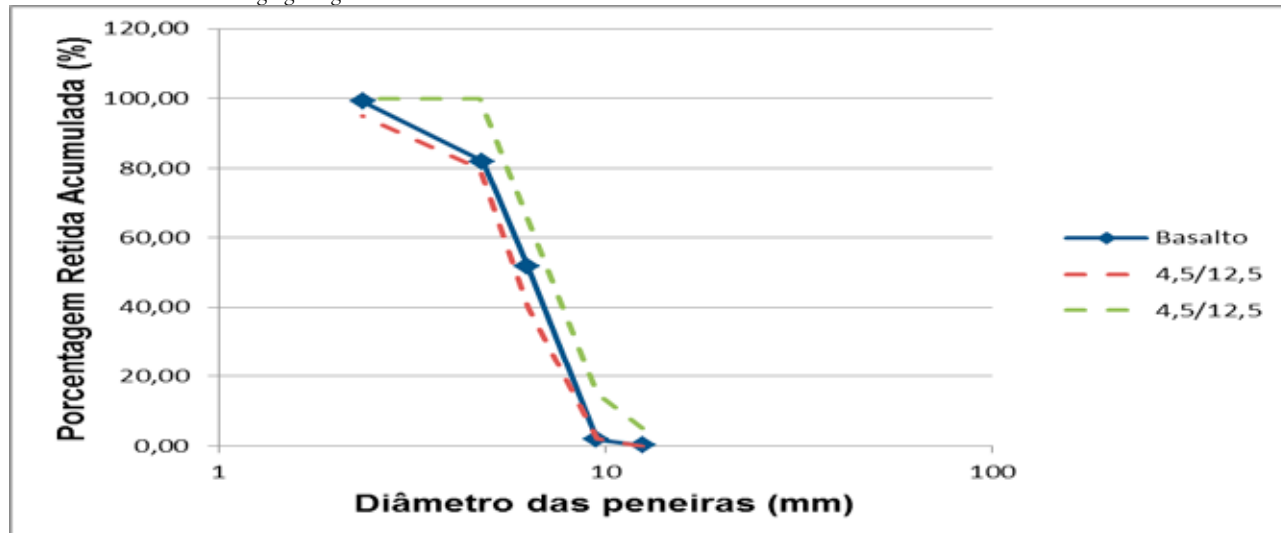
Fonte: os autores.

Tabela 3 – Granulometria granito

Módulo de finura	5,65
Dimensão máxima característica	9,5

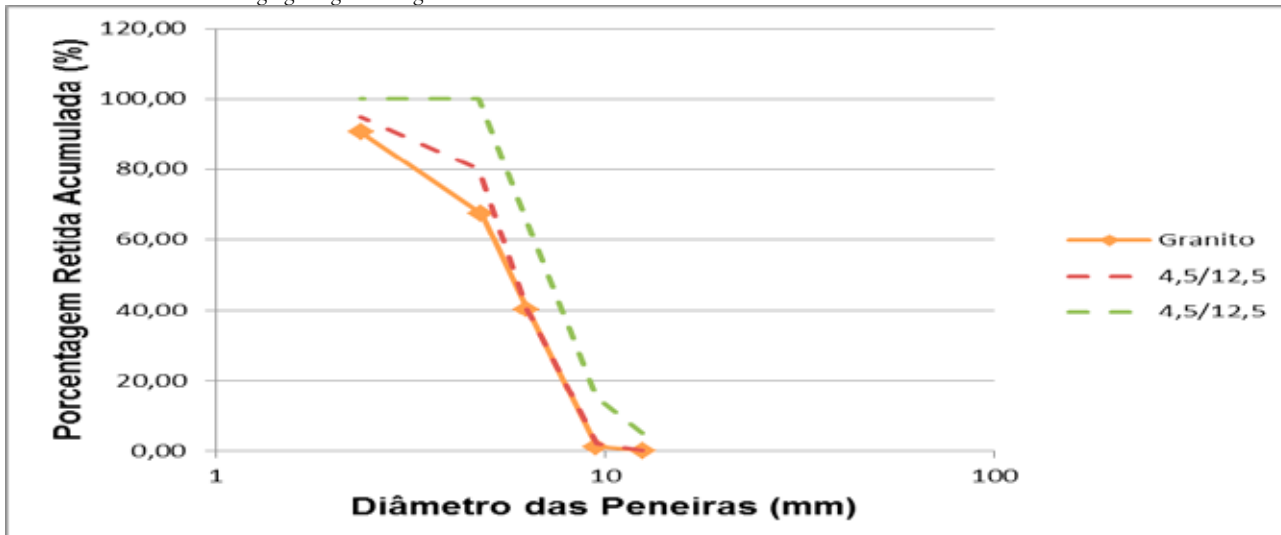
Fonte: os autores.

Gráfico 2 – Granulometria agregado graúdo – basalto



Fonte: os autores.

Gráfico 3 – Granulometria agregado graúdo – granito



Fonte: os autores.

Para se determinar a massa específica do agregado, seguiu-se a NBR NM 53: 2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. O agregado de origem basáltica obteve massa específica de 2,66 g/cm³ e o agregado de origem granítica, de 2,57 g/cm³.

Para a determinação da massa unitária do agregado graúdo, seguiu-se as orientações da NBR NM 45: 2006. O valor apresentado do agregado de origem basáltica 1,43 g/cm³ é maior que o de origem granítica 1,38 g/cm³.

7 DOSAGEM DOS TRAÇOS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

O traço inicial foi testado e observou-se que havia uma grande quantidade de agregado graúdo, o que deixava a mistura pouco fluida; o concreto de alto desempenho deve apresentar boa fluidez, então, fez-se alguns ajustes na quantidade de agregado, chegando à fluidez desejada para o CAD. O traço final proposto utilizado pode ser visualizado na Tabela 4:

Tabela 4 – Traço proposto em kg/m³

Material	Consumo (Kg/m ³)
Cimento Portland CP-V	450
Sílica Ativa	34
Arcia	737
Agregado graúdo	515
Água	153
Aditivo Superplastificante	4

Fonte: os autores.

De acordo com Repette (2011) concretos autoadensáveis têm o espalhamento superior a 550 mm. Nesse traço proposto, obteve-se o espalhamento de 680 mm com o molde tronco-cônico (Cone de Abrams) e 320 mm com o molde tronco-cônico de argamassa, estando de acordo com um concreto de alto desempenho.

Com o traço proposto, a relação água/cimento é de 0,34 e a relação água/aglomerante é de 0,32. Com isso, a única mudança em cada traço é a composição granulométrica e a origem mineralógica do agregado. A Tabela 5 mostra a granulometria e a origem mineralógica utilizadas em cada traço.

Tabela 5 – Tipos de granulometrias utilizadas

Basalto (Diâmetro do agregado)		Granito (Diâmetro do agregado)	
Traço	Granulometria	Traço	Granulometria
T1	Natural	T5	Natural
T2	Retido 2,36	T6	Retido 2,36
T3	Retido 4,8	T7	Retido 4,8
T4	Retido 6,3	T8	Retido 6,3

Fonte: os autores.

Para a moldagem dos corpos de prova, seguiu-se as recomendações da NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Foram moldados 10 corpos de prova para cada traço.

O procedimento de cura dos traços de concreto de alto desempenho foi realizado pelo método de cura úmida, de acordo com a NBR 5739: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2008).

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram nos moldes por 24 horas; na sequência, foram desmoldados e identificados e, então, realizou-se a cura em tanque com temperatura controlada em 23±2 °C.

8 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS CONCRETOS

8.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Sabe-se que diferenças na composição mineralógica e na distribuição do tamanho das partículas dos agregados afetam a resistência do concreto (METHA; MONTEIRO, 2008). Seguindo pela afirmação de Metha e Monteiro

(2008), realizou-se o acompanhamento da resistência à compressão dos CADs em diferentes composições mineralógicas e granulométricas.

Na Tabela 6, são demonstrados os máximos valores obtidos no ensaio da resistência à compressão do concreto para cada traço, com diferentes granulometrias em idades de 7 e 28 dias.

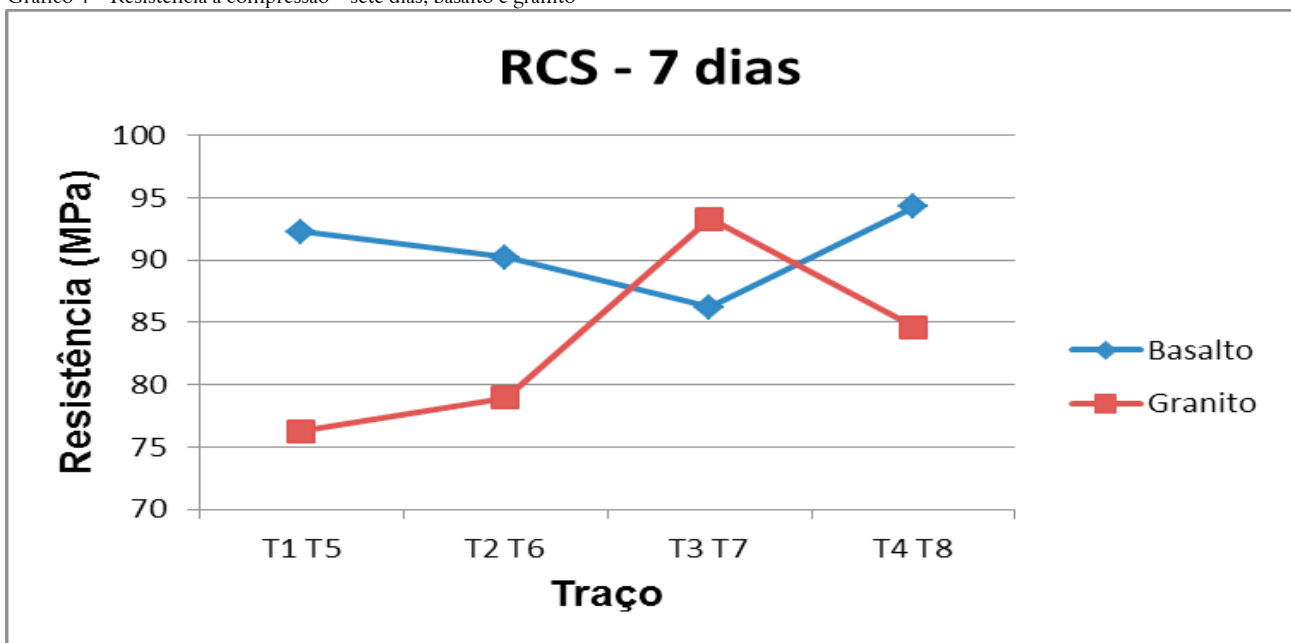
Tabela 6 – Resistência a compressão concreto de alto desempenho

Traço	Basalto (MPa)		Traço	Granito (MPa)	
	7 dias	28 dias		7 dias	28 dias
T1	92,3	113,3	T5	76,3	99,4
T2	90,2	109,4	T6	79	102,9
T3	86,2	107,4	T7	93,3	104
T4	94,3	109,1	T8	84,6	111,7

Fonte: os autores.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos, o Gráfico 4 apresenta uma comparação entre a resistência à compressão em função da origem mineralógica do agregado em diferentes granulometrias.

Gráfico 4 – Resistência a compressão – sete dias, basalto e granito



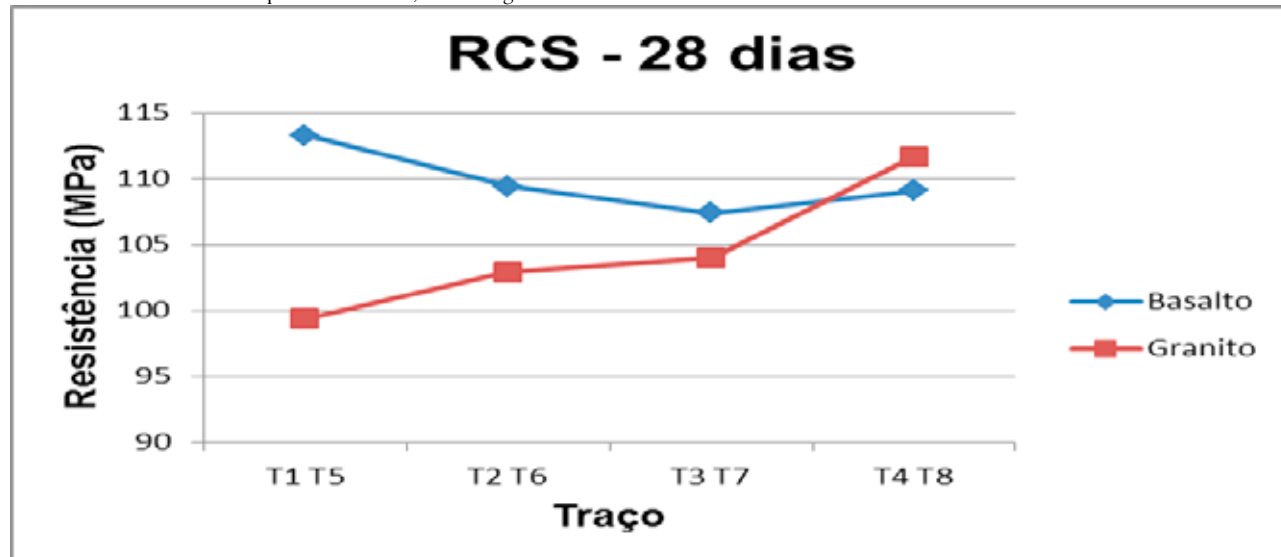
Fonte: os autores.

Observa-se no Gráfico 4 que os traços de concreto com agregado basáltico e granítico variam a resistência em função da dimensão do agregado. O traço 4 com maior granulometria, na faixa de 6,3 mm, apresentou maior resistência à compressão, atingindo 94,3 MPa. Já o traço de concreto com agregado granítico apresentou maior resistência com o traço 7, com granulometria na faixa de 4,8 mm; conforme aumenta o diâmetro do agregado, aumenta sua resistência, atingindo 93,3 MPa.

Também, pode se observar no Gráfico 4, que entre o basalto e granito o concreto que tem maior resistência aos 7 dias, é aquele com agregado de origem basáltica.

No Gráfico 5, é apresentada a resistência à compressão aos 28 dias. Para uma melhor visualização dos resultados, o gráfico apresenta uma comparação entre a resistência à compressão em função da origem mineralógica do agregado e sua granulometria.

Gráfico 5 – Resistência à compressão – 28 dias, basalto e granito



Fonte: os autores.

Observa-se no Gráfico 5, que o traço de concreto com agregado basáltico varia a resistência em função da dimensão do agregado; conforme vai aumentando a dimensão do agregado vai diminuindo a resistência à compressão aos 28 dias, somente no traço com maior dimensão do agregado, a resistência aumenta. O traço 1, com granulometria natural, apresentou maior resistência à compressão, atingindo 113,3 MPa. Já o traço de concreto com agregado granítico apresenta um aumento na resistência; conforme vai aumentando o diâmetro do agregado, aumenta sua resistência à compressão. Isso ocorre porque no momento da britagem o agregado de maior resistência permanece inteiro e os mais frágeis acabam reduzindo seu tamanho. O traço 8, com maior dimensão dos agregados, apresentou resistência de 111,7 MPa.

Também pode se observar no Gráfico 6, que entre o basalto e o granito, o concreto que tem maior resistência aos 28 dias é aquele com agregado de origem basáltica.

Durante o ensaio de resistência à compressão, foi observada a ruptura dos corpos de prova de concreto. O modo de ruptura ocorreu sob a forma de dois cones opostos, tanto para o concreto com origem basáltica quanto para o de origem granítica como mostra a Imagem 1, para o concreto com agregado basáltico, e a Imagem 2, para o concreto com agregado granítico:

Imagem 1 – Ruptura de tipo cônico basalto



Fonte: os autores.

Imagem 2 – Ruptura de tipo cônico granito



Fonte: os autores.

De acordo com Aitcin (2000), se o concreto contém agregados frágeis, alguns planos de ruptura se propagam através das partículas do agregado graúdo. Seguindo essa afirmação, o concreto com basalto e granito tem agregado graúdo fraco e os planos de ruptura se propagam através das partículas do agregado.

8.2 MASSA ESPECÍFICA

De acordo com Almeida (2005, p. 1176), a massa específica real dos concretos de alto desempenho é na ordem de $2,5 \text{ g/cm}^3$, um pouco superior a dos concretos convencionais. Seguindo-se por esta afirmação, optou-se pela comparação da massa específica para os diferentes tipos de composição mineralógica. A Tabela 7 mostra as massas específicas obtidas em cada traço:

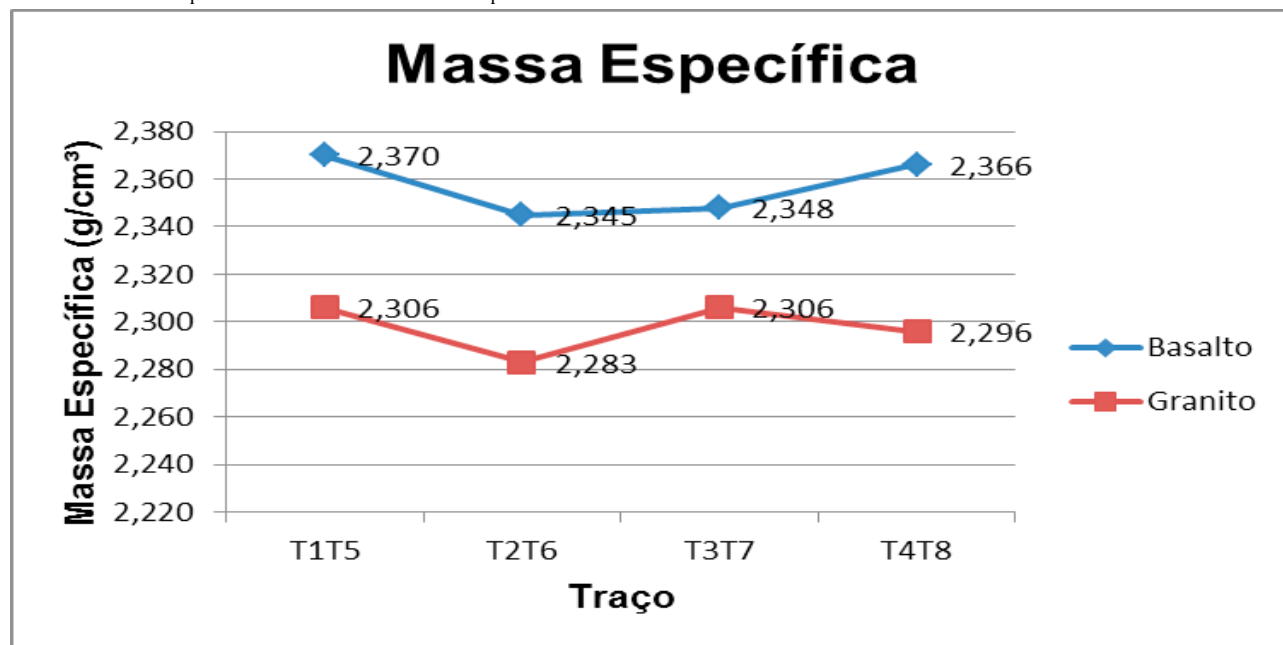
Tabela 7 – Massa específica do concreto

Basalto (g/cm^3)		Granito (g/cm^3)	
Traço	Massa Específica	Traço	Massa Específica
T1	2,370	T5	2,306
T2	2,345	T6	2,283
T3	2,348	T7	2,306
T4	2,366	T8	2,296

Fonte: os autores.

Considerando uma melhor comparação dos valores obtidos, o Gráfico 6 apresenta a massa específica do CAD para diferentes composições mineralógicas e diferentes granulometrias:

Gráfico 6 – Massa específica do concreto de alto desempenho



Fonte: os autores.

No Gráfico 6, observa-se que o concreto com agregados basáltico apresentou maior massa específica em todos os traços de mesma granulometria com o granito. O traço 1 obteve maior massa específica, $2,37 \text{ g/cm}^3$.

8.3 FLUIDEZ DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

Para avaliar a influência da fluidez do concreto, analisou-se o espalhamento do mesmo, apresentando os valores obtidos do espalhamento em milímetros em função do traço na Tabela 8.

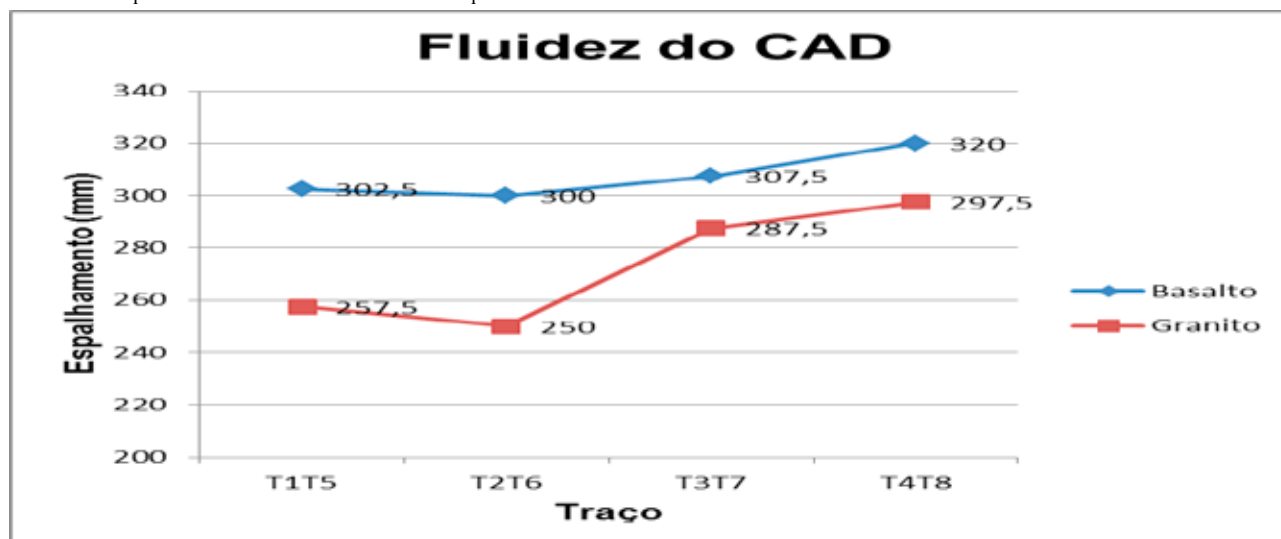
Tabela 8 – Espalhamento do concreto de alto desempenho

Basalto (mm)		Granito (mm)	
Traço	Espalhamento	Traço	Espalhamento
T1	302,5	T5	257,5
T2	300	T6	250
T3	307,5	T7	287,5
T4	320	T8	297,5

Fonte: os autores.

O Gráfico 7 apresenta o espalhamento obtido em cada traço de concreto de alto desempenho com basalto e granito com diferentes granulometrias:

Gráfico 7 – Espalhamento do concreto de alto desempenho



Fonte: os autores.

Podemos observar no Gráfico 7 que o comportamento do concreto em relação à fluidez foi parecido, porém, o concreto com agregados de origem basáltica apresentou maior fluidez; o traço 4 obteve o maior espalhamento, 320 mm, utilizando a mesma quantidade de água para os traços correspondentes de granito e basalto.

9 POROSIDADE DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO

A permeabilidade e a porosidade são as características do concreto associadas à sua durabilidade. A porosidade dos concretos de alto desempenho é extremamente reduzida, podendo chegar a menos de 10%, cerca de metade da medida dos concretos convencionais (ALMEIDA, 2005, p. 1180). Seguindo-se a afirmação do autor, comparou-se qual traço tem a menor absorção de água. A Tabela 9 mostra os valores obtidos no ensaio com o concreto com basalto, e a Tabela 10 mostra o concreto com granito:

Tabela 9 – Determinação da absorção de água – concreto com basalto

Traço	T1		T2		T3		T4	
Absorção (%)	5,10	1,94	5,51	2,85	4,00	4,14	1,20	1,66
		3,52		4,18		4,07		1,43
Índice de vazios (%)	11,63	4,78	12,12	6,62	9,22	9,55	2,85	3,90
		8,20		9,37		9,39		3,38
Massa específica seca	2,28	2,46	2,20	2,33	2,30	2,30	2,37	2,35
		2,37		2,26		2,30		2,36
Massa específica saturada	2,40	2,50	2,32	2,39	2,40	2,40	2,40	2,39
		2,45		2,36		2,40		2,39
Massa específica real	2,58	2,58	2,51	2,49	2,54	2,55	2,44	2,44
		2,58		2,50		2,54		2,44

Fonte: os autores.

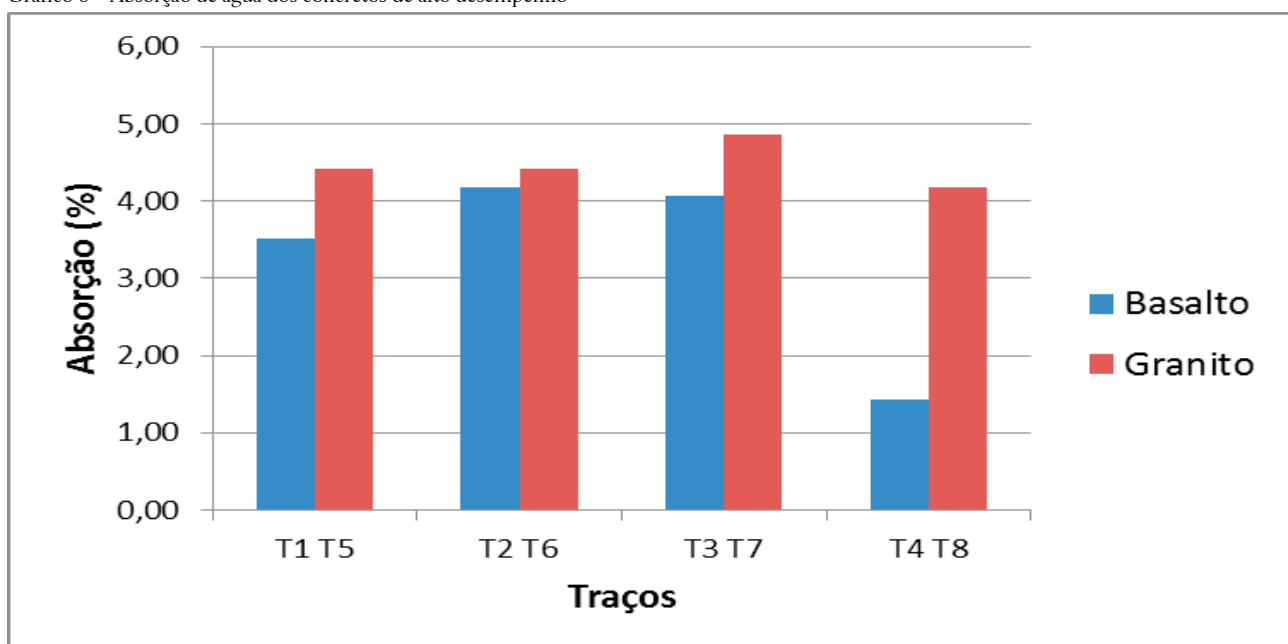
Tabela 10 – Determinação da absorção de água – concreto com granito

Traço	T5		T6		T7		T8	
Absorção (%)	4,25	4,58	4,45	4,37	4,90	4,80	4,11	4,26
		4,42		4,41		4,85		4,18
Índice de vazios (%)	9,76	10,38	10,21	9,90	11,11	10,93	9,46	9,74
		10,07		10,06		11,02		9,60
Massa específica seca	2,30	2,27	2,29	2,27	2,27	2,28	2,30	2,29
		2,28		2,28		2,27		2,29
Massa específica saturada	2,40	2,37	2,40	2,36	2,38	2,39	2,40	2,39
		2,38		2,38		2,38		2,39
Massa específica real	2,55	2,53	2,56	2,51	2,55	2,56	2,54	2,54
		2,54		2,54		2,55		2,54

Fonte: os autores.

O Gráfico 8 apresenta a absorção em porcentagem obtida em cada traço de concreto de alto desempenho com basalto e granito com diferentes granulometrias.

Gráfico 8 – Absorção de água dos concretos de alto desempenho



Fonte: os autores.

Observa-se no Gráfico 8, que o Traço 4 com agregado basáltico e o Traço 8 com agregado granítico obtiveram a menor porcentagem em absorção. Sendo que o Traço 4 é o menor deles, apresentando baixa absorção de água, 1,43%, é concreto a ter maior durabilidade.

10 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da origem mineralógica do agregado graúdo no concreto de alto desempenho. Os agregados utilizados na produção do concreto foram de origem mineralógica basáltica e granítica. Os demais materiais utilizados no concreto foram fixados e o que variou nos traços foi a granulometria e sua origem.

Com base na pesquisa bibliográfica, nos resultados e nas análises apresentadas dos concretos, foi possível avaliar as propriedades do concreto de alto desempenho nos estados fresco e endurecido. Pôde-se observar que o concreto com agregado basáltico apresentou melhores resultados:

- a) **Trabalhabilidade:** apresentou boa fluidez; o espalhamento máximo obtido foi com o Traço 4, 320 mm, de maior dimensão do agregado graúdo.
- b) **Resistência à compressão:** o traço que apresentou maior resistência à compressão aos 7 dias foi o Traço 4 com 94,3MPa. A máxima resistência à compressão aos 28 dias foi o Traço 1 com 113,3 MPa, com granulometria natural.
- c) **Durabilidade:** a menor absorção de água foi o Traço 4, 1,43%, sendo o traço a obter maior durabilidade.

O concreto com agregado granítico não superou nenhum dos resultados encontrados com relação ao concreto com agregado basáltico, porém, ele é um concreto mais leve do que o concreto com basalto.

Com este trabalho, obteve-se resultados satisfatórios com agregado de origem mineralógica basáltica, atingindo alta resistência, alta durabilidade, e alta trabalhabilidade, os itens necessários para se obter um concreto de alto desempenho. O Traço 4, com agregado de maior dimensão e origem mineralógica basáltica, apresentou todas as propriedades de um concreto de alto desempenho.

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.

DE ALMEIDA, Ivan Ramalho. Concretos de alto desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: ensaio, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

_____. **NBR 5739 – Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

_____. **NBR 7215 – Cimento Portland: determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 9833 – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

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

_____. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica aparente.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 248 – Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BIZ, Carlos Eduardo. **Concreto de Pós Reativos.** 2001. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FRASCÁ, Maria Heloísa Barros de Oliveira; SARTORI, Luiz Pretz Sartori. Minerais e Rochas. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves. **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PAULON, Vladimir Antonio. A microestrutura do concreto convencional. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto:** ensaio, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

REPETTE, Wellington Longuini. Concreto Altoadensável. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

TUTUKIAN, Bernardo; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. Concreto de alto e Ultra-alto desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

