



# **Avaliação do reuso do resíduo de porcelanato nas propriedades de materiais construtivos**

**Raquel dos Anjos Rodrigues**

**Projeto Final de Curso**

**Orientadores:**

**Prof.a. Valeria Castro de Almeida, D. Sc.**

**Prof.a. Ana Catarina Jorge Evangelista, D. Sc.**

**Outubro de 2010**

# Avaliação do reuso do resíduo de porcelanato nas propriedades de materiais construtivos

**Raquel dos Anjos Rodrigues**

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

  
\_\_\_\_\_  
Cheila Gonçalves Mothé, D. Sc.

  
\_\_\_\_\_  
Claudinei Guimarães, D. Sc.

  
\_\_\_\_\_  
Laia Haurie, D. Sc.

Orientado por:

  
\_\_\_\_\_  
Valéria Castro de Almeida, D. Sc.

  
\_\_\_\_\_  
Ana Catarina Jorge Evangelista, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Outubro de 2010

## **Ficha Catalográfica**

RODRIGUES, Raquel dos Anjos

Avaliação do reuso do resíduo de porcelanato nas propriedades de materiais construtivos / Raquel dos Anjos Rodrigues. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2010.

xi,51 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Ano. Orientador(es): Valéria Castro de Almeida e Ana Catarina Jorge Evangelista

1. Porcelanato. 2. Indústria Cerâmica. 3. Argamassa. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Valéria Castro de Almeida e Ana Catarina Jorge Evangelista  
I. Avaliação do reuso do resíduo de porcelanato nas propriedades de materiais construtivos

Aos meus pais,  
as minhas orientadoras,  
aos meus amigos do coração  
e ao meu futuro.

“Obstáculos são aquelas  
coisas difíceis que você  
vê quando tira  
os olhos do seu objetivo”  
Henry Ford

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus pais, Ana e Fernando, pelo amor, apoio e confiança depositados a mim, incentivo e suporte ao longo da minha vida.

À professora Valéria Castro de Almeida, que em muitas vezes foi mãe, tia e amiga, e que nos momentos corretos soube me mostrar o caminho a seguir.

À professora Ana Catarina Evangelista, que sempre contribui para meu desempenho pessoal e profissional, sendo outra tia em minha vida.

À minha amiga e companheira de trabalho, Licia da Silva Alves, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho, pela amizade e companheirismo.

As minhas amigas, Camila Nascimento, Patrycia Garcia de Melo, Roberta de Souza Costa, por todo o carinho, amizade e risadas.

Ao meu irmão José Fernando, por me ajudar a fazer contas e pelo apoio.

À Júlio César Costa, pelo amor e companheirismo selados.

Aos funcionários, Hélio Rezende, Wilson Ferreira Vianna e Alice Lima de Aquino pelo auxílio dispensado.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **AVALIAÇÃO DO REUSO DO RESÍDUO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS**

Raquel dos Anjos Rodrigues

Outubro, 2010

Orientadores: Prof.a. Valéria Castro de Almeida, D. Sc.  
Prof.a. Ana Catarina Jorge Evangelista, D. Sc.

A redução de custos e a melhoria da qualidade nas empresas de construção civil, têm sido uma busca constante devido ao aumento da competitividade das mesmas. Apesar do avanço contínuo da tecnologia, os índices de desperdício na construção civil ainda são considerados elevados. Neste trabalho foram realizados estudos preliminares com a finalidade de verificar o uso do resíduo de porcelanato na produção de argamassas. Para avaliar a influência da substituição de parte do cimento Portland pelo rejeito, foram realizados ensaios de absorção e de resistência à compressão em argamassas com 10%, 15% e 30% de rejeito em substituição ao cimento. Os resultados obtidos indicam que o emprego deste material é viável na produção de concretos e argamassas.

# ÍNDICE

Capítulo 1. Introdução .....	1
1.1 A Cerâmica .....	2
1.1.1 Revestimento Cerâmico.....	4
1.1.2 Produção e Consumo Mundial.....	6
1.1.3 Produção e Consumo Nacional .....	8
1.2 Cimento Portland.....	9
1.2.1 Produção e Consumo Nacional .....	14
1.2.2 Custo do cimento em um empreendimento .....	15
1.3 A Argamassa.....	16
1.3.1 Tipos de Argamassas .....	16
1.3.2 Componentes da Argamassa.....	17
1.4 Impactos no meio ambiente .....	19
1.4.1 Resolução CONAMA nº 307 .....	19
1.4.2 Normas Técnicas .....	20
1.4.3 Emissões de gases de efeito estufa .....	21
1.4.4 Conceito de Perdas .....	23
1.4.5 Indicadores de Perdas .....	26
1.5 Objetivo .....	28
Capítulo 2. Materiais e Métodos.....	29
2.1 Tratamentos dos Materiais Utilizados .....	29
2.2 Caracterização dos Materiais Utilizados .....	30
2.2.1 Análise Granulométrica.....	30
2.2.2 Determinação da massa específica .....	30
2.2.3 Análise Mineralógica.....	31
2.3 Ensaio em argamassa.....	32
2.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial .....	33
2.3.2 Ensaio de absorção de água .....	34
2.4 Ensaio de determinação de atividade pozolânica com cimento Portland.....	34
2.5 Tempo de Pega.....	36
2.6 Temperatura de Hidratação .....	37
Capítulo 3. Resultados e Discussão.....	38
3.1 Caracterização dos Materiais Utilizados .....	38
3.1.1 Análise Granulométrica.....	38



3.1.2	Determinação da massa específica .....	39
3.1.3	Análise Mineralógica .....	39
3.2	Ensaio em argamassa .....	42
3.2.1	Ensaio de resistência à compressão axial .....	42
3.2.2	Ensaio de absorção de água .....	43
3.3	Ensaio de determinação de atividade pozolânica com cimento Portland .....	44
3.4	Tempo de Pega .....	45
3.5	Temperatura de Hidratação .....	46
Capítulo 4.	Conclusões e Sugestões .....	47
Referências Bibliográficas	.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Produção brasileira de revestimentos cerâmicos de 2000 a 2009. ....	8
Figura 1.2: Vendas de revestimentos cerâmico no mercado interno de 2000 a 2009. ....	9
Figura 1.3: Evolução média da resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland. ....	12
Figura 1.4: Pasta de cimento: seqüência de hidratação e endurecimento. ....	12
Figura 1.5: Hidratação da pasta de cimento.....	13
Figura 1.6: Potencial de redução de emissões de CO <sub>2</sub> (2006).....	22
Figura 1.7: Emissões específicas de CO <sub>2</sub> por clínquer e cimento.....	22
Figura 1.8: Resultados preliminares do 2º Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa .....	23
Figura 1.9: As perdas segundo seu momento de incidência e sua origem .....	26
Figura 2.1: (a) Triturador de rolos (b) Pulverizador DENVER.....	29
Figura 2.2: Corpos de prova moldados .....	33
Figura 2.3: Aparelho de Vicat.....	36
Figura 2.4: (a) Aparelho LabPro (b) Sistema Termopar e LabPro.....	37
Figura 3.1: Distribuição granulométrica do resíduo do porcelanato e da areia seca. ....	38
Figura 3.2: Difratoograma do resíduo de Porcelanato.....	39
Figura 3.3: Difratoograma das argamassas Padrão, P10, P15 e P30.....	40
Figura 3.4: Fotomicrografia da argamassa P10 .....	41
Figura 3.5: Fotomicrografia da argamassa P10 .....	42
Figura 3.6: Ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias .....	43
Figura 3.7: Percentual de água absorvida pelos corpos-de-prova .....	43
Figura 3.8: Tempo de pega das argamassas .....	45
Figura 3.9: Temperatura de hidratação das argamassas.....	46

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Produção em m <sup>2</sup> (milhões) dos principais produtores mundiais de cerâmica para revestimento de 2005 a 2008. ....	7
Tabela 1.2: Consumo em m <sup>2</sup> (milhões) dos principais produtores mundiais de cerâmica para revestimento de 2005 a 2008. ....	7
Tabela 1.3: Compostos principais do cimento Portland .....	10
Tabela 1.4: Classificação dos cimentos Portland comercializados no Brasil .....	11
Tabela 1.5: Hidratação da pasta de cimento .....	13
Tabela 1.6: Produção e consumo de cimento (em 1000 toneladas) .....	15
Tabela 1.7: Dados preliminares das vendas do cimento nas regiões do país em 2009 .....	15
Tabela 1.8: Classificação das argamassas de revestimento em função do aglomerante .....	18
Tabela 1.9: Limites granulométricos do agregado miúdo (NBR 7211, 2009). ....	19
Tabela 1.10: Perdas detectadas.....	27
Tabela 2.1: Composição dos traços de argamassa elaborados.....	33
Tabela 2.2: Composição dos traços de argamassa elaborados.....	35
Tabela 3.1: Análise Granulométrica do resíduo de porcelanato cominuído .....	38
Tabela 3.2: Composição química elementar do resíduo de porcelanato.....	41
Tabela 3.3: Resistências e índice de atividade pozolânica .....	44

# NOMENCLATURA

## LETRAS LATINAS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dimensão</b>
A	Área da seção transversal do corpo de prova	cm <sup>2</sup>
AA	Absorção de água	%
d	Distância Interplanar	Å
F	Valor obtido pela máquina de compressão no início da ruptura	Kgf
fc	Resistência à compressão média	MPa
Ms	Peso do corpo de prova seco	g
Mu	Peso do corpo de prova saturado de água	g
P	Resistência à compressão	MPa

## LETRAS GREGAS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dimensão</b>
$\lambda$	Comprimento de onda dos raios X incidentes	Å
$\gamma$	Massa específica	g/cm <sup>3</sup>
$\theta$	Ângulo de difração	(°)
$\delta_r$	Massa específica do resíduo	g/cm <sup>3</sup>
$\delta_c$	Massa específica do cimento	g/cm <sup>3</sup>

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
EQ	Escola de Química
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICSD	Inorganic Crystal Structure Database
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
NUCAT	Núcleo de Catálise
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PBPQ-H	Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat
Sinduscon	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

## Capítulo 1. Introdução

Ao longo da história, a sociedade explora recursos provenientes da natureza de forma a atender suas necessidades, mas de forma inadequada, o que gerou uma série de danos ao meio ambiente. O aumento da população como um todo, e a dinâmica voltada ao consumo imediato e posterior descarte, resulta em uma maior perturbação ao meio ambiente. Os problemas oriundos desse aumento são, entre outros, a poluição do ar e dos recursos hídricos e a produção e gestão de resíduos sólidos e particulados.

O setor da construção civil incrementa suas atividades a fim de suprir o déficit habitacional, bem como o desperdício de materiais na obra. Este último depende da técnica construtiva utilizada, mão-de-obra e qualidade dos materiais utilizados. Neste sentido, verifica-se a importância de um gerenciamento adequado destes materiais residuais na própria obra, reduzindo o desperdício na fonte e criando oportunidades de reaproveitamento, quando possível.

No Brasil e no exterior o grês porcelanato é o produto de revestimento cerâmico mais avançado no mercado de pisos de alta qualidade, isto se deve a alta qualidade de matérias-primas utilizadas e do processamento cerâmico nas etapas de sua fabricação (Rodrigues, 2004). A superfície obtida por queima se caracteriza por apresentar elevada dureza, alta tenacidade à fratura e resistência ao manchamento.

A indústria Brasileira de revestimentos cerâmicos ocupa uma posição de destaque no cenário mundial de revestimento. A produção brasileira de revestimentos cerâmicos de pisos e paredes foi da ordem de 713 milhões de metros quadrados, em 2009 (Anfacer).

Devido ao alto nível de qualidade de suas matérias-primas, elevado grau de moagem, alto teor de fundente e alta força de compactação, o processo de fabricação do grês porcelanato resulta em peças de baixa porosidade (inferior a 0,5%) e elevado performance técnica (resistência mecânica, química e ao gelo) (Aquino, 2006).

Pelo uso de técnica inovadora de decoração é possível produzir porcelanato com alta resistência à abrasão e aspectos muito semelhantes às pedras naturais.

Considerando a elevada produção nacional de pisos e revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato (46 milhões de metros quadrados em 2008) (Anfacer)

e do aquecimento do setor da construção civil, o volume total de rejeitos de grês porcelanato passa a ser considerável vindo a se somar aos problemas ambientais decorrentes de seu descarte, apesar de ser considerado um resíduo inerte.

## **1.1 A Cerâmica**

A cerâmica, conforme a Associação Brasileira de Cerâmica, compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. O setor cerâmico é amplo e heterogêneo, o que induz a dividi-lo em subsetores ou segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Em geral, as seguintes classificações são adotadas:

- **Cerâmica Vermelha:** Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. As lajotas muitas vezes são enquadradas neste grupo, porém o mais correto é em materiais de revestimento.
- **Materiais de Revestimento (placas cerâmicas):** São aqueles materiais, na forma de placas, usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc..
- **Cerâmica Branca:** Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas. Com o advento dos vidrados opacificados, muitos dos produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados, sem prejuízo das características para uma dada aplicação, com matérias-primas com certo grau de impurezas, responsáveis pela coloração. Dessa forma é mais adequado subdividir este grupo em: louça sanitária; louça de mesa; isoladores elétricos para alta e baixa tensão; cerâmica artística (decorativa e utilitária); cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.

- **Materiais Refratários:** Este grupo compreende uma diversidade de produtos, que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos, a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas. Dessa forma, podemos classificar os produtos refratários quanto à matéria-prima ou componentes químicos principais em: sílica, sílico- aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnésiano, carbetto de silício, grafita, carbono, zircônio, zirconita, espinélio e outros.
- **Isolantes térmicos:** Os produtos deste segmento podem ser classificados em:
  - Refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários;
  - Isolantes térmicos não refratários, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio e lã de vidro, que são obtidos por processos distintos ao do item anterior e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto até 1100°C;
- **Fibras ou lãs cerâmicas** que apresentam características físicas semelhantes as citadas no item anterior, porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônio, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização de 2000° C ou mais.
- **Fritas e corantes:** Estes dois produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos que requerem determinados acabamentos, a saber:
  - Frita (ou vidro fritado) é um vidro moído, fabricado por indústrias especializadas a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características;
  - Corantes constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura

das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais.

- Abrasivos: Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício.
- Vidro, Cimento e Cal: São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.
- Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica Avançada: O aprofundamento do conhecimento da ciência dos materiais proporcionou ao ser humano o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas, como aeroespacial, eletrônica, nuclear entre outras e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a serem desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados. Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados, de acordo com suas funções, em: eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos, podemos citar: naves espaciais, satélites, usinas nucleares, materiais para implantes em seres humanos, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedor de fogão, etc..

### **1.1.1 Revestimento Cerâmico**

As placas cerâmicas são constituídas, em geral, de três camadas:

- a) o suporte ou biscoito;
- b) o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada;



c) o esmalte, camada vítrea que também impermeabiliza, além de decorar uma das faces da placa.

O corpo cerâmico compõe-se de matérias-primas naturais, argilosas e não argilosas. Os materiais argilosos são formados de uma mistura de diversos tipos e características de argilas para dar a composição desejada e são a base do biscoito. Os materiais não argilosos, quartzo, feldspato e caulim, servem para sustentar o corpo cerâmico ou promover a fusão da massa e os materiais sintéticos são utilizados para a produção de engobes e esmaltes e, servem para fazer a decoração dos revestimentos.

Estes revestimentos são usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc. A tecnologia do porcelanato trouxe produtos de qualidade técnica e estética refinada, que em muitos casos se assemelham às pedras naturais.

A cerâmica para revestimento esmaltada constitui um segmento da indústria de transformação, de capital intensivo, inserido no ramo de minerais não-metálicos, e tem como atividade a produção de pisos e azulejos, representando, juntamente com a cerâmica estrutural vermelha (tijolos, telhas e outros refratários), as louças, a cal e o vidro, uma cadeia produtiva que compõe o complexo industrial de materiais de construção.

#### 1.1.1.1 Tradicionais

A base de um revestimento cerâmico convencional consiste principalmente de argila, feldspato, caulim e quartzo, além de outras substâncias, como sal, adicionadas para efeitos visuais. Estes produtos são transformados em um granulado bem fino, depois consolidados e pressionados para criar um biscoito. O biscoito é coberto com uma ou mais camadas de esmaltes. Este é o processo crucial em relação ao modelo de cor e superfície. O material passa através de um forno, onde fica queimando por menos de uma hora a temperaturas acima de 1200°C. No final do forno, os revestimentos cerâmicos são inspecionados, na sua maioria visualmente, mas cada vez mais por máquinas automáticas, e classificados em diferentes níveis de qualidade. No final da linha, normalmente integrada, fica a embalagem. Este tipo de produto pode sofrer uma segunda ou até uma terceira passagem pelo forno, com mais esmalte sendo adicionado para criar uma aparência

visual diferenciada. Os revestimentos cerâmicos convencionais são submetidos a mudanças de moda relativamente rápidas. Os preços caem após um ano e o ciclo de vida do produto para o segmento mais moderno não se estende por mais de dois ou três anos. Revestimentos cerâmicos padrão, como o branco, brilhoso e 20 por 20 ou 30 por 30 cm são parte permanente do espectro de produtos. Eles são o segmento tradicionais da indústria, com pequenas margens, mas realizando uma importante contribuição na amortização dos custos fixos devido aos investimentos em equipamentos da produção. Parece que, para a maioria das empresas, eles compõem a maior parte das vendas, não apenas em termos de metros quadrados, mas também em valores de venda (Stamer-Meyer, et.all, 2001).

#### 1.1.1.2 O Porcelanato

Além dos revestimentos cerâmicos convencionais, existem os porcelanatos (ex. grés porcelanato). Este tipo de cerâmica tem origem no produto italiano tradicional, de aparência pouco atrativa, porém muito resistente (grés rosso). Durante os anos 80, sua produção foi continuamente refinada e levou a um produto, que para um amador não é diferente do mármore ou do granito. “Improving upon nature” ou “melhorando a natureza” é a principal idéia dos fabricantes de revestimentos cerâmicos, que sistematicamente tentam descobrir quais as pedras naturais preferidas pelos consumidores e depois tratam de reproduzi-las. A composição química do porcelanato é diferente dos revestimentos cerâmicos tradicionais, com as cores, às vezes, sendo parte da massa e do biscoito, já que a maioria não recebe aplicação de esmalte. Suas características físicas são claramente diferentes, pois o porcelanato é mais denso, com absorção de água menor que 0,5% geralmente alcançando 0,05%, tornando o produto viável para instalação externa em locais de climas frios (Stamer-Meyer, et.all, 2001).

### 1.1.2 Produção e Consumo Mundial

A Tabela 1.1 apresenta a produção mundial de cerâmica para revestimento dos cinco principais países produtores em m<sup>2</sup>, destacando a China com mais de três bilhões de m<sup>2</sup> produzidos, respondendo, aproximadamente, por 50% da produção mundial. A Espanha e a Itália eram o segundo e terceiro maiores produtores,

respectivamente, mas sofreram os efeitos da crise mundial, isto permitiu que o Brasil se tornasse o segundo maior produtor.

**Tabela 1.1: Produção em m<sup>2</sup> (milhões) dos principais produtores mundiais de cerâmica para revestimento de 2005 a 2008.**

País	2005	2006	2007	2008	Participação em 2008
China	2500	3000	3200	3360	61,1%
Brasil	568	594	637	713,4	13,0%
Itália	570	569	563	527	9,6%
Espanha	609	608	584	495,2	9,0%
Índia	298	340	385	404	7,3%
Total	4545	5111	5369	5499,6	100,0%

Fonte: ANFACER.

O consumo mundial de cerâmica para revestimento é apresentado na Tabela 1.2. Verifica-se que a China permanece em primeiro com, aproximadamente, 66% do consumo mundial, seguido pelo Brasil com 14,2%.

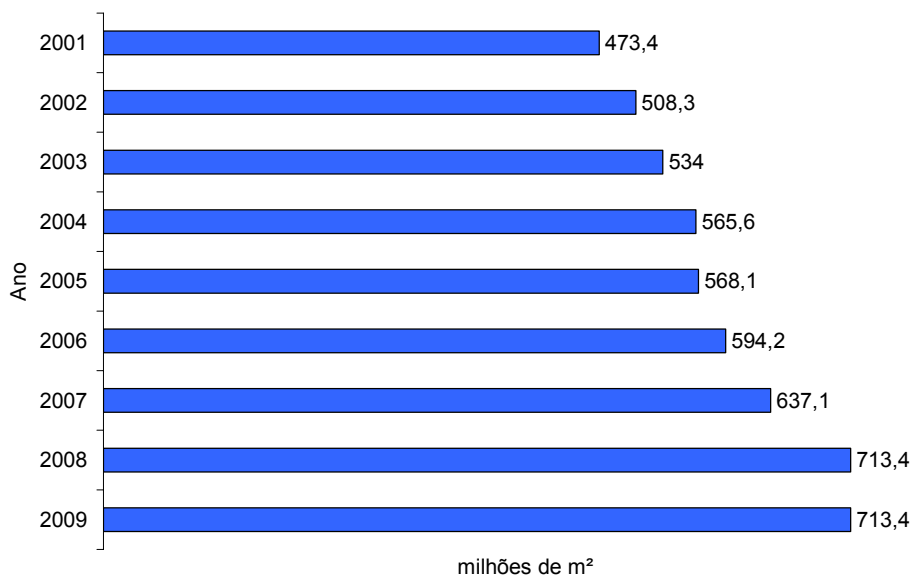
**Tabela 1.2: Consumo em m<sup>2</sup> (milhões) dos principais produtores mundiais de cerâmica para revestimento de 2005 a 2008.**

País	2005	2006	2007	2008	Participação em 2008
China	2050	2400	2700	2805	65,7%
Brasil	442	486	534,7	605,4	14,2%
Índia	303	350	397	416	9,7%
Espanha	303	319	314	243,4	5,7%
Estados Unidos	305	308	248	197,1	4,6%
Total	3403	3863	4193,7	4266,9	100,0%

Fonte: ANFACER

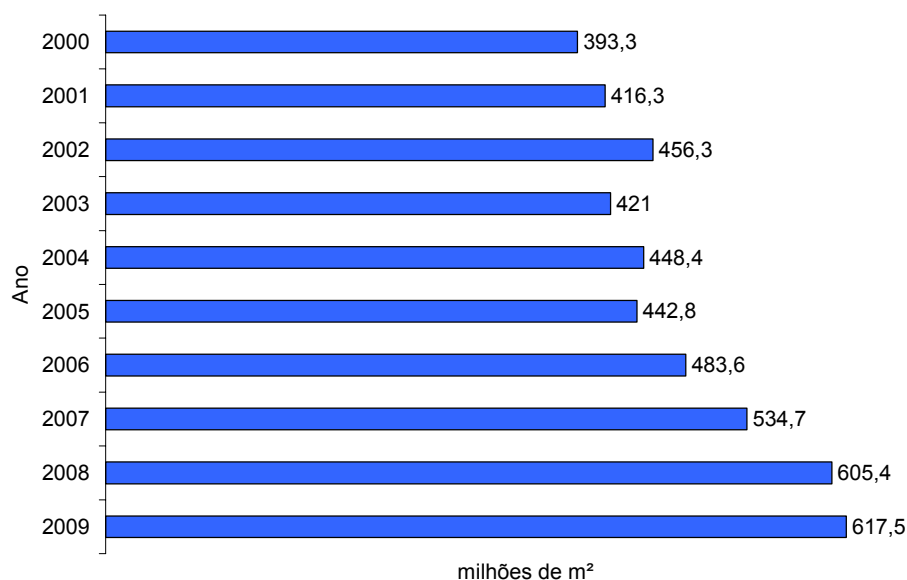
### 1.1.3 Produção e Consumo Nacional

O Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo. Na Figura 1.1, podemos observar que em 2008, foram produzidos 713,4 milhões de metros quadrados, para uma capacidade instalada de 781 milhões de metros quadrados. As vendas totais atingiram 686,8 milhões de metros quadrados, sendo 605,4 milhões de metros quadrados vendidos no mercado interno e 81,4 milhões de metros quadrados exportados, como mostrado na Figura 1.2.



**Figura 1.1: Produção brasileira de revestimentos cerâmicos de 2000 a 2009.**

Fonte: ANFACER.



**Figura 1.2: Vendas de revestimentos cerâmico no mercado interno de 2000 a 2009.**

Fonte: ANFACER.

## **1.2 Cimento Portland**

O cimento Portland é um material pulverulento, aglomerante hidráulico, composto basicamente de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio que misturados à água se hidratam e, depois de endurecidos, mesmo que sejam submetidos novamente à ação da água não se decompõem mais.

Para a fabricação do cimento são empregados materiais calcáreos, como rocha calcárea e gesso, e alumina e sílica, encontradas facilmente em argilas e xistos. O processo de fabricação do cimento Portland consiste essencialmente em moer a matéria-prima, misturá-la nas proporções adequadas e queimar essa mistura em um forno rotativo até uma temperatura de cerca de 1450°C. Nessa temperatura, o material sofre uma fusão incipiente formando pelotas, conhecidas com clínquer. O clínquer é resfriado e moído, em um moinho de bolas ou de rolo, até um pó bem fino (geralmente menor que 75 mm), com adição de um pouco de gesso, resultando o cimento Portland largamente usado em todo mundo (Neville, 1997). A mistura e moagem das matérias-primas podem ser feitas tanto em água quanto a seco, daí a denominação dos processos de via úmida e de via seca. Alguns materiais, como areia, bauxita e minério de ferro, são adicionados como corretivos, cuja função é

suprir as matérias primas de elementos que não se encontrem disponíveis nas matérias primas principais.

Durante a queima ocorrem inúmeras reações de estado sólido entre as fases constituintes, reações envolvendo essas fases e a parte fundida do material e, ainda, a ocorrência de transformações mineralógicas em função do resfriamento, gerando os principais componentes do cimento (Tabela 1.3), que quando hidratados fornecem as principais propriedades deste material (Zampieri, 1989). A última etapa de fabricação do cimento Portland constitui-se no resfriamento imposto aos nódulos produzidos, sendo de grande importância para a definição da reatividade e estabilidade das fases do clínquer.

**Tabela 1.3: Compostos principais do cimento Portland**

<b>Nome do composto</b>	<b>Composição em óxidos</b>	<b>Abreviação</b>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Notação: CaO: C; SiO<sub>2</sub>: S; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: A; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: F

Fonte: Neville, 1997

As reações químicas entre os silicatos e aluminatos relacionados na Tabela 1.3 com a água são denominadas de reações de hidratação do cimento e geram uma massa firme e resistente. Essas reações de dissolução e formação de novas fases ocorrem quase que instantaneamente, na medida em que se adiciona água ao cimento Portland.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o  $\text{C}_3\text{S}$  apresenta rápida hidratação, despreendendo uma quantidade média de calor, gera um gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e cristais de hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (C-H). Este composto contribui para elevar a resistência inicial da pasta endurecida e aumentar sua resistência final. Já o  $\text{C}_2\text{S}$ , que desprende uma quantidade pequena de calor durante sua lenta hidratação, também é responsável pelo aumento de resistência nas idades avançadas e produz um volume menor de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , em comparação com o  $\text{C}_3\text{S}$ . Responsável pelas primeiras reações de hidratação, o  $\text{C}_3\text{A}$  libera uma grande

quantidade de calor para formar aluminatos hidratados. O  $C_4AF$  também se hidrata rapidamente (semelhante ao  $C_3A$ ), mas exerce pouca influência sobre a resistência mecânica da pasta.

A princípio o cimento Portland pode ser constituído unicamente de clínquer e de uma substância reguladora de pega, caracterizando o que se convencionou denominar “cimento Portland comum”. Entretanto, ao longo do tempo, outros materiais começaram a ser utilizados em conjunto com o clínquer, constituindo os “cimentos com adições”. Desta forma, a ABNT define o cimento Portland em tipos e classes de acordo com os seus componentes e propriedades. A classe do cimento caracteriza sua resistência mínima potencial aos 28 dias, sendo dividida em três níveis: 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. A Tabela 1.4 apresenta a classificação dos principais tipos de cimentos comercializados no Brasil.

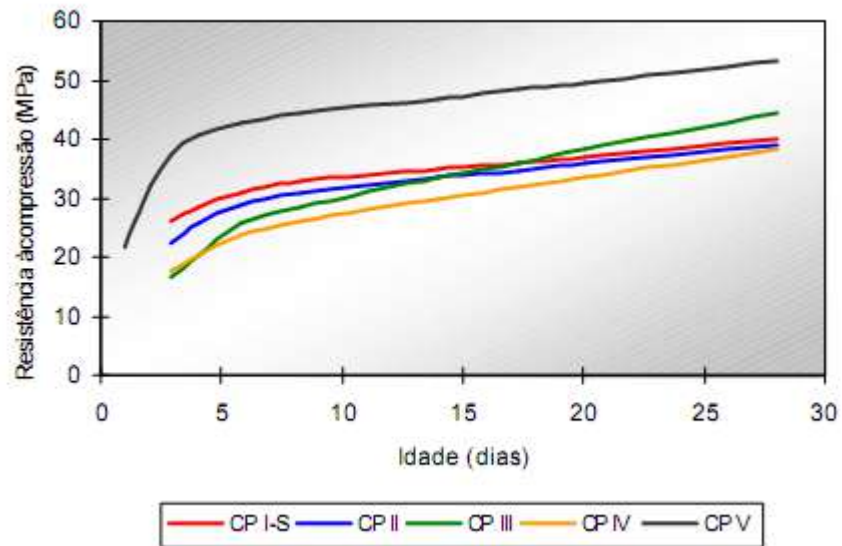
**Tabela 1.4: Classificação dos cimentos Portland comercializados no Brasil**

<b>Tipo de cimento</b>	<b>Sigla</b>	<b>Composição (percentual em massa)</b>			
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material Carbonático
<b>Comum</b>	CP I CP I – S	100	95 – 99	–	1 – 5
<b>Composto</b>	CP II – E	56 – 94	6 – 34	–	0 – 10
	CP II – Z	76 – 94	–	6 – 14	0 – 10
	CP II – F	90 – 94	–	–	6 – 10
<b>Alto-forno</b>	CP III	25 – 95	35 – 70	–	0 – 5
<b>Pozolânico</b>	CP IV	45 – 85	–	15 – 50	0 – 5
<b>Alta res. Inicial</b>	CP V – ARI	95 – 100	–	–	0 – 5
<b>Branco estrutural</b>	CPB	75 – 100*	–	–	0 – 25

\* No cimento branco é utilizado um clínquer com baixos teores de óxidos de ferro e manganês.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) através da BT-106 (1999) mostra a evolução média da resistência à compressão dos diferentes tipos de cimento Portland (Figura 1.3).

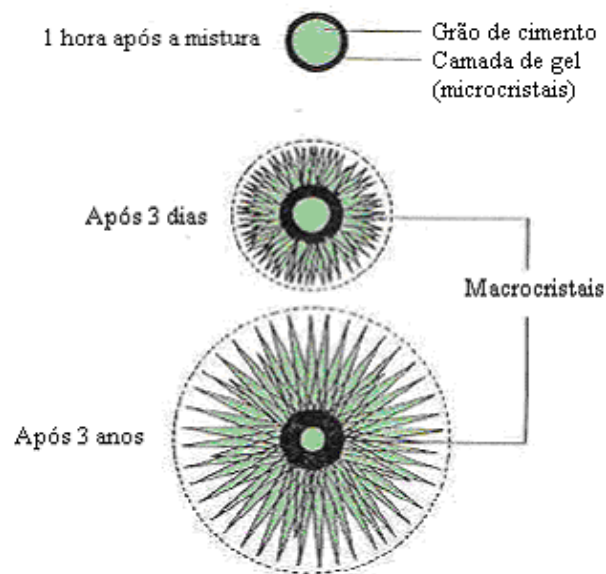


**Figura 1.3: Evolução média da resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.**

Fonte: ABCP

Os compostos do cimento são anidros. Quando postos em contato com a água, porém, reagem com ela, hidratando-se.

Analisando-se o fenômeno de modo extremamente simplificado, pode-se dizer que a hidratação ocorre com a produção de cristais em forma de agulha, que crescem, se entrelaçam, e, em seguida, se agrupam, formando o denominado "gel de cimento", como mostrado na Figura 1.4.

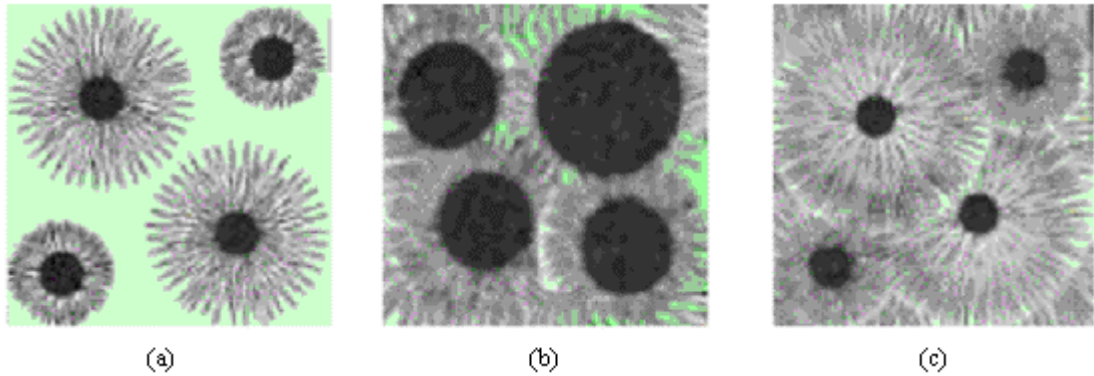


**Figura 1.4: Pasta de cimento: seqüência de hidratação e endurecimento.**

Fonte: Almeida, 2001



De acordo com o fator água-cimento da pasta, os tipos de hidratação do cristal podem ser três, como ilustra a Figura 1.5 e a Tabela 1.5:



**Figura 1.5: Hidratação da pasta de cimento**

Fonte: Almeida, 2001

**Tabela 1.5: Hidratação da pasta de cimento**

<b>Figura 1.5 (a)</b>	<b>Figura 1.5 (b)</b>	<b>Figura 1.5 (c)</b>
Muita água	Pouca água	Água ideal
Matriz aberta	Hidratação incompleta por falta de água e de espaço	Matriz fechada
Macroporos ou bolhas, poros capilares e poros de gel	Poros de gel	Poros de gel poucos poros capilares

Fonte: Almeida, 2001

A reação química do cimento com a água (hidratação do cimento) é fundamental para dar argamassa as propriedades mais importantes: resistência, durabilidade, trabalhabilidade, impermeabilidade, etc.

As propriedades da argamassa melhoram com a redução da água aplicada, desde que a massa continue plástica e trabalhável. Sabendo-se que a trabalhabilidade da argamassa exige um volume de água maior do que aquele necessário apenas para a hidratação do cimento deve-se reprimir a tendência na obra de se fazer um concreto muito fluido para facilitar os trabalhos (Junior, 2004).

Durante a hidratação, os silicatos reagem com a água, liberando cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), que, por sua vez, também reage com a água, formando o hidróxido de cálcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ].

Essas são duas das partes mais importantes da pasta de cimento hidratada:

- O silicato de cálcio hidratado - CSH e o
- Hidróxido de cálcio - CH

De uma forma muito simplificada, pode-se dizer que o CSH é a parte mais forte e o CH a parte mais fraca da pasta de cimento, tanto em termos de resistência quanto em termos de durabilidade.

### **1.2.1 Produção e Consumo Nacional**

Apesar da crise econômica ocorrida, 2008 apresentou um consumo recorde de cimento no Brasil, como mostra a Tabela 1.6. O crescimento de 14,4% elevou o consumo brasileiro para 51,6 milhões de toneladas, colocando o país como o 5º maior consumidor mundial do produto.

Para suprir esse aumento de demanda a produção nacional atingiu 52 milhões de toneladas. Houve a redução nas exportações, queda de 58%, devido a prioridade de atender o mercado interno. As importações mantiveram-se nos mesmos níveis de 2007.

Como reflexo da expansão das construções imobiliárias, a elevação da demanda do cimento ocorreu em todas as regiões do país.

Dados preliminares da indústria e estimativas de mercado indicam que as vendas de cimento para o mercado interno brasileiro em novembro de 2009 atingiram 4,6 milhões de toneladas, com crescimento de 7,3% em relação a igual mês do ano anterior (Tabela 1.7). No acumulado janeiro a novembro de 2009 foram vendidas 47,1 milhões de toneladas de cimento, com redução de 0,3% sobre o mesmo período de 2008.

**Tabela 1.6: Produção e consumo de cimento (em 1000 toneladas)**

Discriminação	2007	2008	Δ %
Produção	46.551	51.970	11,6
Despacho Total	46.029	51.808	12,6
Exportação	1.244	515	-58,6
Importação	277	278	0,4
Consumo Aparente	45.062	51.571	14,4
Consumo per capita	240	272	13,3

Fonte: SNIC

**Tabela 1.7: Dados preliminares das vendas do cimento nas regiões do país em 2009**

Origem do despacho	Novembro (1000 ton.)		<u>nov/09</u> nov/08	Jan. - Nov. (1000 ton.)		<u>Jan. - Nov./09</u> Jan. - Nov./08
	2008	2009		2008	2009	
Norte	196	218	11,00%	1895	1863	-1,70%
Nordeste	867	928	7,00%	8633	9009	4,30%
Centro Oeste	434	501	15,20%	5049	5197	2,90%
Sudeste	2179	2283	4,80%	24414	23810	-2,50%
Sul	614	671	9,20%	7229	7217	-0,20%
Venda Mercado Interno	4290	4601	7,30%	47220	47096	-0,30%
Exportação	3	5	48,50%	508	36	-92,80%
Venda Total	4293	4606	7,30%	47728	47132	-1,20%

Fonte: SNIC

### 1.2.2 Custo do cimento em um empreendimento

O cimento sendo um insumo básico da indústria de construção, utilizado em grandes quantidades na produção de habitações, infra-estrutura, estradas, pontes, saneamento. Segundo o CBIC o peso do cimento no custo de uma obra residencial gira em torno de 7% a 9%. Além disso, a correlação entre o produto da construção civil e o consumo de cimento é positiva e bastante elevada, indicando o grau de interligação setorial entre ambas as indústrias.

Os sindicatos estaduais da indústria da construção civil são responsáveis pela divulgação dos custos unitários de construção a serem adotados nas respectivas

regiões jurisdicionais, calculados com observância dos critérios e normas do artigo 54 da Lei Federal nº 4.591 de 16 de dezembro de 1964, O objetivo básico do CUB/m<sup>2</sup> é disciplinar o mercado de incorporação imobiliária, servindo como parâmetro na determinação dos custos dos imóveis.

Em números divulgados pelo Sinduscon-RJ, nos últimos doze meses a unidade de cimento CII- F32 com 50kg tem se mantido com valor médio de venda constante a R\$17,00 (dezesete reais).

### **1.3 A Argamassa**

A argamassa é uma mistura de aglomerantes, agregados e água, dotada de capacidade de endurecimento e aderência, cuja dosagem varia de acordo com a utilização. Empregada no assentamento de alvenarias e na execução de revestimentos, a argamassa deve ter, basicamente, as seguintes características: economia, poder de incorporação de areia, plasticidade, aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão e durabilidade. Cada tipo de emprego exige diferentes características e propriedades, correlatas aos materiais empregados (BAUER, 2005).

#### **1.3.1 Tipos de Argamassas**

##### **1.3.1.1 Argamassas de assentamento**

As argamassas de assentamento possuem a função específica de assentar os componentes de alvenaria. A junta de argamassa é um componente com forma e função definidas. Suas funções são: unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos componentes de alvenaria, absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita e selar as juntas contra a penetração de água de chuva (BAUER, 2005).

##### **1.3.1.2 Argamassas de revestimento**

Já as argamassas de revestimento, que têm a função de cobrir as alvenarias, devem proporcionar um acabamento adequado às superfícies, protegendo-as de ações externas, como as intempéries, e proporcionando conforto termoacústico.

Devem apresentar resistência mecânica aos impactos e resistência à umidade e agentes agressivos, além de oferecer boa aderência e estar livres de fissuras, bolhas etc.

A escolha do revestimento é influenciada por diversos fatores, entre eles as características do substrato, condições climáticas e ambientais, detalhes arquitetônicos, além da aparência, levando em conta o bom desempenho e a durabilidade do revestimento. Os tipos de revestimento podem ser agrupados de acordo com as camadas de aplicação: chapisco, emboço (revestimento de base) e reboco (revestimento final). Cada uma dessas camadas se diferencia pelo traço e pela espessura, de acordo com sua função no revestimento (BAUER, 2005).

### **1.3.2 Componentes da Argamassa**

O estudo dos materiais constituintes das argamassas de revestimento, bem como suas funções, justifica-se por inúmeros fatores, dentre os quais destaca-se a falta de regras claras para especificação dos materiais, que, na maioria das vezes, são definidos a partir de critérios empíricos baseados em experiências isoladas de profissionais da construção civil. O resultado direto dessa falta de critério é a incidência cada vez mais presente de inúmeros casos de manifestações patológicas que comprometem tais sistemas.

Outro fato que merece certa parcela de atenção é o surgimento no mercado de uma gama considerável de materiais (como novas alternativas) para a produção de argamassas. Como exemplo cabe destacar, desde cales (hidratadas, aditivadas e pré-misturadas com cimento), aditivos para produção das argamassas industrializadas ou para a produção em canteiro de obra (incorporadores de ar, retentores de água, aditivos poliméricos), fibras sintéticas, e até novas concepções de agregados com dimensões e granulometrias específicas para cada aplicação. Neste contexto, é cada vez mais notório que a simples experiência não é suficiente, sendo necessária uma avaliação mais precisa sobre a parcela de contribuição de cada material na composição das argamassas (BAUER, 2005).

#### **1.3.2.1 Aglomerantes**

Os principais aglomerantes utilizados na produção das argamassas de revestimento são o cimento e a cal, ambos com decisivas contribuições nas

propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Na maioria das vezes a classificação das argamassas de revestimento é baseada em parâmetros como a natureza, tipo e o número de aglomerante empregado na mistura, conforme apresentado na Tabela 1.8.

**Tabela 1.8: Classificação das argamassas de revestimento em função do aglomerante**

Natureza do aglomerante	Aglomerante aéreo
	Aglomerante hidráulico
Tipo de aglomerante	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento
	Argamassa de cimento e cal
Número de aglomerante	Argamassa simples
	Argamassa mista

Fonte: NBR13530, 1995

#### 1.3.2.2 Agregados

O agregado é parte integrante das argamassas, sendo em alguns casos definido como o “esqueleto” dos sistemas de revestimento argamassados, com influência direta em propriedades como retração, resistência mecânica, módulo de deformação, dentre outras. Pode-se dizer que a análise granulométrica do agregado é o principal método de ensaio utilizado para se avaliar os diferentes tipos de agregados que compõem as argamassas revestimento. Este consiste na determinação das dimensões das partículas e das proporções relativas em que elas se encontram na composição. Atualmente, existem vários métodos que são utilizados nesta avaliação. Métodos mais simples baseados no peneiramento do agregado em peneiras com diferentes dimensões de malhas conforme recomendações da norma NBR NM 248:2003, e métodos mais sofisticados, que complementam o anterior, como, por exemplo, granulometria a laser, sedimentação, dentre outros. Na Tabela 1.9 encontram-se os limites granulométricos para agregados miúdos.

**Tabela 1.9: Limites granulométricos do agregado miúdo (NBR 7211, 2009).**

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>Porcentagem, em massa, retida acumulada na peneira ABNT</b>			
	<b>Zona 1 (muito fina)</b>	<b>Zona 2 (fina)</b>	<b>Zona 3 (média)</b>	<b>Zona 4 (grossa)</b>
9,50	0	0	0	0
6,30	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,80	0 a 5 <sup>1</sup>	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,40	0 a 5 <sup>1</sup>	0 a 15 <sup>1</sup>	0 a 25 <sup>1</sup>	5 <sup>1</sup> a 40
1,20	0 a 10 <sup>1</sup>	0 a 25 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup> a 45 <sup>1</sup>	30 <sup>1</sup> a 70
0,60	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,30	50 a 85 <sup>1</sup>	60 <sup>1</sup> a 88 <sup>1</sup>	70 <sup>1</sup> a 92 <sup>1</sup>	80 <sup>1</sup> a 95
0,15	85 <sup>1</sup> a 100	90 <sup>2</sup> a 100	90 <sup>2</sup> a 100	90 <sup>2</sup> a 100

1. Pode haver tolerância de, no máximo, 5 pontos percentuais em um só dos limites ou distribuídos em vários deles; 2. Para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá ser de 80.

Fonte: ABNT

Na produção de argamassas podem ser utilizadas areias naturais (provenientes de leitos de rios e de cava) e artificiais (provenientes da britagem de rochas), sendo este último mais utilizado na produção das argamassas industrializadas. A escolha de uma areia deve ser baseada em uma granulometria contínua, com uma dimensão máxima característica adequada aos tipos de revestimento no qual será utilizado (TRISTÃO, 1995).

## **1.4 Impactos no meio ambiente**

A Construção Civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, por outro lado, comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos.

### **1.4.1 Resolução CONAMA nº 307**

A Resolução CONAMA nº 307, que define, classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos resíduos da construção e demolição, além de atribuir responsabilidades para o poder público municipal e também para os geradores de resíduos no que se refere à sua destinação.

Tendo em vista a diversidade das características dos agentes envolvidos na geração, no manejo e destinação dos resíduos da construção civil, a Resolução 307

do CONAMA define diretrizes para que os municípios e o Distrito Federal desenvolvam e implementem políticas estruturadas e dimensionadas a partir de cada realidade local. Essas políticas devem assumir a forma de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, disciplinador do conjunto dos agentes, incorporando necessariamente:

- Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, com as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores e transportadores, e
- Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil que orientem, disciplinem e expressem o compromisso de ação correta por parte dos grandes geradores de resíduos, tanto públicos quanto privados.

Cabe aos municípios, segundo essa política, a solução para os pequenos volumes, geralmente mal dispostos, e o disciplinamento da ação dos agentes envolvidos com o manejo dos grandes volumes de resíduos. A determinação é a de que, em nível local, sejam definidas e licenciadas áreas para o manejo dos resíduos em conformidade com a Resolução, cadastrando e formalizando a presença dos transportadores dos resíduos, cobrando responsabilidades dos geradores, inclusive no tocante ao desenvolvimento de Projetos de Gerenciamento nela previstos.

#### **1.4.2 Normas Técnicas**

As normas técnicas, integradas às políticas públicas, representam importante instrumento para a viabilização do exercício da responsabilidade para os agentes públicos e os geradores de resíduos. Para viabilizar o manejo correto dos resíduos em áreas específicas, foram preparadas as seguintes normas técnicas:

- Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15112:2004 – possibilitam o recebimento dos resíduos para posterior triagem e valorização. Têm importante papel na logística da destinação dos resíduos e poderão, se licenciados para esta finalidade, processar resíduos para valorização e aproveitamento.

- Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15113:2004 – solução adequada para disposição dos resíduos classe A, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307,



considerando critérios para reservação dos materiais para uso futuro ou disposição adequada ao aproveitamento posterior da área.

- Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15114:2004 – possibilitam a transformação dos resíduos da construção classe A em agregados reciclados destinados à reinserção na atividade da construção.

O exercício das responsabilidades pelo conjunto de agentes envolvidos na geração, destinação, fiscalização e controle institucional sobre os geradores e transportadores de resíduos está relacionado à possibilidade da triagem e valorização dos resíduos que, por sua vez, será viável na medida em que haja especificação técnica para o uso de agregados reciclados pela atividade da construção. As normas técnicas que estabelecem as condições para o uso destes agregados são as seguintes:

- Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos – NBR 15115:2004.

- Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos – NBR 15116:2004

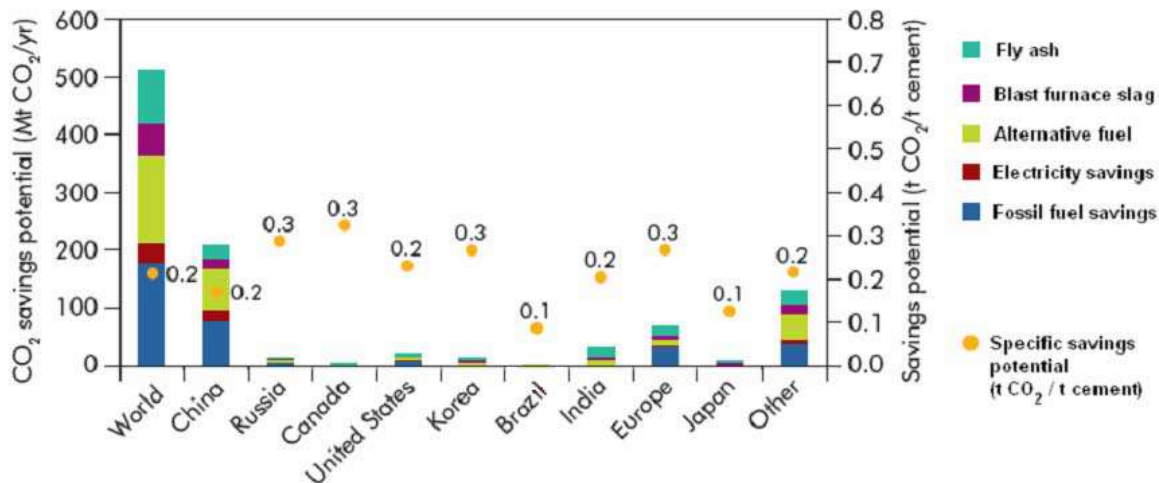
### **1.4.3 Emissões de gases de efeito estufa**

Pouco mais da metade da emissão de CO<sub>2</sub> na indústria do cimento é inerente ao processo de produção e ocorre durante a transformação físico-química da matéria-prima (calcário) em clínquer, o principal componente do cimento. A outra é predominante resultante da queima de combustíveis no forno de clínquer, cuja chama atinge uma temperatura de até 2000°C.

A indústria do cimento em todo o mundo responde por aproximadamente 5% do total de CO<sub>2</sub> emitido pelo homem. No Brasil, onde as queimadas florestais são as principais emissoras de CO<sub>2</sub>, o 1º Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, que levantou dados de 1990 a 1994, classificou a participação do setor como de menos de 2% do total das emissões nacionais.

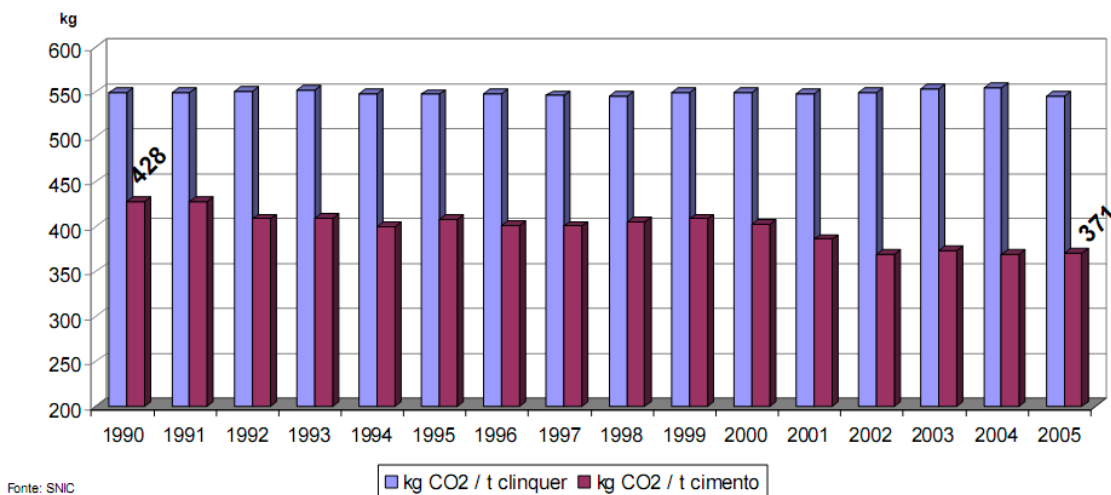
A indústria nacional adotou uma série de medidas e características do processo de produção, que a posicionaram entre as mais eficazes no controle de suas emissões no país, resultando em um dos menores níveis de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento produzida. Estudos realizados pela IEA (International Energy Agency),

Figura 1.6, que analisam o potencial de redução de emissões do setor cimenteiro, mostram que a indústria brasileira do cimento, por conta desses níveis de excelência já atingidos e com base nas melhores práticas e tecnologias disponíveis, apresenta pouca possibilidade de redução, comparativamente com a de outros grandes países produtores, que ainda não puderam implementar totalmente essas ações.



Fonte: IEA

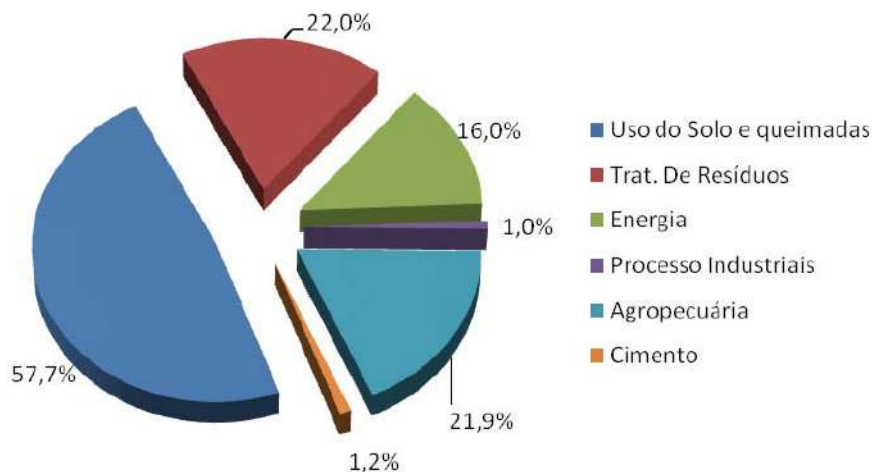
**Figura 1.6: Potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub> (2006)**



Fonte: SNIC

**Figura 1.7: Emissões específicas de CO<sub>2</sub> por clínquer e cimento**

Na Figura 1.7 observa-se a significativa redução de emissões específicas, variando de 428kg de CO<sub>2</sub>/t em 1990 para 371kg de CO<sub>2</sub>/t de cimento em 2005.



Fonte: Ministério da Ciência e Tecnologia (2005)

**Figura 1.8: Resultados preliminares do 2º Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa**

Segundo os resultados preliminares do 2º Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, o Brasil em 2005 emitiu 2,2 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, deste 1,2% é referente a indústria do cimento, como mostra a Figura 1.8.

#### 1.4.4 Conceito de Perdas

Segundo Koskela (1992) perdas pode ser definido como tudo aquilo que consome recursos, mas não agrega valor. Ainda conforme Koskela (1992) grandes falhas eram a desconsideração das atividades de fluxo inerentes ao processo e a ausência de uma correta especificação do produto segundo as necessidades dos clientes, levando a um grande número de retrabalhos. Pois se considerava somente as atividades de conversão de uma entrada (input) em uma saída (output).

Assim surge a divisão de atividades que agregam e que não agregam valor ao produto, do ponto de vista de satisfação do cliente. As atividades de fluxo (o material é inspecionado, transportado e armazenado) e de conversão (processamento do material) consomem tempo e recursos, entretanto, só a última agrega valor ao produto.

Ainda segundo Koskela – (1992), apenas cerca de 20% das atividades do processo construtivo são de conversão.

De acordo com Alarcon – (1997), seguindo as novas filosofias de produção, são consideradas perdas todas as atividades que exigem tempo e dinheiro sem agregar valor ao produto e, estas, devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo.

Segundo Serpell et al – (1997), na maioria dos casos os engenheiros responsáveis por gerenciar as obras não conseguem reconhecer nem os fatores que geram as perdas. Deve-se reconhecer, entretanto, que estes fatores não são visualizados com facilidade.

As perdas podem ocorrer durante todas as etapas do processo construtivo, desde a concepção do projeto (superdimensionamento), o processo construtivo em si e até na manutenção (reformas e patologias).

#### 1.4.4.1 Classificação das Perdas

Para reduzir as perdas na construção de edificações é necessário conhecer sua natureza e identificar suas principais causas. Shingo – (1981) e Skoyles (1987) classificaram as perdas de acordo com a possibilidade de serem controladas, sua natureza e sua origem.

##### *1.4.4.1.1 Perdas Segundo seu Controle*

Estas perdas estão sub-classificadas da seguinte forma:

- Perdas inevitáveis (ou perda natural): correspondem a um nível aceitável de perdas, que é identificado quando o investimento necessário para sua redução é maior que a economia gerada. O nível de perdas inevitáveis varia de obra para obra, dependendo do patamar de desenvolvimento da mesma.
- Perdas evitáveis: ocorrem quando os custos da ocorrência são substancialmente maiores que os custos da prevenção. São consequência de um processo de baixa qualidade, no qual os recursos são aplicados inadequadamente.

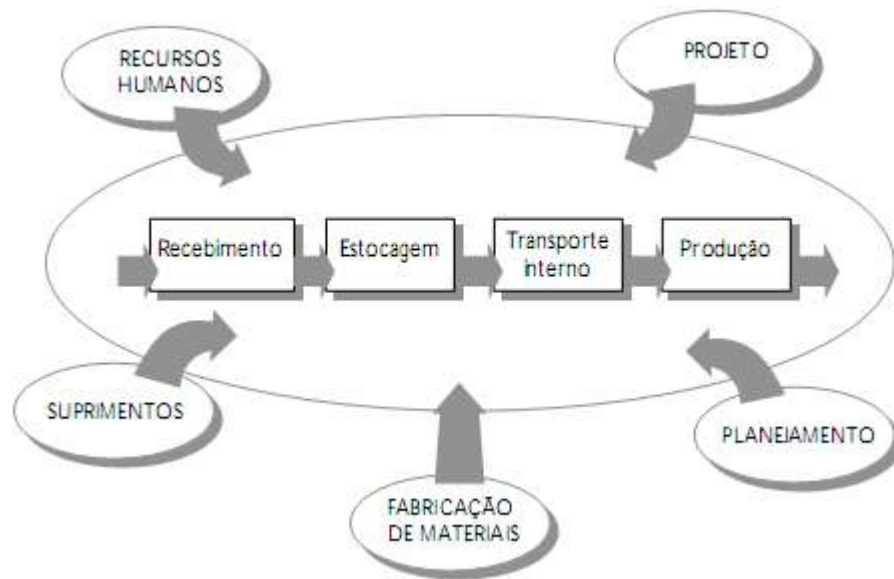
##### *1.4.4.1.2 Perdas Segundo sua Natureza*

Ainda de acordo com Shingo – (1981), nas perdas quanto a natureza, identifica-se nove subcategorias de perdas.

- Perdas por superprodução – refere-se a perdas que ocorrem devido a produção de quantidades maiores de material do que realmente é necessário. Exemplo: produção de argamassa a mais do que será usado em um dia de trabalho.
- Perdas por substituição – refere-se a utilização de materiais de valores superiores ao especificado. Exemplo: utilização de argamassa com traço de maior resistência que a necessária.
- Perda por espera – relacionam a sincronia do fluxo de materiais e as atividades dos trabalhadores. Exemplo: parada nos serviços por falta de materiais e/ou equipamentos.
- Perdas por transporte – estão associadas ao manuseio excessivo ou inadequado dos materiais, em função, as vezes, de um layout ineficiente. Exemplo: tempo excessivo no transporte devido a grandes distâncias entre estoques e o guincho.
- Perdas no processamento em si – tem origem na própria natureza das atividades do processo ou na execução inadequada dos mesmos. Exemplo: quebra manual dos blocos devido a falta de meios-blocos.
- Perdas nos estoques – estão associados a existência de estoques excessivos, em função da programação inadequada na entrega dos materiais. Podem resultar tanto em perdas de material quanto de capital. Exemplo: deterioração do cimento devido ao armazenamento em pilhas muito altas.
- Perdas no movimento – decorrem da realização de movimentos desnecessários por parte dos trabalhadores, durante a execução de suas atividades. Exemplo: esforço excessivo do trabalhador em função de condições ergonômicas desfavoráveis.
- Perdas pela elaboração de produtos defeituosos – ocorrem quando são fabricados produtos que não atendem aos requisitos de qualidade especificados. Resultam em retrabalhos. Exemplo: falhas nas impermeabilizações e pinturas, descolamento de azulejos.
- Outras – algumas outras perdas são mais inusitadas, porém existem. Exemplos: roubo, vandalismo, etc.

### 1.4.4.1.3 Perdas Segundo sua Origem

As perdas mencionadas em geral ocorrem e podem ser identificadas durante a etapa de produção. Contudo, sua origem pode estar no próprio processo de produção quanto nos processos que o antecedem, como fabricação de materiais, recursos humanos, projetos, suprimentos e planejamento. A Figura 1.9 mostra as perdas durante a produção.



**Figura 1.9: As perdas segundo seu momento de incidência e sua origem**

### 1.4.5 Indicadores de Perdas

Trata-se do resultado de levantamentos realizados dentro do processo construtivo, onde são feitas comparações entre situações previstas e ocorridas.

Os indicadores de perdas podem ser compostos de diversas maneiras. Na maior parte das vezes se definirá uma situação de referência (prevista), se quantificará a situação real (ocorrida), e o indicador será constituído por uma relação percentual da discrepância da situação real com relação à de referência (SOUZA,1997):

$$\text{IND}(\%) = \frac{(S_{\text{real}} - S_{\text{ref}})}{S_{\text{ref}}} \times 100$$

**Equação 1.1**

- ✓ IND = Indicador de perda
- ✓  $S_{\text{real}}$  = Situação real
- ✓  $S_{\text{ref}}$  = Situação de referência

Segundo FORMOSO et al (1996), os índices de perdas cumprem importante papel de indicadores de desempenho dos processos e, como tais, podem ser empregados para diferentes finalidades. Principalmente fornecer dados confiáveis para a discussão da gestão de materiais e planejamento do canteiro de obras.

#### 1.4.5.1 Indicadores de Perdas da Construção civil

Os indicadores de perdas demonstram as perdas relacionadas às atividades de conversão, principalmente por superprodução. Vale ressaltar que não há índices de perdas com relação às atividades de fluxo, ou seja, as atividades que são feitas e não agregam valor. Sendo essas atividades responsáveis por uma boa parcela de perdas, principalmente financeiras, de tempo e de energia.

**Tabela 1.10: Perdas detectadas**

Materiais/ Componentes	Média (%)	Mediana (%)	Desvio Padrão (%)	Máx. (%)	Mín. (%)	n
Cimento	95	56	111	638	6	44
Areia	76	44	79	7	311	28
Revestimento Cerâmico						
Piso	22,0	19,0	18,9	78,0	5,0	13
Parede	16,4	13,0	14,3	50,0	-1,0	28
Fachada	12,3	13,0	7,0	19,0	5,0	3

Fonte: FINEP – 1998

O cimento é utilizado nos serviços de execução de alvenaria de blocos cerâmicos, revestimentos de argamassa (internos e externos) e contrapisos. Assim como no estudo de SOIBELMAN (1993), as principais causas de perdas de cimento são o excesso de espessura de revestimentos de argamassa, do contrapiso e de juntas de alvenaria e a falta de controle na confecção de traços de argamassa. Tais

fatores são responsáveis por índices de perdas de cimento relativamente altos como mostrado na Tabela 1.10

A areia tem seu índice de perda também relacionado ao excesso de espessura de juntas de alvenaria, de revestimentos argamassados e de contrapisos, além das más condições de estocagem, tais como: mescla entre diferentes materiais e contaminação com solo por não haver contrapiso adequado.

As perdas das placas cerâmicas podem ser atribuídas principalmente ao excesso de recortes, que é consequência da falta de modulação de projeto, da pouca integração entre os projetos arquitetônico e estrutural, e da incompatibilidade dimensional entre as placas e os compartimentos.

## **1.5 Objetivo**

O desenvolvimento tecnológico em torno do reaproveitamento de resíduos da construção civil atualmente tem enorme relevância, pois o descarte inadequado destes, causa um impacto socioambiental, impondo a busca de soluções eficazes para sua gestão adequada que vise á minimização desses impactos. Os principais resultados obtidos com o reaproveitamento destes resíduos são os benefícios socioambientais, como a melhoria da qualidade de vida da população e a utilização racional dos recursos naturais.

Assim, frente aos fatos expostos anteriormente, o objetivo do presente trabalho é caracterizar os resíduos de porcelanato gerado e propor uma alternativa ecológica, através de seu reaproveitamento em argamassas com o interesse de utilizá-los na construção civil.



## Capítulo 2. Materiais e Métodos

Na realização da parte experimental deste projeto foram utilizados os seguintes materiais:

- Sobras de porcelanato oriundos da construção civil
- Cimento Portland tipo CII - 32F

A escolha do resíduo de porcelanato é justificada pela sua ampla utilização nas construções atuais.

O projeto teve início com a caracterização do porcelanato. Com base nos resultados obtidos, realizou-se ensaios nos quais se pode avaliar suas propriedades em materiais construtivos.

### 2.1 *Tratamentos dos Materiais Utilizados*

As sobras de porcelanato apresentavam-se em tamanhos variados sendo inicialmente submetidas ao processo de cominuição. Com esta finalidade foi utilizado triturador de rolos e em seguida um pulverizador de disco ambos da marca DENVER. Esta etapa teve como objetivo reduzir a granulometria.



**Figura 2.1: (a) Triturador de rolos (b) Pulverizador DENVER**

## 2.2 Caracterização dos Materiais Utilizados

### 2.2.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica fornece a distribuição percentual, em peso, dos tamanhos dos grãos que constituem o material, ou seja, permite identificar o tamanho e a distribuição dos grãos obtidos após a cominuição.

Seguindo a Norma NM 248:2003, o resíduo de porcelanato e a areia foram classificados e quantificados granulometricamente, utilizando para isto um *rot-up Marconi* com jogo de peneiras ABNT de 115, 170, 200, 250, 270 e 325 mesh.

### 2.2.2 Determinação da massa específica

Massa específica é a relação entre a massa do resíduo seco em estufa (100°C a 110°C) até constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis.

Seguindo a NBR NM 52:2003, colocou-se água no frasco de Chapman até marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorresse totalmente; em seguida introduziu-se, 500 g do resíduo de porcelanato seco no frasco e agitou-se para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em cm<sup>3</sup>, ocupado pelo conjunto água-resíduo de porcelanato.

A massa específica do agregado miúdo é calculada mediante a expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad \text{Equação 2.1}$$

$\gamma$  = massa específica do agregado miúdo; deve ser expressa em g/cm<sup>3</sup>

L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

### 2.2.3 Análise Mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada empregando-se as técnicas de difração de Raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV), de Fluorescência de raios X.

#### 2.2.3.1 Análise por Difração de Raios X

A utilização da técnica de difração de raios-X tem como finalidade a identificação da estrutura cristalina do resíduo. Esta técnica consiste em se incidir um feixe de raios-X de comprimento de onda  $\lambda$  sobre um cristal, variando-se o ângulo de incidência  $\theta$  de maneira que quando o ângulo de incidência iguala-se ao de reflexão ou a lei de Bragg é obedecida, ocorre um registro gráfico referente a um dos feixes de difração.

$$n \lambda = 2 d \text{ sen}(\theta) \qquad \text{Equação 2.2}$$

- ✓ n: número inteiro: comprimento de onda dos raios X incidentes
- ✓ d: distância interplanar: ângulo de difração

Dentre as vantagens da técnica de difração de raios X para a caracterização de fases, destaca-se a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

O equipamento utilizado foi um difratômetro de raios X RIGAKU modelo MiniFlex II. As análises foram realizadas utilizando o método do pó, com radiação  $K\alpha$  do cobre e varredura entre os ângulos de 10 a 80 ( $2\theta$ ).

#### 2.2.3.2 Análise Química por Fluorescência de Raios-X

O princípio da técnica consiste em transições eletrônicas, onde os elétrons das camadas mais externas dos átomos, quando atingidos por radiação, são expulsos, fazendo com que os átomos se ionizem. Ocorrem então, transições entre camadas dentro dos íons formados, fazendo com que os mesmos emitam raios-X, cuja intensidade é caracterizada para cada elemento existente.

O espectro assim obtido por indutância em uma certa amostra, será interpretado. Esse espectro obtido é a fluorescência de Raios-X e a intensidade do

espectro é proporcional à quantidade do elemento presente. Esta técnica foi utilizada para a determinação dos teores dos elementos na forma de óxidos.

Foi realizada em espectrômetro de fluorescência de raios X RIGAKU do laboratório do NUCAT / COPPE.

### 2.2.3.3 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A utilização desta técnica permite realizar um estudo das características superficiais e da morfologia das partículas. Quando uma radiação é empregada para iluminar um objeto, o valor limite do poder de resolução é definido pelo comprimento de onda da radiação. No microscópio eletrônico, ao invés da luz visível, a amostra é bombardeada com um feixe de elétrons altamente energético, permitindo, portanto, um poder de resolução bem mais elevado que na microscopia ótica.

## 2.3 *Ensaaios em argamassa*

Com a finalidade de verificar a possibilidade de uso desse material como substituinte de parte do cimento Portland foram confeccionados corpos-de-prova, de acordo com a norma NBR 5738. O proporcionamento das composições está descrito na Tabela 2.1. Essas variam de acordo com as porcentagens de resíduo cerâmico em relação ao cimento, com o objetivo de determinar a melhor porcentagem para confecção de blocos de concreto. As composições são as seguintes:

- ✓ Padrão – Argamassa Padrão
- ✓ P10 – 10% do cimento substituído pelo resíduo de porcelanato
- ✓ P15 – 15% do cimento substituído pelo resíduo de porcelanato
- ✓ P30 – 30% do cimento substituído pelo resíduo de porcelanato

O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, conforme a norma NBR 7215.

Os corpos-de-prova foram elaborados com argamassa composta de cimento, areia, resíduo de porcelanato e com relação água/cimento de 0,48.

**Tabela 2.1: Composição dos traços de argamassa elaborados**

<b>Materiais</b>	<b>Composição, m<sup>3</sup></b>			
	<b>Padrão</b>	<b>P10</b>	<b>P15</b>	<b>P30</b>
Cimento (kg)	520,8	468,3	442,7	364,6
Resíduo de Porcelanato (kg)	—	52,0	78,1	156,2
Água (L)	250,0	250,0	250,0	250,0
Areia Fina (kg)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Média Fina (kg)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Média Grossa (kg)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Grossa (kg)	390,0	390,0	390,0	390,0

A argamassa foi preparada por meio de mistura manual e compactada em um molde, por um procedimento normalizado. Os moldes que contêm os corpos-de-prova são conservados em atmosfera úmida para cura inicial; em seguida os corpos-de-prova são desmoldados e submetidos à cura em água saturada de cal até a data de ruptura e medição de absorção de água.



**Figura 2.2: Corpos de prova moldados**

### **2.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial**

Os corpos-de-prova foram rompidos para determinação da resistência à compressão axial, quando se encontravam com idades de sete e vinte e oito dias, de acordo com procedimento normalizado. Em cada ensaio foram rompidos quatro corpos-de-prova na prensa Versa Tester.

Após a compressão, foi calculada a resistência à compressão, em megapascals (MPa), de cada corpo-de-prova, dividindo a carga de ruptura pela área da seção do corpo-de-prova e a. média das resistências individuais, dos quatro corpos-de-prova ensaiados na mesma idade. Quando o desvio relativo máximo entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste for superior a 6%, calcula-se uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato o ensaio deve ser refeito.

$$P = \frac{F}{A \cdot 10} \quad \text{Equação 2.3}$$

- ✓ P – Resistência à compressão em MPa
- ✓ F – valor obtido pela máquina de compressão no início da ruptura (Kgf)
- ✓ A – área da seção transversal do corpo de prova, calculado  $(\pi D^2)/4$ , em  $\text{cm}^2$

### **2.3.2 Ensaio de absorção de água**

A absorção de água é devido aos poros existentes no material dos grãos. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR NM 30:2001 e o percentual de água retida nos corpos de prova foi calculado segundo a Equação 2.3.

$$AA(\%) = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 2.4}$$

- ✓  $M_s$  – peso do corpo seco
- ✓  $M_u$  – peso do corpo saturado de água

## **2.4 Ensaio de determinação de atividade pozolânica com cimento Portland**

O índice de atividade pozolânica é um parâmetro muito importante na avaliação da reatividade de um material a ser utilizado como aditivo mineral em concretos e argamassas. Existem diversos métodos normalizados no Brasil e no

exterior para a determinação da atividade pozolânica, estando todos baseados na determinação da resistência mecânica de argamassas ou em ensaios químicos.

A determinação da atividade pozolânica com cimento Portland, conforme NBR 5752 (1992), consistiu no preparo de argamassas com traço 1:3 (cimento Portland: Areia Normal). A primeira argamassa contendo somente cimento Portland, enquanto que as demais apresentavam substituição do volume absoluto de cimento usado na primeira por material pozolânico. A quantidade de água foi determinada para uma consistência fixa de 225 mm  $\pm$  5 mm, verificada através do ensaio da mesa de consistência recomendada pela NBR 7215 (1997). De acordo com esta norma foram moldados três corpos-de-prova, de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, para cada uma das argamassas (Tabela 2.2). Durante as primeiras 24 horas, os corpos-de-prova foram mantidos nos moldes em câmara úmida, sendo desmoldados após 24 horas e colocados em recipientes hermeticamente fechados, durante 27 dias. Após os 28 dias de idade, os corpos-de-prova, foram levados a ruptura por compressão simples.

**Tabela 2.2: Composição dos traços de argamassa elaborados**

<i><b>Materiais</b></i>	<i><b>Massa necessária (g)</b></i>	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento	312,0	202,8
Resíduo de Porcelanato	—	$109,2 \times \frac{\bar{\delta}_r}{\bar{\delta}_c}$
Areia Normal	936,0	936,0
Água	$x^B$	$y^B$

- ✓  $\bar{\delta}_r$  e  $\bar{\delta}_c$  representam as massas específicas determinadas de acordo com a NBR NM 23:2001
- ✓  $x^B$  e  $y^B$  quantidade de água requerida para obter índices de consistência de (225 + 5mm) de acordo com a NBR 7215.

O índice de atividade pozolânica com cimento Portland (NBR 5752, 1992) é dado pela razão, em percentual, entre a resistência média à compressão dos três corpos-de-prova moldados com pozolanas e a resistência média dos três corpos-de-prova moldados somente com o cimento.

## 2.5 *Tempo de Pega*

O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, propriedade essencialmente física, conseqüente de um processo químico de hidratação. É definida como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho.

No processo de hidratação, os grãos de cimento que inicialmente se encontram em suspensão vão-se aglutinando uns aos outros por efeito de floculação conduzindo à construção de um esqueleto sólido, responsável pela estabilidade da estrutura geral. O prosseguimento da hidratação em subseqüentes idades conduz ao endurecimento responsável pela aquisição permanente de qualidades mecânicas, características do produto acabado. A pega e o endurecimento são dois aspectos do mesmo processo de hidratação do cimento, vistos em períodos diferentes a pega na primeira fase do processo e o endurecimento na segunda e última fase do mesmo. A partir de certo tempo após a mistura, quando o processo de pega alcança determinado estágio, a pasta não é mais trabalhável, não admite operação de remistura. Neste ponto a pasta deve permanecer em repouso, para permitir o desenvolvimento do endurecimento (BAUER, 1994).

A determinação do tempo de pega foi feita para todas as misturas propostas, de acordo com a norma NBR NM 65:2003, utilizando-se o aparelho de Vicat.



**Figura 2.3: Aparelho de Vicat**



## 2.6 Temperatura de Hidratação

O cimento em pó é transformado em um material ligante (aglomerante) devido às reações que ocorrem entre o cimento e água. A reação química do cimento com a água, denominada hidratação do cimento, possui importância fundamental na tecnologia do concreto, pois ela é uma das grandes responsáveis pelas suas qualidades finais.

A hidratação do cimento é uma reação química exotérmica que chega a liberar até 500 joules por grama (120 cal/grama) de cimento. Sabe-se que, do total de calor gerado, aproximadamente a metade é liberada entre um e três dias, cerca de 75% em sete dias e 83% a 91% em seis meses (Neville, 1997).

Para estimar o calor liberado durante a hidratação do cimento nas argamassas seria necessária uma estimativa do calor específico de cada uma delas. Então o ensaio se restringiu em medir a variação de temperatura durante a secagem das argamassas num período de doze horas.

O ensaio foi realizado utilizando o aparelho e o software LabPro, que registra a temperatura da argamassa através de um termopar. Para o ensaio foram utilizadas as argamassas Padrão, P10, P15 e P30, juntamente com uma pasta de cimento CII – 32 F.



Figura 2.4: (a) Aparelho LabPro (b) Sistema Termopar e LabPro

## Capítulo 3. Resultados e Discussão

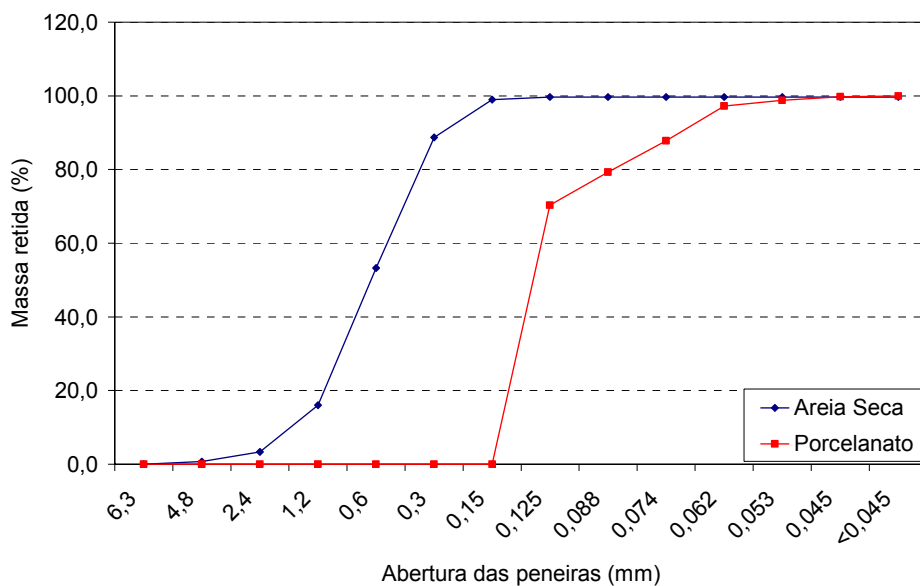
### 3.1 Caracterização dos Materiais Utilizados

#### 3.1.1 Análise Granulométrica

Após a passagem pelo pulverizador de disco o resíduo de porcelanato foi classificado granulometricamente conforme é apresentado na Tabela 3.1. A Figura 3.1 mostra a comparação da distribuição granulométrica da areia seca e o resíduo de porcelanato.

**Tabela 3.1: Análise Granulométrica do resíduo de porcelanato cominuído**

<i>Peneira (mesh)</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Massa retida (%)</i>	<i>Massa acumulada (%)</i>
115	0,125	61,98	61,98
170	0,088	12,07	74,05
200	0,074	10,84	84,88
250	0,062	11,45	96,33
270	0,053	2,28	98,62
325	0,045	1,24	99,86
Fundo	< 0,045	0,14	100,00



**Figura 3.1: Distribuição granulométrica do resíduo do porcelanato e da areia seca**

A granulometria do porcelanato encontra-se entre a granulometria da areia e do cimento. Devido a isto se preferiu usar o porcelanato como substituinte do cimento

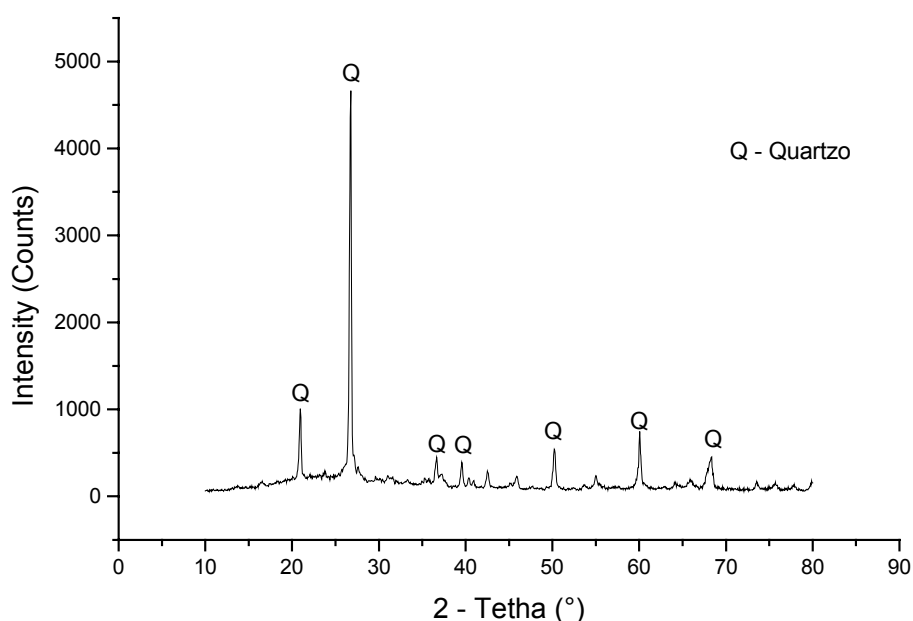
### 3.1.2 Determinação da massa específica

A massa específica encontrada ao seguirmos a norma NBR NM 52:2003 foi de  $2,01 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.1.3 Análise Mineralógica

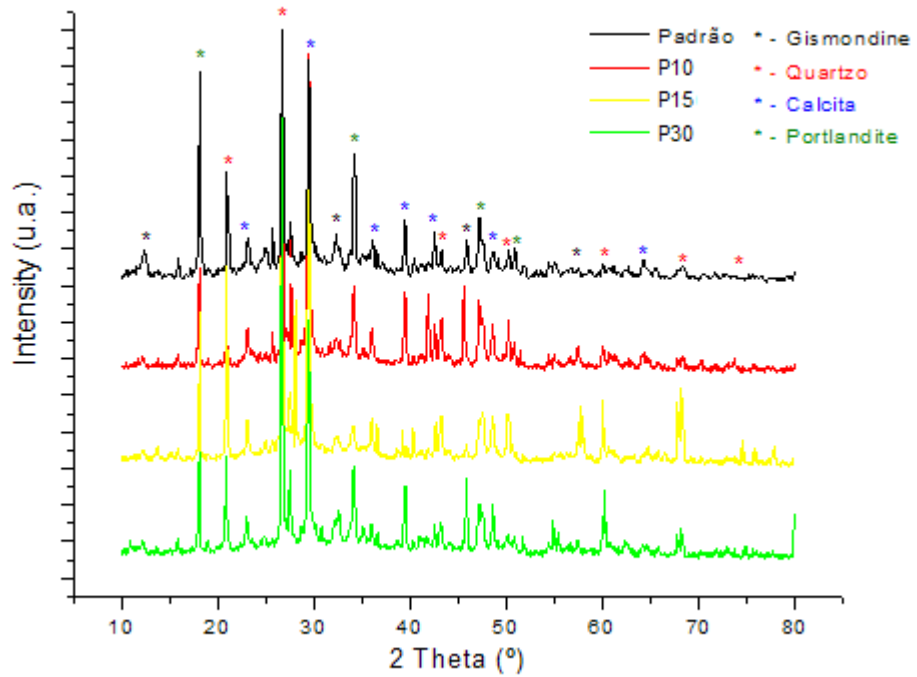
#### 3.1.3.1 Análise por Difração de Raios X

Na identificação os picos do difratograma foi utilizado o programa MDI Jade 5 e o banco de dados ICSD - Inorganic Crystal Structure Database.



**Figura 3.2: Difratograma do resíduo de Porcelanato**

O difratograma do resíduo de porcelanato, Figura 3.2, indica a presença de quartzo (SiO<sub>2</sub>). **FALAR DO POR QUE DE NÃO APARECER OS ALUMINATOS...**



**Figura 3.3: Difratoograma das argamassas Padrão, P10, P15 e P30**

No difratograma da Figura 3.3 pode-se notar que há a presença de sílica nas argamassas P10, P15 e P30 Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), pelo pico em 2-Theta em  $26,75^\circ$ , informação corroborada pela presença de outros dois picos característicos do quartzo, um em 2-Theta igual a  $21,00^\circ$  e outro em 2-Theta igual a  $50,12^\circ$ . Também há a presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), Gismondine ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), Portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) em todas as composições.

### 3.1.3.2 Análise Química por Fluorescência de Raios-X

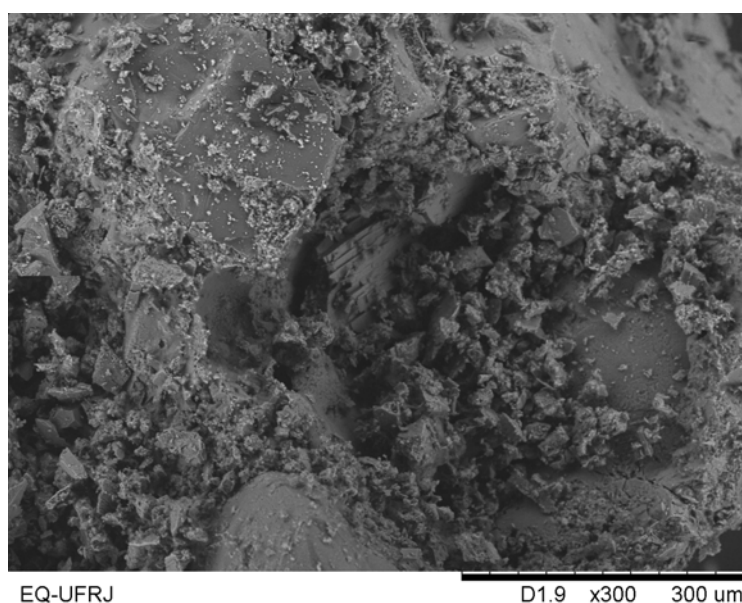
A composição química do resíduo de porcelanato é expressa na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2: Composição química elementar do resíduo de porcelanato**

<b>Componente</b>	<b>% (massa)</b>
SiO <sub>2</sub>	65,614
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,177
K <sub>2</sub> O	4,184
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,174
MgO	1,597
CaO	1,010
Na <sub>2</sub> O	0,952
TiO <sub>2</sub>	0,844
ZrO <sub>2</sub>	0,447

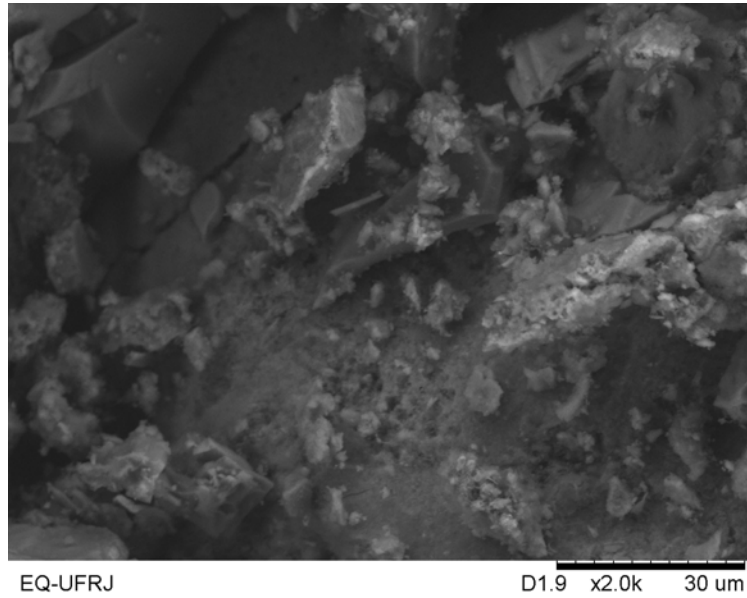
O teor de sílica (SiO<sub>2</sub>) apresentado pela amostra é considerado elevado, fato desejável em materiais ativos e que tem papel importante, pois ao longo do tempo têm-se reações que formam os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, responsáveis pela resistência mecânica desenvolvida.

### 3.1.3.3 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)



**Figura 3.4: Fotomicrografia da argamassa P10**

A Figura 3.4 mostra que a estrutura da argamassa é homogênea, o que caracteriza um material pouco poroso. A zona de transição também pode ser observada na Figura.

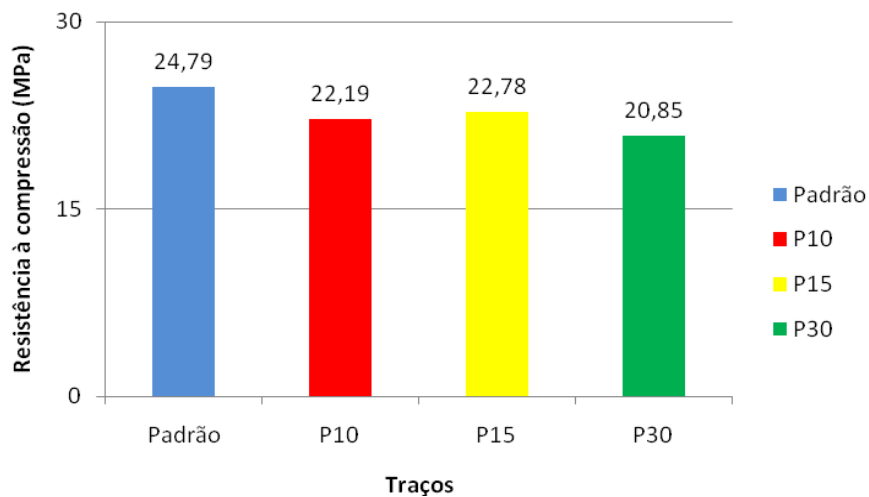


**Figura 3.5: Fotomicrografia da argamassa P10**

Na Figura 3.5 pode-se observar a presença dos cristais de hidróxido de cálcio, este se precipita nos espaços entre as partículas de cimento com um formato hexagonal.

## **3.2 Ensaio em argamassa**

### **3.2.1 Ensaio de resistência à compressão axial**

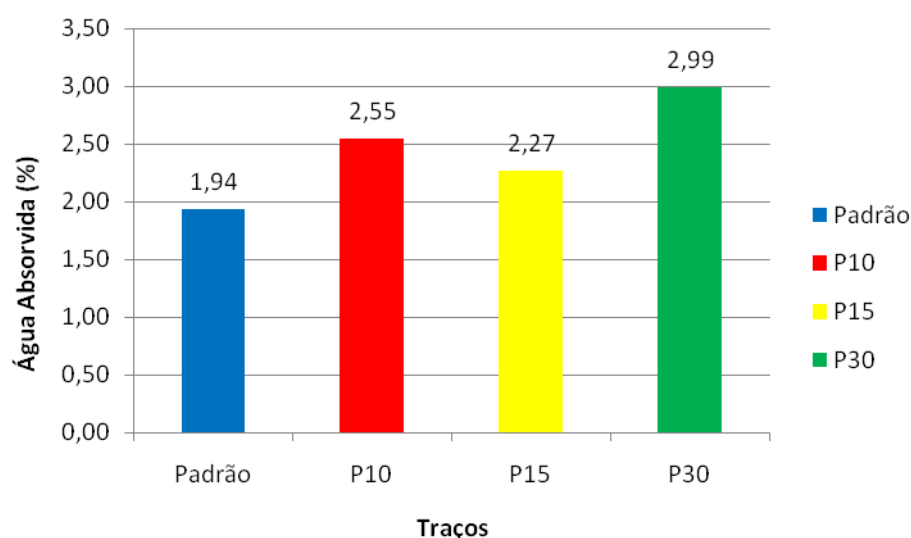


**Figura 3.6: Ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias**

Como pode ser observado na Figura 3.6, as argamassas com substituição do cimento pelo resíduo de porcelanato tiveram uma resistência à compressão cerca de 10% menor do que a argamassa padrão.

Foi preparada outra argamassa com 30% de cimento substituído pelo resíduo de porcelanato para comparação, esta apresentou uma resistência a compressão 10% menor que as demais argamassas com substituinte.

### 3.2.2 Ensaio de absorção de água



**Figura 3.7: Percentual de água absorvida pelos corpos-de-prova**

No gráfico da Figura 3.7, observa-se que o percentual de água retida nos corpos de prova preparados com porcelanato absorvem um teor de água maior do que os com argamassa padrão.

Dentre as argamassas com cimento substituído, a argamassa P15 é a que apresentou menor absorção de água, aos 28 dias, com uma diferença de 17% da argamassa padrão. A argamassa de comparação com 30% de cimento substituído pelo resíduo de porcelanato apresentou 3,0% de água retida, ou seja, absorveu 54,6% a mais do que a argamassa padrão.

O aumento da absorção de água nas argamassas com cimento substituído pelo resíduo de porcelanato, pode ser explicado através de sua granulometria, a substituição do cimento por um material com granulometria maior criou vazios entre os materiais, o que permitiu uma maior absorção de água. Este comportamento

mostra que as argamassas preparadas com o resíduo do porcelanato estão mais sujeitas a ação de agentes agressivos.

### **3.3 Ensaio de determinação de atividade pozolânica com cimento Portland**

- Índice de atividade pozolânica com cimento Portland definido por: 
$$\frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 (\%)$$
- ✓  $f_{cA}$  e  $f_{cB}$  são as resistências médias, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados das argamassas A e B.

**Tabela 3.3: Resistências e índice de atividade pozolânica**

	Argamassa A	Argamassa B
Resistência à compressão (Mpa)	22,24	12,58
Índice de atividade pozolânica (%)	—	56,56

O índice de atividade pozolânica com o cimento, aos 28 dias, em relação à argamassa de referência, é de 56,56%. De acordo com a NBR 12653 (1992), esse índice deve ser, no mínimo, de 75%. Ou seja, o porcelanato não atende a norma, não podendo ser considerado um material pozolânico.

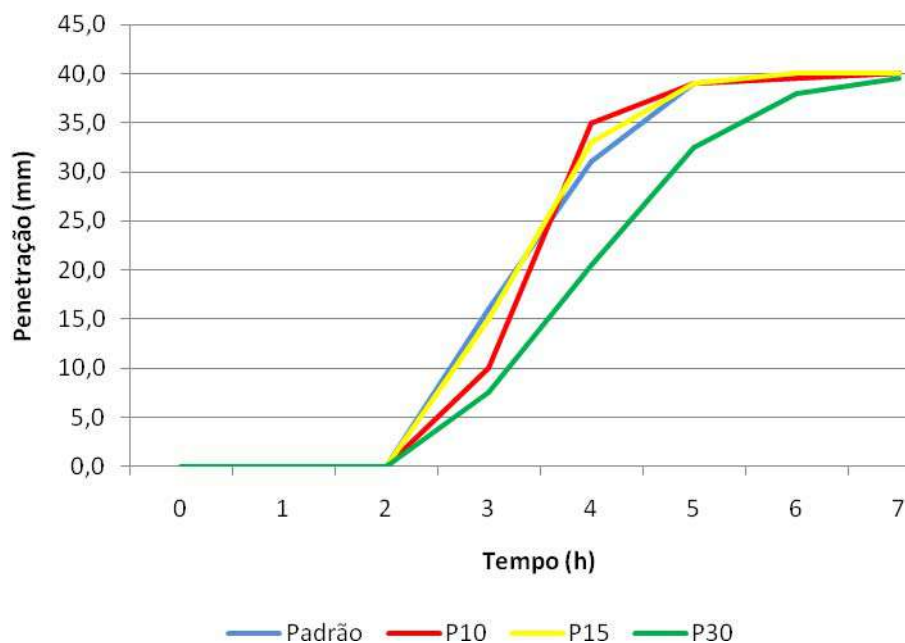
Segundo DAFICO (2001), materiais pozolânicos são constituídos de minerais silicosos ou silicoaluminosos, mas a recíproca não pode ser aplicada. Materiais cristalinos como quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silimanita ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou mulita ( $3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ) não possuem reatividade a temperatura ambiente devido a sua estrutura de baixa energia livre. Apenas quando estão em sua forma não cristalina e finamente moída, estes tipos de materiais podem hidratar a taxas lentas em soluções alcalinas para fornecer sílica e alumina para a reação com a cal, a qual permite a formação de produtos cimentícios.

A quantidade de cal presente no resíduo de porcelanato não é significativa (1,010% em massa) como mostrado na fluorescência de raios-x, a pouca absorção de água que o mesmo apresenta (0,5%) e a faixa granulométrica utilizada no desenvolvimento deste trabalho, podem ser a causa do baixo índice de atividade pozolânica.



Como explicam Metha e Monteiro (1994), a substituição parcial do cimento Portland por adições minerais tem por objetivo melhorar a microestrutura do concreto mediante os seguintes mecanismos, por efeito físico, as partículas pequenas propiciam um maior empacotamento com o cimento e diminuem o efeito de parede da zona de transição, promovendo o aumento da resistência do concreto.

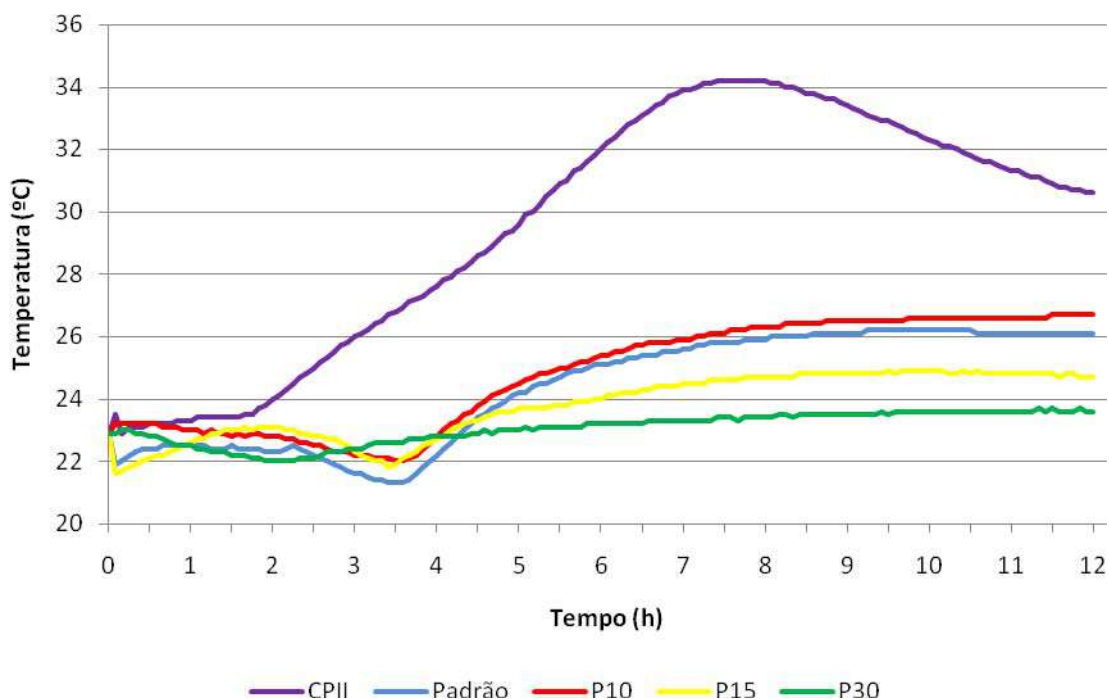
### 3.4 Tempo de Pega



**Figura 3.8: Tempo de pega das argamassas**

Na Figura 3.8 podemos observar o tempo de pega das argamassas. A adição do resíduo de porcelanato não influenciou no tempo de dormência das argamassas produzidas, todas iniciam a pega com duas horas e meia de ensaio. A primeira argamassa a alcançar o fim da pega é a P15 com o tempo de seis horas, as demais argamassas levam seis horas e meia para alcançar o fim da pega.

### 3.5 Temperatura de Hidratação



**Figura 3.9: Temperatura de hidratação das argamassas**

Na Figura 3.9 pode-se observar a variação de temperatura durante a hidratação das argamassas. Nota-se que as argamassas possuem uma reatividade menor em relação a pasta de cimento Portland CII-F32, o que causa o aumento do tempo de dormência, devido a inclusão da areia e do resíduo de porcelanato. A menor variação de temperatura durante a hidratação é preferida, pois o calor liberado durante a hidratação causa microfissuras da argamassa.

Ao se comparar as argamassas produzidas, observa-se que conforme aumenta-se o percentual de substituição do cimento, menor a variação de temperatura. Isto devido a um menor teor de clínquer, que é o responsável pelas reações exotérmicas.

## Capítulo 4. Conclusões e Sugestões

Uma análise conjunta dos resultados mostra que o resíduo de porcelanato pesquisado apresenta características mineralógicas que o classifica como silico-aluminoso, quanto à composição química, responsáveis quando hidratados pela resistência mecânica desenvolvida.

O resíduo de porcelanato foi usado como substituinte do cimento Portland por apresentar um alto índice de sílica, o qual poderia acarretar uma atividade pozolânica. No entanto, analisando suas características mineralógicas, físicas e mecânicas constatou-se que o porcelanato não apresenta sílica não cristalina, porém apresenta um efeito de filler, preenchimento de vazios, devido sua granulometria entre a do cimento e da areia. Assim, podemos dizer que este material não tem atividade pozolânica. Essas duas características estão diretamente ligadas ao resultado de maior absorção de água e menor resistência à compressão ao se comparar com a argamassa padrão.

As argamassas preparadas com o resíduo de porcelanato apesar de apresentar valores de resistência à compressão inferior a argamassa padrão, ainda apresenta desempenho mecânico satisfatório, capaz de produzir elementos construtivos.

Ao término desta primeira etapa de ensaios preliminares desta pesquisa indicam-se alguns itens para pesquisas futuras:

- ✓ Utilização do porcelanato como substituinte da areia;
- ✓ Pesquisar o efeito da granulometria em diferentes faixas granulométricas do resíduo.

## Referências Bibliográficas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Revestimento de Argamassa: Características e Peculiaridades.

Disponível em: <http://www.abcp.org.br>

Acesso em 18 de novembro de 2009.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008.

Disponível em [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2008.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php)

Acesso em 27 de dezembro de 2009.

ALARCON, L. F. **Tools for the identification and reduction of waste in construction projects**. Rotterdam: A.A. Bolkema, 1997.

ALMEIDA, I. R. **Complementos de Tecnologia do Concreto: Materiais Constituintes e Etapas de Produção**. Universidade Federal Fluminense - Departamento de Engenharia Civil, 2001.

Amorim L.V., Pereira A.S.G., Neves G.A e Ferreira H.C. **Reciclagem de Rejeitos de Cerâmica Vermelha e da Construção Civil para Obtenção de Aglomerantes Alternativos**. Cerâmica Industrial, 5 (4) Julho/Agosto, 2000 p. 35-46.

ANFACER - Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento.

Disponível em <http://www.anfacer.org.br/>

Acesso em 12 de janeiro de 2010

AQUINO, T.F.; SANTO, A.R.M.; RIELLA, H.G.; ALVES, H.J. **Redução da porosidade aberta de grês porcelanto: Avaliação da eficiência do tratamento superficial através de técnicas de microscopia e análise de imagens**. Cerâmica Industrial, 11 (3) maio/junho, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738; Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211. Agregados para Concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579. Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75µm**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 15112. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15113. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15114. Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23:2001. Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30:2001. Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:2003. Agregado miúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65:2003. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 76:1998. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da área específica.** Rio de Janeiro, 1998.

BAUER, E. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades.** Brasília: LEM-UnB; Sinduscon, 2005

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H., CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4o**, Brasília/DF, 2001, pg. 43-60.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Análise Do Setor De Cimento No Brasil.** Disponível em <http://www.cbic.org.br>

CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios,** IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995, 118p.

CONAMA – Conselho nacional do meio Ambiente. Resolução nº 307, 5 de julho de 2002. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>

FORMOSO, Carlos T. Et al. **Perdas na construção civil.** Revista Techne Jul/Ago – nº 23 pp 30-32. Ed. Pini.. São Paulo 1996.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 1a. Edição, São Paulo, Ed. Pini, 1998.

JUNIOR, S. F. T. **Tecnologia e Qualidade do Material Concreto nas Construções Agroindustriais**. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2004.

KOSKELA, L. **Application of The New Production Philosophy to Construction**. Austin, Texas: The Construction Industry Institute (CI), 1992.

MEYER-STAMER, JÖRG; MAGGI, CLAUDIO; SEIBEL, SILENE. **Cadeia de Valor Global do Setor Cerâmico: um estudo comparativo dos clusters de Sassuolo, Castellón e Criciúma**. FIESC/IEL, Agosto de 2001.

METHA, P. K., MONTEIRO, J.P.M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Editora Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Trad. Giammusso, S. E.. 2a ed., São Paulo, 1997: Editora Pini, 828 p.

PINTO, T. P. **Gestão ambiental dos resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: SindusCon, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 1999.

PINTO, T.P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Escola politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Tese de doutorado, São Paulo 1999.

RODRIGUES, A.M.; PINARO, S.A.; BERG, E.A.T.; SANTOS, A.H. **Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato**. Cerâmica Industrial, v.9, n 1, p 33-38, 2004.

SERPELL, A. et alli. **Characterization of waste in building construction projects**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997.

SHINGO, S. **A study of Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Toquio, Japan Management Association, 1981.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle**. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, 1993. Dissertação de mestrado.

SOUZA, U. E. **Redução do desperdício de argamassa através do controle do consumo em obra**. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. Anais, Salvador, CEPED, EPUFBA, UCSAL, UEFS, 1997.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995, 188p.

ZAMPIERI, V. A. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. Dissertação Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrografia. Rio de Janeiro, 1989. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 191 p.