



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
ÉRICA MACHADO CARDOSO

**APROVEITAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA COMO INSUMO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND
POZOLÂNICO.**

Tubarão
2017

ÉRICA MACHADO CARDOSO

**APROVEITAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA COMO INSUMO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND
POZOLÂNICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Química Bacharelado da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Química.

Orientadora: Prof. Dra. Jucilene Feltrin.

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Rocha Reynaldo.

Tubarão (SC)

2017

ÉRICA MACHADO CARDOSO

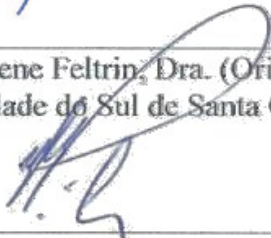
**APROVEITAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA COMO INSUMO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND
POZOLÂNICO.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Química Bacharelado da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de novembro de 2017.



Profª. Jucilene Feltrin, Dra. (Orientadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Eng. Vladilen dos Santos Villar, Dr. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Eng. Marcos Marcelino Mazzucco, Dr. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Eng. Camila da Silva Gonçalves, MSc. (Avaliadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho especialmente à minha
mãe, e a Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força e saúde para poder alcançar mais este objetivo da minha vida.

Ao meu pai Pedro e aos meus irmãos, que jamais me disseram não, e que sempre me apoiaram nessa luta, não deixando que nada me faltasse.

Ao meu namorado Igor, pela compreensão, paciência e por todo apoio prestado nos momentos difíceis desta caminhada.

A minha orientadora Jucilene Feltrin por toda paciência, pelo seu apoio e dedicação.

Ao professor Gilson, pelo seu apoio e ensinamento.

Aos meus ex colegas de trabalho, onde foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos que compartilharam comigo essa jornada acadêmica, onde dividimos todos os nossos medos, inseguranças, e por vezes desesperos, pois os sentimentos de dúvidas eram: será que daremos conta, será que conseguiremos passar. Meus sinceros agradecimentos a todos e votos de um futuro onde possamos estar juntos, continuando a realizar nossos sonhos.

“Que os meus ideais sejam tanto mais fortes quanto maiores forem os desafios, mesmo que precise transpor obstáculos aparentemente intransponíveis. Porque metade de mim é de sonhos e a outra metade é de lutas.”

(Maiakovski).

RESUMO

Com o crescimento das construções civis e o alto número de rejeitos provenientes de cerâmicas vermelhas, buscou-se unir os segmentos e traçar alternativas para a substituição de matérias primas na produção de cimento Portland Pozolânico. Neste contexto, procurou-se avaliar o aproveitamento e a caracterização dos resíduos de cerâmica vermelha como insumo na produção de cimento Portland Pozolânico, através de ensaios físicos e mecânicos como índice de desempenho aos 28 dias, material retido na peneira 45 μ m e 75 μ m, tempo de início e fim de pega, expansibilidade a quente e a frio, resistência à compressão, ensaios químicos como teor de umidade, perda ao fogo e trióxido de enxofre, respeitando os limites estabelecidos pela norma dos materiais pozolânicos ABNT NBR 12653:2014 e pela norma do cimento Portland Pozolânico ABNT NBR 5736:1991. Todos os resultados atenderam as exigências específicas das normas, caracterizando o material como pozolânico e utilizando o mesmo como insumo na produção de Cimento Portland Pozolânico, que poderá ser comercializado como uma nova alternativa para o meio da construção civil.

Palavras-chave: Resíduos. Caracterização. Cimento.

ABSTRACT

As construction industry and the huge amount of tailings coming from plastic clays have grown, it pursues to bind the segments and outline options to replace raw materials in the Portland pozzolanic cement production. In this context, one of the goals is evaluate the exploitation and characterization of red clays as an input in that kind of production, using physical and mechanical tests as performance index by the end of 28 days, material retained in a sieve 45 μ m and 75 μ m, expandability to hot and cold (temperature), chemical tests such as, moisture content, loss to fire and sulfur trioxide, respecting the limits established by the technical regulation ABNT NBR 12653:2014 and the Portland pozzolanic cement ABNT NBR 5736:1991. All the results fulfilled the specific standard requirements, characterizing the material as pozzolanic and using it as input in Portland Pozzolanic cement production, which might be sold as a new option for construction industry business.

Palabras-clave: Waste. Description. Cement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Processo de produção do Cimento Portland	18
Figura 2- Processo de produção de Cerâmica Vermelha.....	28
Figura 3- Resíduos denominados "chamotes"	30
Figura 4- Moinho de bolas.....	30
Figura 5- Filtração da solução	32
Figura 6- Resíduo desprezado	33
Figura 7- Precipitado de BaSO ₄	33
Figura 8- Cadinho na estufa	35
Figura 9- Forno mufla	36
Figura 10- Peneirador aerodinâmico	38
Figura 11- Medição do diâmetro da base do tronco, consistência ARG-A.....	40
Figura 12- Etapas do ensaio da argamassa B	42
Figura 13- Formas lubrificadas com óleo mineral.....	43
Figura 14- Nivelamento dos corpos de prova.....	43
Figura 15- Corpos de prova com a face superior protegida	44
Figura 16- Tanque de água	44
Figura 17- Software	45
Figura 18- Prensa com corpo de prova centralizado	46
Figura 19- Frasco de Le Chatelier, determinação da massa específica	48
Figura 20- Permeabilímetro de blaine	50
Figura 21- Nivelamento da pasta.....	52
Figura 22- Leitura da consistência normal	52
Figura 23- Agulha penetrando na pasta	54
Figura 24- Determinação do fim de pega	55
Figura 25- Agulhas, placas de vidro e contrapeso antes de serem submersos em água	57
Figura 26 - Caixa de aquecimento	57
Figura 27- Agulhas no tanque de água	59
Figura 28- Coloração do corpo de prova	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de cimento e suas aplicações	19
Tabela 2- Requisitos químicos	23
Tabela 3- Requisitos físicos.....	23
Tabela 4- Teores dos componentes do Cimento Portland Pozolânico	25
Tabela 5- Exigências químicas do Cimento Portland Pozolânico	25
Tabela 6- Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland Pozolânico.....	25
Tabela 7- Exigências físicas e mecânicas (facultativas) do Cimento Portland Pozolânico.....	26
Tabela 8- Materiais necessários para o Índice de desempenho	38
Tabela 9- Resultados dos ensaios químicos materiais pozolânicos.....	62
Tabela 10- Resultados dos ensaios físicos materiais pozolânicos	62
Tabela 11- Ensaios físicos não obrigatórios pela norma de materiais pozolânicos.....	63
Tabela 12- Resultados exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland Pozolânico	64
Tabela 13- Resultados da resistência a compressão do Cimento Portland Pozolânico	65
Tabela 14- Resultados exigências químicas do Cimento Portland Pozolânico	66
Tabela 15- Resultados ensaios físicos não obrigatórios do Cimento Portland Pozolânico	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DO ESTUDO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CIMENTO PORTLAND	17
2.1.1 Processo de fabricação do cimento Portland	17
2.1.2 Tipos de Cimento Portland.....	19
2.2 MATERIAIS POZOLÂNICOS	20
2.2.1 Pozolanas Naturais.....	21
2.2.2 Pozolanas artificiais.....	21
2.2.3 Classificação.....	22
2.2.4 Requisitos específicos	22
2.2.4.1 Requisitos químicos.....	22
2.2.4.2 Requisitos físicos.....	23
2.2.5 Considerações sobre a atividade pozolânica.....	23
2.2.6 Cimento Portland com adições pozolânicas.....	24
2.3 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO	24
2.4 CERÂMICA VERMELHA	26
2.4.1 Produção de Cerâmica Vermelha.....	27
2.4.2 Geração de Resíduos	28
2.4.3 Destinação dos resíduos	29
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 COLETA DA AMOSTRA	30
3.2 MOAGEM	30
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COMO POZOLÂNICO	31
3.3.1 Requisitos químicos.....	31
3.3.1.1 Determinação do anidrido sulfúrico	31
3.3.1.1.1 Procedimento.....	31
3.3.1.2 Determinação do teor de umidade	33

3.3.1.2.1	<i>Procedimento</i>	34
3.3.1.3	Determinação da perda ao fogo	35
3.3.1.3.1	<i>Procedimento</i>	35
3.3.2	Requisitos físicos	36
3.3.2.1	Material retido na peneira 45µm	36
3.3.2.1.1	<i>Procedimento</i>	36
3.3.2.2	Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias	38
3.3.2.2.1	<i>Preparação da argamassa A</i>	38
3.3.2.2.2	<i>Preparação da argamassa B</i>	40
3.3.2.2.3	<i>Moldagem</i>	42
3.3.2.2.4	<i>Cura</i>	43
3.3.2.2.5	<i>Resistência</i>	45
3.4	REQUISITOS NÃO OBRIGATÓRIOS PELA NORMA 12653:2014.....	46
3.4.1	Requisitos físicos	46
3.4.1.1	Massa específica	46
3.4.1.1.1	<i>Procedimento</i>	47
3.4.1.2	Determinação da finura pelo método de blaine	48
3.4.1.2.1	<i>Procedimento</i>	48
3.5	AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO	50
3.5.1	Exigências físicas e mecânicas	50
3.5.1.1	Finura (resíduo na peneira 75µm)	50
3.5.1.2	Consistência normal	50
3.5.1.2.1	<i>Preparação da pasta</i>	51
3.5.1.2.2	<i>Preparação da consistência</i>	51
3.5.1.3	Determinação do tempo de pega	53
3.5.1.3.1	<i>Preparação da pasta</i>	53
3.5.1.3.2	<i>Determinação do início de pega</i>	53
3.5.1.3.3	<i>Determinação do fim de pega</i>	54
3.5.1.4	Expansibilidade	55
3.5.1.4.1	<i>Expansibilidade a quente</i>	56
3.5.1.4.2	<i>Expansibilidade a frio</i>	58
3.5.1.5	Resistência à compressão	59
3.5.1.5.1	<i>Mistura</i>	59
3.5.1.5.2	<i>Moldagem</i>	60

3.5.1.5.3	<i>Cura</i>	60
3.5.1.5.4	<i>Resistência</i>	60
3.5.2	Exigências químicas	60
3.5.2.1	Perda ao fogo	60
3.5.2.2	Trióxido de enxofre	60
3.6	REQUISITOS NÃO OBRIGATÓRIOS PELA NORMA 5736:1991	61
3.6.1	Ensaaios físicos	61
3.6.1.1	Massa específica	61
3.6.1.2	Determinação da finura pelo método de blaine	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COMO POZOLÂNICO	62
4.1.1	Requisitos químicos	62
4.1.2	Requisitos físicos	62
4.1.3	Ensaaios físicos não obrigatórios pela norma	63
4.2	CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO	64
4.2.1	Exigências físicas e mecânicas	64
4.2.2	Exigências químicas	66
4.2.3	Ensaaios físicos não obrigatórios pela norma	66
5	CONCLUSÃO	68
5.1	TRABALHOS FUTUROS	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

O Cimento Portland é a denominação mais utilizada no mundo para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. É um aglomerante hidráulico obtido pela mistura de clínquer Portland e materiais pozzolânicos, moídos em conjunto ou separado.

Com a evolução da tecnologia e dos conhecimentos técnicos sobre o cimento Portland, hoje no mercado existem vários tipos, alguns deles possuem características e propriedades que os tornam mais adequados para determinado uso.

A indústria de cerâmica vermelha utiliza a massa monocomponente, composta apenas por argilas. Os minerais da argila apresentam-se cristalinos e a argila em forma bruta não possui propriedades pozzolânicas, sendo necessário a aplicação de um tratamento térmico entre 500 e 800°C, alterando sua estrutura cristalina por meio de transformações químicas para torná-la ativa, ou seja, amorfa, que determina o grau de atividade pozzolânica do material.

A aplicação de resíduos de cerâmica vermelha como insumo para a produção de Cimento Portland Pozzolânico, vem como forma de poder obter um material novo e que possa substituir outros materiais para o mercado da construção civil, porque a sua composição química é compatível com a composição química de outros materiais utilizados para a mesma finalidade.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A indústria atual deve acompanhar o crescimento científico e tecnológico da humanidade para, fundamentalmente responder, resolver e atender necessidades da sociedade. É possível constatar publicamente que, apesar do crescimento fabuloso, o parque industrial humano gera resíduos sólidos e efluentes que, invariavelmente, comprometem a sustentabilidade ambiental.

Na Região Sul de Santa Catarina, a produção de cerâmica vermelha é uma das maiores e mais importantes do país. Devido a isso, também a produção de rejeitos alcança um índice muito grande que compromete o meio ambiente.

Nesse sentido, a reutilização de rejeitos, além de, efetivamente constituir-se em ganho financeiro é de extrema importância para a preservação do ecossistema.

Assim, como contributivo sustentável e solução econômica, descrevemos a pergunta maior de nossa pesquisa: **é possível o aproveitamento e caracterização de resíduos**

de cerâmica vermelha como insumo na produção de cimento Portland Pozolânico? Para tal propõe-se um estudo exploratório realizado em 2017 na cidade de Tubarão, Sul de Santa Catarina.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o aproveitamento e a caracterização dos resíduos de cerâmica vermelha como insumo na produção de cimento Portland Pozolânico.

1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar resíduos, chamotes, de cerâmica vermelha;
- Avaliar a caracterização dos resíduos como material pozolânico;
- Analisar o aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como insumo na produção de cimento Portland Pozolânico., através de testes e análises.

1.3 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DO ESTUDO

No mundo atual, a preservação do meio ambiente é uma obrigatoriedade. A cada dia, milhares de toneladas de lixo são depositadas inadequadamente em nosso planeta. Por isso, observar um trabalho científico que, além de apresentar inovações tecnológicas, reveste-se de preocupações com a sustentabilidade quando propõe o reaproveitamento de resíduos de cerâmica. Esse fato caracteriza a relevância social da proposição de pesquisa apresentada.

Simultaneamente, reaproveitar resíduos para a fabricação de cimento é, uma forma inovadora de produção e uma contribuição para uma possível redução de custos da indústria. Com a efetivação do estudo e alcance dos objetivos operacionais propostos, teremos, no mercado, uma nova opção para consumo dos construtores civis. A proposição poderá gerar discussões acadêmicas e, também, abrir possibilidades de novas investigações, contribuindo para a ciência de forma relevante e significativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland possui uma forma simples de ser definida, considerada uma mistura moída rica em silicatos e aluminatos de cálcio. Quando entra em contato com a água, reage com ela produzindo um material duro e insolúvel em água.

O cimento Portland é definido como: “O aglomerante obtido pela pulverização do clínquer, resultante da calcinação até a fusão incipiente de uma mistura íntima de materiais calcários e argilosos, composto essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual, após a calcinação, não foi feita nenhuma adição de componentes além de água e/ou gesso (sulfato de cálcio não tratado).” (SANTOS, 1975, p. 410).

Na construção civil o cimento Portland (denominação convencional), é conhecido como cimento, sendo assim reconhecido em todo o mundo.

2.1.1 Processo de fabricação do cimento Portland

Os primeiros cimentos (pozolanas) foram usados na antiguidade clássica pelos gregos e romanos, misturando tufo vulcânico (rico em sílica vítrea e/ou microcristalina) com cal e água: formam-se silicatos de cálcio hidratados, que têm propriedades ligantes ou cimentícias, as construções feitas com esses materiais continuam estáveis até o presente. Em 1824, um inglês chamado Joseph Aspdin patenteou um cimento artificial obtido pela calcinação de um calcário argiloso, ele o denominou de “cimento Portland” porque o cimento após a pega se assemelhava a uma pedra de construção da ilha de Portland, muito usada na Grã-Bretanha nessa época. (SANTOS et al., 1975).

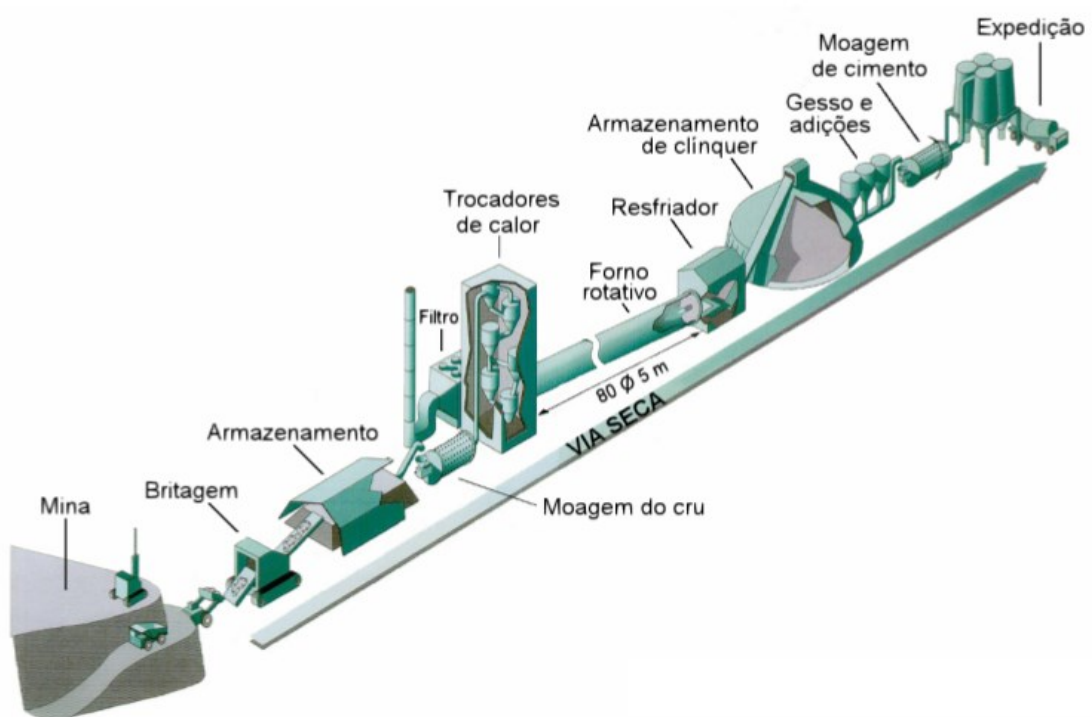
Aspdin patenteou o cimento Portland que é à base da indústria de cimento Portland atualmente. Santos et al. (1975, p.409), nos diz que: [...] “os clínquers duros, resultantes da queima de uma mistura de argila e calcário, são hoje o que se chama de “cimento Portland” para distinguir de cimentos naturais e artificiais, incluindo as pozolanas.” Este é, então o conjunto de componentes do cimento Portland.

Segundo Santos Junior et al., (2006), o processo de fabricação do cimento Portland consiste em retirar o calcário da jazida, levá-lo ao britador para ficar em tamanhos menores e misturá-lo a argila. Em seguida, a mistura é levada a um moinho de bolas para gerar um pó bem fino, denominado farinha de cru. Essa farinha é bombeada até os silos, onde é feito o

balanceamento das proporções adequadas à produção do cimento por meio de peneiras. Após o processo de balanceamento, a farinha de cru é colocada em um forno rotativo até uma temperatura de cerca de 1450°C, fornecendo uma energia necessária às reações químicas de formação do clínquer de cimento. Ao sair do forno, o clínquer é resfriado para manter as características físico-químicas do produto final e, logo após o mesmo é moído juntamente com gesso, que age como retardador de pega, ou seja, evita a pega instantânea do cimento. O resultado desta última moagem é o cimento pronto para ser comercializado.

A Figura 1 representa um esquema simplificado do processo de produção do cimento Portland.

Figura 1- Processo de produção do Cimento Portland



Fonte: Maringolo, 2001.

2.1.2 Tipos de Cimento Portland

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), existem no Brasil vários tipos de cimento portland, diferentes entre si, principalmente em função da sua composição. Esses tipos e suas respectivas funções estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Tipos de cimento e suas aplicações

Tipo de cimento	Aplicação
Cimento Portland Comum (CP I)	Este tipo de cimento não possui qualquer adição além do gesso (utilizado como retardador de pega), é adequado para o uso em construção de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou águas subterrâneas.
Cimento Portland II (CP II)	Este tipo de cimento se divide em três classes o CP II Z que possui adição de material pozolânico, CP II E que possui adição de escória granulada de alto forno e CP II F que possui adição de material carbonático. É indicado para construções civis em geral, obras subterrâneas, marítimas e industriais.
Cimento Portland de alto forno (CP III)	Este tipo de cimento apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcalis-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É indicado em obras de concreto massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos entre outros.
Cimento Portland Pozolânico (CP IV)	Este tipo de cimento possui um baixo calor de hidratação, é indicado para obras correntes, sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos.
Cimento Portland (CP V ARI)	Este tipo de cimento apresenta alta resistência inicial, é recomendado para o preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fabricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, postes, elementos arquitetônicos, pré-moldados e pré-fabricados e em todas as aplicações que necessitam de resistência inicial elevada e desforma rápida.
Cimento Portland (CP V ARI RS)	Este tipo de cimento apresenta alta resistência inicial e grande resistência a sulfatos, é indicado para obras em ambientes agressivos, como redes de esgoto de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Podem ser utilizados ainda em elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada entre outros.

Fonte: Fernandes, 2007.

Podemos entender que o cimento, em especial o Portland, é uma associação de elementos na forma de compostos binários na presença do oxigênio. Petrucci, et. al., (1998) afirma-nos que, para facilitar o estudo dos compostos do cimento, é corrente considerá-los formados pela associação de corpos binários contendo oxigênio, aos quais se dá o nome de componentes.

Os compostos formadores do cimento, denominados componentes do cimento serão descritos de acordo com Pitta (1999, p.17):

- Cal (CaO): é o componente principal do cimento, originado, em sua quase totalidade, da decomposição do carbonato de cálcio (calcário CaCO_3), que se encontra quimicamente combinado com sílica, alumina e óxido de ferro. No cimento portland, a cal representa uma quantidade em massa de 60% a 67%. - Sílica (SiO_2): provém das argilas, encontrando-se numa proporção em massa de 17% a 25%. Da sua combinação com a cal resultarão os compostos mais importantes do cimento: os silicatos bi e tricálcio. - Alumina (Al_2O_3): origina-se da argila, e aparece numa quantidade de 3% a 8%. O composto formado pela alumina e a cal (aluminato tricálcio) acelera o início de pega do cimento, reduzindo, ao mesmo tempo, sua resistência ao ataque de sulfatos. - Trióxido de ferro (Fe_2O_3): também é gerado a partir da argila, sendo seu teor geralmente baixo (de 0,5% a 3% em massa). O trióxido de ferro, desde que em porcentagem não muito elevada, é útil pelo seu papel de fundente, desenvolvendo neste sentido uma ação ainda mais energética do que a alumina. - Sulfato (SO_3): advém principalmente do sulfato de cálcio, adicionado ao cimento como retardador de pega. O seu teor, dependendo do tipo de cimento, varia de 2% a 5% em massa, considerando-se inconvenientes valores superiores a esse limite, em virtude da formação do sulfo-aluminato de cálcio. - Magnésia: provém do carbonato de magnésio presente no calcário, geralmente sob a forma de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ou, em pequena quantidade, na argila. Seu teor no cimento portland varia de 0,1% a 6% em massa, quando encontrado em quantidades superiores a certos limites, atua como agente expensor, prejudicando a estabilidade volumétrica das argamassas e dos concretos. - Álcalis: os álcalis K_2O e Na_2O , encontrados no cimento portland em teores de 0,5% a 1,3%, desenvolvem papel de fundentes e aceleradores de pega. Atribui-se à presença dos álcalis manchas que ocasionalmente apareçam na massa depois de endurecida. Certos agregados podem reagir com os álcalis, provocando expansões anormais nas argamassas e nos concretos.

Outros componentes estão presentes em menores quantidades, são eles: os óxidos de titânio (TiO_2), manganês (Mn_3O_4) e o anidro fosfórico (P_2O_5).

2.2 MATERIAIS POZOLÂNICOS

Segundo Pinheiro (2008 p.24), as pozolanas foram utilizadas pelos Romanos em diversos tipos de construções (aquedutos, cisternas, diques, etc.), e sua resistência e durabilidade são comprovadas pelas estruturas que sobreviveram aos milênios, como por exemplo, o Pantheon Romano.

Os materiais pozolânicos são produtos naturais e artificiais, cuja composição é constituída, principalmente, por sílica e alumina. Quando reagido em meio aquoso e

temperatura ambiente com hidróxido de cálcio, formam novos compostos com propriedades cimentícias e insolúveis em água. Pitta (1999, p. 15), afirma que:

[...] as pozolanas, quando consideradas isoladamente, não são aglomerantes; porém, combinam-se, na presença de água e em temperaturas ambientes, com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento e com os diferentes componentes do cimento, originando compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes. Suas características derivam da sílica ativa (a pozolana é constituída basicamente de sílica e alumina), que contém em maior ou menor quantidade.

Em termos de tecnologia do cimento, Fernandes (2007, p. 20), diz que:

[...] pozolana é todo o material silicoso ou silicoaluminoso capaz de fixar a cal hidratada ou Ca(OH)_2 , proveniente da hidratação dos compostos constituintes do Clínquer Portland, concorrendo dessa forma para a melhoria de diversas propriedades e características físico-químicas do cimento, tais como: resistência a esforços mecânicos, plasticidade, coesão, fluência, permeabilidade, estabilidade química e durabilidade.

As Pozolanas elas podem ter sua origem dividida em dois grupos: pozolanas naturais ou pozolanas artificiais.

2.2.1 Pozolanas Naturais

As pozolanas naturais possuem materiais de origem vulcânica e sedimentar, que apresentam como sua característica principal, a atividade pozolânica em seu estado natural. É facilmente transformada em pozolanas, a partir da realização dos processos de calcinação e moagem.

[...] pozolanas naturais são materiais possuindo atividade pozolânica no estado natural ou que podem ser facilmente convertidos em pozolanas, como cinzas e tufos vulcânicos, argilas, folhelhos e diatomitos. (SANTOS, 1975, p.424).

O fator principal do maior ou menor potencial de reatividade destas pozolanas está associado à homogeneidade da composição dos materiais, e da temperatura que os mesmos são submetidos durante o seu processo de formação.

2.2.2 Pozolanas artificiais

As pozolanas artificiais são materiais decorrentes de resíduos e subprodutos industriais. Pitta, (1978 p. 16) afirma-nos: que as pozolanas artificiais, são argilas tratadas termicamente e determinados resíduos e subprodutos industriais, como a cinza volante de centrais termoelétricas.

Segundo Zampieri, (1993 p. 07) afirma que as pozolanas artificiais podem ser subdivididas em três grupos:

- Argilas calcinadas: materiais provenientes da calcinação de determinadas argilas que, quando tratadas a temperaturas entre 500 e 900 °C, adquirem a propriedade de reagir com hidróxido de cálcio;
- Cinzas volantes: resíduos finamente divididos provenientes da combustão de carvão pulverizado ou granulado;
- Outros materiais: são considerados ainda como pozolanas artificiais outros materiais, tais como escórias siderúrgicas ácidas, microssilica, rejeito silicoaluminoso de craqueamento de petróleo, cinzas de resíduos vegetais e de rejeitos de carvão mineral.

As argilas calcinadas quando submetidas às elevadas temperaturas, alteram sua estrutura cristalina, principalmente as dos silicatos, e passam a ser compostos que possuem sua estrutura desorganizada, amorfos.

2.2.3 Classificação

Segundo a ABNT NBR 12653:2014, a classificação obedece às seguintes determinações:

- Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis nesta Norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido cherts silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas;
- Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas, que obedece aos requisitos nesta Norma;
- Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos difiram das classes anteriores, conforme estabelecido nesta Norma.

Para determinar se o material é ou não pozolânico, essa é a primeira classificação a ser realizada.

2.2.4 Requisitos específicos

2.2.4.1 Requisitos químicos

Os materiais pozolânicos têm que estar em conformidade com os requisitos químicos estabelecidos na tabela 2, pela ABNT NBR 12653:2014.

Tabela 2- Requisitos químicos

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	≥ 70	≥ 50
SO_3	≤ 4	≤ 5	≤ 5
Teor de umidade	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Perda ao fogo	≤ 10	≤ 6	≤ 6
Álcalis disponíveis em Na_2O	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$

Fonte: ABNT NBR 12653:2014.

2.2.4.2 Requisitos físicos

Os materiais pozolânicos devem estar em conformidade com os requisitos estabelecidos na tabela 3.

Tabela 3- Requisitos físicos

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira com abertura de malha de 45 μm ;	< 20%	< 20%	< 20%
Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle;	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$
Atividade pozolânica com cal aos sete dias.	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$

Critérios de uniformidade: a massa específica e a finura de amostras individuais não podem ter variação, em relação à média estabelecida em dez ensaios consecutivos, superior a no máximo 5%, em todos os casos.

Fonte: ABNT NBR 12653:2014.

2.2.5 Considerações sobre a atividade pozolânica

O índice de atividade pozolânica (IAP) é utilizado como parâmetro para avaliação de amostras de materiais destinados à utilização como adição pozolânica ou mineral (PINHEIRO, 2008, p.43).

Segundo Pinheiro (2008 p.43), além das definições, classificações e exigências físico-químicas estabelecidas para os materiais pozolânicos, a ABNT disciplina a metodologia aplicada à obtenção dos índices de atividade pozolânica (IAP) através das seguintes normas:

- NBR 5751: Materiais Pozolânicos – Determinação de Atividade Pozolânica - Índice de Atividade Pozolânica com Cal (ABNT, 1992a);
- NBR 5752: Materiais Pozolânicos: Determinação de Atividade Pozolânica com Cimento Portland- Índice de Atividade Pozolânica com Cimento (ABNT, 1992b);
- NBR 5753: Cimento Portland Pozolânico- Determinação da Pozolanicidade (ABNT, 1992c).

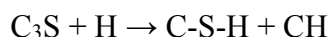
As NBR's 5751 e 5752 determinam os índices de atividade pozolânica pelo comparativo de resistência entre corpos de prova originais de cal ou cimento Portland e amostras com substituição por material pozolânico. A NBR 5753 utiliza métodos químicos para determinação da atividade pozolânica (PINHEIRO, 2008, p.44).

2.2.6 Cimento Portland com adições pozolânicas

Os óxidos utilizados na composição do cimento Portland (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3), são os mesmos que os dos materiais pozolânicos, que reagem com $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esta interação possui o nome de reação pozolânica. (PINHEIRO, 2008, p.45).

MEHTA & MONTEIRO, (1994, p. 219) descrevem simplificada a formação de C-S-H (silicatos cálcicos hidratados), fazendo uma comparação entre cimento Portland e cimento Portland Pozolânico com a finalidade de compreenderem-se as razões da diferença entre os seus comportamentos, da seguinte forma:

- Cimento Portland (reação rápida):



- Cimento Portland Pozolânico (reação lenta):



Segundo Pinheiro, (2008, p.46), as reações pozolânicas possuem três aspectos positivos para a qualidade da pasta:

- A reação é mais lenta, se comparada ao cimento Portland comum. Assim, a liberação de calor e aumento da resistência também acontece de forma mais lenta.
- A reação pozolânica consome $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presentes, ao invés de liberá-lo. Esta interação é responsável pela formação de produtos com propriedades aglomerantes, do mesmo tipo dos formados na hidratação dos C-S-H, porém de natureza diferente, com relação CaO/SiO_2 mais baixa (menos alcalinos), mais resistente aos meios agressivos.

As pozolanas podem apresentar efeitos positivos sobre as reações álcali-agregado, impedindo-as de reagir com os álcalis K_2O e Na_2O , liberados pelo cimento.

2.3 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO

De acordo com a ABNT NBR 5736:1991, o cimento Portland Pozolânico pode ser definido como aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e

materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou em separado. Durante a moagem é permitido adicionar uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos.

O teor de materiais pozolânicos secos deve estar compreendido entre 15% e 50% da massa total de aglomerante.

A composição do cimento deve estar compreendida entre os limites fixados na Tabela 4. O cimento Portland pozolânico devem atender as exigências químicas e físicas requeridas nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 4- Teores dos componentes do Cimento Portland Pozolânico

Sigla	Classe de Resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer sulfato de cálcio	Material pozolânico	Material carbonático
CPIV	25	85-45	15-50	0-5
	32			

Fonte: ABNT NBR 5736:1991.

Tabela 5- Exigências químicas do Cimento Portland Pozolânico

Determinações químicas	Limites (% em massa)
Perda ao fogo (PF)	≤ 4,5
Óxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,0
Anidrido carbônico (CO ₂)	≤ 3,0

Fonte: ABNT NBR 5736:1991.

Tabela 6- Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland Pozolânico

Características e propriedades		Unidade	Limites	
			CPIV-25	CPIV-32
Finura (resíduo na peneira 75µm)		%	8,0	8,0
Tempo de início de pega		H	≥ 1	≥ 1
Expansibilidade a quente		Mm	≤ 5	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	Mpa	≥ 8,0	≥ 10,0
	7 dias de idade	Mpa	≥ 15,0	≥ 20,0
	28 dias de idade	Mpa	≥ 25,0	≥ 32,0

Fonte: ABNT NBR 5736:1991.

Tabela 7- Exigências físicas e mecânicas (facultativas) do Cimento Portland Pozolânico

Características e propriedades	Unidade	Limites	
		CPIV-25	CPIV-32
Resistência à compressão aos 91 dias de idade	Mpa	$\geq 32,0$	$\geq 40,0$
Tempo de fim de pega	H	≤ 12	≤ 12
Expansibilidade a frio	Mm	≤ 5	≤ 5

Fonte: ABNT NBR 5736:1991.

2.4 CERÂMICA VERMELHA

Os materiais cerâmicos estão entre aqueles mais tradicionalmente utilizados na construção civil. A indústria da cerâmica estrutural ou vermelha é uma atividade de base ao possibilitar a construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada. Este segmento que produz, principalmente, tijolos furados, tijolos maciços, componentes de lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos é muito importante na geração de renda do setor industrial brasileiro. (PÉREZ, 2010 p.02).

A indústria de cerâmica vermelha brasileira é composta por 6.903 empresas, que geram faturamento de R\$ 18 bilhões ao ano. O segmento tem como missão oferecer produtos qualificados e sustentáveis que possam apoiar o desenvolvimento crescente e contínuo do País em todas as frentes: da construção de habitações de interesse social até as obras de infraestrutura. (ANICER, 2014).

A Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2014), nos diz que:

[...] a indústria de cerâmica vermelha compreende materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil, como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas além de utensílios de uso doméstico e de adorno.

Villar, (1988, p.08), nos diz que:

[...] com a denominação de cerâmica vermelha englobam-se produtos como tijolos e suas variações, além de telhas, pisos, vasos decorativos, e outros. Constitui-se, via de regra, de um grupo de produtos rústicos onde o acabamento (a pintura, por exemplo), dificilmente ocorre.

O setor da indústria de cerâmica vermelha possui poucos dados estatísticos e indicadores de desempenho, havendo grande dificuldade na visão global relacionada a este assunto. São dados empíricos, cujo levantamento é dificultado pelas empresas e sua distribuição.

2.4.1 Produção de Cerâmica Vermelha

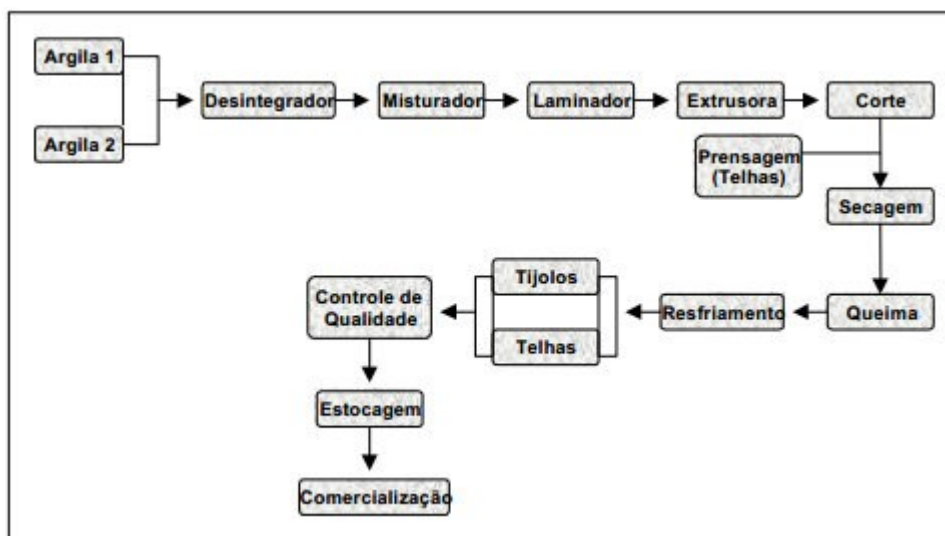
A principal matéria-prima para fabricação de cerâmica vermelha é a argila, que corresponde à quase totalidade de sua composição. A argila tem propriedades estruturais de um solo coesivo. Os argilominerais, quando na presença de água, são responsáveis pelas propriedades frescas das argilas, tais como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas. (PINHEIRO, 2008, p.59).

As etapas do processo de fabricação de cerâmica vermelha (Figura 2) serão descritas de acordo com Oliveira (2011):

[...] Extração da argila: ocorre a céu aberto, podendo ser realizada manualmente ou mecanizada. -Recebimento da matéria prima: ao receber a argila, o responsável deve coletar uma pequena amostra para ensaio de resíduo, para verificar se houve alguma mudança significativa na extração. No recebimento a argila deve ser armazenada em pequenos lotes cobertos com uma lona plástica para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis. -Preparação da massa cerâmica: deve haver uma boa homogeneização da argila (argila/argila e argila/água). A adição de água na mistura deve ser centralizada e nunca nas laterais, de modo a facilitar a mistura. Descanso da massa cerâmica por um período de 24 a 48 horas. -Laminação: consiste no direcionamento de partículas das argilas. -Extrusão A extrusora recebe a massa preparada para ser compactada e forçada por meio de um pistão ou eixo helicoidal através de bocal. -Corte: pode ser realizado com cortadores manuais ou automáticos, sendo usado para dar a dimensão desejada ao produto. Depois de cortadas, por inspeção visual, as peças são selecionadas e encaminhadas para o setor de secagem. Já as peças defeituosas são reintroduzidas na etapa de preparação de massa. -Secagem: neste processo as peças reduzem de 20 a 30% de teor de umidade para 5%. -Queima: esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem (sinterização) dos grãos. Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, 800° C a 1.000° C, em fornos contínuos ou intermitentes. -Estocagem e expedição: o produto queimado ao sair do forno deve ser transportado com cuidado, evitando batidas desnecessárias. Os testes a serem realizados compreendem: absorção de água; torção; desvio padrão em relação ao esquadro; bitolas (dimensões); permeabilidade (telhas); sonoridade (blocos e telhas) e empenamento (telhas). Todo lote deve receber identificação (data e número do forno).

No Brasil, a maior parte da produção de cerâmica vermelha ocorre nos estados de São Paulo e Santa Catarina, por empresas de pequeno e médio portes que atendem à construção civil em geral.

Figura 2- Processo de produção de Cerâmica Vermelha



Fonte: ABCERAM, [s.d.].

Segundo Oliveira, (2011, p.26), esse processo é comum a todas as empresas de cerâmica vermelha em geral, havendo certas variações, de acordo com características particulares de cada matéria-prima ou produto final. Algumas empresas utilizam equipamentos rudimentares e outras com equipamentos mais modernos. No entanto, vale ressaltar que, nem todas as indústrias realizam seu processo da mesma forma ou com os mesmos equipamentos e operações indicadas.

2.4.2 Geração de Resíduos

A indústria de cerâmica vermelha gera muitos resíduos, alguns são reaproveitados no mesmo processo e outros recebem destinos afins. Partes destes resíduos são gerados principalmente na parte da queima das peças, denominados chamotes, não sendo liberados na parte de classificação, e assim, tornando-as impróprias para o consumo.

“Trata-se do refugo da produção de tijolos/blocos. São peças que não apresentaram qualidade de acabamento, conformidade dimensional ou proveniente de quebras no processo produtivo, tornando-se inadequadas ao comércio. Estes resíduos são comumente chamados de chamote”. (PINHEIRO, 2008 p.69).

De acordo com Fastofski, (2014, p.02) ele nos diz que:

[...] por suas características mineralógicas, os resíduos cerâmicos podem potencialmente ser usados como adições minerais ou em substituição parcial ao cimento Portland, sendo necessário analisar suas propriedades e os demais aspectos envolvidos que determinarão sua viabilidade.

Vários estudos já foram realizados com os resíduos de cerâmica vermelha, e o que mais se destaca, é a incorporação dos mesmos com o cimento Portland.

Segundo as informações divulgadas no site do Instituto Tecnológico de São Paulo (IPT), está aumentando o uso de adições minerais na produção de cimento Portland e de concretos e a utilização de pozolana obtida a partir de resíduos de cerâmica vermelha na composição do concreto autoadensável. O objetivo é melhorar as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos materiais, mas esse crescimento se deve a fatores econômicos e ambientais, visto que as adições são geralmente de resíduos ou subprodutos industriais que precisam ser descartados.

2.4.3 Destinação dos resíduos

Os resíduos de Cerâmica Vermelha possuem alternativas de destinação, podendo ser moídos e reaproveitados no assentamento do pátio de empresas ou em vias de acesso, na fabricação de agregado graúdo, como insumo na produção de cimento Portland, e até mesmo para conformação de quadras de saibro.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DA AMOSTRA

A amostra de cerâmica vermelha foi coletada em uma olaria do Sul de Santa Catarina, localizada no município de Morro da Fumaça.

Foram coletados os resíduos denominados "chamotes" (Figura 3), provenientes da queima de tijolos e os mesmos não são reaproveitados no processo.

Figura 3- Resíduos denominados "chamotes"



Fonte: da autora, 2017.

3.2 MOAGEM

Os resíduos foram moídos em um moinho de bolas (Figura 4), com um volume de 10 L de pequeno porte, por aproximadamente 20 horas.

Figura 4- Moinho de bolas



Fonte: da autora, 2017.

Este tipo de moinho foi escolhido por apresentar características específicas para o que objetivou com a moagem. Apresenta multifuncionalidade garantindo uma moagem homogênea tanto para atividades rotineiras quanto, como neste caso, para um estudo científico.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COMO POZOLÂNICO

Todos os ensaios serão executados seguindo os procedimentos da ABNT NBR 12653:2014.

3.3.1 Requisitos químicos

3.3.1.1 Determinação do anidrido sulfúrico

Indica a quantidade de gesso na amostra a ser analisada.

3.3.1.1.1 *Procedimento*

- Pesar 1g da amostra, colocar em um béquer de 250 mL;
- Adicionar 25 mL de água fria e dispersar bem a amostra com o auxílio de um bastão de vidro. Enquanto se agita, adicionar de uma só vez 5 mL de HCl;
- Diluir proximadamente 50 mL com água quente, cobrir o béquer e continuar aquecendo por aproximadamente 15 minutos e cuidar para não entrar em ebulição;
- Filtrar a solução para um béquer de 400 mL (Figura 5), em papel filtro de filtração média (7 μ);
- Lavar o béquer, o papel e o resíduo com água aquecida à temperatura próxima da ebulição. Desprezar o resíduo (Figura 6);
- Pegar o filtrado e diluir aproximadamente 250 mL de água destilada e levar a solução à ebulição, adicionar gota a gota aproximadamente 10 mL de solução quente de BaCl₂, continuando a ebulição por mais 15 minutos;
- Deixar digerir a solução por um período de aproximadamente 30 minutos a temperatura próxima da ebulição, até a eliminação de todos os cloretos;
- Filtrar a solução (Figura 7), transferir o papel filtro com o resíduo BaSO₄ para um cadinho de porcelana, previamente tarado;

- Deixar o cadinho com o material na estufa à 110°C por 20 minutos, para a secagem do papel filtro e do resíduo;
- Queimar em bico de Bunsen, até desaparecer todo o carvão do papel, sem inflamar;
- Calcinar o resíduo em forno mufla, aquecido entre 800 e 900°C, de 15 a 20 minutos;
- Deixar esfriar em dessecador e pesar;
- Calcular o resultado através da fórmula:

$$SO_3 = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \times 34,3 \quad (1)$$

Onde:

m é a massa da amostra, em gramas;

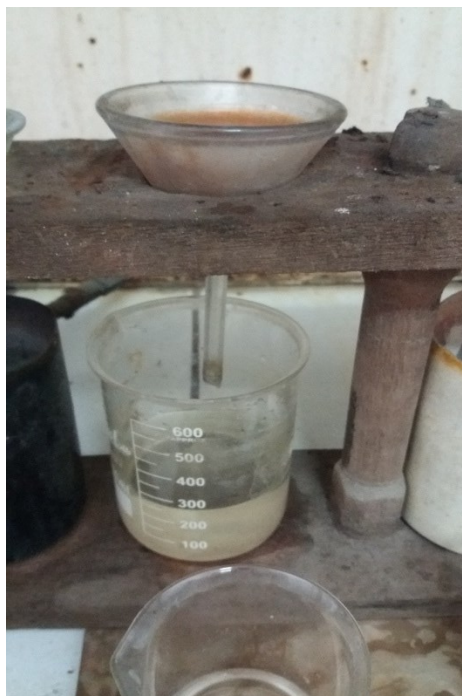
m_1 é a massa do cadinho tarado, em gramas;

m_2 é a massa do cadinho mais a massa do precipitado de $BaSO_4$, em gramas;

34,3 é a relação molar entre SO_3 e $BaSO_4$ multiplicado por 100.

A filtração da solução foi realizada com os instrumentos mostrados na figura 5. Um béquer de 500 mL recolheu o filtrado.

Figura 5- Filtração da solução



Fonte: da autora, 2017.

Em seguida, separou-se o filtrado em papel filtro (figura 6) e, no béquer, resultou a solução de sulfato de bário ($BaSO_4$) como corpo de chão (precipitado) como visto na figura 7.

Figura 6- Resíduo desprezado



Fonte: da autora, 2017.

Figura 7- Precipitado de BaSO_4



Fonte: da autora, 2017.

Com os procedimentos anteriores, obteve-se o filtrado e o sulfato precipitado. Em seguida realizou-se os demais procedimentos como, por exemplo, a determinação do teor de umidade.

3.3.1.2 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade verifica a quantidade de água presente no produto.

3.3.1.2.1 *Procedimento*

- Pesar 1 g da amostra, registrando a massa utilizada com aproximação de 0,001g, em um cadinho de massa conhecida;
- A massa do cadinho é determinada pelo aquecimento prévio do cadinho vazio, na mesma temperatura e sob as mesmas condições em que ele será utilizado no ensaio, até que a diferença entre duas determinações sucessivas de massa seja menor que 0,001g;
- Colocar o cadinho na estufa (Figura 8), a temperatura de 105°C e secar até que a diferença entre duas determinações sucessivas de massa seja menor que 0,001g;
- O período inicial da secagem deve ser de no mínimo 30 minutos e os períodos subsequentes de pelo menos 10 minutos, até que não haja variação da massa maior que 0,001g;
- Antes de cada determinação da massa, o cadinho deve ser resfriado à temperatura ambiente em um dessecador;
- Calcular o resultado através da fórmula:

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

U é a umidade da amostra;

m_1 é a massa da amostra, antes da secagem;

m_2 é a massa da amostra, após a secagem.

O procedimento descrito anteriormente é mostrado na figura 8.

Figura 8- Cadinho na estufa



Fonte: da autora, 2017.

Após a secagem do filtrado na estufa mostrada na figura anterior, realizou-se a secagem do material. Entretanto, para uma análise confiável da “perda ao fogo” por calcinação (figura 9).

3.3.1.3 Determinação da perda ao fogo

Perda de massa por calcinação à 950°C. A perda ao fogo representa normalmente água de cristalização ou hidratação.

3.3.1.3.1 Procedimento

- Pesar 1g da amostra em um cadinho de porcelana com tampa, previamente tarado, registrando a tara e o peso da amostra. Tampe o cadinho;
- Calcinar em forno mufla (Figura 9) à temperatura entre 900°C e 1000°C, durante 10 minutos;
- Esfriar em dessecador e pesar;
- Repetir a calcinação em intervalos de 5 minutos, até obter a massa constante;
- Calcular o resultado através da fórmula:

$$PF = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

m é a massa da amostra, em gramas;

m_1 é a massa do cadinho mais a massa da amostra ensaiada, em gramas;

m_2 é a massa do cadinho mais a amostra, após a calcinação.

Figura 9- Forno mufla



Fonte: da autora, 2017.

O resíduo foi, então, submetido a uma temperatura mais elevada (entre 900 e 1000°C). Este experimento foi repetido em intervalos de 5 minutos.

3.3.2 Requisitos físicos

3.3.2.1 Material retido na peneira 45 μ m

Determinação das proporções de quantidades de partículas existentes num material granular, pela separação por peneiras de diferentes aberturas.

3.3.2.1.1 Procedimento

- Acoplar a peneira ao peneirador aerodinâmico (Figura 10), tornando-se o cuidado de garantir total vedação no contato entre ambos e ajustar a pressão de sucção em 19,6MBar;

- Colocar 10g da amostra de resíduos de cerâmica vermelha sobre a tela da peneira, distribuindo-o de maneira circular para que a tampa quando colocada, não o toque. Tampar a peneira corretamente, utilizando o anel de vedação;
- Ligar o peneirador aerodinâmico e ajustar o tempo de ensaio para: 5 minutos quando for cimento, 7 minutos quando for cinza (material pozolânico) e 9 minutos quando for material carbonático;
- Durante os primeiros segundos do ensaio uma grande quantidade de amostra adere a tampa da peneira. Para desprende-la, deve-se golpear a alça da tampa com golpes fracos até que a amostra pare de aderir;
- Terminando o peneiramento, remover o resíduo para o vidro relógio evitando-se qualquer perda do material;
- Limpar com o auxílio do pincel toda a superfície inferior da tela da peneira com movimentos circulares da borda para o centro, recuperando-se assim, todos os grãos nela aderidos;
- Pesar o material contido no vidro relógio e após calcular o resultado utilizando a seguinte fórmula:

$$F = \frac{(R \times C)}{M} \quad (4)$$

Onde:

F é o índice de finura no cimento, em porcentagem;

R é o resíduo do cimento na peneira 0,044 mm, em gramas;

M é a massa inicial do cimento, em gramas;

C é o fator de correção da peneira, devendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.

O peneirador aerodinâmico (figura 10), foi adequado para a atividade com a utilização de peneiras com diferentes aberturas.

Figura 10- Peneirador aerodinâmico



Fonte: da autora, 2017.

Feita a peneiração, as partículas foram cuidadosamente separadas e iniciou-se a fase seguinte do processo de análise.

3.3.2.2 Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias

Determina o Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.

As quantidades de materiais necessárias para a mistura das argamassas devem estar de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8- Materiais necessários para o Índice de desempenho

Material	Massa necessária (g)	Massa necessária (g)
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento CP II-F-32	624	468
Material pozolânico (b)	-	156
Areia normal	1872	1872
Água	300	300
Aditivo Superplastificante	-	-

Fonte: da autora, 2017.

3.3.2.2.1 Preparação da argamassa A

- A argamassa A deve conter somente cimento;

- Pesar os materiais 624g de cimento, 300g de água, 468g de areia normal nº16, 468g de areia normal nº 30, 468g de nº 50, 468g de areia normal nº100 (mistura para 4 corpos de prova);
- Colocar primeiramente na cuba do misturador e adicionar o cimento. A mistura destes materiais deve ser feita no misturador na velocidade baixa, durante 30 segundos. Após o tempo e sem paralisar a operação, inicia-se a colocação das quatro frações de areia previamente misturadas, com o cuidado que toda areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 30 segundos;
- Após o termino da areia, altera-se para a velocidade alta, misturando-se nesta velocidade por 30 segundos;
- Após esse tempo desliga-se o misturador por um minuto e quinze segundos onde a argamassa fica em repouso;
- Após este intervalo liga-se o misturador na velocidade alta por mais um minuto;
- Lubrificar rapidamente a mesa do aparelho de consistência com óleo mineral e colocar sobre ela, bem centrada, a forma troncônica, com sua base maior apoiada a mesa;
- Um auxiliar, durante a moldagem deve manter na mesma posição, enquanto o operador, com o auxílio da espátula deve colocar a argamassa na forma;
- A argamassa deve ser colocada em três camadas onde na primeira recebe 15 golpes, na segunda 10 golpes e na terceira 5 golpes, garantindo um assentamento melhor da argamassa;
- Remover o material que ultrapassar a borda superior e nivelar o topo com régua, limpar a mesa envolta do molde, sem remover o óleo mineral;
- Após o término do enchimento do molde, fazer o abatimento do tronco de cone da argamassa, retirando-se imediatamente a forma, levantando-a verticalmente com cuidado, e em seguida mover a manivela do aparelho para medida de consistência, fazendo com que a mesa caia 30 vezes em aproximadamente 30 segundos;
- Após o abatimento deve-se medir o diâmetro da base do tronco de cone da argamassa (Figura 11);
- Se o Índice de consistência ficar abaixo de 220mm, repetir o ensaio acrescentando água. Se ficar acima de 230mm, repetir o ensaio diminuindo a água.
- Calcular o índice de desempenho utilizando a seguinte fórmula:

$$I.A.P = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

f_{cB} é a resistência média, aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento Portland e material pozolânico (argamassa B);

f_{cA} é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento Portland (argamassa A).

A figura abaixo mostra a base do tronco de argamassa sendo submetido a medição.

Figura 11- Medição do diâmetro da base do tronco, consistência ARG-A



Fonte: da autora, 2017.

Realizados os procedimentos de medição passou-se para a fase seguinte do processo que se constitui na preparação da argamassa B.

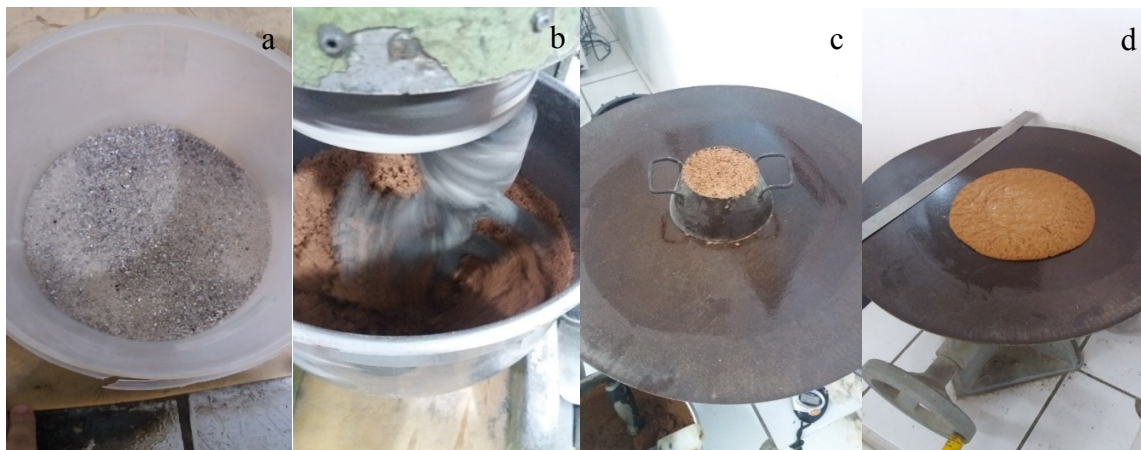
3.3.2.2.2 *Preparação da argamassa B*

- A argamassa B deve ter 25% do seu volume absoluto de cimento substituído por material pozolânico;
- Pesar os materiais 468g de cimento, 156g de resíduos de cerâmica vermelha moídos, 300g de água, 468g de areia normal nº16, 468g de areia normal nº 30, 468g de nº 50, 468g de areia normal nº100 (mistura para 4 corpos de prova);
- Colocar primeiramente a cuba no misturador e adicionar a mistura de cimento e material pozolânico. A mistura destes materiais deve ser feita no misturador na velocidade baixa, durante 30 segundos. Após o tempo e sem paralisar a operação, inicia-se a colocação das quatro frações de areia previamente misturadas (Figura 12a), com o cuidado que toda areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 30 segundos;

- Após o término da areia, altera-se para a velocidade alta, misturando-se nesta velocidade por 30 segundos;
- Após esse tempo desliga-se o misturador por um minuto e quinze segundos onde a argamassa fica em repouso;
- Após este intervalo liga-se o misturador na velocidade alta por mais um minuto (Figura 12b);
- Lubrificar rapidamente a mesa do aparelho de consistência com óleo mineral e colocar sobre ela, bem centrada, a forma troncônica, com sua base maior apoiada a mesa;
- Um auxiliar, durante a moldagem deve manter na mesma posição, enquanto o operador, com o auxílio da espátula deve colocar a argamassa na forma;
- A argamassa deve ser colocada em três camadas onde na primeira recebe 15 golpes, na segunda 10 golpes e na terceira 5 golpes, garantindo um assentamento melhor da argamassa;
- Remover o material que ultrapassar a borda superior e nivelar o topo com régua (Figura 12c), limpar a mesa envolta do molde, sem remover o óleo mineral;
- Após o término do enchimento do molde, fazer o abatimento do tronco de cone da argamassa, retirando-se imediatamente a forma, levantando-a verticalmente com cuidado, e em seguida mover a manivela do aparelho para medida de consistência, fazendo com que a mesa caia 30 vezes em aproximadamente 30 segundos;
- Após o abatimento deve-se medir o diâmetro da base do tronco de cone da argamassa (Figura 12d);
- Se o Índice de consistência ficar abaixo de 220mm, repetir o ensaio acrescentando água. Se ficar acima de 230mm, repetir o ensaio diminuindo a água.

As etapas de preparação da argamassa B, está ilustrada conforme a figura 12.

Figura 12- Etapas do ensaio da argamassa B



Fonte: da autora, 2017.

Após a realização do diâmetro da argamassa B, a mesma foi coletada para dentro da cuba novamente e iniciou-se o processo de moldagem (figura 14).

3.3.2.2.3 *Moldagem*

- A moldagem dos corpos de prova deve ser feita logo após a mistura, para tanto, as formas devem estar junto ao misturador (Figura 13), lubrificadas com óleo mineral;
- A colocação de argamassa nas formas deve ser feita com o auxílio de uma espátula, em quatro camadas, de altura aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com soquete;
- Essa operação deve ser finalizada com o nivelamento do topo dos corpos de prova, por meio da régua (Figura 14).

Antes da realização da moldagem dos corpos de prova, é necessário lubrificar as formas cilíndricas com óleo vegetal (figura 13), para que na hora de desmoldar os corpos de prova, eles não grudem ou quebrem.

Figura 13- Formas lubrificadas com óleo mineral



Fonte: da autora, 2017.

Figura 14- Nivelamento dos corpos de prova



Fonte: da autora, 2017.

Após o processo de moldagem e o nivelamento dos corpos de prova, os mesmos são encaminhados para uma sala com temperatura e umidade controladas, onde se inicia o processo de cura inicial dos corpos de prova.

3.3.2.2.4 Cura

- Logo após a moldagem dos corpos de prova, as formas devem ser colocadas em câmara úmida, onde permanecem de 20 a 24 horas, com a face superior protegida por uma placa de vidro plano para cura inicial ao ar (Figura 15);

- Terminando a cura inicial ao ar, os corpos de prova devem ser retirados das formas, identificados com giz de cera e colocados no tanque de água (Figura 16), exceto os que serão rompidos com 24 horas de idade;
- O tanque deve conter água não corrente, saturada com cal, onde devem permanecer até o momento do rompimento.

Para a realização da cura inicial, os corpos de prova são tampados com uma placa de vidro (figura 15), e armazenados em sala com temperatura e umidade controladas.

Figura 15- Corpos de prova com a face superior protegida



Fonte: da autora, 2017.

Após a realização do processo de cura inicial, os corpos de prova são desmoldados, identificados e colocados dentro do tanque (figura 16), para dar continuidade no seu processo de cura.

Figura 16- Tanque de água



Fonte: da autora, 2017.

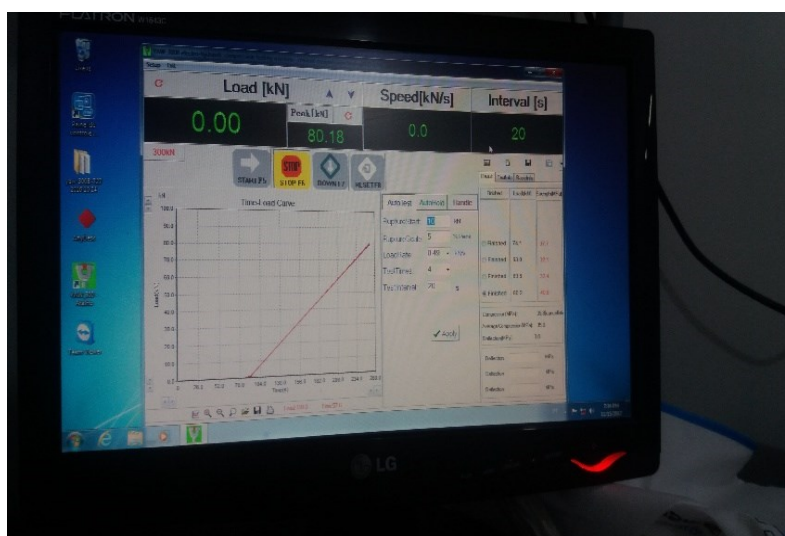
No tanque de cura, os corpos de prova permanecem até a sua determinada idade, podendo ser de 3,7 ou 28 dias.

3.3.2.2.5 Resistência

- Preparar uma mistura bem homogeneizada de 75% de enxofre agropecuário e 25% de cinza moída. Esta mistura deve ser fundida, até que fique um líquido pastoso. A forma de capeamento deve estar limpa, seca e levemente lubrificada com óleo mineral. Derramar um pouco de enxofre na forma, suficiente para formar uma camada de espessura máxima de 2mm. Colocar o corpo de prova sobre a camada de enxofre quente e líquido, fazendo-o descer rente ao encosto da forma, para que o mesmo não fique torto;
- Ligar a prensa para aquecer por cinco minutos;
- Para a realização do rompimento dos corpos de prova primeiramente deverá ser aberto o Software YAW-300 B. No software será registrado todos os dados da amostra a ser ensaiada (Figura 17);
- Colocar os corpos de prova sobre a prensa, centralizando os mesmos da melhor maneira para que os resultados possam ser uniformes (Figura 18);
- Após o término do rompimento da série dos corpos de prova todos os resultados obtidos em MPa, deverão ser registrados.

Todos os resultados do rompimento dos corpos de prova, são determinados com a ajuda de um software (Figura 17).

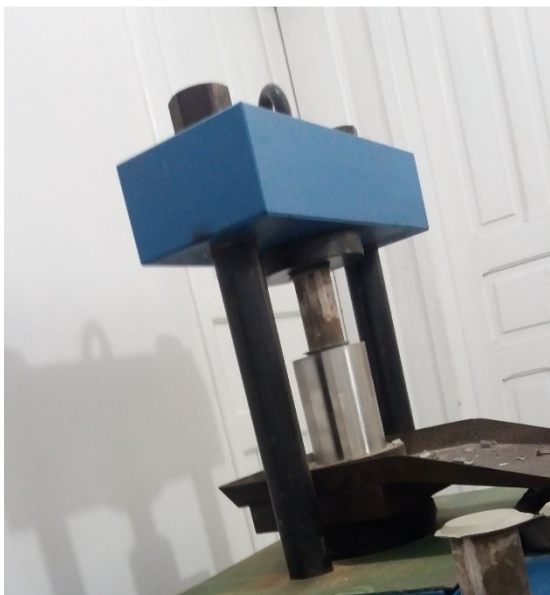
Figura 17- Software



Fonte: da autora, 2017.

Os corpos de prova, são centralizados no meio da prensa (figura 18), onde através de força mecânica consegue romper os corpos de prova e o software consegue ler os resultados de cada um.

Figura 18- Prensa com corpo de prova centralizado



Fonte: da autora, 2017.

Após os resultados obtidos através do software, os mesmos são descritos e lançados em planilhas de controle.

3.4 REQUISITOS NÃO OBRIGATÓRIOS PELA NORMA 12653:2014.

Além destes requisitos citados acima, são realizados alguns procedimentos que não são obrigatórios de acordo com a norma 12653:2014, mas são de fundamental importância para a realização de um controle de qualidade melhor ao material analisado.

3.4.1 Requisitos físicos

3.4.1.1 Massa específica

É determinada pelo deslocamento de um líquido em qual o material não se dissolve, em um frasco volumétrico. O líquido usado no frasco deve ser livre de água ou elementos voláteis.

3.4.1.1.1 *Procedimento*

- Com o auxílio de um funil de haste longa, encher o frasco de Le Chatelier (Figura 19) com querosene, até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1mL;
- Colocar o frasco na posição vertical, em banho de água e mantê-lo submerso no mínimo 30 minutos. Efetuar leituras até obter um valor constante para verificar que o conteúdo do frasco esteja em volume constante. Registrar a primeira leitura (V_i) com aproximação de $0,1 \text{ cm}^3$;
- Pesquisar o material e introduzi-lo no frasco (para material pozolânico 40g e cimento 60 g), com o auxílio do funil haste curta;
- Tampar o frasco e girá-lo em posição inclinada, até que não subam mais bolhas de ar superfície do líquido;
- Voltar com o frasco ao banho termorregulador para regular novamente o volume, conforme já descrito;
- Registrar a leitura final (V_f) com aproximação de $0,1 \text{ cm}^3$ e calcular o resultado através da seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V \times F} \quad (6)$$

Onde:

ρ é a massa específica do material ensaiado, em g/cm^3 ;

M é a massa da amostra, em gramas;

V é o volume deslocado pela massa do produto ($V = V_f - V_i$), em cm^3 ;

F é o fator de correção do volume no frasco de Le Chatelier.

O ensaio de massa específica é realizado no frasco de Le Chatelier, conforme mostra a figura 19.

Figura 19- Frasco de Le Chatelier, determinação da massa específica



Fonte: da autora, 2017.

É realizado este ensaio, para determinar o peso do material a ser utilizado no próximo ensaio, de determinação da finura pelo método de blaine.

3.4.1.2 Determinação da finura pelo método de blaine

Superfície específica determinada através de um aparelho chamado permeabilímetro. Caracteriza a finura do material analisado.

3.4.1.2.1 Procedimento

- Determinar a massa específica do material a ser analisado, conforme o item 3.4.1.1.;
- Calcular a quantidade de material necessária para fazer a camada compactada através da fórmula:

$$P = ME \times V \times (1 - \varepsilon) \quad (7)$$

Onde:

P é a massa do material analisado;

ME é massa específica do material;

V é o volume da cápsula, calculado na calibração do aparelho;

ε é a porosidade que deve ter a camada compactada.

- Agita-se bem a amostra do material antes de pesar por dois minutos;
- Pesa-se a quantidade do material que foi calculado;
- Na capsula do aparelho coloca-se o disco perfurado e um papel filtro de porosidade média (7μ), previamente cortado com o mesmo diâmetro do disco, com o cuidado do papel cobrir todo o disco, pressionando com uma haste limpa e seca;
- Colocar o material previamente pesado, com cuidado para evitar perdas. Dar pancadas leves para nivelar o material;
- Colocar um segundo papel filtro sobre o material nivelado;
- Introduzir o êmbolo e pressionar suave, mas firmemente até que a face interior da cápsula esteja em contato com a célula;
- Retirar o êmbolo vigorosamente;
- Inserir a cápsula no topo do manômetro (Figura 20), usando vaselina para garantir a estanqueidade;
- Abrir o registro e por meio de aspiração, ajustar o nível do líquido até a linha mais alta;
- Acionar o cronômetro quando o líquido atingir a segunda linha marcar o tempo quando o mesmo atingir a terceira linha;
- Registrar o tempo e calcular a superfície específica.

$$S = \frac{(K \times \sqrt{\varepsilon^3} \times \sqrt{T})}{ME \times (1 - \varepsilon) \times \sqrt{0,1}n} \quad (8)$$

Onde:

S é a superfície específica;

K é a constante calculada na calibração do aparelho;

ε é a porosidade calculada por $\varepsilon = 1 - (\frac{P}{ME \times V})$;

T é o tempo encontrado no ensaio;

n é a viscosidade do ar.

Este ensaio é realizado através de um aparelho chamado permeabilímetro de blaine (figura 20).

Figura 20- Permeabilímetro de blaine



Fonte: da autora, 2017.

Após a realização da determinação da finura pelo método de blaine, foi determinado a finura e a compactação dos materiais analisados.

3.5 AVALIAÇÃO DO MATERIAL COMO CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO

Todos os ensaios serão executados seguindo os procedimentos da ABNT NBR 5736:1991.

3.5.1 Exigências físicas e mecânicas

3.5.1.1 Finura (resíduo na peneira 75 μ m)

O procedimento será executado de acordo com o item 3.3.2.1.1.

3.5.1.2 Consistência normal

Quantidade de água determinada na preparação da pasta de consistência normal de cimento utilizada para determinação dos tempos de pega.

3.5.1.2.1 *Preparação da pasta*

- Ajustar o aparelho de Vicat provido da sonda baixando-a até que esteja em contato com a placa de vidro que será utilizada e ajustar a marca zero da escala. Levantar a sonda até a posição de espera;
- A massa do cimento a ser utilizada na preparação da pasta deve ser de 500g;
- A massa da água deve ser determinada por tentativas a ser medida com exatidão de 0,5g;
- Com o misturador parado, adicionar a água na cuba e em seguida adicionar o cimento e deixar repousar por 30 segundos;
- Misturar durante 30 segundos em velocidade lenta, desligar o misturador por 60 segundos. Nos primeiros 30 segundos raspar as paredes da cuba com a espátula, fazendo com que toda pasta fique no fundo;
- Imediatamente após os 60 segundos, misturar durante um minuto na velocidade rápida.

3.5.1.2.2 *Preparação da consistência*

- Colocar o molde com sua base maior apoiada sobre a placa de vidro e imediatamente após a mistura, com o auxílio de uma espátula, enchê-lo com uma quantidade da pasta já preparada. A operação de enchimento do molde pode ser facilitada sacudindo-o suavemente. Tirar o excesso de pasta nivelando com régua metálica (Figura 21);
- Colocar o conjunto sob o aparelho de Vicat, centrar o molde sob a haste, descer a haste até que o extremo da sonda entre em contato com a superfície da pasta e fixa-la nesta posição por meio de parafuso;
- Após 45 segundos do termino da mistura, soltar a haste, cuidando para que o aparelho não esteja submetido a nenhuma variação durante o ensaio;
- A pasta deve ser considerada como tendo consistência normal quando a sonda se situar a uma distância de 6 (± 1) mm da placa base após 30 segundos em que foi solta a sonda (Figura 22);
- Caso não se obtenha este resultado, devem ser preparadas diversas pastas de ensaios variando a quantidade de água e utilizando uma nova porção de cimento a cada tentativa.

É necessário a realização do nivelamento da pasta (figura 21), para se ter um resultado mais confiável na hora da leitura no aparelho de Vicat (figura 22).

Figura 21- Nivelamento da pasta



Fonte: da autora, 2017.

Figura 22- Leitura da consistência normal



Fonte: da autora, 2017.

Após a leitura no aparelho de Vicat, foi possível determinar a quantidade de água utilizada no tempo de pega.

3.5.1.3 Determinação do tempo de pega

O tempo de pega é um intervalo de tempo decorrido desde o instante do contato água-cimento até o instante que esta pasta suporte a pressão da agulha de Vicat.

3.5.1.3.1 *Preparação da pasta*

- A preparação da pasta de consistência normal e o enchimento dos moldes para determinação do tempo de pega devem seguir os procedimentos conforme o item 3.5.1.2.2;
- Após o enchimento dos moldes com a pasta de cimento, estes devem ser armazenados em câmara úmida.

3.5.1.3.2 *Determinação do início de pega*

- Determinar se a agulha de Vicat está corretamente instalada no aparelho para a realização do ensaio;
- Descer a agulha da haste móvel até que ela toque a placa base e ajustar o indicador na marca zero;
- Depois um tempo mínimo de 30 minutos, após o enchimento do molde, o mesmo deve ser colocado no aparelho de Vicat, situando-o sob a agulha;
- Fazer descer suavemente a agulha até que haja contato desta com a pasta, aguardar 1 s a 2 s nesta posição, evitando qualquer ação sobre as partes móveis, para que a agulha parta do repouso. Soltar rapidamente as partes móveis, permitindo que a agulha penetre verticalmente na pasta (Figura 23), sem choques e sem velocidade inicial;
- Ler a indicação na escala quando houver terminado a penetração ou 30 segundos após o instante em que a agulha foi solta;
- Repetir o ensaio de penetração no mesmo corpo de prova em posições separadas, que distem no mínimo 10 mm da borda do molde e entre elas, em intervalos de tempo de 10 minutos, até que a distância entre a agulha e a placa base seja igual ou superior a 4 mm.

Para a determinação do início de pega, foi realizada a pasta, com a quantidade de água determinada através da consistência normal.

Figura 23- Agulha penetrando na pasta



Fonte: da autora, 2017.

Após o enchimento do molde, o mesmo foi colocado centralizado no aparelho de Vicat, onde a agulha perfurou a pasta (figura 23), assim, foi determinado o tempo inicial de pega.

3.5.1.3.3 *Determinação do fim de pega*

- Substituir a agulha de Vicat para a determinação do tempo de início de pega pela agulha de Vicat para fim de pega. Conferir se o indicador está na marca zero;
- Inverter o molde cheio, de forma que os ensaios para determinação do fim de pega (Figura 24), sejam realizados na face oposta do corpo de prova;
- Fazer descer suavemente a agulha até que haja contato com a pasta. Aguardar 1s a 2 s nesta posição, evitando qualquer tipo de ação sobre as partes móveis, para que a agulha parta do repouso. Soltar rapidamente as partes móveis, permitindo que a agulha penetre verticalmente na pasta;

- Repetir o ensaio de penetração no mesmo corpo de prova em posições separadas em intervalos de tempo de 30 minutos, até que a distância entre a agulha e a placa base seja de 39,5 mm, o que equivale uma penetração de 0,5mm na pasta.

O tempo de fim de pega, determina o enrijecimento da pasta. Após a realização da pasta e da moldagem da mesma, é virado o molde para baixo e colocado no aparelho de Vicat (figura 24).

Figura 24- Determinação do fim de pega



Fonte: da autora, 2017.

Para a realização da leitura, a agulha foi introduzida na pasta e realizado a leitura para a determinação do fim de pega.

3.5.1.4 Expansibilidade

Determina a quantidade de expansão do cimento decorrente do processo de hidratação de alguns componentes da pasta de cimento. Esta expansibilidade pode ser determinada a quente e a frio.

3.5.1.4.1 *Expansibilidade a quente*

- A massa do cimento a ser utilizada na preparação da pasta deve ser de 500g;
- A massa da água deve ser determinada por tentativas a ser medida com exatidão de 0,5g;
- Com o misturador parado, adicionar a água na cuba e em seguida adicionar o cimento e deixar repousar por 30 segundos;
- Misturar durante 30 segundos em velocidade lenta, desligar o misturador por 60 segundos. Nos primeiros 30 segundos raspar as paredes da cuba com a espátula, fazendo com que toda pasta fique no fundo;
- Imediatamente após os 60 segundos, misturar durante um minuto na velocidade rápida.
- Colocar três agulhas sobre placas de vidro lubrificadas com óleo mineral, apoiadas pela base do cilindro. Preencher cada agulha com a pasta de cimento, de uma única vez utilizando espátula fina, atentando para que a pasta deslize por meio de golpes na placa de vidro;
- Rasar o topo e cobrir com uma placa de vidro lubrificada, colocando-se um peso suficiente para as agulhas não virarem;
- Repetir esta etapa até a moldagem de três corpos de prova;
- Após a moldagem o conjunto todo (agulhas, placas de vidro e o contrapeso) devem ser submersos e tanque de água potável à temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 20 ± 4 horas (Figura 25);
- Terminando o período de cura inicial, as placas de vidro devem ser retiradas e as agulhas devem ser colocadas na caixa de aquecimento (Figura 26), com água a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, com as extremidades da haste fora da água;
- Medir o afastamento das extremidades da agulha imediatamente antes do início do aquecimento da água;
- Aquecer progressivamente até que a água entre em ebulição entre 15 e 30 minutos. A ação da água quente deve durar 5 horas ou mais;
- Após 3 horas de ebulição, medir o afastamento das extremidades de cada agulha, sem que ocorra o resfriamento dos corpos de prova.
- Medir a cada duas horas o afastamento das extremidades, até que não se verifiquem mais variações de afastamento entre duas medições consecutivas. Calcular o resultado através da fórmula:

$$Exp = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} \quad (9)$$

Onde:

Exp é a expansibilidade;

L_1 é o resultado da 1º determinação;

L_2 é o resultado da 2º determinação;

L_3 é o resultado da 3º determinação.

Antes da realização da expansibilidade é necessário a realização dos corpos de prova e introduzi-los na água (figura 25).

Figura 25- Agulhas, placas de vidro e contrapeso antes de serem submersos em água



Fonte: da autora, 2017.

Figura 26 - Caixa de aquecimento



Fonte: da autora, 2017.

Depois de submersos em água, os corpos de prova, são retirados e colocados dentro da caixa de aquecimento para a determinação da expansibilidade a quente.

3.5.1.4.2 *Expansibilidade a frio*

- A massa do cimento a ser utilizada na preparação da pasta deve ser de 500g;
- A massa da água deve ser determinada por tentativas a ser medida com exatidão de 0,5g;
- Com o misturador parado, adicionar a água na cuba e em seguida adicionar o cimento e deixar repousar por 30 segundos;
- Misturar durante 30 segundos em velocidade lenta, desligar o misturador por 60 segundos. Nos primeiros 30 segundos raspar as paredes da cuba com a espátula, fazendo com que toda pasta fique no fundo;
- Imediatamente após os 60 segundos, misturar durante um minuto na velocidade rápida.
- Colocar três agulhas sobre placas de vidro lubrificadas com óleo mineral, apoiadas pela base do cilindro. Preencher cada agulha com a pasta de cimento, de uma única vez utilizando espátula fina, atentando para que a pasta deslize por meio de golpes na placa de vidro;
- Rasar o topo e cobrir com uma placa de vidro lubrificada, colocando-se um peso suficiente para as agulhas não virarem;
- Repetir esta etapa até a moldagem de três corpos de prova;
- Após a moldagem o conjunto todo (agulhas, placas de vidro e o contrapeso) devem ser submersos no tanque de água potável, à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 20 ± 4 horas;
- Terminado o período de cura inicial, as placas de vidro devem ser retiradas e as agulhas devem ser colocadas no tanque de água a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, durante seis dias, com as extremidades da haste fora da água (Figura 27);
- Medir o afastamento das extremidades logo após a moldagem dos corpos de prova e após sete dias consecutivos em água a $(23 \pm 2^\circ\text{C})$;
- Realizar mais duas determinações e calcular o resultado através da fórmula:

$$Exp = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} \quad (10)$$

Onde:

Exp é a expansibilidade;

L_1 é o resultado da 1ª determinação;

L_2 é o resultado da 2ª determinação;

L_3 é o resultado da 3ª determinação.

A determinação da expansibilidade a frio, ocorre com a preparação dos corpos de prova dentro das agulhas (figura 27).

Figura 27- Agulhas no tanque de água



Fonte: da autora, 2017.

Após o enchimento das agulhas com a pasta as agulhas são introduzidas dentro do tanque de água, e permanecem lá durante 7 dias. Após os sete dias é realizada a leitura da expansão destas agulhas, para determinar o valor da expansibilidade.

3.5.1.5 Resistência à compressão

Nos testes de resistência à compressão é determinada a força, a uma velocidade de deformação constante, necessária para comprimir ou romper um corpo de prova.

3.5.1.5.1 *Mistura*

- Pesar os materiais 624g de cimento, 300g de água, 468g de areia normal nº16, 468g de areia normal nº 30, 468g de nº 50, 468g de areia normal nº100 (mistura para 4 corpos de prova);
- Colocar primeiramente na cuba do misturador e adicionar o cimento. A mistura destes materiais deve ser feita no misturador na velocidade baixa, durante 30 segundos. Após o tempo e sem paralisar a operação, inicia-se a colocação das quatro frações de areia previamente misturadas, com o cuidado que toda areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 3º segundos;
- Após o termino da areia, altera-se para a velocidade alta, misturando-se nesta velocidade por 30 segundos;

- Após esse tempo desliga-se o misturador por um minuto e quinze segundos onde a argamassa fica em repouso;
- Após este intervalo liga-se o misturador na velocidade alta por mais um minuto;

3.5.1.5.2 *Moldagem*

A preparação da moldagem para a determinação da resistência à compressão deve seguir os procedimentos conforme o item 3.3.2.2.3.

3.5.1.5.3 *Cura*

A preparação do processo de cura para a determinação da resistência à compressão deve seguir os procedimentos conforme o item 3.3.2.2.4.

3.5.1.5.4 *Resistência*

A preparação do processo de resistência à compressão deve seguir os procedimentos conforme o item 3.3.2.2.5.

3.5.2 **Exigências químicas**

3.5.2.1 Perda ao fogo

Perda de massa por calcinação à 950°C. A perda ao fogo representa normalmente água de cristalização ou hidratação.

A preparação do procedimento de perda ao fogo será executada de acordo com o item 3.3.1.3.1.

3.5.2.2 Trióxido de enxofre

Indica a quantidade de gesso presente na amostra a ser analisada.

A preparação do procedimento do trióxido de enxofre será executada de acordo com o item 3.3.1.1.1.

3.6 REQUISITOS NÃO OBRIGATÓRIOS PELA NORMA 5736:1991.

Além destes requisitos citados acima, são realizados alguns procedimentos que não são obrigatórios de acordo com a norma 5736:1991, mas são de fundamental importância para a realização de um controle de qualidade melhor ao material analisado.

3.6.1 Ensaios físicos

3.6.1.1 Massa específica

É determinada pelo deslocamento de um líquido em qual o material não se dissolve, em um frasco volumétrico. O líquido usado no frasco deve ser livre de água ou elementos voláteis.

A preparação do procedimento de massa específica será executada de acordo com o item 3.4.1.1.1.

3.6.1.2 Determinação da finura pelo método de blaine

Superfície específica determinada através de um aparelho chamado permeabilímetro. Caracteriza a finura do material analisado.

A preparação do processo de determinação da finura pelo método de blaine deve seguir os procedimentos conforme o item 3.4.1.2.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COMO POZOLÂNICO

Todos os ensaios foram executados e comparados de acordo com a norma de materiais pozolânicos ABNT NBR 12653:2014.

4.1.1 Requisitos químicos

Os resultados dos ensaios químicos estão descritos na tabela 9.

Tabela 9- Resultados dos ensaios químicos materiais pozolânicos

Ensaio	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Anidrido Sulfúrico	0,91%	$\leq 4\%$
Teor de umidade	0,058%	$\leq 3\%$
Perda ao fogo	5,81%	$\leq 10\%$

Fonte: da autora, 2017.

Todos os ensaios foram executados de acordo com a norma dos materiais pozolânicos. Os resultados obtidos nos mostram que o material analisado (resíduos de cerâmica vermelha), foi aprovado em todos os ensaios químicos.

4.1.2 Requisitos físicos

Os resultados dos ensaios físicos estão descritos na tabela 10.

Tabela 10- Resultados dos ensaios físicos materiais pozolânicos

Ensaio	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Material retido na peneira 45 μ m	18%	$\leq 20\%$
Índice de desempenho com Cimento Portland aos 28 dias	129,31%	$\geq 90\%$

Fonte: da autora, 2017.

Os ensaios físicos nos mostram que o material retido na peneira 45 μ m está de acordo com o que a norma exige, mesmo não sendo um material com uma granulometria tão baixa. Quanto ao índice de desempenho, serve para determinar o fator água/cimento. O resultado obtido da consistência normal da argamassa A (só cimento), foi de 210 mm e da

argamassa B (cimento Portland e 25% de material pozzolânico), foi de 190 mm, apresentando uma consistência menor, então adiciona-se aditivo para aumentar a consistência e ficar no padrão que é de ± 10 mm em relação a argamassa A. Assim, ambas respeitaram o limite estabelecido pela norma, que é de 220 ± 10 mm. Após determinar a consistência normal, foram moldados quatro corpos de prova para cada argamassa, para calcular o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, sendo que o mesmo apresentou resultado de 129,3174% e a norma exige $\geq 90\%$, estando também dentro dos parâmetros exigidos.

Média das resistências:

$$28 \text{ dias argamassa A: } X: \frac{(37,7+34,4+32,8+35,8)}{4} = 36,4 \text{ MPa}$$

$$28 \text{ dias argamassa B: } X: \frac{(49,1+40,3+49,5+47,4)}{4} = 46,6 \text{ MPa}$$

Desvio Padrão:

$$28 \text{ dias argamassa A: } S = \sqrt{\frac{(37,7-36,4)^2+(34,4-36,4)^2+(32,8-36,4)^2+(35,8-36,4)^2}{4-1}} \quad S = 2,1800$$

$$28 \text{ dias argamassa B: } S = \sqrt{\frac{(49,1-46,6)^2+(40,3-46,6)^2+(49,5-46,6)^2+(47,4-46,6)^2}{4-1}} \quad S = 3,7077$$

4.1.3 Ensaios físicos não obrigatórios pela norma

Os resultados dos ensaios físicos não obrigatórios pela norma serão descritos na tabela 11.

Tabela 11- Ensaios físicos não obrigatórios pela norma de materiais pozzolânicos

Ensaios	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Massa específica	2,62g/cm ³	--
Método de blaine	14910 cm ² /g	--

Fonte: da autora, 2017.

A massa específica resulta da divisão da massa compacta de uma substância pelo volume que ela ocupa. Para realização do método de blaine precisou-se antes calcular a massa específica para ser introduzida na fórmula do método de blaine, que consiste na finura do material e na sua compactação. Como descrito na tabela 11, o valor do método de blaine foi alto, isso comprova que o material além de fino, possui uma boa compactação.

Pode-se afirmar que o material possui propriedades pozzolânicas, pois é uma argila calcinada e todos os resultados obtidos respeitaram os limites exigidos pela norma. Quando misturado com cimento Portland no índice de desempenho aos 28 dias, na presença de água e

em temperaturas ambientes, reagiu com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, originando compostos com propriedades aglomerantes.

4.2 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO

Todos os ensaios foram executados e comparados de acordo com a norma do Cimento Portland Pozolânico ABNT NBR 5736:1991.

4.2.1 Exigências físicas e mecânicas

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos estão descritos na tabela 12.

Tabela 12- Resultados exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland Pozolânico

Ensaio	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Finura (resíduo na peneira 75µm)	7,12%	$\leq 8\%$
Tempo de início de pega	02:15 h	$\geq 1\text{ h}$
Tempo de fim de pega	03:25 h	$\leq 12\text{ h}$
Expansibilidade a quente	0 mm	$\leq 5\text{ mm}$
Expansibilidade a frio	0 mm	$\leq 5\text{ mm}$

Fonte: da autora, 2017.

Os ensaios físicos nos mostram que todos eles estão dentro dos limites estabelecidos pela norma do Cimento Portland pozolânico. O ensaio da finura nos mostra que ele não é um material com granulometria tão baixa, estando quase no limite da especificação.

Antes da realização do ensaio do tempo de início e fim de pega, é necessário a realização do ensaio de consistência normal, para determinar a quantidade de água utilizada. O resultado da consistência normal foi de 5 mm, estando dentro do limite estabelecido pela norma que é de $6 \pm 1\text{ mm}$.

O ensaio de início de pega, é o início do endurecimento ou cristalização da pasta e o fim de pega é o final do enrijecimento ou início do ganho da resistência mecânica, os dois ensaios estão dentro dos limites estabelecidos.

Os ensaios de expansibilidade a quente e a frio, mostram que nenhum deles sofreu expansão do cimento decorrente do processo de hidratação de alguns componentes da pasta de cimento.

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão estão descritos na tabela 13.

Tabela 13- Resultados da resistência a compressão do Cimento Portland Pozolânico

Ensaio	Idades	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Resistência à compressão	3 dias	21,6 Mpa	$\geq 10,0$ MPa
	7 dias	29,0 Mpa	$\geq 20,0$ MPa
	28 dias	35,8 MPa	$\geq 32,0$ MPa

Fonte: A autora, 2017.

A mistura dos resíduos de cerâmica vermelha com cimento Portland, designam na formação de um produto denominado Cimento Portland Pozolânico. O resultado da resistência nos mostra que a cada idade a resistência do material aumenta e está muito mais alta do que o valor dos limites estabelecidos, nos mostrando que é um produto de qualidade. Apenas sua coloração com tom avermelhado (Figura 28), possa ser rejeitada ao chegar no mercado pelo consumidor.

Figura 28- Coloração do corpo de prova



Fonte: da autora, 2017.

A coloração com tom avermelhado, pode ser considerada um ponto negativo do produto, ou pode chegar no mercado para o consumidor como uma inovação, porque o material se mostrou ser de qualidade, atendendo todos os quesitos exigidos pela norma de cimento Portland Pozolânico.

Média das resistências:

$$3 \text{ dias: } X: \frac{(21,6+20,9+21,4+22,6)}{4} = 21,6 \text{ MPa}$$

$$7 \text{ dias: } X: \frac{(28,2+28,3+27,2+32,2)}{4} = 29,0 \text{ MPa}$$

$$28 \text{ dias: } X: \frac{(37,7+32,1+32,4+40,8)}{4} = 35,8 \text{ MPa}$$

Desvio Padrão:

$$3 \text{ dias: } S = \sqrt{\frac{(21,6-21,6)^2+(20,9-21,6)^2+(21,4-21,6)^2+(22,6-21,6)^2}{4-1}} \quad S = 0,7141$$

$$7 \text{ dias: } S = \sqrt{\frac{(28,2-29,0)^2+(28,3-29,0)^2+(27,2-29,0)^2+(32,2-29,0)^2}{4-1}} \quad S = 2,2068$$

$$28 \text{ dias: } S = \sqrt{\frac{(37,7-35,8)^2+(32,1-35,8)^2+(32,4-35,8)^2+(40,8-35,8)^2}{4-1}} \quad S = 17,9533$$

4.2.2 Exigências químicas

Todos os resultados dos ensaios químicos estão descritos na tabela 14.

Tabela 14- Resultados exigências químicas do Cimento Portland Pozolânico

Ensaio	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Perda ao fogo	1,63%	$\leq 4,5\%$
Trióxido de enxofre	2,46%	$\leq 4,0\%$

Fonte: da autora, 2017.

Todos os ensaios químicos mostram que o material analisado foi aprovado e está dentro dos limites exigidos pela norma.

4.2.3 Ensaios físicos não obrigatórios pela norma

Os resultados dos ensaios físicos não obrigatórios pela norma estão descritos na tabela 15.

Tabela 15- Resultados ensaios físicos não obrigatórios do Cimento Portland Pozolânico

Ensaio	Resultados obtidos	Limites estabelecidos norma
Massa específica	2,92g/cm ³	--
Método de blaine	8571 cm ² /g	--

Fonte: da autora, 2017.

A massa específica resulta da divisão da massa compacta de uma substância pelo volume que ela ocupa. Para realizar o ensaio do método de blaine precisou antes calcular a massa específica para ser introduzida na fórmula do método de blaine, que consiste na finura do material e na sua compactação. Como descrito na tabela 15, o valor do método de blaine foi alto, isso comprova que o material é fino e possui uma boa compactação.

Os ensaios realizados comprovam que a mistura de cimento Portland mais material pozolânico (resíduos de cerâmica vermelha), resultam num Cimento Portland Pozolânico que atende todas as exigências específicas da norma, sendo assim, o mesmo pode ser comercializado como uma nova alternativa para o meio da construção civil.

5 CONCLUSÃO

Santa Catarina é o segundo estado com o maior número de Indústrias de Cerâmicas Vermelhas instaladas. Estas indústrias geram vários resíduos denominados “chamotes”, provenientes da queima, que não são totalmente reaproveitados nos processos pelo alto custo do reprocessamento do material e prejudicam o meio ambiente.

A principal matéria prima destes resíduos é a argila, e nas classes de materiais pozolânicos, classe C, se enquadram as argilas calcinadas. A partir deste conceito, foi destinado estes resíduos para o estudo dele como material pozolânico.

Os resíduos foram moídos e realizados todos os ensaios físicos e químicos que constam na norma ABNT NBR 126653:2014, estando todos de acordo com as especificações exigidas, confirmando ser um material pozolânico. Quando misturado com cimento no índice de desempenho aos 28 dias, em presença de água e temperatura ambiente, reage com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, formando compostos com propriedades aglomerantes.

Com a aprovação do material como pozolânico e com o grande crescimento da construção civil, utilizou-se os resíduos de cerâmica vermelha como insumo no cimento Portland Pozolânico, como uma nova alternativa de produto. Foram realizados todos os ensaios físicos, químicos e mecânicos de acordo com a norma ABNT NBR 5736:1991, estando todos de acordo com as especificações exigidas.

O quesito cor pode ser determinante, uma vez que o consumidor possa rejeitar o cimento com tom avermelhado, ou, este produto pode chegar ao mercado como uma inovação, pois suas características químicas, físicas e mecânicas atendem aos requisitos exigidos pela norma.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Fica como proposta para trabalhos acadêmicos futuros e para a empresa, trabalhar a porcentagem do material pozolânico na adição ao cimento Portland, para a fabricação de cimento Portland Pozolânico, com o intuito de melhorar o tom avermelhado do produto e a consistência da argamassa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **A Cerâmica vermelha no Brasil**. Disponível em: < http://anicer.com.br/p-content/uploads/2014/08/Release_Setor.pdf>. Acesso em: 06 de jun, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Fluxograma Processo de fabricação de Cerâmica vermelha**. Disponível em:< <http://abceram.org.br/fluxograma/>>. Acesso em: 23 de abr, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas-Definição e Classificação**. Disponível em: < <http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>>. Acesso em: 23 de abr, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653:2014- Materiais Pozolânicos**. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36298/nbr12653-materiais-pozolanicos-requisitos>>. Acesso em: 30 de mai, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736:1991- Cimento Portland Pozolânico**. Disponível em:<<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/04/nbr-05736-1991-cimento-portland-pozolc3a2nico.pdf>>. Acesso em: 30 de mai, 2017.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- FASTOFSKI, D. C.; SCHAFER, M.; KULAKOWSKI, M. P.; GONZÁLEZ, M. A. S.; KAZMIERCZAK, C. S. **Metodologia de caracterização de resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material pozolânico em pasta de cimento**. 2014. Monografia. 10f. Universidade do Vale do Rio dos Sinos- Unisinos, São Leopoldo-RS, 2014.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- FERNANDES, Ana Paula V. **Avaliação do desempenho de aditivos á base de aminos no processo de moagem da cinza “Fly Ash”, na empresa pozosul**. 2007. Monografia. 46f. (Departamento de Engenharia Química)- Unisul, Santa Catarina, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE SÃO PAULO. **Cerâmica Vermelha**. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/1106-ceramica_vermelha_e_concreto.htm>. Acesso em: 06 de jun, 2017.
- KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.
- MEHTA, K.P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Volume 1. ed. São Paulo: Pini LTDA, 1994.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M. C. As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.2, p 1-12, 2001. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2_4.pdf>. Acesso em: 18 de abr, 2017.

OLIVEIRA, F. E. M. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale Assu: Estudo de caso**. 2011. Monografia. 66f. (Departamento de Ciência e Tecnologia)- Universidade Federal Rural do Semi-árido, Angico-RN, 2011.

OLIVEIRA, Amando Alves de. **Tecnologia em Cerâmica**. Lara.Criciúma. 2011. p. 176.

PÉREZ, C. A. S.; PADUANI, C.; ARDISSON, J. D.; GOBBI, D.; THOMÉ, A. Caracterização de Massas Cerâmicas Utilizadas na Indústria de Cerâmica Vermelha em São Domingos do Sul-RS. **Cerâmica Industrial**, Rio Grande do Sul, v.15, n.1, p 1-6, 2010. Disponível em:< <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v15n1/v15n1a08.pdf>>. Acesso em: 06 de jun, 2017.

PETRUCCI, ELADIO G. R. **Concreto de Cimento Portland**. Volume 1- 13ª Edição Vladimir Antônio P., São Paulo, 1998. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/23746834/eladio-gr-petrucci-concreto-de-cimento-portland-13-ed-1998>>. Acesso em: 23 de abr, 2017.

PINHEIRO, Igor Soares. **Beneficiamento e caracterização de resíduos gerados na produção de blocos cerâmicos visando à aplicação como adição pozolânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

PITTA, M. R.; CARVALHO, M.D.; RODRIGUES, P. P. F. **Materiais para pavimentos de concreto simples**. 5.ed. São Paulo, ABCP, 1999. 165p.

MARINGOLO, Vagner. **Clínquer Co-processado: Produto de tecnologia integrada para a sustentabilidade e competitividade da indústria do cimento**. 2001. 174 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Paulo, SP, 2001.

SANTOS JUNIOR, B. F. **Modificações morfológicas e estruturais de pastas de cimento aditivadas em termofixos á base de epóxi para utilização em poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Física), Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2006. Disponível em: < <http://docplayer.com.br/6303502-Universidade-federal-de-sergipe-nucleo-de-pos-graduacao-em-fisica-dissertacao-de-mestrado.html>>. Acesso em: 23 de abr, 2017.

SANTOS, Pérsio de Souza. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. Volume 1 – 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1968.

SERVIÇO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SC. **Cerâmica vermelha**. Disponível em: < <http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>>. Acesso em: 23 de abr, 2017.

VILLAR, Vladilen dos Santos. **Perfil e perspectivas da Indústria de Cerâmica vermelha do Sul de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/157560/83538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 de jun, 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Tradução: Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZAMPIERI, Valdir Aparecido. **Cimento Portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico.** Dissertação (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-25062015-102757/pt-br.php>>. Acesso em: 18 de abr, 2017.