



***Mestrado Profissional em Materiais***

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*

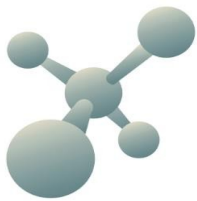


**CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E  
GRANITO DE MARMORARIA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PARA  
PRODUÇÃO DE PAVERS**

Aluna: Andréa Cristina Félix da Cruz

Orientador: Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



# *Mestrado Profissional em Materiais*

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3 MATERIAIS E MÉTODOS

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5 CONCLUSÕES .

6 TRABALHOS FUTUROS

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



# ***Mestrado Profissional em Materiais***

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira**

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Cristina de Carvalho Ares Elisei**



# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

- A poluição ambiental
- O setor da construção civil
- Marmorarias





# *Mestrado Profissional em Materiais*

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1.1 Contexto**

Esse estudo buscou demonstrar a possibilidade de dar uma destinação adequada para a escória proveniente do corte e polimento das rochas ornamentais.



# *Mestrado Profissional em Materiais*

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

Esses rejeitos geralmente são descartados em locais inapropriados, contaminando o ar, a água, gerando assim, danos à saúde humana e de animais, além da poluição visual.



# *Mestrado Profissional em Materiais*

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.3 RELEVÂNCIA**

O presente estudo é relevante devido ao fato de se demonstrar meios alternativos que possibilitem reciclar e reutilizar os resíduos de mármore e granito, oriundos das oficinas de beneficiamento.



# ***Mestrado Profissional em Materiais***

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Investigar a viabilidade de se utilizar parcialmente os resíduos de mármore e granito no concreto na produção de *pavers*.





# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 2 OBJETIVOS

### 2.2 ESPECÍFICO

- Identificar e analisar a possibilidade de utilização do RCMG no concreto;
- Demonstrar a possibilidade de se evitar o descarte do RCMG, reduzindo o impacto ambiental;
- Analisar os principais fatores que podem influenciar na fabricação de *pavers*;



# *Mestrado Profissional em Materiais*

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **3 JUSTIFICATIVA**

Diante da quantidade de rejeitos gerados pelas industriais de beneficiamento de mármore e granito, tornou-se necessário investigar alternativas que promovam a reciclagem, assim como a sua reutilização como insumo, na fabricação de novos produtos.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS



✓ Adota-se o termo mármore e granito nas transações comerciais.

✓ O granito é considerado rocha ígnea, rígida, composta de muitos minerais, principalmente quartzo e feldspato de dureza 7 na escala de *mohs*.

✓ O termo mármore, abrange as rochas metamórficas.



# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.2 MARMORARIAS





# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.3 CONCRETO



Cimento

Água

Areia

Brita

Aditivos Químicos

Adições Minerais





# Mestrado Profissional em Materiais

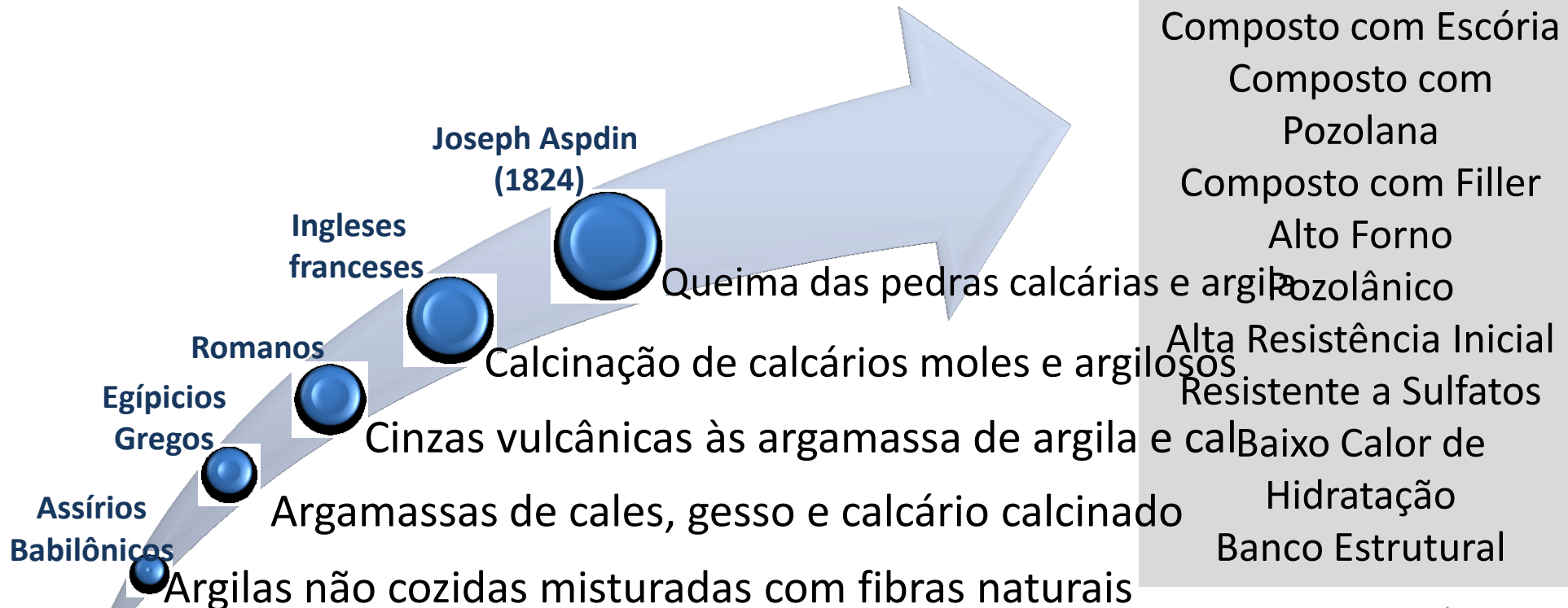
Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos



## 2.3 CONCRETO

### 2.3.1 Cimento

#### CIMENTO PORTLAND





# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.4 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO



Fonte: WIKIPEDIA - História de Paraty (texto digital)



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.4 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

#### 2.4.1 Pisos Intertravados de Concreto



Fonte: [http://www.rhinopisos.com.br/mobile/instrucoes\\_de\\_colocacao](http://www.rhinopisos.com.br/mobile/instrucoes_de_colocacao)

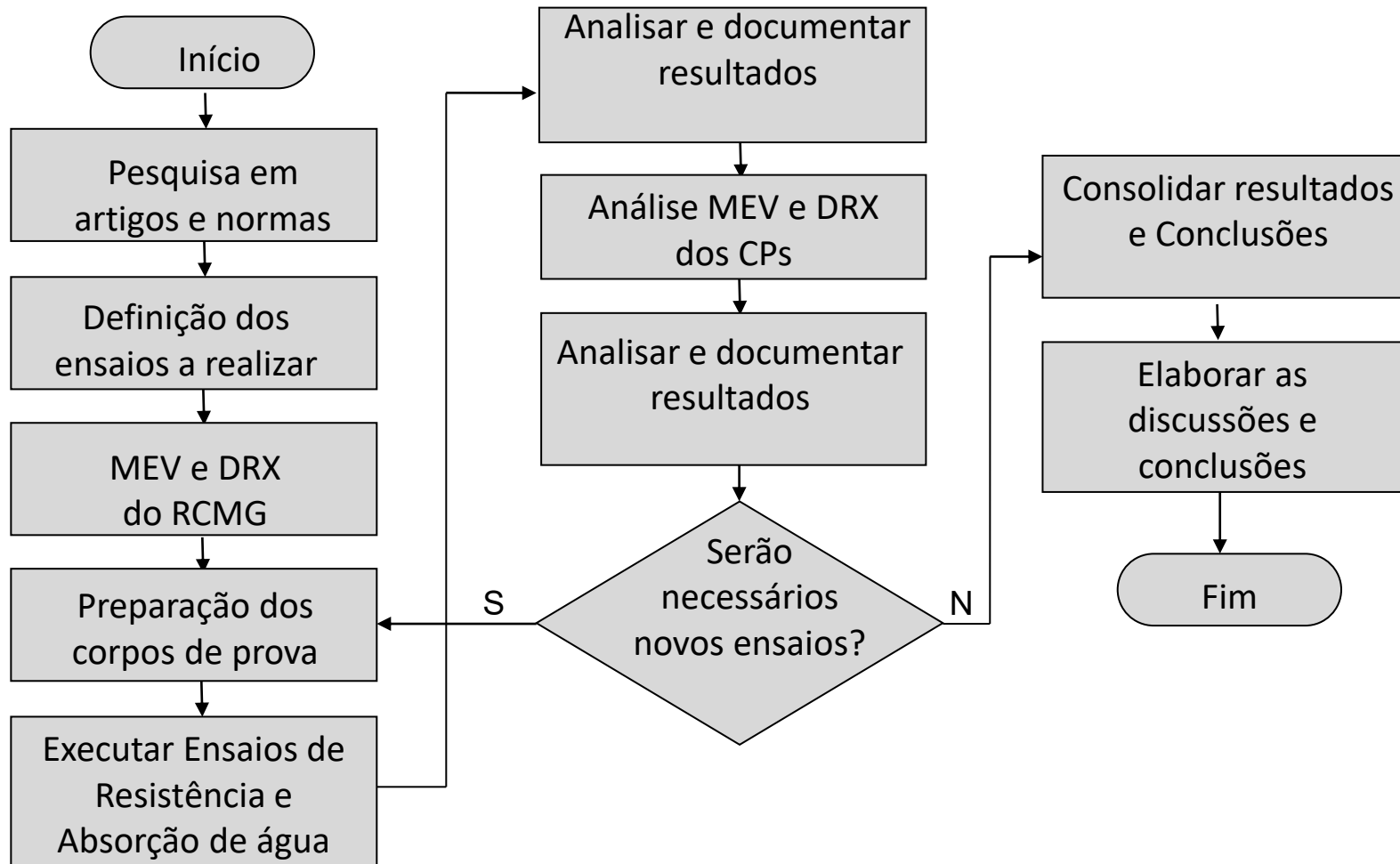


Fonte: <http://www.neoblocosp.com.br/produtos/piso-intertravado>





## 3 MATERIAIS E MÉTODOS





## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 MATERIAIS



Cimento



RCMG



Areia média



Brita 0



Água



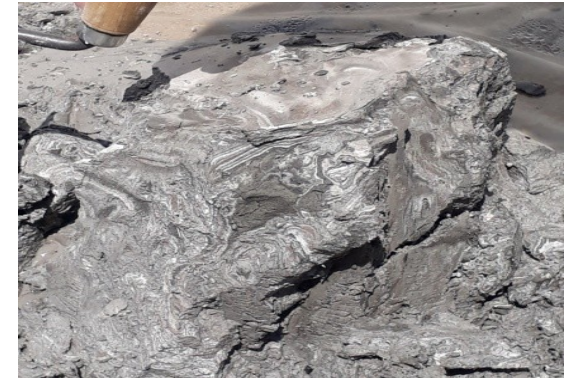
Aditivo Químico



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.1 Coleta e beneficiamento do RCMG







## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.2 Caracterização das matérias primas

##### 3.2.2.1 Análise da composição granulométrica



NBR NM 248: 2003



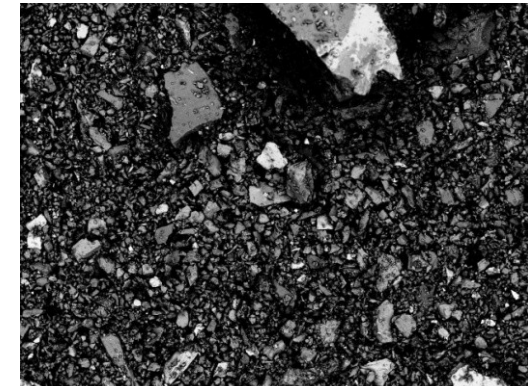


## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.2 Caracterização das matérias primas

##### 3.2.2.2 MEV do RCMG



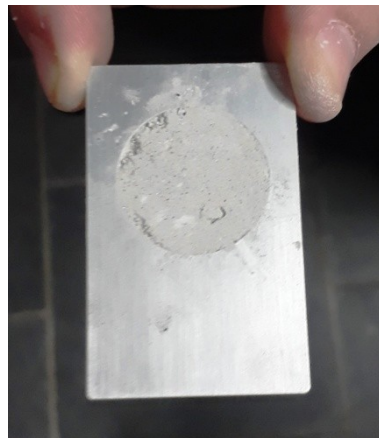


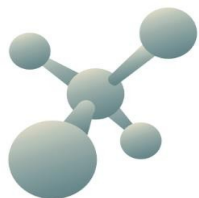
## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.2 Caracterização das matérias primas

##### 3.2.2.3 Difração de Raio X do RCMG





## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.3 Corpo de Prova

##### 3.2.3.1 Determinação do traço para confecção dos corpos de prova

Utilizou-se as proporções 1 : 2,4 : 2,58 : 0,6

DOSAGEM DOS MATERIAIS						
ADIÇÃO (%)	CIMENTO (kg)	RCMG (kg)	AREIA (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (L)	ADITIVO (mL)
Referência	10.360	0	24.860	26.800	6,2	10
10	9.324	1.036	24.860	26.800	6.6	10
20	8.288	2.072	24.860	26.800	6.6	10



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.3 Corpo de Prova

#### 3.2.3.2 Preparação dos moldes



NBR 5738:2016



Ensaio	Corpos de Prova			
	Quantidades por composição			
Resistência à compressão	Cilíndricos (10 x 20 cm)	Referência	10%	20%
		12	12	12





# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.3 Corpo de Prova

##### 3.2.3.3 Confecção dos corpos de prova



*Slump Test*  
NBR NM 67:1998



NBR NM 5738:2016



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.4 Ensaio com os corpos de prova

##### 3.2.3.3 Absorção de Água e Índices de Vazios dos CP's cilíndricos



$$A_{a\%} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

$$I_{v\%} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100$$

NBR NM 9778:2009



# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.4 Ensaios com os corpos de prova

##### 3.2.4.2 Compressão axial



NBR NM 5739:2018



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.4 Ensaaios com os corpos de prova

##### 3.2.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do concreto



As imagens foram ampliadas em 25X, 100X, 500X, 1000X e 2000X





## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2 MÉTODOS

#### 3.2.4 Ensaios com os corpos de prova

##### 3.2.4.4 Difração de raio X – DRX do concreto





## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMO RECEBIDOS

#### 4.1.1 Análise granulométrica

Peneiras	% Retido							
	CIMENTO		RCMG		AREIA		BRITA 0	
	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.
12,5 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
6,3 mm	-	-	-	-	-	-	43,1	43,1
4,75 mm	-	-	-	-	-	-	38,0	81,0
2,36 mm	-	-	-	-	2,2	2,2	18,0	99,0
1,18 mm	-	-	-	-	12,0	14,2	1,0	100,0
600 µm	-	-	-	-	53,0	67,2	-	-
300 µm	-	-	-	-	23,6	90,9	-	-
150 µm	-	-	-	-	7,6	98,5	-	-
75 µm	38,9	38,9	51,3	51,3	-	-	-	-
Fundo	61,1	100,0	48,7	100,0	1,5	100,0	-	-
φ Máx (mm)	< 75 µm		75 µm		2,4 mm		4,8 mm	
MF	0,4		0,5		2,7		3,2	

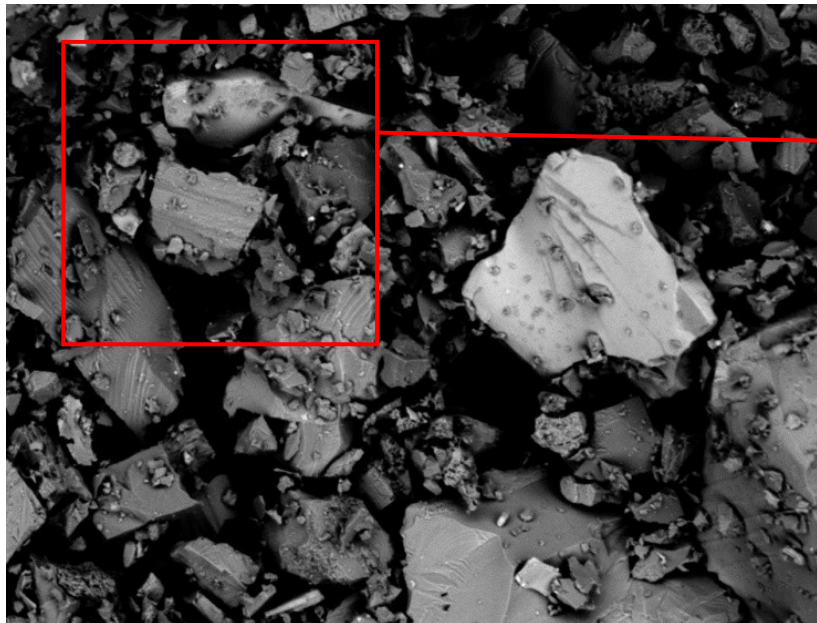


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMO RECEBIDOS

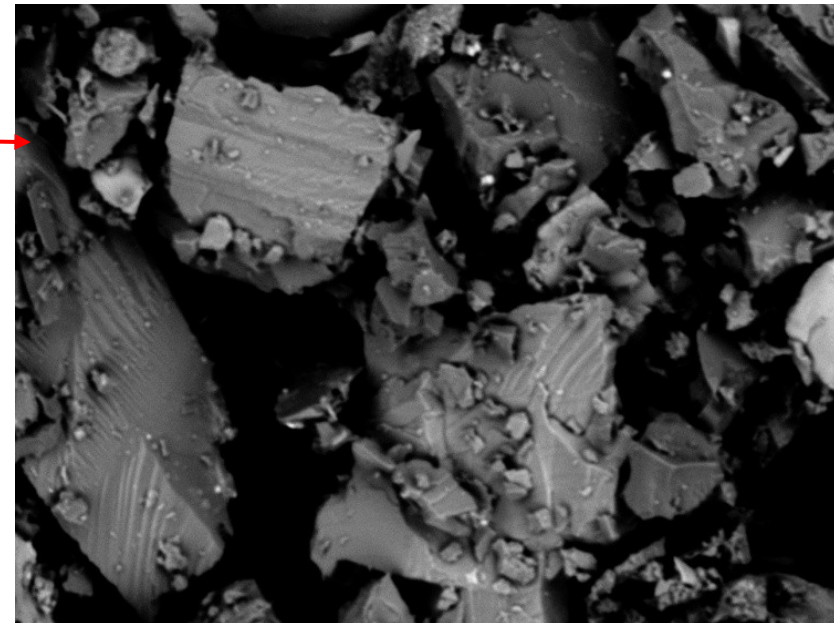
#### 4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do RCMG

(a) Ampliação em 1000x



RESIDUO F D4.7 x1.0k 100 um

(b) Ampliação em 2000x



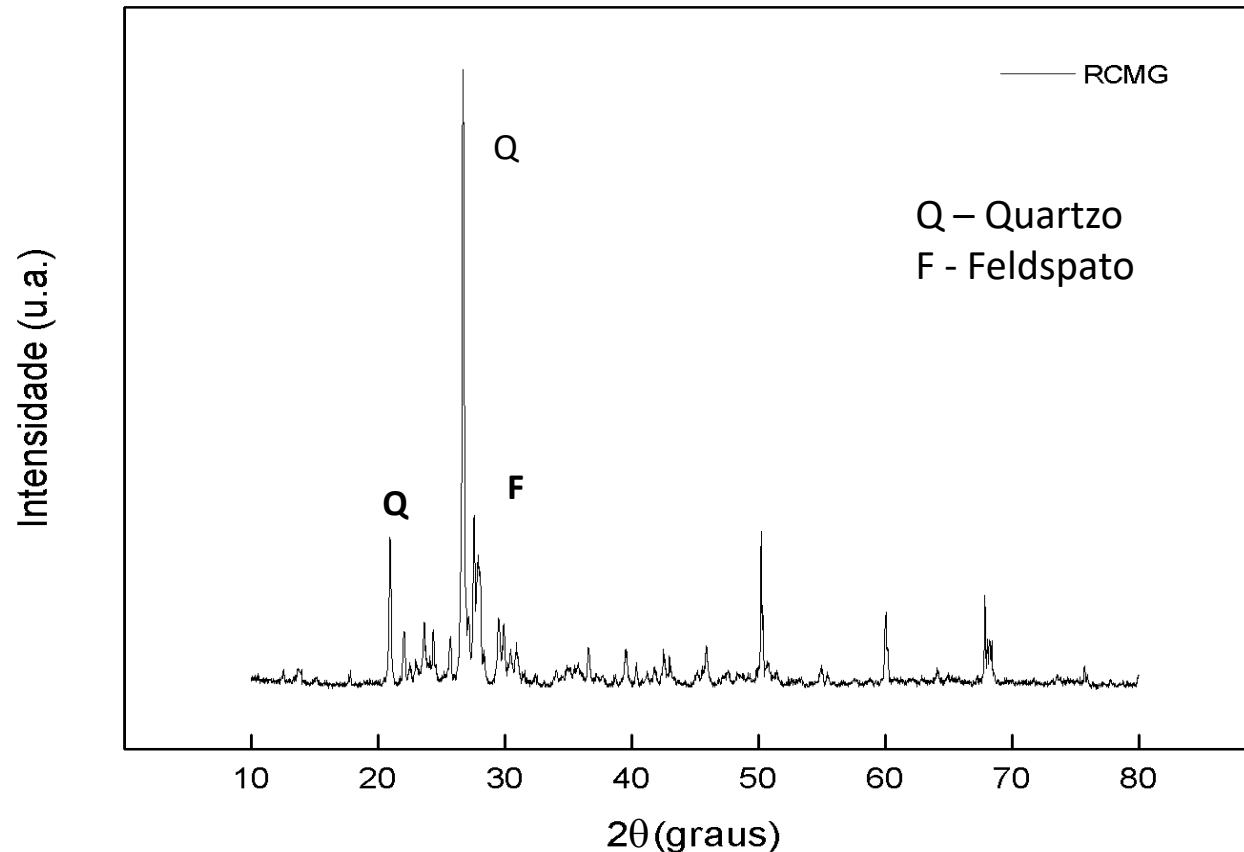
RESIDUO F D4.7 x2.0k 30 um



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMO RECEBIDOS

#### 4.1.3 Difração de raio X – DRX do RCMG



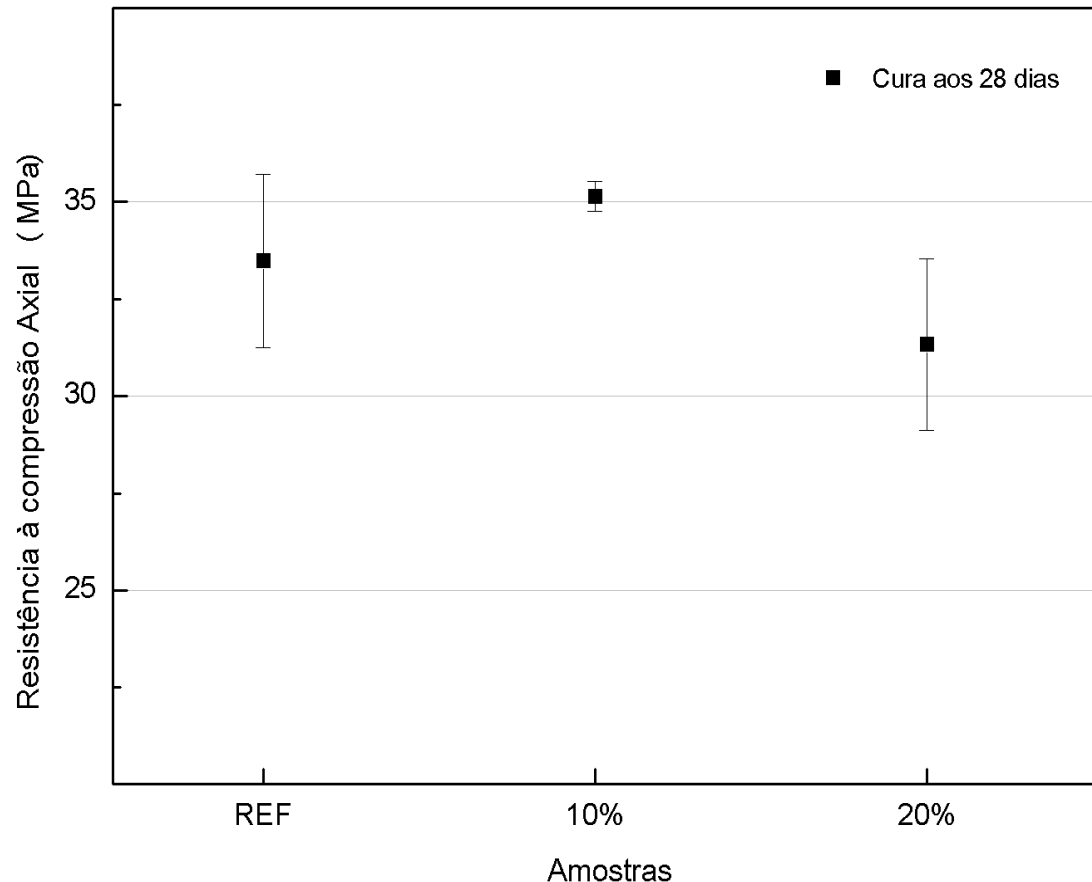




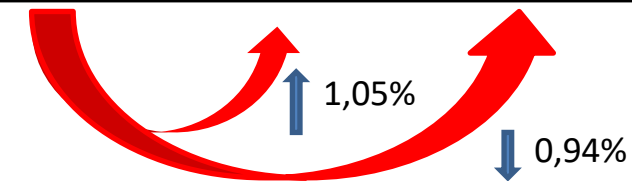
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.1 Compressão axial



Idade (dias)	Proporções		
	Referência (MPa)	10% (MPa)	20% (MPa)
28	33,47 ± 2,23	35,14 ± 0,39	31,32 ± 2,21



**NBR 9781:2013** → **≥ 35 Mpa**  
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.2 Absorção de água por imersão e Índices de vazios

	REF	10%	20%
Absorção de Água	3,42% ± 0,02%	2,47% ± 0,09%	2,95% ± 0,03
Índices de Vazios	7,31% ± 0,29%	5,05% ± 0,51%	6,28% ± 0,03

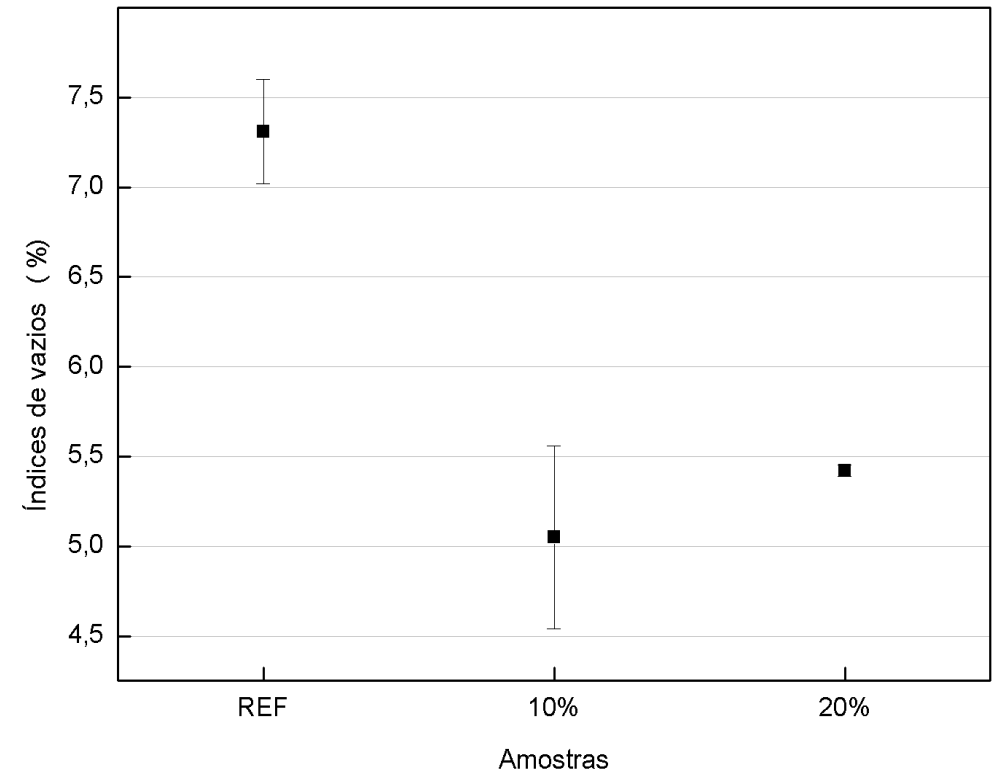
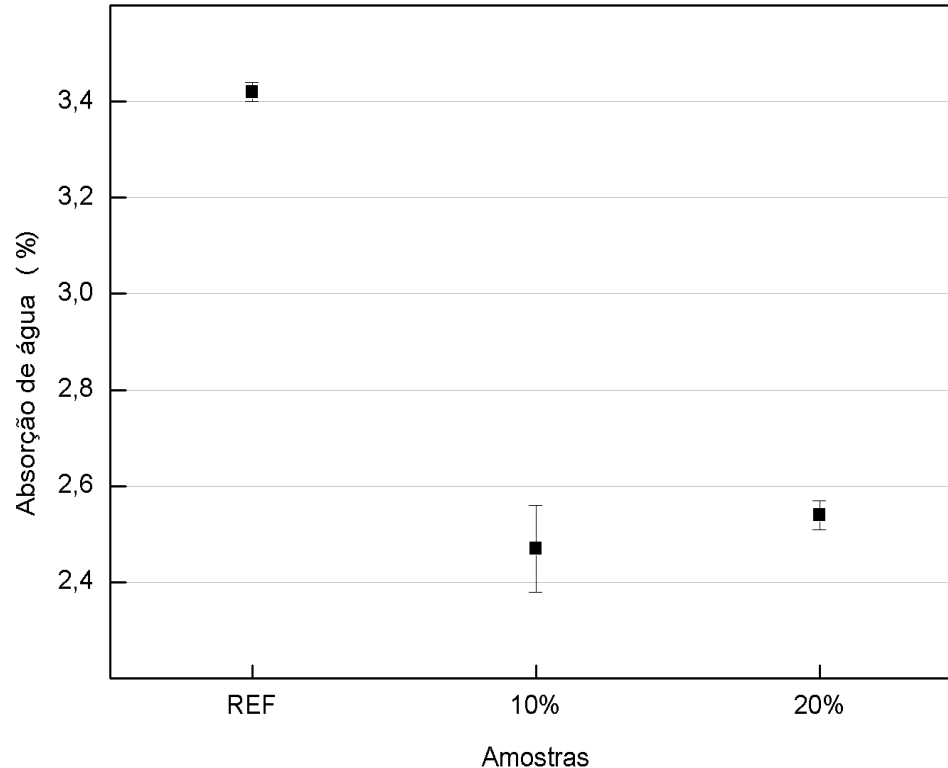
NBR 9781:2013 → Absorção de água ≤ 6%



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.2 Absorção de água por imersão e Índices de vazios





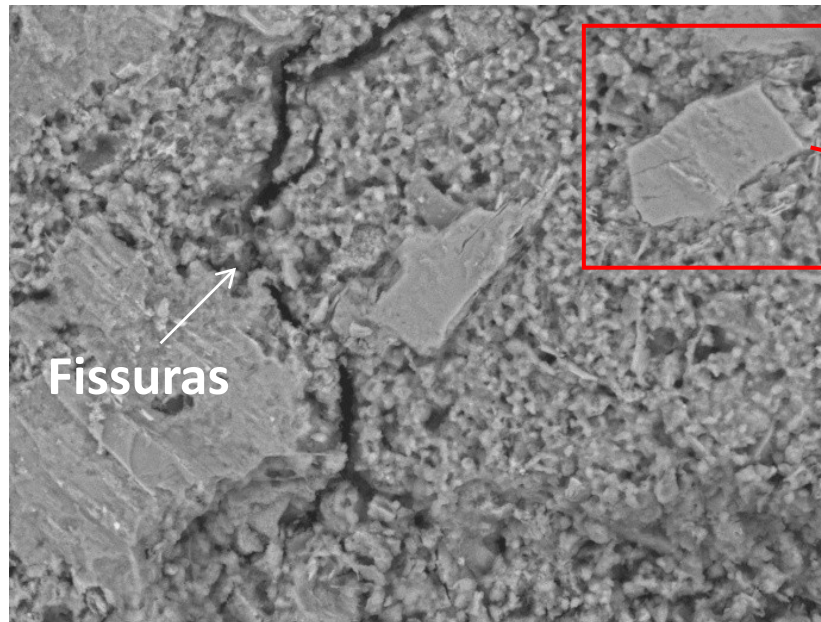
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do Concreto

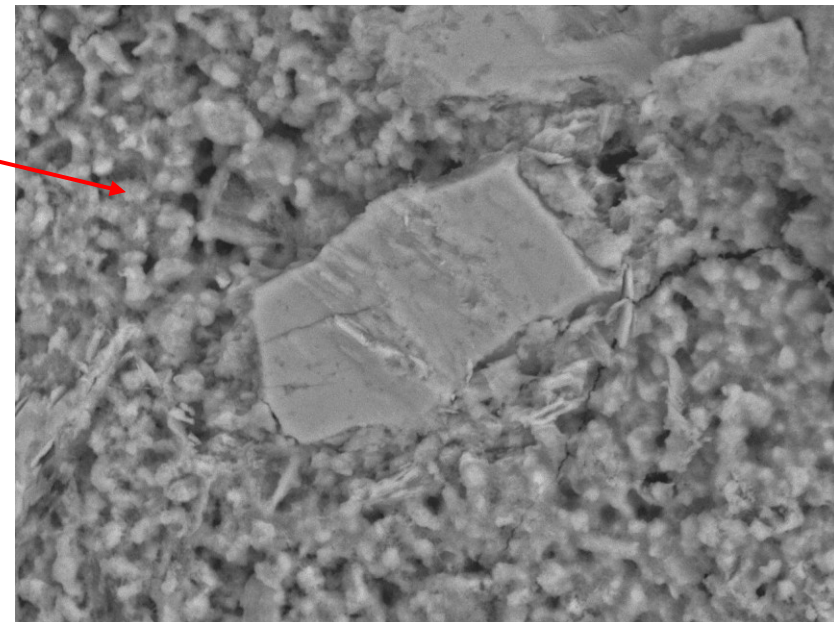
**Figura 18.** Imagens do concreto aos 28 dias de cura - Referência (0% de resíduo).

(a) Ampliação em 1000x



REF N D6.7 x1.0k 100 um

(b) Ampliação em 2000x



REF N D6.7 x2.0k 30 um



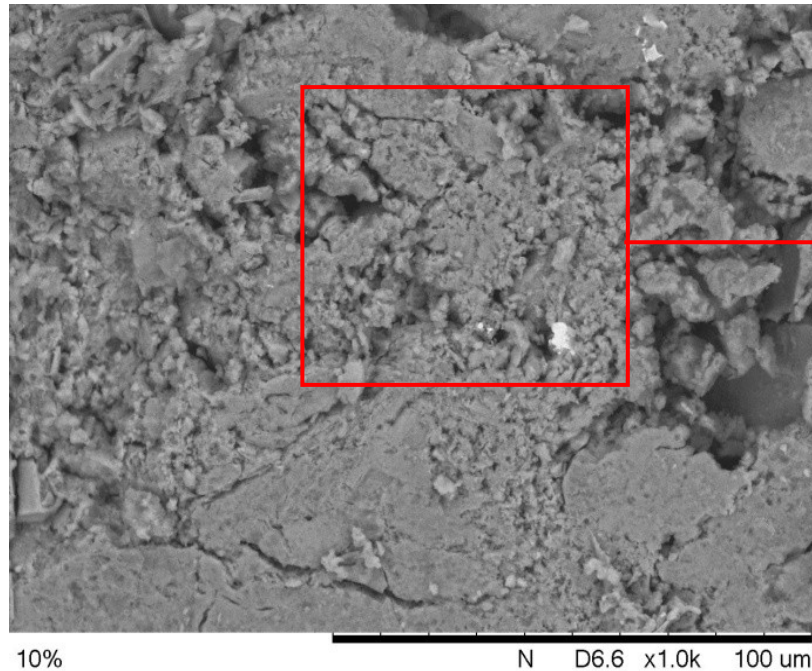
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

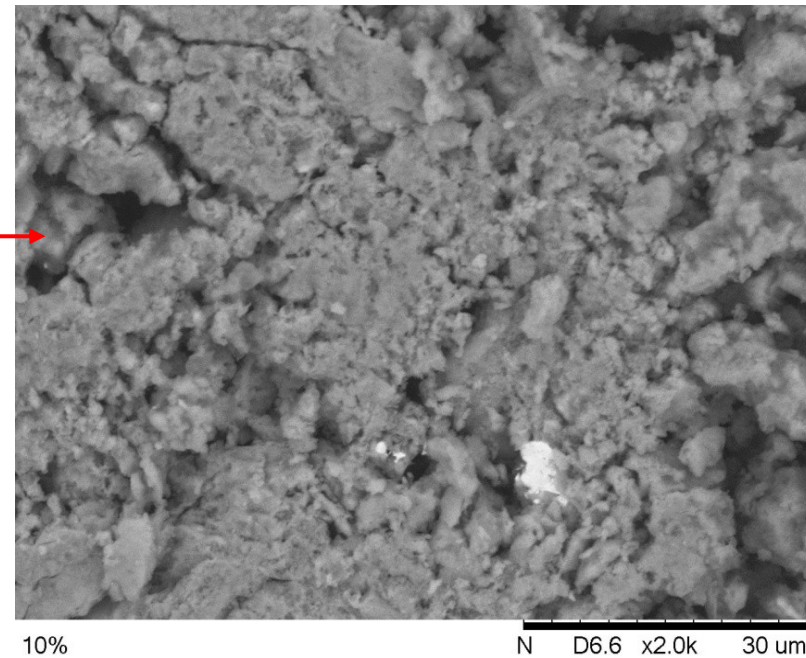
#### 4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do Concreto

**Figura 19.** Imagens do concreto aos 28 dias de cura - 10% de resíduo.

(a) Ampliação em 1000x



(b) Ampliação em 2000x







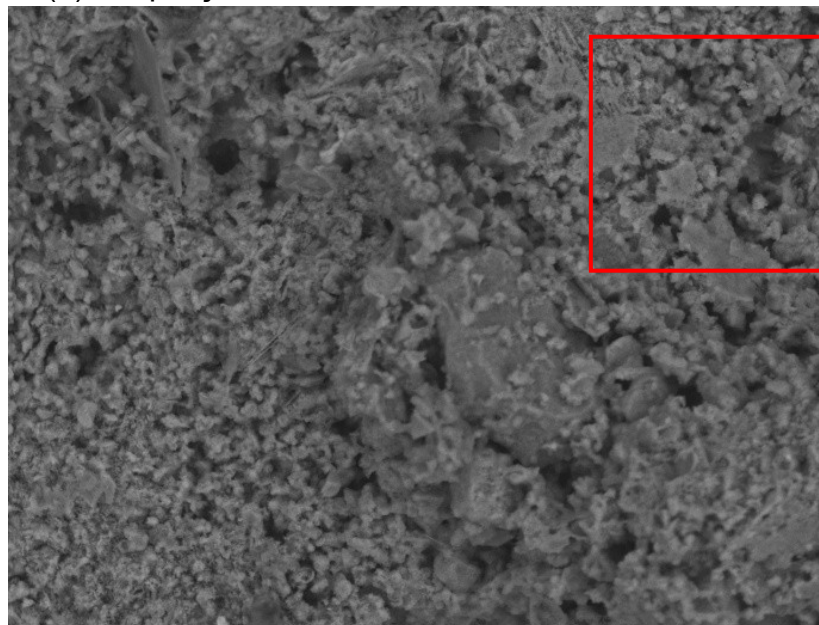
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do Concreto

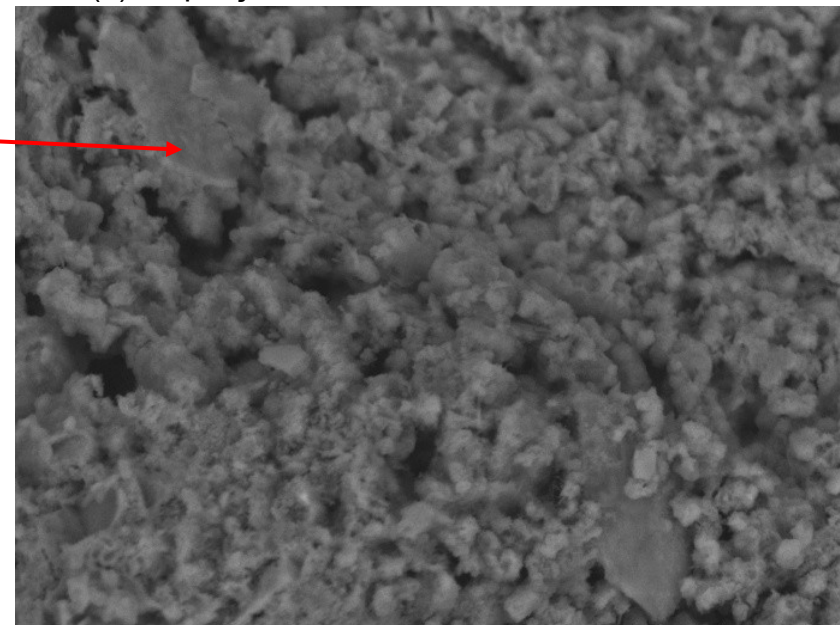
**Figura 20.** Imagens do concreto aos 28 dias de cura - 20% de resíduo.

(a) Ampliação em 1000x



20% N D5.7 x1.0k 100 um

(b) Ampliação em 2000x



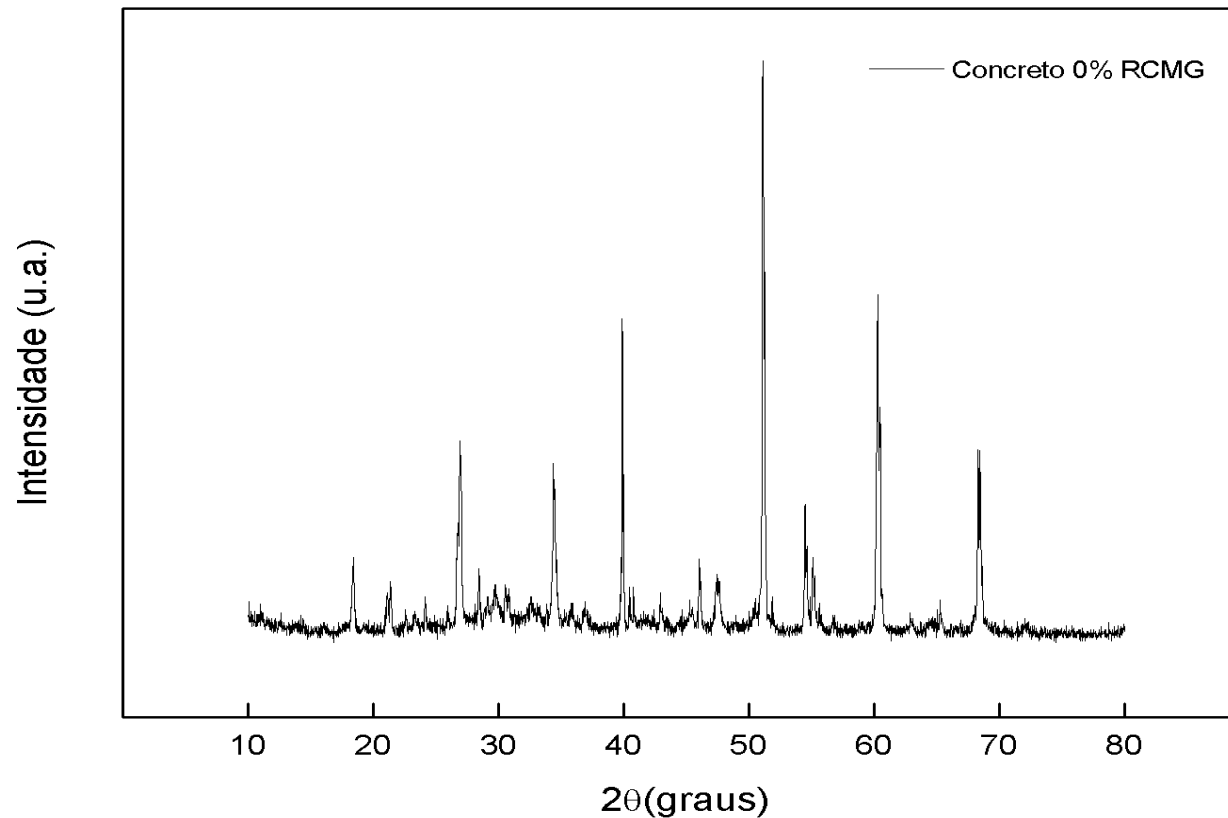
20% N D5.7 x2.0k 30 um



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.4 Difração de raio X – DRX do concreto

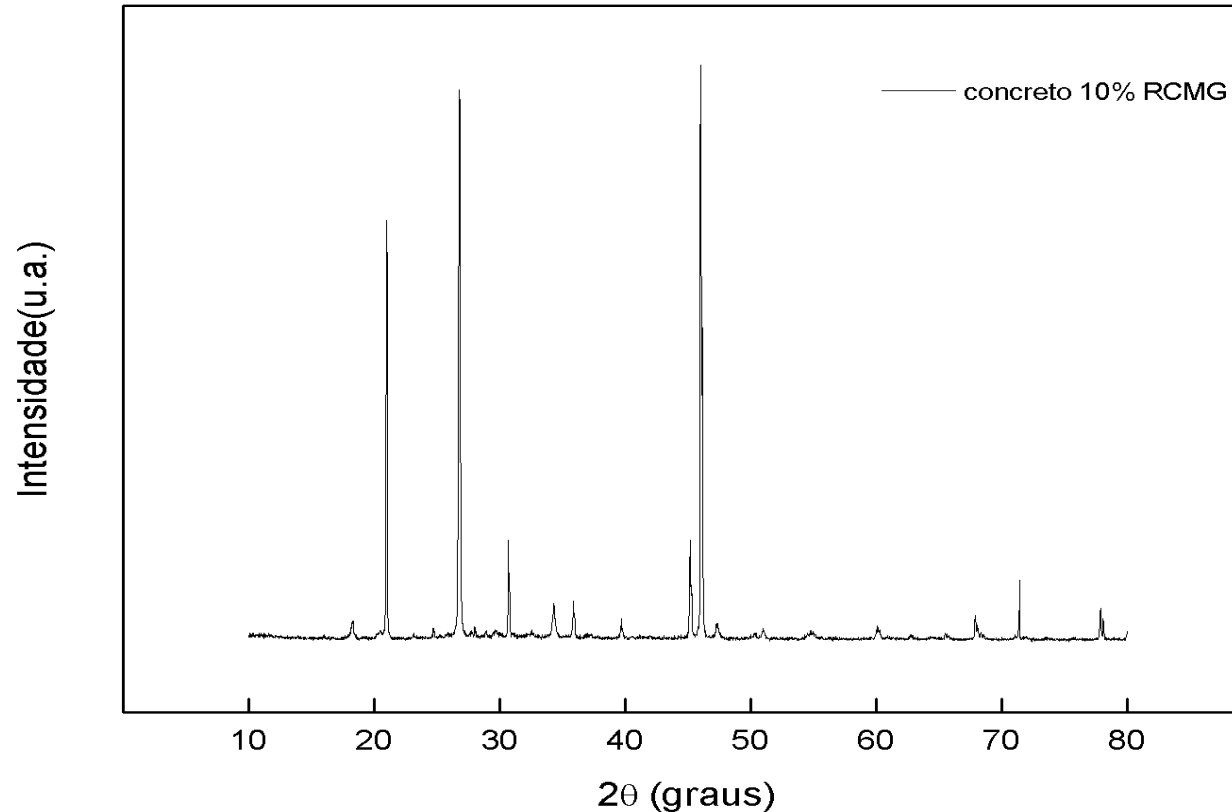




## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.4 Difração de raio X – DRX do concreto



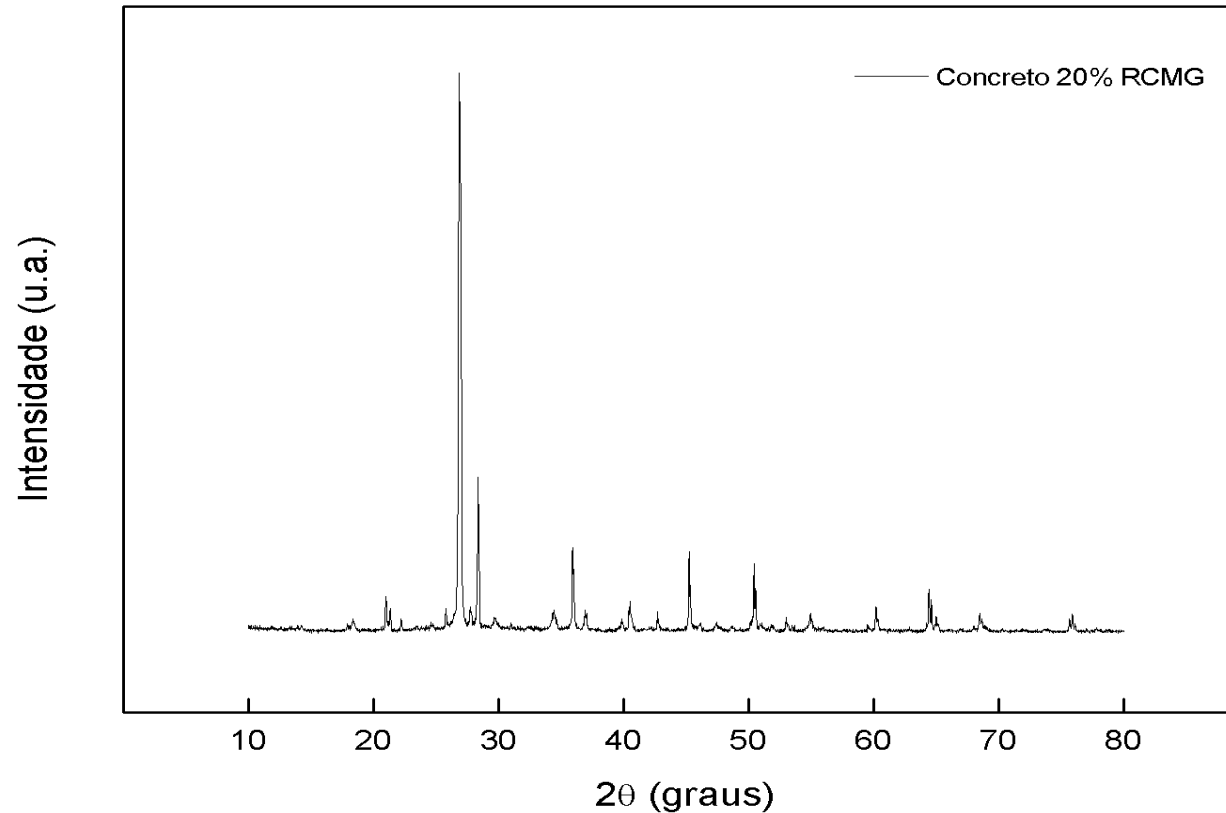




## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

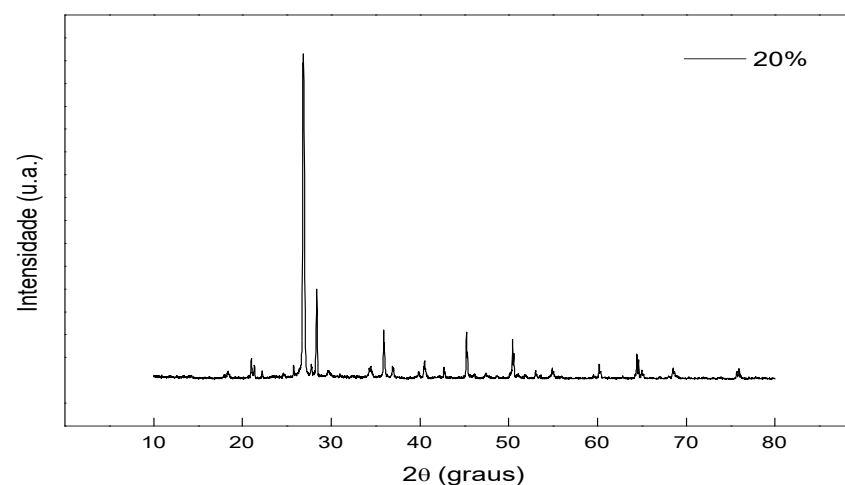
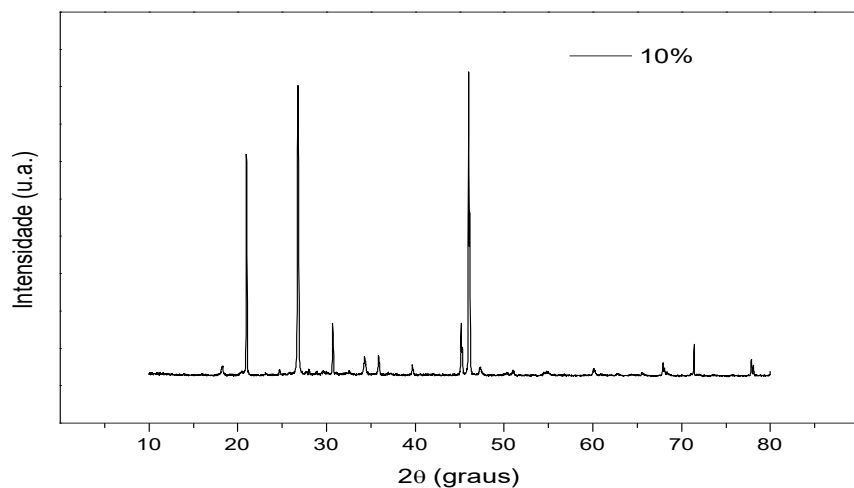
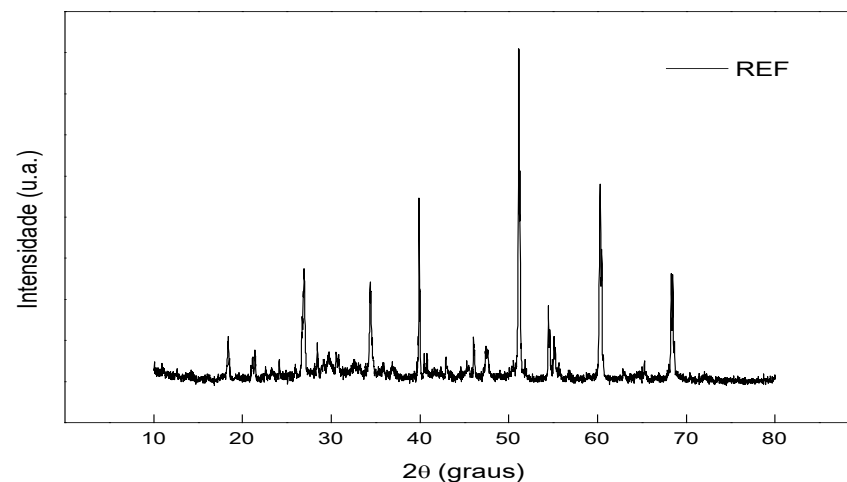
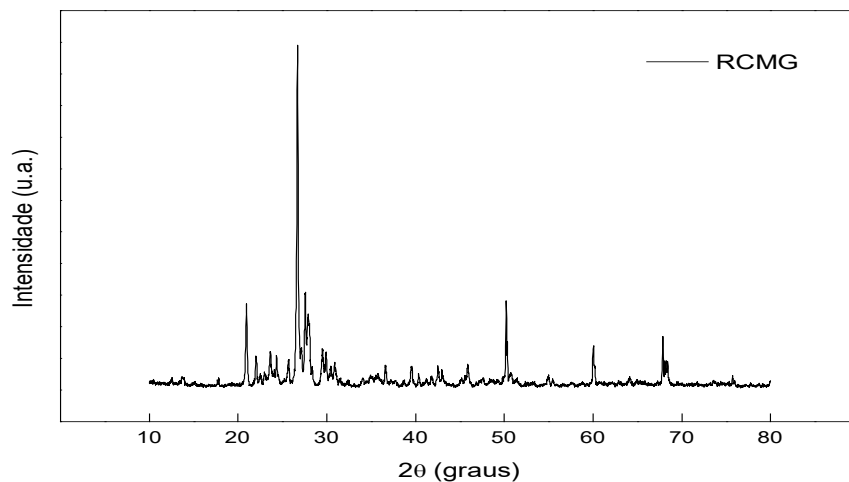
### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CPs

#### 4.2.4 Difração de raio X – DRX do concreto





### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO





## 5 CONCLUSÃO

- Não ocorreram perdas significativas de resistência mecânica com a substituição parcial do cimento *Portland* por RCMG nas proporções empregadas;
- Com o uso do rejeito pastoso de marmoraria, percebeu-se a necessidade de um volume maior de água na preparação dos concretos;
- As composições que receberam 10% do RCMG, apresentaram maior desempenho mecânico, atingindo em média 35 Mpa e valor percentual médio para absorção de água menor que 6, atendendo as exigências para aceitação de pavers estabelecidas na NBR 9781:2013;
- As amostras que receberam a fração de 20% do rejeito apresentaram resistência mecânica semelhante às composições sem adição de RCMG. Os índices de vazios e absorção de água atingiram patamares intermediários, estando mais próximos dos compósitos que receberam o RCMG.



# ***Mestrado Profissional em Materiais***

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## **5 CONCLUSÃO**

- O concreto desenvolvido neste trabalho apresentou resultados laboratoriais satisfatórios, tornando-se viável a substituição parcial do cimento *Portland* para produção de *pavers*.



# Mestrado Profissional em Materiais

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



## 6 TRABALHOS FUTUROS

- Produzir concretos com outras proporções com substituição parcial do cimento por RCMG, para análise da resistência mecânica, absorção de água e índices de vazios;
- Desenvolver traços de concreto "seco" para produção industrial com a utilização de máquinas hidráulicas ou pneumáticas específicas para produção de *pavers*;
- Desenvolver outros produtos aplicados à construção civil;
- Investigar a alta demanda de água quando é adicionado o RCMG ao concreto.





# ***Mestrado Profissional em Materiais***

*Materiais Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos e Compósitos*



**Obrigada!**