

Defesa Final de Dissertação do Mestrado Profissional em Materiais



PRODUÇÃO DE PAVER A PARTIR DO COMPÓSITO DE CONCRETO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Mestrando: Carlos Rogério O. Coutinho

Banca Examinadora:

| | |
|--------------------------|---|
| Presidente: | Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral. |
| Titular Interno: | Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro. |
| Titular Externo: | Prof. Dr. Rubens Lincoln S. B. Blazutti. |
| Suplente Interno: | Prof. Dr. Bruno Chamboli Gambarato. |
| Suplente Externo: | Prof. Dr. Rodrigo Felix de A. Cardoso. |

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO

2. OBJETIVO

3. JUSTIFICATIVA

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5. MATERIAIS E MÉTODOS

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7. CONCLUSÕES

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento sustentável se tornou uma grande preocupação para a Indústria de Construção Civil, uma vez que, o setor é responsável pelo consumo de uma grande quantidade de recursos naturais e por grande parte dos impactos ambientais devido às suas atividades.

Presume-se que são geradas cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas de entulho de obra por ano em todo o mundo.

No Brasil, as estimativas pontuais mostram uma geração de 220 a 670 quilos de entulho de obra por habitante.

Uma das alternativas promissoras para diminuição dos impactos ambientais gerados pela construção civil é o uso de concreto reciclado.

O presente trabalho teve como objetivo produzir o paver a partir do compósito de concreto oriundo da reciclagem dos resíduos sólidos (RCD).

Para a análise da viabilidade, teve como objetivos principais:

- ✓ **Desenvolver e caracterizar o paver com agregados reciclados;**
- ✓ **Avaliar as alterações nas propriedades do concreto em estado fresco (trabalhabilidade);**
- ✓ **Avaliar as alterações nas propriedades físicas do concreto endurecido. (Resistência mecânica, índice de vazios, teor de absorção e massa específica).**

Com a crescente necessidade de tornar as atividades econômicas cada vez mais sustentáveis e proporcionar maior reaproveitamento de materiais oriundos de processos construtivos, o presente projeto vem como uma possível alternativa para suprir essas necessidades dentro da problemática do desperdício na construção civil.

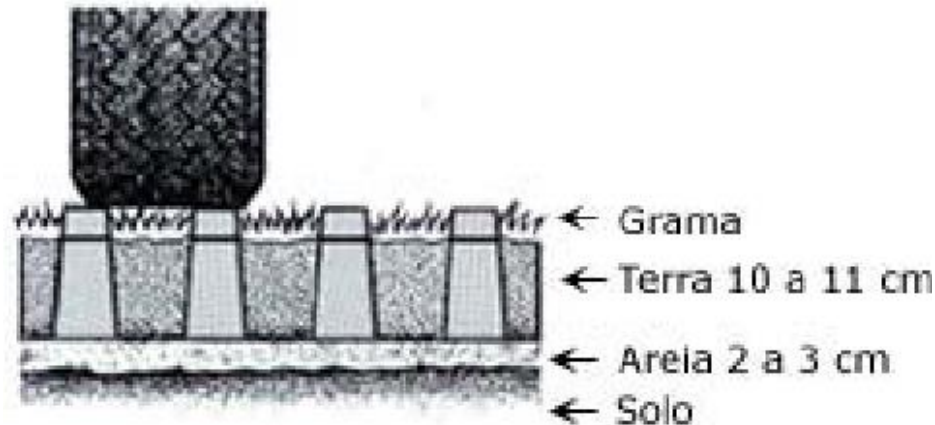
A indústria da construção civil tem sido responsável pelo consumo de 20% dos recursos naturais extraídos.

A utilização de resíduos reciclados como substituição das matérias primas pode reduzir a quantidade dessa extração, substituindo em grande parte, os agregados naturais empregados em concretos para pavimentação.

Os pavimentos intertravados são compostos por peças pré-moldadas de concreto e constituem eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças.



O emprego de peças furadas é ecologicamente correto, pois os furos permitem o retorno das águas de chuva para o solo, evitando sua perda com o escoamento.



**Quando pigmentados favorecem
marcações permanentes em
estacionamentos, em cruzamentos e outras
áreas que necessitam de identificação.**

**Possuem manutenção simplificada, pois
as peças do pavimento são recolocadas nos
seus locais originais.**

MATERIAIS

Aglomerante

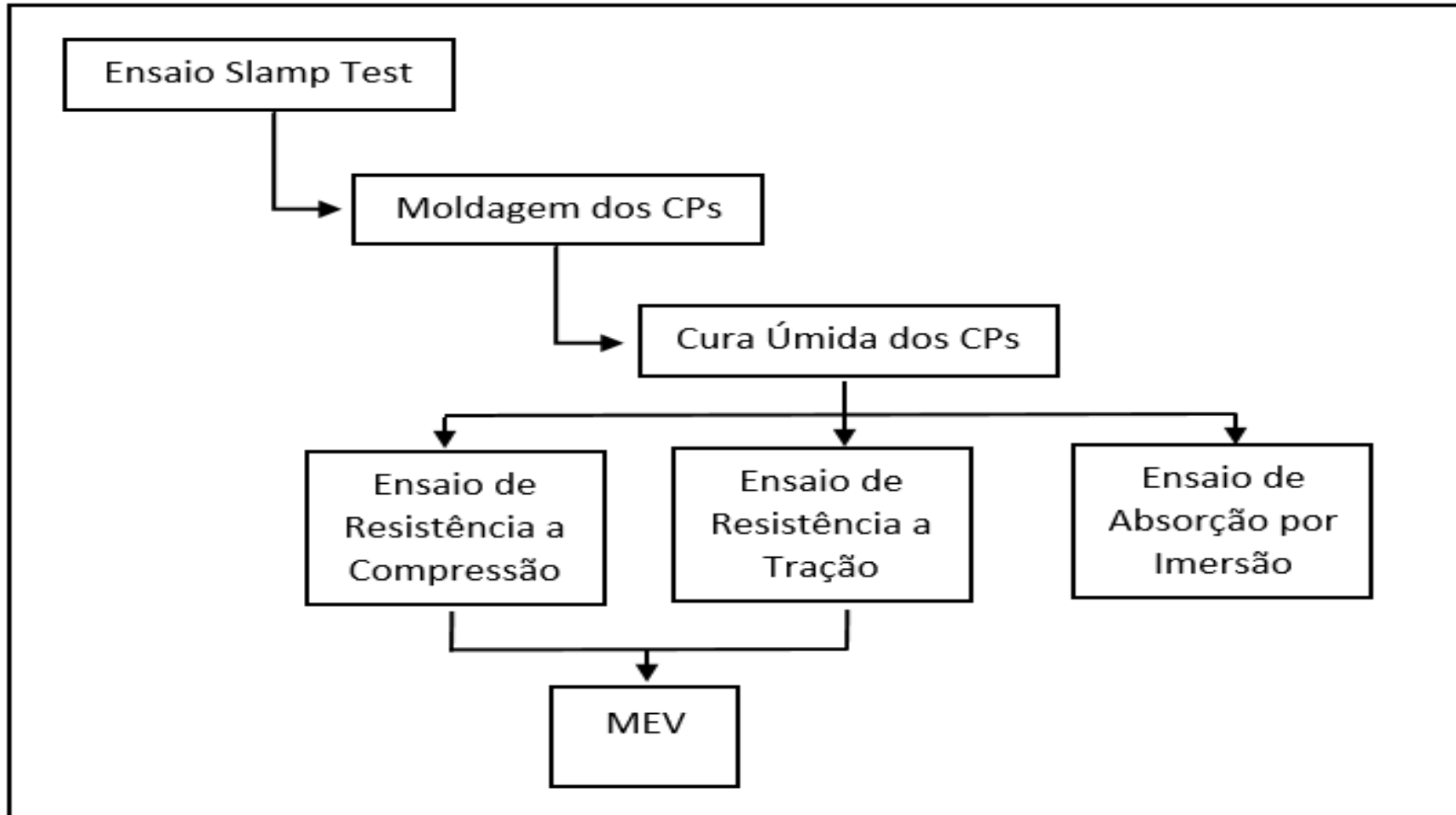
- ✓ **Cimento CP II E 32, marca Alvorada.**

MATERIAIS

Agregados

- ✓ **Agregado Miúdo Natural;**
- ✓ **Agregado Graúdo Natural;**
- ✓ **Agregado Graúdo Reciclado;**
- ✓ **Água.**

Fluxograma do método aplicado.



Para o desenvolvimento deste projeto, foram realizadas avaliações nas propriedades físicas e mecânicas do concreto tendo como agregado graúdo, RCD.

Todos os testes tiveram como comparação as propriedades de corpos de provas feitos com agregado natural.

COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

O traço adotado foi 1: 2: 3 - (35 Mpa Slump 10 +- 2)

- ✓ **Uma parte de cimento;**
- ✓ **Duas partes de agregado miúdo;**
- ✓ **Três partes de agregado graúdo.**

Sem adição de aditivo, na forma convencional.

COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

Os traços foram realizados nas seguintes composições.

- ✓ **100% Natural;**
- ✓ **Adição de 40% RCD;**
- ✓ **Adição de 60% RCD;**
- ✓ **Adição de 100% RCD.**

COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS

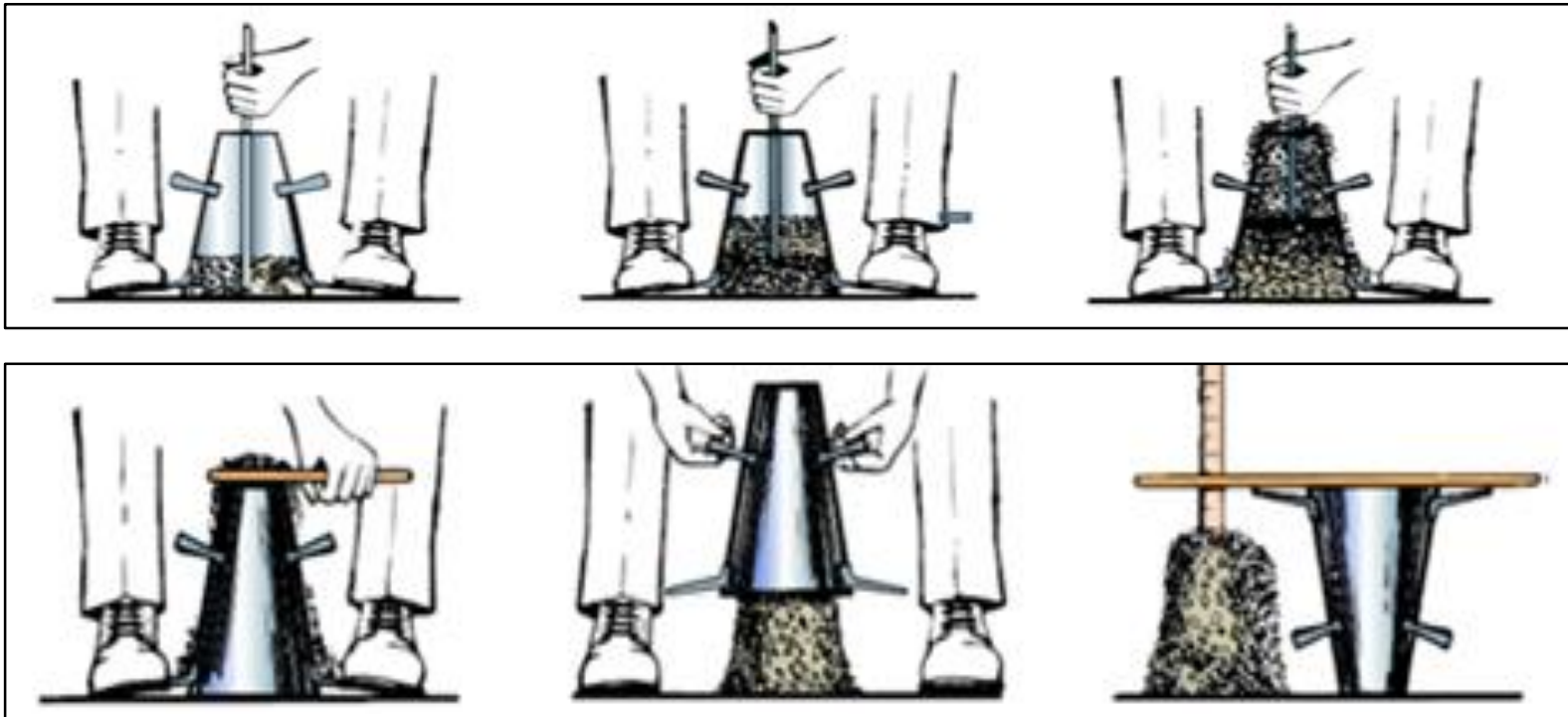
A realização das misturas dos materiais para a produção do concreto seguiu a ordem.

- ✓ **Primeiro foi colocado o agregado graúdo;**
- ✓ **Em segundo o aglomerante (cimento);**
- ✓ **Seguindo com adição da água;**
- ✓ **Final o agregado miúdo.**

O traço de concreto foi realizado em betoneira marca Monegoti, modelo Premium capacidade de 150 litros.

Ensaio de Slanp Test

Esse teste demonstra o efeito direto da resistência à compressão do concreto e sua relação água cimento.



Moldagem

A moldagem foi feita com duas camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes utilizando o soquete



Moldagem

Foram moldados para cada traço de concreto.

- ✓ 4 corpos de prova para a idade de 7, 14 e 28 dias para o ensaio de resistência a compressão;
- ✓ 4 corpos de prova para a idade de 28 dias para ensaio de resistência a tração;
- ✓ 3 corpos de prova para a idade de 28 dias para ensaio de absorção.

Totalizando 76 corpos de prova.

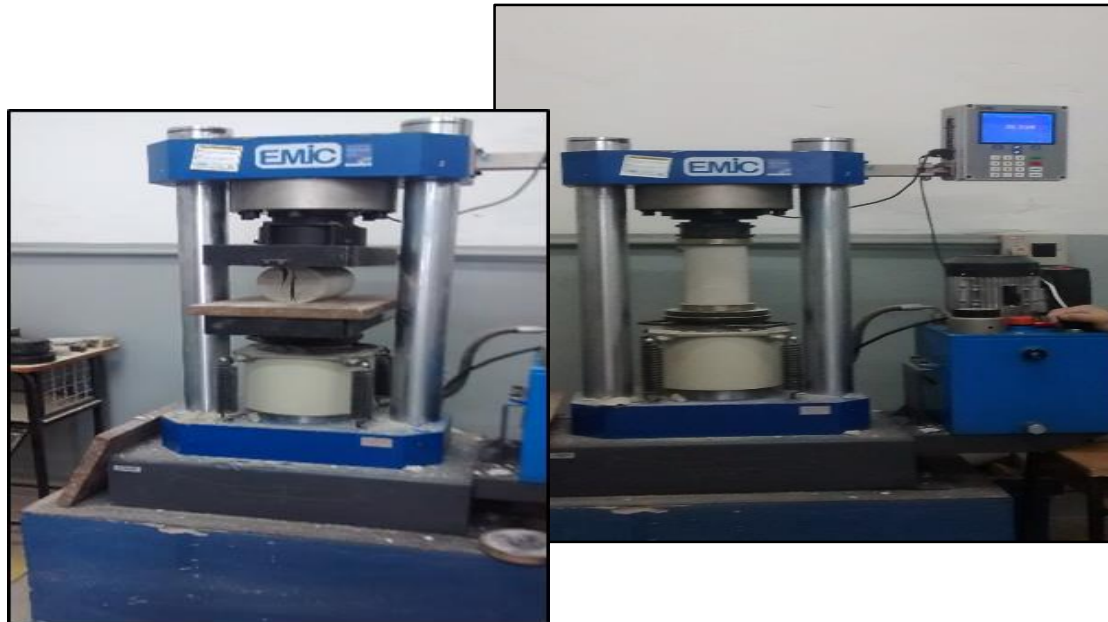
Cura

A cura dos corpos de prova foi feita ao ar, nas primeiras 24 horas. Após a desforma, os corpos de prova foram identificados e armazenados em um tanque de água saturada de cal até a idade de cura.



Ensaio de Resistência à Compressão e Tração

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica de acionamento elétrico marca EMIC e modelo PCE 100 C, capacidade 100 tf (100.000 kgf). Instalada no laboratório da engenharia civil do UniFOA.



Ensaio de Resistência à Compressão e Tração

O corpo de prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua e sem choque e com acréscimo constante de tensão a uma velocidade de $(0,05 \pm 0.02)$ MPa/s até a ruptura do mesmo.



Absorção por Imersão

O ensaio foi realizado em uma estufa da marca Odontobrás, modelo EL 15 com potência de 1100W e uma balança da marca Welmy, modelo W6 com capacidade de 8 kg. Instaladas no laboratório da engenharia civil do UniFOA.

▪



Microscopia

As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura HITACHI TM 3.000, disponível no laboratório do UniFoa Volta Redonda - RJ



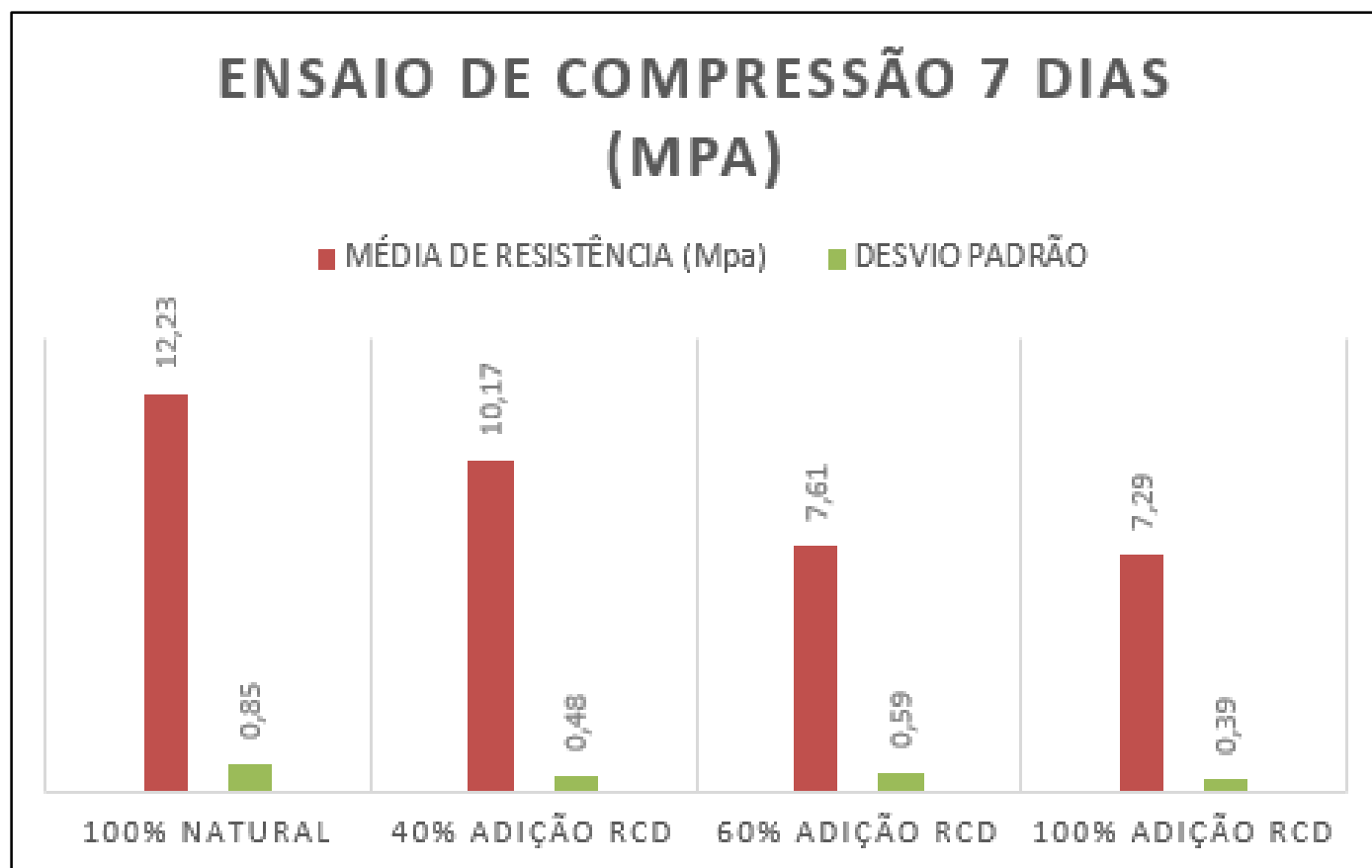
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 7 dias.

| ENSAIO DE COMPRESSÃO | | | | | |
|----------------------|----------------|--------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| TRAÇO | CORPO DE PROVA | IDADE | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa) | DESVIO PADRÃO |
| 100% NATURAL | 1 | 7 DIAS | 12,26 | 12,23 | 0,85 |
| | 2 | 7 DIAS | 13,46 | | |
| | 3 | 7 DIAS | 11,32 | | |
| | 4 | 7 DIAS | 11,89 | | |
| 40% ADIÇÃO RCD | 1 | 7 DIAS | 10,37 | 10,17 | 0,48 |
| | 2 | 7 DIAS | 11,05 | | |
| | 3 | 7 DIAS | 9,93 | | |
| | 4 | 7 DIAS | 9,31 | | |
| 60% ADIÇÃO RCD | 1 | 7 DIAS | 8,25 | 7,61 | 0,59 |
| | 2 | 7 DIAS | 7,42 | | |
| | 3 | 7 DIAS | 7,79 | | |
| | 4 | 7 DIAS | 6,98 | | |
| 100% ADIÇÃO RCD | 1 | 7 DIAS | 6,93 | 7,29 | 0,39 |
| | 2 | 7 DIAS | 6,38 | | |
| | 3 | 7 DIAS | 7,72 | | |
| | 4 | 7 DIAS | 8,12 | | |

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 7 dias.



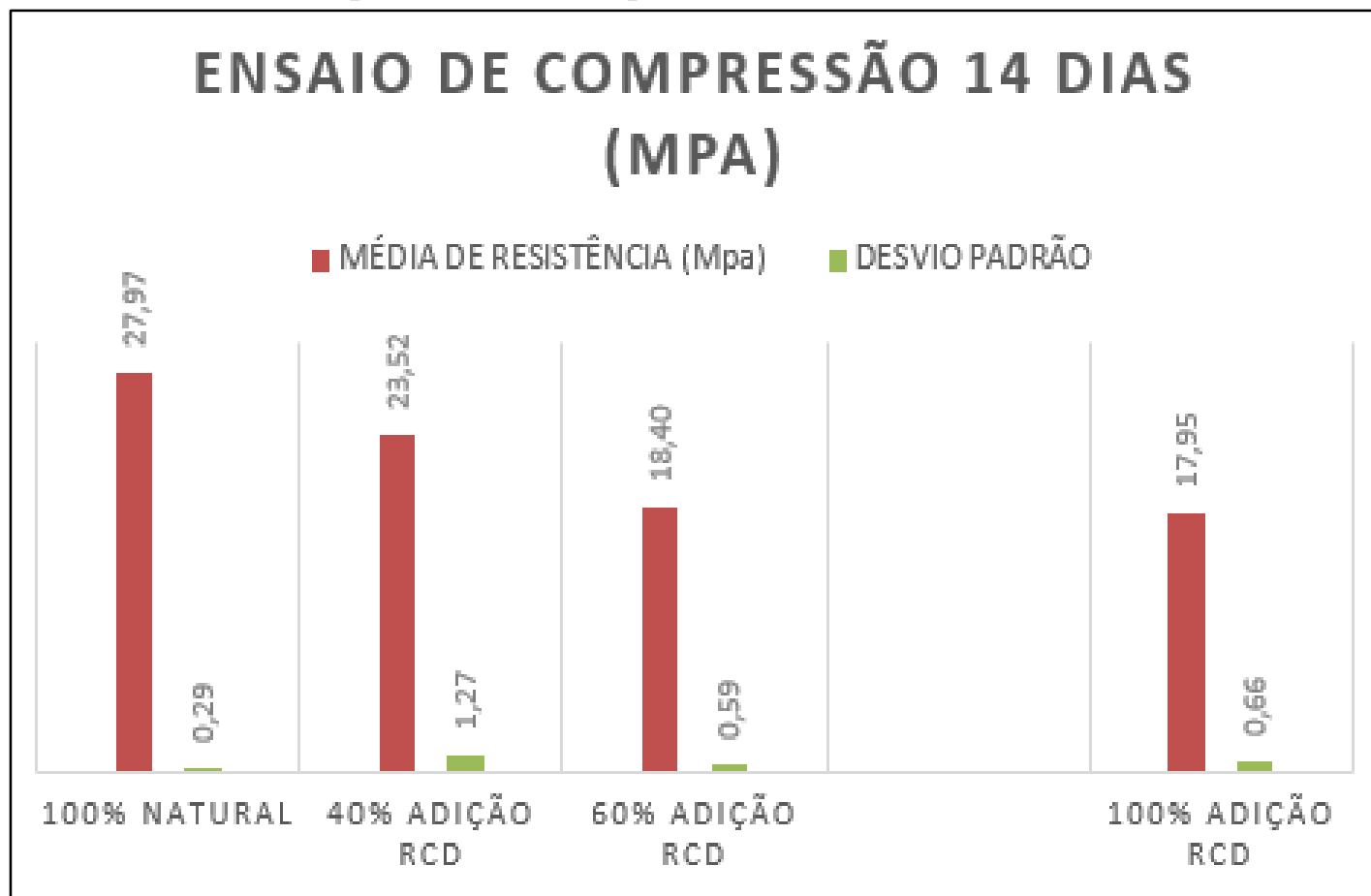
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 14 dias.

| ENSAIO DE COMPRESSÃO | | | | | |
|----------------------|----------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| TRAÇO | CORPO DE PROVA | IDADE | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa) | DESVIO PADRÃO |
| 100% NATURAL | 1 | 14 DIAS | 28,33 | 27,97 | 0,29 |
| | 2 | 14 DIAS | 27,92 | | |
| | 3 | 14 DIAS | 28,71 | | |
| | 4 | 14 DIAS | 26,91 | | |
| 40% ADIÇÃO RCD | 1 | 14 DIAS | 23,13 | 23,52 | 1,27 |
| | 2 | 14 DIAS | 24,92 | | |
| | 3 | 14 DIAS | 22,6 | | |
| | 4 | 14 DIAS | 23,43 | | |
| 60% ADIÇÃO RCD | 1 | 14 DIAS | 18,38 | 18,40 | 0,59 |
| | 2 | 14 DIAS | 17,54 | | |
| | 3 | 14 DIAS | 19,75 | | |
| | 4 | 14 DIAS | 17,92 | | |
| 100% ADIÇÃO RCD | 1 | 14 DIAS | 17,85 | 17,95 | 0,66 |
| | 2 | 14 DIAS | 16,91 | | |
| | 3 | 14 DIAS | 18,34 | | |
| | 4 | 14 DIAS | 18,71 | | |

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 14 dias.



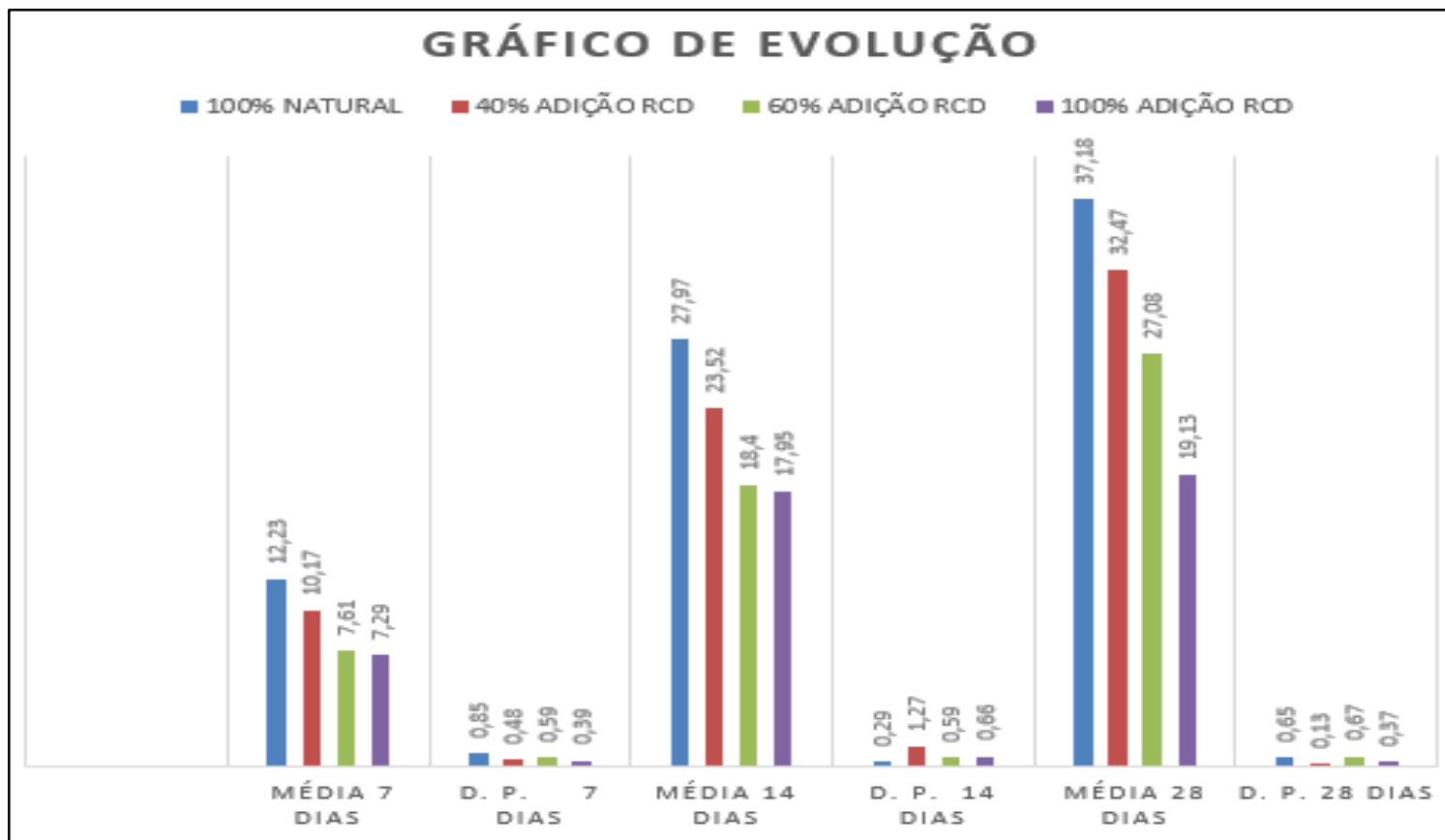
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 28 dias.

| ENSAIO DE COMPRESSÃO | | | | | |
|----------------------|----------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| TRAÇO | CORPO DE PROVA | IDADE | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa) | DESVIO PADRÃO |
| 100% NATURAL | 1 | 28 DIAS | 37,41 | 37,18 | 0,65 |
| | 2 | 28 DIAS | 38,33 | | |
| | 3 | 28 DIAS | 36,11 | | |
| | 4 | 28 DIAS | 36,85 | | |
| 40% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 32,93 | 32,47 | 0,13 |
| | 2 | 28 DIAS | 33,12 | | |
| | 3 | 28 DIAS | 32,63 | | |
| | 4 | 28 DIAS | 31,18 | | |
| 60% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 26,16 | 27,08 | 0,67 |
| | 2 | 28 DIAS | 27,11 | | |
| | 3 | 28 DIAS | 26,73 | | |
| | 4 | 28 DIAS | 28,33 | | |
| 100% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 19,47 | 19,13 | 0,37 |
| | 2 | 28 DIAS | 18,95 | | |
| | 3 | 28 DIAS | 19,77 | | |
| | 4 | 28 DIAS | 18,34 | | |

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ensaio de Compressão para Idade de 28 dias.



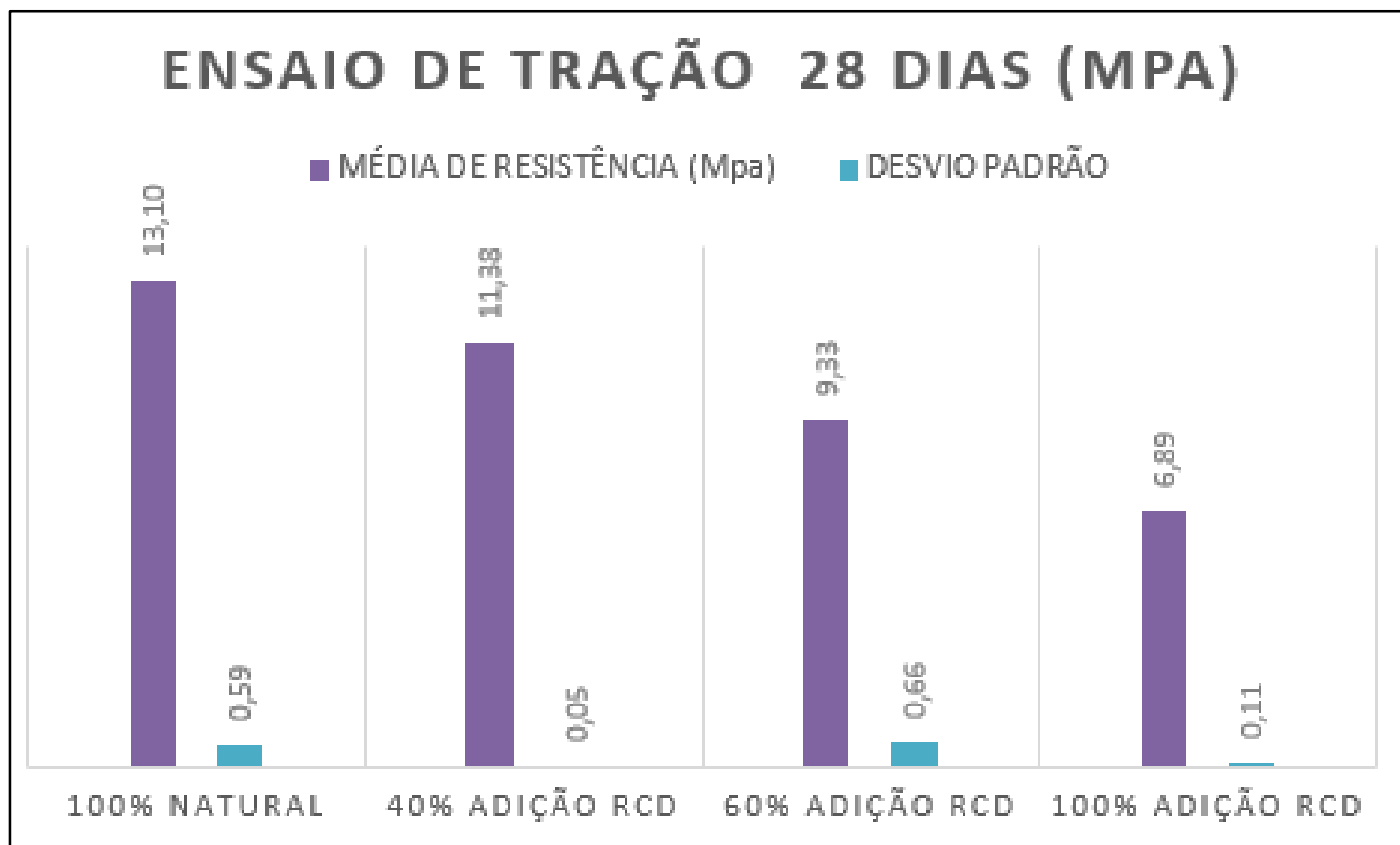
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio de Tração para Idade de 28 dias.

| ENSAIO DE TRAÇÃO | | | | | |
|------------------|----------------|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| TRAÇO | CORPO DE PROVA | IDADE | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) | MÉDIA DE RESISTÊNCIA (Mpa) | DESVIO PADRÃO |
| 100% NATURAL | 1 | 28 DIAS | 13,13 | 13,10 | 0,59 |
| | 2 | | 13,96 | | |
| | 3 | | 12,38 | | |
| | 4 | | 12,94 | | |
| 40% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 11,56 | 11,38 | 0,05 |
| | 2 | | 11,63 | | |
| | 3 | | 11,46 | | |
| | 4 | | 10,88 | | |
| 60% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 9,18 | 9,33 | 0,66 |
| | 2 | | 10,11 | | |
| | 3 | | 9,03 | | |
| | 4 | | 8,98 | | |
| 100% ADIÇÃO RCD | 1 | 28 DIAS | 6,84 | 6,89 | 0,11 |
| | 2 | | 6,68 | | |
| | 3 | | 6,94 | | |
| | 4 | | 7,09 | | |

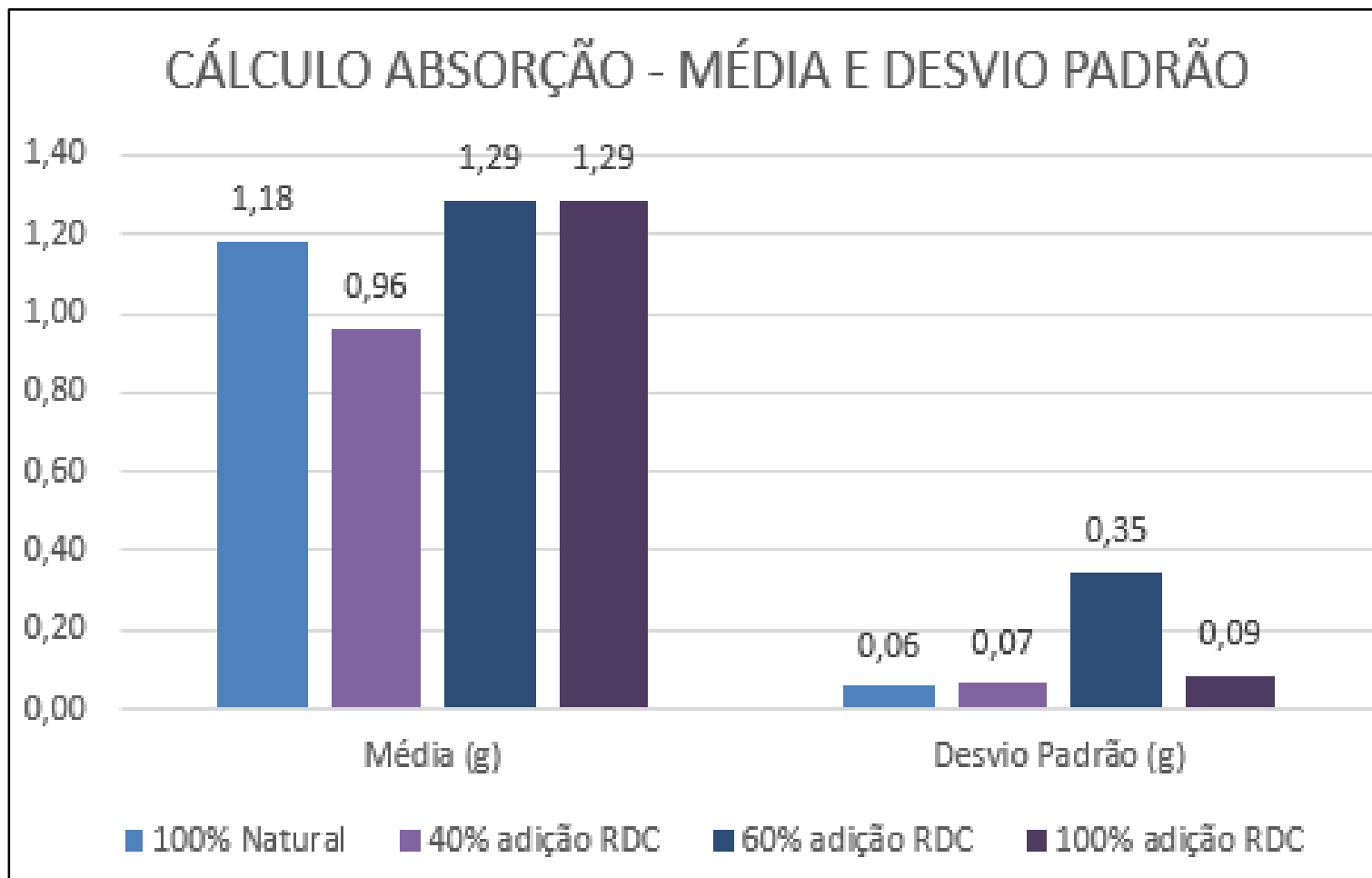
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio de Tração para Idade de 28 dias.



ABSORÇÃO POR IMERSÃO

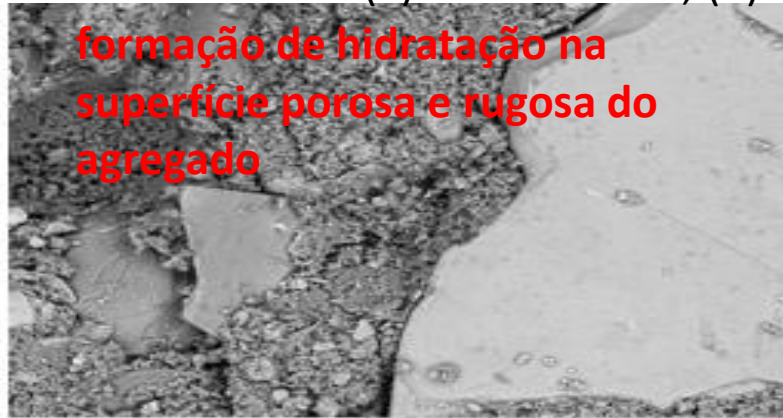
| ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|-------------------|
| | CP | Idade | Massa Inicial (g) | ESTUFA | | | IMERSÃO | | | Calculo absorção por Imersão | Média (g) | Desvio Padrão (g) |
| | | | | 24 hs (g) | 48 hs (g) | 72 hs (g) | 24 hs (g) | 48 hs (g) | 72 hs (g) | | | |
| 100% Natural | 1 | 28 dias | 449,67 | 446,54 | 445,98 | 445,23 | 449,75 | 450,08 | 450,35 | 1,14 | 1,18 | 0,06 |
| | 2 | | 444,23 | 441,97 | 440,63 | 440,41 | 444,83 | 445,35 | 445,97 | 1,25 | | |
| | 3 | | 452,78 | 449,78 | 448,12 | 448,07 | 451,97 | 452,94 | 453,36 | 1,17 | | |
| 40% adição RDC | 1 | 28 dias | 438,54 | 435,99 | 435,21 | 435,05 | 437,85 | 438,93 | 439,05 | 0,91 | 0,96 | 0,07 |
| | 2 | | 442,76 | 439,71 | 438,95 | 438,34 | 441,86 | 442,58 | 442,93 | 1,04 | | |
| | 3 | | 441,29 | 438,44 | 437,93 | 437,47 | 440,48 | 441,02 | 441,61 | 0,94 | | |
| 60% adição RDC | 1 | 28 dias | 440,65 | 437,96 | 437,18 | 437,03 | 439,87 | 440,58 | 441,15 | 0,93 | 1,29 | 0,35 |
| | 2 | | 442,65 | 438,59 | 438,08 | 437,94 | 440,37 | 442,76 | 445,19 | 1,63 | | |
| | 3 | | 440,23 | 437,63 | 437,07 | 436,84 | 439,32 | 440,84 | 442,58 | 1,30 | | |
| 100% adição RDC | 1 | 28 dias | 438,98 | 435,74 | 434,99 | 434,38 | 438,48 | 439,64 | 440,17 | 1,32 | 1,29 | 0,09 |
| | 2 | | 440,21 | 437,22 | 436,48 | 436,04 | 439,33 | 440,95 | 442,04 | 1,36 | | |
| | 3 | | 441,56 | 438,73 | 438,02 | 437,86 | 440,46 | 441,83 | 443,13 | 1,19 | | |



MICROSCOPIA

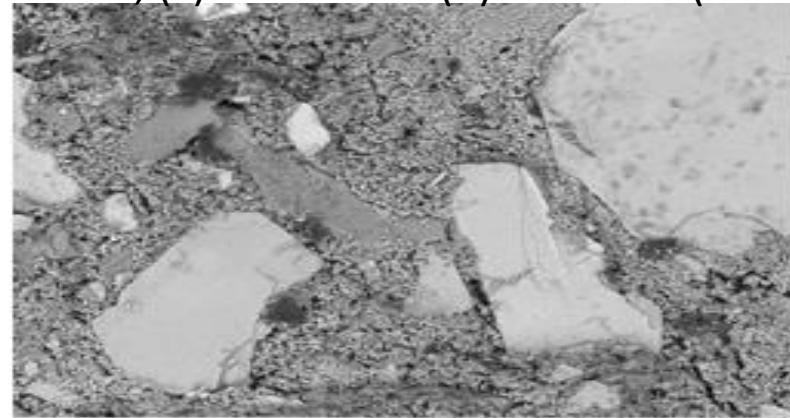
Ampliações 300x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (300x).



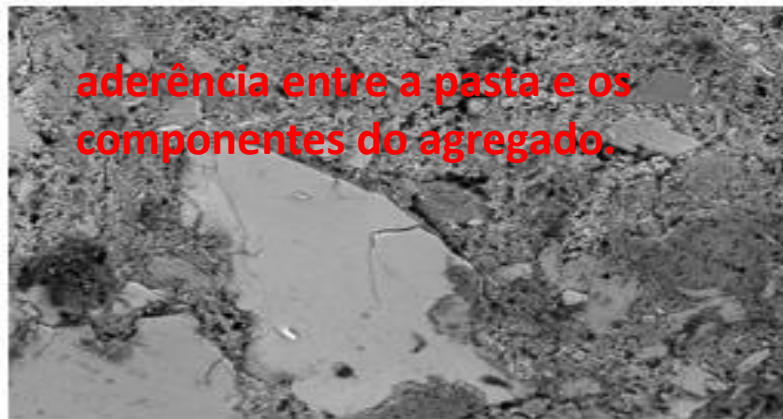
28 d100% N 2016/10/11 N D6.0 x300 300 um

(a)



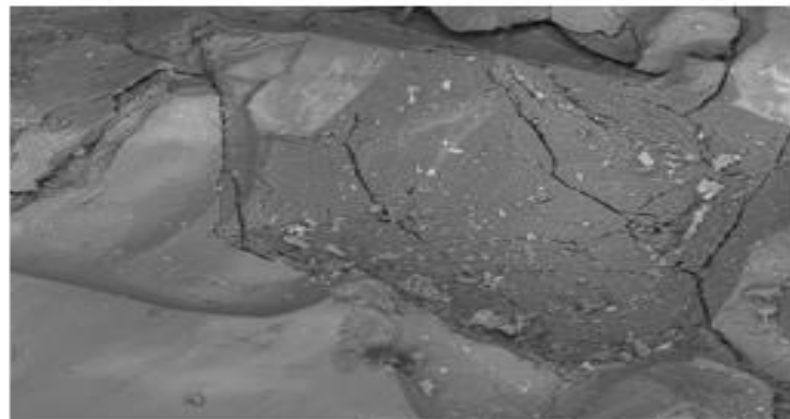
28 d100% R 2016/10/11 N D5.7 x300 300 um

(b)



28 d60% R 2016/10/11 N D4.9 x300 300 um

(c)

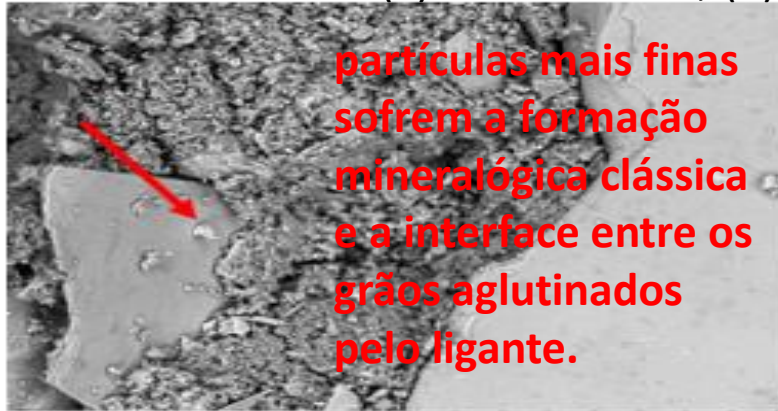


28 d40% R 2016/10/11 N D8.7 x300 300 um

(d)

MICROSCOPIA Ampliações 500x

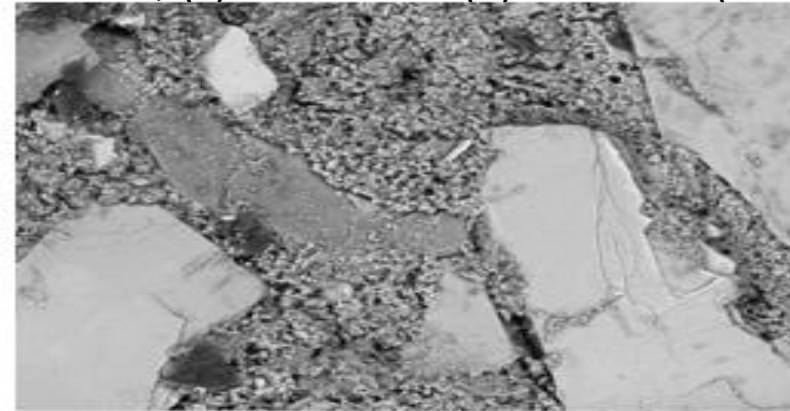
MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (500x).



partículas mais finas
sofrem a formação
mineralógica clássica
e a interface entre os
grãos aglutinados
pelo ligante.

28 d100% N 2016/10/11 N D5.9 x500 200 um

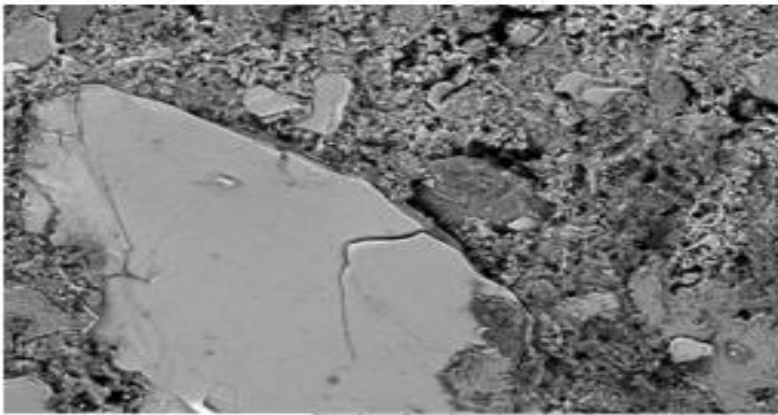
(a)



28 d100% R

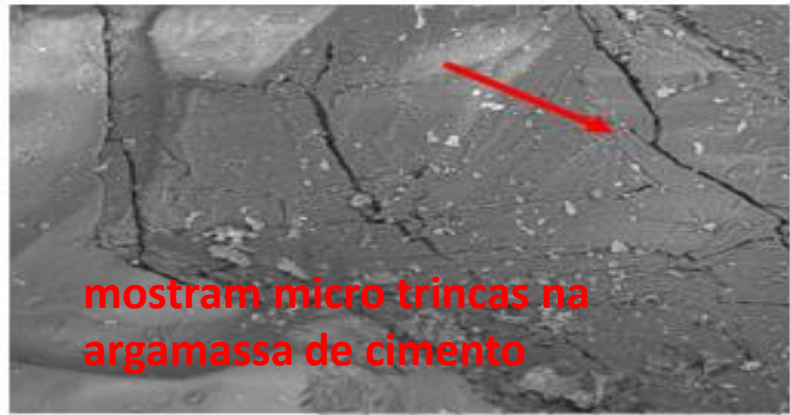
2016/10/11 N D5.7 x500 200 um

(b)



28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x500 200 um

(c)



mostram micro trincas na
argamassa de cimento

28 d40% R

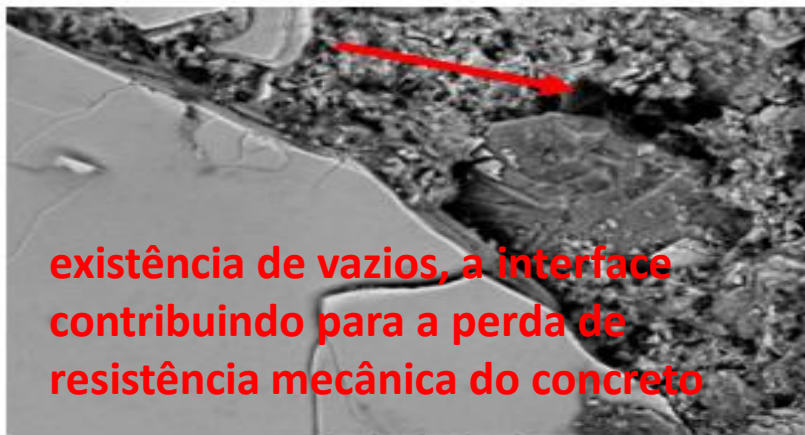
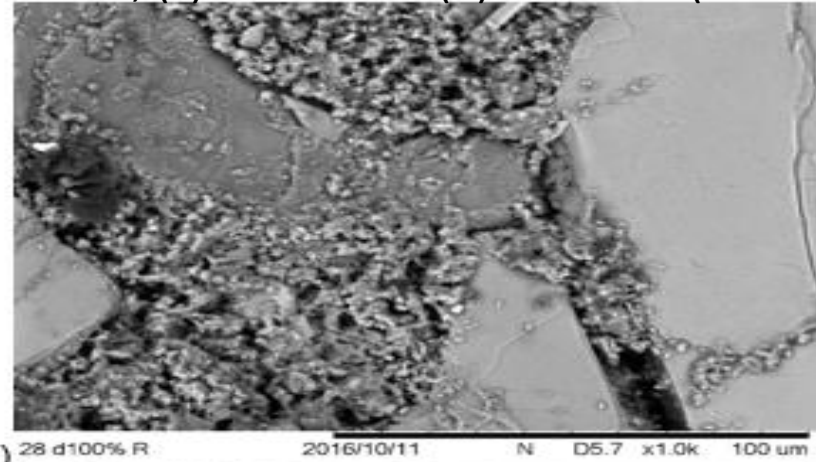
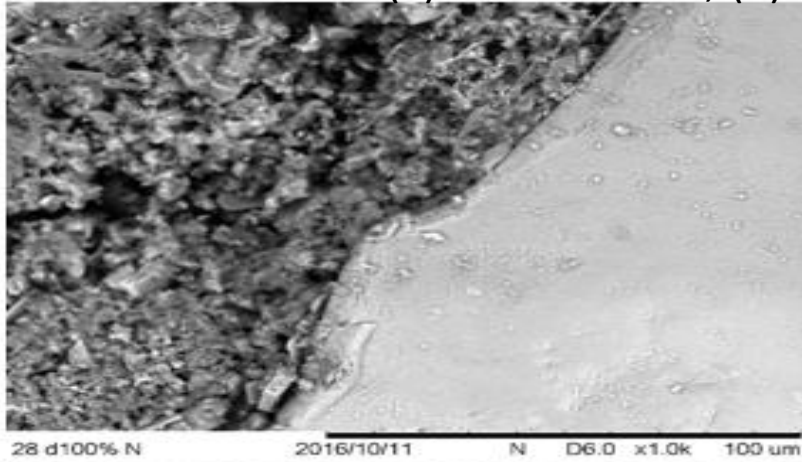
2016/10/11 N D8.7 x500 200 um

(d)

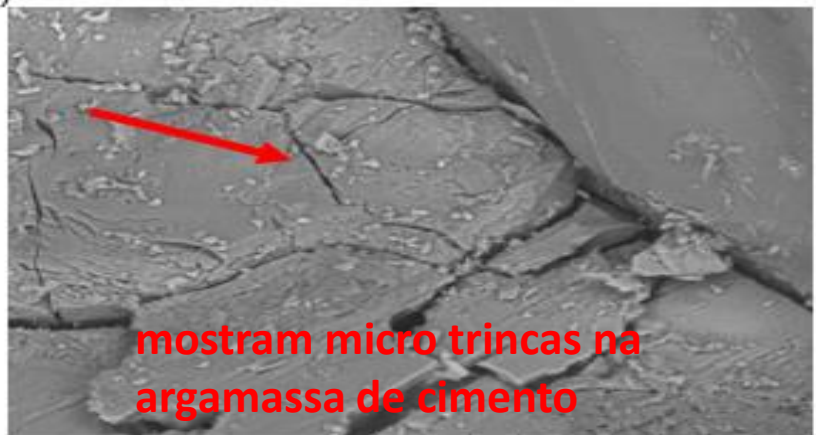
MICROSCOPIA

Ampliações 1000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (1000x).



existência de vazios, a interface contribuindo para a perda de resistência mecânica do concreto



mostram micro trincas na argamassa de cimento

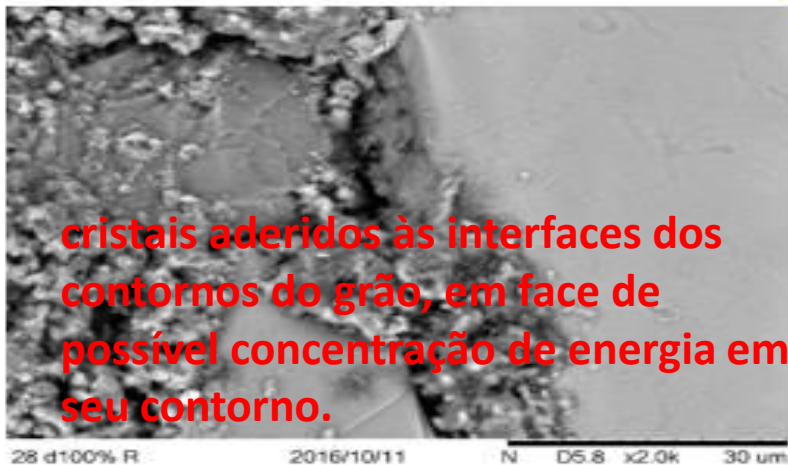
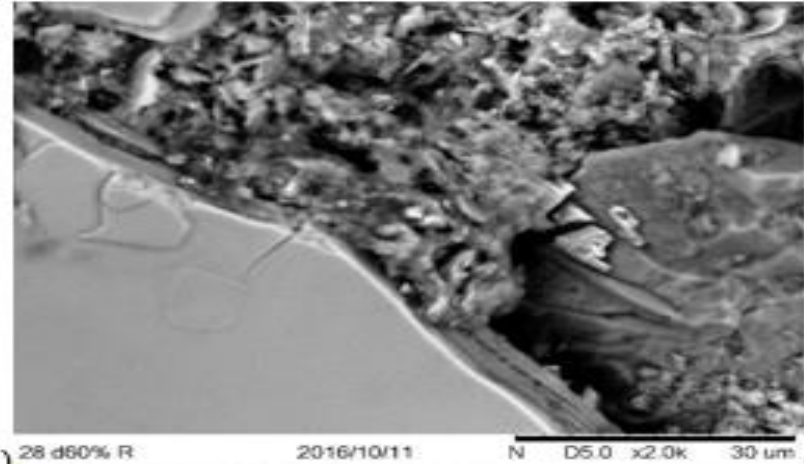
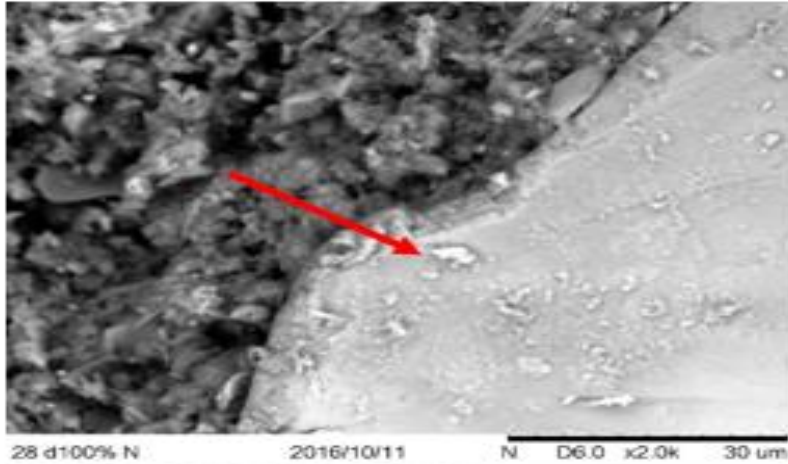
28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x1.0k 100 um

28 d40% R 2016/10/11 N D9.0 x1.0k 100 um

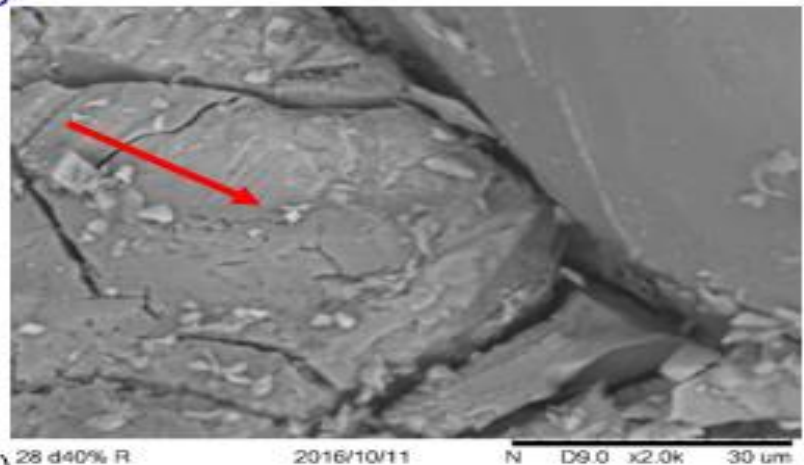
MICROSCOPIA

Ampliações 2000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (2000x).



crystalos aderidos às interfaces dos contornos do grão, em face de possível concentração de energia em seu contorno.



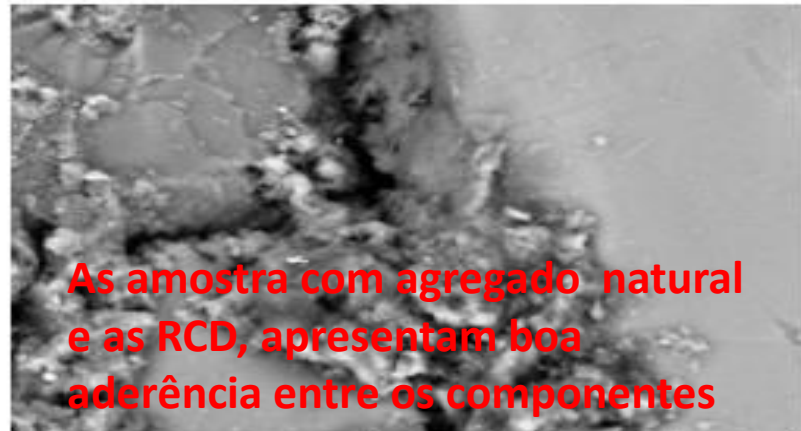
MICROSCOPIA

Ampliações 3000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (3000x).



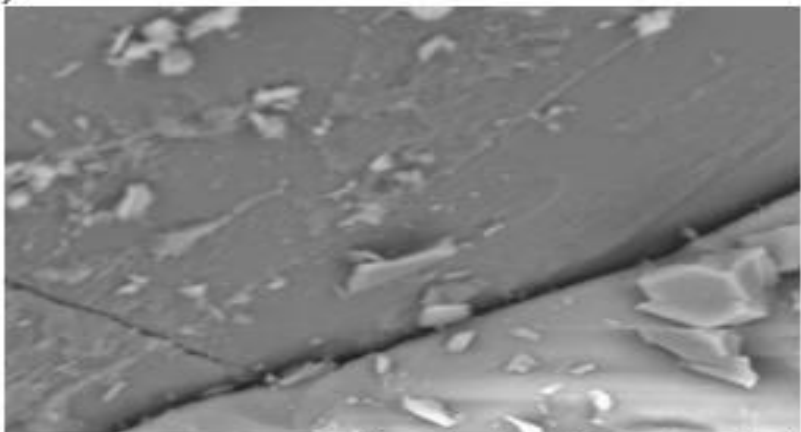
28 d100% N 2016/10/11 N D6.0 x3.0k 30 um



(a) 28 d100% R 2016/10/11 N D5.8 x3.0k 30 um (b)



28 d60% R 2016/10/11 N D5.0 x3.0k 30 um

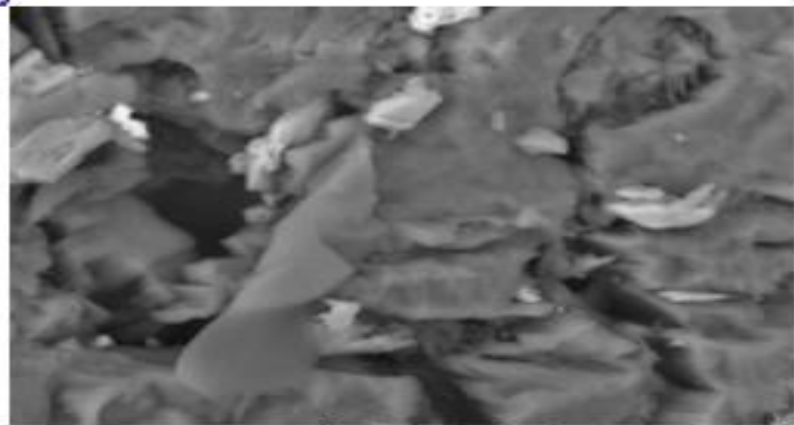
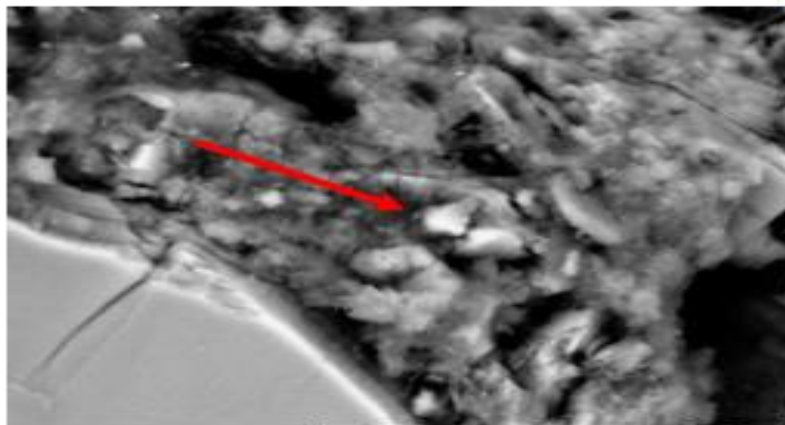
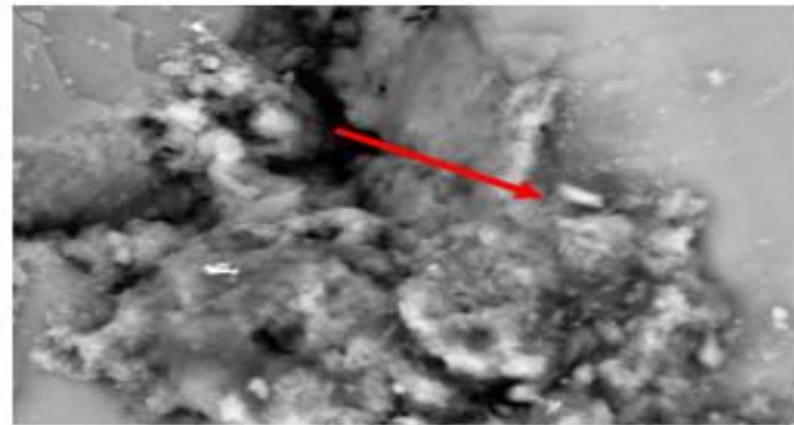


(c) 28 d40% R 2016/10/11 N D9.0 x3.0k 30 um (d)

MICROSCOPIA

Ampliações 5000x

MEV 28 dias (a) 100% natural, (b) 100%RCD, (c) 60%RCD e (d) 40% RCD (5000x).



(a)

(b)

(c)

(d)

partículas de sílica (areia) envolvida pela argamassa de cimento.

Os RDC de demolição possuem características apropriadas para serem reutilizados para produção de paver, apresentando-se como um bom substituto do agregado natural para a produção de concreto não estrutural. Objetivando reduzir os impactos ambientais e econômico causados pelos índices de entulho da construção civil.

Pelos ensaios obtidos, no que tange a resistência à compressão em corpos de prova de concreto, pode-se observar que com adição de RCD, apresentou uma queda na resistência, 32,47 MPa para 40% adição de RCD, 27,08 MPa para adição de 60% de RCD e 19,13 MPa para 100% de adição de RCD. Como demonstrado nos resultados, não comprometendo no objetivo desta pesquisa

Nos ensaios da absorção de água por imersão, não apresentou variação nos resultados, o que mostrou que o RCD apresentou característica similar ao agregado natural, obtendo de desvio padrão 0,06 g, para o agregado natural e obtendo até 0,35 g para o RCD.

A queda de resistência encontradas nos resultados, encontra-se dentro da variação aceitável para fins de produção de paver, apresentando desvio padrão de 0,65 para agregado natural e 0,67 para o RCD.

A micrografia observou que ocorre formação de produtos de hidratação na superfície porosa e rugosa do agregado, fato que contribui para aumentar a aderência da pasta/cimento.

Também houve uma interface entre o agregado natural e o RCD, apresentando boa aderência entre os componentes.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ **Avaliações dos paver quanto a resistência à abrasão;**
- ✓ **Avaliação de desempenho frente a elevadas cargas;**
- ✓ **Estudo de viabilidade econômica;**
- ✓ **Análise para produção em escala industrial;**
- ✓ **Verificação de resistência à compressão através da introdução de aditivos;**
- ✓ **Avaliar a influência dos agregados reciclados na retração térmica e hidráulica do concreto.**

OBRIGADO

