

**MESTRADO PROFISSIONAL  
EM MATERIAIS**



**CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO  
COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS POR PEAD  
MICRONIZADO PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS.**

**MESTRANDO: GIOVANI MEIRELLES FONSECA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO DE FREITAS CABRAL**

**CO ORIENTADORA: PROF. DR. CIRLENE FOURQUET**



## SUMÁRIO

1. **INTRODUÇÃO**
2. **OBJETIVO**
3. **JUSTIFICATIVA**
4. **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
5. **MATERIAIS E MÉTODOS**
6. **RESULTADOS E DISCUSSÕES**
7. **CONCLUSÕES**
8. **TRABALHOS FUTUROS**



## 1. INTRODUÇÃO

O bem estar e o conforto ocasionados a partir da Revolução Industrial proporcionaram um aumento considerável de material descartado, ocasionando acréscimo da quantidade de resíduos gerados e não utilizados pelo homem, muitos deles trazendo riscos ao meio ambiente e a saúde humana, no Brasil a situação não é diferente, considerando que ainda há muito a ser feito em relação à deposição dos resíduos sólidos, pois 75% das cidades brasileiras ainda dispõem seus resíduos sólidos em lixões.





## 2. OBJETIVO

**Avaliar a utilização de partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) micronizado como alternativa aos agregados naturais da argamassa de cimento.**

**Espera-se que:**

- **Tenha um aumento na resistência axial.**
- **A adição de PEAD micronizado seja benéfica as propriedades da argamassa melhorando o seu desempenho.**
- **Tenha uma maior densidade.**
- **Possa contribuir em algumas aplicações na Engenharia Civil**



### 3. JUSTIFICATIVA

Quando o plástico passou a ser recuperado em maior quantidade, separado do lixo, formou-se um novo mercado, absorvendo modernas tecnologias para possibilitar a produção de artigos com percentual cada vez maior.

A utilização do PEAD micronizado em substituição a areia nos traços de cimento poderá contribuir significativamente na Engenharia Civil, em obras de infraestrutura e em aplicações estruturais.

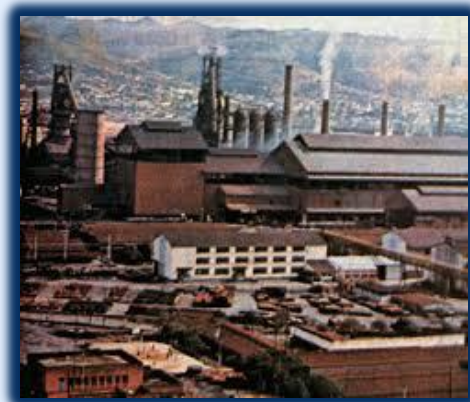




### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Até o começo da Revolução Industrial nosso lixo era composto basicamente de restos e sobras de alimentos, e de restos dos produtos manufaturados da época, a partir dessa era passou-se a considerar que lixo é todo e qualquer material descartado e rejeitado pela sociedade que passou a se chamar Resíduo Sólido Urbano (RSU).





### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.2 RECICLAGEM PELAS INDÚSTRIAS

A reciclagem de plástico começou a ser realizada pelas próprias indústrias, para o reaproveitamento de suas perdas de produção. Quando o material passou a ser recuperado em maior quantidade, separado do lixo, formou-se um novo mercado, absorvendo modernas tecnologias para possibilitar a produção de artigos com percentual cada vez maior de plástico reciclado.





### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.3 CONCEITO DE RESIDUO SÓLIDO

A NBR-10004 (2004) define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.







### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.4 A RECICLAGEM DO POLÍMERO

A crescente sensibilização para a área ambiental tem contribuído para o aumento da preocupação com a eliminação dos resíduos gerados pelos processos industriais.

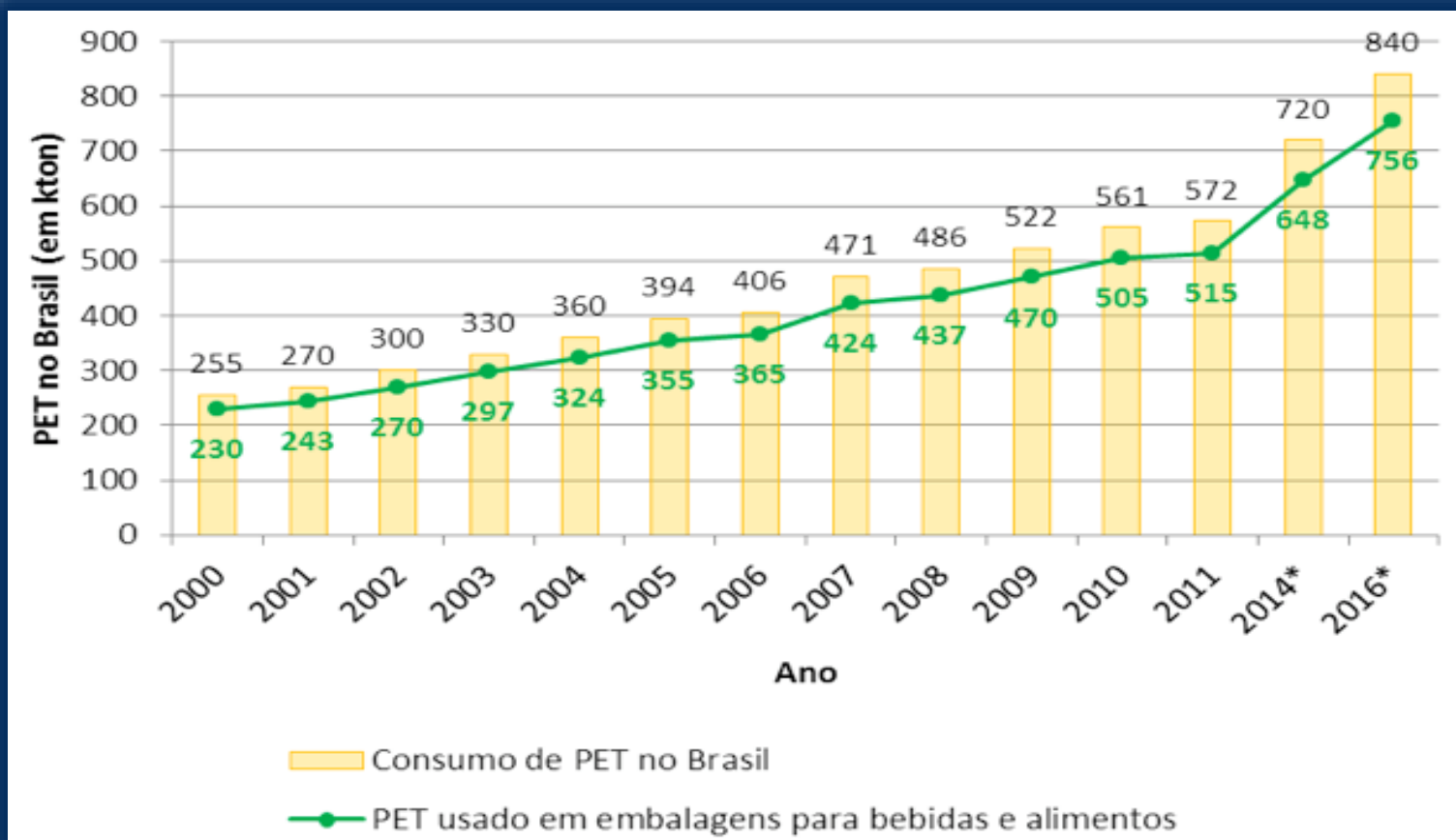
Com a crescente utilização de embalagens plásticas nos vários segmentos de mercado, as distribuidoras de derivados de petróleo, também avançaram nesta direção substituindo as embalagens de papelão/aço na década de 1980 por embalagens plásticas.





### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.5 CONSUMO DE PET (no Brasil)





## 5. MATERIAIS e MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.1 CIMENTO

Neste estudo foi utilizado o cimento CP III – 40 que é caracterizado por apresentar maior impermeabilidade, durabilidade, baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado. Comporta adições de 35 a 70% de Escória e até 5% de material carbonático.





## 5. MATERIAIS e MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.2 AREIA

O agregado utilizado para a produção dos corpos de prova deste estudo foi a areia média cujo valor da granulometria ficou compreendido na faixa de 0,3mm a 1,20mm, apresentando um custo bem menor do que o cimento, a areia assume um papel importante em termos econômicos para o concreto.





## 5. MATERIAIS e MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.3 ADITIVO

Neste estudo foi utilizado o Viamix, um aditivo acelerador de plastificante para concreto a base de cloreto que é indicado para acelerar o endurecimento e possibilitar o aumento das resistências do concreto.





## 5. MATERIAIS e MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.4 BRITA

Os diferentes tipos de brita são classificados de acordo com a sua granulometria, assim, temos as britas 0, 1, 2, 3 e 4. Cada um desses tipos tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. Neste estudo foi utilizado a brita 1 com granulometria de 9,50mm a 19mm.

Brita	Granulometria
0	de 4,80 mm a 9,50 mm
1	<b>de 9,50 mm a 19 mm</b>
2	de 19 mm a 25 mm
3	de 25 mm a 50 mm
4	de 50 mm a 76 mm





## 5. MATERIAIS e MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

#### 5.1.5 PEAD

Neste estudo foi utilizado o ICORENE 4220 que é um PEAD micronizado, desenvolvido para rotomoldagem com densidade  $0,942\text{g/cm}^3$ , cedido pela empresa A. Schulman Plásticos do Brasil, situada na cidade de Campinas – SP.





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.1 GRANULOMETRIA DA AREIA (NBR 7217 (1987) )

Comprovação da classificação dos materiais:







## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.2 GRANULOMETRIA DA BRITA (NBR 7225 (1993) )

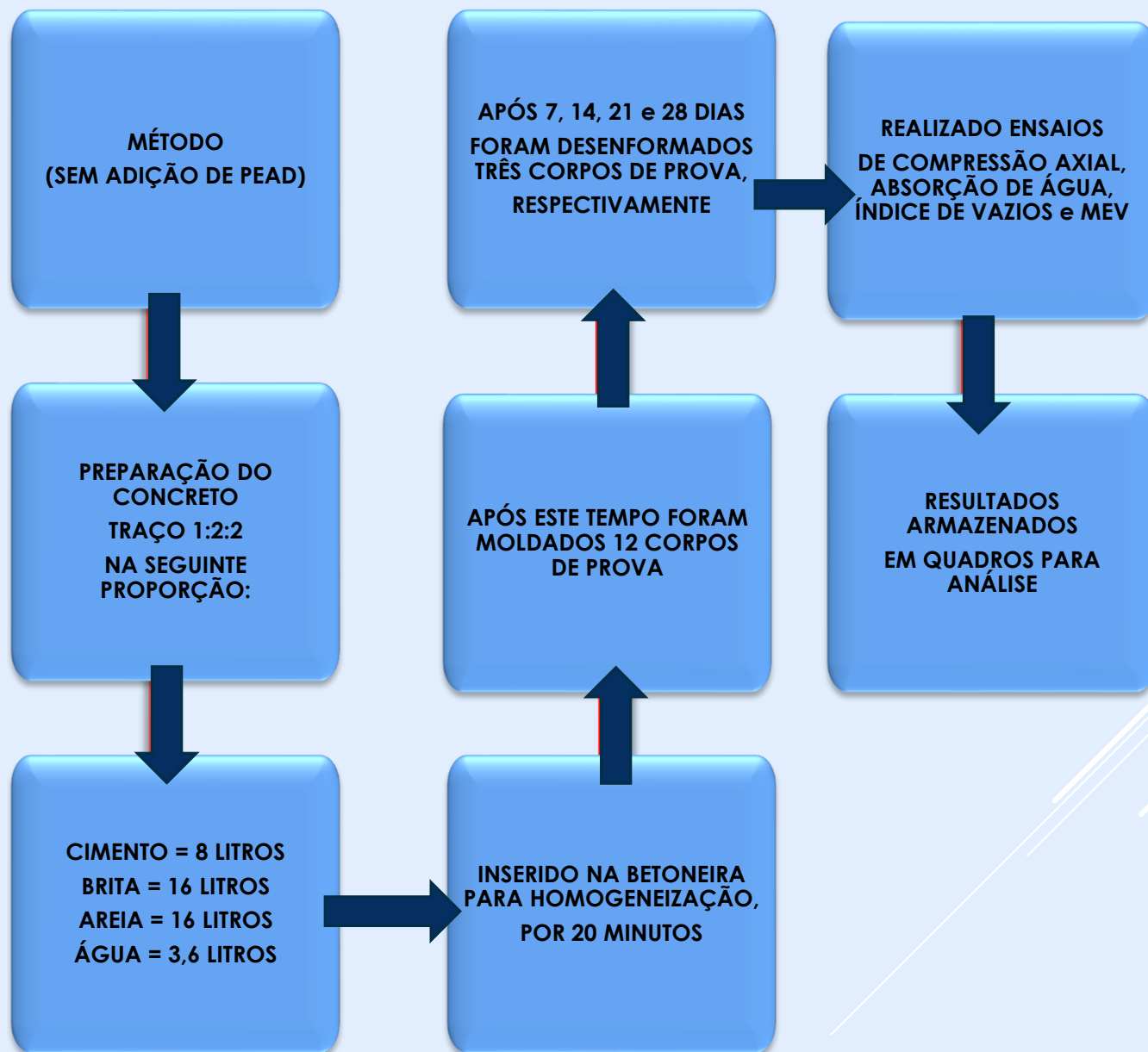
Comprovação da classificação dos materiais:





## 5.2 MÉTODOS

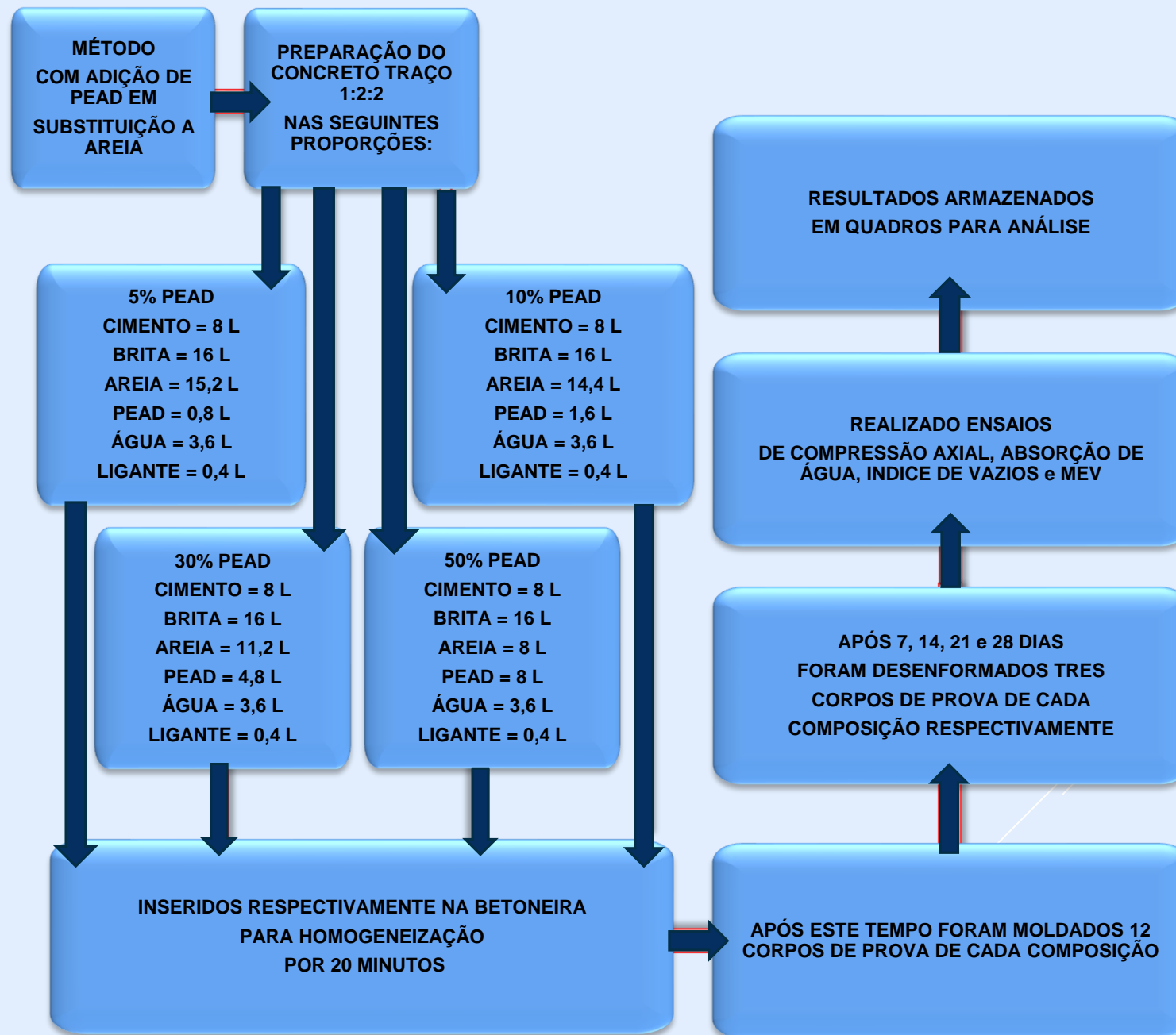
### 5.2.3 FLUXOGRAMAS (1)





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.4 FLUXOGRAMAS (2)





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.5 PREPARAÇÃO DO CONCRETO (SEM PEAD)

Inicialmente foi utilizado para a preparação do concreto um traço 1:2:2, cimento CP III - 40, brita 1 e areia média respectivamente sem a adição de PEAD para servir como parâmetro comparativo de base para os outros corpos de provas que terão a adição do PEAD.

CONTROLE	UNIDADE (LITROS)
Cimento	8,00
Brita	16,00
Areia	16,00
Água	3,60





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.6 PREPARAÇÃO DO CONCRETO (COM PEAD)

Para a produção de mais doze corpos de prova com a substituição da areia nas proporções de 5%, 10%, 30% e 50% pelo PEAD micronizado, foi preparado todo o material, conforme proporções mostradas no quadro.



PARA 5% de PEAD	Unidade Litros	PARA 10% de PEAD	Unidade Litros	PARA 30% de PEAD	Unidade Litros	PARA 50% de PEAD	Unidade Litros
Cimento	8,00	Cimento	8,00	Cimento	8,00	Cimento	8,00
Brita	16,00	Brita	16,00	Brita	16,00	Brita	16,00
Areia	15,20	Areia	14,40	Areia	11,20	Areia	8,00
PEAD	0,80	PEAD	1,60	PEAD	4,80	PEAD	8,00
Água	3,60	Água	3,60	Água	3,60	Água	3,60
Ligante	0,40	Ligante	0,40	Ligante	0,40	Ligante	0,40





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.7 COMPRESSÃO AXIAL

Após 7, 14, 21 e 28 dias foi retirado, respectivamente, três amostras (CP1, CP2 e CP3) para o ensaio de compressão axial em uma prensa EMIC PC-150c instalada no laboratório 19 da FOA. O mesmo procedimento foi utilizado para os outros corpos de prova com a substituição da areia pelo PEAD micronizado nas proporções de 5%, 10%, 30% e 50%.





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 9778 (1987) )

$$A_{ag} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$A_{ag}$  = Absorção de água

$M_{sat}$  = massa do corpo de prova saturado - é a massa do corpo após 72 horas de imersão.

$M_s$  = massa do corpo de prova seco em estufa - é a massa do corpo após 24 horas de sair da estufa.



## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.9 INDICE DE VAZIOS (NBR 9778 (1987) )

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$I_v$  = índice de vazios

$M_{sat}$  = massa do corpo de prova saturado - é a massa do corpo após 72 horas de imersão.

$M_s$  = massa do corpo de prova seco em estufa - é a massa do corpo após 24 horas de sair da estufa.

$M_i$  = massa imersa - é a massa do corpo de prova saturado imerso na água.





## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.10 MEV

O MEV é capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra que são úteis para avaliar sua estrutura. Para este estudo utilizou-se o MEV da marca Hitachi modelo TM 3000 instalado no laboratório 3 da FOA , equipado com um detector de elétrons secundários. Nas análises não foi necessária a deposição de ouro, uma vez que o concreto já possui óxidos ferrosos, e assim permitem a sua condutividade.





## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Granulometria da areia NBR 7217 (1987 )

MALHA (mm)	PENEIRA (g)	PENEIRA + MATERIAL (g)	MATERIAL (g)	PERCENTUAL (%)	PERCENTUAL ACUMULADO (%)
4,75	439,00	439,00	0,00	0,00	0,00
2,36	390,02	392,06	2,04	0,41	0,41
0,85	387,68	645,08	257,40	51,48	51,89
0,60	333,97	500,61	166,64	33,33	85,22
0,42	363,08	407,09	44,01	8,80	94,02
0,30	348,21	364,20	15,99	3,20	97,22
0,15	347,85	357,75	9,90	1,98	99,20
Fundo	397,62	398,37	0,75	0,15	99,35
		total =	496,73	99,35	
		perda =	3,27	0,65	

(0,3mm a 1,20mm)



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.2 Granulometria da brita NBR 7225 (1993)

MALHA (mm)	PENEIRA (g)	PENEIRA + MATERIAL (g)	MATERIAL (g)	PERCENTUAL (%)	PERCENTUAL ACUMULADO (%)
25	414,58	414,58	0,00	0,00	0,00
19	395,78	526,93	131,15	26,23	26,23
12,5	432,57	734,11	301,54	60,31	86,54
9,5	405,74	441,04	35,30	7,06	93,60
6,3	411,84	429,67	17,83	3,57	97,16
4,76	571,47	583,34	11,87	2,37	99,54
2,36	392,92	393,86	0,94	0,19	99,73
Fundo	410,51	410,51	0,00	0,00	99,73
		total =	498,63	99,73	
		perda =	1,37	0,27	

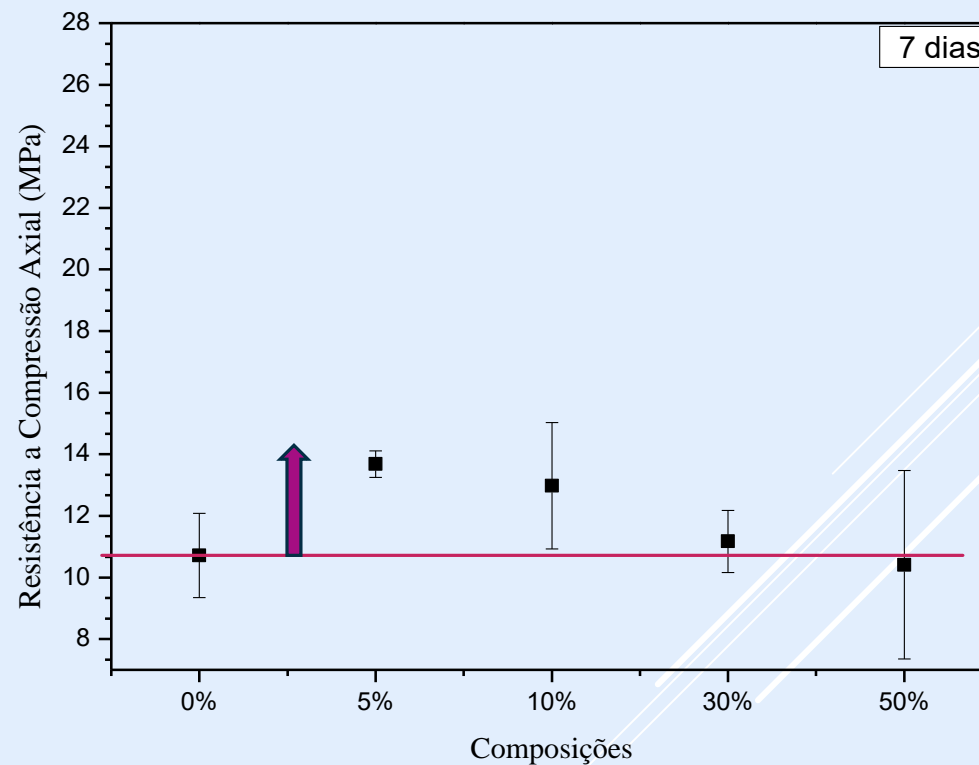
(9,50mm a 19mm)



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.3 COMPRESSÃO AXIAL (Resultados para 7 dias)

7 dias	CP1		CP2		CP3		Média		Desvio Padrão	
0 %	11,67	MPa	9,15	MPa	11,32	MPa	10,71	MPa	1,37	MPa
5%	13,44	MPa	14,18	MPa	13,43	MPa	13,68	MPa	0,43	MPa
10%	11,44	MPa	12,19	MPa	15,31	MPa	12,98	MPa	2,05	MPa
30%	11,19	MPa	10,15	MPa	12,17	MPa	11,17	MPa	1,01	MPa
50%	9,19	MPa	8,15	MPa	13,89	MPa	10,41	MPa	3,06	MPa

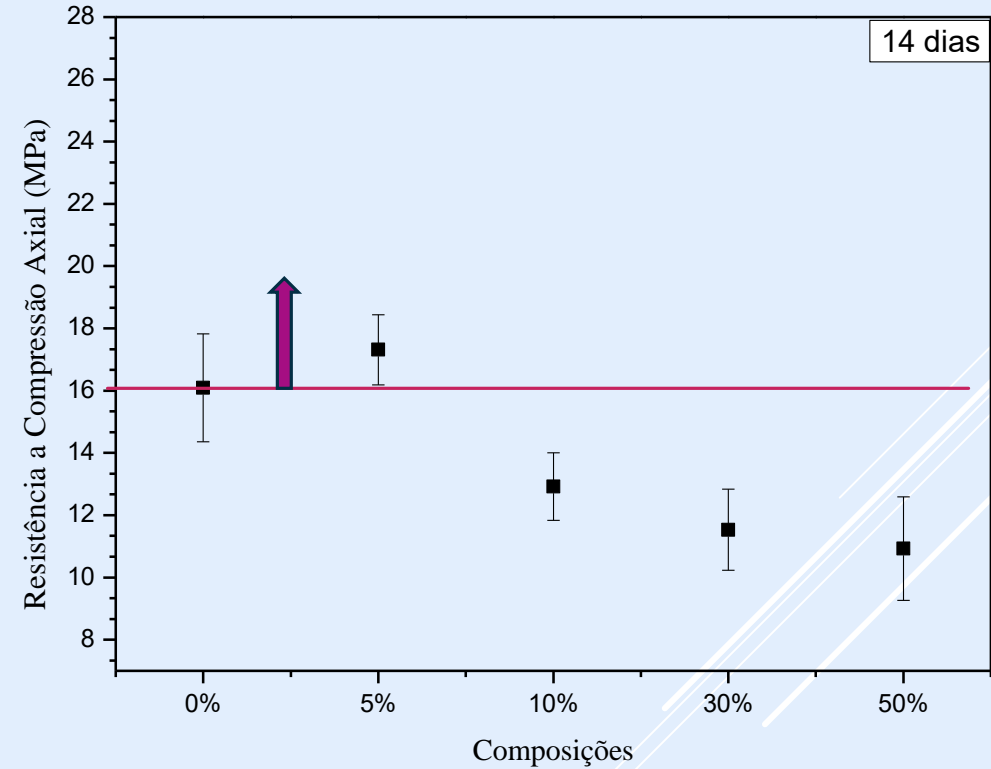




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.4 COMPRESSÃO AXIAL (Resultados para 14 dias)

14 dias	CP1		CP2		CP3		Média		Desvio Padrão	
0%	16,80	MPa	14,11	MPa	17,35	MPa	16,09	MPa	1,73	MPa
5%	17,44	MPa	18,37	MPa	16,13	MPa	17,31	MPa	1,13	MPa
10%	12,38	MPa	14,17	MPa	12,21	MPa	12,92	MPa	1,09	MPa
30%	11,18	MPa	10,44	MPa	12,97	MPa	11,53	MPa	1,30	MPa
50%	9,17	MPa	12,48	MPa	11,13	MPa	10,93	MPa	1,66	MPa

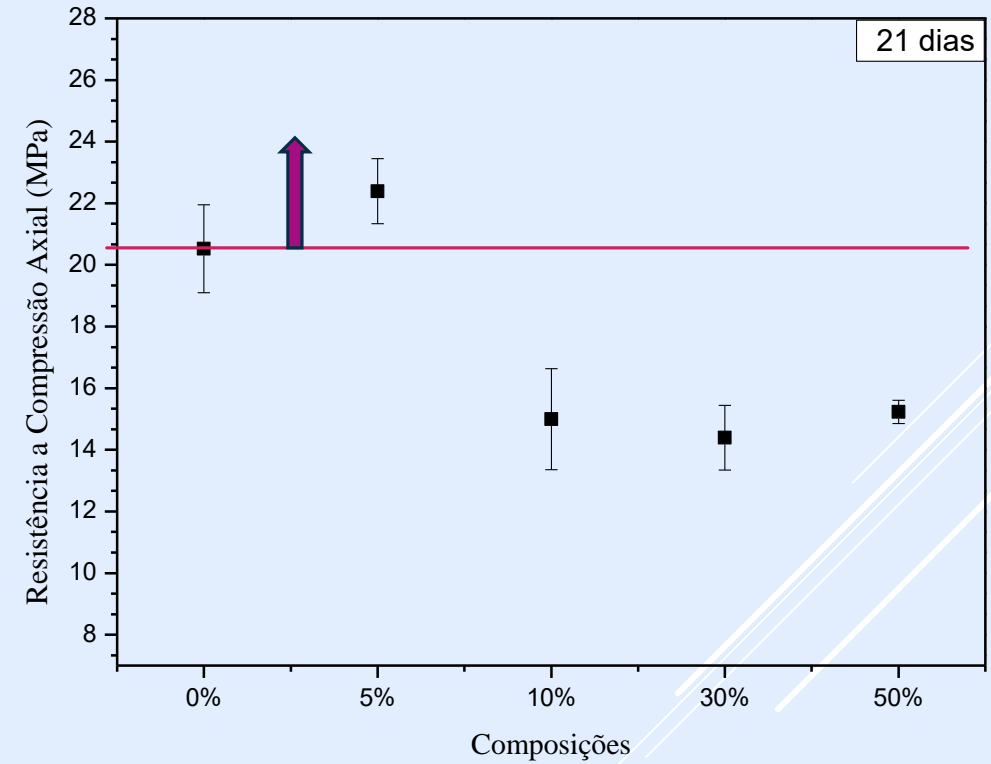




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.5 COMPRESSÃO AXIAL (Resultados para 21 dias)

21 dias	CP1		CP2		CP3		Média		Desvio Padrão	
0%	21,85	MPa	19,02	MPa	20,70	MPa	20,52	MPa	1,42	MPa
5%	21,34	MPa	23,45	MPa	22,38	MPa	22,39	MPa	1,06	MPa
10%	16,38	MPa	15,41	MPa	13,19	MPa	14,99	MPa	1,64	MPa
30%	13,19	MPa	15,12	MPa	14,87	MPa	14,39	MPa	1,05	MPa
50%	15,17	MPa	14,89	MPa	15,64	MPa	15,23	MPa	0,38	MPa

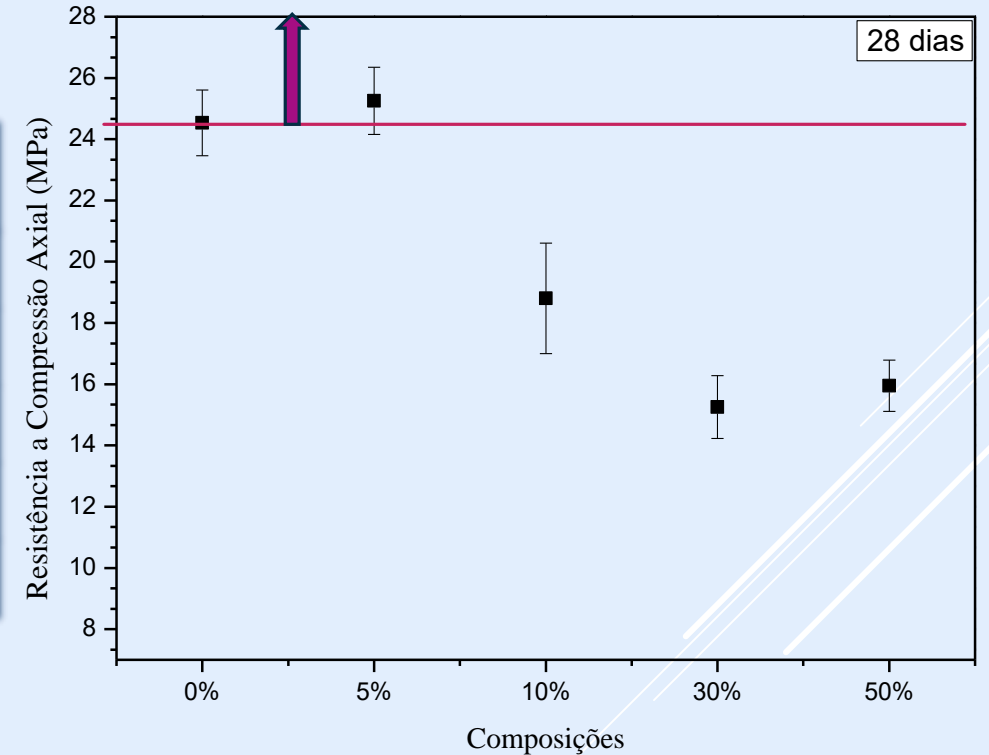




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.6 COMPRESSÃO AXIAL (Resultados para 28 dias)

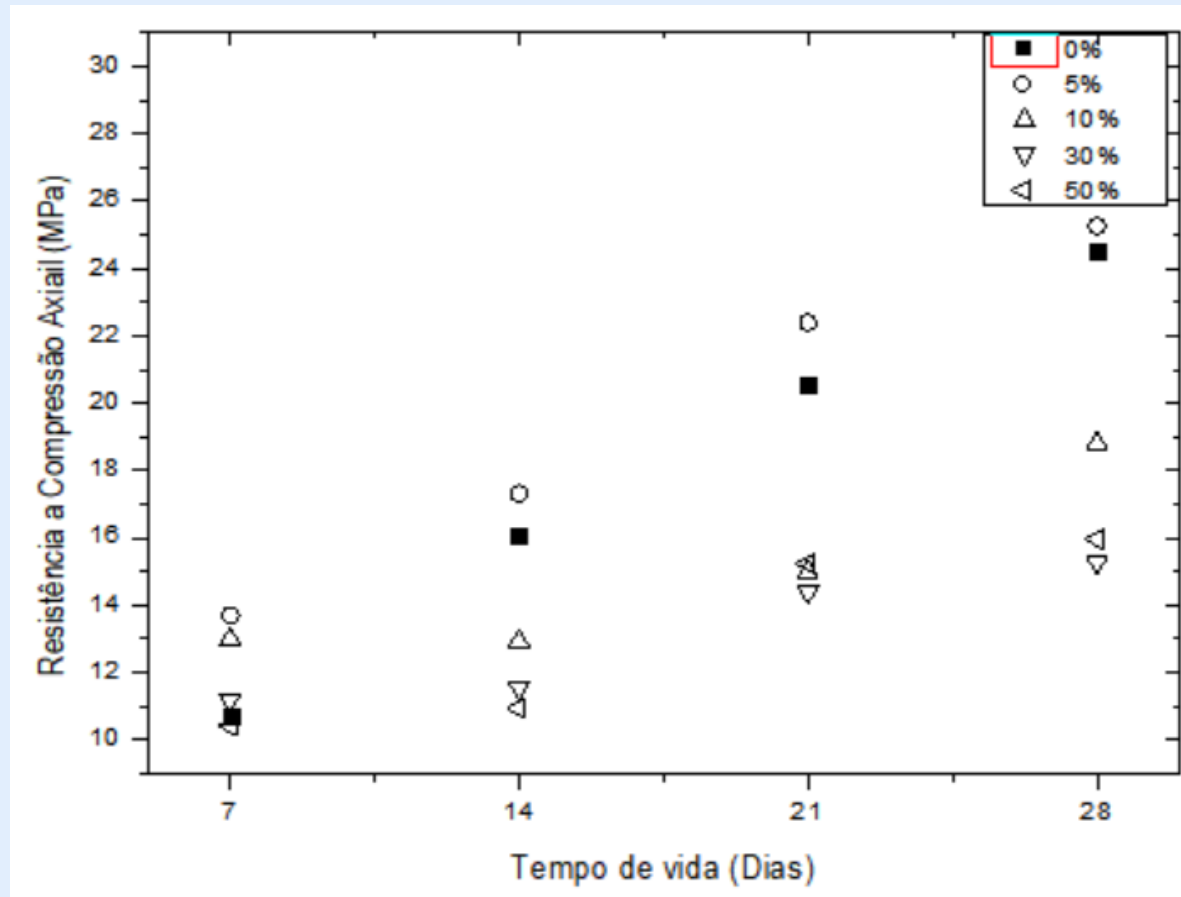
28 dias	CP1		CP2		CP3		Média		Desvio Padrão	
0%	25,77	MPa	23,94	MPa	23,88	MPa	24,53	MPa	1,07	MPa
5%	25,19	MPa	26,38	MPa	24,19	MPa	25,25	MPa	1,10	MPa
10%	20,18	MPa	19,47	MPa	16,76	MPa	18,80	MPa	1,81	MPa
30%	16,21	MPa	15,38	MPa	14,17	MPa	15,25	MPa	1,03	MPa
50%	16,78	MPa	15,96	MPa	15,11	MPa	15,95	MPa	0,84	MPa





## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.7 COMPRESSÃO AXIAL (Resultados da média para 7, 14, 21 e 28 dias)



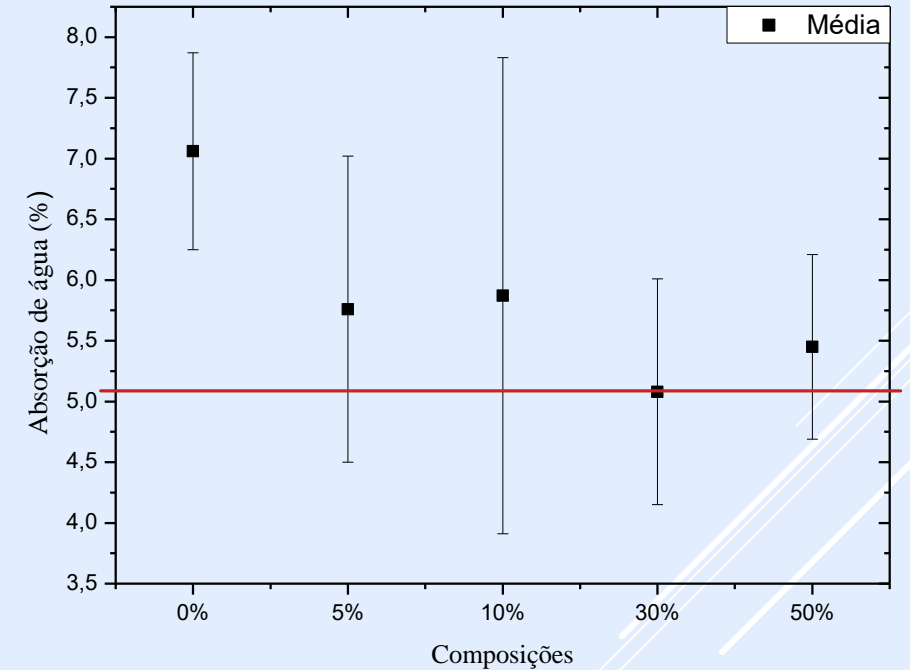




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Corpos de Prova	CP1			CP2			Absorção de água (Média / Desv.Padrão) %
	Ms	Msat	Aag	Ms	Msat	Aag	
	(Kg)	(Kg)	%	(Kg)	(Kg)	%	
0%	3,10	3,30	6,48	3,05	3,29	7,63	7,06±0,81
5%	3,00	3,14	4,87	3,02	3,22	6,66	5,76±1,26
10%	3,03	3,17	4,49	3,10	3,33	7,26	5,87±1,96
30%	2,99	3,12	4,42	3,40	3,59	5,74	5,08±0,93
50%	3,05	3,20	4,91	3,04	3,22	5,98	5,45±0,76

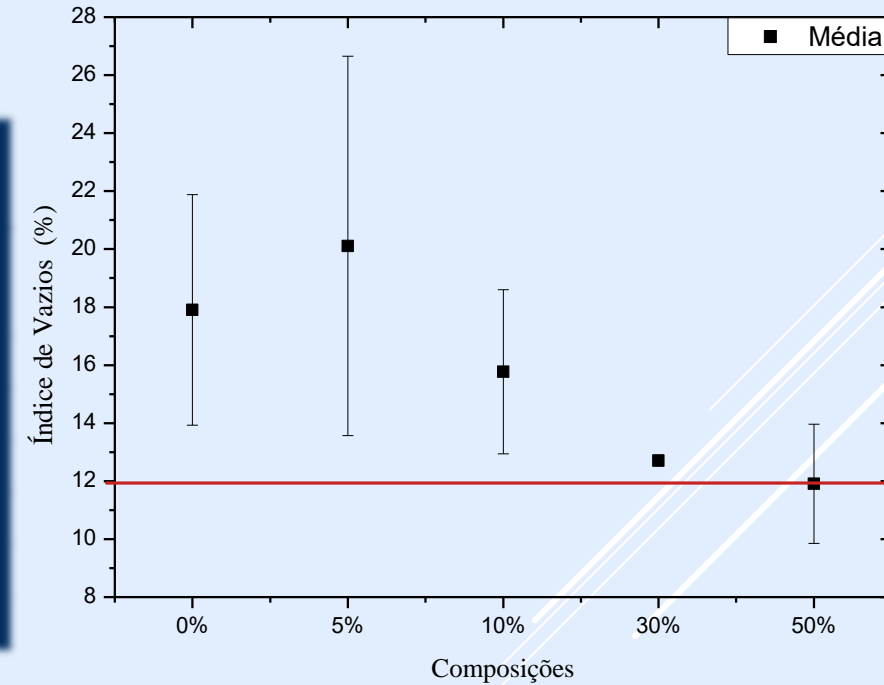




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.9 ÍNDICE DE VAZIOS

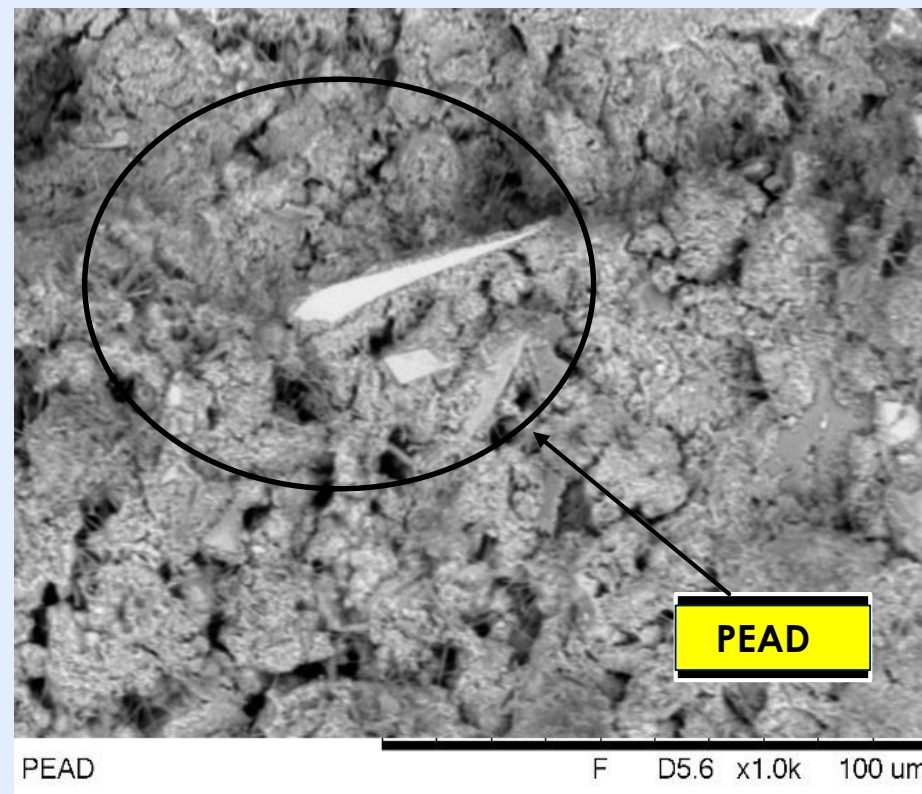
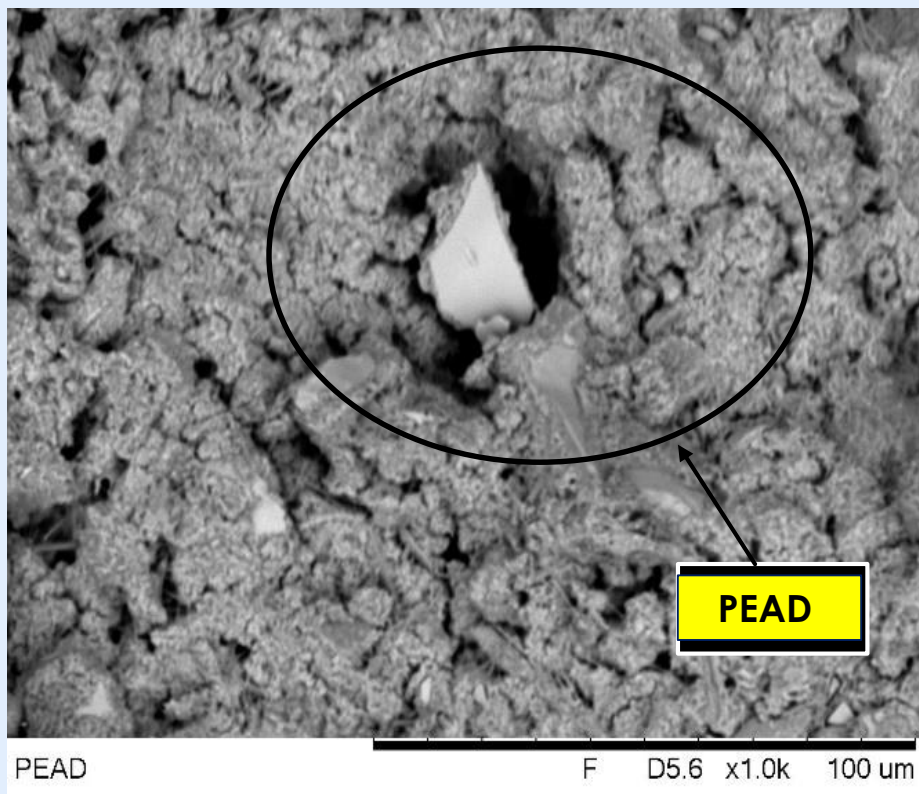
Corpos de Prova	CP1				CP2				Índice de Vazios (Média / Desv.Padrão) %
	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Mi (Kg)	Iv %	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Mi (Kg)	Iv %	
0%	3,10	3,30	1,97	15,09	3,05	3,29	2,16	20,71	17,90±3,97
5%	3,00	3,14	2,20	15,48	3,02	3,32	2,12	24,73	20,11±6,54
10%	3,03	3,17	2,18	13,77	3,10	3,33	2,06	17,77	15,77±2,83
30%	2,99	3,12	2,09	12,84	3,40	3,59	2,04	12,57	12,71±0,19
50%	3,05	3,20	1,77	10,46	3,04	3,22	1,86	13,36	11,91±2,05





## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.10 MEV

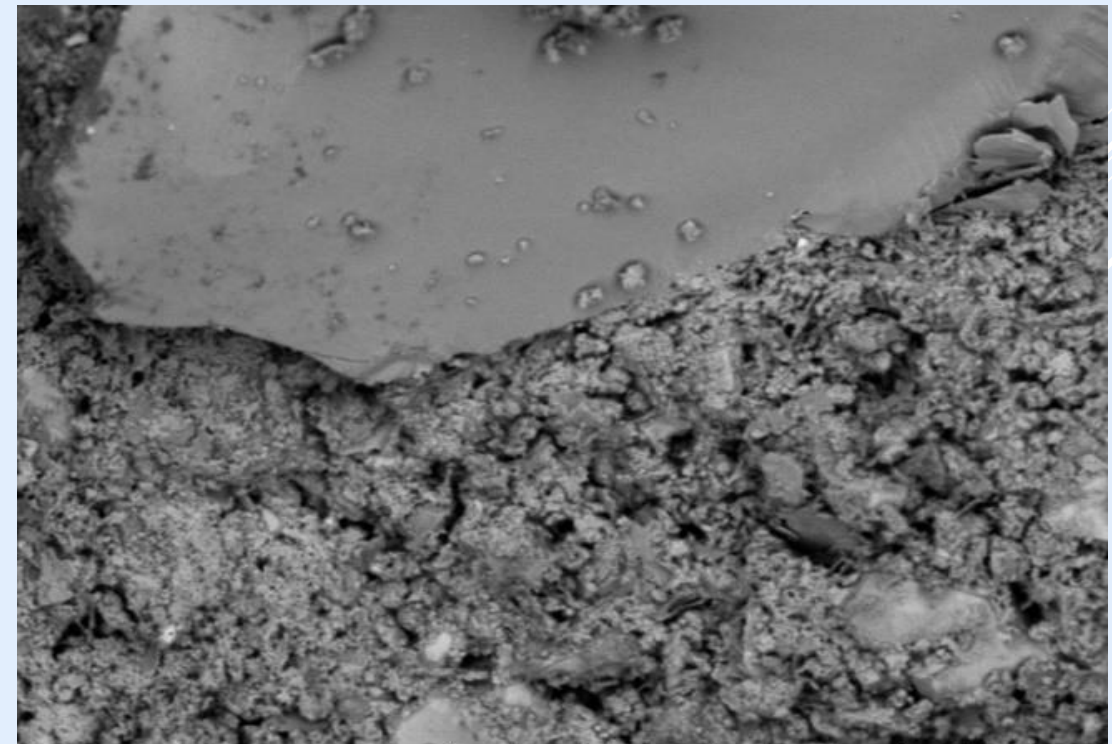
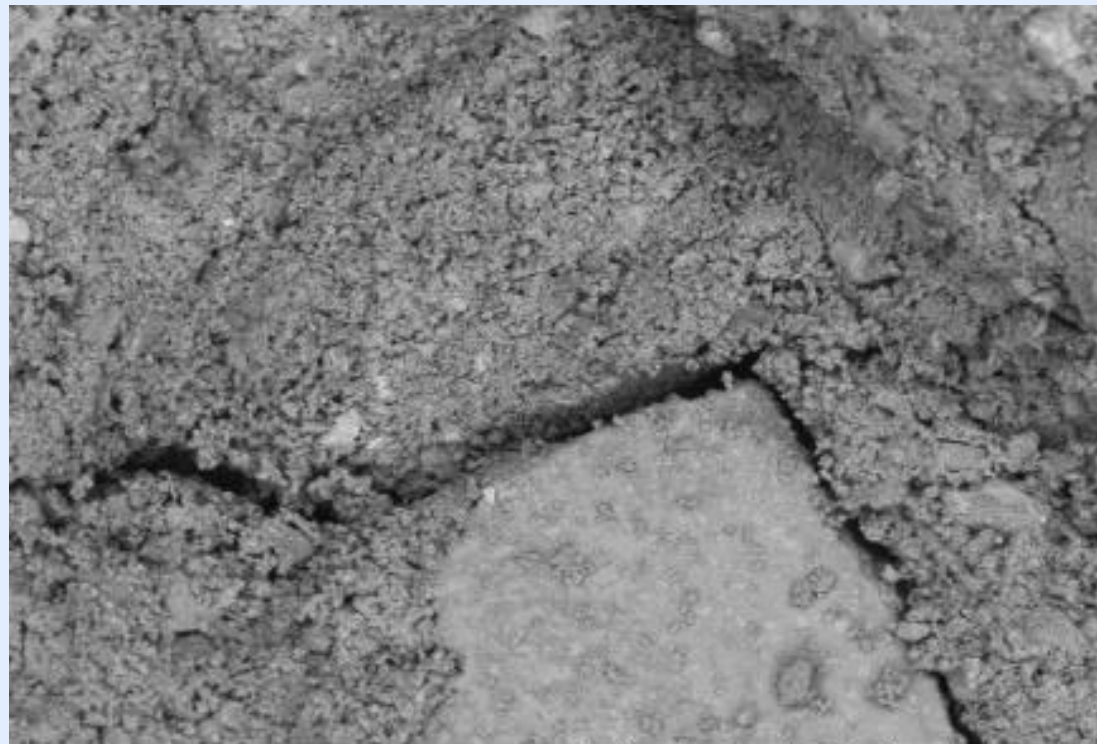




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.11 MEV – AMOSTRA SEM O PEAD

**NAS AMOSTRAS PURAS VÊ-SE PARTICULADOS BRANCOS REFERENTES A AREIA, APRESENTA ALGUMAS TRINCAS, NÃO APRESENTA POROSIDADE CONSIDERÁVEL. ESTAS TRINCAS ESTÃO NO ENTORNO DA BRITA, O QUE PODE CAUSAR PERDA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.**

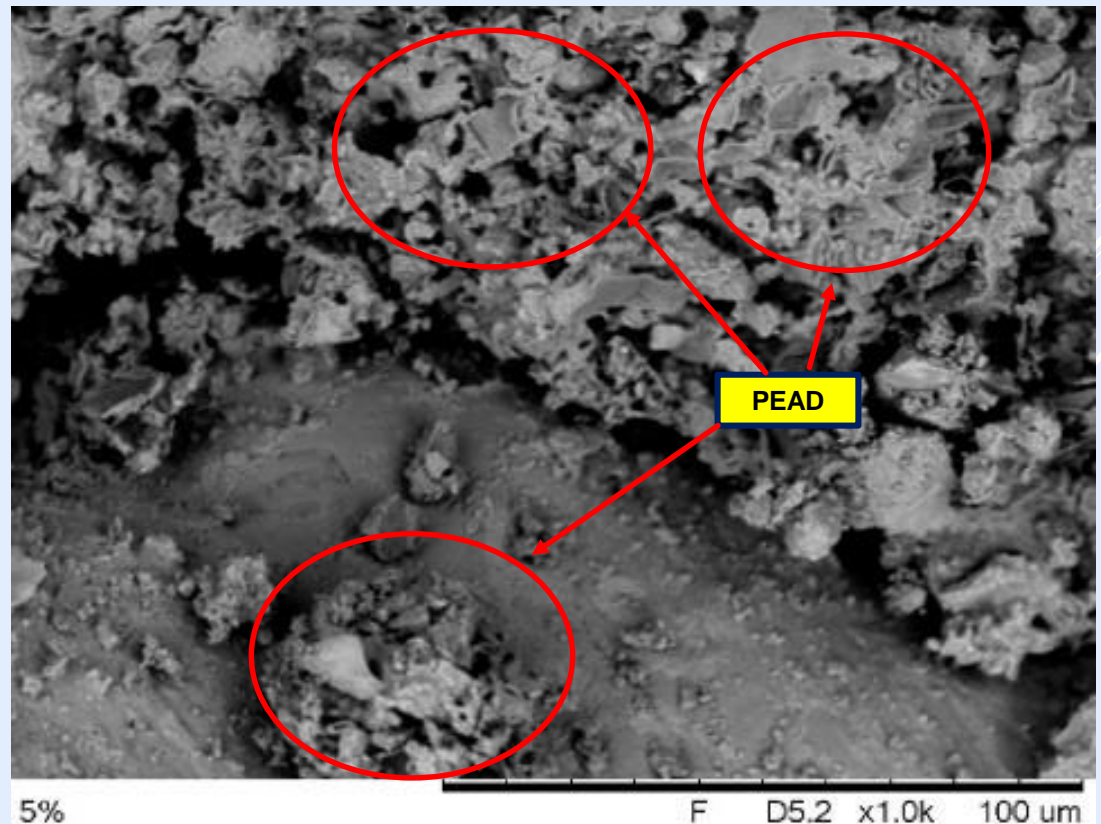
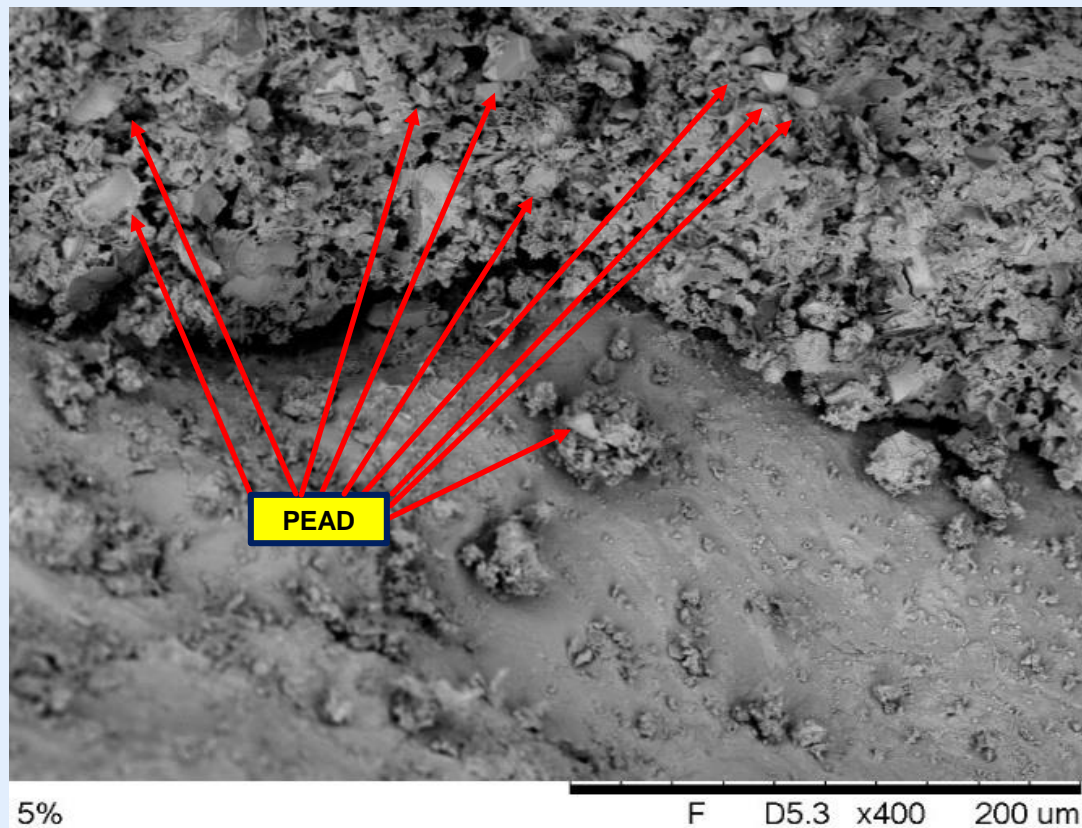




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.12 MEV – AMOSTRA COM 5% DE PEAD

OBSERVA-SE ALÉM DA AREIA, DA BRITA E DO CIMENTO, PONTOS ONDE HÁ AGLOMERAÇÃO DO POLÍMERO, QUE FAZ COM QUE A SUPERFÍCIE FIQUE MENOS POROSA.

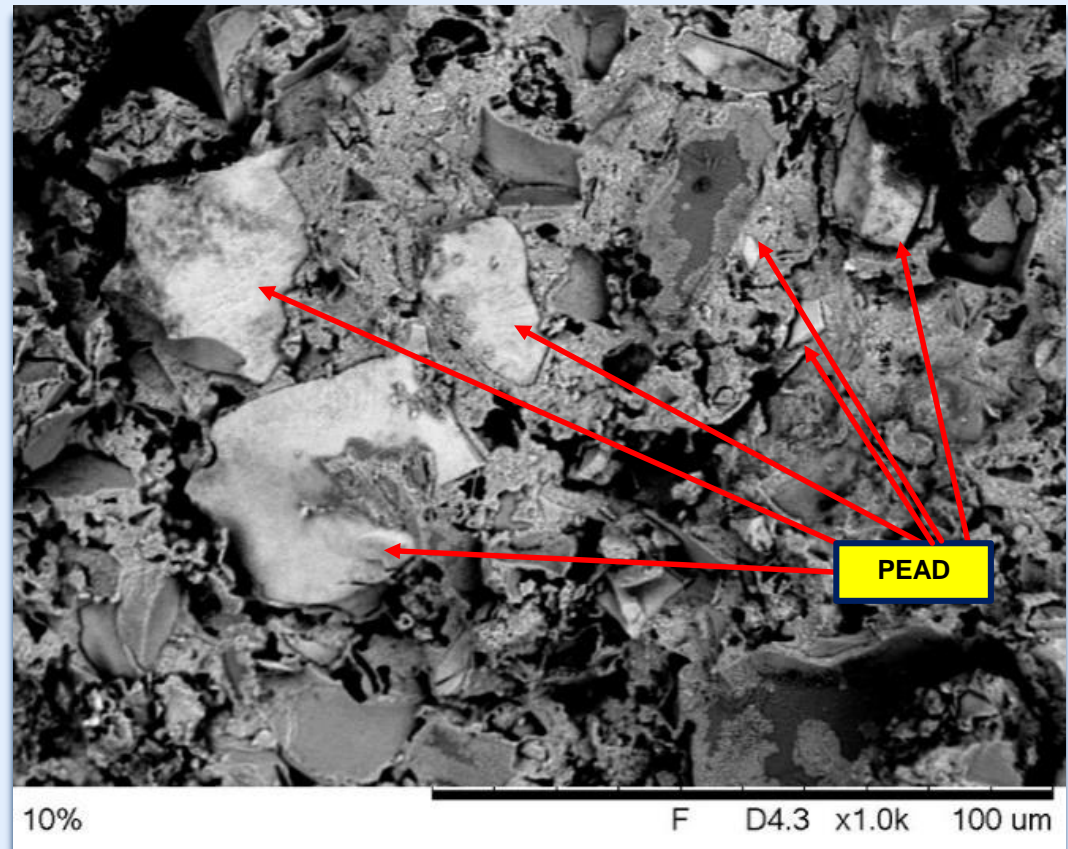
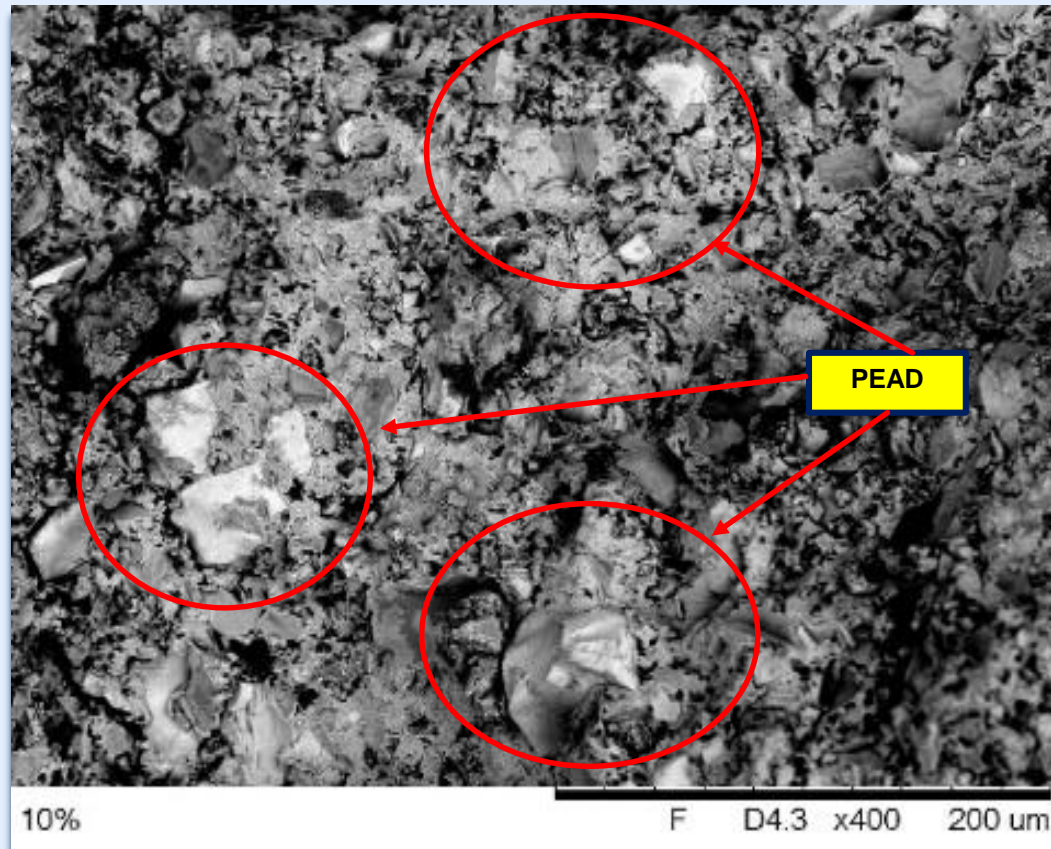




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.13 MEV – AMOSTRA COM 10% DE PEAD

OBSERVA-SE QUE A QUANTIDADE DE PONTOS MENOS POROSOS AUMENTOU, VISTO QUE A INSERÇÃO DO POLÍMERO, EM MASSA AUMENTOU CONSIDERAVELMENTE.

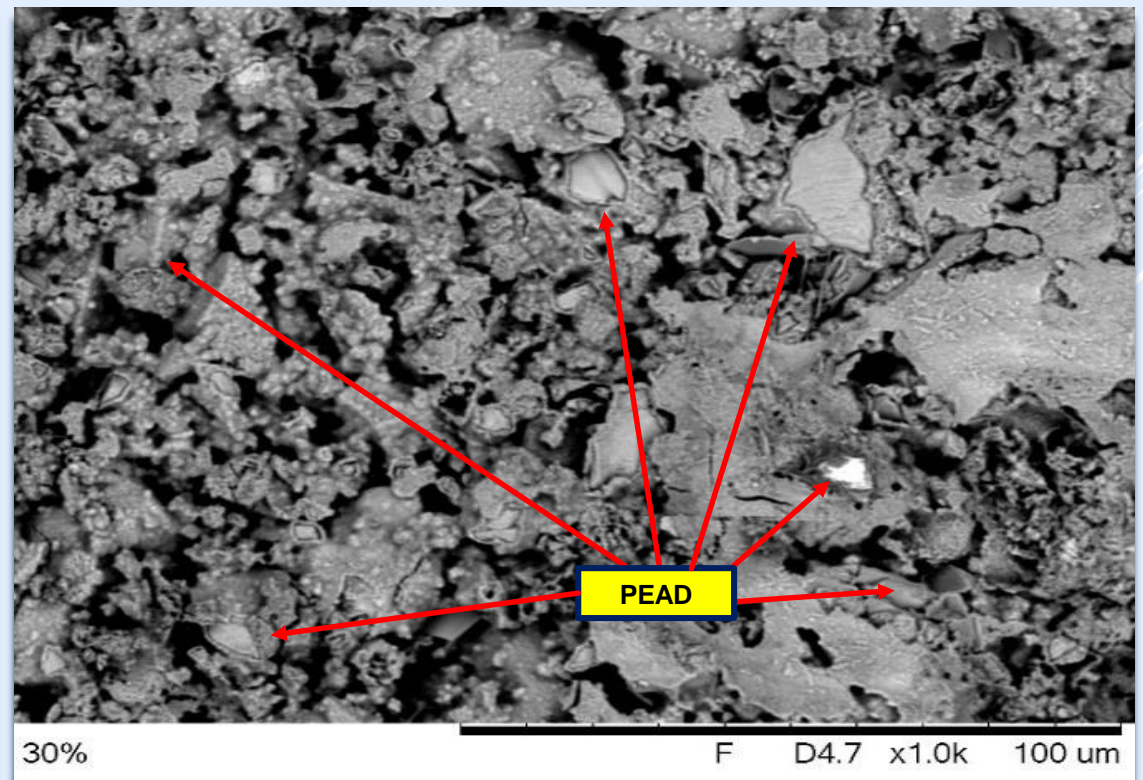
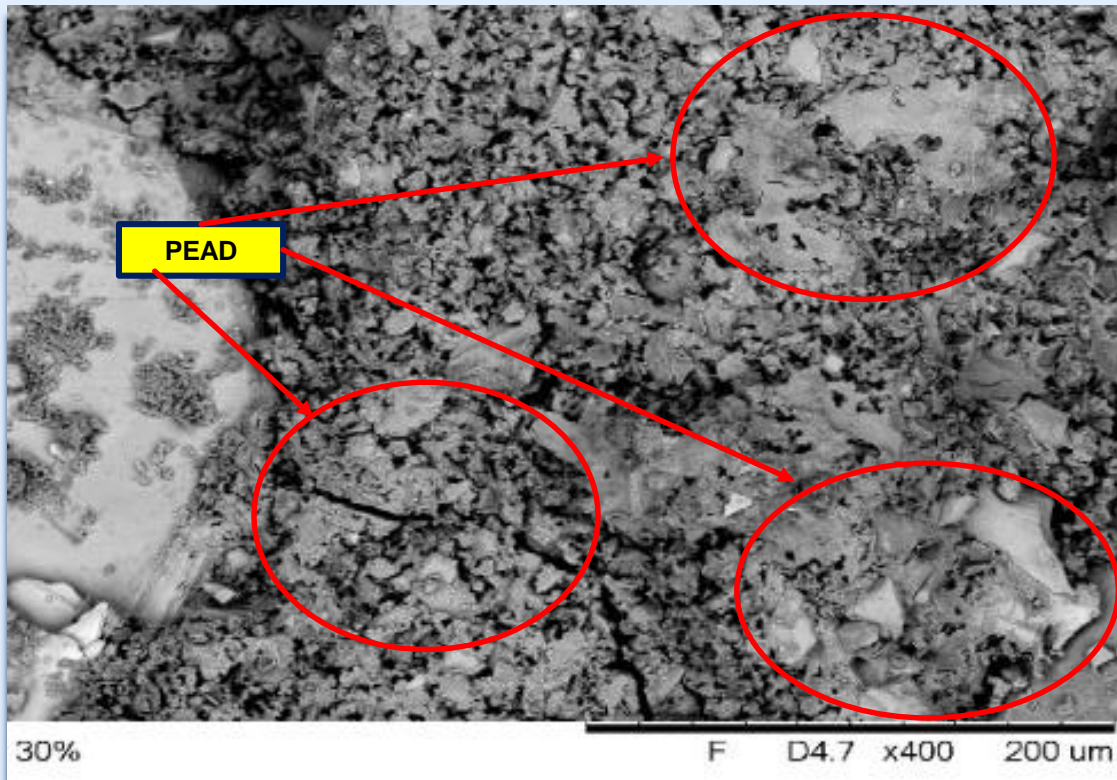




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.14 MEV – AMOSTRA COM 30% DE PEAD

ESTES PONTOS MENOS POROSOS ESTÃO CLARAMENTE DEFINIDOS, PODENDO SER DEVIDO A UM PROCESSO DE MISTURA MELHOR (HOMOGENEIZAÇÃO), PODE-SE VER CLARAMENTE AS PARTÍCULAS DO PEAD.

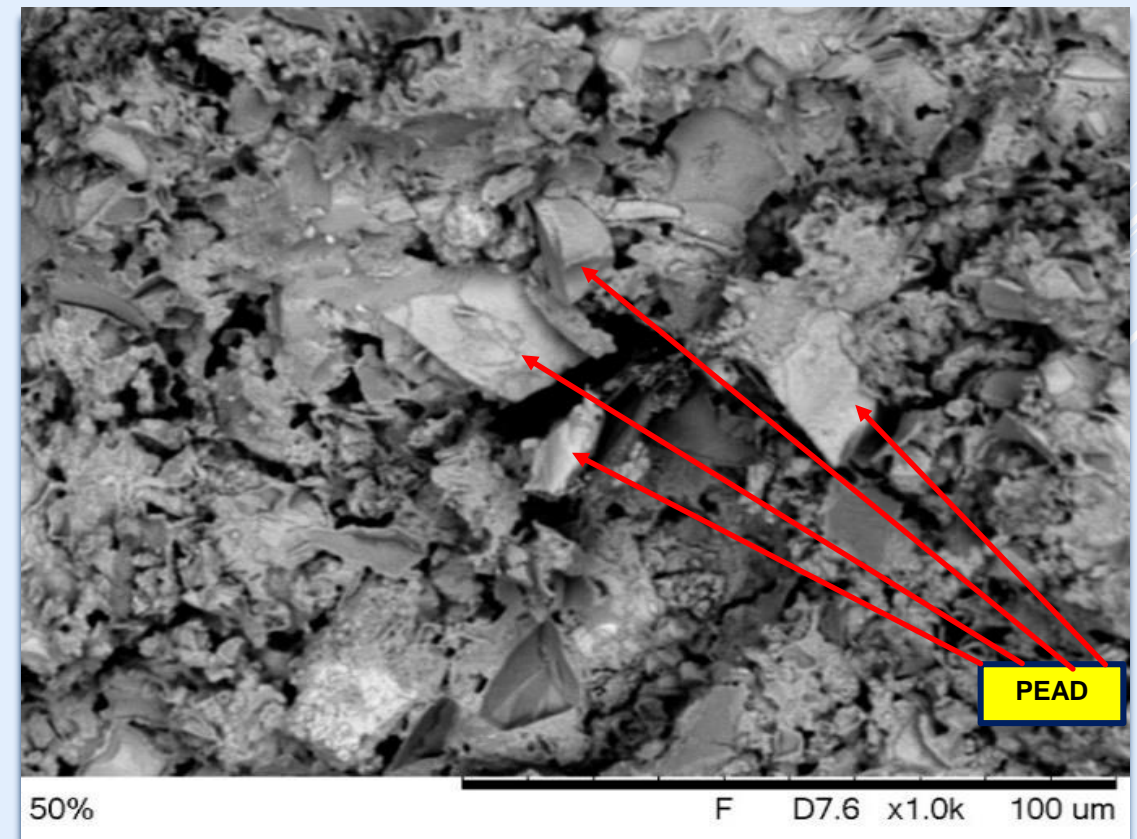
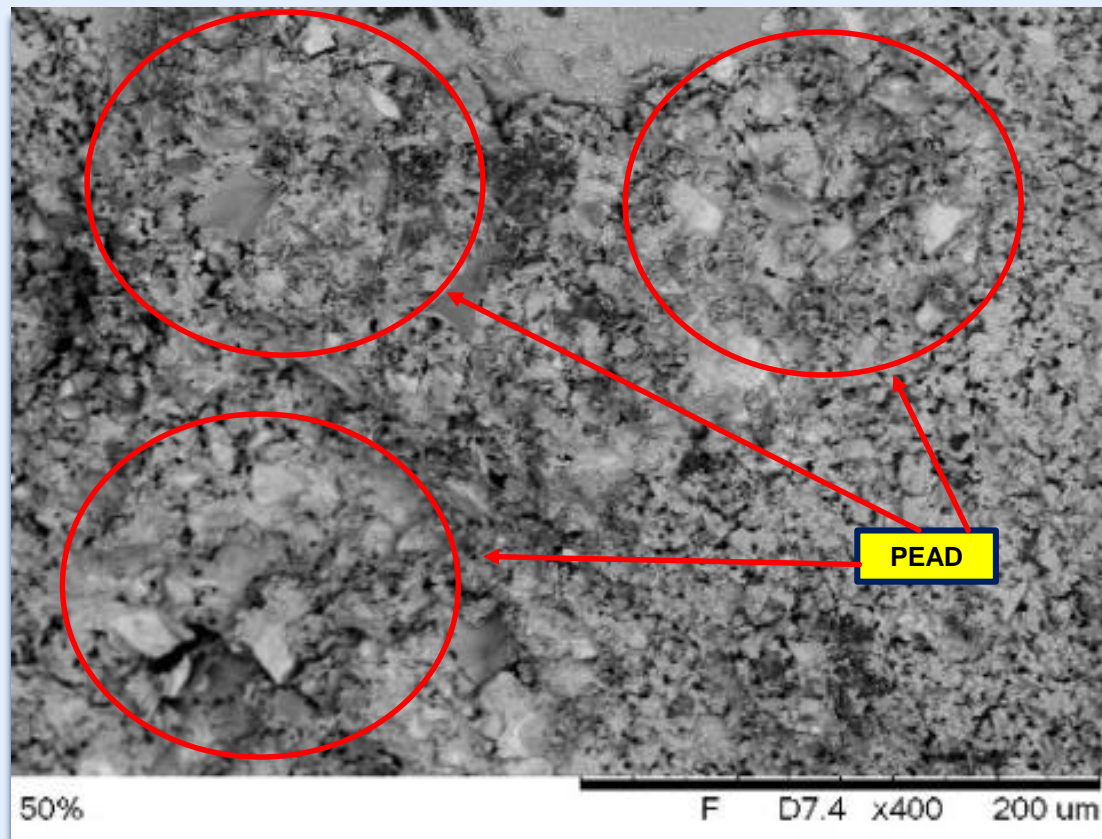




## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.15 MEV – AMOSTRA COM 50% DE PEAD

O PROCESSO DE MISTURA FEITO COM 50% DE PEAD ESTA BEM MELHOR POIS A MISTURA FICOU MAIS HOMOGÊNEA E SE VÊ AS PARTÍCULAS EM MAIOR CLAREZA.







## 7. CONCLUSÕES

Nos ensaios de resistência a compressão axial observa-se uma redução a partir de uma certa percentagem, as argamassas com incorporação do PEAD micronizado tendem a piorar bastante o seu desempenho, particularmente para percentagens superiores a 5%.

Nos ensaios de absorção de água a composição sem a adição do PEAD (0%) foi a que absorveu mais água tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo na média e no desvio padrão (7,06%). Os corpos de prova que absorveram pouca água foram os da composição de 30% e 50% tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo também na média e no desvio padrão (5,08%).

Para o índice de vazios a composição de 50% do CP1 foi a que apresentou um índice de vazios (Iv) mais baixo (10,46%) em relação aos CP1 e CP2 das outras composições prevalecendo este valor mais baixo também na média e no desvio padrão (11,91%).



## 7. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nas imagens do MEV mostraram que a composição de 50% com a adição do PEAD micronizado ficou bem homogênea onde se vê as partículas com maior quantidade e clareza, porém esta não apresentou um bom desempenho nos ensaios de compressão axial, isto se deve ao fato da própria resistência mecânica do PEAD. A composição de 5% nos mostra uma menor quantidade do PEAD e com um resultado melhor nos ensaios de compressão axial.



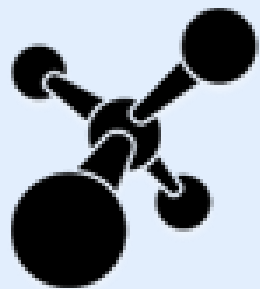
## 7. CONCLUSÕES

Conclui-se que os objetivos propostos no início deste trabalho foram alcançados pois conseguiu-se um aumento na resistência axial com o corpo de prova da composição de 5% de PEAD em substituição a areia comparando este com o corpo de prova base (sem adição), com relação aos outros corpos de provas das composições de 10%, 30% e 50% observa-se também que houve uma tendência crescente nos valores da compressão axial nas idades crescentes a partir de 14, 21 e 28 dias. A adição do PEAD micronizado foi benéfica nas propriedades da argamassa pois melhorou de forma significativa seu desempenho apresentando uma melhor densidade.



## 8. TRABALHOS FUTUROS

- **Ensaio de abrasão**
- **Medidas de módulo de elasticidade, cisalhamento e coeficiente de Poisson.**
- **Composições com diferentes adições de PEAD.**
- **Composições com substituições diferentes, por exemplo no cimento.**



MESTRADO PROFISSIONAL  
EM **MATERIAIS**



# CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS POR PEAD MICRONIZADO PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS.

MESTRANDO: GIOVANI MEIRELLES FONSECA

ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO DE FREITAS CABRAL

CO ORIENTADORA: PROF. DR. CIRLENE FOURQUET