



Reaproveitamento de Resíduos de Blocos Cerâmicos na Fabricação de Materiais Construtivos

Licia da Silva Alves Schiavo

Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Prof.^a Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

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

Novembro de 2012

Reaproveitamento de Resíduos de Blocos Cerâmicos na Fabricação de Materiais Construtivos

Licia da Silva Alves Schiavo

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

Aprovado por:

Claudinei de Souza Guimarães, D.SC.

Ladimir José de Carvalho, D.SC.

Patrycia Garcia de Melo, Eng. Químico.

Orientado por:

Valéria Castro de Almeida, D.SC.

Ana Catarina Jorge Evangelista, D.SC.

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Novembro de 2012

Schiavo, Licia da Silva Alves

Reaproveitamento de Resíduos de Blocos Cerâmicos na Fabricação de Materiais Construtivos / Lícia da Silva Alves Schiavo. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. 2012. x, 50 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012
Orientadores: Valéria Castro de Almeida e Ana Catarina Jorge Evangelista.

1. Bloco Cerâmico 2. Reaproveitamento 3. Argamassa 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5, Valéria Castro de Almeida e Ana Catarina Jorge Evangelista. I. Reaproveitamento de Resíduos de Blocos Cerâmicos na Fabricação de Materiais Construtivos

A Ricardo Jorge Dedous,
por ser meu maior incentivador e exemplo.

“Democracia é dar, a todos
o mesmo ponto de partida.
Quanto ao ponto de chegada,
isso depende de cada um.”
(Mario Quintana)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus pais, por todo amor e por terem me ensinado que a educação é o bem mais precioso que o ser humano pode ter.

Às professoras Valéria Castro de Almeida e Ana Catarina Jorge Evangelista, por terem me dado a oportunidade de conhecer o meio acadêmico. E por, como verdadeiras amigas, saberem estender a mão e puxar minha orelha na medida certa.

À minha avó Belinha, por saber acalmar meu estomago em momentos de aflição com seus quitutes cheios de amor e por ter me ensinado tudo o que eu sei sobre a vida.

À minha tia Nice, por aguentar meus jalecos imundos depois de horas de trabalho e ser a força motriz que me fazia encarar a faculdade nos dias de preguiça.

À minha tia Justina, por ser o ultimo olhar ao sair de casa e o primeiro beijo ao retornar da aula até seu último suspiro em meus braços.

À meus irmãos Marcus Vinícius e Luciano, por todo amor e risadas nos momentos de descontração.

Às minhas irmãs Camila, Laura, Emilia e Mariana, por serem companheiras em todas as horas, aturarem meu mau humor nas semanas de prova e crescerem sempre ao meu lado, me ajudando a ser uma pessoa melhor.

À minha grande amiga e companheira de trabalho Raquel Rodrigues, por ser meu braço direito ao longo deste trabalho e ser lembrança constante dos anos mais agitados e divertidos de minha vida.

Às minhas amigas Patrycia Garcia e Roberta Costa, por serem grandes incentivadoras em minha vida e me permitirem partilhar bons e maus momentos com elas.

Ao Meu Marido, Vanderlei LuisSchiavo por ter tornado minha vida mais leve com toda a sua paciência e seu amor.

Aos funcionários do laboratório de processos inorgânicos, Hélio, Wilson e Alice pelo auxílio ao longo desta jornada.

A todos aqueles que torceram por mim e me ajudaram a chegar até aqui com seus pensamentos positivos.

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

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BLOCOS CERÂMICOS NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Licia da Silva Alves Schiavo
Novembro, 2012

Orientadores:

Valéria Castro de Almeida

Ana Catarina Jorge Evangelista

A redução de custos, a melhoria da qualidade e a preservação do meio ambiente pelas empresas de construção civil têm sido uma busca constante devido ao aumento da competitividade das mesmas. Desta forma, a procura por materiais silicosos ou silicoaluminosos que possuam propriedades aglomerantes quando finamente divididos e em contato com a água tornou-se importante. Tais materiais são chamados de materiais pozolânicos e devem conferir resistência às argamassas e concretos, para que possam ser utilizados como substituintes do cimento. Apesar do avanço contínuo da tecnologia, os índices de desperdício dentro de um canteiro de obras ainda são considerados elevados. Neste trabalho foram realizados estudos preliminares com a finalidade de verificar o uso dos resíduos de blocos cerâmicos como uma fonte alternativa de material pozolânico, na produção de argamassas. Para isto foram realizados ensaios de absorção, de resistência à compressão, tempo de pega, difração de Raios-X e curvas de polarização em argamassas com 5%, 10% e 15% de resíduo substituindo o cimento. Além de ensaios de atividade pozolânica. Os resultados obtidos indicam que o emprego deste material é viável na produção de concretos e argamassas num teor de 10%.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A ECONOMIA NO BRASIL.....	2
2.2 CIMENTO PORTLAND.....	4
2.2.1 A INDÚSTRIA DE CIMENTO NO BRASIL.....	9
2.3 CERÂMICA	11
2.3.1 CERÂMICA VERMELHA	14
2.4 ARGAMASSA.....	16
2.4.1 COMPONENTES DA ARGAMASSA E SUAS FUNÇÕES.....	18
2.4.1.1 Aglomerante	18
2.4.1.2 Agregado.....	19
2.5 PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
2.5.1 PERDAS POR TIPO DE MATERIAL	21
2.6 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA CONFECÇÃO DE CONCRETOS E ARGAMASSAS	23
CAPITULO 3 – OBJETIVO	30
CAPITULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	31
4.2 TRATAMENTO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	31
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	32
4.3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	32
4.3.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	33
4.3.3 ANÁLISE QUÍMICA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	34
4.4 ENSAIOS EM ARGAMASSA.....	35
4.4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	36
4.4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	37
4.4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	38
4.4.4 TEMPO DE PEGA.....	39
4.5 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA.....	40
4.6 ENSAIO DE CURVA DE POLARIZAÇÃO.....	41
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	43
5.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	43

5.1.2	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	44
5.1.3	ANÁLISE QUÍMICA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	44
5.2	ENSAIOS EM ARGAMASSA	45
5.2.1	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	45
5.2.2	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	47
5.2.3	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	48
5.2.4	TEMPO DE PEGA.....	49
5.3	ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA	50
5.4	ENSAIO DE CURVA DE POLARIZAÇÃO.....	50
 CAPITULO 6 – CONCLUSÕES		53
 CAPITULO 7 – SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS		54
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		55

Índice de Figuras

FIGURA 2.1: EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PARTICIPAÇÃO DO SETOR NA ECONOMIA.	2
FIGURA 2.2: FINANCIAMENTO IMOBILIÁRIO – SBPE	3
FIGURA 2.3: CONSUMO APARENTE DE CIMENTO NO BRASIL	9
FIGURA 2.4: PRODUÇÃO E CONSUMO DE CIMENTO NO BRASIL EM 2010 E 2011.	10
FIGURA 2.5: RANKING DE PRODUÇÃO MUNDIAL DE CIMENTO	10
FIGURA 2.6: RANKING DE CONSUMO MUNDIAL DE CIMENTO	11
FIGURA 2.7: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA.	15
FIGURA 2.8: COMPARATIVO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS.	25
FIGURA 2.9: DIAGRAMA DE POURBAIX DO FERRO EM ÁGUA	26
FIGURA 2.10: CURVA DE POLARIZAÇÃO ANÓDICA	27
FIGURA 2.11: VARIAÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO COM O TEMPO EM FUNÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO CERÂMICO.	28
FIGURA 4.1: (A) MOINHO DE ROLOS; (B) PULVERIZADOR.	31
FIGURA 4.2: PENEIRADOR DO TIPO ROT-UP.	33
FIGURA 4.3: FRASCO DE CHAPMAN.	34
FIGURA 5.1: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE BLOCO CERÂMICO E DA AREIA	44
FIGURA 5.2: DIFRATOGRAMAS DAS ARGAMASSAS.	46

FIGURA 5.3: ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 E 28 DIAS	47
FIGURA 5.4: ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AOS 28 DIAS	48
FIGURA 5.5: TEMPO DE PEGA DAS ARGAMASSAS	49
FIGURA 5.6: CURVAS DE POLARIZAÇÃO DOS EXTRATOS AQUOSOS DAS ARGAMASSAS CONFECCIONADAS.	51

Índice de Tabelas

TABELA 2.1: COMPOSIÇÃO DO CLÍNQUER E SUAS ABREVIATURAS.	5
TABELA 2.2: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA NO BRASIL (10 ⁹ PEÇAS). (ELABORADO PELO DTTM/SGM/MME A PARTIR DA REVISTA BRASIL MINERAL-MAIO 2011)	14
TABELA 2.3: TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE ARGAMASSAS.	17
TABELA 2.4: CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DO AGLOMERANTE.	19
TABELA 2.5: LIMITES DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA CLASSIFICAÇÃO DE AGREGADO MIÚDO	20
TABELA 2.6: DIFERENTES FASES DE UM EMPREENDIMENTO E A OCORRÊNCIA DE PERDA DE MATERIAIS.	21
TABELA 2.7: MATERIAIS BÁSICOS – PORCENTAGEM DE PERDA NA OBRA APRESENTADA POR DIFERENTES AUTORES	22
TABELA 2.8: MATERIAIS SIMPLES – PORCENTAGEM DE PERDA NA OBRA APRESENTADA POR DIFERENTES AUTORES	22
TABELA 2.9: RESULTADO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM DIVERSAS IDADES	24
TABELA 2.10: RESULTADO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM DIVERSAS IDADES	26
TABELA 4.1: SÉRIE DE PENEIRAS USADA NA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.	32
TABELA 4.2: COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA E ABSORÇÃO DE ÁGUA.	36
TABELA 4.3: COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA DETERMINAÇÃO DE ATIVIDADE POZOLÂNICA	40
TABELA 5.1: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO DE BLOCO CERÂMICO	43

TABELA 5.2: COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DO RESÍDUO DE BLOCO CERÂMICO

45

Capítulo 1 – Introdução

A busca atual da sociedade por novas tecnologias e o crescente aumento da população geram um alto consumo de recursos naturais. Este consumo, quando não é feito de forma consciente e ordenada, acarreta prejuízos para o meio ambiente, que resultam em um esgotamento da fonte e em grandes impactos ambientais sobre a mesma sociedade que o faz. A destruição de ecossistemas, o desmatamento e a poluição de águas são só alguns dos problemas que são causados pela exploração desordenada.

Para minimizar os problemas gerados por décadas de exploração, fez-se necessário que as empresas que utilizam como matéria prima recursos naturais, buscassem novas formas de usá-los para produzir seus bens. Enquanto, por sua vez, governantes criam leis e órgãos reguladores para fiscalizar e regulamentar a exploração. Outra preocupação crescente, do ponto de vista ambiental, está relacionada com o descarte de materiais. Cada tipo de material deve ter um tratamento e uma destinação final que provoque um mínimo impacto sobre o meio ambiente.

No Brasil o CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, é o órgão responsável por regulamentar e fiscalizar toda e qualquer atividade que possua potencial poluidor. A Resolução CONAMA Nº10 de 1990, por exemplo, regulamenta os critérios para obtenção de licenciamento ambiental para a extração mineral da Classe II, que se refere a jazidas de substâncias minerais de emprego direto na construção civil. Dentro desta classificação se encaixa a argila, matéria prima de tijolos e blocos cerâmicos que são largamente utilizados em construções.

Por parte das empresas e da sociedade surge um incontável número de pesquisas com o objetivo de reaproveitar materiais. Tanto para diminuir o consumo de determinado material, quanto para reaproveitar algo que seria descartado na natureza transformando-o em um bem consumível. A indústria da construção civil, como grande consumidora de recursos naturais, é alvo de várias pesquisas. Dentre elas, algumas que visam diminuir o consumo de cimento na produção de concretos e argamassas sem prejudicar as propriedades mecânicas finais dos produtos.

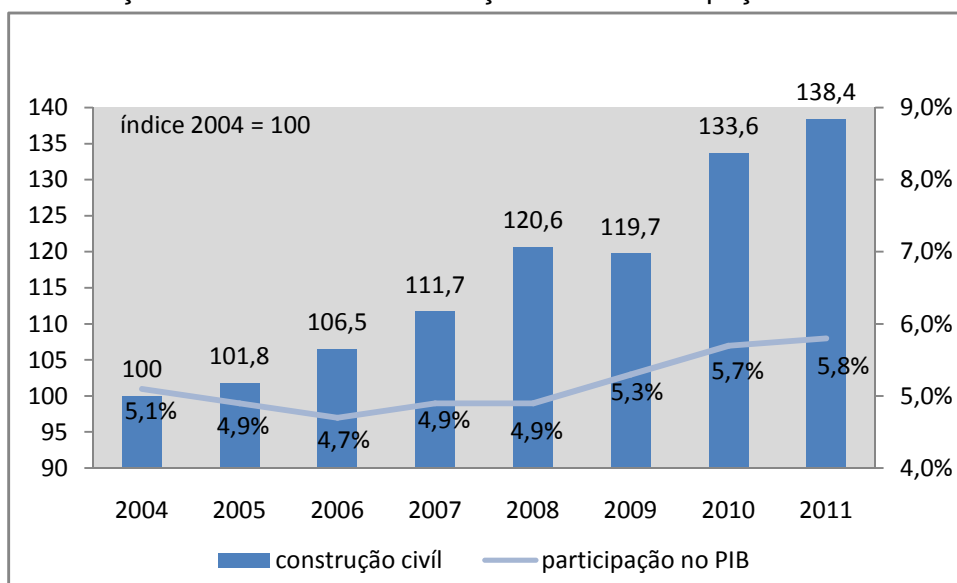
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1 A Indústria da Construção Civil e a Economia no Brasil

Ao longo das últimas décadas a estabilidade econômica alcançada pelo Brasil e o retorno dos investimentos produtivos no país trouxeram um avanço econômico e social para o mesmo. Segundo o Relatório anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC –de 2009, as obras de infraestrutura, a construção de escolas e hospitais e as políticas habitacionais impulsionaram a indústria da construção civil. Um dos fatores que incentivaram o crescimento da indústria nos últimos anos foi, em 2004, a sanção da lei nº 10.931 que cria o chamado Patrimônio de Afetação, que dá garantias aos compradores de imóveis em construção e segurança aos investidores imobiliários. Esta lei serviu como estímulo para que bancos privados abrissem suas cartas de crédito para financiamentos habitacionais e construtoras investissem mais no setor imobiliário.

Pode-se observar na Figura 2.1 a evolução da indústria da construção civil e a sua participação na economia brasileira a partir de 2004.

Figura 2.1: Evolução da Indústria da Construção Civil e Participação do Setor na Economia.

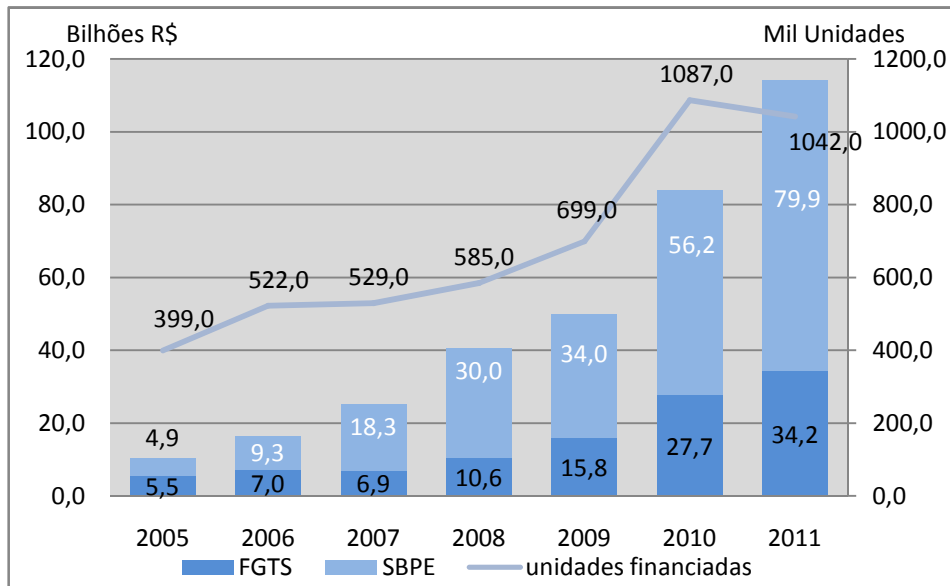


Fonte: IBGE (2012)

Considerando a situação da indústria no ano de 2004 como índice 100 observa-se um grande aumento na mesma, sem, contudo observar grandes variações na participação no PIB nacional. Desta forma, a indústria chega ao final de 2011 com um índice de 138,4 e sendo responsável por 5,8% do PIB. O que mostra a importância do setor para a economia do país.

Com a crise econômica que abala o mundo desde 2008, a indústria da construção civil teve uma queda de 6,3% entre os anos de 2008 e 2009. Porém, nos anos seguintes voltou a crescer. Essa recuperação foi possível através de um pacote de medidas econômicas criado pelo governo, que percebeu um grande interesse da população em obter a primeira casa própria ou melhorar as condições de moradia em que já se encontrava. Este pacote foi composto pelas seguintes medidas: redução da taxa de juros Selic, expansão do crédito público e desoneração do IPI para compra de materiais de construção. Desta forma foi possível segurar os índices da economia em um patamar seguro para a indústria da construção civil (Relatório SNIC, 2009).

Figura 2.2: Financiamento Imobiliário – SBPE



Fonte: Banco Central do Brasil e ABECIP(2012)

Observa-se pela Figura 2.2 que houve um aumento no número de financiamentos imobiliários e no valor total financiado em reais em 2009, foram cerca de

699mil unidades financiadas. Sendo que em valores financeiros R\$ 34 bilhões foram financiados pelo Sistema Brasileiro de Poupança e empréstimo – SBPE – e R\$ 15,8 bilhões pelo Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS. Estes valores representam um aumento de 22,7% no valor financiado e de 19,5% no número de unidades financiadas com relação ao ano de 2008, que teve 585 mil unidades financiadas com um total de R\$ 40,6 Bilhões.

Com o mercado imobiliário em crescimento contínuo, a indústria da construção civil brasileira continua a consumir um grande volume de recursos naturais. Em contra partida existe uma procura, ainda que pequena, da sociedade por um desenvolvimento sustentável. Para manterem-se no mercado as várias indústrias que compõem a macro indústria da construção civil, tais como produtoras de pisos de madeira e cerâmicas, procuram desenvolver seus produtos em conformidade com as leis ambientais e com matérias primas renováveis. Além disso, algumas construtoras procuram reciclar materiais e transformar em novos produtos aquilo que seria jogado no meio ambiente.

2.2 Cimento Portland

O cimento é um material em pó com características aglomerantes quando em contato com a água, que após secar adquire alta resistência e se colocado novamente em contato com a água não se modifica. Constituído inicialmente por materiais que possuíam essas características naturalmente, como por exemplo, solos de regiões vulcânicas, o cimento foi utilizado em algumas das primeiras obras de grande porte no mundo, tais como os monumentos do Antigo Egito e o Coliseu em Roma, entre outros. Ao longo dos anos o Material foi sendo aprimorado e em 1824 Joseph Aspdin ao queimar rochas calcárias juntamente com argila e observar suas propriedades patenteou o nome Cimento Portland por julgar que após seco o material resultante se assemelhava às rochas da ilha de Portland na Inglaterra (ABCP).

O processo de fabricação do cimento começa na extração por meio de detonação de rochas calcárias, fornecedoras de carbonato de cálcio, e na extração de argila, fonte de sílica e óxido de alumínio. O calcário e a argila após serem moídos e

homogeneizados são pesados, dosados e juntamente com areia e minério de ferro são novamente moídos a uma granulometria em torno de 100µm. Ao material resultante deste processo dá-se o nome de cru. A mistura das matérias primas básicas pode ser feita por via úmida (é formada uma pasta com no máximo 20% de umidade) ou via seca (a mistura deve ter menos de 1% de umidade). Em seguida o cru é queimado em fornos rotativos à 1500°C e depois resfriado rapidamente por rajadas de ar. Ao material resultante dá-se o nome de clínquer (SILVA, 1994).

A composição química básica do clínquer em forma de óxidos e compostos está representada na Tabela 2.1

Tabela 2.1: Composição do clínquer e suas abreviaturas.

Óxido	Abreviação	Composto	Abreviação
CaO	C	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
SiO ₂	S	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Al ₂ O ₃	A	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Fe ₂ O ₃	F	3CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
MgO	M	3CaO.3Al ₂ O ₃ .SO ₃	C ₄ A ₃ \bar{S}
SO ₃	\bar{S}	3CaO.2SiO ₂ .3H ₂ O	C ₃ S ₂ H ₃
H ₂ O	H	CaSO ₄ .2H ₂ O	C \bar{S} H ₂

Fonte: Metha; Monteiro (2008)

Quando se trata da trabalhabilidade de materiais contendo cimento é importante entender um conceito denominado pega, que é a solidificação da pasta de cimento. É chamado tempo de pega, o período entre o momento em que a pasta torna-se não trabalhável e a solidificação completa da mesma. Ao período inicial entre a mistura da água com o cimento e o início da pega dá-se o nome de tempo de dormência (METHA; MONTEIRO, 2008). O clínquer possui um tempo de dormência e um tempo de pegacurtos, por isso é adicionado gesso para regular o tempo de pega do produto final e depois de moído tem-se o cimento Portland puro (LAFARGE, 2012).

Pode-se também fazer adições minerais com materiais naturais ou subprodutos industriais para conferir novas características ao cimento. Estes aditivos minerais devem ser do tipo pozolânico. Materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que possuam propriedades aglomerantes quando finamente dividi-

dos e em contato com a água. Eles devem, ainda, possuir a capacidade de conferir resistência às argamassas e concretos (LAFARGE, 2012).

A associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT classifica os diferentes tipos de cimento quanto a sua composição química e emprego da seguinte forma:

- Cimento Portland Comum CP I e CP I-S

Cimento sem adições, utilizado para a confecção de concretos onde não há a exposição de sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. Empregado em serviço de construção onde não há a necessidade de propriedades especiais do cimento. O cimento Portland Comum com adições CP I-S, possui 5% de material pozolânico em massa e é utilizado nos mesmos casos do anterior (NBR 5732).

- Cimento Portland CP II

Este cimento Portland composto gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo cimento Portland comum e é utilizado onde as condições de concretagem diminuem a capacidade de resfriamento da massa. Também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos. É empregado na fabricação de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. Pode ser classificado ainda quanto ao tipo de adição que possui:

- a. Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozolânico)

Produz um concreto mais impermeável, logo mais durável. Podendo ser empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais.

- b. Cimento Portland Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno)

Cimento que apresenta menor calor de hidratação e aumento de resistência em relação ao cimento Portland comum. Pode ser utilizado em estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos

- c. Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático - fíler)

Possui uma ampla gama de possibilidades de emprego tais como o preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros (NBR 11578).

- Cimento Portland de Alto Forno CP III (com escória)

Cimento com maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e resistência a sulfatos. Pode ser empregado na confecção de vários tipos de concretos e argamassas, mas é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos (NBR 5735).

- Cimento Portland CP IV (com pozolana)

É indicado preferencialmente para o uso de obras em locais de água corrente e em ambientes agressivos (NBR 5736).

- Cimento Portland CP V ARI - (Alta Resistência Inicial)

Com uma dosagem diferente de calcário na produção do clínquer e uma moagem mais fina este cimento atinge elevadas resistências com maior velocidade. Podendo ser utilizado na fabricação de artefatos de cimento, tais como blocos para alvenaria, tubos e postes, além de aplicado em concretagem de elementos que necessitem de desforma rápida (NBR 5733)

- Cimento Portland CP (RS) - (Resistente a sulfatos)

Oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Sua principal aplicação é no meio industrial (NBR 5737).

- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)

O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC) é o Ci-

mento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o despreendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento (NBR 13116).

- Cimento Portland Branco (CPB)

A cor branca é obtida pela utilização de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, utilizando o caulim no lugar da argila pode ser classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, já o não estrutural é utilizado para rejuntamento de azulejos e aplicações não estruturais (NBR 12989).

As propriedades aglomerantes do cimento só aparecem depois que o mesmo entra em contato com a água. As reações de hidratação são responsáveis pelos fenômenos da pega e tomada de resistência. Dois mecanismos de hidratação do cimento Portland foram propostos. Um chamado de hidratação por dissolução-precipitação e o outro chamado de hidratação no estado sólido ou topoquímica (METHA; MONTEIRO, 2008). O primeiro mecanismo consiste na dissolução dos compostos anidros em íons e na formação e precipitação de hidratos. Já o segundo mecanismo diz que as reações acontecem na superfície dos compostos e estes não se dissolvem. Alguns estudos de microscopia eletrônica de pastas de cimento indicam que a hidratação por dissolução-precipitação ocorre predominantemente na fase inicial da hidratação do cimento enquanto a hidratação topoquímica ocorre posteriormente, quando a mobilidade iônica na solução se torna muito baixa.

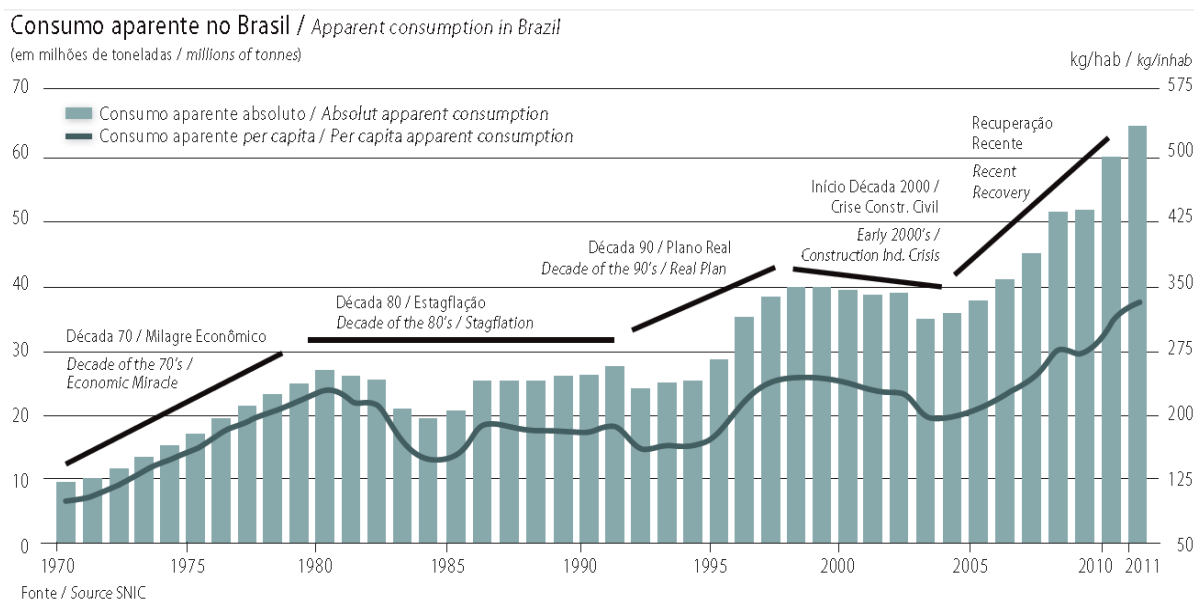
O cimento Portland tem seu processo de hidratação formado por reações simultâneas de seus compostos anidros com a água. No entanto é necessário ressaltar que as velocidades de reação são diferentes, sendo a hidratação dos aluminatos muito mais rápida que a dos silicatos. Além de mais rápida a hidratação dos aluminatos é responsável pelos fenômenos de pega e enrijecimento enquanto a hidratação dos silicatos, que representam cerca de 75% do cimento, é responsável pela tomada de resistência da pasta endurecida (METHA; MONTEIRO, 2008). A observação desses fenômenos permite a compreensão dos motivos pelos quais pastas de

cimento completam a pega em algumas horas enquanto demoram cerca de 30 dias para atingir a resistência final.

2.2.1 A indústria de cimento no Brasil

Segundo o relatório anual do SNIC no ano de 2011 existiam 81 fábricas de cimento instaladas no Brasil. Que foram responsáveis por 64 milhões de toneladas de cimento produzidas neste ano. Ao comparar o desenvolvimento do mercado de cimento em relação ao da indústria da construção civil observa-se que o primeiro apresentou um desempenho superior. O mercado de cimento teve um crescimento de 8,3%, chegando a contabilizar 65 milhões de toneladas de cimento consumidas em 2011, enquanto a indústria da construção civil cresceu 3,6%. Para suprir a demanda do mercado nacional foi necessário importar 1 milhão de toneladas de cimento.

Figura 2.3: Consumo aparente de cimento no Brasil



Fonte: Relatório SNIC (2011)

A Figura 2.3 mostra o consumo de cimento absoluto e per capita desde 1970. Nela foi feito um paralelo entre o consumo de cimento e a realidade econômica vivi-

da pelo país. Na década de 70 tem-se o milagre econômico brasileiro acompanhado por um amplo crescimento no consumo de cimento. Já nos anos 80 a situação de estagflação, recessão econômica, fez com que o consumo apresentasse uma pequena queda de 1980 à 1984 e voltasse a subir em 1985 permanecendo praticamente inalterado até o final da década. Após mais um período de ascensão na maior parte da década de 90 e um de queda no início dos anos 2000 o consumo de cimento encontra-se em constante crescimento desde 2004, sendo que a maior taxa foi no ano de 2010, com 15,6% em relação ao ano anterior.

Figura 2.4: Produção e consumo de cimento no Brasil em 2010 e 2011.

O cimento em 2011 / Cement in 2011 (em 1.000 toneladas / 1.000 tonnes)			
DISCRIMINAÇÃO/ CATEGORY	2010	2011	Δ%
Produção/Production	59.117	64.093	8,4%
Despacho total/Total deliveries	59.191	63.925	8,0%
Venda interna/Domestic sales	59.155	63.881	8,0%
Exportação/Exports	36	44	22,2%
Importação/Imports	853	1.091	27,9%
Consumo aparente/Apparent consumption	60.008	64.972	8,3%
Consumo per capita/ Consumption per capita (kg/hab)	311	333	7,1%

Fonte / Source: SNIC

Fonte: Relatório SNIC (2011)

Na Figura 2.4 encontram-se dados comparativos de produção, venda, exportação, importação e consumo de cimento nos anos de 2010 e 2011 no Brasil.

Figura 2.5: Ranking de produção mundial de cimento

Maiores produtores de cimento (em milhões de toneladas)
World leading producer country (millions of tonnes)

PAÍSES / COUNTRY	2004	2005	2006	2007	2008	2009*	2010*
1. China	967,8	1.079,6	1.253,5	1.379,0	1.401,2	1.657,1	1.881,9
2. Índia/India	136,9	146,8	162,0	172,9	186,1	190,0	213,9
3. Estados Unidos/U.S.A.	97,4	99,4	98,2	95,5	86,5	64,0	65,5
4. Turquia/Turkey	41,3	45,6	49,0	50,8	53,4	57,6	62,7
5. Irã/Iran	32,3	32,7	35,3	40,0	44,4	48,8	61,3
6. Brasil **/Brazil**	36,5	39,2	42,4	47,2	52,3	51,7	59,2
7. Vietnã/Vietnam	26,2	30,8	32,7	35,8	36,3	47,7	55,0
8. Japão/Japan	72,4	72,7	73,2	71,4	67,6	59,6	51,7
9. Rússia/Russia	46,2	49,5	55,2	60,1	53,5	45,7	50,4
10. Egito/Egypt	35,5	38,9	39,2	40,1	40,1	46,9	48,2

Fonte: Relatório SNIC (2011)

Figura 2.6: Ranking de consumo mundial de cimento

Maiores consumidores de cimento (em milhões de toneladas)

World leading consumer country (millions of tonnes)

PAÍSES/ COUNTRY	2004	2005	2006	2007	2008	2009*	2010*
1. China	961,9	1.058,3	1.218,1	1.345,3	1.369,9	1.622,2	1.874,1
2. Índia/ <i>India</i>	124,8	133,7	152,6	166,4	181,5	185,1	214,8
3. Estados Unidos/ <i>U.S.A</i>	121,3	128,3	127,4	114,8	96,8	70,5	70,4
4. Brasil **/Brazil**	35,8	37,7	41,0	45,1	51,6	51,9	60,0
5. Irã/ <i>Iran</i>	31,4	31,3	34,8	40,0	43,5	47,8	55,0
6. Egito/ <i>Egypt</i>	26,9	31,9	34,3	36,8	39,6	47,9	53,9
7. Vietnã/ <i>Vietnam</i>	26,2	30,9	32,7	35,5	40,0	47,9	52,7
8. Rússia/ <i>Russia</i>	44,0	46,6	52,5	60,5	60,3	44,0	50,5
9. Turquia/ <i>Turkey</i>	30,7	35,1	41,6	42,5	40,6	41,1	47,7
10. Coréia do Sul/ <i>Rep. of Korea</i>	54,9	46,3	48,4	50,8	50,6	48,5	45,3

Fonte: Relatório SNIC (2011)

Estes números garantiram ao Brasil a posição de 6º maior produtor de cimento do mundo no ano de 2010. Ficando atrás apenas de China, Índia, Estados Unidos, Turquia e Irã (Figura 2.5). O país também conseguiu a 4ª colocação no ranking de consumo de cimento no mesmo ano (Figura 2.6) (Relatório SNIC, 2011).

2.3 Cerâmica

Por definição da Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM – cerâmica é todo material inorgânico, não metálico obtido geralmente após tratamento térmico em altas temperaturas. Com uma definição tão ampla é necessário subdividir os setores da indústria cerâmica. Seus produtos são normalmente classificados de acordo com o emprego das peças e a origem da matéria prima. Usualmente eles são divididos nos seguintes grupos:

- Cerâmica Vermelha

Materiais de coloração avermelhada empregados na construção civil tais como: tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas. Podem também ser incluídos neste setor os utensílios de uso doméstico e de adorno.

- Materiais de Revestimento (Placas Cerâmicas)

Materiais usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas de ambientes internos e externos e piscinas. Dependendo da forma de fabricação e do emprego recebem nomes como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc.

- **Cerâmica Branca**

Um grupo bastante amplo compreendia inicialmente materiais constituídos por um corpo branco e recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor. Com o surgimento de vidrados opacos, produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados, com matérias-primas com certo grau de impurezas, responsáveis por uma coloração mais escura e recobertos de vidrados brancos. Atualmente grande parte desse grupo é recoberta por vidrados coloridos, mas continuam recebendo a mesma classificação. Pode-se subdividir este grupo em: louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmica artística (decorativa e utilitária) e cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.

- **Materiais Refratários**

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. Foram desenvolvidos a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas. Podem ser classificados quanto a matéria-prima ou componente químico principal da seguinte forma: sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnésiano, carbetto de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros.

- **Isolantes Térmicos**

Os produtos deste segmento podem ser classificados em:

a) refratários isolantes.

b) isolantes térmicos não refratários – produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que são obtidos por processos distintos ao do item a) e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto até 1100°C.

- c) fibras ou lãs cerâmicas – apresentam características físicas semelhantes aos citados no item b), porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização de 2000° C ou mais.
- Fritas e Corantes

Frita (ou vidrado 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 muitas vezes pela mesma indústria que produz fritas. 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 pode-se citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício.
 - Vidro, Cimento e Cal
 - Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica Avançada

Produtos desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados. Podem apresentar os mais diferentes formatos e 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. 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.

2.3.1 Cerâmica vermelha

Fabricados com argila, os materiais de cerâmica vermelha começaram a ser confeccionados em torno do ano 4000 AC. Por possuírem uma grande durabilidade e a argila, sua matéria prima, se encontrar em abundância na natureza, são utilizados em larga escala até os dias de hoje. A cerâmica vermelha, também chamada em alguns casos de cerâmica estrutural é muito utilizada na construção civil sobe forma de tijolos, blocos e telhas. Por definição da ABNT os elementos cerâmicos que possuem todas as faces plenas de material são chamados de tijolo maciço (NBR 7170, 1983). Já os elementos que possuem furos prismáticos recebem o nome de bloco cerâmico e podem ser do tipo estrutural ou de vedação (NBR 15270-1 e NBR 15270-2, 2005). Porém usualmente os blocos cerâmicos são também chamados de tijolos.

Os blocos cerâmicos são produzidos no Brasil em sua maioria em empresas familiares de forma artesanal ou por pequenas e médias empresas, o que faz com que o padrão produtivo brasileiro seja tecnologicamente atrasado em relação a outros países. Com suas fábricas localizadas estrategicamente próximas dos locais de extração da argila este setor possui um número incontável de unidades fabris, sendo muito difícil fazer um controle estatístico dos dados econômicos para acompanhar o desenvolvimento do setor (MME, 2010).

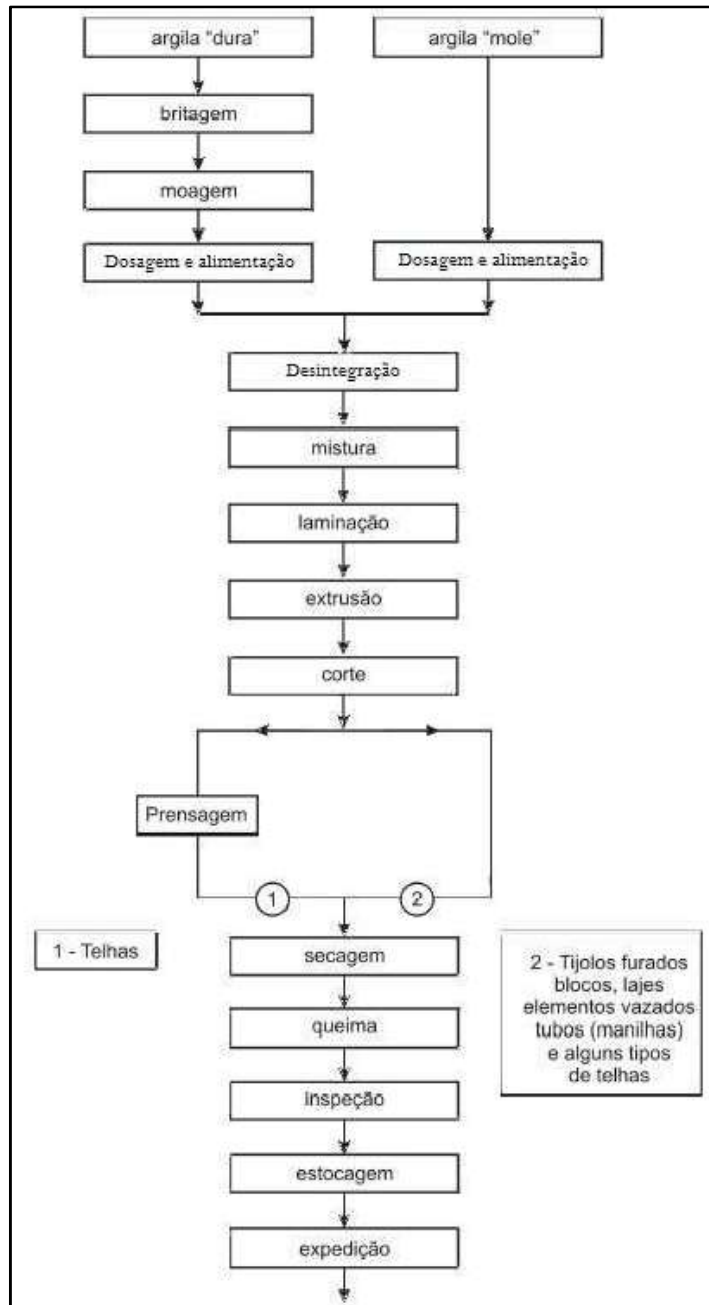
Tabela 2.2: Estimativa da produção de cerâmica vermelha no Brasil (10⁹ peças). (Elaborado pelo DTTM/SGM/MME a partir da Revista Brasil Mineral-maio 2011)

Produtos	2006	2007	2008	2009	2010
Blocos/Tijolos	51	53	57	57	59,4
Telhas	16	17	19	19	25,9
Total	67	70	76	76	84,8

Fonte: DTTM/SGM/MME a partir da Revista Brasil Mineral-maio 2011.

Sabe-se, no entanto que cerca de 90% das alvenarias e coberturas do país são executadas com cerâmica vermelha. Dados estimativos de produção podem ser vistos na Tabela 2.2. Com estes valores aproximados, o Brasil é o 3^o maior produtor do mundo, atrás apenas da China e da Índia.

Figura 2.7: Fluxograma do processo de produção de cerâmica vermelha.



Fonte: ABCERAM (2011)

O processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha encontra-se representado na Figura 2.7. Nela é possível ver que a primeira parte do processo se difere quanto ao estado em que a argila se encontra na natureza. Caso seja uma argila mais seca, argila dura, ela deve ser britada e moída e em seguida umidificada acima do limite de plasticidade (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JUNIOR, 2011). Se for uma argila já úmida, argila mole, passa direto para o processo de desintegração. Após estas etapas a massa é homogeneizada e passa por uma extrusora. Neste ponto os

corpos cerâmicos que possuem alguma imperfeição podem voltar a parte da mistura. Os corpos aparentemente perfeitos são secos em estufa e queimados em seguida. Depois da queima o que não passar no controle de qualidade é descartado e sem nenhum uso mais nobre é mandado para aterros sanitários, gerando uma grande quantidade de entulhos e aumentando os impactos ambientais.

2.4 Argamassa

Argamassas são misturas homogêneas compostas por aglomerante, agregado miúdo (areia) e água, que podem conter aditivos ou adições minerais. Utilizadas no setor da construção civil elas devem ter propriedades de aderência e endurecimento. A dosagem de seus componentes é feita de acordo com o emprego ao qual se destinam.

Na Tabela 2.3 encontram-se os tipos de argamassa suas funções e principais características segundo Carasek (2008).

Tabela2.3: Tabela de classificação de argamassas.

Tipo da Argamassa	Função	Principais características/propriedades
Chapisco	<ul style="list-style-type: none"> •Garantir aderência entre a base e o revestimento de argamassa •Contribuir com a estanqueidade da vedação 	<ul style="list-style-type: none"> •Aderência
Argamassa de reparo de estruturas de concreto	<ul style="list-style-type: none"> •Reconstituição geométrica de elementos estruturais em processo de recuperação. 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade. •Aderência ao concreto e armadura originais. •Baixa retração. •Resistência mecânica. •Baixa permeabilidade e absorção de água (durabilidade).
Argamassa colante (assentamento de revestimento cerâmico)	<ul style="list-style-type: none"> • “Colar” a peça cerâmica ao substrato. • Absorver deformações naturais a que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhabilidade (retenção de água, deslizamento e adesão inicial). • Aderência. • Capacidade de absorver deformações (flexibilidade), principalmente para fachadas.
Emboço e camada única	<ul style="list-style-type: none"> •Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo. •Integrar o sistema de vedação dos edifícios contribuindo com diversas funções (estanqueidade, etc.). •Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial). •Baixa retração. •Aderência. •Baixa permeabilidade à água. •Capacidade de absorver deformações. •Resistência mecânica.
Argamassa de rejuntamento (das juntas de assentamento das peças cerâmicas)	<ul style="list-style-type: none"> •Vedar as juntas •Permitir a substituição das peças cerâmicas •Ajustar os defeitos de alinhamento •Absorver pequenas deformações do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial). •Baixa retração. •Aderência. •Capacidade de absorver deformações (flexibilidade), principalmente para fachadas.

Fonte: Carasek (2008)

2.4.1 Componentes da argamassa e suas funções

É importante conhecer os materiais constituintes de uma argamassa e saber o papel de cada um dentro da mesma, uma vez que não existem regras especificando o emprego deles. Normalmente a dosagem e a escolha dos materiais são feitas pelo método de tentativa e erro, ou baseadas na experiência do profissional da construção civil. Esse tipo de comportamento gera o aparecimento de defeitos nas obras executadas. Esse fator em conjunto com o surgimento de novos materiais de uso potencial na confecção de argamassas estimula pesquisas sobre o desempenho do produto final mediante a variação de seus componentes (Bauer, 2005).

2.4.1.1 Aglomerante

Os aglomerantes são responsáveis pelas principais características das argamassas tais como, trabalhabilidade, aderência e resistência. Podem ser separados basicamente em dois tipos, aéreos e hidráulicos. Os aglomerantes aéreos são aqueles que endurecem expostos ao ar e não resistem à ação da água após o endurecimento. Já os aglomerantes hidráulicos são aqueles que precisam da água para reagir e endurecer. Como exemplo podemos citar o gesso como aglomerante aéreo e o cimento Portland como aglomerante hidráulico. Na confecção de argamassas os mais empregados são o cimento Portland e a cal hidráulica.

O aglomerante tem um papel tão importante na composição das argamassas que algumas vezes elas são classificadas segundo sua utilização. Na Tabela 2.4 pode-se ver esta classificação segundo a norma NBR 13530, 1995 da ABNT.

Tabela 2.4: Classificação das argamassas 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: NBR 13530, 1995

2.4.1.2 Agregado

Materiais baratos, os agregados não realizam reações complexas com a água e durante muito tempo foram classificados como material inerte, no entanto hoje esta visão é questionada. Sabe-se também que suas características particulares, tais como, porosidade, distribuição granulométrica, textura superficial, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes, entre outros, influenciam nas propriedades das argamassas. Estas características são resultantes da composição mineralógica da rocha fonte, das condições de exposição a que a mesma foi submetida e do tipo de equipamento que foi utilizado para a produção dos agregados (METHA; MONTEIRO, 2008).

Os agregados são classificados normalmente quanto à sua granulometria. Agregados miúdos, empregados na fabricação de concretos e argamassas e agregados graúdos, utilizados somente na confecção de concretos. Podem ser classificados também quanto à origem, naturais e artificiais, e quanto ao peso, leves, normais e pesados (METHA; MONTEIRO, 2008).

Tabela 2.5: Limites de distribuição granulométrica para classificação de agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.			
	Limites inferiores		Limites Superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (2009)

Na Tabela 2.5 encontram-se os limites de distribuição granulométrica que um material deve ter para ser classificado como agregado miúdo segundo a norma NBR 7211 de 2009. A norma cita, ainda, que é importante avaliar a pureza do material, a fim de evitar perda na qualidade do produto final.

2.5 Perdas na construção civil

Pode-se classificar como perda tudo o que consome recursos e não agrega valor. Em se tratando de perdas em um canteiro de obras fala-se normalmente no desperdício do material utilizado. Esse desperdício pode se dar de duas formas, pela quebra ou perda de material ou pelo uso excessivo superior à quantidade necessária para executar determinado serviço (AGOPYAN, 1998).

A Tabela 2.6 mostra como as perdas podem ser divididas de acordo com a fase do empreendimento em que ocorrem.

Tabela 2.6: Diferentes fases de um empreendimento e a ocorrência de perda de materiais.

Fase	Perda	Natureza da perda
Concepção	Diferença entre a quantidade de material previsto num projeto otimizado e a realmente necessária de acordo com o projeto idealizado.	Material incorporado
Execução	Diferença entre a quantidade prevista no projeto idealizado e a quantidade efetivamente consumida.	Material incorporado e entulho
Utilização	Diferença entre a quantidade de material prevista para manutenção e a quantidade efetivamente consumida num certo período.	Material incorporado e entulho

Fonte: AGOPYAN (1998)

Na fase de concepção o erro ocorre comumente quando por medidas exageradas de segurança ou por desconhecimento das quantidades realmente necessárias, calcula-se a quantidade de um produto a ser utilizada muito superior ao que deveria. Como por exemplo, o consumo de cimento na confecção de uma argamassa. Já no caso da execução da obra, as fontes de perda são mais variadas e podem ser dos tipos: recebimento de uma carga contendo menos material do que o solicitado, caso não seja visto na hora será necessário fazer um novo pedido onde muitas vezes a quantidade mínima de envio é superior à necessária; estocagem de materiais e transporte dentro da obra incorretos, gerando a perda por quebra (blocos, placas cerâmicas, etc.) ou inutilização (cimento e ferragens); incompatibilidade entre o tamanho das peças utilizadas e o do local de sua aplicação, entre outros. No caso da fase de utilização do empreendimento, ao se fazer a repintura de uma fachada precocemente, estar-se-á consumindo mais tinta que o esperado inicialmente.

2.5.1 Perdas por tipo de material

As Tabelas 2.7 e 2.8 apresentam alguns valores de perda apresentados por diferentes autores (AGOPYAN,1998). Os valores apresentados nas tabelas foram

gerados por pesquisas de campo que avaliaram a utilização dos materiais em diferentes canteiros de obras e fizeram uma média das perdas encontradas.

Tabela 2.7: Materiais básicos – Porcentagem de perda na obra apresentada por diferentes autores

Materiais básicos	PINTO (1989)	SOIBELMAN (1993)	FINEP (1998)			
			Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Areia	39	44	76	44	7	311
Saibro	-	-	182	174	134	247
Cimento	33	83	95	56	6	638
Pedra	-	-	75	38	9	294
Cal	-	-	97	36	6	638

Fonte: Agopyan (1998)

Tabela 2.8: Materiais simples – Porcentagem de perda na obra apresentada por diferentes autores

Materiais	SKOYLES (1976)	PINTO (1989)	SOIBELMAN (1993)	FINEP(1998)
	Média	Média	Média	Média
Concreto Usinado	5	1	13	9
Aço	5	26	19	10
Blocos e tijolos	8,5	13	52	17
Eletrodutos	-	-	-	15
Condutores	-	-	-	25
Tubos PVC	3	-	-	20
Placas cerâmicas	3	-	-	16
Gesso	-	-	-	45

Fonte: Agopyan (1998)

No caso dos materiais básicos os valores de perda encontrados são bastante altos. Isso se dá devido ao fato de eles ainda serem transformados, no canteiro de obras, para serem utilizados. Já os materiais simples, que são aqueles que podem ser utilizados diretamente no serviço em execução, apresentam uma perda menor, porém não menos significativa. Segundo o IBGE, no ano de 2010 o consumo de cimento representou cerca de 10% dos custos com materiais pela indústria da cons-

trução civil e o consumo de blocos e tijolos cerâmicos representou 5,3%. Os autores das pesquisas encontraram também uma variação muito grande da quantidade de material perdido de uma obra para a outra. Isso indica que o fator principal que gera a perda encontra-se na forma de manuseio dos materiais e condução da obra.

2.6 Utilização do resíduo de cerâmica vermelha na confecção de concretos e argamassas

A reutilização dos resíduos de cerâmica vermelha na construção civil é feita desde o império romano. Análises feitas em vestígios de construções daquela época mostram a existência de fragmentos de cerâmica que demonstram durabilidade deste tipo de material (VEIGA; BRITO; LAMPREIA, 2012).

À cerca de duas décadas são feitos vários estudos com o intuito de empregar os resíduos cerâmicos na confecção de concretos e argamassas. Alguns deles tendo como objetivo empregar os resíduos como agregado miúdo. Silva, Brito e Veiga (2008) destacam as vantagens deste tipo de aplicação. Como podem ser utilizados no próprio local onde são gerados, os entulhos de natureza cerâmica promovem uma economia na compra de matéria prima, além de preservar as reservas naturais de onde ela vem. Outra vantagem é a diminuição do volume de entulho gerado, com a consequente redução da poluição causada com o seu descarte.

É possível encontrar também estudos que substituem integralmente a areia por resíduos cerâmicos como o de Silva Juniores *et al*(2002). Neste caso foram confeccionadas argamassas de cimento, cal e agregado miúdo com diferentes traços. Uma na proporção 1:2:9 contendo areia e outras três nas proporções 1:2:14, 1:2:12 e 1:2:9 contendo o resíduo como agregado.

Tabela 2.9: Resultado da resistência à compressão em diversas idades

Composição	Resistência à Compressão		
	Idade		
	7	14	28
C1	0,92	1,55	1,24
C2	1,90	2,73	2,28
C3	2,35	2,82	2,55
C4	3,18	3,92	4,37

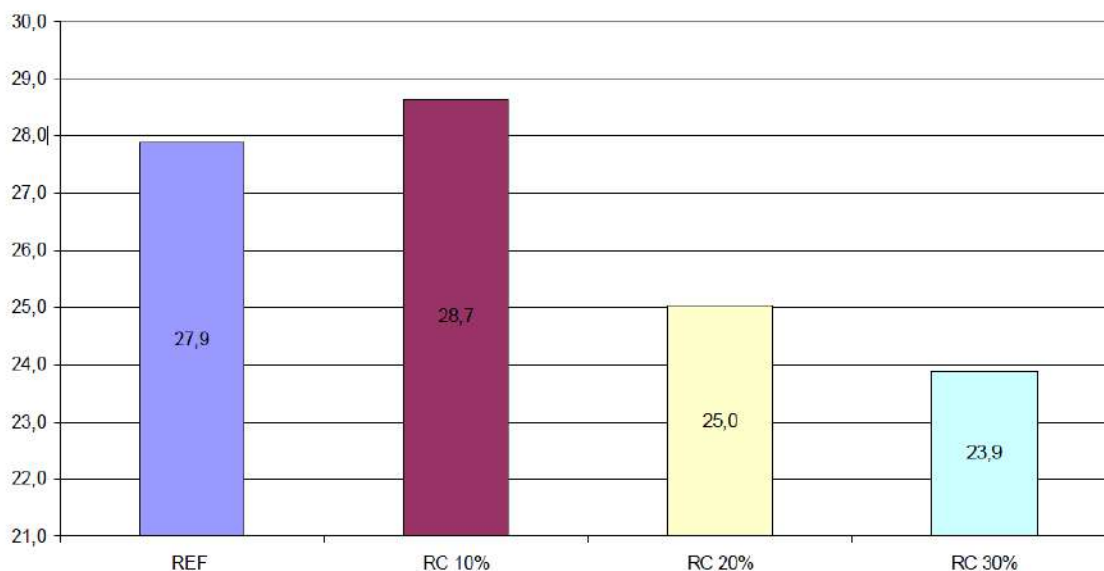
C1 – Argamassa 1(cimento):2(Cal):9(areia)
C2 – Argamassa 1(cimento):2(Cal):14(cerâmica)
C3 – Argamassa 1(cimento):2(Cal):12(cerâmica)
C4 – Argamassa 1(cimento):2(Cal):9(cerâmica)
Fonte: Silva Junior *et al* (2002)

Na Tabela 2.9 nota-se que nesta pesquisa foi possível observar que as argamassas com material alternativo tiveram melhor desempenho, sendo que a argamassa com a proporção 1:2:9 obteve uma resistência à compressão 252% maior que a convencional aos 28 dias.

As argilas, matérias primas dos blocos cerâmicos, quando calcinadas em temperaturas entre 700°C e 850°C apresentam seu maior índice de pozolanicidade. Nestas temperaturas seus compostos apresentam elevado grau de desordem, a sílica encontra-se na forma de metacaulinita, o que favorece as reações químicas. No entanto quando queimadas entre 920°C e 1000°C, que é o caso das peças de cerâmica vermelha, ocorre a recristalização de seus compostos, transformação da metacaulinita em quartzo, gerando uma queda na atividade química (AMORIM *et al*, 1999). Porém, a atividade pozolânica é também função da área específica do material. Diretamente proporcional, a atividade pozolânica acompanha o crescimento da área de contato entre os grãos. Isso se dá devido ao fato das reações se iniciarem na superfície das partículas.

Observando esses conceitos, mas sem avaliar diretamente a atividade pozolânica, Junior (2011) utiliza resíduo de bloco cerâmico que foi cominuído em moinho de bolas e possui granulometria menor que 74µm para substituir o cimento na confecção de concretos e argamassas. Para avaliar a resistência à compressão foram confeccionados concretos com 10%, 20% e 30% da massa de cimento substituída.

Figura 2.8:Comparativo das resistências à compressão axial aos 28 dias.



REF – Argamassa de referência

RC 10% - Argamassa com 10% do cimento substituído pelo resíduo cerâmico

RC 20% - Argamassa com 20% do cimento substituído pelo resíduo cerâmico

RC 30% - Argamassa com 30% do cimento substituído pelo resíduo cerâmico

Fonte: Junior (2011)

Seus resultados, apresentados na Figura 2.8, mostram que os concretos com 10% do cimento substituído por resíduo de bloco cerâmico apresentaram um pequeno aumento de 2,8% na resistência a compressão axial, enquanto os demais apresentaram redução. Esta redução foi de 10,4% nos concretos RC20% e de 14,3% nos concretos RC30%.

Em outra pesquisa, *Vejmelková et al*(2012) empregou o resíduo com granulometria maior. Ao substituir 10% da massa de cimento utilizada na confecção de concretos, o mesmo apresentou uma pequena redução, de cerca de 1,7%, na resistência à compressão axial. Já com teores maiores de substituição do cimento o resultado não foi satisfatório, chegando a uma queda de 60,9% na resistência quando o teor de resíduo era de 60%, como visto na Tabela 2.10.

Tabela 2.10: Resultado da resistência à compressão em diversas idades

Material	Compressive Strength	Bending Strength
	[MPa]	[MPa]
BC2-ref	56.87	6.4
BC2-10	55.89	6.4
BC2-20	49.58	6.2
BC2-40	37.45	5.9
BC2-60	22.23	5.3

BC2-ref – Argamassa de referência

BC2-10 – Argamassa com 10% do cimento substituído por resíduo cerâmico

BC2-20 – Argamassa com 20% do cimento substituído por resíduo cerâmico

BC2-40 – Argamassa com 40% do cimento substituído por resíduo cerâmico

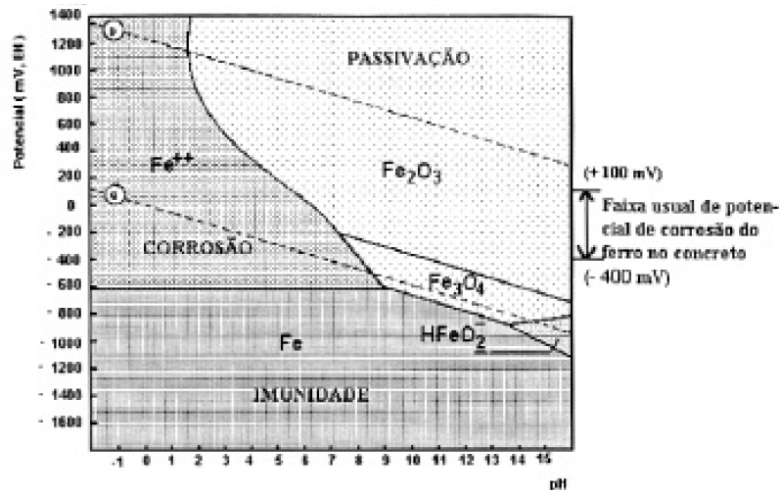
BC2-60 – Argamassa com 60% do cimento substituído por resíduo cerâmico

Fonte: Vejmelková *et al* (2012)

Outro aspecto importante ao avaliar o emprego de resíduos na construção civil é o efeito que a substituição do cimento por eles pode ter na probabilidade de corrosão de aços colocados no interior de concretos e argamassas.

Na construção civil muitas vezes elementos metálicos são recobertos por concretos e argamassas. Esses conjuntos, em grande parte, desempenham funções estruturais na construção, o que demanda um interesse maior a respeito da durabilidade dos mesmos. A princípio o concreto forma uma camada protetora em torno do metal, evitando a entrada de oxigênio e água, elementos fundamentais para o processo corrosivo.

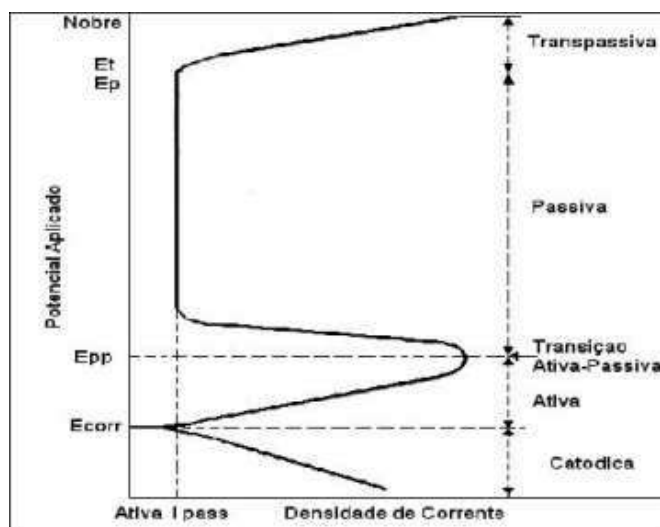
Figura 2.9: Diagrama de Pourbaix do ferro em água



Pelo diagrama de Pourbaix, pH x Potencial, apresentado na Figura 2.9 observa-se que em pH fortemente alcalino e potencial maior que -600mV o ferro encontra-se em forma de óxido de ferro, substância sólida. Desta forma, a liga metálica, quando composta basicamente por ferro, possui uma fina camada deste óxido de ferro, que é impermeável em meio fortemente alcalino, pH maior que 11,5. A este efeito dá-se o nome de efeito de passivação. No entanto quando o concreto é poroso, o que permite a entrada de água e outras substâncias ao longo do tempo, ou quando possui em sua composição agentes agressivos, tais como cloreto, permite que ocorra a corrosão (METHA; NONTEIRO, 2008).

Para observar esse comportamento é possível traçar com o auxílio de um potenciostato uma curva potencial x densidade de corrente, chamada de curva de polarização, onde é possível identificar o estado do metal ao longo do tempo.

Figura 2.10: Curva de polarização anódica



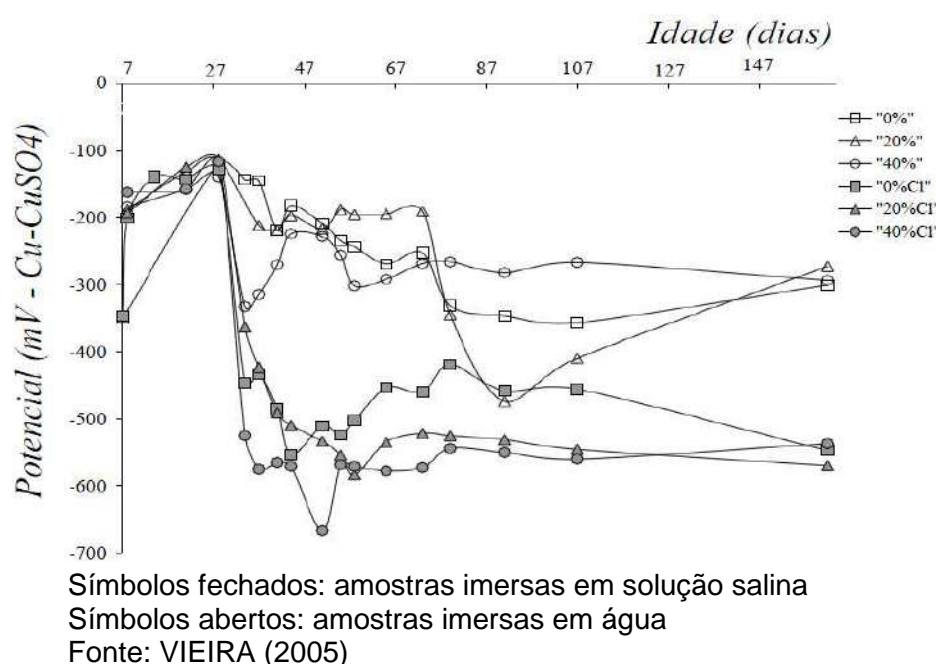
Ecorr: potencial de corrosão
 Epp: potencial primário de passivação
 Ep: potencial de pite
 Et: potencial da região de transpassivação
 Ipass: corrente de passivação

A Figura 2.10 apresenta uma curva de polarização anódica, onde observa-se a variação da densidade de corrente a partir do aumento do potencial em relação ao potencial de corrosão. Pode-se ver que a região onde ocorre o efeito de passivação do aço apresenta uma reta paralela ao eixo do potencial. Quando há o aumento do potencial não há alteração na densidade de corrente, ou seja, não ocorre a transfe-

rência de elétrons entre a solução e o aço. A curva apresenta também as regiões ativa e transpassiva onde ocorre a corrosão do aço.

VIEIRA (2005) através da medição do potencial e da corrente de corrosão concluiu que a utilização do resíduo de bloco cerâmico é benéfica. Na Figura 2.9 encontra-se o resultado da avaliação do comportamento do potencial de corrosão ao longo do tempo.

Figura 2.11: Variação do potencial de corrosão com o tempo em função de substituição do cimento por resíduo cerâmico.



As medidas foram realizadas com o auxílio de eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre e diretamente nos corpos de prova de concreto. O eletrodo de trabalho em questão era o próprio aço que é comumente utilizado na fabricação de armaduras de concreto. O gráfico da Figura 2.11 mostra que mesmo variando diferentemente ao longo do tempo, após 162 dias o potencial de corrosão para as diferentes amostras imersas em água possuía valores próximos e que o mesmo ocorria para as amostras imersas em solução salina.

Este estudo cita ainda que até um percentual de 20% de cimento substituído por resíduo cerâmico observa-se uma redução na taxa de difusão de íons cloreto nas argamassas. Porém, quando o percentual de substituição ultrapassa esse valor, o efeito é contrário.

Observando essas pesquisas realizadas anteriormente espera-se que o percentual ideal de substituição do cimento por resíduo de bloco cerâmico encontre-se entre 10% e 20%.

Capítulo 3 – Objetivo

A extração de recursos minerais e a grande emissão de gases poluentes no processo de fabricação de cimento e o descarte de blocos cerâmicos provenientes de perdas na fase de execução de um empreendimento causam grandes impactos ambientais que cada vez mais vêm sendo questionados pela população e o poder público. Mediante esta preocupação e sabendo-se que os blocos cerâmicos são fabricados com argila, material silioaluminoso com potencial pozolânico, o presente trabalho teve como objetivo, a partir da caracterização do resíduo de bloco cerâmico quanto às suas características físicas e químicas, avaliar tecnicamente sua utilização como substituinte de parte de cimento Portland no preparo de argamassas.

Foram investigados os comportamentos da resistência à compressão axial, do tempo de pega, da absorção de água e dos potenciais de corrosão em argamassas contendo resíduos de blocos cerâmicos substituindo parte do cimento. Bem como o índice de atividade pozolânica do resíduo.

Capítulo 4 – Materiais e Métodos

4.1 Materiais utilizados

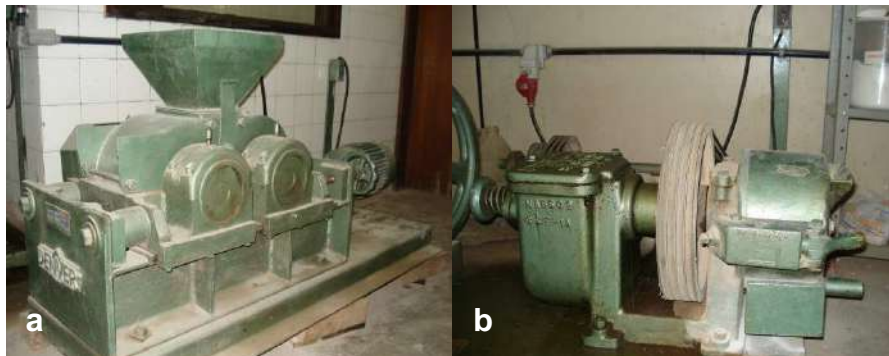
Para a execução deste projeto foram utilizados os seguintes materiais:

- Resíduo de blocos cerâmicos, proveniente de obras.
- Cimento Portland CII-F32.
- Areia de rio, proveniente do Areal do Rio Guandu, disponível comercialmente.
- Água.

4.2 Tratamento dos materiais utilizados

Para que pudesse ser utilizado na confecção de argamassas foi necessário preparar o resíduo de blocos cerâmicos. Depois de recolhido em obra, ele foi cominuído de forma manual, com o auxílio de um martelo. Porém, para uniformizar seu tamanho e obter uma granulometria mais adequada ao emprego como substituinte do cimento foi necessário o uso de um moinho de rolos e um pulverizador (Figura 4.1).

Figura 4.1: (a) moinho de rolos; (b) pulverizador.



A areia foi seca em estufa à 100°C por 24 horas para que a umidade da mesma não interferisse na consistência da argamassa. Os demais materiais não necessitaram de tratamento prévio.

4.3 Caracterização dos Materiais

4.3.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste em passar uma amostra do material por uma série de peneiras com aberturas de malha diferentes e avaliar o percentual retido em cada uma, determinando assim o tamanho das partículas e a forma como elas se distribuem no material. A série de peneiras utilizadas para a análise deve pertencer à série normal ou à série intermediária que estão descritas na norma MERCOSUL NM 248 de 2003 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Porém, caso seja necessário podem ser usadas peneiras com outras aberturas que sejam mais adequadas ao material analisado.

Tabela 4.1: Série de peneiras usada na análise granulométrica.

Peneira (mesh)	Abertura (mm)
115	0,125
170	0,088
200	0,074
250	0,062
270	0,053
325	0,045
Fundo	<0,045

Neste trabalho foi utilizada a série de peneiras apresentada na Tabela 4.1.

Figura 4.2: Peneirador do tipo rot-up.



Para a análise granulométrica do resíduo de bloco cerâmico e da areia foi utilizado um peneirador automático do tipo rot-up da marca MARCONI (Figura 4.2).

4.3.2 Determinação da Massa Específica

Para determinar a massa específica do resíduo de bloco cerâmico foi utilizada como referência a norma MERCOSUL NM 52 de 2003 da ABNT, referente à determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco Chapman (Figura 4.3).

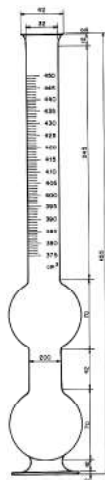
A massa específica de um determinado agregado é a relação entre a sua massa e o volume igual do sólido, incluindo os poros impermeáveis. Para ser determinada, o material deve ser seco em estufa (100°C à 110°C) até constância de massa.

A metodologia utilizada e descrita pela norma consiste em colocar água no frasco até a marca de 200cm³, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorra totalmente; em seguida introduzir, cuidadosamente 500g do material em estudo no frasco e agitá-lo para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume (L), em cm³, ocupado pelo conjunto água-material em estudo. Para que a medida esteja correta é necessário garantir que não haja água ou grãos aderidos as faces internas do frasco.

Para calcular a massa específica (γ) do material utiliza-se a seguinte equação:

$$Y = \frac{500}{L-200} \quad (4.1)$$

Figura 4.3: Frasco de Chapman.



4.3.3 Análise química por Fluorescência de Raios-X

Para determinar a composição mineralógica do resíduo utilizado e a influência da utilização do mesmo na composição das argamassas foi realizada análise de fluorescência de Raios-X, pelo qual é possível identificar a composição elementar em forma de óxido do material em estudo.

A técnica se baseia na medida da intensidade da energia liberada pela transição eletrônica de um elétron entre as camadas eletrônicas de um átomo, após a excitação do mesmo. Esta energia é liberada na forma de Raios-X de intensidade característica para cada elemento químico (NASCIMENTO FILHO, 1999). A detecção desses raios e a análise do espectro resultante permite determinar a composição e a proporção de cada elemento na amostra.

A análise foi realizada no laboratório do NUCAT/COPPE em espectrômetro de fluorescência de Raios-X RIGAKU.

4.4 Ensaios em Argamassa

Para avaliar o desempenho do resíduo de blocos cerâmicos como substituinte do cimento na confecção de argamassas foi necessário confeccionar corpos de prova cilíndricos, com 50mm de diâmetro e 100mm de altura, que permitissem a avaliação da resistência à compressão e da absorção de água. Esses corpos de prova foram moldados segundo a norma NBR 7215 da ABNT, que determina a avaliação da resistência do Cimento Portland.

Para a confecção dos corpos de prova foram feitas argamassas com traço 1:3, sendo uma parte de cimento para três partes de areia e fator água/cimento de 0,48. A mistura da argamassa e a compactação da mesma nos moldes foram feitas de forma manual. Além de uma argamassa contendo somente cimento areia e água, foram confeccionadas 3 argamassas tendo parte do cimento substituído pelo resíduo em diferentes proporções. A composição das argamassas encontra-se na Tabela 4.2. As argamassas confeccionadas foram as seguintes:

- Padrão: contendo somente cimento, areia e água.
- T5: com 5% do cimento substituído pelo resíduo de bloco cerâmico.
- T10: com 10% do cimento substituído pelo resíduo de bloco cerâmico.
- T15: com 15% do cimento substituído pelo resíduo de bloco cerâmico.

Conforme visto no capítulo 2 espera-se que o melhor percentual de substituição do cimento pelo resíduo de blocos cerâmicos esteja entre 10% e 20%. Com o intuito de varrer uma faixa maior de percentual de substituição foram escolhidos os teores de 5%, 10% e 15% de cimento substituído.

Tabela 4.2: Composição das argamassas para ensaio de resistência e absorção de água.

Materiais	Composição, m ³			
	Padrão	T5	T10	T15
Cimento (g)	520,8	494,3	468,3	442,7
Resíduo de Bloco Cerâmico (g)	—	26,0	52,0	78,1
Água (mL)	250,0	250,0	250,0	250,0
Areia Fina (g)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Média Fina (g)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Média Grossa (g)	390,0	390,0	390,0	390,0
Areia Grossa (g)	390,0	390,0	390,0	390,0

Fator água/cimento de 0,48

Depois de confeccionados os corpos de prova permaneceram durante um dia nos moldes para a cura inicial e depois foram desenformados pesados e colocados em um tanque com água para a cura final. Onde ficaram até serem retirados para os ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Além desses ensaios foi avaliado também o tempo de pega das argamassas.

4.4.1 Difração de Raios-X

A análise por difração de Raios-X é utilizada para a determinação da estrutura cristalina do material em estudo. Tal análise é feita a partir da incidência de Raios-X sobre amostra do material e a observação dos ângulos de difração gerados pelo mesmo. A técnica é baseada nos princípios da Lei de Bragg, que diz que a distância interplanar de uma estrutura cristalina é proporcional ao comprimento de onda dos

raios incidentes (ALBERS *et al*, 2002). Para a determinação da distância interplanar é utilizada a equação 4.1:

$$n\lambda = 2d \times \text{sen } \theta \quad (4.1)$$

Onde:

n: número inteiro

λ : comprimento de onda dos raios incidentes

d: distância interplanar

θ : ângulo de difração

A determinação da composição dos materiais por este método é possível pelo fato de cada fase cristalina possuir uma distância interplanar característica (ALBERS *et al*; 2002). A fim de facilitar a identificação das fases, a partir dos resultados da análise da amostra do material em estudo é gerado um gráfico que relaciona a intensidade dos raios com os ângulos de refração. Podendo-se assim comparar este gráfico com um banco de dados que possua os padrões das fases cristalinas já conhecidas. Para a realização desta análise é importante saber a natureza da amostra e a sua composição elementar.

Para a caracterização das argamassas com resíduo de blocos cerâmicos foi utilizado um difratômetro de Raios-X RIGAKU modelo MiniFlex II, que trabalha com amostras em pó e radiação $K\alpha$ do cobre. O ângulo de varredura variou de 10 a 80° (2 θ).

4.4.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Para determinar a resistência à compressão axial foi seguida a norma NBR 7215 da ABNT. Os ensaios foram realizados em duas idades, 7 e 28 dias. Desta forma foi possível avaliar o desenvolvimento da resistência ao longo do tempo. Para cada idade foram confeccionados quatro corpos de prova.

Os corpos de prova foram retirados do tanque e colocados sobre bancada durante 30min de forma a perder o excesso de água, mas continuar com a superfície

úmida. Após esse tempo foram colocados na prensa Versa Tester, na qual foi medida a carga sobe a qual o corpo de prova sofre ruptura. O valor da carga fornecido pela prensa era dado em kgf, porém o resultado final da resistência deve ser expresso em MPa. Para obter o resultado desejado foi utilizada a seguinte equação:

$$P = \frac{F \times 9,8}{A} \quad (2.2)$$

Onde:

P – resistência à compressão em MPa.

F – valor da carga de ruptura fornecido pela prensa em kgf.

A – área transversal do corpo de prova em mm².

Após o cálculo das resistências individuais foi calculada a média entre as resistências de corpos de prova de uma mesma idade e o desvio relativo máximo. Quando o desvio ultrapassasse 6% o valor desta resistência era descartado e a média era recalculada.

4.4.3 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água é baseado na medida da quantidade de água absorvida pelo corpo de prova durante o processo de cura. Ele permite a observação da quantidade de vazios no corpo de prova, mostrando se a argamassa que o compõem tem uma distribuição granulométrica que gere um número menor de poros na massa. A porosidade da argamassa é um fator que está diretamente relacionado com a sua resistência.

O método de ensaio consiste em pesar os corpos de prova logo após serem desenformados e pesá-los novamente nas mesmas idades em que são realizados os ensaios de resistência. De posse desses valores deve-se calcular o percentual de água absorvido através da equação 4.3:

$$(4.3)$$

$$AA\% = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

AA% – percentual de água absorvida

M_u – massa do corpo de prova úmido

M_s – massa do corpo de prova seco

4.4.4 Tempo de Pega

O fenômeno de solidificação da argamassa recebe o nome de pega. As responsáveis por essa solidificação são as reações de hidratação do cimento, que são reações lentas. Por isso, durante a pega os principais produtos ainda não foram formados e somente ao final da solidificação é que a argamassa começará a ganhar resistência. No início da pega a argamassa perde a trabalhabilidade e, portanto faz-se necessário a determinação do tempo de início de pega, bem como o tempo de final de pega. O conhecimento desses dois pontos indica quanto tempo se tem para trabalhar com a argamassa e a partir de qual momento ela poderá receber alguma carga.

O ensaio para determinação do início e do final da pega foi realizado segundo a norma NBR NM 65:2003 da ABNT, a qual determina a utilização de aparelho de Vicat para a determinação dos tempos de pega por resistência a penetração. Para a preparação das argamassas foram misturados todos os ingredientes secos e por último foi adicionada a água. O horário desta adição foi anotado para que a contagem do tempo fosse feita. As argamassas foram colocadas em moldes cônicos com 40mm de altura, em intervalos de 30min foi medida a penetração da agulha do aparelho de Vicat. O tempo de início de pega é o tempo desde a adição da água até o ponto em que a altura de penetração é de (4 ± 1) mm e o tempo de final de pega considerado foi quando se obteve três medidas de altura de penetração iguais.

4.5 Ensaio de Determinação de Atividade Pozolânica

Segundo a norma NBR 12653 da ABNT o material pozolânico é um material silicoso ou silicoaluminoso que quando finamente dividido e em presença de água reage formando um composto com propriedades aglomerantes. O cimento é classificado como uma pozolana artificial e para avaliar um material como seu aditivo é necessário determinar o índice de atividade pozolânica do mesmo. Para tal foi seguida a norma NBR 5752 da ABNT, que define a metodologia para a determinação de atividade pozolânica com cimento Portland.

Para a realização do ensaio foram confeccionadas duas argamassas diferentes, uma contendo somente cimento, areia e água e a outra com 35% do volume de cimento substituído pelo resíduo de blocos cerâmicos. Tendo sido moldados 3 corpos-de-prova para cada argamassa. As quantidades dos materiais utilizados encontram-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Composição das argamassas para determinação de atividade pozolânica

Material	Massa necessária (g)	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento Portland	312,0	202,8
Resíduo de Blocos Cerâmicos	-	$109,2 \times \frac{\bar{\delta}_r}{\bar{\delta}_c}$
Areia Normal	936,0	936,0
Água	x	y

Onde:

$\bar{\delta}_r$: massa específica do resíduo de bloco cerâmico

$\bar{\delta}_c$: massa específica do cimento

x e y: quantidade de água necessária para produzir a argamassa com consistência de (225 ± 5) mm de acordo com a NBR 7215.

Após conformados os corpos de prova permaneceram um dia em câmara úmida ainda nos moldes, depois foram desenformados e colocados em recipientes hermeticamente fechados. Ali permaneceram por 27 dias e após serem retirados foram testados em prensa para a determinação da resistência à compressão axial. Para determinar a atividade pozolânica foram calculadas as médias das resistências à compressão das argamassas A e B e o índice foi calculado segundo a equação 4.4:

$$IAP = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad (4.4)$$

Onde:

IAP: índice de atividade pozolânica.

f_{cA} e f_{cB} : média das resistências à compressão das argamassas A e B respectivamente.

4.6 Ensaio de curva de polarização

A determinação da curva de polarização é um importante ensaio eletroquímico para o estudo da corrosão. Ela foi realizada neste trabalho para avaliar se a composição química do resíduo de bloco cerâmico influencia de alguma forma nos possíveis ataques corrosivos que o metal pode sofrer. Com os resultados expressos na forma de um gráfico potencial x densidade de corrente elétrica é possível identificar o ponto onde há o rompimento da camada passivadora do metal.

Para comparar o comportamento das argamassas tanto com o resíduo de bloco cerâmico quanto sem, os corpos de prova após terem sido usados nos ensaios de resistência à compressão foram cominuídos e imersos separadamente em água destilada na proporção de 500g/L de água. Permaneceram sobe agitação por 12h com a finalidade de que substâncias que seriam liberadas ao longo de anos pelo concreto em contato com umidade fossem liberadas rapidamente. A parte líquida da mistura, que foi chamada de extrato, foi filtrada e utilizada para a realização do ensaio. Foram utilizados em cada ensaio um eletrodo de referência de calomelano

saturado, um eletrodo de trabalho de aço carbono e um contra eletrodo de platina. Os três foram colocados em uma célula eletroquímica contendo o extrato e foi medido o potencial de corrosão em circuito aberto. Com o auxílio de um potenciostato AUTOLAB modelo PGSTAT 100 as curvas de polarização foram traçadas.

Capítulo 5 – Resultados e Discussões

5.1 Caracterização dos Materiais

5.1.1 Análise Granulométrica

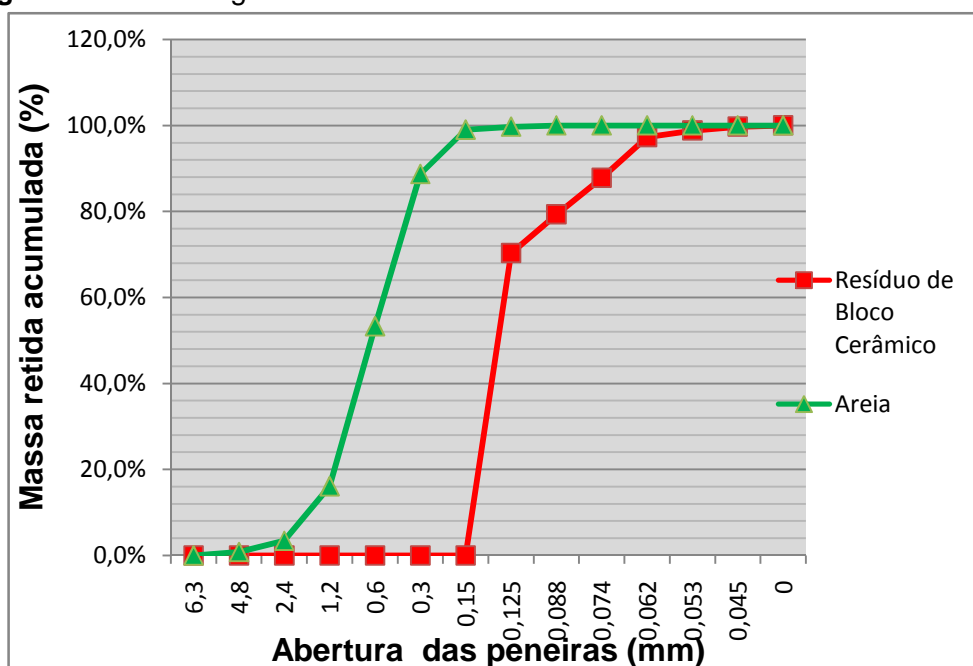
Após ser cominuído o resíduo de bloco cerâmico teve sua caracterização granulométrica realizada segundo a norma MERCOSUL NM 248 de 2003 da ABNT. O resultado da análise está apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Análise granulométrica do resíduo de bloco cerâmico

Peneira (mesh)	Abertura (mm)	Massa retida (%)	Massa acumulada(%)
115	0,125	70,3	70,3
170	0,088	9,0	79,3
200	0,074	8,5	87,8
250	0,062	9,5	97,3
270	0,053	1,5	98,8
325	0,045	1,0	99,8
Fundo	<0,045	0,3	100

Na Figura 5.1 pode-se ver a comparação entre a análise granulométrica da areia e a do resíduo de bloco cerâmico. Observa-se que a granulometria do resíduo é inferior à da areia. Sabendo que o cimento é composto por partículas com tamanho de aproximadamente 45µm, espera-se que desta forma o resíduo de bloco cerâmico preencha os vazios na argamassa diminuindo a porosidade da mesma e elevando a resistência.

Figura 5.1: Análise granulométrica do resíduo de bloco cerâmico e da areia



5.1.2 Determinação da massa específica

A massa específica do resíduo de bloco cerâmico foi determinada segundo a norma MERCOSUL NM 52 de 2003 da ABNT, onde a determinação é feita com a utilização do frasco de Chapman. O valor encontrado foi de $2,15 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$.

5.1.3 Análise química por fluorescência de Raios-X

O resultado da análise pode ser visto na Tabela 5.2, onde observa-se os altos teores de sílica (53,4%) e alumínio (34,3%) no resíduo de bloco cerâmico. Resultado já esperado, uma vez que os blocos cerâmicos são fabricados com argila, material composto basicamente por sílica e alumínio. Este resultado mostra que o resíduo tem potencial para ser uma pozolana, uma vez que os principais componentes responsáveis por conferir resistência mecânica e propriedades aglomerantes às pastas de cimento são os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, que serão formados após os ingredientes secos da argamassa entrarem em contato com a água.

Tabela 5.2: Composição química elemental do resíduo de bloco cerâmico

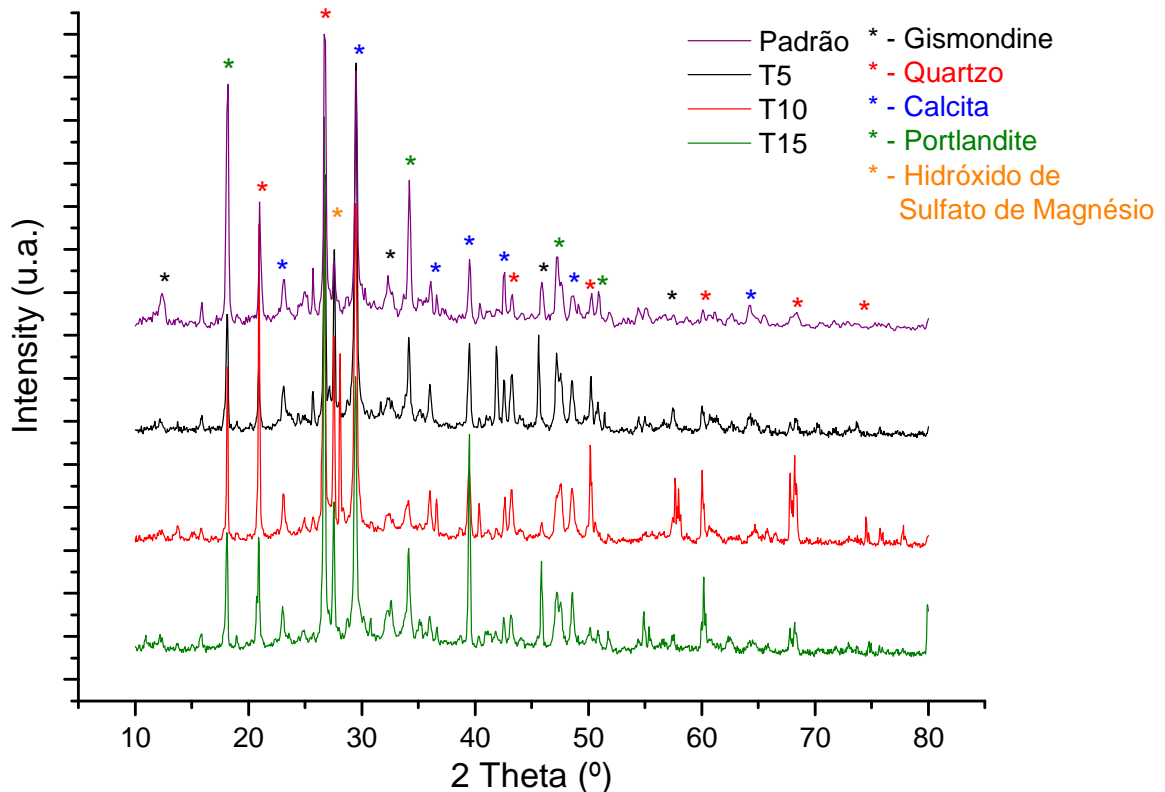
Componente	% massa
SiO ₂	53,434
Al ₂ O ₃	34,331
K ₂ O	1,646
Fe ₂ O ₃	8,668
TiO ₂	1,383
MgO	1,597

5.2 Ensaio em argamassa

5.2.1 Difração de Raios-x

Após as amostras passarem pelo difratômetro de raio-x foram gerados gráficos que analisados no programa MDI Jade 5 com o auxílio do banco de dados ICSD – Inorganic Crystal Structure Database – permitiram a identificação das fases cristalinas que foram formadas durante o processo de cura das argamassas.

Figura 5.2: Difratomogramas das argamassas.



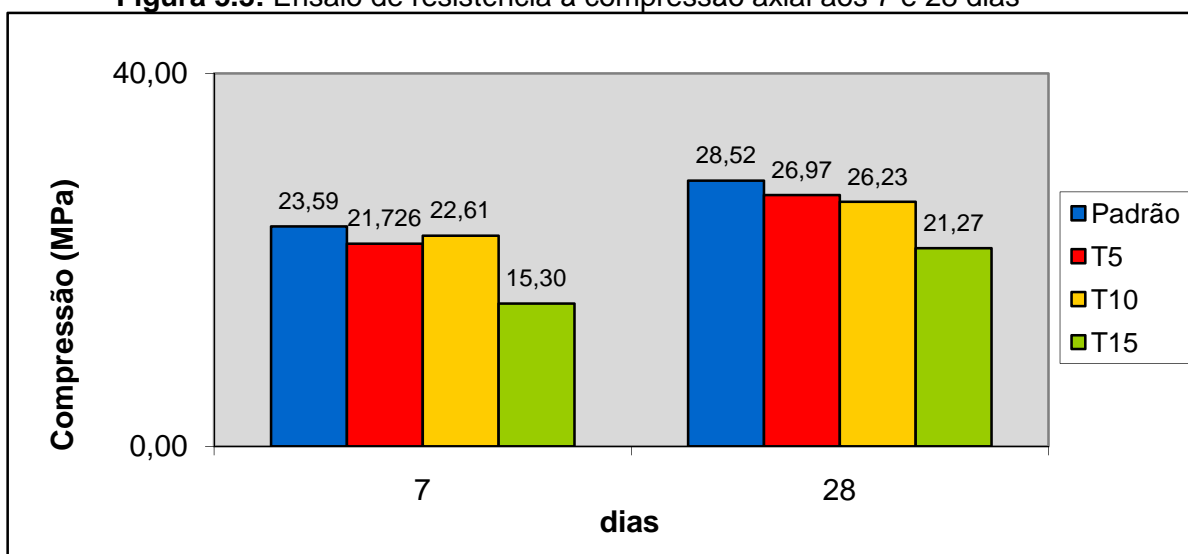
A comparação entre os gráficos gerados para cada amostra encontra-se na Figura 5.2. Foi possível identificar em todas as argamassas a presença do composto Quartzo (SiO_2) pelo pico característico em 2-theta igual a $26,75^\circ$ e confirmado pela presença de outros dois picos, um em 2-theta igual a $21,00^\circ$ e outro em 2-theta igual a $50,12^\circ$. Além dele foram encontrados também os compostos Calcita, Gismondine, Portlandite e Hidróxido de sulfato de magnésio.

A Figura 5.3 também mostra o aumento da intensidade dos picos característicos do quartzo conforme foi aumentado o teor de resíduo de bloco cerâmico empregado. Este comportamento indica que a sílica identificada no ensaio de fluorescência de Raios-X encontra-se na forma cristalina no resíduo de bloco cerâmico. O fato da sílica presente no resíduo estar em sua forma cristalina deve-se a temperatura na qual o bloco cerâmico é queimado, conforme citado na seção 2.6. Isto pode dificultar o aparecimento das propriedades pozolânicas do resíduo. Porém, caso suas partículas sejam suficientemente pequenas ele ainda pode apresentar atividade pozolânica.

5.2.2 Ensaio de resistência à compressão axial

Na Figura 5.3 é possível observar a evolução da resistência à compressão. As argamassas adquirem a maior parte da resistência nos primeiros dias de cura, nota-se que aos sete dias elas possuíam cerca de 80% da resistência medida aos vinte e oito dias.

Figura 5.3: Ensaio de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias

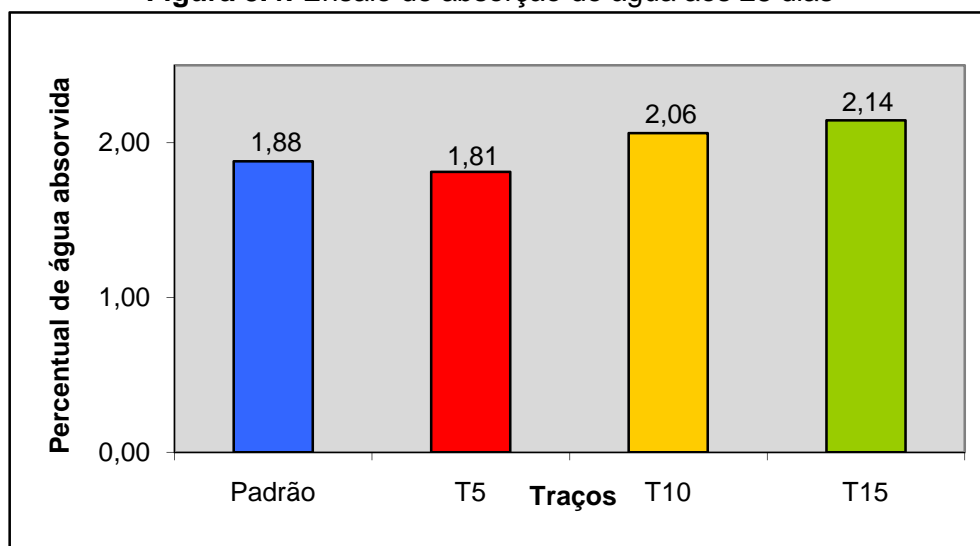


Os resultados também mostram que as argamassas T5 e T10, com 5% e 10% do cimento substituído pelo resíduo de bloco cerâmico respectivamente, tiveram um bom desempenho. A argamassa T5 apresentou uma queda de 5,4% na resistência em relação à argamassa padrão, e a argamassa T10 apresentou uma queda de 7,8%. O que possibilita o emprego do resíduo, nestes teores, do ponto de vista da resistência. Já a argamassa T15, com a maior porcentagem de resíduo de bloco cerâmico substituindo o cimento, apresentou uma queda acentuada na resistência, 25,4%, o que torna arriscado o emprego do resíduo neste teor.

5.2.3 Ensaio de absorção de água

A Figura 5.4 apresenta o percentual de água absorvida pelos corpos de prova após 28 dias. As argamassas T10 e T15 apresentam um aumento de cerca de 10% na absorção de água em relação à argamassa padrão. Já a argamassa T5 apresenta uma diminuição da absorção de 3,7%, podendo ser considerada equivalente à argamassa padrão.

Figura 5.4: Ensaio de absorção de água aos 28 dias

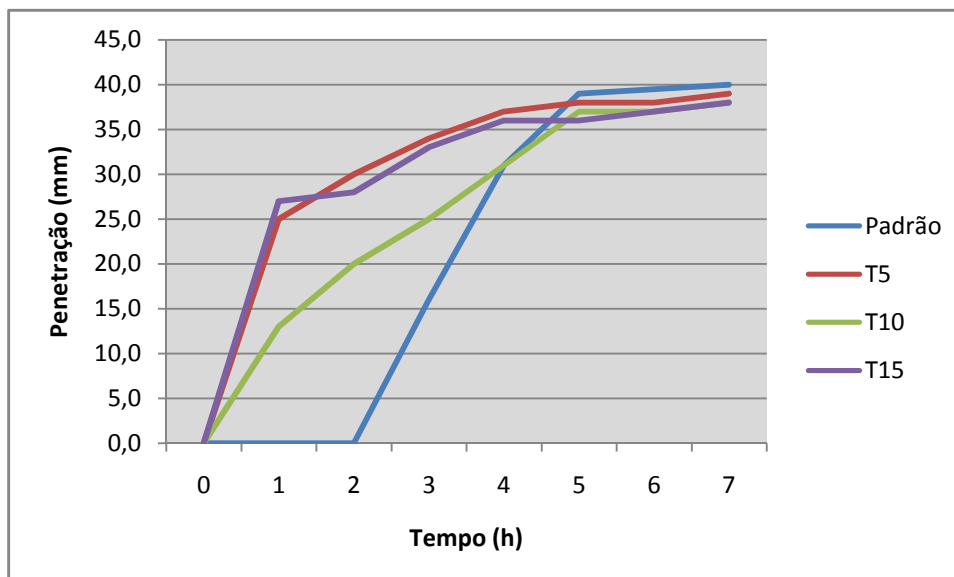


A absorção de água serve para avaliar a porosidade da argamassa produzida, propriedade que está diretamente ligada à medida de resistência à compressão. Quanto mais porosa uma argamassa, menos resistente ela será. É necessário observar ainda que este não é o único fator que influencia na resistência final do produto. Outros tais como o fator água/cimento, razão entre as quantidades de água e a de cimento usadas na confecção da argamassa, e as condições de cura, temperatura e umidade, são responsáveis pela qualidade final adquirida.

5.2.4 Tempo de pega

Ao observar os resultados do ensaio de determinação do tempo de pega apresentados na Figura 5.5 identificamos que após a adição do resíduo de bloco cerâmico há a redução do tempo de dormência, início da pega. No entanto não é possível classificar esta adição como aceleradora de pega, pois ela não altera o tempo final de pega. A alteração no tempo de dormência pode ser atribuída ao aumento da concentração iônica da mistura, que segundo Anderson e Gram (1988) acelera a precipitação de hidratos, responsáveis pelo endurecimento da argamassa. Tal alteração é interessante quando se trata do emprego da argamassa em locais de clima frio, pois a baixas temperaturas o processo de endurecimento se torna mais lento (METHA; NONTEIRO, 2008). Porém, para tal, é necessário que a influência da temperatura no tempo de pega das argamassas seja avaliada.

Figura 5.5: Tempo de pega das argamassas



As argamassas T5 e T15 apresentaram uma diminuição maior do tempo de dormência do que a argamassa T10, o que torna a argamassa T10 mais segura, em relação a perda da trabalhabilidade, para ser empregada. Porém, não foi possível identificar o tempo exato do início da pega. Para identifica-lo pode ser feito um ensaio de ultrassom.

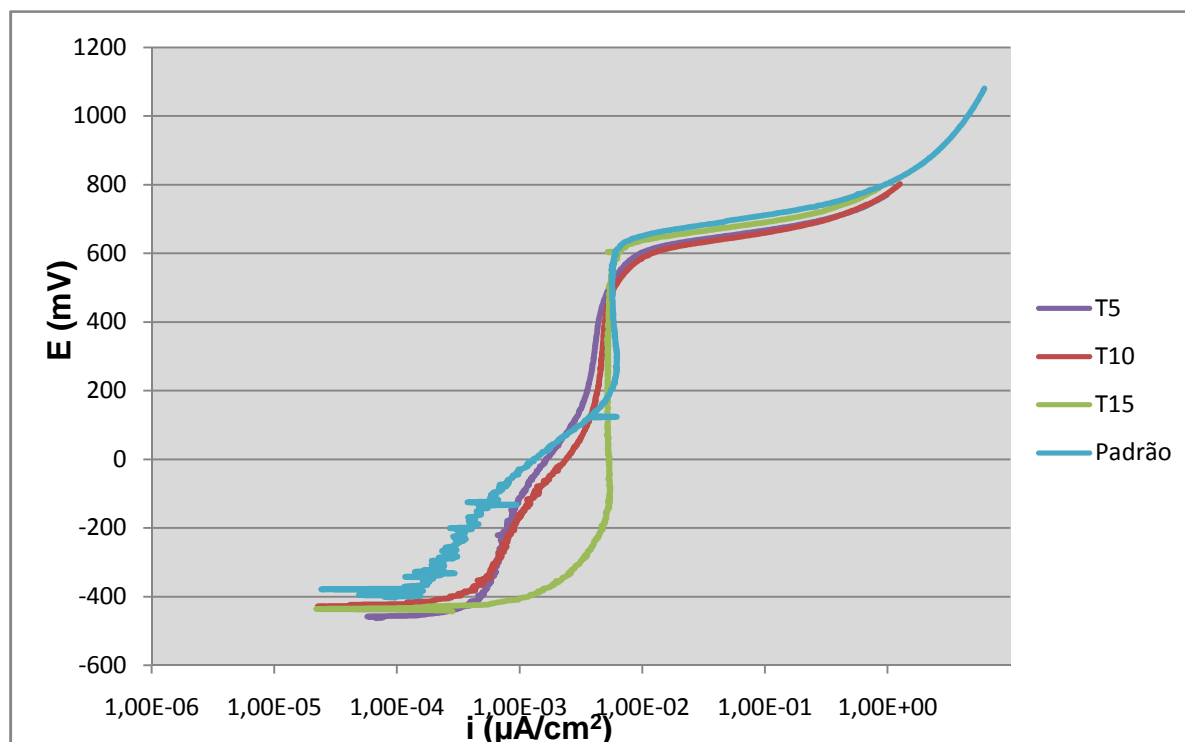
5.3 Ensaio de determinação da atividade pozolânica

Para este ensaio foram confeccionadas duas argamassa, uma contendo cimento, areia e água, argamassa A, e a outra com 35% do volume de cimento substituído pelo resíduo de bloco cerâmico, argamassa B. A argamassa A apresentou um valor médio de resistência a compressão igual a 22,24 MPa e a argamassa B um valor de 12,16 MPa. Aplicando esses valores na equação 4.4 encontrou-se um índice de atividade pozolânica de 54,65%, o que indica que o resíduo da forma como foi empregado não apresenta atividade pozolânica, pois para isso o índice deveria ser $\geq 75\%$ segundo a norma NBR 5752 da ABNT. Analisando este resultado é possível concluir que a granulometria do resíduo não foi suficientemente pequena para ativar o potencial pozolânico que o mesmo possui.

5.4 Ensaio de curva de polarização

O resultado desse ensaio, apresentado na Figura 5.6, mostra a influência da adição do resíduo de bloco cerâmico no comportamento corrosivo da argamassa em relação ao aço através da observação da curva de polarização anódica. A medida do potencial de corrosão foi feita em circuito aberto e somente uma vez.

Figura 5.6: Curvas de polarização dos extratos aquosos das argamassas confeccionadas.



As argamassas T5, T10 e T15, contendo resíduo de blocos cerâmicos, apresentaram potencial de corrosão de -457,9 mV, -436,1mV e -436,1mV respectivamente, enquanto a argamassa padrão apresentou um potencial de corrosão de -379,3mV. Já os resultados das densidades de correntes de passivação foram de $5,78\text{E}-3\mu\text{A}/\text{cm}^2$, $4,23\text{E}-3\mu\text{A}/\text{cm}^2$, $4,74\text{E}-3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ e $5,27\text{E}-3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ para as argamassas Padrão, T5, T10 e T15, respectivamente. No entanto a pouca variação dessas propriedades não foi observada nem no tamanho nem no potencial de início da região de passivação. Na argamassa padrão a região de passivação encontra-se entre 200mV e 600mV. Nas argamassas T5 e T10, que apresentaram um comportamento parecido, a região de passivação encontra-se entre 100mV e 500mV. No entanto a argamassa T15 apresentou uma região de passivação entre -200mV e 600mV. Esse aumento da extensão da região de passivação indica que o aço está mais protegido neste caso.

Do ponto de vista corrosivo pode-se ver que a adição do resíduo de bloco cerâmico é benéfica, e quanto mais resíduo é acrescentado melhor é a proteção do aço pela argamassa. No entanto, sabe-se que a adição de resíduo reduz a taxa de

difusão de íons cloreto na argamassa somente até um teor máximo de 20% (VIEIRA, 2005).

Capítulo 6 – Conclusões

Uma análise conjunta dos resultados mostra que o resíduo de bloco cerâmico pesquisado apresenta características mineralógicas que o classifica como silico-aluminoso, quanto à composição química. Predominantemente composto por elementos responsáveis, quando hidratados, pela resistência mecânica desenvolvida nas argamassas.

O resíduo de bloco cerâmico foi usado como substituinte do cimento Portland por apresentar um alto índice de sílica, o qual poderia acarretar uma atividade pozo-lânica. Porém o tamanho da partícula usado não teve uma área superficial suficientemente grande para ativar a pozolanicidade da sílica, presente na sua forma cristalina (quartzo).

Os ensaios de absorção de água demonstraram que o resíduo só apresentou um efeito de filler na composição T5. Resultado que não foi alcançado nas demais composições devido à granulometria do resíduo.

A adição do resíduo causou uma diminuição no tempo de dormência da argamassa, propriedade interessante quando se trabalha em climas mais frios, porém não satisfatória em altas temperaturas.

Do ponto de vista corrosivo o resíduo se mostrou apto ao emprego em argamassas, uma vez que não causa grandes alterações nos valores de potencial de corrosão e de densidade de corrente de passivação, além de apresentar um aumento na extensão da região de passivação.

As argamassas preparadas com o resíduo de blocos cerâmicos apesar de apresentarem valores de resistência à compressão inferiores à argamassa padrão, ainda apresenta desempenho mecânico satisfatório, capaz de produzir elementos construtivos.

Mediante os resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que a substituição de 10% do cimento Portland por resíduo de blocos cerâmicos mantém características semelhantes as das argamassas convencionais. Desta forma obtem-se um ganho ambiental, pois este emprego gera uma redução na poluição associada à fabricação de cimento e ao descarte do resíduo.

Capítulo 7 – Sugestões de Estudos Futuros

Após esta etapa inicial fica como sugestão de pesquisa a avaliação da influência da granulometria no desenvolvimento da atividade pozolânica do resíduo de bloco cerâmico. É importante também avaliar outros aspectos tais como a retração, a aderência ao suporte, a permeabilidade ao vapor e a durabilidade das argamassas confeccionadas com resíduo de blocos cerâmicos. A fim de determinar qual o tipo de argamassa que pode ser confeccionado com o resíduo.

Mostrou-se necessário a realização de ensaios de ultrassom para determinar o tempo exato de início de pega. Bem como avaliar a influência da temperatura ambiente no tempo de pega da argamassa.

Referências Bibliográficas

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica.

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

Acesso em 06 de Março de 2011

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

Disponível em: www.abcp.org.br

Acesso em 07 de Março de 2011

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732; Cimento Portland Comum.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5733; Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735; Cimento Portland de auto-forno.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736; Cimento Portland Pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5737; Cimento Portland resistente a sulfatos.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5752; Materiais pozolânicos — Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland — Índice de atividade pozolânica com cimento — Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7170; Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7215; Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7211; Agregados para Concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 11578; Cimento Portland composto – Especificação.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12989; Cimento Portland branco – Especificação.** Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 12653; Materiais pozolânicos – especificações.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 13116; Cimento Portland de baixo calor de hidratação - Especificação.** Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 13530;Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 15270-1;Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-2;Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____.**MERCOSUL NM 248;Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

_____.**MERCOSUL NM 52;Agregados miúdo – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2003.

_____.**MERCOSUL NM 65;Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

AGOPYAN V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Pesquisa "Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras." Relatório final - VOLUME 4 - Resultados e análises: aço, concreto usinado e blocos/tijolos.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998.

ALBERS, A. P. F.; MELQUIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios-X.** Revista Cerâmica 48, Jan/Fev/Mar 2002. p 34-37.

AMORIN, L. V. et al. **Avaliação da Atividade pozolânica de Resíduos Cerâmicos na Construção Civil.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 43, Anais. Florianópolis, 1999.

ANDERSSON, R.; GRAM, H.E. **Properties of álcali activated slag concrete.** In: NORDIC CONCRETE FEDERATION. Nordic concrete research, p.7-17. Oslo, 1987.

BATTAGIN, A.F. **The use of microscopy for estimating the basicity of slags in slag cements.**

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

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Cimento**. Maio de 1995. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/cim.pdf

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil**. 2ªed. São Paulo: IBRACON, 2008. Cap 26.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente. Resolução nº 010/1990. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=107>

LAFARGE. Fabricação do Cimento
Disponível em <http://www.lafarge.com.br>
Acesso em 02 de Novembro de 2012

METHA, P. K.; MONTEIRO, J. P. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo. Editora IBRACON, 2008.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. 2010

Disponível em: <http://www.mme.gov.br>

Acesso em 02 de Novembro de 2012

_____. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. 2011

Disponível em: <http://www.mme.gov.br>

Acesso em 02 de Novembro de 2012

MOTTA, J, F, M; ZANARDO, A; CABRAL JUNIOR, M. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, 6, p 28-39. Março/ Abril 2001

NASCIMENTO FILHO, V. F. **Técnicas Analíticas Nucleares de Raios-X por Dispersão de Energia (ED-XRF) e por Reflexão Total (TXRF)**. ESALQ, CENA. 1999.

NASCIMENTO JUNIOR, A. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Utilizando Adição de Resíduo de Cerâmica Vermelha**. UEFS, Feira de Santana, BA, 2011

SILVA, Rogério José da. **Análises Energéticas de Plantas de Cimento Portland**. Campinas, SP, UNICAMP, 1994.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, M.R. Argamassas com Incorporação de Cgregados cerâmicos. Avaliação de seu Desempenho Face à Água. **Teoria e Prática na Construção Civil**, n. 11, p. 13-21, [Lisboa], Abril 2008.

SILVA JUNIOR, J. E. S. et al. **Reciclagem de Cerâmica Vermelha no Desenvolvimento de Argamassas**. UFRN, Natal 2002

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. **Relatório anual 2009**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **Relatório anual 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Relatório anual 2011**. Rio de Janeiro, 2011.

VEIGA, M. R.; BRITO, J.; LAMPREIA, N. **Argamassas de Revestimento com baixa Energia Incorporada Através da Reutilização de Resíduos**. In: Cidades e Desenvolvimento, LNEC. Lisboa, 2012.

VEJMELOVÁ, E et al. **Application of Waste Ceramics as Active Pozzolana in Concrete Production**. In: Coimbatore Conferences. IPCSIT, vol. 28. Singapura, 2012.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos.** UFPB, João Pessoa, PB, 2005.