



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Marcos Rogério Diniz Trindade

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE BRITA E SEIXO BRITADO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Palmas-TO

2018



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Marcos Rogério Diniz Trindade

**ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE BRITA E SEIXO BRITADO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA**

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) em Engenharia Civil, pelo Centro universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Orientador: Prof^ª. Me. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas-TO

2018

Marcos Rogério Diniz Trindade

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE BRITA E SEIXO BRITADO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) em Engenharia Civil, pelo Centro universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Orientador: Prof^o. Me. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Aprovada em 05 / 06 / 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof^o. Me. Fábio Henrique de Melo Ribeiro
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Dra. Ângela Ruriko Sakamoto
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO

2018

TRINDADE, Marcos Rogério Diniz. **Análise comparativa da utilização de brita e seixo britado nas propriedades do concreto de alta resistência**. 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de graduação em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O concreto é um material de construção amplamente utilizado no Brasil e no mundo, sendo classificado de acordo com o carregamento que é capaz de resistir sem chegar a ruptura. Sua resistência é determinada por um conjunto de fatores, como a escolha e caracterização dos materiais, o método de dosagem, processo de fabricação, método de cura, entre outros. Muito da resistência que o concreto é capaz de atingir se deve ao tipo de agregado graúdo utilizado em sua fabricação. Para produção desse tipo de concreto é necessária a utilização de baixa relação água/aglomerante, o que aumenta a resistência da pasta de cimento hidratada e da zona de transição, tornando os agregados o elo mais fraco da mistura. Com o objetivo de um maior estudo do concreto de alta resistência, quando produzido com materiais comercializados na cidade de Palmas-TO, este trabalho teve a finalidade de avaliar algumas características desse tipo de concreto no estado fresco e endurecido. Para isso foram determinados dois traços mudando apenas o tipo de agregado graúdo, que no primeiro foi utilizada a brita granítica e no segundo o seixo britado. Os demais componentes foram os mesmos e nas mesmas quantidades para os dois traços. Os testes realizados mostraram que para a principal característica do tipo de concreto utilizado, a resistência à compressão, a brita granítica estudada apresenta melhores resultados que o seixo brita.

Palavras-chave: Concreto de alto desempenho, sílica, brita, seixo.

ABSTRACT

Concrete is a building material widely used in Brazil and in the world, being classified according to the load that is able to withstand without breaking. Its resistance is determined by a set of factors, such as the choice and characterization of materials, the dosage method, manufacturing process, method of cure, among others. Much of the resistance that concrete is able to achieve is due to the type of large aggregate used in its manufacture. For the production of this type of concrete it is necessary to use a low water / binder ratio, which increases the strength of the hydrated cement paste and the transition zone, making the aggregates the weakest link in the mixture. With the objective of a larger study of high strength concrete, when produced with materials commercialized in the city of Palmas-TO, this work had the purpose of evaluating some characteristics of this type of concrete in the fresh and hardened state. For this, two traces were determined changing only the type of large aggregate, where in the first one the granite screem was used and in the second the crushed pebble. The other components were the same and in the same amount for the two traits. The tests performed showed that for the main characteristic of the type of concrete used, the compressive strength, the granite gravel studied has better results than the gravel pebble.

Key words: High performance concrete, silica, gravel, pebble.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Tipos de adições utilizadas no cimento..... | 15 |
| Figura 2 - Representação de duas pastas frescas de cimento com relação a/c distintas..... | 23 |
| Figura 3: Curva granulométrica da areia..... | 30 |
| Figura 4: Curva granulométrica da brita 0 | 31 |
| Figura 5: Curva granulométrica do seixo 0..... | 32 |
| Figura 6: Teste abatimento do tronco de cone..... | 37 |
| Figura 7: Gráfico das resistências à compressão axial (MPa)..... | 38 |
| Figura 8: Gráfico do ganho de resistências à compressão axial entre as idades (%)...... | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Granulometria do agregado miúdo..... | 29 |
| Tabela 2 - Granulometria dos agregados graúdos..... | 31 |
| Tabela 3 - Parâmetros do método de Mehta e Aitcin para concretos de alta resistência | 34 |
| Tabela 4 - Traço em massa para produção de 0,04 m ³ de concreto | 34 |
| Tabela 5 - Traço unitário para produção de 0,04 m ³ de concreto | 34 |
| Tabela 6 - Ensaio com concreto no estado plástico..... | 36 |
| Tabela 7 - Resistências à compressão axial (MPa) | 37 |
| Tabela 8 - Ganho de resistências à compressão axial entre as idades (MPa)..... | 38 |
| Tabela 9 - Absorção de água por imersão | 40 |

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

| | |
|--------------------|---|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CAR | Concreto de alta resistência |
| C-S-H | Silicato de cálcio hidratado |
| fck | Resistência característica  compressão do concreto |
| Kg | Kilograma |
| g/cm ³ | grama por centímetro cúbico |
| m ² /kg | Metro quadrado por kilograma |
| MPa | Mega Pascal |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.1.1 | Objetivo geral..... | 12 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 12 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA - CAR..... | 14 |
| 2.2 | AGLOMERANTE | 15 |
| 2.3 | AGREGADOS..... | 16 |
| 2.3.1 | Agregado miúdo..... | 17 |
| 2.3.2 | Agregado graúdo..... | 18 |
| 2.4 | ÁGUA | 19 |
| 2.5 | ADIÇÕES MINERAIS | 19 |
| 2.5.1 | Sílica ativa | 20 |
| 2.6 | ADITIVOS QUÍMICOS | 21 |
| 2.7 | RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE..... | 22 |
| 2.8 | CURA..... | 24 |
| 2.9 | PROPRIEDADES..... | 25 |
| 2.9.1 | Trabalhabilidade..... | 25 |
| 2.9.2 | Ar aprisionado | 25 |
| 2.9.3 | Resistência à compressão..... | 26 |
| 2.9.4 | Durabilidade..... | 27 |
| 3 | METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 | DESENHO DO ESTUDO | 28 |
| 3.2 | LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA | 28 |
| 3.3 | MATERIAIS UTILIZADOS..... | 28 |
| 3.3.1 | Cimento | 28 |
| 3.3.2 | Agregados..... | 29 |
| 3.3.3 | Água..... | 32 |
| 3.3.4 | Aditivo | 32 |

| | | |
|---|----------------------|-----------|
| 3.3.5 Sílica ativa | SUMÁRIO | 33 |
| 3.4 QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA | | 33 |
| 3.5 DEFINIÇÃO DO TRAÇO E QUANTITATIVO DE MATERIAL | | 33 |
| 3.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO | | 34 |
| 3.7 PROCESSO DE CURA..... | | 35 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | | 36 |
| 4.1 TRABALHABILIDADE | | 36 |
| 4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL | | 37 |
| 4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL..... | | 40 |
| 4.4 ABSORÇÃO | | 40 |
| 5 CONCLUSÃO | | 42 |
| REFERÊNCIAS | | 42 |

1 INTRODUÇÃO

Entre os sistemas construtivos utilizados no Brasil e no mundo, pode-se generalizar que em todos eles o concreto é utilizado em algum momento, pois de maneira direta ou indireta este material está presente nas obras de engenharia civil. Ao comparar as técnicas construtivas percebe-se que algumas fazem uso desse material de forma mais evidente, como por exemplo obras em concretos armado, enquanto outras o utilizam de maneira secundária, como é o caso de obras em estrutura metálica. Basta olhar em volta para notar que o concreto faz parte do dia-a-dia da sociedade (RAMIRES, 1993).

Nesse cenário temos os concretos de alta resistência (CAR) que são caracterizados por resistirem a esforços de compressão superiores a 50 MPa aos 28 dias. Este tipo de concreto tem como uma de suas principais aplicações a construção de grandes edifícios. Entre outras vantagens construtivas desse material, ele permite uma redução significativa nas dimensões de elementos estruturais como pilares e demais peças estruturais, o que aumenta a área útil da edificação e a velocidade de execução da obra, fatores que influenciam diretamente o preço de venda e custo da edificação, respectivamente (DAL MOLIN, 1988).

Para Aitcin (2000), as elevadas resistências alcançadas ao longo dos anos só foram possíveis graças o desenvolvimento de aditivos que possibilitaram mudanças na composição do concreto, em especial no que se refere a redução do fator água/aglomerante. Outro ponto importante e que deve ser considerado é a utilização de novos materiais como adição, como por exemplo sílica ativa.

O concreto de alto desempenho vem se mostrando aos poucos como uma vasta linha de pesquisa para materiais e métodos de dimensionamento. Vários seminários, congressos e encontros de profissionais da construção civil têm sido promovidos para divulgação e discussão de trabalhos de diferentes pesquisadores (GUIMARÃES, 2002).

A seleção dos materiais para produção de concretos de alto desempenho não é nada simples, em especial no que se refere a composição e propriedades do que seria o melhor tipo de agregado. Desta forma, o intuito deste trabalho foi realizar uma avaliação comparativa entre brita e o seixo britado encontrados na região de Palmas-TO, quando utilização como agregado graúdo na produção do concreto de alta resistência. Para isso foram consideradas características do concreto no fresco e endurecido, avaliando dados que possam justificar a utilização de um ou outro tipo dos agregados estudados na produção de concretos para resistência desejada de 60 MPa aos 28 dias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar o comportamento do CAR utilizando diferentes tipos de agregados graúdos em sua composição. Para isso foram consideradas características do CAR no estado plástico e endurecido, e utilizados materiais da própria região, Palmas-TO.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência dos agregados graúdos nas propriedades do estado plástico do CAR: trabalhabilidade, teor de ar aprisionado e massa específica.
- Avaliar a influência dos agregados graúdos nas propriedades do estado endurecido do CAR: resistência a compressão, resistência a tração por compressão diametral, absorção de água e índice de vazios.
- Verificar a possibilidade de utilizar os agregados comumente encontrados em Palmas-TO na confecção de concretos com resistência acima de 60 MPa.

1.2 JUSTIFICATIVA

O concreto de alto desempenho tem como principal característica resistir a elevados carregamentos sem chegar à ruptura. Essa característica só é possível com a escolha e dosagem correta dos materiais utilizados em sua composição. Além da resistência ao carregamento que é submetido esse tipo de concreto deve apresentar outras características que viabilizem sua utilização, como, por exemplo, trabalhabilidade e durabilidade (AITCIN, 2000).

Nas últimas décadas tem-se obtido grandes avanços na tecnologia do concreto, em especial devido os estudos realizados com a finalidade de conhecer a estrutura interna do concreto e a utilização de novos materiais, como superplastificantes e adições. Estes avanços permitiram uma grande evolução nas resistências mecânicas e propriedades do concreto, surgindo assim os concretos de alta resistência (AITCIN; NEVILLE 1995).

Conforme a resistência do concreto é aumentada, principalmente após melhorar a pasta de cimento hidratada e a zona de transição de esforços, os agregados passam a ser o componente mais

fraco da mistura. A seleção de agregados com melhores propriedades mecânicas tem influência direta na resistência à compressão, em especial quanto se trata de concretos de alto desempenho (SILVA, 2000).

Diante da influência do tipo de agregado nas propriedades do concreto, este trabalho teve como finalidade avaliar a utilização de dois tipos de agregados comercializados na cidade de Palmas-TO para a produção de concretos de alta resistência, considerando para avaliação características do estado fresco e endurecido do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA - CAR

O concreto de alta resistência é resultado do desenvolvimento tecnológico e inovações técnicas realizadas durante anos. Sua utilização vem a cada dia ganhando mais espaço, pois além dos benefícios técnicos, a utilização desse tipo de concreto traz vantagens no que se refere ao desenvolvimento sustentável. Por essas e outras razões o concreto de alta resistência vem ampliando seu campo de aplicação (AITCIN, 2000).

Segundo Fornasier (1995), nas vigas de cobertura das arquibancadas dos hipódromos Doncaste, na Inglaterra, e Leopardstown, na Irlanda, foram aplicados concreto de alta resistência, pois a obra exigia uma resistência mínima de 52 MPa aos 28 dias. Mehta (1994) relata a utilização desse material com a finalidade de reduzir a seção transversal de poste, onde a resistência chegou a 69 MPa. Relata-se ainda a utilização desse tipo de concreto para confecção de estacas para fundação marítima, nos Estados Unidos, em 1960, onde na ocasião a resistência alcançada variou entre 55 e 68 MPa.

No Brasil, o edifício E-Tower, localizado em São Paulo, é uma das obras emblemáticas com a utilização do concreto de alta resistência. Para aprovação do projeto, a prefeitura municipal de São Paulo fez uma exigência quanto ao número mínimo de vagas de estacionamento. Tal exigência fez necessária a redução da seção dos pilares, onde a solução empregada pela construtora foi a aumentar o fck do concreto para 80MPa. Com essa medida a construtora aumentou em 16 o número de vagas de estacionamento do edifício, resolvendo assim o impasse com a prefeitura e trazendo ganhos financeiros para o empreendimento. O concreto produzido ultrapassou as expectativas, atingindo resistências na ordem de 125MPa (HARTMANN; HELENE, 2004).

Segundo Mehta (1994), a utilização de concretos de alta resistência vai além das suas propriedades mecânicas, mas principalmente pelo aumento da durabilidade se comparado aos concretos convencionais. As baixas relações água/aglomerante utilizadas levam à diminuição da porosidade e, conseqüentemente, da permeabilidade do concreto, resultando em um concreto que além de mais resistente mecanicamente garante uma maior vida útil e menor custo de manutenção.

2.2 AGLOMERANTE

Fornasier (1995) define aglomerantes como materiais ligantes, geralmente pulverulentos, que promovem a união entre os grãos dos agregados. Esses materiais são utilizados na obtenção de pastas, argamassas, e concretos. Os materiais utilizados como aglomerantes são cimento, cal aérea, cal hidratada e gesso, sendo o cimento Portland o utilizado para concreto.

O cimento Portland é o aglomerante hidráulico utilizado na produção do concreto. Sua obtenção é feita através da moagem do clínquer, que são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro compostos essencialmente de silicatos de cálcio e alumínio aquecidos a altas temperaturas (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Durante o processo de moagem do clínquer é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos em teores especificados pela Norma.

Com o passar dos anos a composição do cimento comum, que antes tinha apenas gessos clínquer e uma baixa quantia de pozolana, passou a receber outros materiais. Materiais que antes eram considerados inservíveis, como por exemplo a escória de alto forno, passaram a ser utilizados como adição no processo de fabricação do cimento (NEVILLE, 1997).

O quadro abaixo apresenta algumas adições já estabelecidas no processo de fabricação do cimento portland. Vale resaltar que os cuidados ao se fazer adições devem ser os maiores possíveis e avaliando todas as variáveis possíveis.

Figura 1 - Tipos de adições utilizadas no cimento

TEOR DE ADIÇÕES NORMALIZADAS EM DIFERENTES TIPOS DE CIMENTO

| Cimento | Sigla | Clínquer + Gesso (%) | Escória (%) | Pozolana (%) | Filer Calcário (%) |
|--------------------------------------|----------|----------------------|-------------|--------------|--------------------|
| Portland comum | CP I | 100 | - | - | - |
| | CP I-Z | 99-95 | - | 1-5 | - |
| Portland composto | CP II-E | 94-56 | 6-34 | - | 0-10 |
| | CP II-Z | 94-76 | - | 6-14 | 0-10 |
| | CP II-F | 94-90 | - | - | 6-10 |
| Portland de alto-forno | CP III | 65-25 | 35-70 | - | 0-5 |
| Portland pozolânico | CP IV | 80-45 | - | 15-50 | 0-5 |
| Portland de alta resistência inicial | CP V-ARI | 100-95 | - | - | 0-5 |

Fonte ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland)

2.3 AGREGADOS

A escolha do tipo de agregado a ser utilizado na fabricação do concreto, seja convencional ou de alto desempenho, tem relação direta com a resistência desejada. Não é totalmente correto dizer que um ou outro agregado não presta, pois a avaliação deve ser feita com base na finalidade para a qual pretende-se utiliza-lo. Sendo assim, para fazer a escolha correta dos agregados a serem utilizados é necessário conhecer, entre outras características, sua distribuição granulométrica e estrutura superficial, visando sempre melhorar a aderência entre agregado e a pasta de cimento, para assim atingir e resistência desejada (MELO, 2000).

Neville (1997) define agregados como materiais minerais sólidos e inertes que, conforme a granulometria, são utilizados para a fabricação de produtos artificiais resistentes por meio da mistura com materiais aglomerantes de ativação hidráulica ou com ligantes betuminosos. Para ele, o tamanho do agregado usado no concreto se estende de dezenas de milímetros até partículas com seção transversal menor do que um décimo de milímetro. Em cada mistura são incorporadas partículas com diversos tamanhos, à distribuição desses tamanhos é denominada como granulometria.

Segundo Andriolo (1984), a correta caracterização e avaliação dos agregados são fundamentais antes da utilização, pois esses materiais exercem influência direta no processo de preparação e desempenho do concreto. Tais materiais devem apresentar formato e textura que possibilitem uma boa interação com a pasta de cimento, pois esta interação é uma das principais características necessárias para concretos de auto desempenho. Price (2003) relata que a seleção dos agregados é muito mais crítica pra concretos de alto desempenho do que para os concretos convencionais.

Para Mehta e Monteiro (1994), o agregado é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades estão ligadas as características físicas dos agregados, como densidade, volume, tamanho, resistência e distribuição dos poros, entre outras. Aitcin (2000) diz que o agregado ideal deve ser cúbico, anguloso, devidamente livre de impurezas, totalmente britado, e possuir o mínimo de partículas lamelares e alongadas.

Blick (1973), em seus estudos mostrou que agregados com formato angular e superfície rugosa proporcionam ao concreto maior resistência, em especial se comparados com aqueles que utilizam agregados arredondados e superfície lisa. A principal justificativa para isto é a maior

aderência mecânica entre a pasta e o agregado, tendo em vista que no primeiro caso a interação entre as partes é bem maior.

Dal Molin (1988) relata que a utilização de agregados com forma arredondada e lisa afeta diretamente a resistência do concreto, podendo diminuir sua resistência à compressão em até 15% se comparada à resistência que alcançaria caso tivesse sido utilizado um agregado britado. Além disso, Isaia (1995) diz que concretos que utilizam agregados britados apresentam, geralmente, maiores resistência à tração e módulo de elasticidade, propriedades que estão diretamente ligadas a aderência entre agregado e pasta, ou seja, pela rugosidade e angulosidade das partículas.

2.3.1 Agregado miúdo

Conforme ABNT NBR 7211/2009, são considerados agregado miúdo aqueles com diâmetro máximo de 4,8mm, como areias. Para Guimarães (2002), agregados miúdos arredondados e de textura lisa são melhores para concretos de alta resistência, pois exigem menos água de amassamento, característica ideal para os baixos valores do fator água aglomerante utilizados nesse tipo de concreto. Assim, a definição de boa ou má granulometria do agregado miúdo para utilização em concretos de alta resistência, fica associada a quantidade de água que o agregado absorverá da mistura e não necessariamente às suas características físicas.

Para ser considerada própria para uso em concreto, o agregado deve apresentar-se livre de impurezas orgânicas, argila ou qualquer outro material deletério, além de não apresentar grande quantidade de finos em sua composição. A finura é a principal propriedade a ser considerada no agregado miúdo para sua utilização em concretos de alta resistência, sendo medida pelo módulo de finura. Blick (1973), relata que areias com módulo de finura inferior a 2,5 dão ao concreto uma consistência viscosa, dificultando a compactação, enquanto areias com valor em torno de 3,0 dão maior resistência e melhor trabalhabilidade. Assim, o ideal é que, sempre que possível, o agregado miúdo selecionado apresente um módulo de finura de 2,7 a 3,0.

Em concretos de alta resistência a quantidade de finos costuma ser elevada para que essas partículas preencham os poros presentes na estrutura, melhoram em especial as propriedades do concreto no estado endurecido. A necessidade de materiais finos na composição não significa que a areia utilizada deve apresentar essa característica, pois os concretos de alta resistência já costumam utilizar material cimentante com alto teor de finos em sua composição. Isso faz com que do ponto de vista de trabalhabilidade e segregação a finura da areia não seja tão importante (AITCIN, 1998).

Simplício (1999) diz que a utilização de areias médias e grossas na composição do concreto de alta resistência faz com que a mistura necessite de uma quantidade menor de água, proporcionando uma certa trabalhabilidade com uma baixa relação água/aglomerante, o que é bastante vantajoso em termos de resistência e economia.

2.3.2 Agregado graúdo

Conforme ABNT NBR 7211/2009, considera-se como agregados graúdos aqueles com diâmetros maiores que 4,8mm. Para Mehta e Monteiro (2008), o agregado graúdo deve apresentar dimensão máxima dentro do intervalo de 9,5mm a 12,5mm, forma equidimensional (não alongadas), e distribuição granulométrica uniforme, não havendo muita separação em frações finas e grossas. Essas características fazem com os agregados apresentem uma maior interação entre si e com a pasta da mistura, alcançando assim maiores resistências à compressão com baixo fator água/aglomerante.

Na escolha do agregado graúdo deve-se observar alguns fatores que são extremamente relevantes. Petrucci (1980) e Neville (1997) destacam como alguns desses fatores as características de absorção, porosidade e a permeabilidade do agregado graúdo, tendo em vista que elas estão diretamente ligadas a resistência e durabilidade que o concreto alcançará.

Todavia, segundo Guimarães (2002), é importante resaltar que, independentemente das características do agregado graúdo, existirá um valor crítico para a relação água/aglomerante, onde para qualquer que seja a redução deste fator o ganho na resistência a compressão não resultará significativo. A partir desse ponto o agregado graúdo para a constituir o elo mais vulnerável do concreto.

2.3.2.1 BRITA

A brita é um material artificial, pois é produzida por processo de britagem de alguns tipos de rochas que são extraídas em pedreiras, e após qualificadas são fragmentadas conforme a granulometria desejada. Como exemplo de rochas utilizadas para produção de brita pode-se destacar o granito e o basalto, que são de origem plutônica e vulcânica, respectivamente (FRASCÁ; SARTORI, 1998).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o granito é um excelente agregado para concreto, pois possui granulção média a grossa, é resistente e por meio do processo de britagem é possível fragmentá-la em partículas equidimensionais. Outra característica que o faz um excelente agregado é a baixa absorção de água, fator fundamental para concreto com baixa relação água/aglomerante.

2.4 ÁGUA

A água é dos materiais que compõe a mistura para formação de concretos e argamassas, possuindo a função química de produzir as reações de hidratação e a função física de estabelecer uma determinada reação realógica do concreto para sua manipulação. Ela é classificada conforme o grau de dificuldade de sua remoção, sendo encontrada no concreto como água capilar, absorvida, interlamelar ou quimicamente combinada (BLICK, 1973).

A água capilar é dividida em água livre e água retida. Definimos como água livre aquela encontrada nos vazios caracterizados como grandes, com diâmetro maior que $0,05\mu\text{m}$ e é perdida facilmente quando a umidade relativa é inferior a 100%, pois estar fora da ação das forças superficiais da fase sólida. Já a água retida por tensão capilar é encontrada em pequenos capilares de $0,005\mu\text{m}$ a $0,05\mu\text{m}$, e sua remoção gera retração do sistema (BLICK, 1973).

A água absorvida fica próxima à superfície do sólido e fica presa pelas forças superficiais das partículas de gel, onde pode ser perdida quando a umidade relativa chegar em torno de 30%. A retração por secagem é uma característica da perda dessa água (BLICK, 1973).

A água interlamelar, também conhecida com água de gel, está associada à estrutura do silicato de cálcio hidratado, sendo ligado por pontes de hidrogênio. Essa água é perdida somente se a umidade relativa atingir valor inferior a 11% e quando isso ocorre a estrutura de C-S-H retrai consideravelmente (BLICK, 1973).

A água quimicamente combinada, também conhecida como água de cristalização, só pode ser perdida por aquecimento, pois está presente como parte definida na estrutura dos compostos hidratados de cimento (BLICK, 1973).

2.5 ADIÇÕES MINERAIS

Lopes (1999) define adições minerais como materiais silicosos como alto grau de finura, que podem ser adicionados ao concreto, podendo chegar até o teor de 100% em relação a massa de

cimento Portland, dependendo do tipo de adição utilizada. Lopes (1999), destaca que as propriedades do concreto fresco, quando utilizada algum tipo e adição, são alteradas significativamente em relação às propriedades dos concretos convencionais.

A utilização de adições minerais no concreto traz benefícios como melhora na resistência a fissuração térmica pois o calor de hidratação é menor, aumento das resistências e da impermeabilidade pois proporciona refinamento dos poros, e maior durabilidade pois faz com que a mistura fique mais resistente aos ataques químicos (MEHTA, 1994).

2.5.1 SÍLICA ATIVA

A sílica ativa é um subproduto gerado durante a fabricação do silício metálico ou das ligas de ferro-silício, constituída de partículas muito finas e de alta superfície específica (15.000 a 25.000 m²/kg). O processo de produção desse material se dá em fornos elétricos de fusão tipo arco-voltaico, em temperaturas de aproximadamente 2000°C, onde é gerado um gás que ao entrar em contato com o ar ocorre o processo de oxidação transformado-se em pó, em seguida sendo coletado por meio de filtros especiais denominados de manga (PRICE, 2003).

Em sua composição, a sílica ativa apresenta entre 80-85% de dióxido de silício na forma amorfa, fazendo com que concretos produzidos com este material apresentem maior resistência a compressão, menor porosidade, maior adesão a outras superfícies de concreto, maior resistência a abrasão e à corrosão química, entre outras vantagens (SIMPLÍCIO, 1999). Ao comparar com cimento Portland comum e as cinzas volantes, a sílica ativa apresenta distribuição granulométrica das partículas duas ordens de grandeza mais finas, justificando a demanda de água e utilização de superplastificantes quando utilizada na fabricação de concretos (MEHTA, 1994).

Segundo LOPES (1999), se comparadas às propriedades do concreto convencional e as dos concretos com adições minerais, ambas no estado fresco, pode-se notar significativas alterações, em especial nas suas características mecânicas, sendo a segunda mistura mais resistente. Segundo Isaia (1995), na fase em que o cimento é hidratado a sílica ativa tem um efeito físico (microfíler) e um efeito químico (pozolânico), formando uma microestrutura mais densa, homogênea e uniforme.).

As partículas de dióxido de silício presentes na sílica ativa são altamente reativas, ao reagirem com o hidróxido de cálcio produzido durante a hidratação do cimento, dão origem ao silicato de cálcio hidratado que subdivide os poros capilares formados, reduzindo a permeabilidade do concreto. Gerado durante a reação pozolânica, o composto resistente de silicato de cálcio

hidratado é semelhante ao formado durante a hidratação do cimento, sendo o responsável pela resistência da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Bem mais que melhorar a resistência, a utilização da sílica ativa como adição no concreto tem resultado em uma menor quantidade de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , sendo este o composto mais vulnerável a lixívar e a ataques químicos (AÏTCIN, 1998). Conforme eram verificados os benefícios gerados com a utilização da sílica ativa, esta adição mineral passava a representar um grande impulso para a produção dos concretos convencionais e, notadamente, para os concretos de alto desempenho.

O primeiro material pozolânico altamente reativo utilizado com a finalidade de alcançar altas resistências no concreto foi a sílica ativa. As vantagens desse material na microestrutura e nas características mecânicas do concreto vão além de sua rápida reação pozolânica, mas também devido seu efeito físico das partículas conhecido como "efeito fíler", onde os vazios entre as partículas são preenchidos. Lopes (1999) relata que as primeiras investigações referentes a este material ocorreram na Noruega, em meados da década de 60, quando foi aplicada pela primeira vez em uma estrutura de concreto no ano de 1971.

2.6 ADITIVOS QUÍMICOS

Conforme a ABNT NBR 11768/2011, aditivos são produtos de origem química, adicionados na fase de preparação de concretos e/ou argamassas de cimento, devendo a quantidade adicionada não ultrapassar 5% da massa do material cimentício. Utilizados corretamente, esses materiais melhoram algumas características do concreto tanto no estado fresco como também depois de endurecido, facilitando seu preparo e utilização.

A uso de superplastificantes na Alemanha e Japão por volta da década de 60, deu-se quase que simultaneamente com a utilização do concreto de alta resistência. Nos anos 80 as dosagens de superplastificantes foram aumentando gradativamente, onde estudos já apontavam que estes materiais poderiam ser utilizados como redutores de água, tornando possível a execução de concretos com menores relação água/aglomerante. Ainda na década de 80, a adição de sílica ativa na composição do concreto possibilitou concretos com resistências mais elevadas com menor utilização de cimento (ACTCIN, 2000).

Neville (1997) relata que o motivo para a grande utilização dos aditivos é devido a sua capacidade de proporcionar ao concreto consideráveis melhorias físicas e econômicas. Apesar de

esses produtos não serem baratos, ao avaliar seu custo de forma global percebemos que não representam um adicional tão significativo, pois sua utilização reduz o custo com o trabalho para adensamento, possibilita uma redução do teor de cimento e melhora a conservação do concreto.

Quando em contato com a água, as partículas de concreto apresentam uma forte tendência em flocular. Dizemos que uma mistura está floculada quando as partículas de cimento aprisionam uma certa quantidade de água dentro dos flocos e essa água fica indisponível para lubrificar a mistura. Com a finalidade de melhorar a hidratação do concreto podemos utilizar aditivos capazes de reduzir a tendência natural à floculação. A redução da quantidade de água no processo de preparação do concreto é outra vantagem da utilização de aditivos (AITCIN, 2000).

De acordo Melo (2000), ao se fazer uso de um aditivo podemos esperar algumas contribuições conforme tipo e finalidade. Entre elas temos o aumento uma melhor trabalhabilidade do concreto sem alterar a relação água/aglomerante, redução no consumo de água e cimento na mesma proporção mantendo as resistências desejadas, ganho na resistência inicial, redução na segregação do concreto, entre outras.

Actcin (2000) diz que, de forma geral, os aditivos só tendem a trazer benefícios para o concreto, favorecendo ainda mais sua utilização. Porém, é necessário conhecer suas propriedades e ações para evitar uma incompatibilidade entre o aditivo e o cimento utilizado, o que poderia ocasionar entre outros problemas, uma baixa coesão, porosidade, perda de abatimento, comprometendo a estrutura.

Malhotra e Ramezianpour (1995) relata que muitos aditivos têm seu desenho influenciado significativamente pelas características do cimento, dos agregados e suas relativas proporções, assim como pela temperatura, umidade e processo de cura.

2.7 RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE

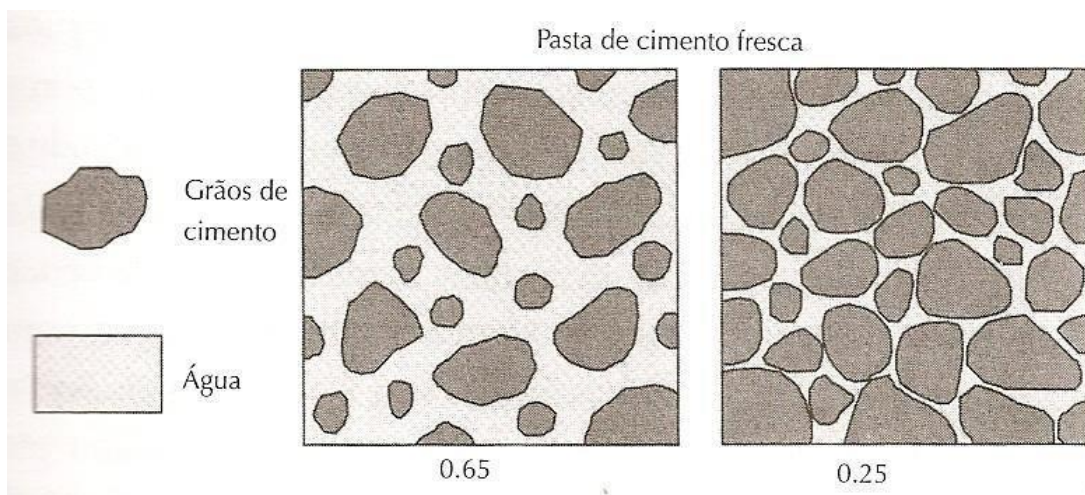
Segundo Bauer (2000), a relação água/aglomerante é definido com base na quantidade de água e a massa de material aglomerante utilizada na produção do concreto. A resistência do concreto estar diretamente ligada a relação água/cimento adotada, uma vez que ela influencia na distribuição granulométrica dos agregados. Neville (1997) considera concretos de alto desempenho aqueles cuja relação água/aglomerante seja inferior a 0,35.

O controle da porosidade do concreto por meio da diminuição dos poros da pasta de cimento está relacionado com a redução da relação água/aglomerante (FORNASIER, 1995). Aproximando

as partículas de cimento uma das outras na pasta fresca, quando ocorrer as reações de hidratação do cimento a estrutura se fecha mais rapidamente, formando um concreto menos poroso e mais resistente (AITCIN, 2000).

Neville (1997) apresenta que misturas com relação água/aglomerante muito baixa e elevado teor de cimento acabam tendo uma redução de resistência quando se utiliza agregados com grandes dimensões. Nesse tipo de mistura, nas idades mais avançadas uma relação água/aglomerante menor pode não resultar em resistências maiores.

Figura 2 – Representação de duas pastas frescas de cimento com relação a/c distintas.



Fonte: Aïtcin (2000)

Para Bauer (200) a dosagem correta da quantidade de água utilizada no concreto é muito importante, pois a mesma afeta diretamente a trabalhabilidade na execução como também o desempenho da estrutura. Assim, o excesso de água torna o concreto mais fluido facilitando o manuseio, no entanto influencia negativamente na resistência. O correto é buscar sempre um equilíbrio nas proporções que garantam simultaneamente a trabalhabilidade e resistência, ou seja, o mínimo de água para um material o mais maleável possível.

O principal parâmetro referente a durabilidade do concreto é a relação água/aglomerante, tendo influência direta com a absorção capilar da água, migração dos íons e permeabilidade por gradiente de pressão. Para o concreto armado, essa relação é fator determinante no grau de proteção oferecido pelo concreto ao aço (BAUER, 2000).

2.8 CURA

Conforme a ABNT NBR 5738/2015, corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto de cimento Portland devem ser curados imersos em água ou permanecerem em câmara úmida, ou enterrados em areia completamente saturada de água, até início do ensaio à compressão ou à flexão.

A obtenção de um concreto com as resistências e demais características planejadas, em especial quando em sua composição é utilizada sílica ativa, estar diretamente ligada com o tipo de cura empregada. Tal processo tem a finalidade de manter o concreto saturado, impedindo a perda da água até que os vazios da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, sejam preenchidos com os produtos gerados da hidratação do cimento (PETRUCCI, 1980).

Para Hartmann e Helene (2004) a interrupção da cura resulta na diminuição de água pelo concreto, aumentando o número de vazios, sua porosidade e enfraquecendo a superfície, deixando-o suscetível aos ataques externos e comprometendo sua conservação e resistência. Assim, o ideal seria que o fluxo de água no concreto fosse contínuo, sendo mais eficiente que um fluxo intermitente.

Segundo Andriolo (1984), em concretos de alta resistência a cura acaba sendo bastante solicitada devido ao baixo fator água/cimento empregada. Em ensaios realizados com concretos de fator água/cimento de 0,29 a resistência obtida nos corpos rompidos aos 28 dias em que foram utilizados agregados saturados e curados imersos em água, chegou a ser de 5,9 até 6,9 MPa maior que a resistência das amostras moldadas com agregados secos e curados em câmara única.

Para Ramires (1993), o tempo que o concreto deve ser preservado contra perda de água tem relação com o tipo de cimento utilizado, dosagens da mistura, forma e tamanho das peças, condições climáticas, e resistência desejada. Estudos confirmaram que a redução do tempo de cura tem influência direta com a maior porosidade do concreto, resultando em concretos mais permeáveis (MALHOTRA; REMEZANIAMPOUR, 1995).

Um bom controle tecnológico na etapa de cura é fundamenta para que o concreto de uma estrutura apresente as características mais próximas possíveis das especificadas em projeto. Para Neville (1997), este processo deve ser iniciado logo após o lançamento e adensamento do concreto, assim que a mistura passar a demonstrar os primeiros sinais de endurecimento nas superfícies.

2.9 PROPRIEDADES

2.9.1 TRABALHABILIDADE

Para Aitcin (1998), a trabalhabilidade do concreto é determinada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, que é regido pela norma NBR 7223/82. Esse ensaio tem a finalidade de determinar o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com a mínima perda de homogeneidade da mistura. Para isso são avaliados dois componentes principais, a fluidez, que é a facilidade de mobilidade, e a coesão, que trata da resistência a segregação.

Entre os fatores que afetam a consistência e trabalhabilidade do concreto destacam-se os relacionados ao esqueleto angular, que tratam da proporção entre agregados graúdo e miúdo, e os referentes ao comportamento reológico da pasta de cimento, ligados a relação água/aglomerante. A utilização de altas relações água/aglomerante, como 0,50, por exemplo, aumenta a diluição das partículas finas em água fazem com que essas fiquem mais separadas umas das outras, aumentando a trabalhabilidade (NEVILLE, 1997).

Todavia, para concretos de alta resistência deve-se buscar um ponto médio entre a relação água/aglomerante e a trabalhabilidade, uma vez que não é possível alcançar altas resistências utilizando altas relações água/aglomerante. Nesse cenário surgem os aditivos superplastificantes, que são utilizados com a finalidade de reduzir a quantidade de água utilizada na mistura sem comprometer a trabalhabilidade do concreto (PETRUCCI, 1980).

No mercado são encontrados vários tipos de aditivos com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do concreto. Além dos superplastificantes, Aitcin (1998) sugere a utilização de agentes incorporadores de ar como forma de aumentar a trabalhabilidade do concreto, onde relata a produção de concreto com resistência de 100 MPa aos 91 dias, utilizando 4,5% de ar incorporado.

2.9.2 AR APRISIONADO

Para Aitcin (1998), concretos de alta resistência costumam apresentar teor de ar aprisionado entre 1 e 3%, pois apresentam uma mistura bem mais viscosa que a dos concretos convencionais devido as baixas reações água/aglomerante utilizadas. No entanto, por meio da utilização de aditivos é possível baixar quantidade de ar aprisionado para uma margem de 1 e 1,5% em concretos com relação água/aglomerante de 0,30.

O teor de ar no concreto tem relação direta com a resistência alcançada ao longo de sua vida útil. Aitcin (1998) verificou por meio de testes e ensaios que uma diferença de 1% no teor de ar entre duas misturas reduz de 4 a 5% a resistência à compressão do concreto.

A forma que o concreto é adensado e a correta execução dessa etapa, tem ligação direta como o teor de ar aprisionado. Para Malhotra e Ramezaniapour (1995), o ideal é que independentemente do método escolhido, após o adensamento o concreto fique com o mínimo de ar aprisionado, atingindo uma forma mais homogênea possível.

2.9.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Mehta (1994) define resistência como a capacidade que o material tem de resistir à tensão sem sofrer ruptura. Para concretos de alta resistência à compressão é a propriedade mais importante, devendo sempre está especificada em projeto. O valor obtido aos 28 dias de idade é aceito universalmente como índice geral de resistência do concreto, sendo determinado por meio do ensaio de resistência a compressão axial, realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739/2007.

A resistência à compressão do concreto deve ser avaliada além de um carregamento que o material é capaz de suportar sem chegar à ruptura, mas deve ser considerada como uma medida de qualidade, pois está relacionada com a estrutura de todos os materiais que compõem a mistura.

Assim, por meio desse valor de resistência é possível obter uma estimativa do desempenho do concreto tanto em termos mecânicos como no que se refere a sua durabilidade (SIMPLÍCIO, 1999).

Segundo Neville (1997), a aderência entre os componentes do concreto é determinante na resistência. Para que a aderência seja satisfatória e o concreto atinja as características desejadas, o agregado graúdo deve ser praticamente do mesmo tamanho, uniformes, e estarem livre de impurezas, e o agregado miúdo deve ser um pouco grosso, de forma arredondada e uniformes.

Outro fator relevante na resistência do concreto e que não pode ser desconsiderado em hipótese alguma é o processo de cura. Aitcin (1998) destaca que o engenheiro deve ficar atento a utilização de superplastificantes e retardadores de pega, pois esses materiais podem atrasar além do planejado o processo de hidratação do cimento, comprometendo o desempenho do concreto caso não ocorra um processo de cura adequado.

Segundo Mehta (1994), é importante reassaltar que a resistência à compressão está sujeita a combinação de vários outros fatores, internos e externos, que podem afetar o resultado obtido dos ensaios.

2.9.4 DURABILIDADE

Quando dosado corretamente e produzido com um bom controle de qualidade dos materiais utilizados o concreto é um material durável. Mehta (1994) descreve durabilidade como a propriedade que o concreto possui de resistir aos ataques químicos e físicos a que é submetido. Esses ataques desencadeiam processos de deterioração da estrutura, reduzindo sua vida útil e podendo até mesmo levar a construção à ruína.

A entrada dos agentes agressivos no concreto envolve, em sua maioria, o movimento da água através de sua estrutura porosa, fazendo com que as características de porosidade e permeabilidade tenham relação direta com a durabilidade do concreto.

Silva (2000), destaca ainda que a durabilidade do concreto é afetada pela relação água/aglomerante, cura, adições minerais e aditivos, sendo necessária a utilização de aditivos para a produção de concretos mais duráveis.

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Esta pesquisa teve por objetivo de estudo a avaliação comparativa entre a utilização de brita e seixo na composição de concreto de alta resistência. Teve finalidade aplicada, pois seus resultados podem contribuir em várias áreas de conhecimento, em especial na engenharia civil, podendo auxiliar na solução de problemas que venham aparecer durante a fase de planejamento ou mesmo execução da obra.

A pesquisa foi fundamentada em testes e ensaios laboratoriais que produziram valores quantitativos referentes aos ensaios realizados com o concreto. Os valores obtidos foram utilizados como base para uma avaliação qualitativa, avaliando características de trabalhabilidade, resistência e durabilidade. Com isso, a pesquisa é definida como exploratória com abordagem quali-quantitativa.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na cidade de Palmas-TO, durante o segundo semestre do ano de 2017 e do primeiro semestre do ano de 2018. Foi utilizado o laboratório de materiais e estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP/ULBRA, localizada na avenida Joaquim Teotônio Segurado, quadra 1501 - Plano Diretor Sul, onde todos os materiais necessários foram preparados e realizaram-se os testes e ensaios propostos.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Cimento

Para produção do concreto foi utilizado o cimento Portland Composto (CPII – F40), que apresenta em sua composição adição de filer, e é regulamentado pela ABNT NBR 11578/1991. A escolha do cimento CPII - F40 foi motivada pelo alto grau de finura de seus componentes, característica que faz com que os vazios do concreto sejam preenchidos com mais facilidade, produzindo um concreto mais denso e resistente. Outro motivo para utilização desse tipo de cimento

foi o fato do mesmo ser utilizado nas empresas que fornecem concreto na cidade de Palmas-TO e região.

3.3.2 Agregados

Todos os agregados foram submetidos ao ensaio de granulometria (ABNT NBR 248/2003), massa unitária (ABNT NBR 45/2006) e massa específica (ABNT NBR 52/2009), para caracterização de suas composições e conhecimento de dados necessários para dimensionamento do traço.

3.3.2.1 Agregado miúdo

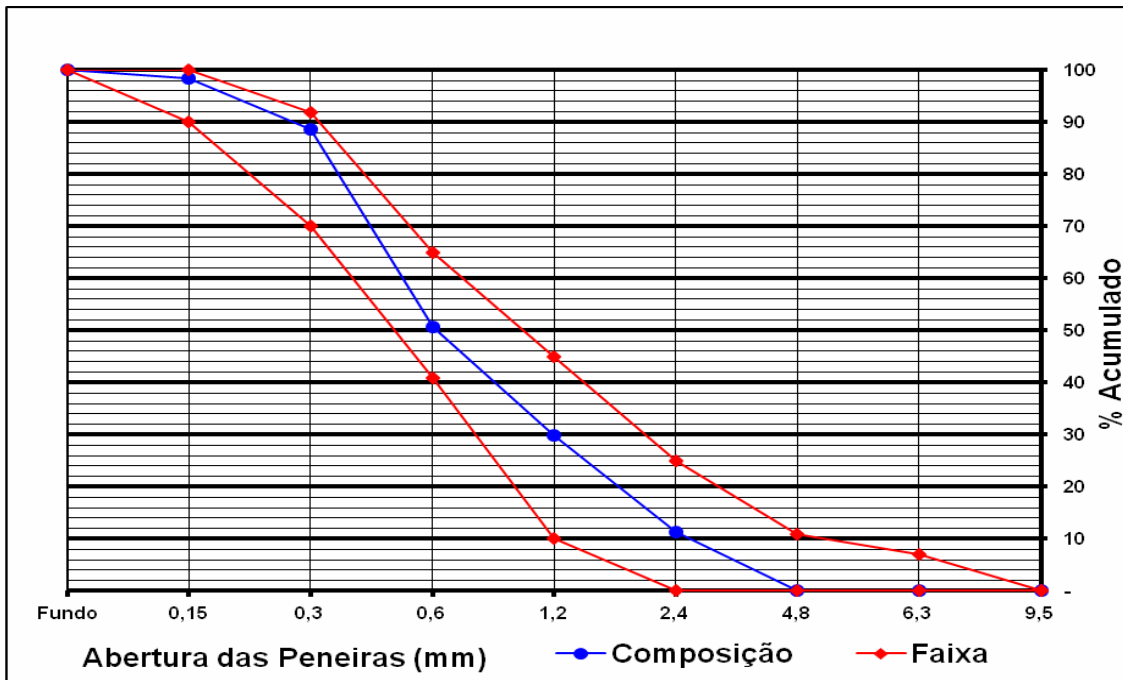
O agregado miúdo foi caracterizado com diâmetro máximo igual a 4,8mm e módulo de finura de 2,79. Para o ensaio de massa unitária o valor obtido foi 1,54 g/cm³, e para massa específica de 2,64g/cm³. Abaixo segue a tabela 1 com os valores obtidos na caracterização granulométrica e em seguida a figura 3 com curva granulométrica do material.

Tabela 1: Granulometria do agregado miúdo.

| Peneira (mm) | Massa retida (g) | % retida | % retida acumulada |
|---------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|
| 4,8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2,4 | 56,70 | 11,34 | 11,34 |
| 1,2 | 91,80 | 18,36 | 29,70 |
| 0,6 | 103,70 | 20,74 | 50,44 |
| 0,3 | 191,30 | 38,26 | 88,70 |
| 0,15 | 48,70 | 9,74 | 98,44 |
| fundo | 7,80 | 1,56 | 100,00 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3: Curva granulométrica da areia.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3.2.2 Agregado graúdo

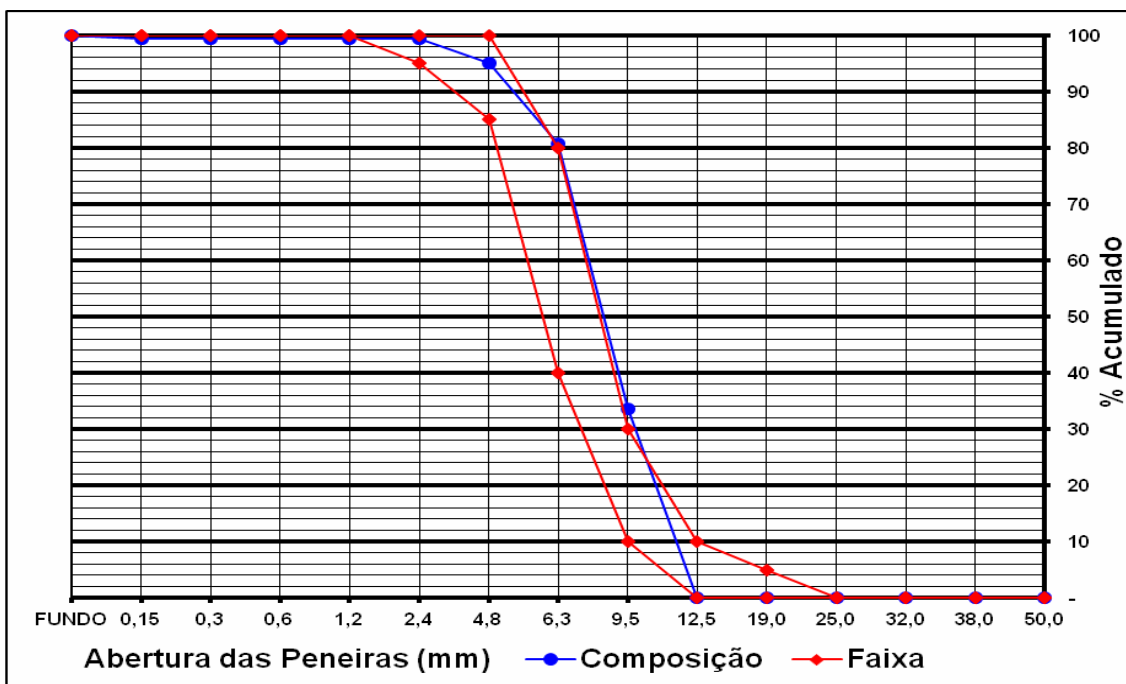
Como agregado graúdo foram utilizados dois tipos de materiais, brita 0 de origem granítica e seixo britado. Antes de serem submetidos ao ensaio granulométrica os dois tipos de agregados foram lavados para remoção dos materiais finos e em seguida secos. Tanto a brita 0 como o seixo britado apresentou diâmetro máximo característico de 12,5mm, já os valores de módulo de finura e a massa específica para brita 0 foram 3,09 e 2,58g/cm³ e para seixo britado foram 2,54, e 2,65 g/cm³, respectivamente. Abaixo segue a tabela 2 com os valores obtidos na caracterização granulométrica e logo após as figuras 4 e 5 com as curvas dos materiais.

Tabela 2: Granulometria dos agregados graúdos

| Peneira (mm) | BRITA | | | SEIXO | | |
|--------------|------------------|----------|--------------------|------------------|----------|--------------------|
| | Massa retida (g) | % retida | % retida acumulada | Massa retida (g) | % retida | % retida acumulada |
| 25 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 12,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 9,5 | 1004,7 | 33,5 | 33,5 | 561,4 | 18,7 | 18,7 |
| 6,3 | 1414,9 | 47,2 | 80,7 | 1216,2 | 40,5 | 59,3 |
| 4,8 | 432,5 | 14,4 | 95,1 | 549,3 | 18,3 | 77,6 |
| 2,4 | 129,6 | 4,3 | 99,4 | 622,3 | 20,7 | 98,3 |
| fundo | 18,3 | 0,6 | 100,0 | 50,8 | 1,7 | 100,0 |

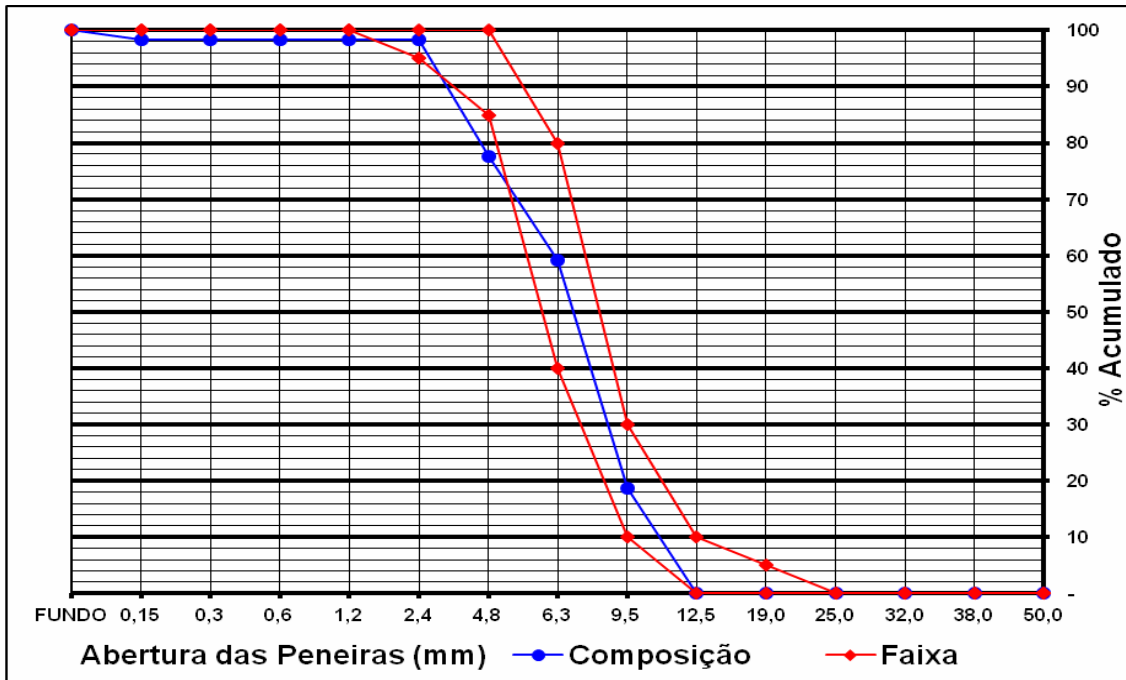
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4: Curva granulométrica da brita 0.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 5: Curva granulométrica do seixo britado 0.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3 Água

Foi utilizada água potável fornecida pela empresa de abastecimento da própria cidade, BRK Ambiental, nas quantidades definidas conforme método de dosagem utilizado.

3.3.4 Aditivo

Foi utilizado o aditivo superplastificante de pega normal ViscoCrete 3535 CB, produzido pela empresa Sika, o qual o manual técnico do fabricante trás que o produto possui densidade de 1,08 Kg/L podendo variar até 0,02 Kg/L para mais ou para menos, e teor de sólidos em sua composição de aproximadamente 40%. A dosagem recomendada pelo fabricante deve ser no intervalo de 1,0 a 1,5% sobre o peso dos materiais aglomerantes, que nesse trabalho são o cimento e a sílica ativa.

3.3.5 Sílica ativa

A sílica foi utilizada como substituição de parte do cimento necessário, sendo adota a quantidade de 10% sobre a massa de cimento. Neville (1997), relata que para concretos de alta resistência a dosagem ideal de sílica deve variar de 5 a 15% sobre a massa de cimento, onde pro meio de estudos foi verificado que teores a baixo de 5% não resultam em um aumento significativo de resistência, pois a quantidade de adição é insuficiente para o fortalecimento da interface agregado-pasta, enquanto teores superiores a 15% além de comprometerem a trabalhabilidade do concreto no estado fresco não apresentam ganho de resistência significativo em comparação com as dosagens na faixa na faixa indicada.

3.4 QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA

Para cada tipo de agregado graúdo utilizado foram moldados 14 corpos-de-prova cilíndricos em formas metálicas, sendo 12 unidades de 100x200mm e 2 unidades de 150x300mm. Para cada traço foram produzidos 0,04m³ de concreto.

3.5 DEFINIÇÃO DO TRAÇO E QUANTITATIVO DE MATERIAL

O traço foi determinado seguindo o método de dosagem proposto por Mehta e Aitcin (1990), onde de maneira simplificada os autores apresentam um procedimento de dosagem para concretos de peso normal com resistências a compressão entre 60 e 120 MPa. Este método é adequado para concretos que utilizam agregado graúdo com diâmetro máximo entre 10 e 15mm.

Mehta e Aitcin (1990), propõem alguns parâmetros para dimensionamento de concretos de alta resistência, como por exemplo o volume de ar entorno 2% para concretos sem ar incorporado, podendo chegar até 5% ou 6% quando tiver ar incorporado na composição. Outros parâmetros importantes considerados pelos autores do método são os volumes de pasta e agregados na mistura, onde o proposto é que sejam 35% e 65% respectivamente, e a relação agregado miúdo agregado graúdo. Os autores ainda classificam o concreto em classes e determinam um teor máximo de água por metro cúbico com base na resistência pretendida aos 28 dias. A tabela 2 trás alguns dos parâmetros mencionados acima.

Tabela 3: Parâmetros do método de Mehta e Aitcin para concretos de alta resistência

| Classe de resistência | Resistência média (MPa) | Teor máximo de água (L/m³) | Agregado miúdo: agregado graúdo |
|------------------------------|--------------------------------|--|--|
| A | 65 | 160 | 2,00:3,00 |
| B | 75 | 150 | 1,95:3,05 |
| C | 90 | 140 | 1,90:3,10 |
| D | 105 | 130 | 1,85:3,15 |
| E | 120 | 120 | 1,80:3,20 |

Fonte: Adaptado de Mehta e Aitcin (1990).

Seguindo as orientações e parâmetros do método de dosagem proposto por Mehta e Aitcin (1990) e os dados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais, foi determinada para cada tipo de agregado graúdo a quantidade de material necessário para produção dos 0,04m³ de concreto, assim como o traço unitário. Abaixo seguem tabela 4 e 5, e os valores obtidos.

Tabela 4: Traço em massa para produção de 0,04 m³ de concreto.

| Traço | Aglomerante (Kg) | | Areia (Kg) | Ag. Graúdo (Kg) | Água (L) | Aditivo (L) | Relação a/agl. |
|--------------|-------------------------|---------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|
| | Cimento | Sílica | | | | | |
| Seixo 0 | 19,28 | 1,93 | 26,40 | 41,28 | 6,21 | 0,31 | 0,30 |
| Brita 0 | | | | 42,40 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5: Traço unitário para produção de 0,04 m³ de concreto.

| Traço | Aglomerante (Kg) | | Areia (Kg) | Ag. Graúdo (Kg) | Água (L) | Aditivo (L) | Relação a/agl. |
|--------------|-------------------------|---------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|
| | Cimento | Sílica | | | | | |
| Seixo 0 | 1,00 | 0,10 | 1,37 | 2,14 | 0,32 | 0,02 | 0,30 |
| Brita 0 | | | | 2,20 | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Para produção do concreto foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 350 litros. Antes de iniciar o processo de mistura dos materiais, o interior da betoneira era limpo e

molhado a fim de evitar que a água adicionada fosse absorvida pelas paredes internas, anteriormente secas. Os materiais foram colocados na betoneira seguindo a seguinte ordem:

1. todo agregado graúdo
2. 50% da água
3. todo material aglomerante (cimento e sílica)
4. 50% restante da água
5. misturado por 1 minuto
6. todo agregado miúdo
7. misturado por 2 minutos
8. aditivo
9. misturado por 3 minutos

É importante destacar que o aditivo foi previamente misturado com parte da água calculada e, durante o processo de produção do concreto, foi sendo adicionado aos poucos, permitindo assim o controle visual da consistência para que o a medida do slump ficasse próximo ao valor estabelecido. Para os dois traços foi utilizada toda a quantidade de aditivo calculado para obter o abatimento desejado.

Após o processo de mistura dos materiais, o concreto foi submetido aos testes referentes ao estado fresco e em seguida foi realizada a moldagem dos corpos-de-prova. Todas as formas utilizadas já tinham sido devidamente preparadas para utilização, tendo sido limpas e em seguida untadas com material lubrificante para facilitar o processo de desforma. O processo de moldagem foi realizado conforme diretrizes da norma NBR 5738/03.

3.7 PROCESSO DE CURA

Passadas 24h após a moldagem os corpos-de-prova foram desmoldados e devidamente identificados conforme o tipo de agregado graúdo utilizado, e em seguida foram submersos em um tanque com água potável para continuar o processo de cura até completarem as idades de rompimento estabelecidas. Essa etapa é fundamental para que o concreto atinja a resistência estabelecida, buscando evitará que o concreto fissure e sua superfície fique fraca, porosa e vulnerável a entrada de substâncias agressivas provenientes do meio externo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRABALHABILIDADE

No estado fresco, a trabalhabilidade do concreto foi verificada por meio do ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone e pelo ensaio de teor de ar aprisionado, regidos pela ABNT NBR NM 67/1998 e ABNT NBR NM 47/2002, respectivamente, e ainda a massa específica da mistura, conforme ABNT NBR 9833/1987. A tabela 6 apresenta os valores dos ensaios referentes ao estado fresco.

Tabela 6: Ensaio com concreto no estado plástico.

| Agregado | Slump (cm) | Ar aprisionado (%) | Massa específica (g/cm³) |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------|--|
| Brita | 9,5 | 2,2 | 2,42 |
| Seixo | 10,5 | 2,1 | 2,36 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos resultados obtidos mostra a influência do agregado graúdo na trabalhabilidade do concreto, pois para as duas misturas os demais componentes e quantidades foram mantidos os mesmos. Os dados apresentados acima mostram que os valores de slump ficaram dentro dos estabelecidos para o trabalho, pois o objetivo era que a mistura apresentasse um abatimento de aproximadamente 10cm, podendo variar até duas unidades para mais ou menos. O teor de ar aprisionado ficou próximo ao esperado, que segundo o método de dosagem utilizado é de 2%.

Pode-se notar que o concreto em que foi utilizada a brita como agregado graúdo apresentou menor abatimento e maior teor de ar aprisionado, o que é provável que tenha ocorrido devido a maior rugosidade desse material, enquanto o concreto em que foi utilizado o seixo britado o abatimento foi maior e o teor de ar menor, possivelmente devido a superfície mais lisa desse material. A rugosidade da brita dá a este agregado uma maior aderência entre as partículas, fazendo com que no momento do adensamento a quantidade de vazios entre os agregados da mistura aumente. A figura 6, mostra o ensaio de abatimento.

Figura 6: Teste abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autor.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

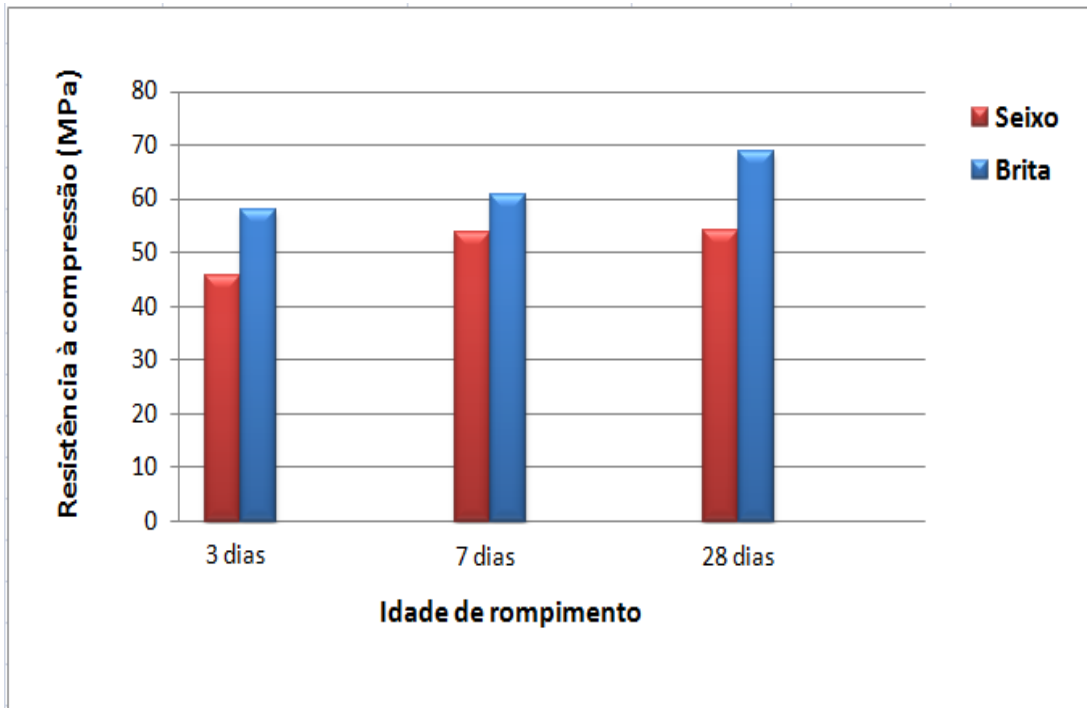
O ensaio de resistência a compressão axial foi realizado aos 3, 7 e 28 dias de idade do concreto, conforme procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 5739/2007. A resistência obtida em cada idade pode se observada na tabela 7, e em seguida a figura 7 com o gráfico das resistências.

Tabela 7: Resistências à compressão axial (MPa).

| RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Idade | Seixo | Brita |
| 3 dias | 45,7 | 57,8 |
| 7 dias | 53,8 | 60,7 |
| 28 dias | 54,1 | 68,7 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7: Gráfico das resistências à compressão axial (MPa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos valores da tabela 7, é possível concluir que o agregado graúdo tem influência direta na resistência à compressão do concreto. Ao avaliar os valores de resistências obtidos, nota-se que o concreto em que foi utilizado seixo britado o ganho de resistência ocorreu significativamente do 3º ao 7º dia de idade, sendo de 8,1 MPa, enquanto do 7º a 28º o ganho bem inferior, chegando apenas a 0,3 MPa. Já o traço em que foi utilizada a brita granítica o ganho de resistência entre as idades se inverteu, sendo de 2,9 MPa entre 3º e 7º dia de idade, e de 8,0 MPa do 7º ao 28º.

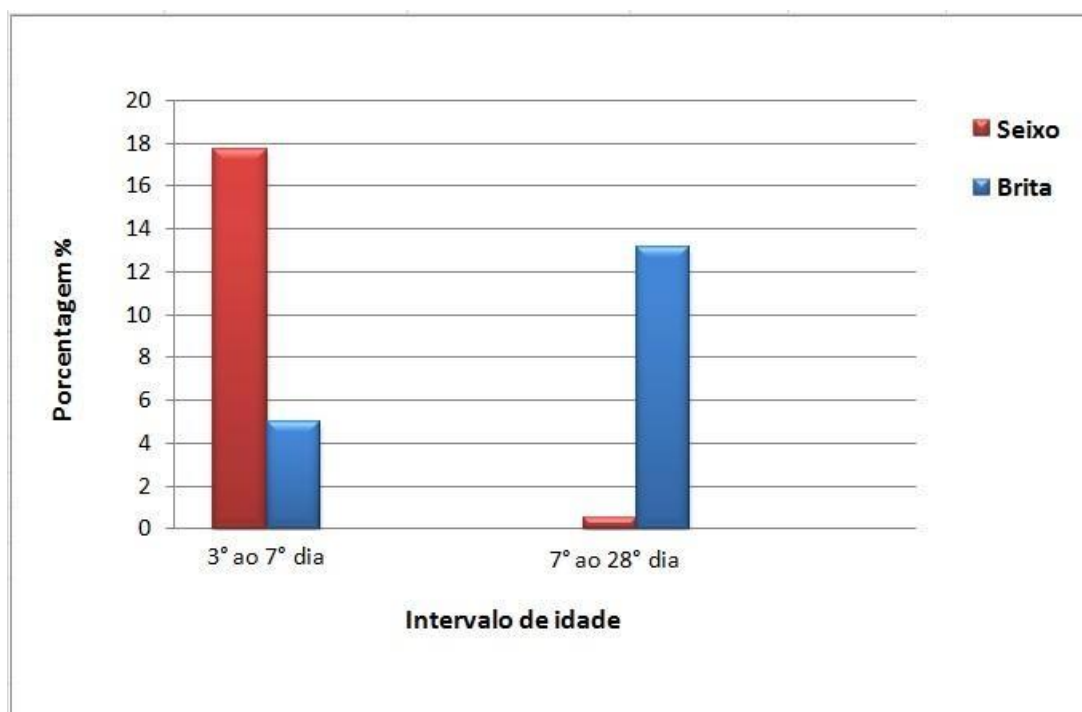
O ganho de resistência do concreto entre as idades ensaiadas é apresentado em percentual na tabela 8 e no gráfico na figura 8.

Tabela 8: Ganho de resistências à compressão axial entre as idades (MPa).

| GANHO DE RESISTÊNCIA % | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| Agregado | 3º ao 7º dia | 7º ao 28º dia |
| Seixo | 17,72 | 0,56 |
| Brita | 5,02 | 13,18 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8: Gráfico do ganho de resistências à compressão axial entre as idades (%).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a análise da tabela 8 e figura 8, é possível verificar que o traço em que foi utilizado seixo o ganho de resistência, em porcentagem, entre o 3° e 7° dia de idade foi de 17,72, e do traço com brita foi de 5,02. Por outro lado, ao ser avaliado o ganho de resistência entre o 7° e 28° dia de idade, ainda em porcentagem, o traço em que foi utilizado o seixo o ganho foi de apenas 0,56, enquanto o que utilizou brita foi de 13,18.

Considerando que os traços de concreto ensaiados a única variação foi o tipo de agregado graúdo, verifica-se que a brita apresentou melhor resistência aos esforços de compressão que o seixo, superando a resistência pretendida de 60 MPa aos 28 dias. Apesar de o traço com a utilizado do seixo não ter atingido a resistência desejada, isso não significa que esse material não seja capaz de alcançar a resistência estudada ou mesmo superá-la, uma vez que outras características podem ser trabalhadas buscando um melhor desempenho desse agregado.

A relação água/cimento é fator determinante para resistência do concreto, em especial quando se trata de concretos de alta resistência. Como já apresentado, para o ensaio de abatimento de tronco de cone a diferença entre os traços ensaiados foi de 1 cm, sendo maior o do traço com seixo. É possível que ao ser fixado um mesmo abatimento para as duas misturas, o concreto com

seixo apresente maior resistência à compressão, pois seria necessário diminuir a quantidade de água desse traço, reduzindo assim a relação água/cimento e aumentando sua resistência.

4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio foi realizado conforme norma ABNT NBR 7222/2011, aos 28 dias de idade do concreto. O traço que utilizou seixo como agregado graúdo apresentou resistência de 3,86 MPa, e o que utilizou brita de 4,54 MPa. A resistência à tração por compressão diametral para o traço que utilizou o seixo britado foi menor que o traço em que foi utilizada a brita. No entanto, ao avaliar a razão entre a resistência a tração e a resistência a compressão, os dois traços apresentam o valor de aproximadamente 7%.

4.4 ABSORÇÃO

O ensaio de absorção foi realizado conforme procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 9778/2005. Para cada tipo de agregado foram utilizados três corpos de prova, sendo calculada a absorção de cada uma e ao final considerada a média dos valores encontrados, como pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9: Absorção de água por imersão.

| ABSORÇÃO | | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Agregado | Seixo | | | | | |
| Amostra | CP 1 | | CP2 | | CP3 | |
| Estado | seco | saturado | seco | saturado | seco | saturado |
| Massa (g) | 3682 | 3780 | 3660 | 3749 | 3625 | 3726 |
| Absorção (%) | 2,66 | | 2,43 | | 2,79 | |
| Média % | 2,63 | | | | | |

| Agregado | Brita | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Amostra | CP 1 | | CP2 | | CP3 | |
| Estado | seco | saturado | seco | saturado | seco | saturado |
| Massa (g) | 3718 | 3784 | 3721 | 3800 | 3655 | 3768 |
| Absorção (%) | 1,78 | | 2,12 | | 3,09 | |
| Média % | 2,33 | | | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a avaliação dos valores da tabela 9, é possível concluir que o traço em que foi utilizado o seixo como agregado apresentou uma absorção de aproximadamente 13% maior que o traço em que utilizou a brita.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar a influência do tipo de agregado graúdo no concreto de alta resistência, utilizando dois tipos de agregados. Os agregados utilizados foram seixo britado 0 e brita granítica 0, ambos adquiridos na própria cidade da pesquisa, Palmas-TO.

A análise dos resultados obtidos com os teste e ensaios realizados, mostraram que o tipo de agregado graúdo tem influencia direta nas características do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido. Os valores encontrados mostraram ainda que o traço em que foi utilizado o seixo britado como agregado graúdo não atingiu a resistência esperada de 60 MPa aos 28 dias de idade, o que não significa que esses material seja inviável para essa resistência ou mesmo maiores, pois outros parâmetros podem ser alterados com a finalidade de melhorar seu desempenho. Já a utilização da brita granítica mostrou melhor desempenho, superando em mais de 8 MPa a resistência esperada para os 28 dias de idade.

É importante ressaltar que os agregados utilizados não passaram por nenhuma seleção granulométrica com finalidade de proporcionar uma melhor composição por meio da combinação de diâmetros, foram caracterizados apenas para que fossem atendidos os diâmetros máximos e mínimos de acordo com o tipo de agregado. O estudo foi feito dessa maneira para avaliar o comportamento dos agregados na composição que são comercializados. É importante destacar ainda que foi avaliado o seixo e brita de apenas uma das mineradoras local, sendo possível a obtenção de diferentes resultados para outras origens.

Dito isso, conclui-se que para os materiais estudados, o seixo britado 0 não se mostrou viável para produção de concreto de resistência à compressão de 60 MPa, já a brita granítica 0 mostrou-se capaz de atingir e até mesmo superar a resistência dita. Os resultados reforçam a importância da seleção dos materiais que são utilizados na composição do concreto, em especial quando trata-se de concretos e alta resistência.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados estudos considerando um mesmo abatimento de tronco de cone para os dois tipos de agregados, modificando assim a quantidade de água necessária para cada mistura. Podem ser estudados materiais extraídos em outros locais do estado, o que possivelmente mudará suas características mineralógicas e consequentemente o desempenho aos esforços que for submetido. Sugere-se ainda uma avaliação referente ao custo por metro cúbico de concreto, buscando associar melhoria de desempenho e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **High-Performance Concrete**. Londres: E&FN Spon, 1998. 591p.

AITCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo: Pini, 2000.

AITCIN, P. C.; NEVILLE, A. 120 MPa sem mistério. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 3, n. 19, p 29-33, nov/dez. 1995

ANDRIOLO, F.R. **Construções de concreto**: manual de práticas para controle e execução. São Paulo, Pini, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578** – Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 11768** – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

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

_____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7222** – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concretos endurecido - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR NM 47** – Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

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

_____. **NBR NM 67** – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Vol. 1, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BLICK, R. L. (1973). Some factors influencing high-strength concrete. *Modern Concrete*, v.36, n1.12, p. 38-41, Apr.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988, 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre.

FORNASIER, R. S. **Porosidade e permeabilidade do concreto de alto desempenho com sílica ativa**. 1995, 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre.

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.

GUIMARÃES, J. P. Z. **Estudo Experimental das propriedades do concreto de alto desempenho**. Rio de Janeiro, 2002. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

HARTMAN, C. T., HELENE, P. R. L. Pilares com 125 MPa: recorde mundial em concreto de alto desempenho colorido, 2004.

ISAIA, G. C. Efeito de misturas binárias e terciárias de pozolanas em concretos de elevado desempenho: um estudo com vistas à corrosão da armadura. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LOPES, A. N. M. Avaliação comparativa de concretos com e sem sílica ativa para resistências entre 50 e 65 MPa. 1999, 170p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Brasília.

MALHOTRA, V. M.; RAMEZANIANPOUR, A. A. Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume. *Cement and Concrete Composite*, V. 17, 1995.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994, 573p.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTIRO, Paulo J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, A.B (2000). Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos corpos de concretos de cimento Portland. Interunidade EESC-IFSC-IQSC, Universidade de São Paulo, São Carlos, tese (Doutorado).

NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto. Tradução de GIAMMUSSO, Salvador E. 2a ed. São Paulo: PINI, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. Porto Alegre: Globo, 1980.

PRICE, B. Advanced Concrete Technology. Cap 3. Processes. Edited by NEWMAN, J and CHOO B. S. Amsterdam: Boston: Elsevier Butterworth Heinemann, 2003.

RAMIRES, M.V. V. **Estudo da influência da cura na resistência à compressão em concreto de alta resistência.** 1993, 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 1993.

SIMPLICIO, M. A S. (1999). **Concreto de alto desempenho suas vantagens e aplicações.** World Tec Net – Tecnologia do Concreto, Universidade Federal da Paraíba. In: Concreto de Alto Desempenho – CD IBRACON.

SILVA, Isac J. **Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura.** 2000. 279 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.