



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO *CAMPUS* CARAÚBAS
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

POLIANA DANTAS SOARES

**O ESTADO DA ARTE DO USO DA CERÂMICA VERMELHA COMO SUBSTITUTO
POZOLÂNICO NO CIMENTO**

CARAÚBAS - RN
2014

POLIANA DANTAS SOARES

**O ESTADO DA ARTE DO USO DA CERÂMICA VERMELHA COMO SUBSTITUTO
POZOLÂNICO NO CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral

CARAÚBAS - RN
2014

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

S676e Soares, Poliana Dantas Soares.

O estado da arte do uso da cerâmica vermelha como substituto
pozolânico no cimento / Poliana Dantas Soares -- Caraúbas, RN,
2014.

46f. : il.

Orientador: Prof. M. Sc. Francisco de Assis Brito Filho

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Cerâmica vermelha.. 2. Resíduos.. 3. Pozolana. 4. Cimento
I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD:666.3

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

POLIANA DANTAS SOARES

**ESTADO DA ARTE DO USO DA CERÂMICA VERMELHA COMO
SUBSTITUTO POZOLÂNICO NO CIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Aprovado em 06 de agosto de 2014

Comissão examinadora:

[Redacted]

Kleber Cavalcanti Cabral

Orientador- UFERSA

[Redacted]

Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto

Membro interno - UFERSA

[Redacted]

Joelton Fonseca Barbosa

[Redacted]

Membro interno - UFERSA

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu criador, por quem a cada dia nutro fé e amor.

Aos meus pais Daniel Maciel e Maria Lucenir, meus guerreiros. Obrigada por nunca desistirem de mim, por todos os cuidados, dedicação e amor incondicional. Obrigada por tudo, amo muito vocês.

À minha irmã Paola Dantas, minha momona. Eu sou completamente apaixonada por você, obrigada por existir.

À minha prima Débora Mayanne, minha irmã de coração. Obrigada por todos os momentos ao seu lado, por toda a ajuda na realização deste trabalho, por todo o apoio. Eu te amo, pequena sonhadora.

À Nathália Xavier, minha pessoa maravilhosa. Obrigada por ser quem você é, por fazer parte da minha vida, por tudo.

Aos meus amados amigos Elen Monaliza, Marília Tavares, Natália Linhares e Phablo Calixta, que mesmo apesar da distância, ainda me ajudaram, deram apoio e acreditaram em mim, obrigada.

Aos meus maravilhosos amigos da UFERSA com quem divido minha rotina e que de alguma forma me ajudaram com a realização deste trabalho, muito obrigada.

Ao meu orientador, Kleber Cavalcanti. Obrigada por toda paciência e confiança depositada em mim.

À minha doce, incrível e inesquecível avó Rita
(in memoriam).

À minha mãe maravilha.

DEDICO

*“Se você já construiu castelos no ar, não
tenha vergonha deles. Estão onde devem estar.
Agora, dê-lhes alicerces.”*

(Henry David Thoreau)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo da substituição pozolânica de resíduos de cerâmica vermelha parcialmente no cimento, visando a possibilidade da sua utilização em argamassas e um menor consumo de cimento Portland, o que proporciona uma menor emissão de dióxido de carbono, além de trazer melhorias para as propriedades de misturas de cimento contendo esta adição. Porém, mais pesquisas precisam ser efetuadas para se ter uma precisão das melhorias provenientes desta substituição no cimento Portland. Utilizou-se de análises de experimentos para se chegar ao objetivo, dos quais destacaram-se os ensaios de efeito de variação de finura, tempo de pega, resistência à compressão. Os resultados obtidos evidenciaram a viabilidade da substituição pozolânica no cimento e um aumento significativo nas propriedades mecânicas das argamassas com o aumento da área específica dos materiais pozolânicos.

Palavras-chave: Pozolana. Cerâmica Vermelha. Cimento.

ABSTRACT

This work aimed to study the pozzolanic replacement of residues in partially red ceramic cement, targeting the possibility of their use in mortars and a lower consumption of Portland cement, which provides lower emissions of carbon dioxide, and bring improvements for the properties of cement mixes containing this addition. However, more research needs to be done to get an accuracy of improvements from this replacement in Portland cement. We used analysis of experiments to reach the goal, which stood out the testing effect of varying fineness, setting time, compressive strength. The results obtained showed that the viability of the pozzolanic cement replacement, and a significant increase in mechanical properties of mortars with increasing specific area of pozzolanic materials.

Keywords: Pozzolanic. Red ceramic. Cement.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de Pozolanas	19
Tabela 2: Classificação de materiais pozolânicos, conforme sua atividade-tipo.....	20
Tabela 3: Composição Química do Resíduo Cerâmico (% em massas).....	35
Tabela 4: Resumo das Resistências à compressão	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aqueduto "Pont du Gard", França.	17
Figura 2: Panteão de Agripa em Roma.....	17
Figura 3: Tipos de Argila	25
Figura 4: Gráfico de Resistência média à compressão	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1. O USO DAS POZOLANAS	16
2.1.1. História da Pozolanas	16
2.1.2. Definição	17
2.1.3. Classificação das Pozolanas	18
2.1.4. O Uso das Pozolanas no Cimento Portland	21
2.1.5. O Uso de Cimento Pozolânico em Argamassas de Cal	22
2.2. CERÂMICA VERMELHA	24
2.2.1. Definição	24
2.2.2. Matérias-Primas	25
2.2.3. Massa Cerâmica	26
2.2.4. Caracterização das Cerâmicas Vermelhas	27
2.2.5. Uso da Cerâmica Vermelha no Cimento	28
2.3. ESTADO DA ARTE	29
2.3.1. O Uso da Cerâmica Vermelha no Brasil	29
2.3.2. O Uso da Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Norte	30
3. METODOLOGIA	32
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS	32
3.2. MÉTODOS	33
3.2.1. Processo de Moagem e Peneiração	33
3.2.2. Caracterização dos Materiais	33
3.2.3. Ensaio de Índice de Atividade Pozolânica com a Cal	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO COM RESÍDUO CERÂMICO (RC)	35
4.1.1. Análise da composição dos Resíduos de Cerâmica Vermelha	35
4.1.2. Efeito da Variação da Finura	36
4.1.3. Tempos de Pega de Pastas de Cimento contendo RC	36
4.1.4. Resistência à Compressão do Cimento contendo RC	37
5. CONCLUSÃO	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios enfrentados na atualidade, na busca pelo desenvolvimento sustentável, principalmente na área de Construção Civil, é a investigação de processos para a obtenção de materiais alternativos, que permitam o emprego de resíduos urbanos diversos na fabricação de materiais e produtos duráveis, onde estes sejam de baixo custo e amigáveis ao meio ambiente (METHA & MONTEIRO, 1994).

A argamassa e o concreto são dois importantes materiais muito utilizados pela indústria da construção em todo o mundo, em razão de suas vantagens quando comparado a outros materiais. Suas descobertas e uso intensivo revolucionaram a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade (HELENE, 2007).

Esta enorme utilização, trouxe como consequência um aumento da indústria produtora de cimento Portland, que causa vários problemas ambientais.

Os impactos ambientais ocasionados pela extração de argila e calcário, suas principais matérias-primas, o alto consumo energético e a elevada taxa de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera são os efeitos considerados mais danosos da indústria produtora de cimento Portland. Estima-se que para cada tonelada de cimento produzida uma outra tonelada de dióxido de carbono seja lançada no ar, contribuindo desta forma para o aumento do aquecimento global (METHA & MONTEIRO, 1994).

O uso de resíduos de cerâmica vermelha como substituto parcial do cimento na confecção de concreto e argamassas, apresenta propriedades de durabilidades melhoradas em razão desta adição, proporcionando vários benefícios ao meio ambiente como a imobilização deste rejeito industrial, agregando-lhe valor, e a redução do consumo do cimento, tendo como consequência a diminuição da emissão de gás carbônico, consumo de recursos naturais, redução dos custos com recuperação ambiental e outras vantagens. Além disso proporcionam características importantes nas argamassas e concretos tais como a redução da permeabilidade, diminuição da porosidade capilar, maior resistência a sulfatos e melhoria da resistência à compressão a longo prazo (KIHARA e SHUKUZAWA, 1982).

Uma revisão da literatura referente às pesquisas envolvendo o resíduo de cerâmica vermelha como substituto parcial do cimento revelou que existem vários estudos acerca dos

benefícios incorporados às propriedades mecânicas de argamassas e concretos contendo esta adição. Entretanto, uma vez que as propriedades avaliadas nestes estudos parecem variar bastante em função das características físicas, químicas e mineralógicas dos resíduos utilizados, percebe-se a necessidade da caracterização e análise destes resíduos segundo os diversos aspectos inerentes à sua utilização como substituto parcial do cimento (VIEIRA, 2005).

Este trabalho apresenta um estudo sobre uma alternativa para minimizar esses problemas que é o uso de resíduos industriais com propriedades pozolânicas na substituição parcial do cimento, como por exemplo, os resíduos da indústria de cerâmica vermelha.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Esse projeto propõe a utilização de resíduos de cerâmica vermelha para obtenção de um aditivo mineral pozolânico, que possa ser utilizado como substituto parcial do cimento na confecção de argamassa, apresentando melhorias em razão desta adição, como redução do impacto ambiental.

1.1.2. Objetivos Específicos

Esse projeto irá revelar um estudo bibliográfico acerca da utilização dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha na substituição parcial do cimento em argamassas, tendo em vista fatores que irão ou não ser influenciados por essa adição, como:

- O estudo das Propriedades Pozolânicas dos Resíduos de Cerâmica Vermelha através de sua moagem;
- O estudo do Efeito da Variação da Finura;
- O estudo da Resistência à Compressão;
- O estudo do Tempo de Pega;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O USO DAS POZOLANAS

2.1.1. História da Pozolanas

Existem em relatos das primeiras construções desenvolvidas pelo homem há aproximadamente 10.000 anos que indicam que a terra argilosa foi provavelmente o primeiro material ligante utilizado. A cal surgiu depois, descoberta ao que tudo indica, pela civilização grega, uma das pioneiras na utilização deste material como aglomerante, difundindo uma prática que supostamente se iniciou em Creta (ALVES, 2002; ZAMPIERI, 1989).

Tanto os gregos quanto os romanos sabiam que certos materiais vulcânicos, quando finamente moídos e misturados à cal e à areia, proporcionavam argamassas de maior resistência, que exibiam capacidade de endurecer sob a água e resistir à sua ação. Uma vez que os materiais de melhor qualidade eram obtidos ao redor do Monte Puzzuoli, atribuiu-se a esses materiais a designação de pozolanas, termo que mais recentemente foi também estendido a outros materiais, naturais ou artificiais, que exibem comportamento semelhante (ZAMPIERI, 1989).

Por volta do século 19, antes do surgimento do cimento Portland, produzia-se argamassas e concretos usando de uma mistura de materiais pozolânicos e cal. As primeiras pozolanas artificiais foram os solos argilosos calcinados na forma de fragmentos de materiais cerâmicos moídos e, misturados à cal, constituíram há cerca de 3. 600 anos, o primeiro cimento hidráulico produzido pelo homem.

Com o advento do cimento Portland no século 19, o cimento pozolânico (cal-pozolana) deixou de ser utilizado, pois o cimento Portland endurece e adquire resistência a uma taxa mais elevada. Este é composto principalmente por silicatos os quais, quando hidratados, produzem silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), responsáveis pela resistência da argamassa, e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que não possui características cimentícias (MEHTA, 1987).

Essas misturas pozolânicas entraram em desuso, porém a sua durabilidade pode ser comprovada pelas inúmeras estruturas construídas com esses cimentos e que ainda existem em toda a Europa, como por exemplo, o “Pantheon di Agrippa” (Panteão de Agripa) situado em Roma e a ponte-aqueduto “Pont du Gard”, situado no sul da França (Figura 1 e Figura 2) (FARIAS FILHO, 2000).

Figura 2: Panteão de Agripa em Roma



Fonte: <http://www.marcuslink.com>

Figura 1: Aqueduto "Pont du Gard", França.



Fonte: <http://www.globo.com>

2.1.2. Definição

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992), são considerados pozolanas, as substâncias naturais ou artificiais, silicosa (SiO_2) ou silico-aluminosa, que por si só, não apresentam características cimentícias, devido à necessidade de uma fonte de cálcio não apresentam resistência quando misturado apenas com água, mas quando finamente moídos e em presença de água e de cal hidratada (hidróxido de cálcio) à temperatura ambiente, reagem, resultando em compostos com características cimentícias.

As pozolanas são normalmente utilizadas de duas formas: como substituição parcial do cimento ou como adição em teores variáveis em relação à massa ou volume do cimento, conforme SANTOS (2006). Porém, independentemente de como a pozolana é utilizada, a reação pozolânica e os benefícios associados são os mesmos (MEHTA, 1987). Deve-se considerar que cada material vai ter suas próprias características, o que vai proporcionar valores diferentes.

2.1.3. Classificação das Pozolanas

A NBR 12653 classifica as pozolanas de acordo com sua origem em: naturais (materiais de origem vulcânica com teor de sílica acima de 65%); artificiais (materiais provenientes de tratamento térmico como argilas calcinadas, cinzas volantes, cinza de casca de arroz, sílica ativa, resíduos de cerâmica vermelha e outros). Podem ser divididos em três classes (Classe N, Classe C e Classe E). Essa classificação é em função de sua origem, requisitos químicos e físicos estabelecidos nesta mesma Norma.

Os materiais pozolânicos da Classe N são as pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis na NBR 12653/1992, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas. Os da Classe C são as cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas, que obedecem também aos requisitos aplicáveis nesta NBR. Por último o material da Classe E é qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores, conforme estabelecido na mesma NBR (NBR 12653/1992) (NETTO, 2006).

De acordo com Massazza (1976), os materiais pozolânicos podem ser divididos em dois grandes grupos: naturais e artificiais, mas existem opiniões diferentes com relação à classificação de certos tipos de pozolana, como das argilas calcinadas que, segundo alguns autores, são dadas como naturais e, segundo outros, como artificiais. Alguns autores classificam como pozolanas naturais todas as rochas portadoras de atividade pozolânica natural. Por outro lado, Mielenz *et al.* (1950), Mehta (1987), entre outros autores, admitem como pozolanas naturais também os produtos da calcinação dessas rochas.

Coutinho (2006) classificou as pozolanas de acordo com sua origem, como mostrado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Tipos de Pozolanas

TIPOS	ORIGEM
Naturais	Rochas lávicas meteorizadas
	Diatomita
Artificiais	Argilas e xistos calcinados ex. metacaulim
Subprodutos industriais	Cinzas volantes
	Escórias de alto-forno
	Sílica ativa
Subprodutos agrícolas	Cinza de casca de arroz

Fonte: (COUTINHO, 2006)

Os materiais pozolânicos naturais, segundo Montanheiro *et al.* (2002), podem ser classificados de acordo com sua origem, como: rochas vulcânicas ácidas; tufos vulcânicos; terras diatomáceas. Dependendo de sua origem, as pozolanas naturais apresentam variações consideráveis nas suas propriedades à medida que variam os componentes ativos das rochas, suas características físicas e mineralógicas. A forma, finura, distribuição do tamanho das partículas, densidade e composição mineralógica das pozolanas naturais são também fatores que influenciam na reação pozolânica e, conseqüentemente, no resfriamento e no desenvolvimento da resistência do concreto e argamassas (ACI 1994).

De acordo com Mehta (1987), nem sempre é fácil classificar uma pozolana natural, pois a mesma raramente apresenta apenas um constituinte reativo com o hidróxido de cálcio e, sua composição e propriedades podem variar bastante. Mas, baseados nos principais constituintes reativos com a cal presentes nos materiais, as pozolanas naturais podem ser classificadas em quatro categorias: vidro vulcânico; tufo vulcânico; argila calcinada (considerada por alguns autores); sílica opalina (natural ou calcinada).

Mielenz *et al.* (1950) *apud* Montanheiro *et al.* (2002) classificam as pozolanas naturais quanto à sua atividade-tipo como mostra a **Tabela 2**, tomando como referência a sua composição química e mineralógica, expressando-a pela afinidade e intensidade de reação em presença da água e hidróxido de cálcio com o tipo de componente ativo presente na composição mineralógica, independente da origem da rocha.

Tabela 2: Classificação de materiais pozolânicos, conforme sua atividade-tipo.

ATIVIDADE-TIPO	COMPONENTE ATIVO
1	Vidro Vulcânico
2	Opala
3	Argilas
3a	Caulinita
3b	Montmorillonita
3c	Illita
3d	Camada mista com Vermiculita
3e	Paligorskita
4	Zéolita
5	Óxidos de Alumínio Hidratados
6	Não Pozolânico

Fonte: Mielenz *et al.* (1950) *apud* Montanheiro *et al.* (2002)

As pozolanas artificiais, segundo a NBR 12653, são materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica, como: cinzas volantes, cinza de casca de arroz, cinzas madeiras, argila calcinada, metacaulim, sílica ativa, argila cozidas (pó de cerâmica vermelha).

2.1.4. O Uso das Pozolanas no Cimento Portland

A princípio, o cimento Portland pode se constituir unicamente de fragmentos de clínquer e de uma substância reguladora do tempo de pega (normalmente sulfato de cálcio), caracterizando o que se convencionou denominar cimento Portland comum. Mas dois tipos de materiais se consagraram em todo o mundo por sua vantajosa adição ao clínquer Portland, resultando em suas formas compostas: as escórias de alto forno e os materiais pozolânicos, tendo sido a utilização destes últimos motivada pelo desempenho das antigas argamassas romanas (ZAMPIERI, 1989).

De acordo com Oliveira e Barbosa (2006), a principal propriedade de uma pozolana é a sua capacidade de reação e combinação com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante, tais como: aluminatos e silicatos de cálcio hidratados. Dessa forma, nos compostos a base de cimento Portland, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos, vai reagir com a pozolana, utilizada como substituto parcial do cimento, resultando em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são os produtos mais estáveis do cimento hidratado. São esses silicatos de cálcio hidratados (CSH) que são responsáveis pela resistência do cimento, enquanto o hidróxido de cálcio influencia na durabilidade da pasta, principalmente sujeita a meios ácidos.

Segundo MONTANHEIRO *et al.* (2003), a reação pozolânica se desencadeia porque a sílica e a alumina são vulneráveis ao hidróxido de cálcio, devido à fraqueza e instabilidade de suas ligações estruturais no material original, como é o caso do vidro vulcânico ou das argilas calcinadas.

As pozolanas desempenham um importante papel quando adicionadas ao cimento Portland de modo que, geralmente, elas aumentam a resistência mecânica e a durabilidade das estruturas. O mais importante efeito na microestrutura da pasta cimentícia são as mudanças na sua estrutura porosa que são produzidas pela redução dos tamanhos dos grãos, ocasionada pelas reações pozolânicas (efeito pozolânico), e a obstrução dos poros e vazios pela ação dos grãos finamente divididos (efeito filler) (VIEIRA, 2005).

Metha & Monteiro (1994) afirmaram que dois efeitos podem ser considerados com relação às interações físicas da pozolana na pasta de cimentos resultantes da reação entre suas partículas e o hidróxido de cálcio: o refinamento do tamanho dos poros e o refinamento do tamanho do grão.

Vieira (2005) afirma que o refinamento do tamanho dos poros se refere à formação de produtos de hidratação secundários, como silicatos de cálcio hidratados, ao redor das partículas de pozolana, que vai preencher os vazios capilares grandes com um material de baixa densidade. Do mesmo modo, no processo referido como refinamento do tamanho do grão, a nucleação do hidróxido de cálcio ao redor das partículas finas e bem distribuídas das pozolana, tem o efeito de substituição dos cristais grandes e orientados desta fase por numerosos cristais pequenos e menos orientados, além de produtos de reação pouco cristalinos. Ambos os processos contribuem para o aumento de resistência da pasta de cimento.

A habilidade dos materiais pozolânicos de reagirem com a cal, formando compostos de propriedades aglomerantes, reside no fato de o silício e o alumínio presentes na sua composição se encontrarem em estruturas atômicamente amorfas ou desordenadas. A princípio, quanto maiores forem o desarranjo estrutural do material e a sua instabilidade em meio básico, mais intensamente se manifestará a reação pozolânica (FARIAS FILHO et al., 2000).

Outro aspecto a ser considerado com relação à reação pozolânica é a forma mais lenta com que a mesma ocorre quando comparada ao cimento, resultando em uma taxa de liberação de calor e desenvolvimento de resistência consequentemente lentas (METHA & MONTEIRO, 1994). Segundo Farias Filho *et al.* (2000) *apud* Vieira (2005), a reação pozolânica dependerá das características mineralógicas da pozolana, de sua finura, da temperatura e da concentração dos reagentes.

2.1.5. O Uso de Cimento Pozolânico em Argamassas de Cal

A argamassa é um produto resultante da mistura de um ligante com um agregado e água, pode ser definida como todo e qualquer material com propriedades de aglutinação que podem ser adicionados certos elementos que irão favorecer determinadas características da pasta, como as pozolanas, mais especificamente os resíduos de cerâmica vermelha. Os agregados têm uma forte influência no comportamento das argamassas. Há vários fatores, como sejam, a dureza, a forma dos grãos, a granulometria, a porosidade que afetam o comportamento da argamassa (MARGALHA, 2000).

Margalha (1997) afirma que uma das condições para a utilização de agregados em argamassas é estarem limpos de matéria vegetal, matérias finas de natureza argilosa e impurezas químicas. A presença de argila é sobretudo inconveniente nas argamassas por dificultar o perfeito contato dos grãos da areia com o ligante, impedindo uma boa aderência que se pode traduzir por uma sensível quebra de resistência. No entanto, por outro lado, os finos nem sempre são de natureza argilosa e podem transmitir uma melhor coesão e uma maior trabalhabilidade às argamassas. A qualidade dos ligantes é definida pela escolha das matérias-primas e pelos processos de cozedura, extinção e armazenamento. Não há bons e maus ligantes, estes podem tornar-se adequados ou não conforme a utilização que se vai fazer deles.

Ainda segundo Margalha (1997), as areias provêm da desagregação das rochas. Do ponto de vista químico, podem distinguir-se dois grupos principais: as areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e as areias calcárias. No Norte do país, têm mais utilização as areias graníticas, no Sul são mais utilizadas as areias quartzosas ou de origem calcária. Atualmente, em certos países, já são muito utilizadas areias provenientes da britagem por causa de questões ambientais. No nosso país, ainda é corrente o uso de areias de rio e/ou de mar, convenientemente lavadas, muito embora já haja restrições no uso de areias de rio.

Segundo Gonçalves (2005) *apud* Vieira (2005), o desempenho de uma dada pozolana na argamassa depende de fatores como a composição química, índice de atividade pozolânica, teor de substituição, forma e massa específica do material pozolânico, além da proporção dos materiais, relação água/cimento, tipo de cimento, tipo de agregados, aditivos químicos, idade e grau de hidratação.

Swamy (2000) afirma que sistemas que contêm cimento + cinzas volantes / escória / materiais pozolânicos + aditivos químicos podem resultar em propriedades benéficas no concreto e argamassas tanto no estado fresco quanto no endurecido. Dentre eles: melhora na trabalhabilidade, redução da segregação, aumento da resistência à fissuração térmica devido a redução do calor de hidratação e significativa redução da permeabilidade.

A adição de cimento contendo pozolana a qualquer argamassa de cal (hidráulica ou aérea) modificará as suas características. Os materiais pozolânicos podem combinar-se com o hidróxido de cálcio para formar compostos estáveis, reduzindo-se assim os riscos de escorrimentos iniciais ou de danos por congelamento e aumentando-se a durabilidade potencial da argamassa. Conforme o tipo de pozolana escolhido, a densidade e a resistência à

compressão da argamassa podem ser aumentadas e a sua porosidade diminuída. Em geral, os materiais pozolânicos mais fracos (tais como o pó de tijolo proveniente de tijolos cozidos abaixo dos 900° C) produzirão argamassas mais permeáveis e flexíveis, enquanto que os materiais fortemente aquecidos, tenderão a produzir argamassas mais resistentes, semelhantes, pelas suas características, às de cimento (VIEIRA, 2005).

2.2. CERÂMICA VERMELHA

2.2.1. Definição

São materiais com coloração avermelhada comumente utilizados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, argilas expandidas e outros). A massa base da cerâmica vermelha é uma mistura da argila “magra” com uma argila “gorda” para propiciar trabalhabilidade e resistência mecânica na queima (MOTTA, 2001).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), Cerâmica são todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. A Cerâmica Vermelha é uma das atividades de produção do setor cerâmico, proveniente de argilas, depende de algumas características das mesmas como granulometria, plasticidade e composição mineralógica, é submetida a altas temperaturas que lhe atribuem rigidez e resistência.

É uma indústria de processos químicos, onde as matérias-primas passam por processamentos, alterando-se, em cada etapa, suas características físicas e químicas, até a obtenção do produto final. De acordo com suas características ambientais, a Indústria de Cerâmica Vermelha possui aspectos bastante positivos no que diz respeito à matéria-prima abundante, sua durabilidade, possibilidade de reutilização ao final da vida útil e seu baixo conteúdo energético. Diversos estudos desenvolvidos em centros de pesquisa de todo o país consideraram ainda a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de outras indústrias como matéria-prima na confecção dos produtos de cerâmica vermelha, como a turfa, resíduos sólidos não tóxicos da indústria petroquímica (SILVA, 2006) ou o chamote, resíduo gerado pela própria indústria de cerâmica vermelha.

2.2.2. Matérias-Primas

Motta (2001), do ponto de vista da matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é tipo monocomponente (somente argila) e, pode ser denominada de simples ou natural.

Segundo Barba *et al.* (1997) o termo argila se emprega fazendo um referencial a um material de granulometria fina, com comportamento plástico quando misturado com uma quantidade limitada de água (**Figura 3**). Na natureza, não são encontradas como substâncias puras, e sim como mistura de vários tipos de componentes. As argilas apresentam coloração avermelhada quando o ferro está presente na forma de hematita, e cor escura quando na forma de magnetita.

Figura 3: Tipos de Argila



Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br>

As argilas comuns também chamadas de argilas de queima vermelha, são as que mais se destacam entre as substâncias minerais, em função da produção e consumo, sendo especialmente utilizadas na produção de cerâmica vermelha e de revestimento (COIMBRA, 2002).

Dentre os principais constituintes de uma argila podemos destacar os argilominerais. Os argilominerais são filossilicatos hidratados que se apresentam em forma de cristais muito pequenos. A estrutura cristalina desses minerais, com poucas exceções, consiste de um arranjo

de folhas, formando as camadas, o que justifica a denominação de silicatos em folhas ou filossilicatos (BARBA et al, 1997).

Graças aos argilominerais, as argilas na presença de água desenvolvem uma série de propriedades tais como: plasticidade, resistência mecânica, retração linear de secagem e compactação. Os principais grupos de argilominerais são a caulinita, a montmorilonita e a illita.

As argilas utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha não são essencialmente matérias-primas para a fabricação de pozolanas, porque tem, normalmente, um alto teor de sílica. Enquanto que o teor elevado de caulinita é benéfico para a produção de metacaulinita, causa na argila elevada plasticidade, conseqüentemente, alta retração na secagem e na queima (SOUZA SANTOS, 1989).

2.2.3. Massa Cerâmica

O termo massa cerâmica corresponde a uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico. As massas cerâmicas tradicionais são denominadas de acordo com características particulares, tais como cor, textura e conformação (CORREIA, 2004).

A massa base da cerâmica vermelha é uma mistura da argila “magra” (rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada também como material redutor de plasticidade) com uma argila “gorda” que é caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais. Essa formulação de massa busca uma composição ideal de plasticidade, para propiciar trabalhabilidade e resistência mecânica na queima (MOTTA, 2001).

A indústria cerâmica possui para cada produto uma massa. Essa massa estabelece a proporção, em peso ou volume, das diversas matérias-primas utilizadas. Uma boa massa deve ser facilmente processada, resultar em um produto com as características desejadas e ter um baixo custo de produção. Entretanto, sendo as matérias-primas utilizadas de origem natural, é inevitável que suas características variem com o tempo (MELCHIADES, 1997).

2.2.4. Caracterização das Cerâmicas Vermelhas

Existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para caracterizar as argilas, as mais usuais são: análise química, análise mineralógica através de difração de raios-X, análise térmica, além de propriedade tecnológicas que refletem os resultados do tratamento térmico como porosidade, densidade aparente, retração, absorção de água e resistência mecânica.

A análise química consiste em determinar a composição de uma matéria-prima, de acordo com as porcentagens fornecidas de óxidos presentes e também os valores de perda ao fogo. A análise química pode ser realizada através de métodos físicos ou químicos (EMILIANI & CORBARA, 1999).

A análise térmica engloba várias técnicas nas quais as propriedades físicas de uma substância e/ou seus produtos de reação são medidas de forma contínua em função da temperatura em um controlado ciclo térmico (BARBA et al., 1997). Esta técnica é sobre transformações energéticas que podem ser endotérmicas (absorção de calor) ou exotérmicas (liberação de calor).

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento dos resultados provenientes desta determinação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas (DIAS, 2004).

Segundo Grun (2004), a retração linear consiste nas porcentagens da variação das dimensões lineares e, se houver retração, seu valor será positivo e negativo quando houver expansão. A absorção de água é a capacidade que o material possui de aumentar a sua massa absorvendo a água que o envolve.

Ainda de acordo com Grun (2004), a porosidade aparente determina a quantidade de poros abertos presentes na amostra, já a densidade aparente é a razão entre o peso do corpo de prova seco e o seu volume aparente. A resistência mecânica do corpo de prova indica a capacidade de suportar esforços exercidos por cargas, que podem levar a rupturas, esmagamento ou quebras; normalmente é obtida por meio de ensaio de flexão por três pontos e é calculada através de equações que relaciona a força máxima aplicada e as dimensões da peça.

2.2.5. Uso da Cerâmica Vermelha no Cimento

O uso do tijolo cerâmico em construção data de quase cinco mil anos, sendo o mais antigo material fabricado pelo homem ainda em uso. Contudo, o produto cerâmico continua sendo largamente utilizado e geralmente é o material de construção preferido pelos usuários (ROMAN, 1999).

A pesquisa de vários investigadores que têm procedido a análises das argamassas, demonstram bem a sua resistência e durabilidade. Pelas experiências que se têm efetuado a cal aérea era o principal ligante das argamassas (ADAM, 1989), sendo muito comum encontrarem-se restos de tijolo, telhas e outros materiais com características pozolânicas que lhe conferiam um bom comportamento hidráulico. A utilização de resíduos de cerâmica vermelha, como agente pozolânico em argamassas, depende da sua atividade pozolânica, que é atribuída, essencialmente, aos seus constituintes (argamassas, tijolos e telhas) que quando moídos, geram produtos capazes de reagir com cal. A área específica de pozolana também desperta interesse quando utilizada como aditivo em argamassas de cal e cimento, sendo as resistências mecânicas destas argamassas melhoradas com o aumento de sua finura (SHIMA, 1992).

A indústria de cerâmica vermelha produtora de tijolos e telhas vem passando por grande reestruturação para atender às exigências do mercado, promovendo assim uma melhora do seu produto para conseguir manter-se como empresa competitiva. Para isto, tornou-se necessário o controle rigoroso das etapas de fabricação. As empresas que produzem tijolos e telhas são conhecidas também como olarias, localizam-se próximo às jazidas onde as matérias-primas são extraídas para diminuir os custos com o transporte, pois para a produção de tijolos as matérias-primas devem ter baixo custo (GRUN, 2007).

A substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha como pozolana implica ainda na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento, o que aumenta o período de exploração das jazidas de calcário e argila e o período de produção da fábrica de cimento. Além disso, há um aumento da capacidade de produção sem necessidade de novos investimentos (SANTOS, 2006).

2.3. ESTADO DA ARTE

2.3.1. O Uso da Cerâmica Vermelha no Brasil

Segundo Marciano JR. *et al.*, (1996), são inúmeros os trabalhos divulgados sobre materiais pozolânicos por todo o mundo. No Brasil, apesar das grandes vantagens apontadas para o seu uso, a literatura disponível a respeito deles é reduzida e recente. O interesse inicial por esses materiais surgiu em 1926 com a instalação da primeira fábrica de cimento no Brasil. Posteriormente cresceu com a busca de alternativas contendo menor custo e racionalização de energia elétrica para a sua produção e, atualmente, com a conscientização popular sobre os efeitos da poluição ambiental. Assim, por volta de 1952, a indústria de cimento nacional, utilizando-se de escórias de alto-forno provenientes da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), passou a adicioná-la ao cimento Portland na fábrica de Cimento Tupi, instalada na cidade de Volta Redonda (RJ). Por outro lado, só em 1969, os cimentos pozolânicos começaram a ser produzidos comercialmente no Rio Grande do Sul.

Atualmente têm se intensificado, em todo o mundo, pesquisas visando a obtenção e o beneficiamento de pozolanas de baixo custo a partir de subprodutos industriais, com vistas à sua utilização como substitutas parciais do cimento Portland em argamassas e concretos. Segundo estes estudos, estas substituições implicam em um duplo benefício para o meio ambiente, uma vez que agrega valor a resíduos cuja exposição na natureza é fonte de degradação ambiental e reduz o consumo de cimento. A metacaulinita, as cinzas da casca de arroz e os resíduos de cerâmicas vermelhas moídas são exemplos de materiais estudados com este propósito. (VIEIRA, 2005).

De acordo com Zampieri (1989), no Brasil, o primeiro registro da utilização de material pozolânico é do período da construção da barragem de Jupia (MS) em 1964, mas somente em 1969 houve a comercialização do chamado cimento Portland pozolânico, o qual utilizava cinzas volantes coletadas na termelétrica de Charqueadas (RS). No período entre 1975 e 1982 várias cimenteiras produziram cimentos pozolânicos com incorporação de argilas calcinadas. Hoje em dia, por razões econômicas, observa-se o emprego de pozolanas disponíveis regionalmente.

A região Nordeste, assim como as regiões Sul e Sudeste, apresenta um considerável índice de desenvolvimento da indústria cerâmica, segundo a Associação Brasileira de cerâmica – ABC. A região do Nordeste tem apresentado crescente desenvolvimento, impulsionado por outros setores como indústria e turismo. A demanda por edificações e instalações industriais têm crescido de maneira acentuada, aumentando assim, a demanda por materiais cerâmicos, em especial os ligados à construção civil (VIEIRA, 2009).

No Brasil, estima-se que em média 65% do material descartado é de origem mineral, 13% madeira, 8% plásticos e 14% outros materiais (LEAL, 2001). Estima-se também que argamassa, concreto e cerâmica vermelha correspondem, juntos, a mais de 60% do total dos resíduos que são gerados. Especificamente sobre os resíduos de cerâmica vermelha, estima-se que estes correspondam, em média, a 30% do total dos resíduos produzidos nas cidades brasileiras (CABRAL, 2007). Embora estes resíduos possam ser reaproveitados no próprio processo de produção da indústria cerâmica (VIEIRA & MONTEIRO, 2003). A reutilização destes resíduos na produção de agregados para uso na própria construção civil, pode ser uma solução adotada, em função do grande volume de agregados que são usados pela indústria da construção civil.

As pozolanas de argila calcinada foram fabricadas a partir de 1965, em Jupiá, pelas Centrais Elétricas de Urubupungá (CELUSA) sob orientação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). Na história do uso de pozolanas naturais no Brasil, a produção de cimento Portland pozolânico deveu-se ao Grupo João Santos, o qual utilizou rochas vulcânicas ácidas e subordinadamente diatomitos (BATTAGIN, 1987).

Vários estudos têm se fundamentado principalmente na verificação da pozolanicidade dos materiais produzidos pelas indústrias (CORDEIRO, 2002) e na utilização dos resíduos para a produção de agregados reciclados para argamassas, concretos e pavimentos (DIAS, 2004). As pesquisas sobre a reciclagem tem tido grandes avanços em vários países e no Brasil também e com relação as questões ligadas à preservação do meio ambiente e da qualidade de vida na busca por modelos de produção e de consumo sustentáveis.

2.3.2. O Uso da Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Norte

Atualmente, existe no estado do Rio Grande do Norte mais de 200 cerâmicas vermelhas produzindo telhas, tijolos e lajotas. Essas cerâmicas encontram-se distribuídas principalmente pelos polos do Vale do Açu, da Grande Natal e do Seridó (SILVA, 2007). É

neste último polo que se encontra o município de Carnaúba dos Dantas-RN, onde há uma indústria de cerâmica vermelha.

Silva (2007) notou que no cenário de produção em Carnaúba dos Dantas, a indústria de cerâmica vermelha é a principal atividade econômica do município e fonte geradora de emprego e renda, proporcionando o crescimento e desenvolvimento da cidade. Porém, a implementação dessa atividade econômica não significa a geração de emprego e renda para toda população local. O meio ambiente vem sendo destruído e no território Carnaubense em particular, os problemas resultantes desta destruição tornaram-se perceptíveis por toda à parte: desmatamento, degradação dos solos, aumento geral da temperatura e desertificação.

De uma forma geral, a localização da matéria prima em questão, afeta diretamente a localização das cerâmicas. Para uma cerâmica se instalar em uma determinada região é levado em consideração dois fatores principais, a proximidade das jazidas (em função do volume de matérias prima processada e da necessidade de transporte desse grande volume e peso) e dos mercados consumidores. Outro fator que influencia na localização das empresas é o baixo valor unitário dos produtos de cerâmica vermelha, tornando desvantajoso o transporte a grandes distâncias, condicionando a instalação de unidades industriais cerâmicas o mais próximo possível dos mercados consumidores (SEBRAE, 2008).

Outra indústria de cerâmica vermelha bastante promissora é a situada no Vale do Açu, sendo reconhecido como uma das melhores indústrias de tijolos e lajotas do estado do Rio Grande do Norte.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, será abordado os materiais e métodos que foram utilizados para se avaliar a realização da substituição pozolânica parcial dos resíduos de cerâmica vermelha no cimento, de acordo com os experimentos dos estudos de Rondon (2008) e Vieira (2002) sobre esse assunto, envolvendo a aplicação deste cimento pozolânico nas argamassas, além das análises que os próprios fizeram com relação aos estudos de outros autores.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

O cimento que foi utilizado é um composto, com pouca adição pozolânica em sua composição, o cimento Portland CP II F-32, que é um cimento composto com adição de fíler calcário e que é de uso e aplicação geral.

O agregado miúdo foi a areia normalizada conforme a NBR 7214 – Areia normal para o ensaio do cimento, utilizaram o pó da moagem de fragmentos de cerâmica vermelha, muito usados em obras de construção civil (tijolos e telhas) e, fez-se uso de hidróxido de cálcio.

Para a caracterização e possível utilização dos resíduos de cerâmica vermelha como material pozolânico, é necessário que os fragmentos de cerâmica passe por um processo de moagem, visando a obtenção de uma finura adequada para tais fins.

Nos experimentos de Vieira (2002), ele utilizou de uma pozolana comercializada pela indústria de cimento local, que foi fornecida pelo mesmo fabricante que forneceu o cimento CP II F-32, com o intuito de efetuar uma comparação desta pozolana com os resíduos de cerâmica vermelha, visando às propriedades pozolânicas e aspectos relativos à energia requerida para os seus beneficiamentos em um mesmo processo de cominuição. Esta pozolana fornecida pela mesma indústria do cimento CP II F-32, é a utilizada na produção do cimento CP II-Z (cimento Portland composto com pozolana).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Processo de Moagem e Peneiração

O processo de moagem se dá utilizando um moinho de bolas por um determinado período de tempo que vai depender do aspecto que se pretende chegar.

De acordo com Pereira (2000), o moinho de bolas tem sua eficiência influenciada pelo tempo de moagem, tamanho e carga de bolas e a quantidade de produtos a moer, dentro outras variáveis.

Tempos de moagem muito grande não querem dizer que obteremos uma melhor moagem. Há sempre um tempo de moagem adequado para cada material e moinho. Se ultrapassar esse tempo, eleva-se o custo do processo e vai haver o desgaste do moinho, podendo não ser obtido uma moagem fina.

O material resultante da moagem pode ser submetida a uma nova peneiração para a obtenção do material a ser utilizado nos ensaios.

3.2.2. Caracterização dos Materiais

A caracterização dos materiais consiste na determinação das massas específicas de acordo com a NBR 6474, a qual utiliza para a determinação da massa específica do cimento Portland e outros materiais em pó, o método do frasco volumétrico de “Le Chatelier”.

Primeiramente, vai ser determinados os índices pozolânicos com o cimento e com a cal de acordo com as normas NBR 5752/92 (Determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland) e NBR 5751/92 (Materiais pozolânicos - determinação de atividade pozolânica – índice de atividade pozolânica com cal), respectivamente. Essas normas adotam como métodos de ensaio a verificação da reatividade pozolânica por meio de ensaio mecânico. A quantidade de água determinada no ensaio de determinação da atividade pozolânica com a cal (NBR 5751/92) vai ser adotado nas misturas. É esperado que as argamassas apresentem consistência parecida.

3.2.3. Ensaios de Índice de Atividade Pozolânica com a Cal

Em seguida, de acordo com a NBR 7215, será realizado a moldagem de corpo de prova. Para cada mistura utilizada, será usado um determinado número de corpo de provas. A quantidade de materiais e areia utilizada vai ser medida de acordo com as medidas dos moldes de corpos de prova, levando em conta o volume necessário para preenchê-los. Pode-se fazer uso de uma argamassadeira mecânica para misturar os corpos de prova.

O índice de atividade pozolânica com cimento Portland da norma NBR 5752 é definido como sendo a relação entre a resistência à compressão dos corpos de prova de argamassas moldados com pozolanas e cimento aos 28 dias com os corpos de prova de argamassa somente com cimento. A areia normalmente indicada é a areia normal (NBR 7214). Esse índice é expresso em porcentagem. Valores iguais ou superiores a 75% indicam material pozolânico (NBR 12653/92).

Para cada idade são determinados uma quantidade de corpos de prova para serem rompidos à compressão. De acordo com os experimentos de Rondon (2008), ele utilizou 14, 28 e 63 dias como as idades estabelecidas para romper os corpos. Estas idades foram escolhidas porque, dessa forma foi possível acompanhar o efeito pozolânico ao longo de um período considerável, e avaliar a taxa de aumento de resistência da argamassa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO COM RESÍDUO CERÂMICO (RC)

4.1.1. Análise da composição dos Resíduos de Cerâmica Vermelha

Tabela 3: Composição Química do Resíduo Cerâmico (% em massas)

COMPONENTES	RC
SiO₂	62,25
Fe₂O₃	5,99
Al₂O₃	22,11
CaO	Traços
MgO	Traços
Na₂O	1,06
K₂O	1,24
RI (Resíduo Insolúvel)	5,80
Perda ao Fogo	1,29

Fonte: (VIEIRA, 2005)

Segundo Vieira (2005) a composição química do Resíduo Cerâmico (**Tabela 3**) indica que o mesmo atende aos limites da NBR 12653 [ABNT 1992] para uso como material pozolânico em misturas com cimento Portland uma vez que a soma dos compostos Al₂O₃ + SiO₂ + Fe₂O₃ foi de 90,35% e, consequentemente, superior ao mínimo de 70% estabelecido por esta norma. Não foi observada a presença de Óxido sulfúrico (SO₃).

4.1.2. Efeito da Variação da Finura

De acordo com os experimentos de Vieira (2005) envolvendo a substituição parcial da cerâmica vermelha no cimento, observou que o cimento que continha a mistura de resíduos de cerâmica vermelha possuía maior taxa de aumento da finura com relação ao cimento que continha uma pozolana simples, para as mesmas condições de moagem. Com isso, o autor evidenciou que o cimento contendo resíduos de cerâmica vermelha requeria menor esforço de cominuição do que o que continha a pozolana simples e, conseqüentemente, possuía menor consumo energético para a obtenção de finuras semelhantes.

Torres (2004), afirma que uma maior superfície específica reduz a energia de precipitação de íons, aumentando assim, o potencial de precipitação dos produtos de hidratação do cimento. Quando o material pulverulento é também quimicamente reativo, como é o caso das pozolanas, implica em um aumento do potencial de reação deste material. Maiores teores de substituição de cimento por materiais pozolânicos com superfícies específicas muito elevadas podem aumentar a demanda de água para se obter a mesma consistência de matrizes em substituição. Conseqüentemente, os benefícios da atividade pozolânica com maior finura podem ser invertidos pelo aumento desta água.

De acordo com os estudos, citados por Zampieri (1989), do Instituto Nacional de Ciências Aplicadas (INSA) de Lyon na França, a resistência à compressão é em função do teor de água/sólido. Isto significa que quanto maior o teor de água na mistura pozolana/cal menor será a resistência, à semelhança do que ocorre nas argamassas e concretos com cimento Portland. O excesso de água além da necessária à hidratação provocará maior porosidade e menos compacidade na pasta ou argamassa.

4.1.3. Tempos de Pega de Pastas de Cimento contendo RC

Vieira (2005) afirma que quando maior a superfície específica do resíduo, menor os tempos de pega observados. E que para o tempo de início de pega quanto para o tempo de fim de pega, observa-se uma menor influência do aumento do teor de substituição do que do aumento da finura.

De acordo com Taylor (1990), um maior efeito da finura no tempo de pega pode estar associado com o entendimento de que uma maior finura, caracterizada pelo aumento da

superfície específica do resíduo, implicará em um aumento das reações de hidratação do cimento e, conseqüentemente em uma maior possibilidade de precipitação dos produtos oriundos destas reações, como o silicato de cálcio hidratados e principalmente os aluminatos de cálcio que são os responsáveis pelo tempo de pega.

4.1.4. Resistência à Compressão do Cimento contendo RC

Zampieri (1993) observou que cada pozolana fixa uma quantidade determinada de hidróxido de cálcio para atingir o máximo de resistência à compressão. Quando se usa uma quantidade menor que esse valor haverá deficiência na quantidade de produtos gerados e quando se usa quantidade superior a esse valor ótimo, o excesso de pozolana agirá como inerte.

Pelos experimentos de Çolak (2002), apresentou-se os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova com idade de cura aumentando gradativamente, o que notou-se que as resistências foram baixas devido a reação pozolânica ser lenta e que não há uma idade precisa a partir da qual ela se inicia, porém, quando se inicia, a resistência tende a aumentar.

Ainda sobre os experimentos de Çolak (2002), teve casos que houve excesso de pó que funcionou como material inerte e faltou cal para a reação. Já em outros casos, ocorreu o contrário, houve deficiência de pó para reagir com a cal e por isso teve queda na resistência.

Para encontrar essa quantidade ótima necessária para atingir máxima resistência à compressão, foram realizadas várias misturas de pó obtido da moagem de blocos cerâmicos e hidróxido de cal nas proporções em volume de 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40% e 30% do pó e rompidos corpos de prova moldados e curados em condições especiais.

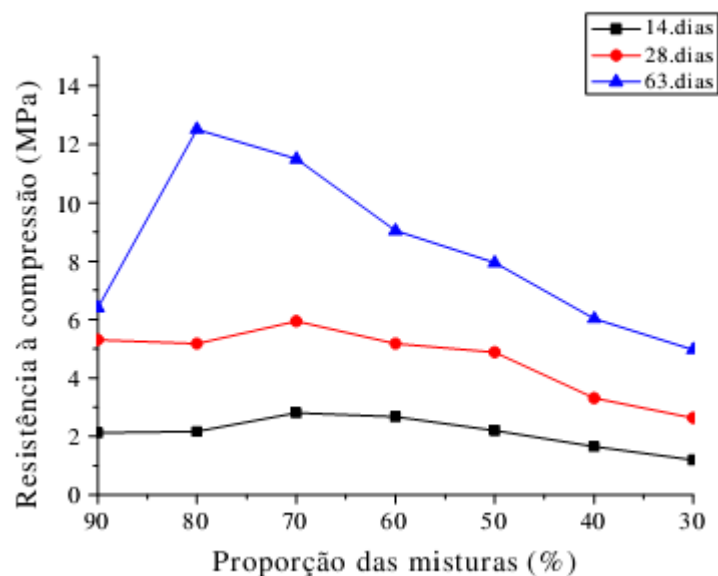
Na **Tabela 4** é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios de resistência à compressão que aumentou com o tempo de cura dos corpos de prova, mesmo com o excesso ou deficiência de pó, isto ainda pode ser atribuído à atividade pozolânica.

Tabela 4: Resumo das Resistências à compressão

Proporção de pó em volume na mistura	Idade (dias)		
	14	28	63
90%	2,12	5,31	6,41
80%	2,17	5,18	12,52
70%	2,80	5,94	11,50
60%	2,67	5,18	9,04
50%	2,20	4,88	7,94
40%	1,65	3,31	6,03
30%	1,19	2,63	4,97

Fonte: (RONDON, 2008)

Rondon (2008) notou que com idade de cura de 14 dias, as misturas com 60% e 70% apresentaram maiores valores de resistências das argamassas à compressão. Com 28 dias, a mistura que apresentou maior valor (5,94 MPa) foi com 70% e, na idade de 63 dias, as resistências foram maiores para as misturas com 70% e 80%. O gráfico da **Figura 4**, obtido com os valores da **Tabela 4**, mostra que as melhores proporções para as misturas compreendem valores de 70% a 80%.

Figura 4: Gráfico de Resistência média à compressão

Fonte: (RONDON, 2008)

Os ensaios de resistência mecânica são preferidos por relacionar com a quantidade, tipo e microestrutura dos produtos de reação e porque a capacidade de reação e fixação do hidróxido de cálcio não constitui garantia de formação desses produtos (ZAMPIERI, 1993). Por outro lado, os métodos para determinação do consumo de cálcio são utilizados devido a atender diretamente a definição de pozolanas.

Os resultados encontrados na pesquisa bibliográfica não podem ser considerados conclusivos a respeito da influência pozolânica de materiais cerâmicos. É possível afirmar apenas que o efeito pozolânico existe e depende do tipo de material e quantidade de material que está sendo utilizado, sendo necessário um estudo criterioso em cada caso.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo bibliográfico foi abordado a substituição pozolânica no cimento, mais especificamente a substituição de resíduos de cerâmica vermelha no cimento. As pozolanas são uma atraente escolha quando se trata da adição no cimento, pois pode conferir características às argamassas e concretos, como menor calor de hidratação, melhor resistência à compressão, melhor durabilidade, entre outros benefícios. Além de que diminui os impactos ambientais ocasionados pela extração da argila e calcário necessários para produzir o cimento Portland normal, como a emissão de dióxido de carbono.

Além disso, a substituição parcial do cimento por pozolana implica ainda na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento, o que aumenta o período de exploração das jazidas de calcário e argila e, consequentemente, o período de produção da fábrica de cimento. Além disso, há um aumento da capacidade de produção sem necessidade de novos investimentos (SANTOS, 2006).

Desse modo, uma análise dos resultados revelou que o uso do pó cerâmico obtido pela moagem de resíduos de blocos de indústrias de cerâmica vermelha apresenta boas propriedades mineralógicas e atividade pozolânica, assim como propriedades mecânicas satisfatórias quando misturados ao cimento, além de que os resultados obtidos permitem concluir que as argamassas proporções de 70% a 80% de seu volume de sólidos em pó são as que apresentam resultados mais satisfatórios. Contudo, é necessário a realização de mais ensaios para avaliar melhor o comportamento do material, uma vez que é incerto que a atividade pozolânica do pó foi o único fator a contribuir para o incremento da resistência à compressão. Contudo, constatou-se que a substituição utilizando resíduos de cerâmica vermelha é bastante promissora para diversas aplicações principalmente na produção de argamassas alternativas, como também na preservação ambiental e na melhoria da qualidade de vida da população em geral.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR – 7215 - Cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro 1996, 8 p.

_____. – **NBR 12653**– Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992, 3p.

_____. – **NBR 7214**– Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 1982,3p.

_____. **NBR 12653**– Materiais pozolânicos - Especificação. Rio de Janeiro, 1992, 3 p.

_____. **NBR 5751**– Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cal- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992, 3 p.

_____. **NBR 5752**– Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ABC –Associação Brasileira de Cerâmica. 2001. **Cerâmica no Brasil: Panoramas Setoriais**. Arquivo capturado em 20 de Abril de 2001.

ADAM, Jean Pierre- La construction romaine, matériaux er techniques, 2ª edição, **Grand Manual Picard**, Paris, 1989.

ACI MATERIALS JOURNAL 1994. **Use of natural pozzolans in concrete**. Proposed report, 4: 410-426.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DENORMASTÉCNICAS. **NBR 12653** – Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

ALVES, S. M. S. **Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduos da indústria cerâmica**. 2002, João Pessoa, Dissertação

(Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 64 p.

BARBA, A., et al. **Matérias Primas para la Fabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas**, Castellón : Instituto de Tecnología Cerámica – AICE, 1997.

A. E. B. Cabral, **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**, Esc. Eng. S. Carlos, USP, Tese Dr., S. Carlos, SP (2007).

CARVALHO, O. O. **Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte**. Natal: FIERN;SENAI, 2001.

CORREIA, S.L. **Desenvolvimento de Metodologia de Formulação de Massas Cerâmicas Triaxiais Utilizando Delineamento de Misturas e Otimização**. 2004. 140f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CORDEIRO, G. C. **Concreto de Alto Desempenho com Metacaulinita**. Dissertação (Mestrado). Campos dos Goytacazes, 2001. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia.

COIMBRA, M. A., SANTOS, W. N. dos, MORELLI, M. R. UFSCar. Recuperação de resíduos inorgânicos para a construção civil. **Cerâmica**, 48 (306), abril /maio /junho 2002.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, 251 p.

EMILIANI, G.P., CORBARA, F. 1999. **Tecnologia cerâmica**. Faenza: Editoriale Faenza Editrice. v.1.

FARIAS FILHO, João de; ROLIM, J. S.; TOLEDO FILHO, R. D. Potencialidades da metacaolinita e do tijolo queimado moído como substitutos parciais do cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb. V.4 n.3 UFPB, 2000. p. 437-444.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e Caracterização de Concretos de baixo Impacto Ambiental contendo Argila Calcinada e Areia Artificial**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. Tese de Doutorado.

GRUN, E. et al. **Definição de Parâmetros para a Formulação de Misturas de Argilas Vermelhas**, in: 49o CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, São Pedro, SP, 2005.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

KIHARA, Y.; SHUKUZAWA, J. K. **Contribuição ao Estudo de Pozolanas no Brasil: Cerâmicas**, 1982.

MARCIANO JR., E.; KIHARAY.; ESPER, M.W. 1996. **A questão ambiental no setor cimenteiro**. In: ABCP, CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4, São Paulo, Anais, 2:467- 486.

MARGALHA, Maria Goreti- **O Uso da Cal nas Argamassas no Alentejo, tese de mestrado em Recuperação do Património Arquitectónico e Paisagístico**, Évora, 1997.

MARGALHA, Maria Goreti- **“Revestimento em Alvenarias Antigas”**, Revista N.º 13 da Direcção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais, Setembro de 2000. p.145 - 149.

MASSAZZA, F., COSTA, U. Aspects of the pozzolanic activity and properties of pozzolanic cements; **II Cemento** 76:3-18; Jan.-March 1979

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São

Paulo: Pini, 1994.

MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. A Curva de Gresificação: Parte I, **Cerâmica Industrial**, Agosto/Dezembro, 1996.

MIELENZ, R. C., WHITTE, L. P., GLANTZ, O. J. **Effect of calcinations on natural pozzolans**; ASTM, Spacial Technical Publication 99:43-91; 1950.

MEHTA, P.K. **Natural Pozzolan**. In: Supplementary Cementing Materials. Ottawa: V. M. Malhotra. 1987. 427p.

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**, v. 6, n. 2, março/abril. São Paulo, 2001.

MONTANHEIRO, T. J., YAMAMOTO, J. K., KIHARA, Y. **CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES POZOLÂNICAS DE ARENITOS OPALINOS DA SERRA DE ITAQUERI, SP**. Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 23(1), 13-24, 2002.

MONTANHEIRO, T. J., YAMAMOTO, J. K., KIHARA, Y. Proposta de Pré-Qualificação Pozolânica de Materiais Geológicos: Difratomia de Raios X como Método Alternativo. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo: 24(1/2), 1-9, 2003.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.2, p.490–496, 2006. Disponível em <http://www.agriambi.com.br/revista/v10n2/490.pdf> . Acessado em novembro/2006.

PEREIRA, E. F. Caracterização e otimização do processo de moagem de matérias primas cerâmicas. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2000. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. 72p. Roman, H. R.; Mohamad, G.; Alarcon, O. (1999). **Alvenaria Estrutural em Cerâmica**, **Cerâmica Informação**, v. 2-3, p. 73-80.

RONDON, O. C. **Atividade pozolânica de blocos cerâmicos produzidos em laboratório**. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 254p.

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 267p.

SWAMY, R. N. **Sustainable concrete for infrastructure regeneration and reconstruction**. In: Sustainable Construction Into the Next Millenium: Enviromentally, Friendilly and Innovative Cement Based Materials. Anais...João Pessoa – Pb, 2000.

SEBRAE;ESPM. **Cerâmica vermelha: estudos de mercado**. São Paulo: SEBRAE Nacional, 2008. Relatório Completo.

SILVA, A. S. R. da, AZEVEDO, M. T. de, FADUL, J. C., RODRIGUES FILHO, C. A. C. Estudo para Obtenção e Produção de Concretos de Alta Resistência com Uso de Metacaulim em Salvador-BA. **Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto**. Rio de Janeiro: IBRACON, 2006.

SILVA, V. P., **Impactos ambientais da expansão da cerâmica vermelha em Carnaúba dos Dantas-RN**, HOUROS, ano 23, Vol. 3, 2007.

SOUSA-COUTINHO, J.- (2006), **Materiais de Construção 2 - Ligantes e caldas**. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e tecnologia de argila**. 3. ed. São Paulo, Edgar Blucher Ltda, v.2, 1992.

SHIMA, H., NAKATSUJI, T., ISHII, M. E KOHNO, K., **“Strength Development of Lime and Cement Mortar Including Pozzolana with Different Fineness”**, JCA Proceedings of Cement & Concrete, N° 46, pg. 250 –255, 1992.

TAYLOR H. F. W. **Cement chemistry**. London: Academic Press Limited, 1990.

TORRES, S. M. **The influence of chloride on the thaumasite form of sulfate attack in mortars containing calcium carbonate**. Sheffield: Faculty of Engineering. University of Sheffield, 2004. Thesis presented for the degree of doctor of philosophy. 263p.

VIEIRA, C. M. F.; Feitosa, H. S.; Monteiro, S.N. Janeiro/Fevereiro, (2003). Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha através da Curva de Bigot, **Cerâmica Industrial**.

VIEIRA, Andressa de Araújo Porto. **Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos**, 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

ZAMPIERI, V. A. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1989. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrografia. 191p.

ÇOLAK, A. The long-term durability performance of gypsum – Portland cement – natural pozzolan blends. **Cement and Concrete Research** 32 (2002) 109-115.