



Fundação Oswaldo Aranha

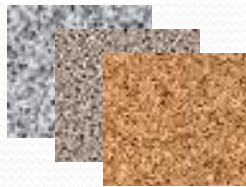


Mestrado Profissional em Materiais

Aluno : **Adriano R. B. Costa**

Desenvolvimento e Caracterização de Compósito de Concreto com adição de Reciclado Cerâmico de Obras civis

Banca Avaliadora:



Prof.^aDr.^a : **Cirlene Fourquet Bandeira**

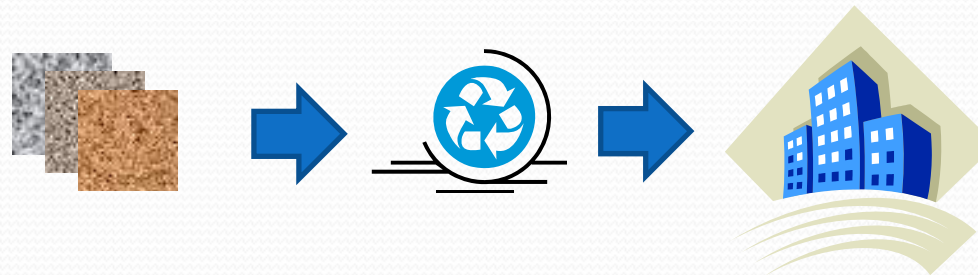
Prof.Dr. : **Luís Henrique Leme Louro**

Prof.Dr. Orientador : **Ricardo de Freitas Cabral**



Programação da Apresentação

1. Introdução
2. Objetivo
3. Justificativa
4. Revisão Bibliográfica
5. Materiais e Métodos
6. Resultados e Discussões
7. Conclusões Finais
8. Referências Bibliográficas
9. Agradecimentos e Encerramento



Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

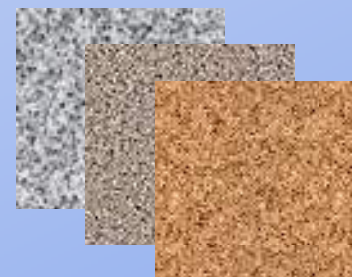
Introdução

- Quantidade mundial de RCDs vem aumentando.
- Passivo de materiais sem destino adequado.
- Reciclagem de RCDs ocorre há 20 anos (restrita às grandes Cidades e Construtoras).
- RCDs são Recicláveis (Vigas , Pilares, Pisos, Alvenaria , Telhas, ...)

- Por que RCD de Cerâmica de Pisos/Revestimento ?
 - Material Rígido
 - Boa resistência mecânica.
 - Compatível com o Agregado Graúdo padrão.
 - Leveza (densidade $\approx 12\%$ menor que a Brita).
 - Carência de pesquisa nesta área.



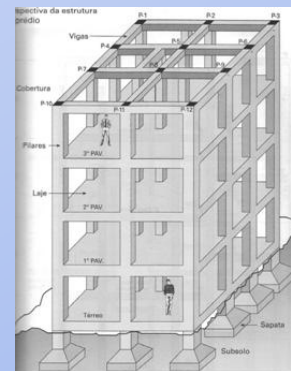
Passivo de descartes (SENAI, 2005)



Objetivo

Utilizando-se a Metodologia de Engenharia, visou-se:

- “Testar a viabilidade de Compósito de Concreto com Agregado de “Pisos Cerâmicos” (Classe A – CONAMA) com Resultados compatíveis com o “Convencional” (CONAMA, 2014; Fonseca, 2006 ; Cabral, 2007 ; SENAI, 2005; Santos, 2009, Silva 2014; Massould, 2012).



- Selecionar % (5, 10, 15 e 20) Viáveis de Substituição de Brita por Cerâmica de Revestimento, compatível com padrão Eng.^a em :

- Resistência à Compressão.
- Durabilidade.
- Vantagens técnico/econômicas.



Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Justificativa

➤ Realidade do impacto mundial dos RCDs não é totalmente medido.

➤ 20 a 50% do lixo mundial ⇔ Construções / Reformas (SENAI, 2005).

➤ A Construção Civil gera ≈50% do CO₂ (Campos, 2012); SENAI,2005)

➤ Motivos diretos para a Reciclagem :

▪ Reutilização de RCDs.



▪ Reciclar RCD também se recicla: Água, Areia, Cimento e Brita .



▪ Urgência :

- Eliminar descartes inadequados (Amaral,2013).
- Destinação ecológicamente correta.



▪ Reduzir Esgotamento das Jazidas;



▪ “Sustentabilidade Responsável” na Construção Civil.



Desperdícios: 12% à 22% (Cabral, 2007)



Revisão Bibliográfica

AGREGADOS

- Areias são Arenitos sedimentares fragmentados (\varnothing 0,06 à 2mm) pela Erosão via água (mar, rio, geleiras) vento, pelo fenômeno “Transporte” (Wicander, 2009) ;
- Areia é o “Agregado Miúdo” no Concreto \Leftrightarrow Preenche os espaços entre o Agregado Graúdo e ajudar na resistência (Botelho, 2012) .
- A Brita é o “Agregado Graúdo” britado de rochas (Granito ou Basalto). Dá Resistência e a Solidez ao Concreto. (Popp, 2012). Tensões de Ruptura de 80MPa a 200MPa (Botelho, 2012).



CIMENTO e CONCRETO - ORIGEM

- Gregos e Romanos já usavam mistura endurecida de Argamassa Pozolânica e Cal, batizada de “Concretum” . Aplicação atual descoberta somente no Século XVIII (Carvalho, 2008) .
- Conforme a cronologia (Carvalho, 2008) o Cimento moderno evoluiu a partir de vários inventores:



John Smeaton (1758)
Cimento Hidráulico



Vicat (1806)
Cimento Calcário +
Argila calcinados



Joseph Aspdin (1824)
Patente da 1ª versão
“Cimento Portland”



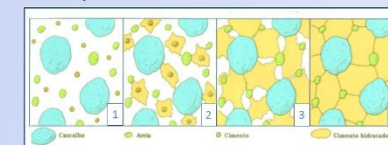
Louis Lambot (1855)
Tanques de Concreto +
malha de ferro.



Joseph Monier (1878) aplica (idéia de Lambot) Concreto com malha de ferro (tanques, vigas e pontes)
Cria também, novas técnicas experimentais com bons resultados aceitos pelas autoridades.

CONCRETO – REAÇÃO

- Componentes do Cimento têm elevada Energia Interna (Calcinados em “Alto forno”) ficando altamente reativos. Re-hidratados, reequilibram-se em menor nível de energia, liberando calor para o ambiente (Fonseca, 2010).
- Diminuição do calor de reação \Leftrightarrow Durabilidade do Concreto contra Fissuração (Fonseca, 2010).
- Peças de concreto sem Aditivos (ex. pozolana) perdem Resistência por “micro-fissuração” e com eles, ganham resistência Calor acelera a reação dos Aditivos (Fonseca, 2010).



Revisão Bibliográfica

RECICLAGEM

- Indústria gera 50% do CO₂ e 50% dos RCDs mundial (SENAI, 2005 ; Campos,2012) .
- Construção Civil é 1º gerador de impacto ambiental e 1º em RCDs (3 Bi.Tons/ano), consome 20%-50% Recursos (Cabral, 2009).
- Sem reservas próprias, SP importa areia à 100 km, elevando custo das obras e a poluição (SENAI, 2005) .
- Salvador, o RCD é 50% do lixo (≈2.000T/dia) (SENAI, 2005).
- Deve-se promover uso RCD de Cerâmica Vermelha preservando reservas naturais (Oliveira, 2009).
- “Standards Australia HB155,2002” padroniza RCD, adições de 30% (“Classe 1A”) concreto Fck>=40MPa (Massoud, 2012).
- “Comitê Instituto Americano de Concreto”, considera não haver limite % de uso RCD com vários limitantes e o uso de RCDs somente em funções estruturais (Massoud, 2012) .



CARACTERIZAÇÃO COMPOSITO

- Compósitos Cerâmicos Ensaio : Resistência a Compressão, Mód. Elasticidade e Volume de Poros por VPP. Consolidou resultados do Material Final via Estatísticas e Modelos matemáticos (Cabral, 2009).
- Usou Areia, Brita e Cimento Portland (ARI-CP V). Cerâmica Vermelha obtida de Olarias e RCDs. Uso peneira Ø19 mm para seleção do RCD (Cabral, 2009).
- Utilizou substituição da Brita por agregados de RCD nas Dosagens % de 20, 40, 60, 80 e 100 (Campos, 2012).
- Caracterizou o agregado gráudo utilizando Brita Basáltica e RCDs de Brita de Tijolos de Cerâmica Vermelha de aterros, olarias e CPs de concreto moído. Granulometria RCD peneiras Ø 4,8 e 19mm(Cabral , 2007).
- Efetuou 2 dosagens volumétricas (50% e 100%) para confecção de concreto com RCD de Cerâmica Vermelha (Fonseca, 2006).



Revisão Bibliográfica

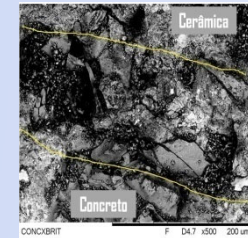
ABSORÇÃO DE ÁGUA

- Os Agregados de RCD (Argamassas e Cerâmicas Vermelhas) tiveram maior Absorção de Água (Silva, 2014).
- Maior Absorção de Água das Cerâmicas Vermelhas leva à incerteza do fator água/cimento (Fonseca, 2006).
- Médias de 5% de Absorção e 11% de Índice de Vazios (Referência 0%) 12,4% e Iv de 41,1% (100% RCD) (Fonseca, 2006).
- Variação entre Referência e com RCD \Leftrightarrow 121% (100% RCD) e 66% (50% RCD) (Fonseca, 2006).
- Obteve “IV” 2 a 3 vezes > Concreto Referência (adição de RCD de 20% à 100%) (Campos, 2012).



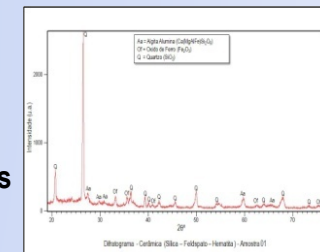
MICROSCOPIA VIA MEV

- A partir de 1100°C, o talco adicionado na massa de produção da Cerâmica acelerou o processo de densificação da mesma, influenciando em suas propriedades físico-mecânicas dos CPs sinterizados (Holanda, 2005).
- Morfologia de estrutura complexa com fases distintas, o cimento (cinza+ escuro) e formação dos hidratos de cálcio (Oliveira, 2006).
- Observou fraturas, porosidade difusa, vazios e formações circulares, devido a hidratação do concreto (Oliveira, 2006).



DIFRATOMETRIA

- Fez caracterização do Compósito de RCDs, com Difratomia de Raios X (Concreto, Argamassa e Cerâmica Vermelha) (Cabral, 2007).
- Efetuou análise da composição por difração de raios X para verificar elementos de hidratação participantes do concreto (adição de 45% de RCD + aditivo polimérico acrílico em solução aquosa) (Oliveira, 2006).
- No DRX do RCD de Cerâmica Vermelha, Quartzo dominou seguido da Moscovita e da Moganita (Cabral, 2007).



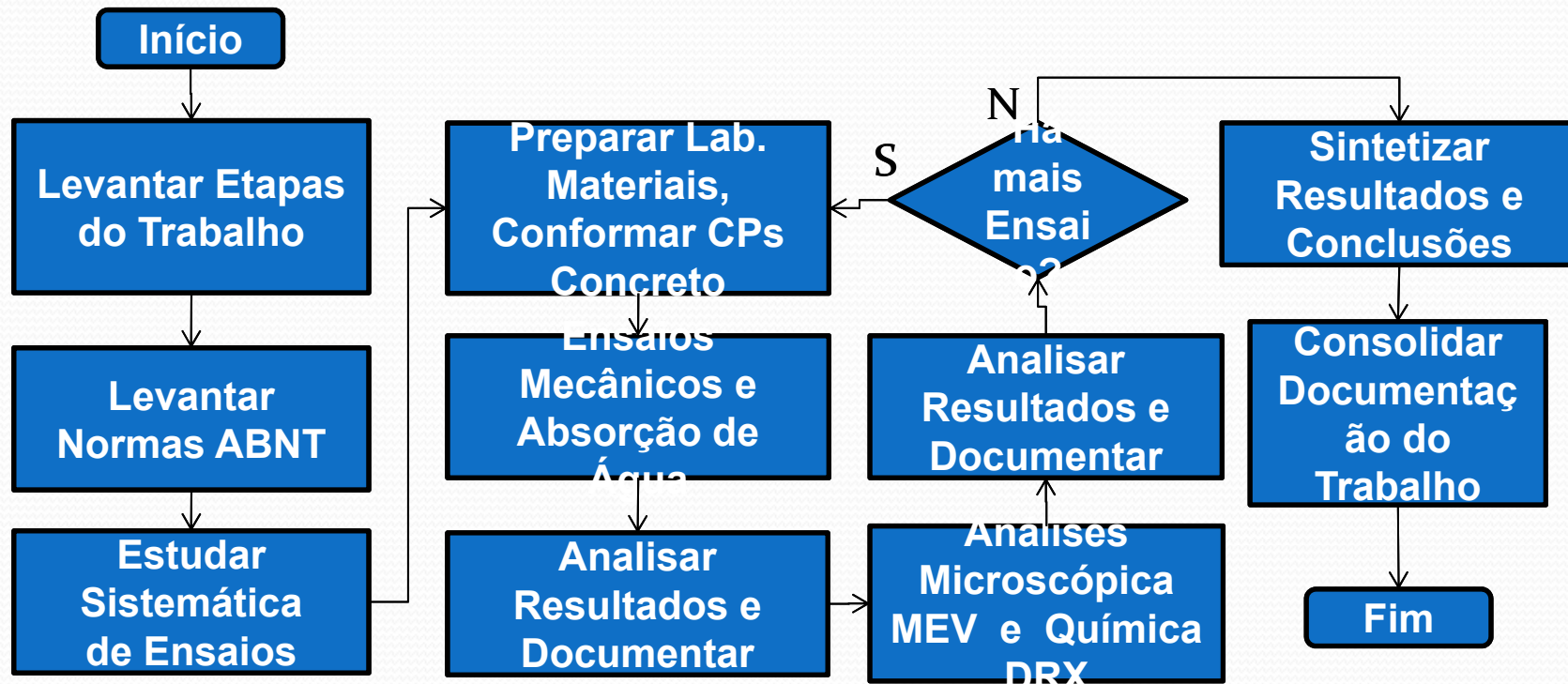
Revisão Bibliográfica

RESISTÊNCIA MECÂNICA – RESULTADOS

- Obteve Resistências > 25MPa com % acima de 20%, com Cimento CPV-ARI (alta resistência) Brita de Basalto que geram maior Resistência à Compressão que o Granito. Usou fator $a/c < 0,6$ e adições de 50% e 100%. Demonstra que RCDs são viáveis e geram boas resistências (Troian, 2010).
- Alerta sobre limitações do RCD, caso contenham Materiais com Faces Polidas (Revestimento e Pisos) que diminuem as Resistências Mecânicas (Porto, 2008).
- Limitações da Reciclagem: Separação \leftrightarrow Dificuldade de mapeamento dos RCDs pelas usinas (contaminantes e impurezas). Coleta \leftrightarrow Longas distâncias; Congestionamentos; Falta Logística (coleta, descarga e reaproveitamento) (Porto, 2008).
- No Cálculo da Resistência à Compressão utilizou Equação (Lei de Abrams - auto ajuste para previsão do valor ótimo da Resistência) (Cabral, 2007).
- Verificou efeito de Aditivos Minerais no Concreto (pozolana) obtendo $F_{c28} = 38\text{MPa}$ contra 36MPa do Concreto sem aditivo. Tração de 3,5MPa (aditivado) contra 2,7MPa (não aditivado). Mostra que Aditivo eleva Resistência à Compressão (Fonseca, 2006).
- O uso de Agregados RCD afetam as propriedades do Concreto : fator a/c ; Resistências Mecânicas, Permeabilidade e Retração (Massould, 2012).
- Verificou que o Calor da reação, tanto Concreto convencional como Aditivado são semelhantes, assim como a resistência nas idades iniciais. Mas após 2 dias, Convencional > Aditivado e se diferenciam (Massould, 2012).



Materiais e Métodos - Fluxo de Trabalho



Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Materiais e Métodos - Materiais

➤ **Materiais de produção do Compósito**
(obtidos na UniFOA e/ou em Lojas do comércio local) :

Cimento



Tipo :Portland
40x40 **Tipo: Potável**
Marca : CSN
Modelo : CPIII-40 RS
PEI4 **Modelo: N/D**

Areia



Tipo: Média Ø2 mm
Marca: Areal Sta.
Fornec.: SAAE-VR

Brita



Tipo: 1 e 2 (Ø9,5 à 19 mm)
Marca: Pedreira
Volta Redonda

Cerâmica de RCD



Volta Redonda



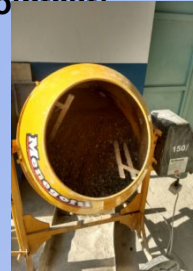



Água




Revestimento
Marca : ARTEC
Modelo: 53011-

Materiais e Métodos - Instalações

➤ **Preparação, Ensaio Mecânico e Durabilidade (Lab. Engenharia - UniFOA) :**

<p>Balança (Ohaus)</p> 	<p>Granulômetros (Malvern Mastersizer 2000)</p> 	<p>Betoneira (Manoratti)</p> 	<p>Prensa Câmara Úmida</p> 	<p>Estufa (EMIC T1000)</p> 	<p>de Secagem</p> 
---	--	---	---	---	--

<p>Peneiramento Ensaio de Absorção de Água</p> 	<p>Mistura Cura de Concreto</p> 	<p>Ensaio Mecânico</p> 
---	--	---

➤ **Análises Morfológica (CIT) - UniFOA :**

<p>MEV Hitachi XRD-6100</p> 		<p>DRX Shimadzu</p>
--	--	----------------------------

Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Materiais e Métodos - Moagem e Peneiramento

Sob orientação das Normas ABNT, foram feitas as etapas de Moagem e Peneiramento :



Moagem da Cerâmica em CP metálico com Cavadeira.

Peneiramento da Cerâmica (Ø 9,5 à 19 mm – Forma Lamelar ⇔ Brita 1 e 2)

Peneiramento da Areia Média (Ø 2mm)

Peneiramento da Brita 1 e 2 (Ø 9,5 à 19 mm)

Granulômetros : Helvan , Manupen

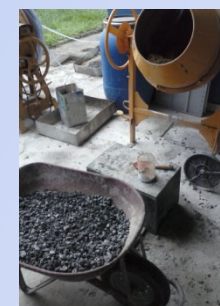
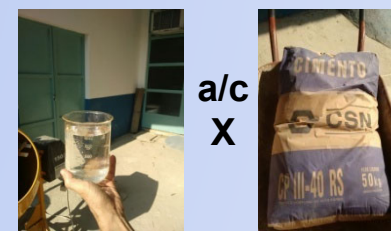
Peneiras Circulares : Soloteste

Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Materiais e Métodos - Premissas de Dosagem

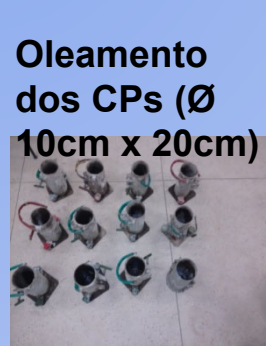
Usando métodos da ABNT, definiu-se Premissas de Dosagens :

- Traço: 1 (Cimento) : 2 (Areia) : 3 (Brita + Cerâmica)
- Meta : Res.Compr.($F_{c_{28}}$) \approx 25MPa (Botelho, 2012)
- Fator Água x Cimento: \approx 0,65 \Leftrightarrow (Resist. e Durabilidade)
- Teste de Slump (Plasticidade): 6 cm \pm 1 cm
(Ambiente Classe I: Baixa agressividade química)
- Volume (L = litros) no Traço Padrão (condições de campo):
10L (Cimento) + 20L (Areia) + 30L (Brita + Cerâmica) + 6,5L (Água)
- N° de CPs / Traço \geq 22 CPs :
 - 5 x 3 CPs - Ensaio Compressão (14, 21 e 28dd) .
 - 5 CPs - Ensaio Tração (28dd) .
 - 2 CPs - Ensaio de Abs. de Água .
- N° de Traços (p/ Adição): 1 à 2

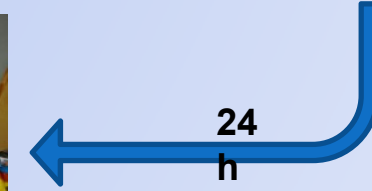


Materiais e Métodos - Conformação dos CPs

- **Conformação dos conjuntos de 22 CPs p/ Adição) :**
(NBR5738, 2007; NM067, 2003)



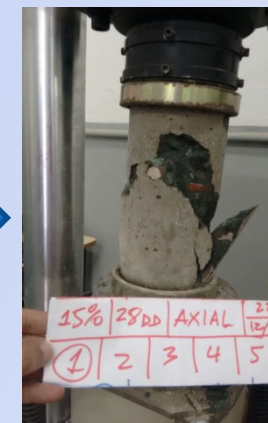
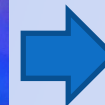
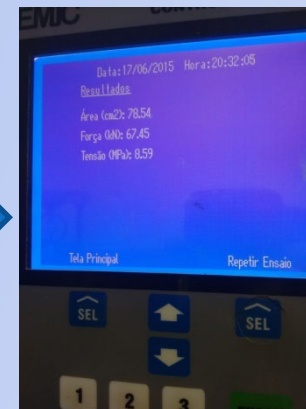
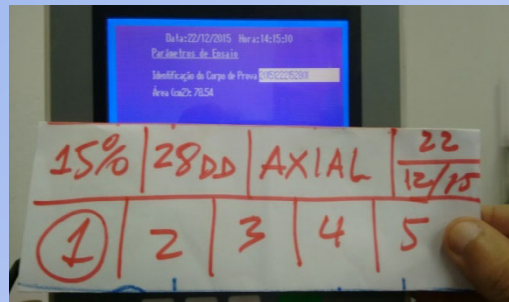
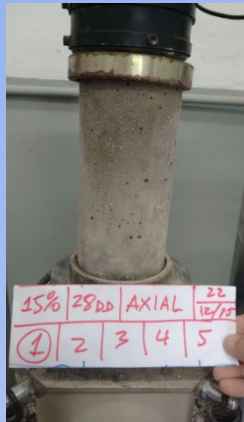
- **Após 24h, Desenforma e Submersão em Tanque d'água ⇔ Cura (±23°C) :**



Materiais e Métodos - Ensaio de Resistência Mecânica

Ensaio (Compressão e Tração) p/ cada Adição (0, 5, 10, 15 e 20%):
(NBR5739, 2007)

- Grupos (5 CPs) levados a Ensaio : - Compressão (14, 21 e 28dd Cura)
- Tração (28dd)



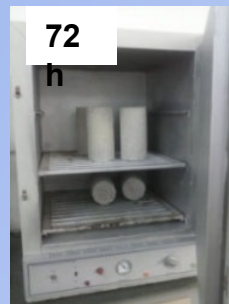
- Tensões registradas pela Prensa EMIC T1000.
- Registradas Fotos dos rompimentos e Tensões.

Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Materiais e Métodos – Ensaio Absorção de Água

- Durabilidade do Concreto ⇔ “Índice de Vazios”.
- Maior “Índice Vazios” ⇔ Mais Vulnerável (ataque Químico) ⇔ Menor Durabilidade.
- “Índice Vazios” obtido no Ensaio de Absorção de Água (NBR9778).

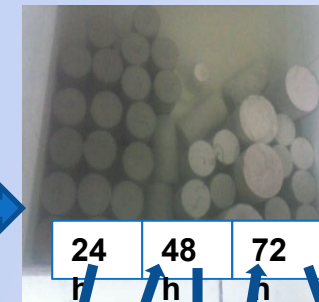
• 2 CPs de cada Adição Pesados e colocados em Estufa (Secagem: 72h).



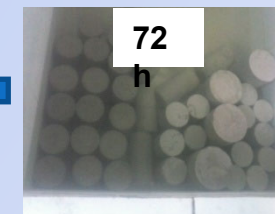
• Após 72h, pesados e submersos em Tanque d'água por mais 72h.



• Após submersão, foram “pesados e re-submersos” sucessivamente: 24h , 48h e 72h.



• Submersos novamente por 72 h, foram pesados em balança hidrostática.



Balanças de Precisão Marcas : BEL Welmy

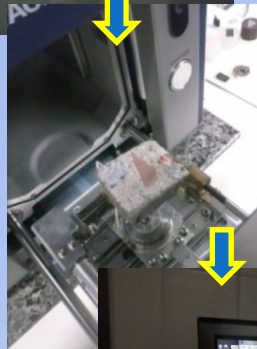
Materiais e Métodos - Análise MEV

Capturadas as Imagens da Morfologia com Microscópio Eletrônico de Varredura (Hitachi TM3000) :

1- Cortadas Amostras
Pastilhas $\approx 2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 1,5\text{cm}$



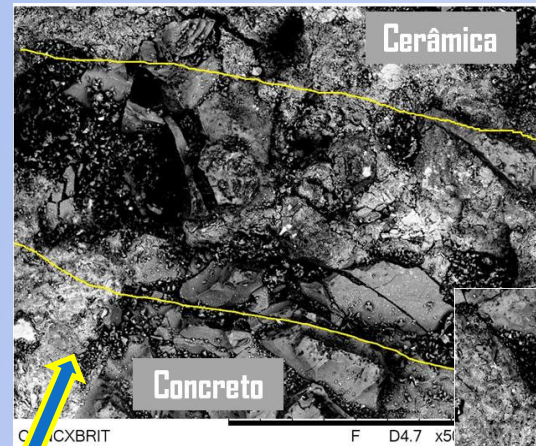
2- Pastilhas colocadas na câmara de varredura.



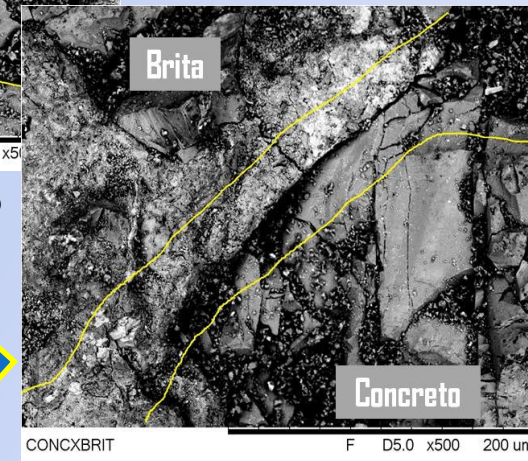
3- Captura de Imagens :
- Foco nas Interfaces
- Magnitudes : 20x 50x 100x, 500x, 1000x, 2000x, 5000x e 10000x.



4- Nomeadas e gravadas em HD do MEV.



Cerâmica x Concreto (500x)



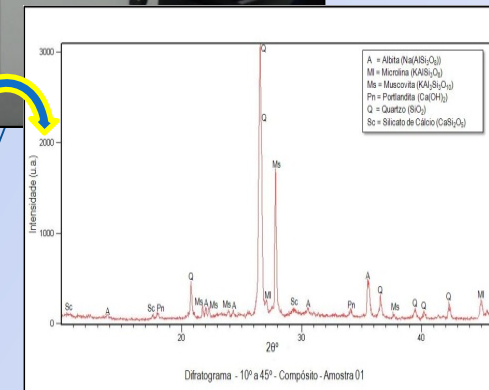
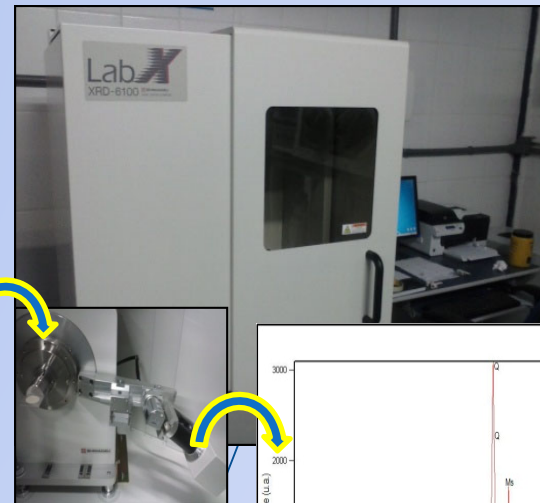
Brita x Concreto (500x)

*Não foi preciso Metalização (Cimento e Cerâmica contêm Oxido de Ferro e Alumina).

Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Materiais e Métodos - Análise DRX

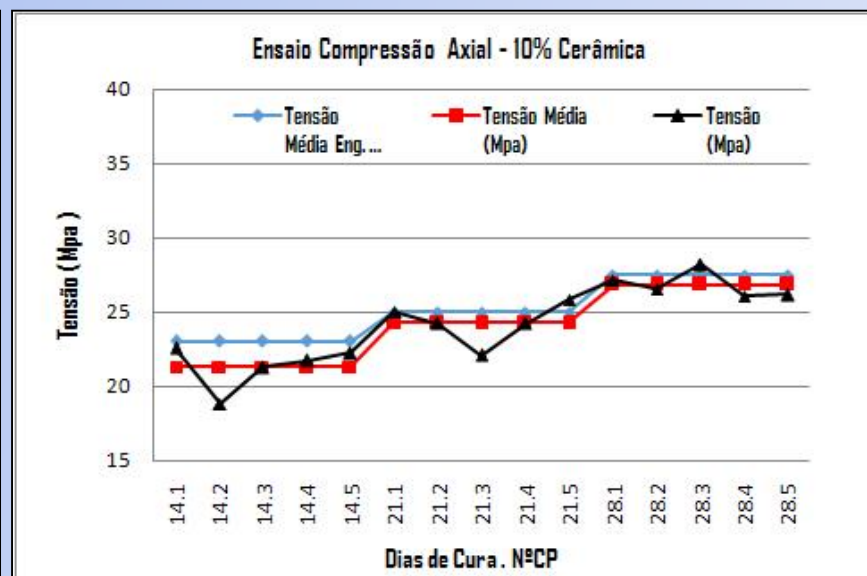
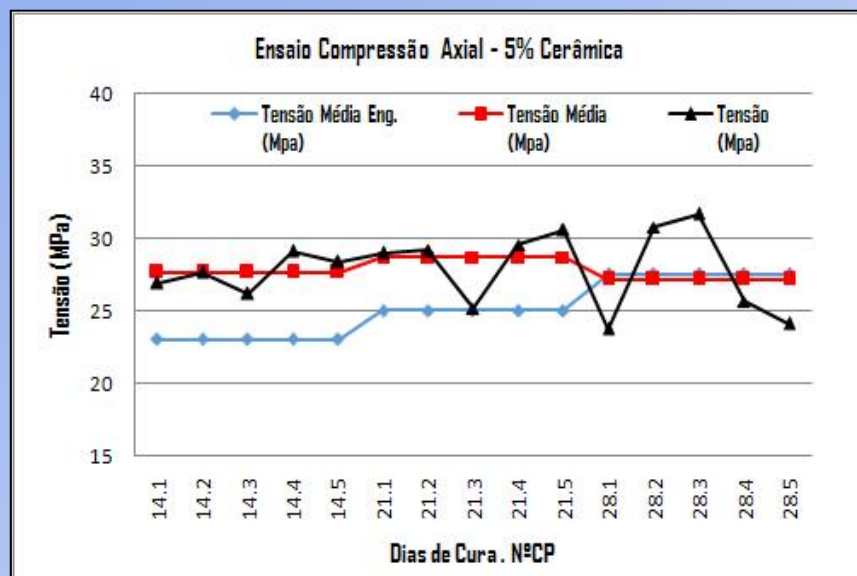
- **Produção Amostras (Cerâmica, Areia, Cimento, Brita e Compósito) :**
 - Moídas com martelo metálico (Cerâmica, Brita e Compósito).
 - Pulverizado material em cadinho (graal) de louça.
 - Passado material pulverizado em peneira de Ø2mm.
 - Materiais produziram 5 lâminas de pó.
- Analisadas no difratômetro com registro em mídia .
- Efetuadas Indexações de Picos via cartas JCPDS(1979).



Resultados - Resistência do Compósito à Compressão

✓ 5% - Resist. média $F_{c_{21}} = 28,7 \text{ MPa}$ ($F_{c_{28}} = 27,1 \text{ MPa}$ \Leftrightarrow 3CPs com problemas de conformação).

✓ 10% - Resist. média $F_{c_{28}} = 26,9 \text{ MPa}$ ($>$ meta Padrão 25 MPa e pouco $<$ 27,5 MPa (Faixa Eng^a 15 a 40MPa).

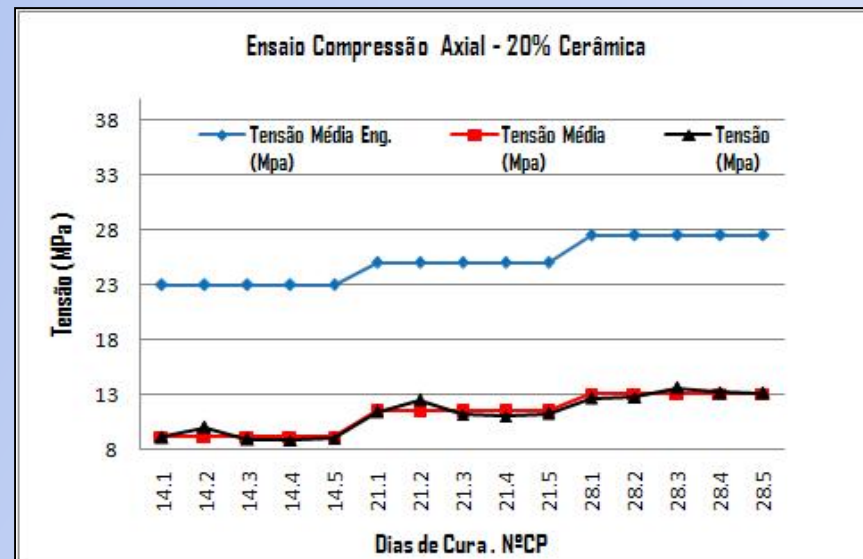
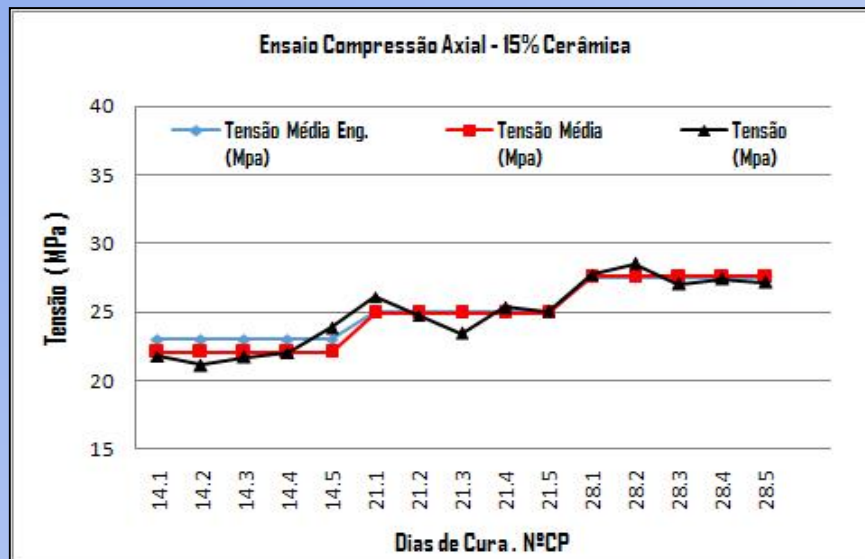


*Resistência definitiva : 28dd (80% Resistência) 360dd (100% Resistência).

Resultados - Resistência do Compósito (Compressão)

✓ 15% - $F_{c28} = 27,5 \text{ MPa}$ (= 27,5 MPa Faixa de Eng^a) (Botelho, 2012) !!!

• 20% - $F_{c28} = 13 \text{ MPa}$, muito abaixo da meta (25 MPa) (Troian, 2010; Campos, 2012).



• 0% (Ref.Experim.) - $F_{c28} = 18 \text{ MPa}$ < meta de 25 MPa (Problemas na conformação ⇔ Descartado).

✓ F_{c28} (5% à 15%) acima da meta 25MPa (média Eng^a - Botelho, 2012).

✓ Desvio Padrão F_{c28} (5,10 e 15%) foi $\leq 4 \text{ MPa}$ (Limite ideal F_{c28}) (NBR12655, 2006).

Resultados - Resistência do Compósito (Compressão)

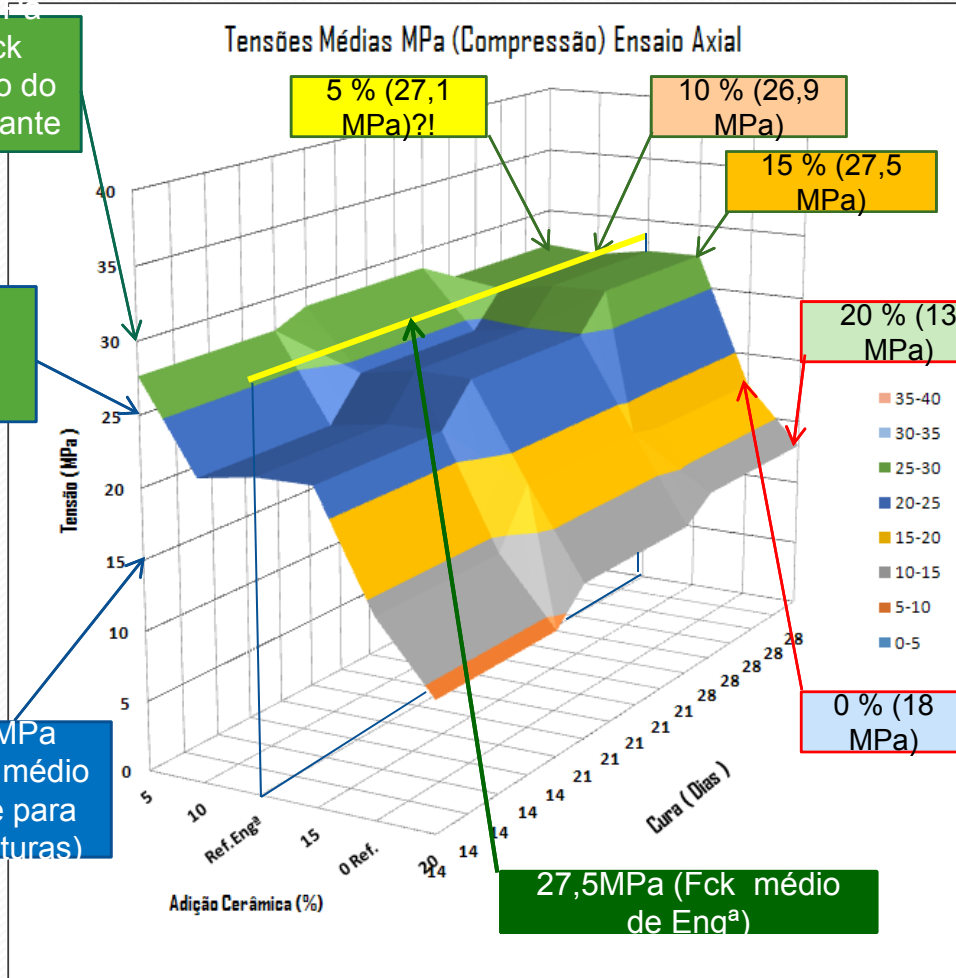
- Tensões Médias diminuíram quanto maior % Cerâmica.
- ✓ Fc28, dentro da faixa Verde (25 a 30MPa).
 - ✓ 5% Fc₂₁ = 27,1 MPa !!
 - ✓ 10% Fc₂₈ = 26,9 MPa
 - ✓ 15% Fc₂₈ = 27,5 MPa
- Adições de Referência :
 - 0% Fc₂₈ = 18 MPa (1ªRef. Descartada)
 - Fc₂₈ = 27,5 MPa (2ªRef. Adotada)
- ✓ Fc₃₆₀ serão ≈20% maiores.

30MPa
(Fck médio do fabricante)

25MPa
(Fck médio p/ cálculos Eng^a)

15MPa
(Fck médio base para estruturas)

27,5MPa (Fck médio de Eng^a)



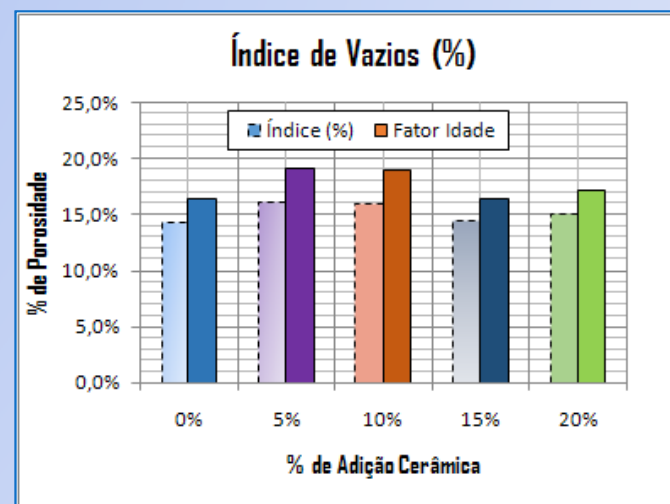
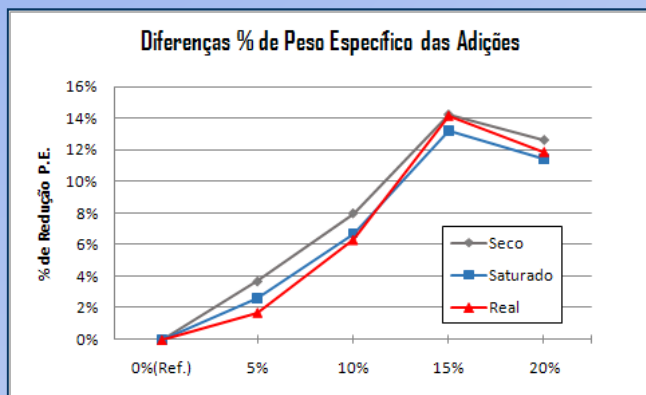
Resultados - Absorção de Água - Índice de Vazios

Durabilidade do Concreto ⇔ direta com Índice de Vazios.

Compósito:

- Compósito absorveu + água (Absorções irregulares). (Silva, 2014; Fonseca, 2006).
- Índ. Vazios : Marginal / Ruim” (Grau I - Durabilidade : Rurais Submersos) (Andrews,1996 ; Fonseca, 2006)
- Para Grau II (Ambientes Urbanos) :
- Dosagem/Conformação mais rigorosos e com < “a/c”.

Classificação do Índice de Vazios			
% Adição Cerâmica	Índice (%)	Fator Idade	Avaliação
0%	14,40%	16,40%	Marginal
5%	16,11%	19,11%	Ruim
10%	15,92%	18,92%	Ruim
15%	14,44%	16,44%	Marginal
20%	15,10%	17,10%	Ruim



✓ Densidade Compósito até 12% menor que padrão (Cabral, 2007).
Peças + leves ⇔ Economia : Brita / Armadura / maior Segurança.

Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

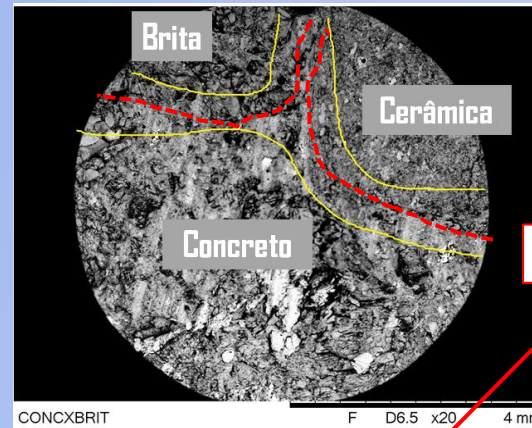
Resultados – Morfologia via MEV

Aderência “Concreto x Brita” > “Concreto x Cerâmica”

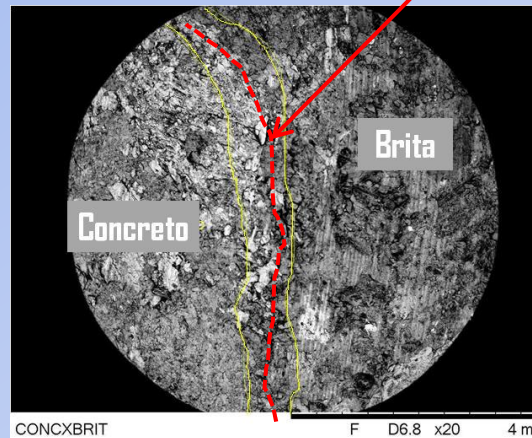
(Macro-Porosidade : Brita > Cerâmica)

- ✓ Boa compactação.
- ✓ Difícil distinguir componentes.
- ✓ Formação:
 - Aglomerados finos e grãos unidos por cimento.
 - Estrutura complexa (Oliveira, 2006 ; Time LIFE™, 1996).
- ✓ Massa compacta (Oliveira, 2006):
 - Agregados envolvidos em Silicatos.
 - Aparência : cinza, granular, mássica / plástica .

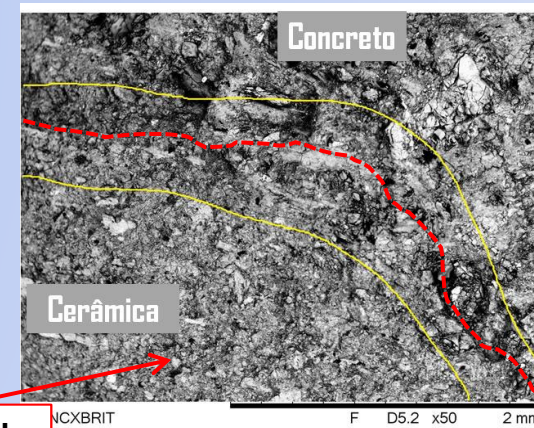
Ex ao lado:
Micrografia 3, adição de 5%



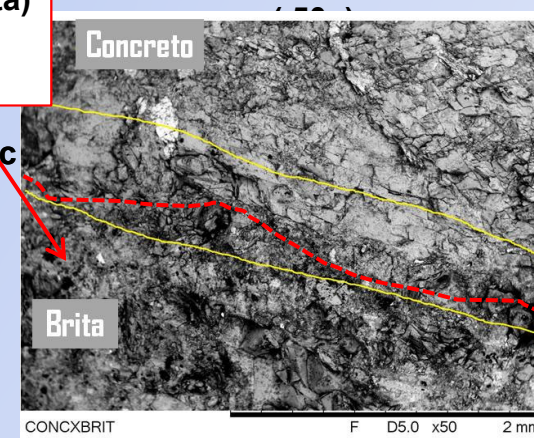
Cerâmica x Concreto (20x)



Brita x Concreto (20x)



Cerâmica x Concreto (50x)



Brita x Concreto (50x)

Interfa
ce

Porosida
de (Brita)
mais
rústica
que da
Cerâmica

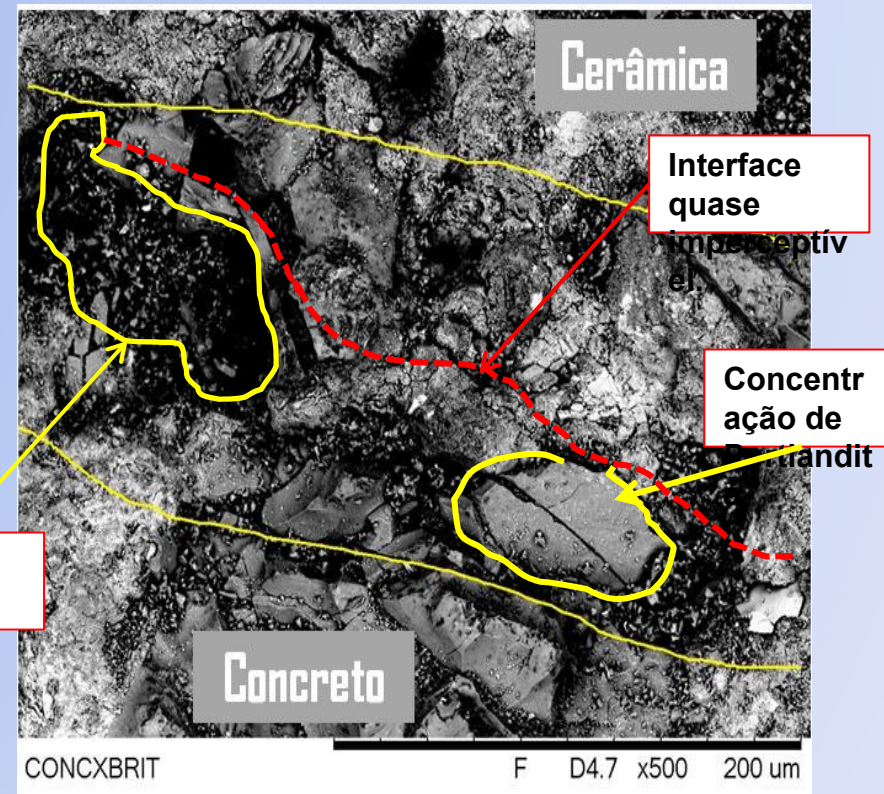
Desenvolvimento e caracterização de composto de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis

Resultados – Morfologia via MEV

Amostra de 5% e 15% de adição :

- Boa aderência convalidou as Resistências obtidas (Oliveira, 2006).
- ✓ Interface “matriz x cerâmica” identificada a 500x. (Exs.: Microgr.3, Microgr.4 e Microgr.8)
- ✓ Dificuldade de distinção é Excelente: Indica propriedades / afinidades morfológicas ⇔ Mecânica simbiótica mais homogênea (Smith, 2012; Callister, 2007).

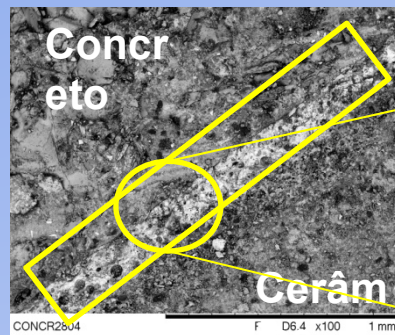
Pó de Brita e/ou Areia



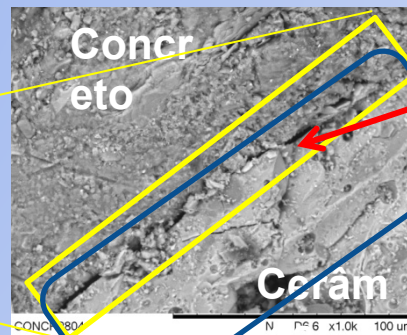
Microgr.3 – Amostra 5% - Matriz x Cerâmica (500x)

Resultados – Morfologia via MEV

- Baixas porosidade e aderência entre face Vítrea e Matriz gerou baixa resistência (Porto, 2008).
- Ex.: Adição de 20% apresentou queda substancial de Fck .



Matriz x Cerâmica (100x)



Matriz x Cerâmica (1000x)

Vazios lineares na Interface
Baixa aderência
Redução: Resistência mecânica

Frita (Vidro armofo)



- Baixa Resistência ⇔ “Vol. Cerâmica” + “Granulométrica RCD”.
- Maior % Cerâmica ⇔ Maior Σ Superfície Vítrea ⇔ Menor Resistência

Resultados – Morfologia DRX

CERÂMICA

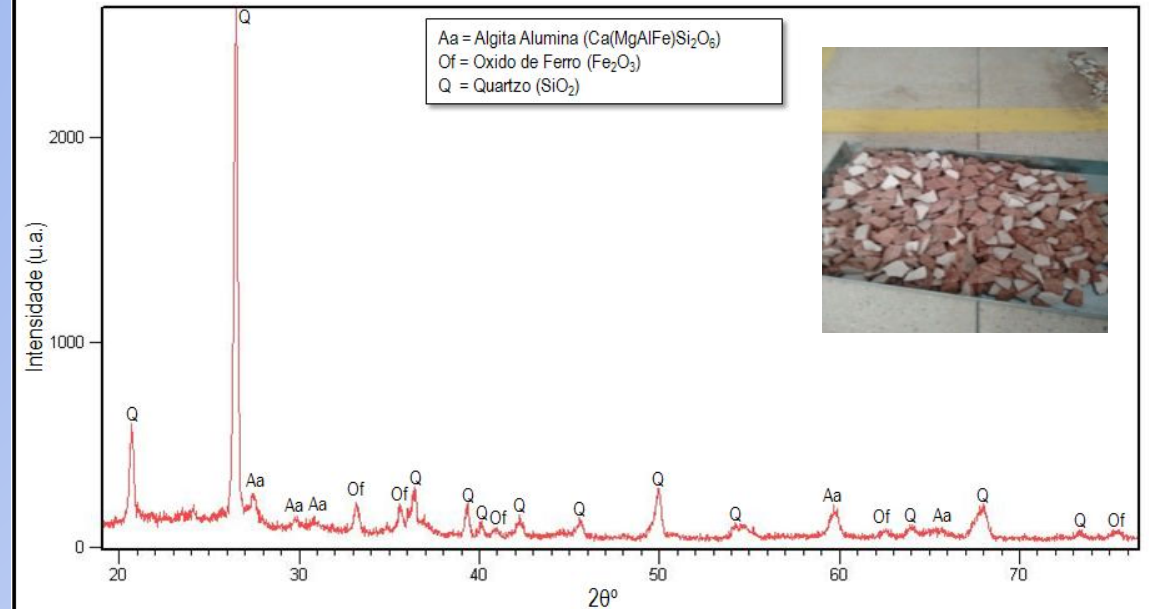
Cerâmica de Revestimento:

- ✓ Quartzo (SiO_2) predomina
10 picos de 21° a 73°
- ✓ Feldspatos Algita (argila de alumina) : $27^\circ, 30^\circ, 59^\circ$ e 66° .
- ✓ Óxido de Ferro (Fe_2O_3)
5 picos entre 33° a 79° .

Predominam Quartzo e “Algita”
que combina toda Estrutura
policristalina fundida à 1100°C
(Meira, 2001, p.6).

Quartzo + Feldspato \Leftrightarrow Dureza e Resistência Mecânica (Souza, 2005, p.3).

Gráfico 17



Difratograma - Cerâmica (Silica – Feldspato – Hematita) - Amostra 01

(2 θ, 5 a 15 mm)

Resultados – Morfologia DRX

AREIA

Areia de Leito de Rio:

✓ Predomina o Quartzo (SiO_2) :
16 picos entre 10° a 80°

✓ Menor ocorrência:

- Óxidos de Zircônio: 30° , 50° e 55°
- Cliftonita(C) : 26°
- Óxido de Cobalto (CoO) : 42°

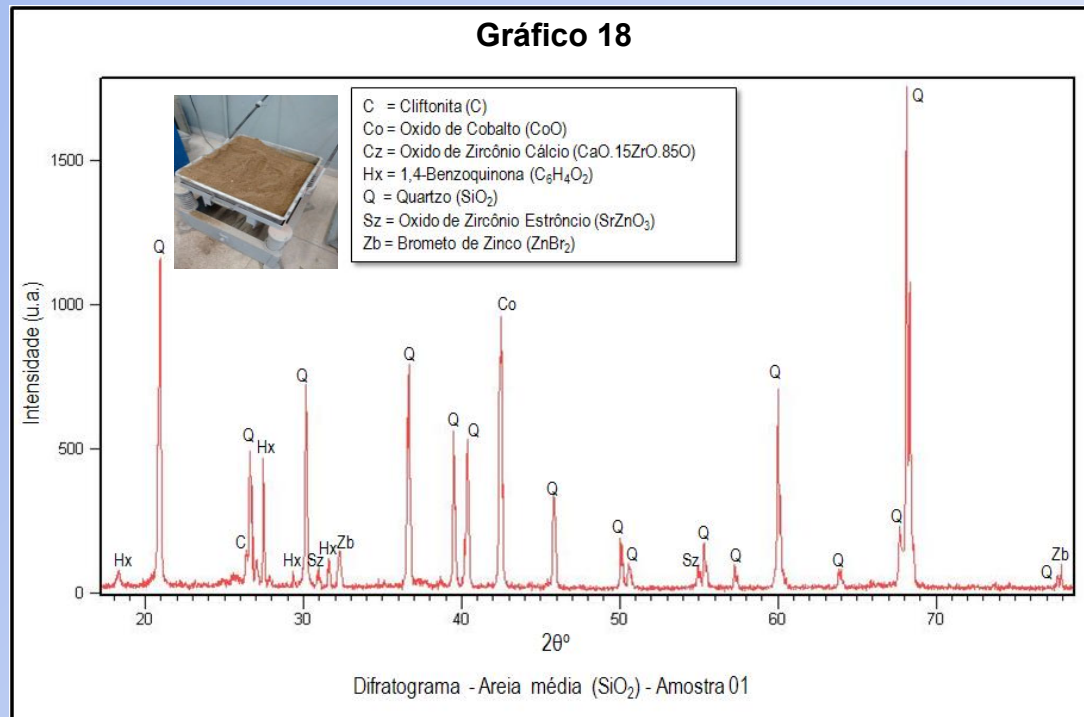
✓ Composição dentro do padrão com:

- Quartzo (Sílica) dominando.
- Incidência : Cálcio, Carbono, Zircônio e Zinco .
(Cabral, 2007,p.127;
Silva,2013,p.56)

• Aromático Benzoquinona ($\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$) a 18° , 28° e 32° ???

Contaminações possíveis: No leito do rio ; No transporte ; Armazenamento na Loja.

Gráfico 18



Resultados – Morfologia DRX

BRITA

Brita de Granito :

✓ Morfologia Básica:

- Quartzo (SiO_2): 21°, 46°, 68° e 79°
- Feldspato calcosódico “Albita” ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$): 22 picos (10° a 80°)

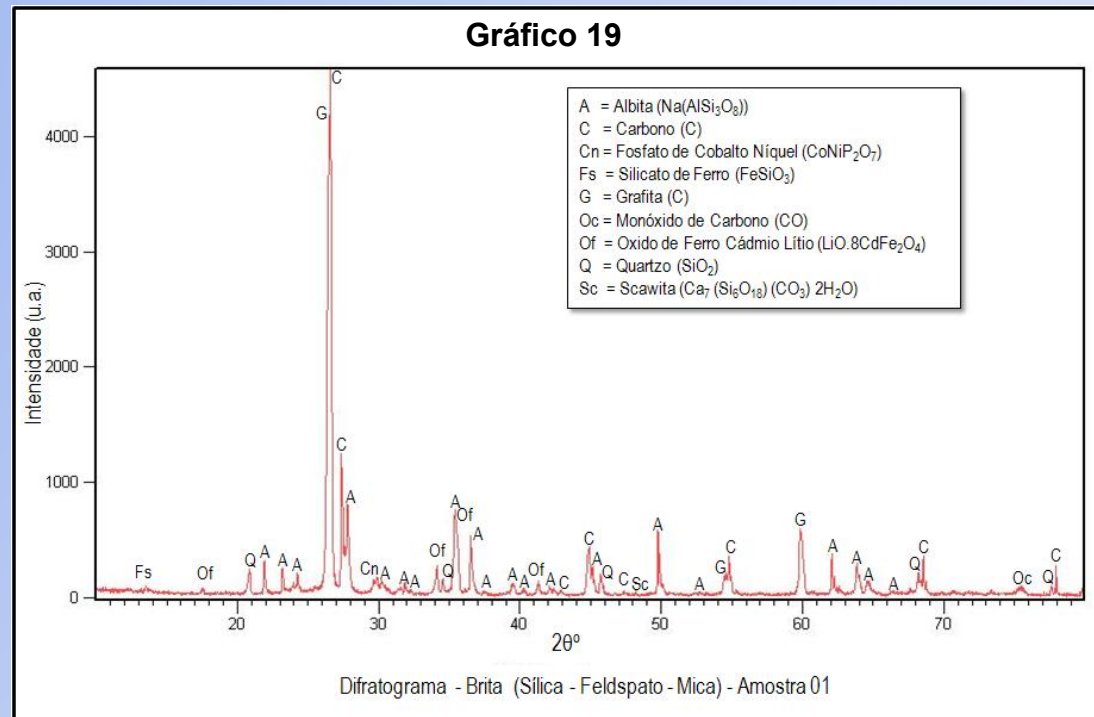
✓ Dentro do padrão

Domínio (Quartzo + Albita)

• Menores também encontrados:

- Carbono : 7 picos de 30° a 78°
 - Oxido de Ferro Cádmio Lítio: 18°, 37°41°
 - Grafita : 26°, 54° e 60°
 - Fosfato de Cobalto Níquel: 29°
 - Silicato de Ferro: 13°
 - Scawita : 48°
- (Cabral, 2007, p.127).

Gráfico 19



*Curiosidade : Carbono e acima do esperado !!

Resultados – Morfologia DRX

CIMENTO PORTLAND (Amostra 1)

Cimento CPM III 40RS

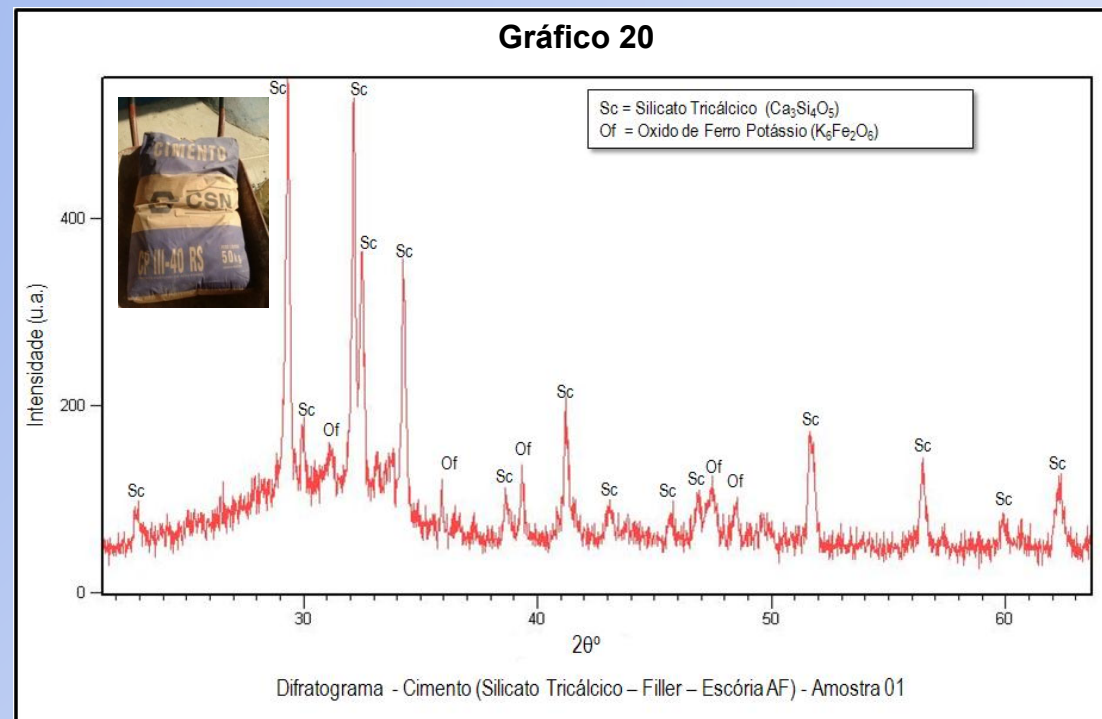
Composição Teórica:

- Clinquer:
 - Silicatos Tricálcicos (Alita)
 - Silicatos Dicálcicos (Belita)
 - Silicatos de Cálcio (Celita).
 - Ferro Aluminato Tetracálcicos.
- Escória de AF:
 - Óxido de Ferro + (K / Mg / Na)
- Filler (Sulfatos de Cálcio)

Amostra 1 (Gráfico 20) :

- ✓ Silicato Tricálcico (Ca_3SiO_5):
>10 picos de 22° a 63° .
- ✓ Óxido de Ferro-Potássio ($\text{K}_6\text{Fe}_2\text{O}_6$):
5 picos de 32° a 48° .
(SILVA, 2013, p.57).

*Não foram identificados também ?! : “Ferro Aluminato” e o Filler



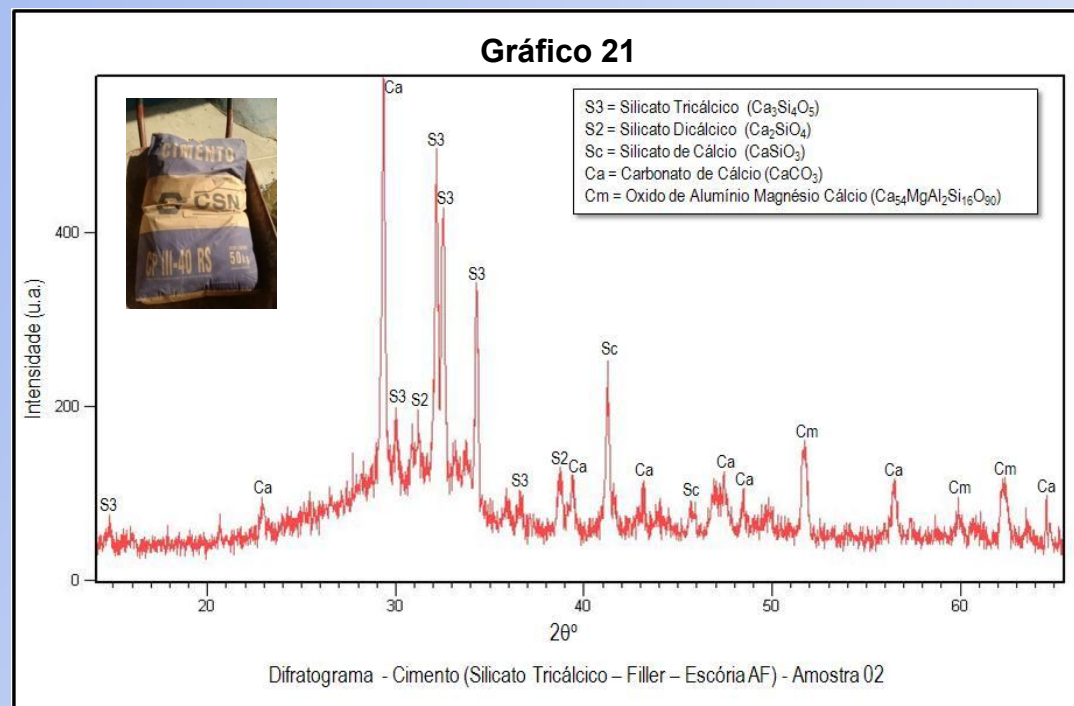
Resultados – Morfologia DRX

CIMENTO PORTLAND (Amostra 2)

Cimento CPIII 40RS (Gráfico 21) :

- ✓ Observado além do Silicatos:
 - Triáclico ($\text{Ca}_3\text{Si}_4\text{O}_5$) : 10° a 37°
 - Dicálcico (Ca_2SiO_4): 31° e 39°
 - de Cálcio (CaSiO_3): 41° e 46°
(Silva, 2013, p.57e 59).
- ✓ Carbonato de Cálcio (CaCO_3) :
8 picos de 23° a 65°
- ✓ O Escória Óxido de Alumínio Magnésio Cálcio ($\text{Ca}_{54}\text{MgAl}_2\text{Si}_{16}\text{O}_{90}$) :
 $52^\circ, 60^\circ$ e 62°
(Silva, 2013, p.57e 59).
- ✓ Cimento dentro do padrão apesar da ausência de visualização de alguns componentes.

*Não visualizado: “Ferro Aluminato ($\text{Fe}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$)”



Resultados – Morfologia DRX

COMPÓSITO

Gráfico de Picos em 2 partes (10° a 45°) e (45° a 80°).

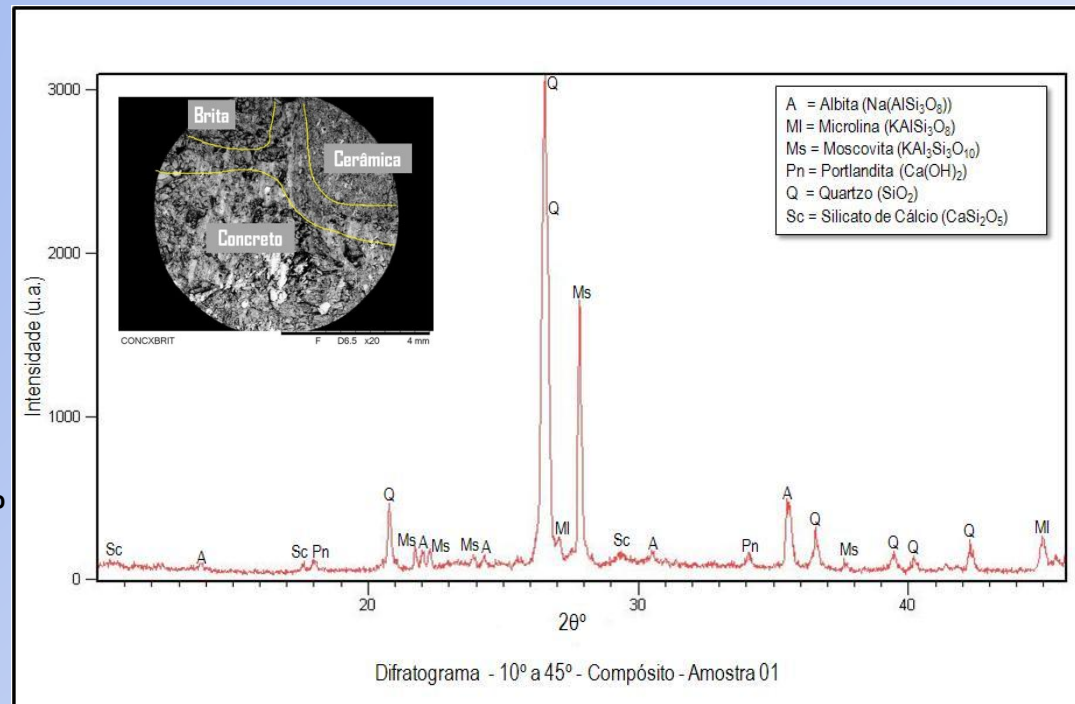
PARTE 1 (10° a 45°):

✓ Presença dominante :

Gráficos 22 e 23

(Cabral, 2007, p.129)

- Quartzo (Areia, Brita e Cimento e Cerâmica): 21° a 68°.
- Elementos da Cerâmica e da Brita:
 - Albita (14°, 22°, 24°, 31° e 35°)
 - Moscovita, : 8 picos (10° a 80°)
 - Portlandita (Gráfico22) :18° e 34°
- Elementos menores:
 - Microlina : 27° e 45°
 - Silicato de Cálcio : 10°, 18° e 29°.



Resultados – Morfologia DRX

COMPÓSITO

Gráfico de Picos em 2 partes (10° a 45°) e (45° a 80°).

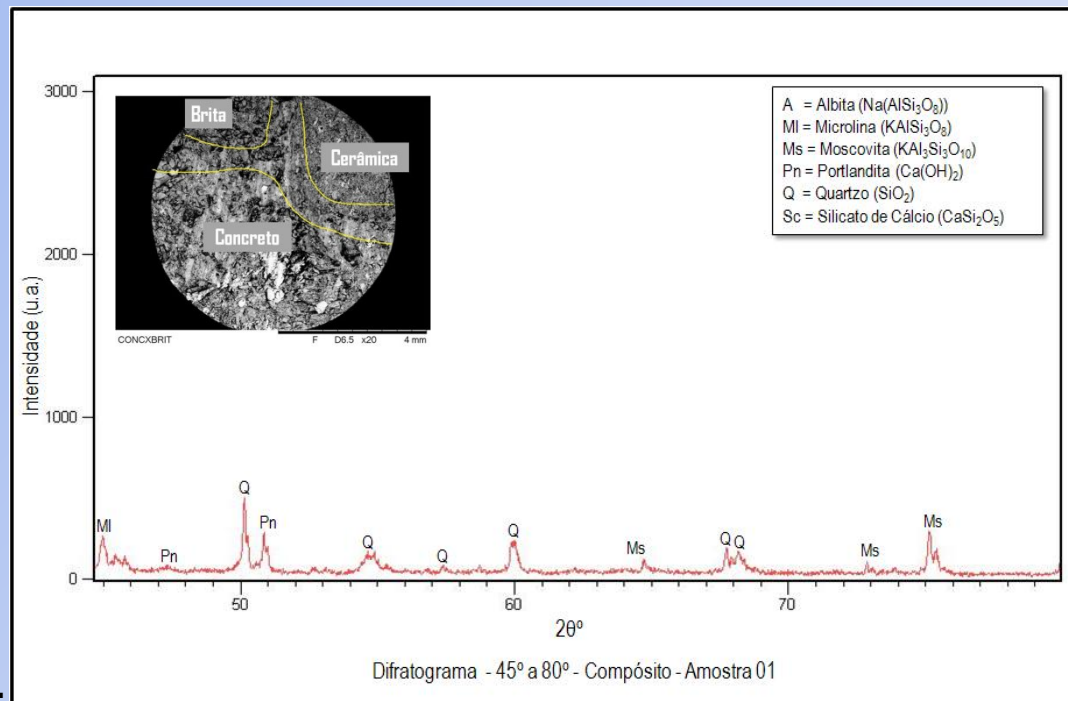
PARTE 2 (45° a 80°) :

- ✓ Destaca-se a Portlandita (Concreto)
 - Formada na hidratação dos Silicatos e Filler.
 - 4 ocorrências entre 18° e 51° Gráficos 22 e 23 (Cabral, 2007).
- ✓ Da Cerâmica, destaca-se a Moscovita (Feldspato de Mica) (Cabral, 2007; Oliveira, 2006).

Resumo:

- Padrão do Concreto
- Dominam : Quartzo + Feldspatos + Portlandita ↔ (Resistência do Concreto).

Convalida Resistências obtidas (Cabral, 2007; Oliveira, 2006).



Resultados – Custos do Compósito

✓ Confirmou-se Economia com RCD Cerâmico (Tabela 18 , seção 5.12) nos % :

- 5% de adição : 1% menor
- 20% de adição : 6% menor

* Cálculos com o valor “super estimado”
Frete = R\$100,00.

Traço (Volume)	Fck (MPa)	Custo Total	Econom./ m ³ (R\$)	Economia %	Obra com 1.000 m ³	Economia (R\$)
1:2:3-0%	25,00	260,08	-	0	260.076,00	0
1:2:3-5%	27,17	256,40	3,67	1%	256.404,00	3.672,00
1:2:3-10%	26,82	252,66	7,42	3%	252.660,00	7.416,00
1:2:3-15%	27,56	248,84	11,23	4%	248.844,00	11.232,00
1:2:3-20%	13,04	244,96	15,12	6%	244.956,00	15.120,00

** Se frete for “R\$ 50,00” ⇔ Economia (adição 15%) sobe para 5% (R\$12.150,00).

*** Dificuldade de orçar ⇔ Usinas não ofertam RCD Cerâmico Revestimento.

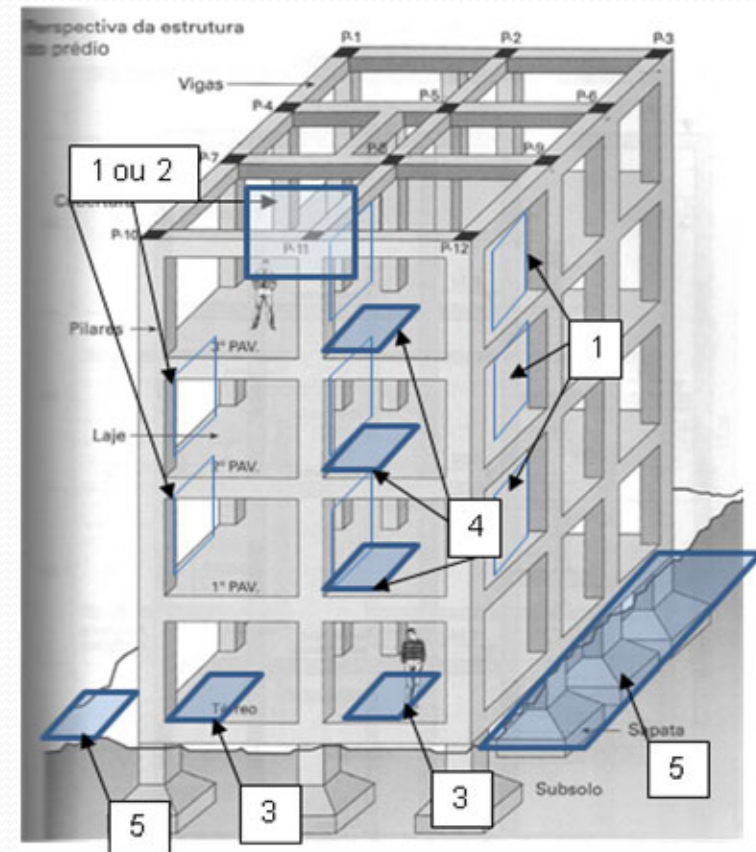
✓ Convalidação do cálculo (Cabral, 2007 p.211) :

- Única % RCD com Redução de Custo : Cerâmico (adição 50%).
- Demais RCDs (Argamassa e Concreto) : Custo maior que do Concreto padrão.

Conclusões

Aplicações Não Estruturais (Lajes, Pisos e Paredes)

- ✓ (Adições 5% à 15%) são Viáveis para peças Não-Estruturais.
- ✓ Tensões são de menor ordem (não sustentam a obra).
- ✓ Até a adição 20% (13MPa) seria utilizável.
- ✓ Aplicações (Adições de 5% à 15%) :
 - Paredes de Blocos de Preenchimento (1 e 2) ;
 - Paredes de Muros Blocos (1 e 2) ;
 - Concreto p/ Pisos (5) ;
 - Concreto p/ preenchimento de Lajes (3 e 4);

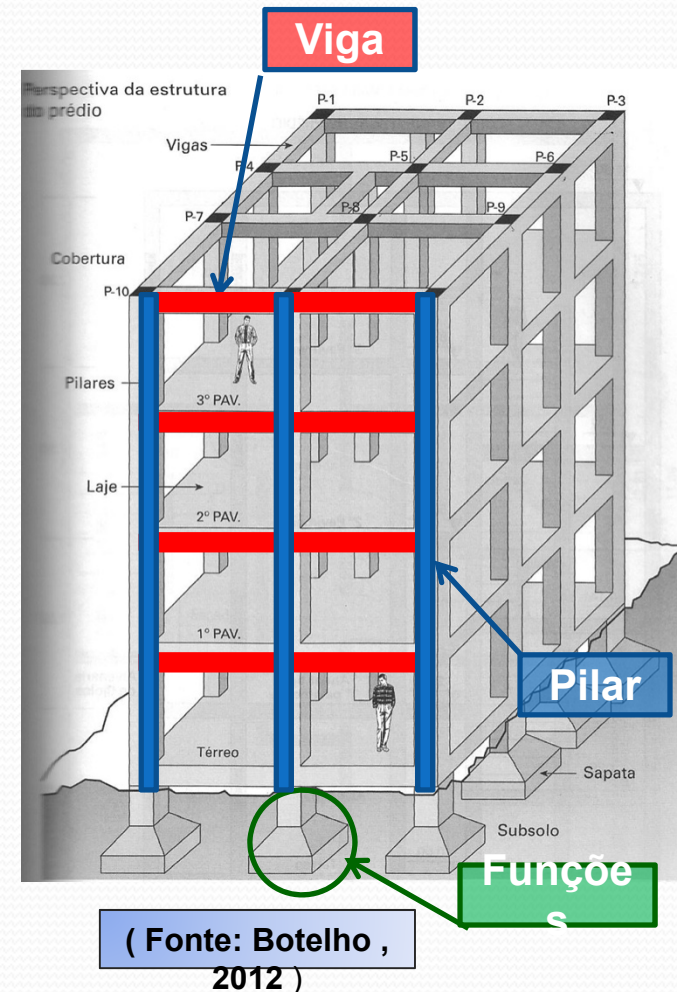


(Fonte: Botelho ,
2012)

Conclusões

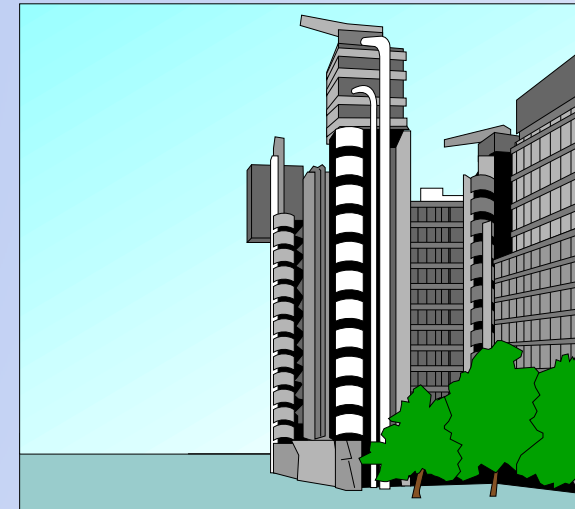
Aplicações Estruturais (Fundações, Pilares e Vigas)

- ✓ Acredita-se ser possível o uso com adição 15%, pois Resistências são compatíveis com faixa Eng^a.
- ✓ Outros obtiveram maiores Resistências com adições > 15% e Cimento ARI:
 - $F_{c28} = 25\text{MPa}$ - 50% Cerâmica (Troian, 2010)
 - $F_{c28} = 30\text{MPa}$ - 50% Cerâmica (Cabral, 2007)
 - $F_{c28} = 38\text{MPa}$ - Fonseca, 2006
- Sem análise total do Cisalhamento, há restrição no uso Precisar de aval da ABNT (NBR15116, 2006).
- Ponto de Restrição : Baixa resistência nas linhas Vítreas Cerâmica x Brita.



Conclusão Final sobre o Compósito

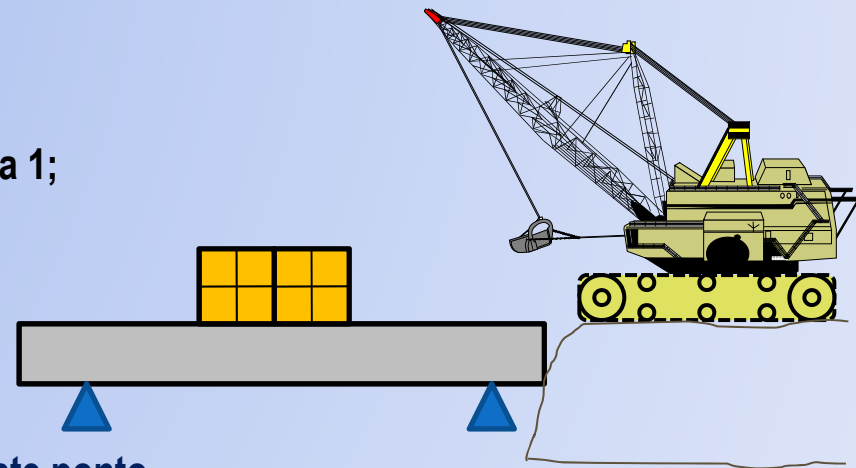
- ✓ Resistência Compatível com Concreto Estrutural Padrão (Viável para C. Civil).
- ✓ Uso em Não-Estruturais (5% até 15%) ⇔ Viável :
 - Lajes Pré-moldadas e Pisos térreos e pátios Paredes.
- ✓ Morfologia (5% a 15%) convalida Resistências obtidas.
- ✓ Economia Direta em Não Estruturais (Compensa):
 - ✓ Custo menor (Adição 15%: 4% mais barato) .
- ✓ - Economia Indireta em Estruturais (Redução de bitola de Armadura).
- ✓ Adição de 15% parece ser limite de uso (F_{c28} próximo do Padrão Eng^a).
- **Uso em Estruturais ⇔ Ainda Restrito (Necessário uma avaliação pela ABNT).**
- Durabilidade para Grau I convalidada.



Pesquisas e Trabalhos Futuros

- Para se obter Confiabilidade do Compósito para Estruturas recomendam-se :

- Prova de Cargas Repetitivas
- Prova de Cargas Instantâneas;
- Testes de Impacto;
- Testes com Cerâmica na granulometria de Brita 1;
- Teste à Ambientes Agressivos (Classe II e III);
- Aval da ABNT.



- Outros Pesquisadores* podem continuar a partir deste ponto.

* Aragão (2007) em seu trabalho com Lajes de RCD, efetuou prova de carga com resultado viável.



Referências Bibliográficas

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13818**: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM67**: Ensaio de Abatimento do Concreto. Rio de Janeiro - 2003.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5738**: Moldagem e Cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparos de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655**: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR9778**: Absorção de Água por Índice de Vazios. Rio de Janeiro, 2009.
- ANDREWS-PHAEDONOS, F. . **Establishing the durability performance of structural concrete**. Vic Roads , 1996, 79p.
- ARAGÃO, H. G. . **Análise estrutural de lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Alagoas, Maceió , 2007, 109p.
- BARIN, D. S. . **Carbonatação e Absorção Capilar em Concretos de Cimento Portland Branco com Altos Teores de Adição de Fibras de Alto Composto de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis Ativador Químico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Santa Maria - UFSM, RS, 2007,

Referências Bibliográficas

- CARVALHO, J. D. N. . **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, 2008, p.19-28.
- CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307**. Gestão de Resíduos da Construção Civil. Resolução N° 448 - 2014.
- ENCICLOPÉDIA Time LIFE™. **Estrutura da Matéria**. 2ª Ed., Rio de Janeiro: Abril Livros Ltda., 1996, p.151.
- FLORENZANO, É. **Dicionário de Inglês-Português e Português-Inglês**. 4ª ed., São Paulo : Ediouro Publicações S.A., 2004, p492.
- FONSECA, A. P. . **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) FECIV - Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, MG, 2006, 200p.
- FONSECA, G. C. . **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010, 105p.
- FUNDAMENTALS. Fundamentals. **Reciclar o entulho**. Link: www.fundamental.org.br/conteudo_20.asp Acessado em: 07/03/2016.
- GIECK, K. **Manual de Fórmulas Técnicas**. 25ª Ed. ampliada, São Paulo: Hemus Livraria e Editora Ltda., 1976, p. 221.
- JCPDS - **Joint Committee on Powder Diffraction Standard. Inorganic Materials**. Pensilvania: International Centre for Diffraction Data Swarthmore. 1979.
- LI J. **Study on mechanical behavior of recycled aggregate concrete**. Dissertation of Masteral Degree) Tongji University, Shanghai, China, 2004.
- LAPA, J. S. . **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008, 56p.
- MASSOULD, S. ; MENDIS, P. ; LUMANTARNA, E. . **Use of recycled concrete aggregates in sustainable structural concrete applications**. Department of Infrastructure Engineering, Melbourne, Australia, 2012.



Referências Bibliográficas

- PORTO, M. E. H. de C. e Silva, S. V. **Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ISECENSA. Rio de Janeiro, 2008.
- RAMALHO JR, Francisco; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física 1.** Livro : Física - 6ª Ed.,vol.1, São Paulo : Editora Moderna Ltda., 1993, p.480.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. . **Física I-2.** 2ª Ed., Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos S.A., 1976, p.759.
- SENAI; SEBRAE; GTZ; Projeto Competir APRESENTAÇÃO: **Gestão de Resíduos de Construção Civil – Redução, Reutilização e Reciclagem,** 2005.
- SILVA, M. A.; SANTOS, Vitor A. A. **Reciclagem e Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil.** Revista do CEDS, Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDBN, São Luís,Maranhão, 2014.
- SILVA, M. A. da. **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, 2013,111p.
- SMITH, W. F. ; HASHEMI, J. . **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais.** 5ª ed., Porto Alegre , AMGH Editora Ltda., 2012, 715p.
- SOUZA L. M., ASSIS C. D., SOUTO S. B. G. . **Agregado reciclado: um novo material na construção civil.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET. Link: [dx.doi.org/10.5902/2236117011297](https://doi.org/10.5902/2236117011297) . Acessado em 22/02/2016.
- SOUZA, S. J. G. ; HOLANDA, J. N. F. . **Avaliação das propriedades físico-mecânicas de uma massa cerâmica de revestimento poroso (BIII).** Link: “www.scielo.br”, 2005.
- TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) SÃO LEOPOLDO, 2010.
- WICANDER, R. ; MONROE, J. S. . **Fundamentos de Geologia.** São Paulo, Cengage Learning, 2009, 508p.
- XAVIER, E. S. **Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras civis** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) UNIBRASIL, 2010, 100p.
- YANG, K. ; CHUNG, H. ; ASHOUR, A. . **Influence of type and replacement level of recycled aggregates on**