



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA – EEL-USP

Vânia Alvarenga Mendes

Estudo comparativo das propriedades mecânicas e estruturais de blocos de concreto produzidos com brita ou seixo rolado.

Lorena
2012

Vânia Alvarenga Mendes

Estudo comparativo das propriedades mecânicas e estruturais de blocos de concreto produzidos com brita ou seixo rolado.

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena – EEL-USP como requisito parcial para a conclusão de Graduação do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ribeiro.

Lorena
2012

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos:

Aos meus pais pelos valores transmitidos, pela educação que me proporcionaram, pela insistência em me ajudar a lutar pelos sonhos, pela disciplina exigida sempre e pelo amor dedicado a mim. Peças fundamentais na minha vida, sem as quais não teria chegado até aqui.

Aos amigos que tornaram o período de graduação tão prazeroso, a vocês agradeço cada momento inesquecível vivido durante a faculdade, de luta e alegria.

Ao Erick pelo companheirismo, força, paciência, e claro, pela felicidade que me proporciona todos os dias.

Ao meu orientador Sebastião, que me deu um grande suporte em todos os momentos e esteve presente sempre que necessário contribuindo com toda a sua experiência na área.

À empresa Alfa Blocos Cruzeiro Ltda., por ter permitido a realização dos testes necessários para a conclusão dessa monografia, por ter disponibilizado tempo, material e pessoas para contribuir com cada parte executada.

À Paula, Jairo e Fernando, colaboradores da empresa Alfa Blocos, pela especial atenção dada ao projeto.

Agradeço pela dedicação de todos nós, alunos.

A todos os membros da Escola de Engenharia de Lorena, pelas oportunidades e aprendizados proporcionados.

E a Deus pela benção da vida.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência das características físicas e químicas de dois agregados graúdos: brita 0 e seixo rolado, nas propriedades finais dos blocos de concreto, além de determinar traços que atendessem à resistência à compressão requisitada para um bloco estrutural e estar em acordo às especificações contidas nas normas ABNT para blocos de concreto. Também foi possível determinar durante a influência da água nas propriedades dos blocos. Essa avaliação foi feita a partir da caracterização dos agregados segundo, umidade superficial, massa unitária, granulometria, teor de ferro, módulo de finura e absorção de água. Posteriormente foram determinados os traços, produzidos os blocos e analisados quanto ao atendimento às especificações dimensionais, de absorção máxima de água, resistência à compressão, macroestrutura e microestrutura. Os resultados obtidos puderam ratificar a influência dos agregados graúdos nas propriedades finais do bloco e as análises microestruturais do concreto puderam explicar as variações nas propriedades mecânicas dos blocos. Foi possível concluir também que os diferentes custos dos agregados não influenciariam a escolha entre os traços obtidos. O fator determinante na escolha entre o uso de brita 0 ou seixo rolado será o destino de aplicação do bloco.

Palavras chave: *blocos de concreto, agregados, microestrutura, propriedades mecânicas, traço, brita 0, seixo rolado.*

ABSTRACT

This study aimed to analyze the influence of physical and chemical characteristics of two coarse aggregates: gravel and pebble, in the final properties of concrete blocks and determine a composition that met the compressive strength required for a structural block and, at the same time, being in accordance to the ABNT specifications for concrete blocks. It was also possible to analyze the influence of quantity water on the blocks' properties. This assessment was made by aggregates characterization: grain size and form, fineness modulus, water absorption, density and surface moisture. The next step was determining the concrete composition, producing the concrete blocks and analyzing them for compliance with the dimensional specification, maximum water absorption, compressive strength, macro and microstructure. The results could ratify coarse aggregate's influence on the concrete mechanical and physical properties. Furthermore, the macro and micro structural analysis could explain the variation on those mechanical properties. It was also possible to conclude that different costs of the coarse aggregates does not influence the choice between the two compositions determined. The key factor on choosing gravel or pebble is the final application of the block.

Keywords: concrete blocks, aggregates, microstructure, mechanical properties, composition, gravel, pebble.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reações de hidratação e endurecimento do cimento, por Laguna & Ikematsu (2009).	16
Figura 2: Curvas granulométricas indicadas para blocos e pavers adaptadas de Fernandes (2008), “Blocos & Pavers: Produção e Controle de Qualidade”, p.28.....	28
Figura 3: Dimensões do bloco de concreto.	31
Figura 4: Curvas Granulométricas dos agregados.	37
Figura 5: Curvas granulométricas: traço 1 (a) e traço 2 (b).	39
Figura 6: Fotografia de blocos de concreto produzidos com seixo rolado: traço 1	42
Figura 7: Fotografia de blocos de concreto produzidos com brita 0: traço 2.....	42
Figura 8: Fotografia de blocos de concreto produzidos com Brita 0 com menos água: traço 3	43
Figura 9: Resistência à compressão (fbk) e Massa média dos blocos.....	45
Figura 10: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico– Traço 2 (brita 0)	47
Figura 11: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico – Traço 3 (brita 0 com menos água)	47
Figura 12: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico – Traço 1 (seixo rolado).....	48
Figura 13: Estrutura interna do concreto – Traço 2.	49
Figura 14: Estrutura interna do concreto – Traço 3.	49
Figura 15: Estrutura interna do concreto – Traço 1.	50
Figura 16: Estrutura interna do concreto – Traço 2 (500x).....	50
Figura 17: Estrutura interna do concreto – Traço 3 (500x).....	51
Figura 18: Estrutura interna do concreto –Traço 1 (500x).....	51
Figura 19: Estrutura interna do concreto – Traço 2 (1500x).....	52
Figura 20: Estrutura interna do concreto – Traço 3 (1500x).....	52
Figura 21: Estrutura interna do concreto –Traço 1 (1500x).....	53
Figura 22: Estrutura interna do concreto - Traço 1.	54
Figura 23: Estrutura interna do concreto - Traço 2.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tamanho da amostra	30
Tabela 2: Valores de y conforme o número de blocos testados.....	32
Tabela 3: Análise Granulométrica - Agregados	36
Tabela 4: Teor de ferro das amostras de agregados (EEA - Chama).....	38
Tabela 5: Massa unitária dos agregados	38
Tabela 6: Dimensões dos blocos de concreto (Traço 1, 2 e 3).....	41
Tabela 7: Testes de resistência à compressão com 7 dias de cura.....	43
Tabela 8: Testes de resistência à compressão com 28 dias de cura.....	44
Tabela 9: Resultados – Teste de absorção de água	46
Tabela 10: Custos relativos dos traços.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SSS = condição saturada superfície seca de um agregado.

c/e = relação entre comprimento e espessura de uma partícula de agregado.

espectrometria de absorção atômica em chama (EAA – chama)

F_{bk} = Resistência característica do bloco (MPa).

γ = massa específica do agregado.

M.F = módulo de finura.

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR = Norma Brasileira.

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Bloco de concreto	13
3.2. Características dos blocos de concreto	14
3.3. Concreto	14
3.4. Estrutura interna do concreto	14
3.5. Agregados	17
3.6. Características dos agregados e sua importância	17
3.6.1. Granulometria	17
3.6.2. Forma e Textura superficial	18
3.6.3. Resistência à Compressão, Resistência à Abrasão, e Módulo de Elasticidade	19
3.6.4. Umidade	19
3.6.5. Absorção e Umidade Superficial	19
3.6.6. Massa Unitária	20
4. METODOLOGIA	21
4.1. Determinação da umidade superficial dos agregados miúdos.	21
4.2. Determinação do teor de Ferro	22
4.3. Análise Granulométrica	22
4.4. Determinação do índice de forma do agregado graúdo pelo método do paquímetro	24
4.5. Determinação de absorção de água para agregados graúdos.	25
4.6. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária	26
4.7. Proporcionamento dos agregados – Definição dos traços	27

4.8. Produção de blocos	28
4.9. Caracterização dos blocos de concreto	30
4.9.1. Análise dimensional	30
4.9.2. Ensaio de resistência à compressão	31
4.9.3. Ensaio de absorção de água	32
4.10. Caracterização da estrutura	33
4.10.1. Macroestrutura	33
4.10.2. Microestrutura	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. Determinação da umidade superficial – agregados miúdos:	35
5.2. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro:	35
5.3. Determinação de absorção de água para agregados graúdos.	35
5.4. Análise Granulométrica	36
5.5. Determinação do teor de Ferro:	37
5.6. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.....	38
5.7. Definição de traços pelo de Fernandes (2008)	39
5.8. Produção dos blocos de concreto:	40
5.9. Avaliação das dimensões:	40
5.10. Aparência dos blocos de concreto	41
5.11. Testes de Resistência à Compressão:	43
5.12. Teste de absorção de água:	45
5.13. Macroestrutura:	46
5.14. Microestrutura:	48
6. CONCLUSÃO	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

O uso de blocos de concreto na construção de casas e edifícios tem alcançado um grande destaque devido às inúmeras vantagens que apresenta: racionalização, produtividade e qualidade aliadas ao bom desempenho tecnológico e baixos custos (ARAÚJO, 1995). O aumento da demanda por esse tipo de produto vem acompanhado às exigências em relação à qualidade e atendimento às especificações aliados a um preço compatível com o mercado. Porém, há uma carência de bibliografias sobre esse tema, o que dificulta o desenvolvimento de tecnologias e padronização de métodos pelas empresas produtoras para o atendimento à todas as especificações. Com isso, este trabalho tem o intuito de contribuir com a adição de conhecimentos e estudos de algumas variáveis do processo, nesse caso, o estudo da influência de agregados.

Segundo Medeiros (1983), algumas variáveis de processo determinam as características dos blocos de concreto, entre elas, a natureza dos materiais constituintes, umidade do material usado na moldagem, proporcionamento dos materiais, grau de compactação conferido pelo equipamento e método de cura empregado.

No trabalho desenvolvido, foram estudados o uso de dois agregados graúdos, brita 0 e seixo rolado, em conjunto com agregados miúdos, areia e pó de pedra em diferentes composições para a fabricação de blocos de concreto estruturais de classe C segundo classificação pela ABNT NBR 6136:2007. O trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos agregados nas propriedades mecânicas e características microestruturais do bloco e, então, determinar a composição que melhor atende às especificações do produto sabendo-se que o tipo de agregado utilizado está diretamente relacionado com o grau de compactação do concreto a ser moldado.

O trabalho conta com a parceria da empresa produtora de blocos de concreto *Alfa Blocos Cruzeiro Ltda.*

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar as propriedades de dois agregados graúdos comumente utilizados na fabricação de blocos de concreto (brita 0 e seixo rolado) em composição com agregados finos (areia e pó de pedra), analisar a influência dessas características nas propriedades finais dos blocos de concreto e escolher o melhor ajuste entre esses componentes (traço) que resulte em menores custos e atenda às especificações.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar física e mecanicamente os agregados;
- Obtenção de traços variando-se os tipos de agregado e a composição da mistura;
- Avaliar a influência das características dos agregados nas propriedades dos blocos de concreto;
- Caracterizar as propriedades físicas, mecânicas e a microestrutura dos blocos de concreto produzidos para cada traço;
- Verificar os custos e atendimento às especificações dos blocos de concreto para cada traço;
- Determinar o traço que atendeu a todas as especificações e resultou em menor custo de produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Bloco de concreto

O bloco de concreto para alvenaria foi inventado pelos ingleses em 1832, no formato maciço. O elemento vazado, como é utilizado hoje, com furos que diminuem o peso próprio, foi patenteado em 1850. Atualmente o bloco de concreto é conhecido e utilizado em mais de 50 países sendo que os Estados Unidos, Alemanha, Itália e Japão são os que mais se destacam no emprego desta tecnologia (FERNANDES, 2008).

Blocos de concreto são unidades da alvenaria, constituídos basicamente de agregados e pasta de cimento. Esses materiais são prensados e moldados por máquinas vibro-prensa resultando nos blocos de concreto.

De acordo com a ABNT NBR 6136:2007, os blocos de concreto são classificados em quatro classes, descritas a seguir, definidas quanto ao seu uso:

- Classe A: Blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B: Blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C: Blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe D: Blocos sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;

As especificações quanto à resistência à compressão característica dos blocos de concreto (f_{bk}) também diferem para cada classe:

- Classe A: resistência característica ($f_{bk} \geq 6,0$ MPa);
- Classe B: resistência característica ($f_{bk} \geq 4,0$ MPa);
- Classe C: resistência característica ($f_{bk} \geq 3,0$ MPa);
- Classe D: resistência característica ($f_{bk} \geq 2,0$ MPa);

3.2. Características dos blocos de concreto

Devido à sua aplicação, os blocos de concreto devem atender às especificações relativas às dimensões, resistência à compressão, absorção de água, entre outras características.

A ABNT NBR 6136:2007 especifica que os blocos devem ter arestas vivas e não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e durabilidade da construção, não sendo permitido qualquer reparo que oculte defeitos eventualmente existentes no bloco.

3.3. Concreto

O concreto é constituído de uma mistura de agregados, aglomerantes, água e, de acordo com necessidade e tipo de aplicação, pode apresentar aditivos e adições minerais. A união destes constituintes deve apresentar coesão suficiente para manuseio seja em operações manuais ou em máquinas produtoras de pré-fabricados. A resistência do concreto aumenta com o tempo e o endurecimento é devido às reações do cimento com água (hidratação), oferecendo forte ligação com os agregados (FELIPE, 2010). A combinação dos constituintes do concreto, bem como as características do processo como o grau de compactação da mistura e as condições de cura, definirão a qualidade final do bloco e os custos envolvidos.

Em função de sua consistência, o concreto pode ser classificado em seco ou plástico. Na produção de artefatos de concreto, utiliza-se do concreto seco devido à necessidade de desformar o produto após a moldagem para a reutilização do molde para produzir as peças seguintes. A consistência tipo de concreto é do tipo “farofa” o que diferencia do concreto plástico que, devido à grande quantidade de água, necessita permanecer no molde até o dia seguinte (FERNANDES, 2008).

3.4. Estrutura interna do concreto

A estrutura interna do concreto consiste de um meio contínuo aglomerante dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Por apresentar uma estrutura altamente complexa e heterogênea, a compreensão se torna bastante difícil. No entanto, o entendimento da relação entre os

materiais constituintes da estrutura possibilita o conhecimento das propriedades dos vários tipos de concreto. O concreto pode ser dividido em três constituintes:

- agregado;
- pasta de cimento hidratada;
- zona de transição na interface entre a pasta de cimento e o agregado.

De acordo com Mehta e Monteiro (2006), a fase agregado é a principal responsável pela massa unitária do concreto, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional. As características químicas dos agregados não apresentam influência significativa nas propriedades do concreto. As características físicas, tais como volume, textura, forma, tamanho, entre outras são capazes de exercer mudanças significativas no comportamento do concreto.

A pasta de cimento resulta de reações complexas de cimento Portland e água. A reação de hidratação do cimento é um processo exotérmico que evolui com o tempo e que resulta em diferentes fases sólidas, vários tipos de vazios e água em diferentes formas. Mehta e Monteiro (1984) apresenta as seguintes classificações:

As quatro principais fases sólidas são:

- silicato de cálcio hidratado (C-S-H), parte resistente da pasta;
- hidróxido de cálcio (CH), parte frágil da pasta;
- sulfoaluminato de cálcio e
- grão de clínquer não hidratado.

Segundo Laguna & Ikematsu (2009), a hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento formam a ligação C-S-H (silicato de cálcio hidratado). O início do processo de hidratação do cimento, ocorre a formação de cristais de etringita com formato de agulhas que são responsáveis pelo início da pega e desenvolvimento da resistência inicial (Figura 1).

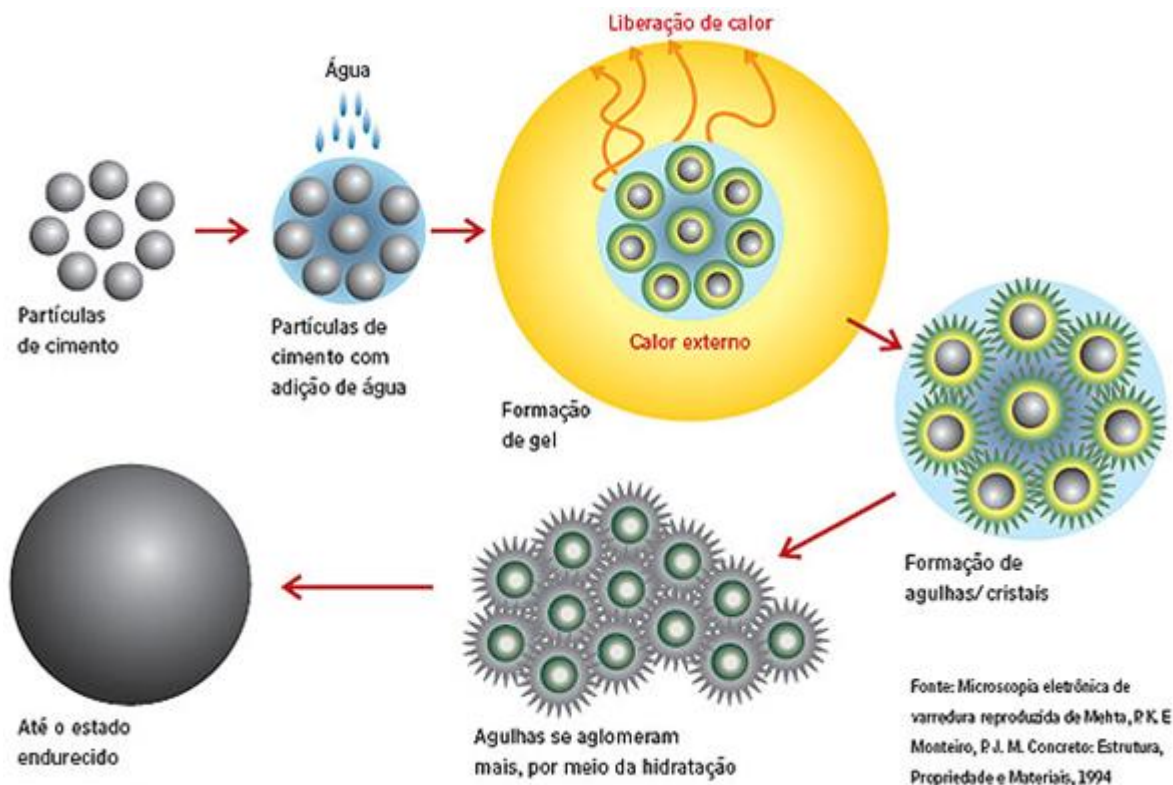


Figura 1: Reações de hidratação e endurecimento do cimento, por Laguna & Ikematsu (2009).

Depois de poucas horas, cristais prismáticos grandes de hidróxido de cálcio e pequenos cristais de fibras de silicato de cálcio hidratado começam a preencher os espaços vazios ocupados por água e dissolvem as partículas de cimento. Depois de alguns dias, dependendo da fração de sulfoaluminato do cimento Portland, cristais de etringita se tornam instáveis e se decompõem na forma de monosulfoaluminato hidratado, cuja morfologia é hexagonal plana (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Os vazios presentes na pasta de cimento hidratada são classificados de acordo com o tamanho:

- espaço interlamelar no C-S-H, que são os menores vazios;
- vazios capilares, espaço entre os componentes sólidos da pasta;
- ar incorporado, que são os maiores vazios, só superados pelos relativos ao
- ar aprisionado, que ocupam os maiores vazios.

A classificação da água presente na pasta de cimento hidratada é baseada no grau de dificuldade ou de facilidade com que pode ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção:

- água capilar ou água livre;

- água adsorvida;
- água interlamelar e
- água quimicamente combinada.

3.5. Agregados

Por serem matérias-primas relativamente baratas, principalmente quando comparados ao cimento, e por não reagirem quimicamente com o mesmo, os agregados são considerados componentes inertes do concreto. Apesar disso, tem-se o conhecimento de que as características dos agregados influenciam decisivamente nas propriedades dos blocos de concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

De acordo com Medeiros (1993), a qualidade dos agregados é fundamental para obtenção das propriedades dos blocos de concreto. As características desses materiais podem interferir na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto obtido.

Algumas características dos agregados influem decisivamente nas propriedades finais do concreto obtido como a porosidade, forma, textura, módulo de elasticidade, resistência à compressão, absorção de água, distribuição granulométrica, entre outras. A relação entre essas características e as propriedades finais do concreto pode ser descritas em três categorias definidas por Mehta e Monteiro (2006):

1. Características dependentes da porosidade: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade;
2. Características dependentes das condições prévias de exposição e condicionantes de fabricação: tamanho, forma e textura das partículas;
3. Características dependentes da composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

3.6. Características dos agregados e sua importância

3.6.1. Granulometria

De acordo com Weidmann (2008), a composição granulométrica é a distribuição do tamanho de partículas de determinado agregado, expressa em porcentagens acumuladas das frações retidas ou passantes de uma série de peneiras, cuja abertura

da malha é colocada em ordem decrescente de cima para baixo no momento do peneiramento.

As peneiras utilizadas são classificadas em série normal e intermediária. Para blocos de concreto são usadas as peneiras da série normal e intermediária de aberturas de tamanhos: 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm, 150 µm.

A granulometria ótima é a que, para a mesma resistência e um bom acabamento, corresponde ao menor consumo de cimento.

3.6.2. Forma e Textura superficial

A forma das partículas dos agregados está relacionada à sua geometria que pode ser: arredondada, angulosa, alongada ou achatada. Essas formas dependem da origem do agregado, de sua forma de processamento, do atrito sofrido, entre outros fatores. Como exemplos, areias de depósitos eólicos tendem a ser mais arredondadas; agregados de rochas britadas possuem vértices e arestas angulosos; calcários e arenitos tendem a produzir fragmentos alongados e achatados; quando os agregados sofrem atrito, tendem a apresentar superfície mais lisa.

As partículas alongadas, em forma de lâmina, devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15%, em massa, do total do agregado, pois produzirão um concreto muito áspero. A classificação da textura superficial, que é definida pelo grau de quanto a superfície do agregado é lisa ou áspera, é baseada em uma avaliação visual. A textura superficial do agregado depende da dureza, granulação e porosidade da rocha matriz e da sua subsequente exposição à ação de atrito (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

Mehta e Monteiro (2006) verificaram que existem evidências de que, nas primeiras idades, algumas propriedades do concreto podem ser afetadas pela textura do agregado e que uma textura mais áspera parece favorecer a formação de uma aderência mecânica forte entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades mais avançadas, com o desenvolvimento de uma forte aderência química entre a pasta e o agregado, esse efeito pode não ser tão importante.

3.6.3. Resistência à Compressão, Resistência à Abrasão, e Módulo de Elasticidade

A resistência à compressão, a resistência à abrasão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades inter-relacionadas, que são muito influenciadas pela porosidade. Os agregados naturais, comumente usados para a produção de concreto normal, são geralmente densos e resistentes. Quanto a rochas sedimentares, a porosidade varia numa faixa mais larga, e da mesma forma a sua resistência à compressão e características relacionadas, sendo estas mais baixas (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

3.6.4. Umidade

O conhecimento do teor de umidade dos agregados é de extrema importância no proporcionamento da quantidade de água de um traço e isso afeta diretamente a trabalhabilidade da mistura e a resistência à compressão do bloco. De acordo com Tango (2004), a umidade alcançada na produção de blocos deve ser a maior possível, entre 6 a 8%. Portanto, se a umidade dos agregados não for devidamente considerada, não haverá uniformidade das resistências dos blocos no lotes e, o proporcionamento será feito de maneira inadequada.

A umidade dos agregados pode ser determinada de diversas formas, pelo método de secagem em estufa ou pelo frasco de Chapman.

3.6.5. Absorção e Umidade Superficial

Capacidade de absorção é definida como a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca estufa para a condição saturada superfície seca, SSS, quando os poros permeáveis estão todos preenchidos e não há um filme de água na superfície. Absorção efetiva é definida como a quantidade de água requerida para trazer o agregado da condição seca ao ar para a condição SSS.

A quantidade de água em excesso além da requerida para a condição SSS é referida como umidade superficial. Os dados relativos à capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são invariavelmente necessários para a correção das proporções de água e de agregado em misturas de concreto, feitas a partir de

materiais estocados. Como uma primeira aproximação, a absorção de água de um agregado, que é facilmente determinada, pode ser usada como uma medida da sua porosidade e resistência.

Normalmente, para rochas ígneas intrusivas e rochas sedimentares densas, os valores de correção de umidade são muito baixos, mas podem ser muito altos no caso de rochas sedimentares porosas, agregados leves e areias. Estas podem sofrer um fenômeno, conhecido como inchamento. Dependendo do teor de umidade e composição granulométrica do agregado, pode ocorrer um aumento considerável do volume aparente da areia, porque a tensão superficial da água mantém as partículas afastadas (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

3.6.6. Massa Unitária

Para fins de dosagem do concreto, não é necessário determinar a massa específica real de um agregado. A informação usualmente necessária para a dosagem, é a massa unitária, que é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. O fenômeno da massa unitária surge, porque não é possível empacotar as partículas dos agregados, de tal forma que não haja espaços vazios. O termo massa unitária é assim relativo ao volume ocupado por ambos agregados e vazios. A massa unitária aproximada dos agregados comumente usados em concreto normal varia de 1300 a 1750 kg/m³ (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

4. METODOLOGIA

4.1. Determinação da umidade superficial dos agregados miúdos.

O procedimento foi realizado por meio do frasco de Chapman (ABNT NBR 9775:1987).

MATERIAIS:

- Balança modelo ID-M 30/3, Filizola Balanças Industriais S/A.
- Frasco de Chapman.
- Água potável.
- 500 g de areia média.
- 500 g de pó de pedra.
- Funil sem haste.
- Espátula de aço.
- Bandeja metálica.

MÉTODO:

A água foi colocada no frasco de Chapman até a divisão de 200 ml, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorressem totalmente; em seguida foram introduzidas, cuidadosamente, os 500 g de agregado miúdo úmido no frasco, que foi devidamente agitado para eliminar bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indicou o volume, em ml, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo úmido.

Cálculos:

- Umidade superficial presente no agregado miúdo:

$$H = \frac{\left(L - \frac{500}{\gamma} - 200\right) \times 100}{700 - L}$$

Equação 1

Em que H é a porcentagem de umidade, L é a leitura no frasco e γ é a massa específica do agregado.

4.2. Determinação do teor de Ferro

A determinação do teor de Ferro dos agregados é de grande importância pois a presença de quantidades elevadas de Ferro podem causar manchas além de prejudicar suas propriedades mecânicas finais.

O método utilizado para determinar o teor de Ferro foi a espectrometria de absorção atômica em Chama (EAA – Chama).

Os ensaios foram realizados no Espectrômetro de Absorção Atômica modelo Analyst 800, no laboratório de absorção atômica da Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP).

Primeiramente, as amostras foram secas em estufa e digeridas em meio ácido. Após a digestão da amostra, determinou-se a concentração.

4.3. Análise Granulométrica

O procedimento para avaliação da distribuição granulométrica do agregado foi determinado segundo a ABNT NBR NM 248:2003.

MATERIAIS:

- Balança modelo ID-M 30/3, Filizola Balanças Industriais S/A.
- Estufa para esterilização, Modelo 3, MEDCLAVI.
- Agitador mecânico de Peneiras marca Contenco Indústria e Comércio Ltda.
- Peneiras série normal e intermediária (9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm, 150 µm).
- Fundo avulso de peneiras.
- Bandejas de aço.
- Escova ou pincel de cerdas macias.
- 1 kg de pó de pedra.
- 1 kg de areia média.
- 1 kg de brita 0.
- 1 kg de seixo rolado.

MÉTODO:

Amostras de massa mínima 1 kg foram separadas para o ensaio de cada agregado. As amostras foram secadas em estufa, esfriadas à temperatura ambiente e determinadas as massas. As peneiras, previamente limpas, foram encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo.

A amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto, promoveu-se a agitação mecânica por um tempo razoável para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos das partículas da amostra. Destacou-se e agitou-se manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após um minuto de agitação contínuo, a massa de material passante pela peneira foi inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira foi feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado. Removeu-se o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovou-se a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno foi considerado como retido e o desprendido na parte inferior como passante. Procedeu-se à verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto foram verificadas. Determinou-se a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.

Cálculos:

Para cada uma das amostras de ensaio, calculou-se a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%.

Determinou-se o módulo de finura, com aproximação de 0,01, sendo:

$$MF = \sum \frac{(\% \text{ Retido acumulado})}{100}$$

Equação 2

4.4. Determinação do índice de fator de forma do agregado graúdo pelo método do paquímetro

Essa determinação foi feita com base na ABNT 7809:2006.

MATERIAIS:

- Peneiras de ensaio da série normal e intermediária.
- Paquímetro aferido com sensibilidade de 0,1 mm.
- Estufa para esterilização, Modelo 3, MEDICLAVI.
- 5 kg de seixo rolado.
- 5 kg de brita 0.

MÉTODO:

Uma amostra de 5 kg foi secada em estufa a $(110\pm 5^{\circ}\text{C})$ até peso constante. Separou-se as frações como determinado na ABNT NBR NM 27 e efetuou-se, com o auxílio do paquímetro a medida do comprimento “c” e da espessura “e” de cada uma das partículas obtidas.

Cálculos:

$$N_i = 200 \sum_{i=1}^n F_i$$

Equação 3

Em que:

200 é o número de partículas necessárias para realização do ensaio;

N_i , é o número de partículas a serem medidas na fração i ;

F_i , é a porcentagem de massa retida individual da fração i ;

O índice de forma de cada fração é média ponderada pela fórmula dada descrita na equação 3, das relações entre o comprimento e a espessura (c/e) de todas as partículas medidas.

4.5. Determinação de absorção de água para agregados graúdos.

O procedimento foi baseado na ABNT NBR 53:2009.

MATERIAIS:

- Balança modelo ID-M 30/3, Filizola Balanças Industriais S/A.
- Recipiente (capacidade para 4 dm³ constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm).
- Tanque de água.
- Peneiras de ensaio (abertura nominal de 4,75 mm).
- 2 kg de seixo rolado
- 2 kg de brita 0.

MÉTODO:

Eliminou-se todo o material passante pela peneira de 4,75 mm por via seca. O material menor que 4,75 mm foi ensaiado segundo a NM 52. Lavou-se completamente o agregado graúdo para remover o pó ou outro material da superfície. A amostra foi secada até massa constante a 105 ± 5°C. Deixou-a esfriar à temperatura ambiente por 1h a 3h. Uma massa de ensaio de 2 kg foi submergida em água à temperatura ambiente por um período de 24 ± 4 h. Retirou-se a amostra da água e foi envolvida em um pano absorvente até que toda a água visível fosse eliminada. Os fragmentos grandes foram limpos individualmente. Imediatamente após ser enxugada, pesou-se a amostra (ms, agregado saturado com superfície seca). A amostra foi secada a 105 ± 5°C até massa constante, deixou-a esfriar até a temperatura ambiente por 1h a 3 h e foi pesada com precisão de 1 g.

Cálculos:

- Absorção de água:

$$A = \frac{ms - m}{m} \times 100$$

Equação 4

Em que:

A é a absorção de água, em porcentagem.

m é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

ms é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

4.6. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária

A determinação da massa unitária foi realizada segundo procedimento descrito na ABNT NBR NM 45:2006.

MATERIAIS:

- Balança modelo ID-M 30/3, Filizola Balanças Industriais S/A.
- Estufa para esterilização, Modelo 3, MEDCLAVI.
- Recipiente (formato cilíndrico, resistente à umidade, rígido e provido de alças) de volume conhecido.
- Pá ou concha.
- Agregados (suficiente para encher os recipientes segundo procedimento).
- Régua para nivelamento da superfície.

MÉTODO:

A massa do recipiente vazio foi determinada e registrada. A seguir, encheu-se o recipiente até que o mesmo transbordasse, utilizando uma pá. Nivelou-se a camada superficial e foi determinada a massa do recipiente mais seu conteúdo.

A massa unitária do agregado solto é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, expressa em quilogramas por metro cúbico.

4.7. Proporcionalamento dos agregados – Definição dos traços

Existem vários métodos para a determinação de traços para blocos de concreto. Dentre eles, pode-se citar o método ABCP, o método Besser e o método proposto por Fernandes (2008) que foi adotado para esse trabalho.

O método ABCP, desenvolvido por Ferreira (1995), publicado em forma de boletim técnico na ABCP, citado por Felipe (2010), tem como objetivo determinar o proporcionalamento entre os agregados, de tal forma que, resulte na maior compacidade possível da mistura, resultando em uma resistência maior. O procedimento consiste na secagem dos agregados em estufa e comparação da massa seca de misturas de agregados em diferentes proporções em um recipiente de volume conhecido.

Já o método adotado pela BESSER COMPANY e adaptado por Medeiros (1993), também citado por Felipe (2010) baseia-se no Módulo de finura das misturas (M.F.). A definição do traço é feita a partir do cálculo mostrado abaixo:

$$X = 100x \frac{A-B}{A-C} \quad \text{Equação 5}$$

$$Y = 100 - X \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

X = porcentagem de agregado fino desejado;

Y = porcentagem de agregado grosso;

A = M.F. do agregado grosso;

B = M.F. que se busca do agregado combinado;

C = M.F. do agregado fino.

A definição dos traços para a fabricação dos blocos de concreto foi baseada no método definido por Fernandes (2008) em seu livro “Blocos & Pavers: Produção e Controle de Qualidade”, o qual descreve que a curva granulométrica da mistura dos agregados deve-se situar entre as curvas limite mostradas na Figura 2. Esse método foi o escolhido por ter uma melhor amplitude de escolha dentro das faixas granulométricas e por não ter necessidade de tantos experimentos práticos como o método ABCP.

Com isso, os traços foram determinado de modo que suas curvas granulométricas se encaixassem dentro dos limites propostos.

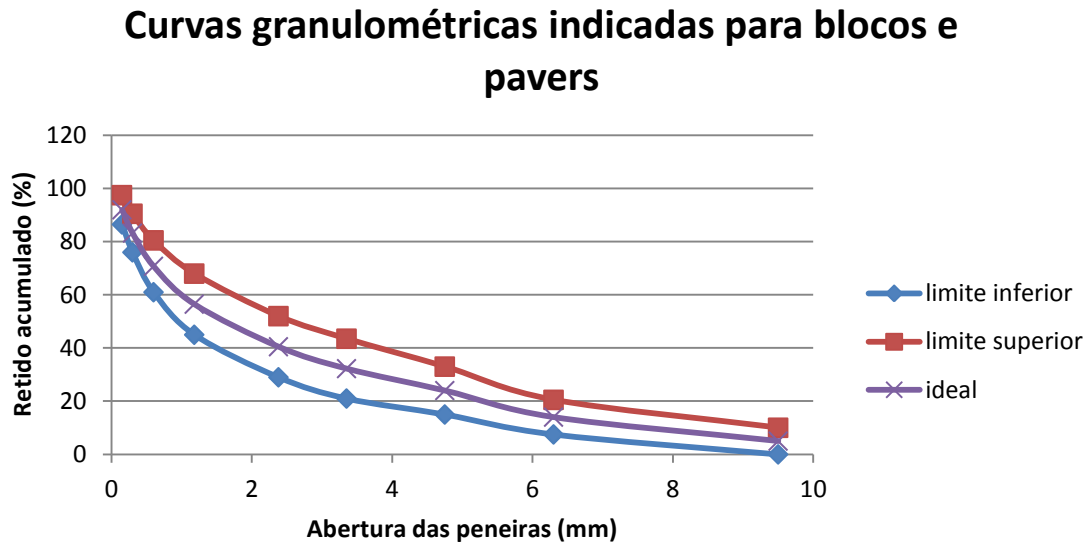


Figura 2: Curvas granulométricas indicadas para blocos e pavers adaptadas de Fernandes (2008), “Blocos & Pavers: Produção e Controle de Qualidade”, p.28.

4.8. Produção de blocos

MATERIAIS:

- Vibro-prensa modelo MX 5000, marca Maxlíder Robóticos.
- Misturador modelo MC 7000, marca Maxlíder Robóticos.
- Esteira transportadora modelo MT 1700, marca Maxlíder Robóticos.
- Seixo rolado (Empresa Cinco Lagos – Canas - SP)
- Brita 0 (Porto de Areia Lopez – Cruzeiro - SP)
- Areia Média (Empresa Cinco Lagos – Canas –SP)
- Pó de pedra (Mineração Serra da Bocaina – Cachoeira Paulista - SP)
- Cimento CPV ARI – Marca: CAUÊ
- Água

MÉTODO:

Os traços definidos pelo método anteriormente apresentado, cada um utilizando um dos agregados graúdos para posterior efeito de comparação foram utilizados para a produção de blocos de concreto estruturais classe C segundo classificação pela ABNT NBR 6136:2007 de dimensões 14x19x39 cm e espessura de parede de 25 mm na empresa *Alfa Blocos Cruzeiro Ltda.*

Para a produção dos blocos, as matérias primas foram proporcionadas em uma sala de controle que determina, por meio de pesagem automática, as quantidades de agregados que foram transportadas ao misturado. Foi realizada a dosagem mássica dos materiais por apresentar um menor erro quando comparada à dosagem volumétrica.

Os agregados previamente pesados foram, então, dirigidos por meio de esteiras transportadoras para um misturador de pás e eixos. Nessa esteira ocorreu a adição do cimento e, no misturador, a água foi adicionada automaticamente por meio de um sistema de bombeamento cuja quantidade também é definida na sala de controle. Esses componentes foram misturados por 1 minuto e 30 segundos para então obter-se uma mistura homogênea, o concreto, que é então enviado por esteiras transportadoras para a prensagem.

A vibro-prensa utilizada pela empresa Alfa Blocos é do tipo automática e pneumática. Esse equipamento possui um sistema de alimentação que ajusta o tempo de alimentação do molde (tempo no qual ocorre a vibração do molde e movimentação dos agitadores permitindo o preenchimento do molde) de acordo com o tempo final (tempo no qual ocorre a segunda vibração do molde durante a prensagem do material, prolongando-se até que a altura desejada seja atingida). Os blocos foram moldados sobre uma chapa de madeira e colocados em gaiolas que foram enviadas para a etapa de cura.

A cura é uma etapa de grande importância, pois é o período em que o concreto endurecerá devido à reação do cimento com água. A aspersão de água é necessária para suprir as perdas de água para o meio, permitindo que a reação do cimento se processe inteiramente. O período de cura depende de cada tipo de cimento. No caso do cimento utilizado, CPV ARI, 24 horas é o tempo necessário para o endurecimento inicial e cura será satisfatória após 7 dias e, após esse período, os blocos foram caracterizados quanto à resistência à compressão, absorção de água e avaliação dimensional.

4.9. Caracterização dos blocos de concreto

Para cada lote produzido foi separado por amostragem um número de blocos determinado dependendo do número total de blocos produzidos como mostra a tabela 1r contida na ABNT NBR 6136:2007:

Tabela 1: Tamanho da amostra

Número de blocos do lote	Nº de blocos da amostra		Número de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão	
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido para valor não conhecido do desvio padrão da fábrica	Absorção de água
Até 5000	9	9	6	3
5001 a 10000	11	11	8	3
10001 a 20000	13	13	10	3

Como a quantidade de blocos produzida para cada traço foi inferior à 5.000 blocos, foram separados 6 blocos para análise dimensional e ensaio de resistência à compressão e 3 blocos para ensaio de absorção de água.

4.9.1. Análise dimensional

Para a verificação dimensional, foram feitas medições da altura, largura, comprimento e espessura do bloco que deveriam atender às especificações contidas na ABNT NBR 12118:2010. Para avaliar as dimensões de altura, comprimento e largura, realizou-se, para cada dimensão do corpo de prova, pelo três determinações em pontos distintos de cada face com resolução de 1 mm (Figura 3). Para a espessura mínima das paredes, foram realizadas duas determinações em cada parede longitudinal do bloco e uma determinação em cada parede transversal, tomadas na face de menor espessura,

com aproximação de 1 mm. A espessura mínima das paredes é a média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito, sendo separadas em longitudinal e transversal.

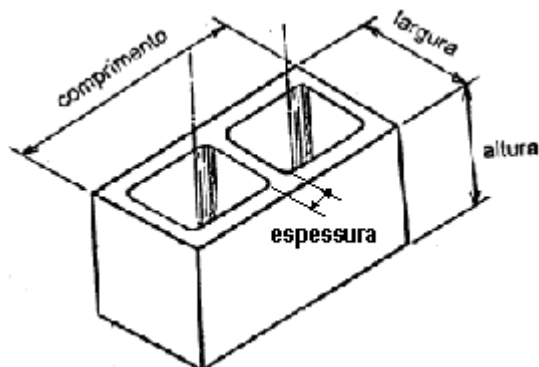


Figura 3: Dimensões do bloco de concreto.

4.9.2. Ensaio de resistência à compressão

Os blocos foram pesados e preparados para a execução dos testes de resistência à compressão que será realizado após 7 e 28 dias de cura. A superfície dos blocos, que precisa ser lisa para que a força exercida pelo equipamento seja uniforme em todos os pontos da superfície a qual está em contato, passou pelo processo de capeamento. O capeamento com gesso é o método atualmente utilizado para uniformizar a superfície. Uma massa de gesso foi produzida e distribuída em uma bancada lisa e os blocos foram colocados sobre essa massa de forma que a superfície ficasse coberta por uma camada de gesso de espessura máxima de 3 mm.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme ABNT NBR 12118:2010 que estabelece as condições adequadas da prensa e a velocidade de elevação da tensão aplicada ($0,05 \pm 0,01$ MPa/s). A resposta do equipamento é dada em unidade de pressão (Mega Pascal – MPa). A interpretação desse valor para a determinação da resistência característica do bloco foi feita de acordo com a ABNT NBR 6136:2007. O valor característico da resistência pode ser determinado de duas formas dependendo se o valor do desvio-padrão da fábrica for conhecido e se não for conhecido. No caso da empresa Alfa Blocos, o desvio padrão da fábrica não é conhecido e, portanto, utilizou-se o valor característico de resistência a compressão dos blocos (f_{bk}) dos blocos de concreto, referida à área bruta, é estimado a partir da expressão:

$$f_{bk,est} = 2 [(f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}) / (i - 1)] - f_{bi}$$

Equação 7

Sendo:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n - 1)/2$, se n for ímpar;

$f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ são os valores de resistência a compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é igual à quantidade de blocos da amostra.

O valor da resistência característica da amostra (f_{bk}) deve ser igual à $f_{bk,est}$, não sendo admitido valor de f_{bk} inferior a $y f_{b(1)}$ ou seja, se o resultado for inferior, adota-se para f_{bk} o valor de $y f_{b(1)}$. Os valores de y estão indicados na tabela X e $f_{b(1)}$ é o menor valor individual da amostra.

Assim, se $f_{bk,est} < (y \times f_{b(1)})$, então: $f_{bk} = (y \times f_{b(1)})$ ou $f_{bk} = f_{bk,est}$.

Tabela 2: Valores de y conforme o número de blocos testados.

Quantidade de blocos	6	8	10
Y	0,89	0,93	0,96

4.9.3. Ensaio de absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram feitos de acordo com a ABNT NBR 6136:2008.

MATERIAIS:

- Estufa para esterilização, Modelo 3, MEDCLAVI;
- Balança modelo ID-M 30/3, Filizola Balanças Industriais S/A.
- Recipiente para imersão dos blocos de concreto;

MÉTODO:

Os corpos de prova permaneceram no ambiente do laboratório por um período de 24h, sendo então pesados, anotando-se a massa M3. Depois, foram levados à estufa a

110 ± 5°C e mantidos nessa condição por 24h. Determinou-se então a massa do corpo e colocou-se novamente em estufa por 2h e repetiu-se o procedimento até massa constante (M1). Após resfriados naturalmente à temperatura ambiente, foram imersos em água à temperatura de 18 à 28°C, por 24h. Pesou-se cada corpo de prova na condição de saturado com superfície seca, que foi obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela de 9,5 mm ou mais de abertura de malha por 60s e removeu-se a água superficial visível com um pano seco. O valor encontrado foi anotado e mergulhou-se o corpo de prova novamente em água. Repetir essa operação a cada 2h até massa constante (M2).

Cálculos:

$$a = \frac{M2 - M1}{M1} * 100$$

Equação 8

Em que:

aé a absorção total em porcentagem;

M1...é a massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas;

M2...é a massa do corpo de prova saturado, em gramas;

Após o cálculo do valor de **a** para cada corpo de prova, calcular a média desses resultados individuais.

4.10. Caracterização da estrutura

4.10.1. Macroestrutura

Para cada traço produzido, a macroestrutura das fases agregado e matriz foi analisada por um lupa estereoscópica QUIMIS modelo Q740Z-TR acoplado a uma câmera colorida KODO KC-512DN.

4.10.2. Microestrutura

A microestrutura do concreto obtido para cada traço, contendo as três fases, foi analisada em um microscópio ótico LEIKA DM IRM equipado com um software de

imagem LEIKA QWIN e um microscópio eletrônico de varredura (MEV) LEO modelo 1450 VP.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinação da umidade superficial – agregados miúdos:

A umidade superficial dos agregados, areia média e pó de pedra, foi calculada a partir da Equação 1.

Umidade superficial dos agregados finos foi aproximadamente 5%, considerando a massa específica média dos agregados finos igual 2.600 g/ cm³.

Esse resultado deve ser utilizado para corrigir a massa dos agregados miúdos no proporcionamento dos agregados. No ítem em que foi feito o proporcionamento dos agregados, este fator de correção não foi utilizado, pois não afetaria consideravelmente a curva granulométrica obtida.

5.2. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro:

Foram medidas 200 partículas de cada agregado graúdo e calculado índice de forma pela média ponderada das relações de comprimento e espessura de cada partícula obtida das frações separadas.

O índice de forma do seixo rolado foi equivalente a 1.5, enquanto o da brita 0 foi 3.5.

Isso confirma a grande diferença entre o formato do seixo rolado, que apresenta forma mais arredondada quando comparado com a brita 0.

5.3. Determinação de absorção de água para agregados graúdos.

Pelos ensaios determinou-se para a brita 0:

$$m = 1,96 \text{ kg}$$

$$m_s = 2,01 \text{ kg}$$

Logo se tem que:

$$A = 2.55\%$$

Para o seixo rolado:

$$m = 1,98 \text{ kg}$$

$$m_s = 2,00 \text{ kg}$$

Logo se tem que:

$$A = 1.01\%$$

Esses resultados indicam a maior absorção da brita 0 quando comparada com o seixo rolado. Isso implicará em maior necessidade de água na produção de blocos de concreto para atingir o nível ideal para a realização da cura.

5.4. Análise Granulométrica

Os resultados da análise granulométrica se encontram na Tabela 3:

Tabela 3: Análise Granulométrica - Agregados

Peneiras (mm)	Seixo Rolado		Pó de Pedra		Areia Média		Brita 0	
	Retido acumulado	% retido acumulado	Retido acumulado	% retido acumulado	Retido acumulado	% retido acumulado	Retido acumulado	% retido acumulado
9,5	0,01	1,1	0	0,0	0	0,0	0,04	6,7
6,3	0,09	9,5	0	0,0	0	0,0	0,37	61,7
4,75	0,17	17,9	0	0,0	0	0,0	0,49	81,7
2,38	0,46	48,4	0,07	8,0	0,01	1,0	0,6	100,0
1,18	0,71	74,7	0,29	33,0	0,1	9,9	0,6	100,0
0,6	0,86	90,5	0,41	46,6	0,36	35,6	0,6	100,0
0,3	0,93	97,9	0,49	55,7	0,9	89,1	0,6	100,0
0,15	0,94	98,9	0,64	72,7	1,01	100,0	0,6	100,0
0,075	0,95	100,0	0,84	95,5	1,01	100,0	0,6	100,0
0	0,95	100,0	0,88	100,0	1,01	100,0	0,6	100,0
MF	6,38		4,11		4,36		8,5	

Pela Tabela 3, contruiu-se as curvas granulométricas de cada agregado utilizados para compor os traços.

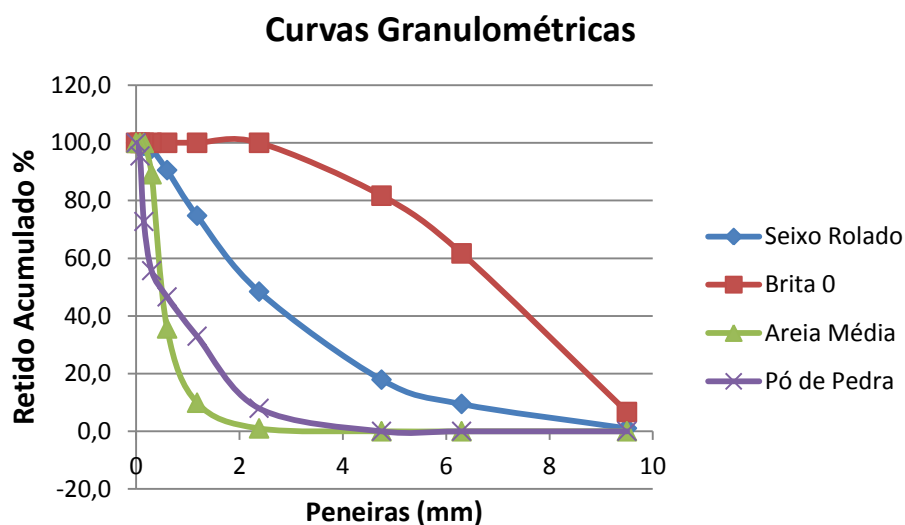


Figura 4: Curvas Granulométricas dos agregados.

Pelas curvas granulométricas, observa-se a grande diferença na distribuição granulométrica entre os agregados. Percebe-se que a brita 0 apresenta a maior porcentagem de partículas retidas nas peneiras de 4,75 a 9,5 mm, enquanto o seixo rolado apresenta maior porcentagem de partículas retidas nas peneiras 2,38 e 1,18 mm.

Isso significa que, para ter uma composição granulométrica favorável em um traço composto por brita 0 como agregado graúdo, necessitará maior quantidade de finos (areia e pó de pedra) quando comparado com um traço composto por seixo rolado. Como o seixo rolado já apresenta em sua composição uma quantidade significativa de areia, ao formular o traço para ajustar a curva granulométrica, a quantidade de seixo rolado será mais elevada e a quantidade de finos será menor.

A presença de maior quantidade de areia no seixo rolado vem aumentando com o passar do tempo devido à dificuldade em encontrar fontes para a retirada desse agregado na região do Vale do Paraíba.

5.5. Determinação do teor de Ferro:

A determinação do teor de Ferro foi feita a partir do método de espectrometria de absorção atômica em chama (EAA – chama) para os quatro agregados utilizados: Brita 0, Seixo Rolado, Areia Média e Pó de Pedra.

Esse experimento foi realizado pelo laboratório de absorção atômica da Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) a pedido da empresa Alfa Blocos, que desejava ter os respectivos laudos de análise.

Na Tabela 4, os resultados obtidos por esse método:

Tabela 4: Teor de ferro das amostras de agregados (EEA - Chama).

Agregado	% Fe
Areia média	0,103
Pó de Pedra	2,7
Brita 0	0,52
Seixo Rolado	0,12

Pelos resultados acima, nota-se que o teor de ferro é relativamente baixo para todos os agregados, não apresentam riscos para as propriedades do bloco. O maior teor de Ferro se encontra no Pó de Pedra, mas o mesmo respresenta pequena porcentagem na composição dos traços.

5.6. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária

A determinação da massa unitária em estado solto permitirá o melhor entendimento da massa final do bloco de concreto. A massa unitária considera o massa dos agregados e vazios dentro de um determinado volume.

A tabela 5 mostra os valores obtidos para os 4 agregados em kg/dm³:

Tabela 5: Massa unitária dos agregados

AM	PP	Seixo	Brita 0
1,47	1,52	1,42	1,39

Os resultados acima mostram a necessidade de combinação entre esses agregados para poder preencher os vazios e gerar um concreto com massa unitária elevada, melhor empacotamento e, conseqüentemente melhores propriedades mecânicas.

5.7. Definição de traços pelo método de Fernandes (2008)

O método proposto por Fernandes (2008) foi o escolhido para a determinação dos traços, pois leva em conta uma faixa granulométrica na qual obtém-se o empacotamento ótimo das partículas de agregados de tamanhos distintos. Essa faixa foi traçada e cabível a aplicação na prática por usar as diferentes granulometrias, determinando-se a distribuição granulométrica da mistura dos componentes.

Os traços foram definidos utilizando dois tipos de misturas:

Traço 1: brita 0 + areia média + pó de pedra

Traço 2: seixo rolado + areia média + pó de pedra.

Buscando o melhor ajuste de curva granulométrica das respectivas misturas, encontrou-se as seguintes composições para uma mistura total de 500 kg de agregados. Para todos os traços considerou-se quantidade de cimento de 60 Kg.

Traço 1: seixo rolado 300 kg, areia média 100 kg, pó de pedra 100 kg.

O traço 2 pode se ajustar dentro das curvas limites. O seixo rolado utilizado apresenta grande quantidade de areia e por isso a quantidade de finos é superior na distribuição granulométrica.

Traço 2: brita 0 180 kg, areia média 150 kg, pó de pedra 170 kg.

Esse traço não resultou perfeitamente em uma curva dentro dos padrões ideais, pois a brita 0 utilizada possui um módulo de finura bastante elevado o que dificultou o ajuste para os tamanhos de peneira entre 4,8 mm a 9,5 mm.

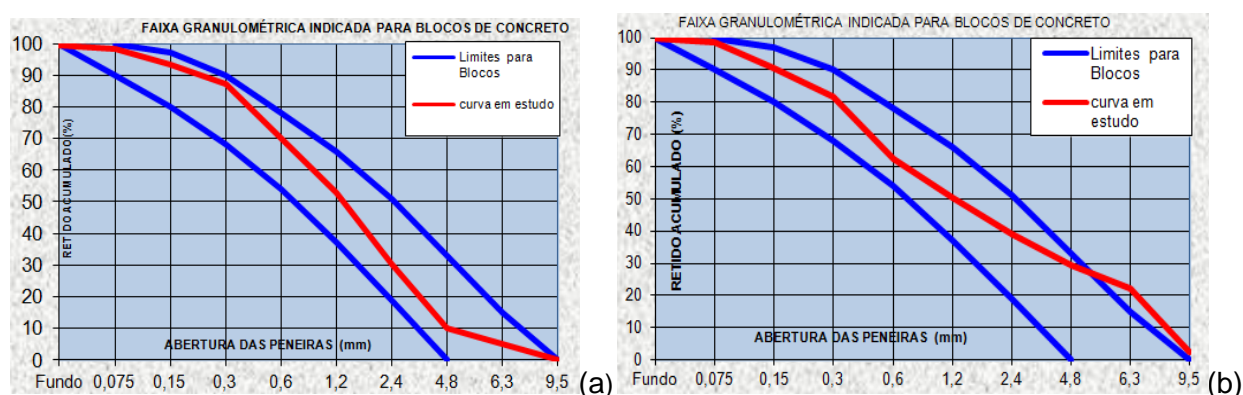


Figura 5: Curvas granulométricas: traço 1 (a) e traço 2 (b).

5.8. Produção dos blocos de concreto:

Os blocos de concreto foram produzidos em um mesmo dia e no mesmo equipamento (prensa pneumática) para evitar desvios nesse processo de fabricação. A quantidade utilizada de cimento foi estipulada em 60 kg para todos os traços com o intuito de produzir um bloco estrutural de dimensões 14x19x39 mm e resistência à compressão de 8 MPa.

A quantidade necessária de água para a produção foi calculada considerando-se as umidades dos agregados colocados no misturador, com o intuito de atingir a quantidade ideal de água para blocos de concreto pois, segundo Oliveira (2004), a umidade deve ter valores entre 6 e 8 %. Ferreira (1995) indica que a quantidade ideal de água para blocos de concreto é a adoção máxima, desde que esta não ocasione perda de coesão e aderência dos blocos nas paredes das formas.

Esse processo de determinação da quantidade de água já é executado rotineiramente pela empresa. A água calculada é adicionada automaticamente e, completa-se manualmente para atingir a quantidade máxima.

Os tempos de vibrocompressão e mistura foram mantidos os mesmos para a fabricação de todos os traços.

Foram produzidos os 2 traços escolhidos e um terceiro traço (de mesma composição granulométrica que o traço 2) com menor quantidade de água, para avaliar a importância da água nas reações de cura do concreto e sua influência nas propriedades finais, principalmente na resistência à compressão do bloco.

5.9. Avaliação das dimensões:

Os blocos foram medidos para avaliar se as dimensões se encontravam dentro das especificações, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Dimensões dos blocos de concreto (Traço 1, 2 e 3).

		Traço 1					
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6
Altura média		19,10	19,00	19,20	19,00	19,10	19,00
Largura média		14,05	14,10	14,05	14,05	14,00	14,05
Comprimento médio		39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
Espessura média		2,45	2,50	2,50	2,55	2,55	2,50
		Traço 2					
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6
Altura média		18,90	19,00	19,00	19,10	19,00	19,10
Largura média		14,00	14,05	13,95	14,00	14,05	14,00
Comprimento médio		39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
Espessura média		2,55	2,50	2,60	2,55	2,55	2,55
		Traço 3					
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6
Altura média		19,00	19,00	19,10	19,10	19,10	19,10
Largura média		14,05	14,05	14,00	14,05	14,00	14,00
Comprimento médio		39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
Espessura média		2,45	2,50	2,55	2,55	2,50	2,50

Como pode-se observar, todos os blocos produzidos a partir dos três traços atendem as especificações segundo a norma ABNT NBR 6136:2007 em que:

- Variação máxima de comprimento e largura = 2 mm
- Variação máxima de altura = 3 mm
- Variação máxima de espessura = -1 mm

5.10. Aparência dos blocos de concreto

Nas Figuras 6, 7 e 8, pode-se observar as imagens de blocos produzidos com os três traços.

Nota-se que nos blocos feitos com seixo rolado e brita 0 que foram produzidos com a quantidade máxima ideal de água (traço 1 e 2), as marcas deixadas pela água ao desenformar os blocos. Isso prova que foi utilizada a máxima quantidade de água, pois

houve certa “pega” nas paredes da forma, porém isso não impediu ou prejudicou a desforma dos blocos.

No traço 3, que foi feito com menor quantidade de água, a aparência se tornou um pouco mais lisa e mais escura. Portanto, quando a aparência é mais relevante do que a resistência à compressão, como por exemplo blocos de vedação, pode-se dizer que uma menor quantidade de água é favorável.

Também pode-se observar como o tamanho e forma das partículas afetam a aparência dos blocos. Como a brita 0 possui partículas maiores e pontiagudas, o bloco apresenta maior quantidade de vazios na superfície. Partículas pontiagudas e laminares dificultam a trabalhabilidade da mistura na fabricação do bloco além de tornar a superfície mais rugosa.



Figura 6: Fotografia de blocos de concreto produzidos com seixo rolado: traço 1



Figura 7: Fotografia de blocos de concreto produzidos com brita 0: traço 2



Figura 8: Fotografia de blocos de concreto produzidos com Brita 0 com menos água: traço 3

5.11. Testes de Resistência à Compressão:

Testes de resistência à compressão foram realizados aos 7 dias e 28 dias de cura, utilizando 6 corpos de prova para cada teste em acordo com a norma ABNT NBR 6136:2007.

Os resultados para todos os teste se encontram nas Tabelas 7 e 8:

Tabela 7: Testes de resistência à compressão com 7 dias de cura.

TESTE 7 DIAS					
Seixo Rolado		Traço 2: Brita 0		Traço 3: Brita 0 (- água)	
Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
9,14		10,90		8,49	
8,50		12,55		7,88	
9,45		13,69		6,62	
8,41		10,48		7,48	
8,39		10,74		6,74	
8,28		10,78		6,79	
fbk (MPa)	8,26	fbk (MPa)	10,44	fbk (MPa)	6,57
massa média (kg)	11,99	massa média (kg)	12,94	massa média (kg)	12,03

Tabela 8: Testes de resistência à compressão com 28 dias de cura.

TESTE 28 DIAS		
Traço 1: Seixo Rolado	Brita 0	Brita 0 (- água)
Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
10,19	10,54	9,92
10,40	13,94	12,54
10,42	14,00	12,37
9,99	11,31	8,56
10,93	12,77	8,39
11,15	11,47	11,30
fbk (MPa) 9,78	fbk (MPa) 10,38	fbk (MPa) 7,47
massa média (kg) 12,46	massa média (kg) 13,06	massa média (kg) 12,5

De acordo com os resultados obtidos acima nos teste de resistência à compressão, pode-se verificar que aos 7 dias tem-se:

- fbk traço 2 > fbk traço 1 = fbk traço 3 e,
- m traço 2 > m traço 3 = m traço 1.

A resistência à compressão é, na maioria das vezes, proporcional à massa do blocos de concreto pois reflete o grau de empacotamento dos agregados na mistura. Nas relações descritas acima, observa-se essa proporcionalidade.

Analisando os resultados obtidos aos 28 dias:

- fbk traço 2 > fbk traço 1 > fbk traço 3
- m traço 2 > m traço 1 = m traço 3

Como observa-se acima, a resistência à compressão dos blocos feitos a partir do traço 1, que aos 7 dias apresentava fbk semelhante aos blocos do traço 3, aumentou consideravelmente se comparada com o aumento obtido no traço 3. Isso pode ser explicado pois a quantidade de água inferior presente no traço 3, as reações entre cimento e água são prejudicadas. Além disso, nota-se que os valores de resistência à compressão dos blocos individuais no traço 3 aumentaram, porém esses valores tem uma variação bastante elevada entre os blocos. Isso está em acordo com Tango (2004) que diz não haver uniformidade das resistências dos blocos no lotes quando a uniformidade da mistura não é devidamente considerada.

As relações entre os traços e a evolução da cura com o tempo é mostrada na Figura 9:

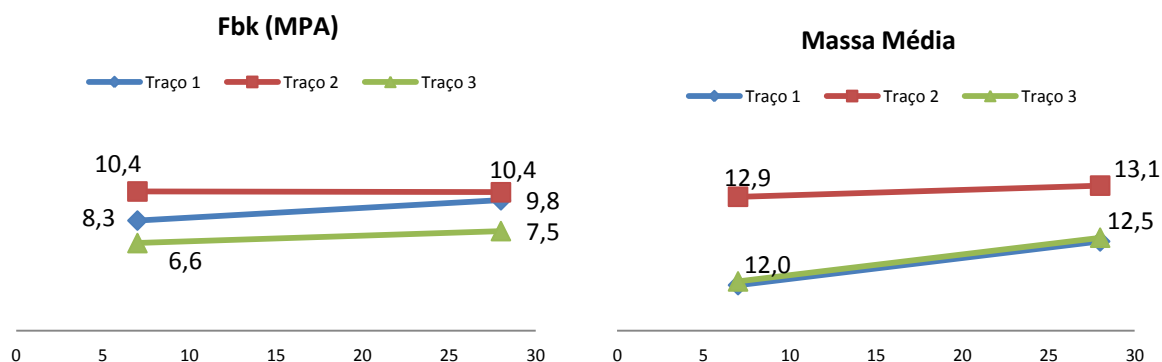


Figura 9: Resistência à compressão (fbk) e Massa média dos blocos.

Como explicado anteriormente, a natureza do agregado graúdo e suas características físicas, tais como rugosidade, forma e porosidade, interferem diretamente nas propriedades finais do blocos de concreto devido às diferentes interações entre agregado e matriz de cimento.

- Partículas em forma de lâmina prejudicam a trabalhabilidade do concreto além de provocar uma textura mais rugosa. Nesse sentido, o acabamento fica prejudicado e maior consumo de argamassa é necessário.
- A necessidade de água para os blocos feitos com brita 0 foi maior devido à maior porosidade das partículas.
- A rugosidade superior da brita 0, quando comparada com o seixo rolado, aumenta a aderência agregado-pasta e isso reflete a resistência à compressão como mostrados nos resultados da Tabela 7.

5.12. Teste de absorção de água:

Os testes de absorção de água, executados segundo a norma ABNT NBR 6136:2008 apresentaram os resultados contidos na Tabela 9:

Tabela 9: Resultados – Teste de absorção de água

	M2 (kg)	M1 (kg)	Absorção de água(%)
Traço 1	12,37	13,3596	8%
Traço 2	12,9	13,932	8%
Traço 3	12,4	13,516	9%

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que todos os blocos se encontram dentro dos limites de absorção contidos na norma, que devem ser menores que 10%.

Percebe-se a partir dos resultados que:

AA(%) traço 3 > AA(%) traço 2 = AA(%) traço 1

A maior absorção de água para os blocos do traço 3 pode ser explicada devido à maior quantidade de vazios no interior do bloco, que serão mostrados na análise de macro e microestrutura.

5.13. Macroestrutura:

A macroestrutura de amostras feitas a partir dos blocos de concreto foram analisadas em microscópio estereoscópico e se encontram nas Figuras 10,11 e 12.

Analisando as figuras referentes ao traço 2 (brita 0) nota-se a uniformidade na distribuição dos agregados (gráudo e miúdo) e da pasta de cimento além de ausência ou pequena quantidade de vazios o que tornou os blocos feitos com esse traço, os mais resistentes e melhor empacotados de acordo com os resultados.

No traço 3, com brita 0 e menor quantidade de água, foi observada a presença de grande quantidade de vazios em toda a superfície. A ausência de água prejudica as reações do cimento na cura e portanto, a interação entre as fases.

No traço 1, feito com seixo rolado, percebe-se as partículas mais arredondados e lisas devido à natureza do material. Também pode-se verificar a presença de vazios além de uma interação mais fraca entre o agregado gráudo e a pasta resultantes da menor rugosidade da superfície desse agregado quando comparado com a brita 0.



Figura 10: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico– Traço 2 (brita 0)

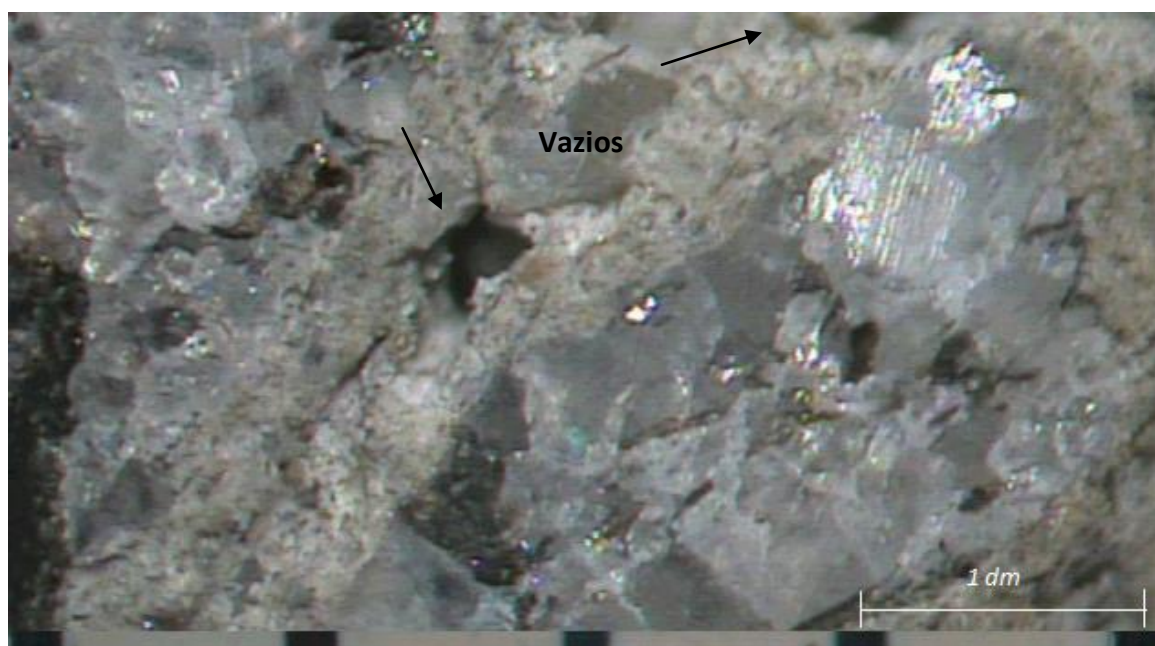


Figura 11: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico – Traço 3 (brita 0 com menos água)

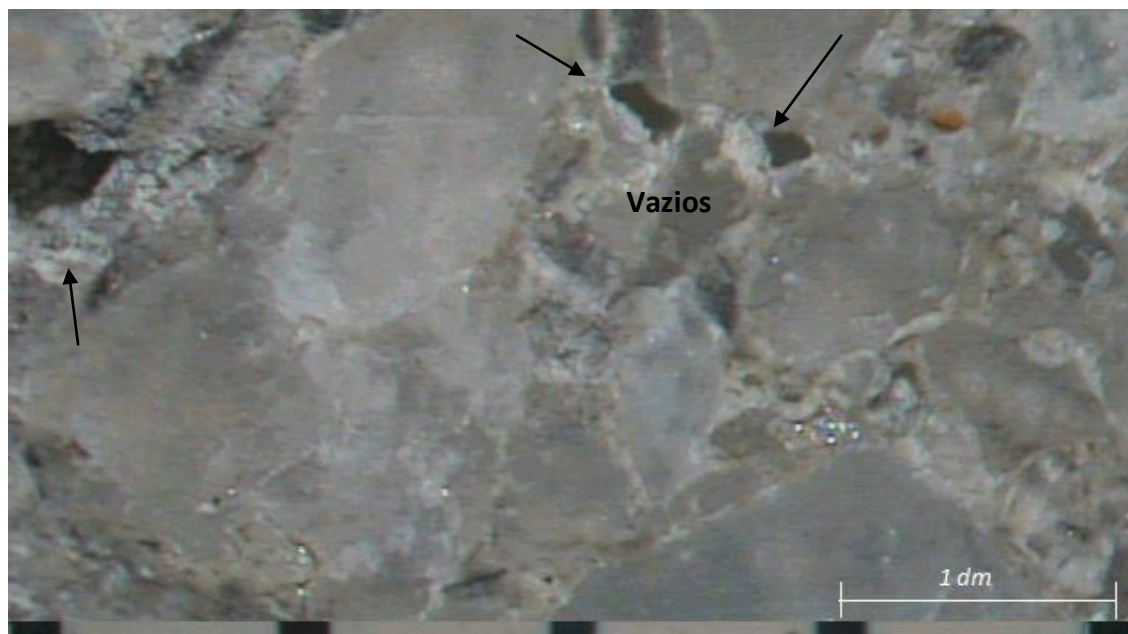


Figura 12: Fotografia obtida por microscópio estereoscópico – Traço 1 (seixo rolado)

5.14. Microestrutura:

As Figuras 13 a 21 foram obtidas de 3 amostras referentes aos traços produzidos utilizando-se para isso um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Nas Figuras 13,14 e 15, observa-se a presença de duas fases bem distintas: os agregados e a pasta de cimento além dos vazios entre as fases.

Percebe-se que a figura referente ao traço 3 (brita 0 com menos água) apresenta um grande número de vazios e, conseqüentemente, menor distribuição e interação entre as fases. A presença dos vazios torna o concreto mais frágil e por isso, sua resistência a compressão tende a ser inferior como comprovado nos testes realizados.

Nota-se também que para o traço 1 (seixo rolado), encontra-se um maior número de vazios nas redondezas dos agregados graúdos, confirmando que a interface desse tipo de agregado é mais fraca se comparada com a brita 0, devido à maior rugosidade desse último tipo e melhor ancoragem.

Segundo Mehta e Monteiro (2006) os vazios na pasta endurecida são de extrema importância nas características do concreto. A maior quantidade de vazios resultará em:

- Maior porosidade;
- Maior permeabilidade;
- Menor resistência mecânica;

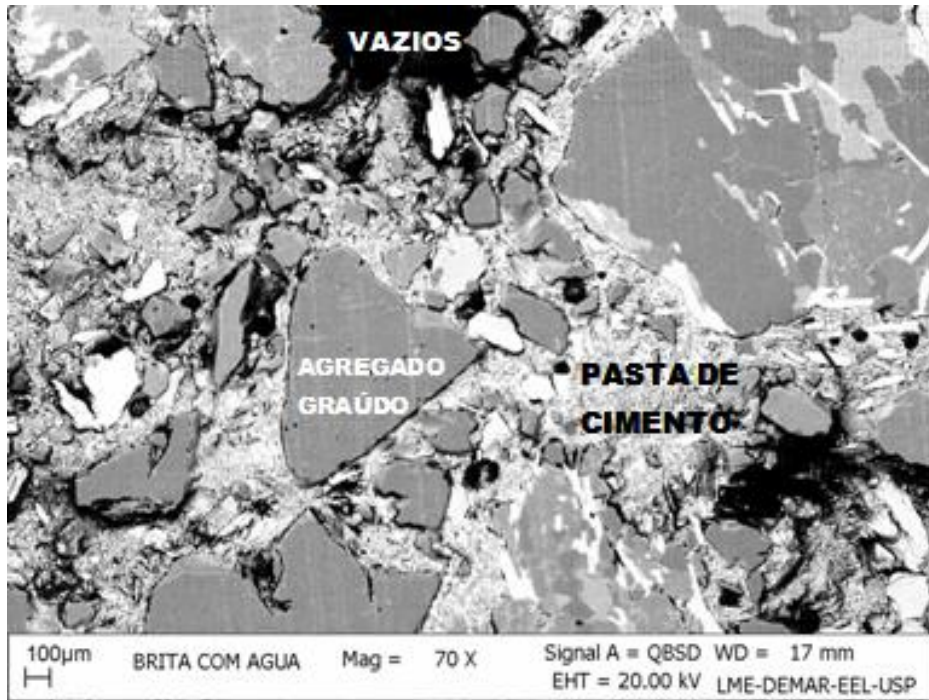


Figura 13: Estrutura interna do concreto – Traço 2.

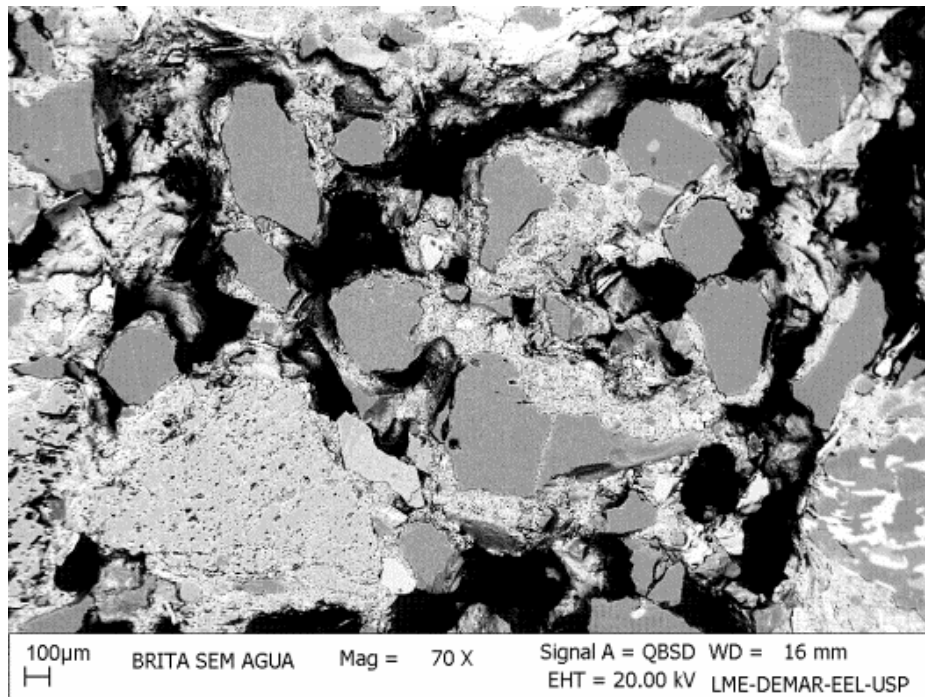


Figura 14: Estrutura interna do concreto – Traço 3.

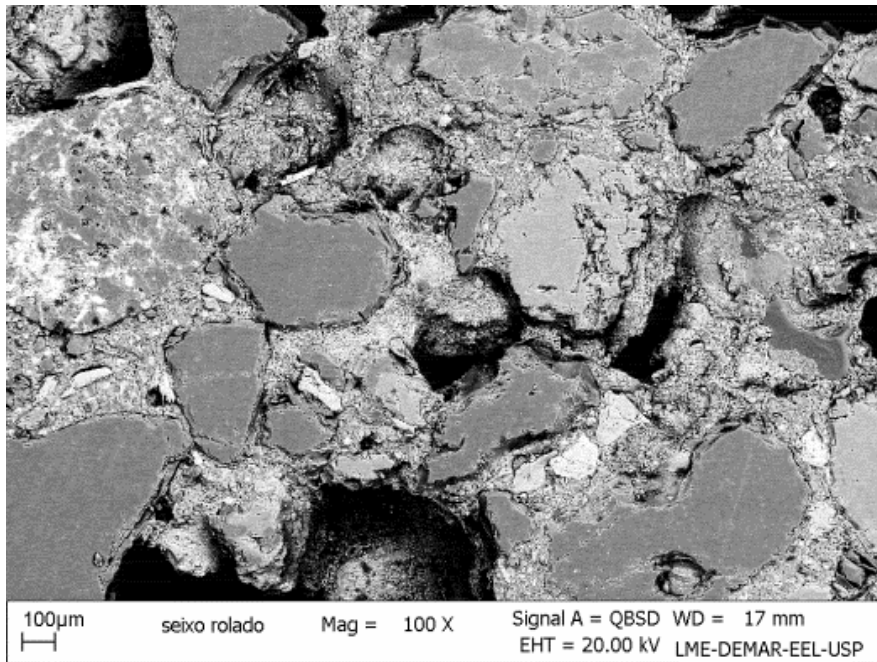


Figura 15: Estrutura interna do concreto – Traço 1.

Ampliando as imagens para melhor observar o agregado graúdo a pasta de cimento (Figuras 16,17 e 18). Pode-se também notar o formato mais arredondado dos grão de seixo rolado na Figura 18. Apesar disso, percebe-se que também contém irregularidades em seus contornos.

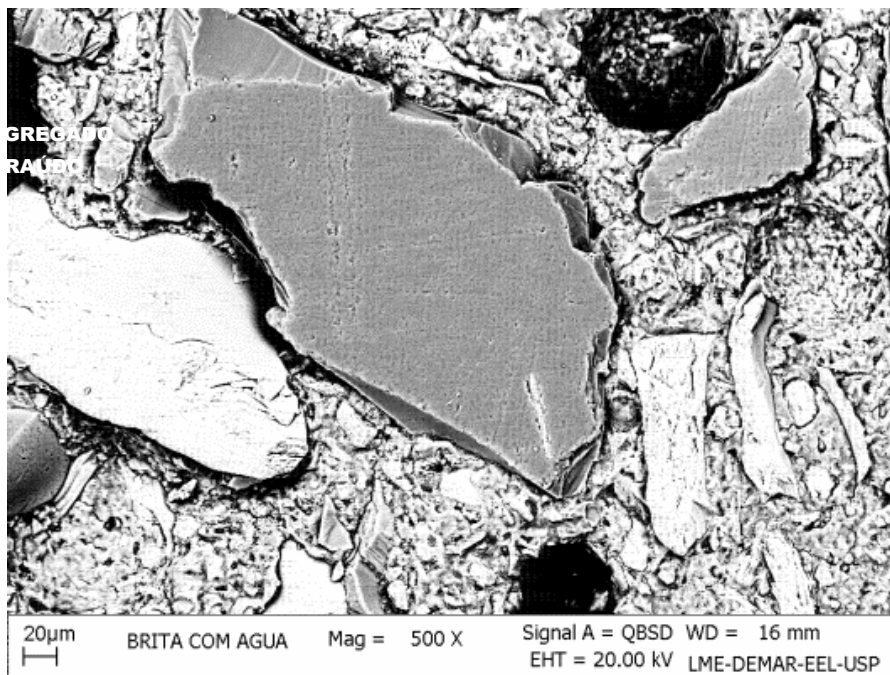


Figura 16: Estrutura interna do concreto – Traço 2 (500x).

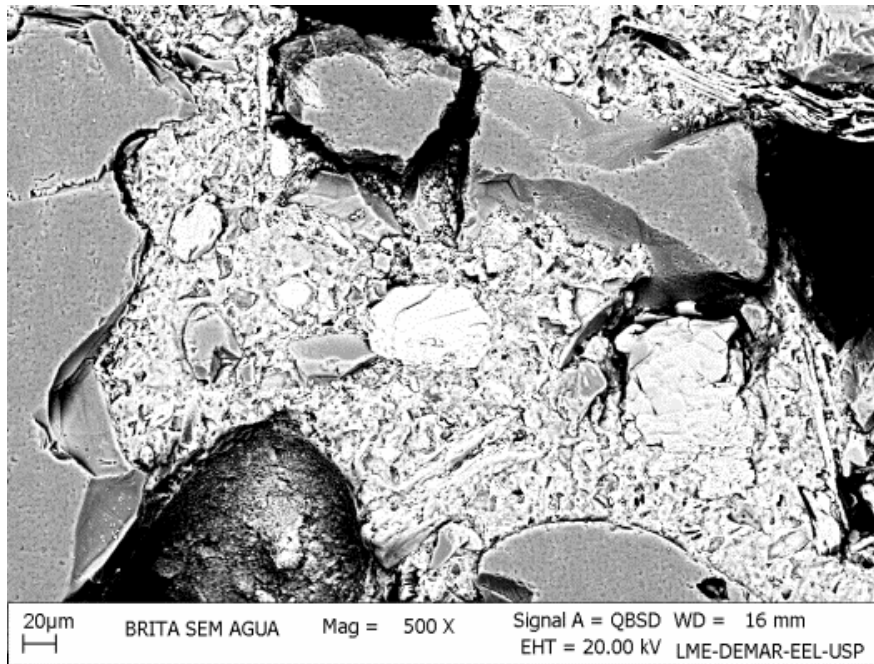


Figura 17: Estrutura interna do concreto – Traço 3 (500x).

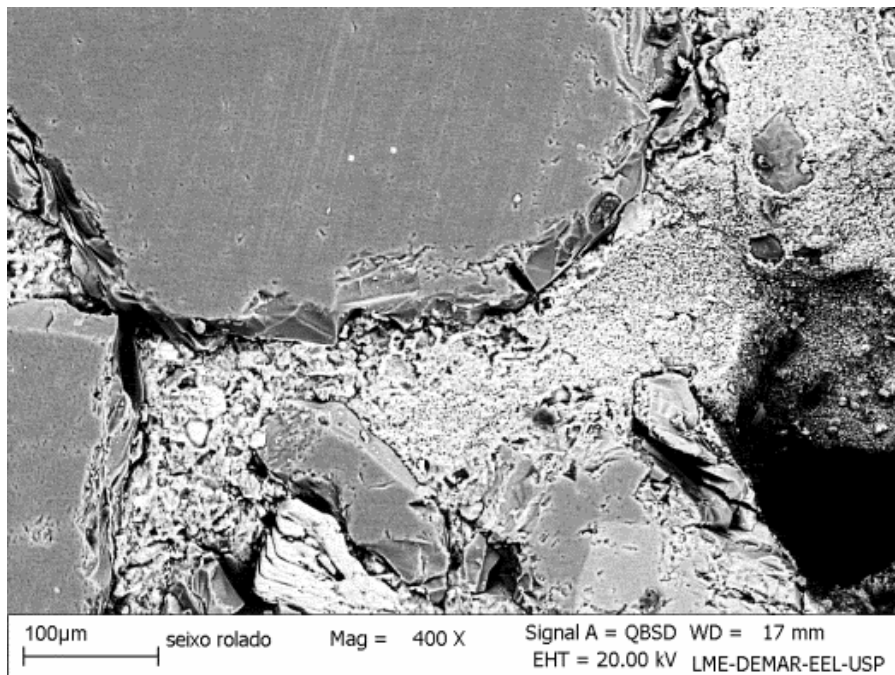


Figura 18: Estrutura interna do concreto –Traço 1 (500x).

Nas Figuras 19,20 e 21 consegue-se ver as interfaces entre o agregado graúdo e a matriz.

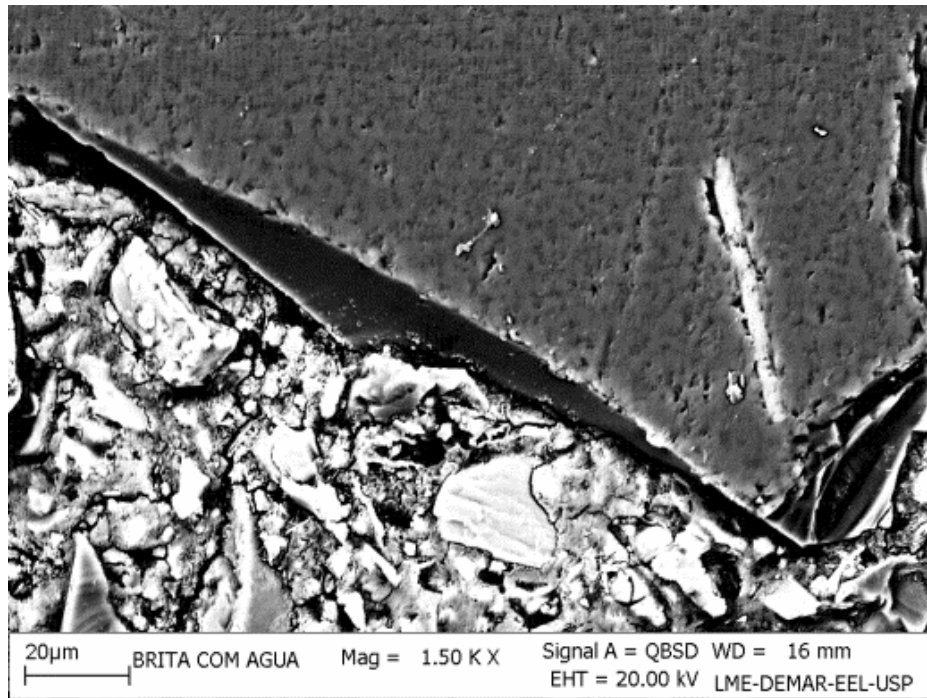


Figura 19: Estrutura interna do concreto – Traço 2 (1500x)

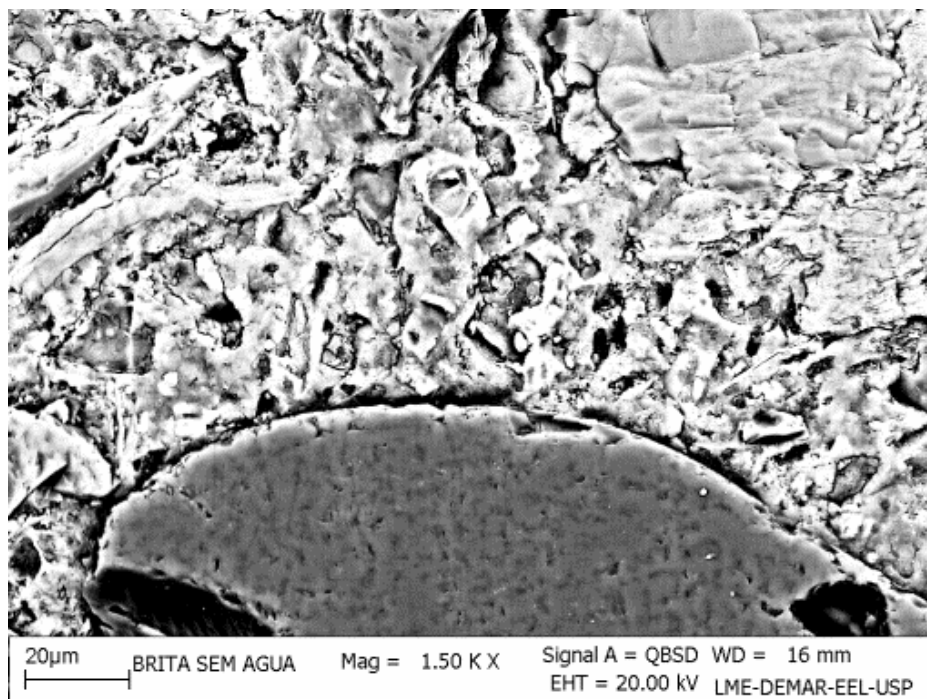


Figura 20: Estrutura interna do concreto – Traço 3 (1500x).

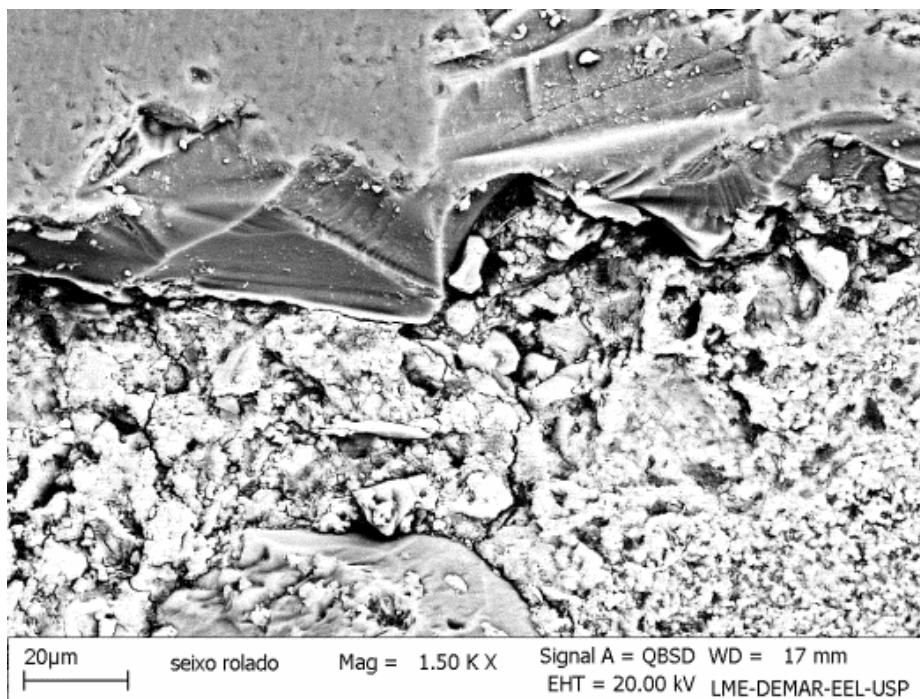


Figura 21: Estrutura interna do concreto –Traço 1 (1500x).

As Figura 22 e 23, mostram as 3 fases formadas no concreto. A zona de transição, na interface das partículas grandes de agregado e da pasta de cimento, embora composta pelos mesmos elementos que a pasta de cimento hidratada, apresenta propriedades diferentes da matriz. Segundo Mehta e Monteiro (2006), a zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento é normalmente a fase mais fraca em que a probabilidade de ruptura em volta do agregado é alta. Ao analisar esta figura, percebe-se a ocorrência de trincas bem próximas do agregado como destacado na imagem.

Percebe-se também a maior uniformidade na interface agregado/matriz da figura que representa o traço 2 quando comparamos com o traço 1.

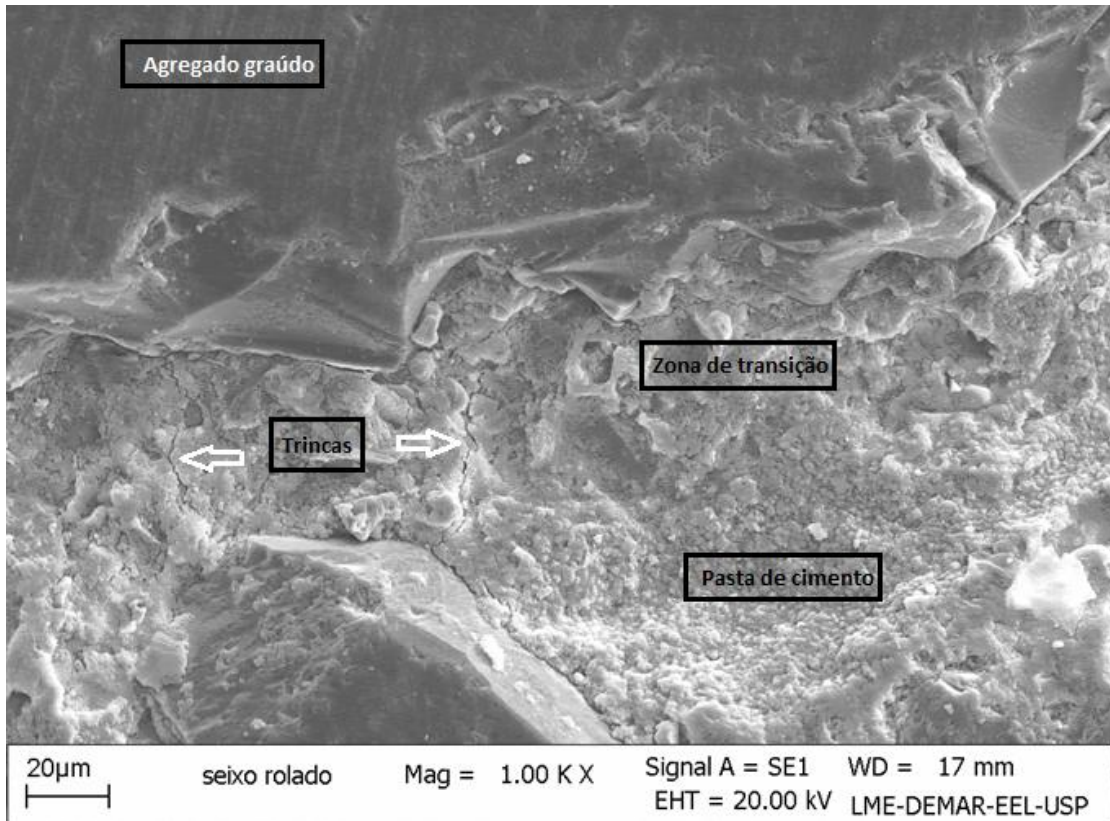


Figura 22: Estrutura interna do concreto - Traço 1.

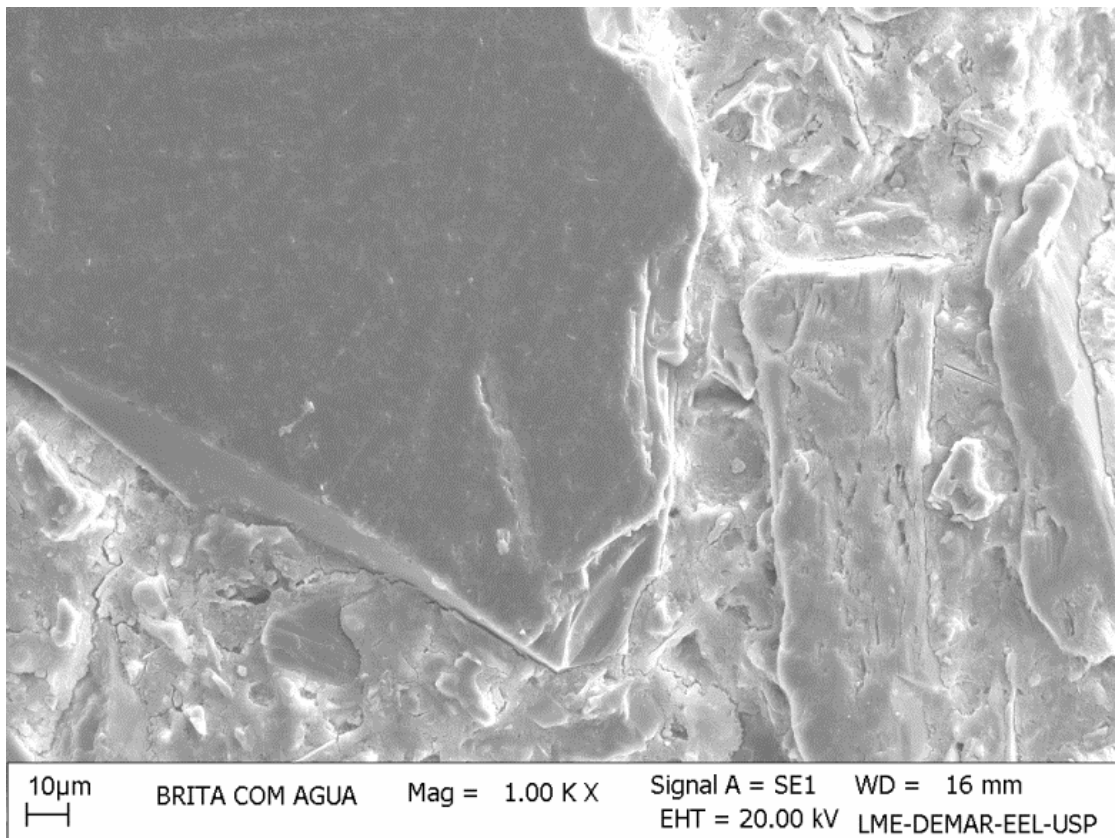


Figura 23: Estrutura interna do concreto - Traço 2.

5.15. Análise de custos:

Consideraremos os custos relativos aos agregados consumidos pela empresa números imaginários com relação de proporção entre eles para efeitos de análise.

Na Tabela 10, encontram-se os preço dos insumos e o custo de cada traço.

Tabela 10: Custos relativos dos traços

	Areia Média	Pó de pedra	Seixo Rolado	Brita 0
Preço relativo / 50 kg	1,4	1,3	1,8	2,2
T1 (kg)	100	100	300	0
Custo relativo	140	130	540	0
T2 (kg)	150	170	0	180
Custo relativo	210	221	0	396

Valor Total T1	810
Valor Total T2	827

Como pode-se observar na Tabela 10, a diferença entre os custos relativos do Traço 1 e 2 é pequena, pois, apesar da brita 0 ter um maior custo, o traço utiliza menor quantidade deste produto na composição total.

Todos os dois traços atenderam às especificações para um bloco estrutural. Portanto, para esse tipo de bloco, o uso da brita 0 se torna mais favorável devido à melhor resistência à compressão permitida.

Como a aparência e trabalhabilidade do bloco feita com brita 0 é prejudicada, aconselha-se a utilizar o seixo rolado na fabricação de blocos aparentes em que a resistência à compressão não é o fator determinante.

6. CONCLUSÃO

Os agregados representam grande parte da composição dos blocos de concreto, exercendo grande influência em suas propriedades físicas e mecânicas. O trabalho desenvolvido permitiu demonstrar como as propriedades dos agregados interferem nas características finais do bloco de concreto.

A brita 0, por ter superfície rugosa, permite maior interação com a matriz de cimento. A microestrutura do concreto feito a partir desse agregado resultou em uma matriz com menor quantidade de vazios e, conseqüentemente, verificou-se na prática que suas propriedades mecânicas foram superiores às propriedades dos blocos produzidos a partir do seixo rolado.

O seixo rolado, por possuir a superfície das partículas mais lisa e arredondada, torna-se um agregado graúdo indicado na fabricação de blocos aparentes e vedação, em que a resistência à compressão não é o fator crucial.

Também pode-se verificar a grande influência da quantidade de água em concretos para blocos. A mistura realizada com a brita 0 que não continha a quantidade máxima de água, mostrou em sua microestrutura um grande número de vazios e falta de homogeneidade nas fases do concreto. Os testes de resistência à compressão puderam confirmar esse comportamento, pois resultou em resistência característica cerca de 28% inferior aos blocos produzidos com quantidade máxima de água.

A análise de custos mostrou pequena diferença final entre os traços obtidos utilizando-se os dois tipos de agregados. E, portanto, aconselha-se optar pelo uso de brita 0 para blocos estruturais e seixo rolado para outros tipos de blocos de concreto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica. ABNT NBR NM 248, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa aparente. ABNT NBR NM 52, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. ABNT NBR NM 53, Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. ABNT NBR 7809, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo - Método de ensaio. ABNT NBR 9939, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado fino: Determinação de impurezas orgânicas. ABNT NBR NM 49, Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio. ABNT NBR 9775, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. ABNT NBR 6136, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. ABNT NBR 12118, Rio de Janeiro, 2010.

ARAÚJO, H.N. Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: um estudo de caso. Florianópolis, UFSC, 1995, 117p, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

FELIPE, A. S., Contribuição para a otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

FERNANDES, I. D. (2008). *Blocos & Pavers: Produção e Controle de Qualidade*. Ribeirão Preto, São Paulo: Treino Assesoria e Treinamentos Empresariais Ltda.

LAGUNA, L. A., & IKEMATSU, P. A influência da temperatura na desforma do concreto. *Revista Técnica*, 2009.

MEDEIROS, Jonas Silvestre. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

METHA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estruturas, Propriedades e Materiais. Editora Pini, São Paulo, 1994.

METHA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. Editora McGraw-Hill Professional, 2006.

RIBEIRO, S., RIBEIRO, D. C., DIAS, M.B.S., GARCIA, G.C.R., SANTOS, E.M.B., Study of the Fracture Behavior of Mortar and Concretes with Crushed Rock or Pebble Aggregates. *Materials Research* 2011; 14(1): 46-52.

TANGO, Carlos E. de S.. Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais. (International Seminar On Structural Masonry For Developing Countries) - IPT, São Paulo, 1994.

WEIDMANN, Fernandes Denis. Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.