



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ANA PAULA VIEIRA FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS À BASE DE AMINAS NO
PROCESSO DE MOAGEM DA CINZA “FLY ASH”, NA EMPRESA POZOSUL**

**Tubarão
2007**

ANA PAULA VIEIRA FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS À BASE DE AMINAS NO
PROCESSO DE MOAGEM DA CINZA “FLY ASH”, NA EMPRESA POZOSUL**

Relatório apresentado ao Curso de graduação
do curso de engenharia química, da
Universidade do Sul de Santa Catarina, como
requisito parcial para aprovação na disciplina
Estágio Supervisionado curricular.

Universidade do Sul de Santa Catarina

Supervisor: Prof^o. Msc. César Renato da Rosa

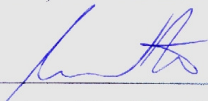
**Tubarão
2007**

ANA PAULA VIEIRA FERNANDES

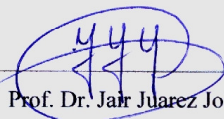
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS À BASE DE AMINAS NO
PROCESSO DE MOAGEM DA CINZA "FLY ASH", NA EMPRESA POZOSUL**

Este relatório foi avaliado e considerado adequado como requisito parcial na aprovação da disciplina Estágio Supervisionado Curricular em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 06 de dezembro de 2007



Professor e Orientador Msc. César Renato Alves da Rosa
Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul



Prof. Dr. Jair Juarez João
Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul



Prof. Dra. Glene Suely Ribes Fagundes
Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais (Fernando e Tereza), aos meus irmãos, e, em especial ao meu marido (Héder Ferminio Garbelotto), pela força para nunca desistir do meu sonho, pela paciência, pelo carinho e pela confiança. A todas as pessoas que se fizeram presentes durante toda esta trajetória. Obrigada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Agradeço a toda minha família, amigos e colegas, que sempre me apoiaram em todos os momentos, sejam eles tristes ou alegres, sei que a minha felicidade é a felicidade deles também, pois sempre me deram forças e torceram por mim.

A todos os profissionais da empresa Pozosul que me deram a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos e que me apoiaram durante toda essa trajetória, quero agradecer em especial a minha orientadora Graziela da Luz Pessoa e Silva e Mario César Firmino dos Santos .

A todos os professores pelos anos de convívio, ensinamentos e por me tornarem uma pessoa melhor preparada para a vida.

Ao professor e orientador César Renato da Rosa por me ajudar na elaboração desse trabalho. Enfim a todos que contribuíram para o desenvolvimento e êxito deste trabalho. Muito Obrigada.

Se você quiser ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo.

Ayrton Senna da Silva

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a avaliação do uso de aditivos a base de aminas no processo de moagem da cinza volante “Fly Ash” na empresa Pozolana Indústria e Comércio Ltda. O processo de moagem da cinza “Fly Ash” é realizado através de moinhos de barras vibratórios de cilindros horizontais adequados para a moagem fina em operação contínua. O meio moedor é movido por vibração provocada pelo movimento oscilante da carcaça, em trajetória circular de alta frequência. Para tal, as carcaças são suportadas elasticamente e acopladas a um sistema de massas centrífugas. Esse movimento específico do meio moedor permite a moagem de materiais friáveis e abrasivos, com resistência alta ou média à fragmentação, tais como escória, quartzo, areias quartzíticas e argila refratária, com baixas taxas de desgaste do moinho e meio moedor. Os aditivos a base de aminas serão adicionados no processo de moagem por meio de bombas dosadoras, objetivando a redução dos custos de produção, melhoria das propriedades físico-químicas do cimento, aumento das resistências iniciais, aumento da fluidez da cinza “Fly Ash”. Primeiramente foram realizados ensaios em laboratório antes dos testes industriais, a fim de se determinar proporções iniciais de adições e avaliar parâmetros de desempenho para tornar possível o uso do aditivo. Este trabalho é de extrema importância para empresa, pois pode oferecer um grande aumento nas resistências iniciais reduzindo assim o custo de matéria prima.

Palavras-chave: Fly Ash. Aditivos. Moagem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista da frente da empresa Pozolana	15
Figura 2 – fluxograma de fabricação de cimento	18
Figura 3 – Fluxograma processo de fabrica fabricação das cinzas volantes através de sistema de combustão de carvão com extração mecânica a seco	24
Figura 4 – Moinho vibratório de barras	26
Figura 5 – Moinho vibratório modelo vertical	26
Figura 6 – Ilustração da reação do aditivo com o cimento	29
Figura 7 – Moinho do laboratório	30
Figura 8 – Moldagem e cura inicial	31
Figura 9 – Câmara úmida e Tanque de Cura	32
Figura 10 – Rompimento dos corpos de prova	32
Figura 11 – Determinação da finura por peneiramento via úmido	33
Figura 12 – Moinhos horizontais de Barras	35
Figura 13 – Bomba dosadora de diafragma com um cabeçote	36
Figura 14 – Processo atual de moagem da Cinza volante sem Aditivo	37
Figura 15 – Desempenho da resistência à compressão com a melhor formulação (C)	39
Figura 16 – Desempenho da resistência à compressão com a melhor formulação	41
Figura 17 – Processo de moagem da cinza volante com as implantações para do uso do Aditivo à base de aminas	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento e suas aplicações	18
Tabela 2 – Principais constituintes do cimento e suas funções	28
Tabela 3 – Resultados da Análise Granulométrica e da Resistência a Compressão dos testes realizados em escala laboratorial. Com o uso de aditivo durante o processo de moagem utilizando diferentes formulações.	38
Tabela 4 – Resultados dos testes industriais	40
Tabela 5 - Custos gerados para implantação do uso do aditivo no processo de moagem da cinza bruta.	41
Tabela 6 – Demonstrativo da redução de custo mensal	42

LISTA DE ABREVIATURAS

CP I – Cimento Portland Comum

CP II E – Cimento Portland com adição de escoria

CP II F – Cimento Portland com adição de filer calcário

CP II Z – Cimento Portland com adição de material pozolânico

CP III – Cimento Portland de alto forno

CP V ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial

CP V ARI RS – Cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos

CP IV – Cimento Portland Pozolânico

NBR 5736 – Norma técnica para Cimentos Portland Pozolânico

ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

C₃A – Aluminato Tricálcico

C₂S – Silicato Bicálcico

C₃S – Silicato Tricálcico

C₄AF – Tetracálcico Alumina Ferrita

CaO – Óxido de Cálcio

Fe₂O₃ – Óxido Férrico

Al₂O₃ – Óxido de Alumínio

SiO – Óxido de Silício

Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

Fly Ash – Cinza Volante

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Relevância do trabalho	13
1.2. História da empresa	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1. Cimento Portland	17
3.1.1. Processo de fabricação do cimento Portland	17
3.1.2. Tipos de Cimento Portland	18
3.2. Pozolanas	20
3.2.1. Pozolanas Naturais	20
3.2.2. Pozolanas Artificiais	21
3.2.3. Justificativa do uso de pozolanas como aditivo ao cimento	21
3.2.4. Vantagens do uso de Pozolanas	22
3.2.5. Desvantagem do uso da Pozolana	23
3.3. Cinza Volante (FLY-ASH)	23
3.3.1. Processo de obtenção da cinza volante por combustão a seco com tiragem artificial	24
3.4. Moagem fina e ultrafina de Minerais industriais	25
3.4.1. Moinhos Vibratórios	25
3.5. Moagem das cinzas volantes	27
3.6. Aditivos para moagem	27
3.6.1. Reação do aditivo com o cimento	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. Testes Preliminares	30
4.1.1. Moagem	30
4.1.2. Resistência à compressão	31
4.1.3. Análise granulométrica	33

4.2. Testes Industriais.....	33
4.2.1. Descrição do processo de moagem.....	34
4.2.1.1. Matéria Prima	34
4.2.1.3. Estocagem da matéria-prima e do produto moído.....	34
4.2.1.2. Moinhos	34
4.2.1.4. Dosagem do aditivo	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.6. Resultados dos testes laboratoriais	38
5.7. Resultados dos testes industriais	39
5.8. Análise Econômica.....	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

1.1. Relevância do trabalho

A tendência para a fabricação de cimento portland, aponta para uma crescente produção de cimentos aditivados.

A incorporação de aditivos na fabricação dos diversos tipos de cimento tem se mostrado uma alternativa altamente vantajosa, não somente pela economia proporcionada ao fabricante de cimentos, mas por possibilitar a obtenção de um produto com características físico-químicas e físico-mecânicas potencialmente diferenciadas dos cimentos sem aditivos.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento do uso de aditivos a base de aminas no processo de moagem da cinza volante, sob o ponto de vista tecnológico, operacional e qualitativo.

1.2. História da empresa

A Pozolana Indústria e Comércio Ltda. foi fundada em 1970 pelo Sr. Aryosvaldo Búrigo, tendo como objetivo comercializar a cinza volante originada da queima do carvão do complexo termoeletrico Jorge Lacerda.

Nesta época a cinza era ensacada manualmente em sacos de 50 kg e distribuída para seus clientes.

Estudos sobre a cinza “fly ash” fizeram com que o dono da empresa em suas pesquisas chegasse ao Cimento Portland Pozolânico, o mesmo produzido no exterior, que possui em sua composição a mesma cinza já comercializada pela Pozolana.

Em julho de 1976 foi inaugurada a nova fábrica da Pozolana, situada na cidade de Tubarão ao sul de Santa Catarina, hoje Capivari de Baixo.

Somente em 1984 foi iniciada a produção do Cimento Portland Pozolânico, cujo processo era todo realizado manualmente, chegando a produzir 20.000 sacos por mês.

Em 1988 a empresa busca melhorias no processo produtivo, conseguindo assim atingir em marca de 60.000 sacos por mês.

No final do ano de 1992 foram realizadas grandes modificações na área fabril da Pozolana, com investimentos na área da moagem e dosagem, fazendo com que a empresa ultrapasse uma produção mensal de 100.000 sacos.

Em 1993 com o falecimento do Sr. Aryovaldo, fundador e diretor da empresa, assumem a direção da empresa sua esposa Sra. Marcy de Maria Carvalho Búrigo e seus filhos, Marcio Búrigo, Cristiane Búrigo Tavares e seu genro, Eduardo Alexandre Tavares. Com a nova direção houve uma nova reformulação, voltada mais para os seus recursos humanos e garantia da qualidade do Cimento Pozosul.

Em 1999 iniciou-se um projeto de modificação do processo de produção, onde a dosagem dos materiais era realizada de forma volumétrica passou a ser realizado de forma gravimétrica, com a dosagem e a mistura totalmente automatizadas.

Em Janeiro de 2000 foram realizados os primeiros testes com o novo processo de dosagem e mistura, uma realização com total sucesso. Este procedimento minimizou as perdas das matérias primas e aumentou assim a confiabilidade do processo produtivo.

Neste mesmo ano foram implantados sistemas de captação de poeira dentro área de produção, que tiveram como objetivo a redução do nível de emissão de pó. Estes sistemas foram aprovados pelo órgão ambiental do estado de Santa Catarina, FATMA.

Foi construída a casa do motorista, com o objetivo de proporcionar conforto e comodidade aos motoristas e aos funcionários da empresa. Esta casa possui banheiros, televisão, lanchonete e um pátio arborizado para o descanso de todos.

Em Junho de 2004 foi instalada uma nova ensacadeira com o objetivo de aperfeiçoar o processo de acondicionamento e melhorar o controle sobre o mesmo, garantindo a constância do peso dos sacos de cimento, 50 kg e 25 Kg.

Em meados de 2004 a empresa passa por processo de certificação baseada na NBR 5736 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que estabelece as especificações para o Cimento Portland Pozolânico. Para o processo de certificação foram realizadas várias modificações, como reforma do laboratório de controle de qualidade, investimentos em novos equipamentos de laboratório, intensificação dos controles das matérias primas, do processo de moagem e produto acabado. Em outubro de 2005 a empresa recebeu certificação, tornando-se assim a primeira misturadora do Sul do Brasil a ter sua qualidade comprovada por um órgão certificador reconhecido pelo INMETRO.

A Figura 1 apresenta a vista das instalações administrativas da empresa Pozolana, bem como as suas instalações industriais ao fundo deste plano.



Figura 1 – Vista da frente da empresa Pozolana
fonte: autor

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de aditivos a base de aminos durante o processo de moagem da cinza “Fly Ash” da empresa Pozolana Indústria e Comércio Ltda.

2.2 Objetivos específicos

- Redução dos custos de produção;
- Melhoria das propriedades físico-químicas do cimento;
- Aumento das resistências iniciais;
- Aumento da fluidez da cinza “Fly Ash”.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1. Cimento Portland

É um aglomerante hidráulico obtido pela moagem ultra fina do “Clínquer Portland” e do Sulfato de Cálcio ou gesso. O aglomerante hidráulico é todo composto que necessita de água para reagir, uma vez hidratado o mesmo adquire uma estrutura rígida e compacta, não retornando mais à condição original, (Farenzena, Hélio 1995).

3.1.1. Processo de fabricação do cimento Portland

A produção e utilização do cimento Portland é bem antiga, iniciando-se no Antigo Egito, onde se empregava gesso impuro com cal. Os gregos e romanos misturaram cal dos egípcios com água, areia e pedra fragmentada, originando o primeiro concreto da História. Na Idade Média, houve um grande declínio no uso do cimento, só retornando em 1756, quando John Smeaton, encarregado de reconstruir o farol de Eddystone, desenvolve uma argamassa resultante da queima de argila e cal. Em 1824, John Aspdin patenteou o aglomerante de nódulos calcinado de calcário argiloso em proporções apropriadas com o nome de cimento Portland. Mas, alguns anos antes, Louis Vicat já havia publicado os resultados de suas experiências realizadas sobre a produção e emprego de um novo aglomerante, o cimento artificial (Andriolo e Scandiuzzi, 1986).

Nos dias atuais, o cimento Portland é definido como aglomerante hidráulico obtido pela moagem de Clínquer Portland com adição, durante a moagem, de pequena quantidade de sulfato de cálcio para regular o tempo do início de hidratação dos componentes.

Essencialmente, 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 com 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 transportada 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 (Vieira, 2007).

A Figura 2 mostra um esquema bem simplificado do processo de fabricação do cimento Portland.

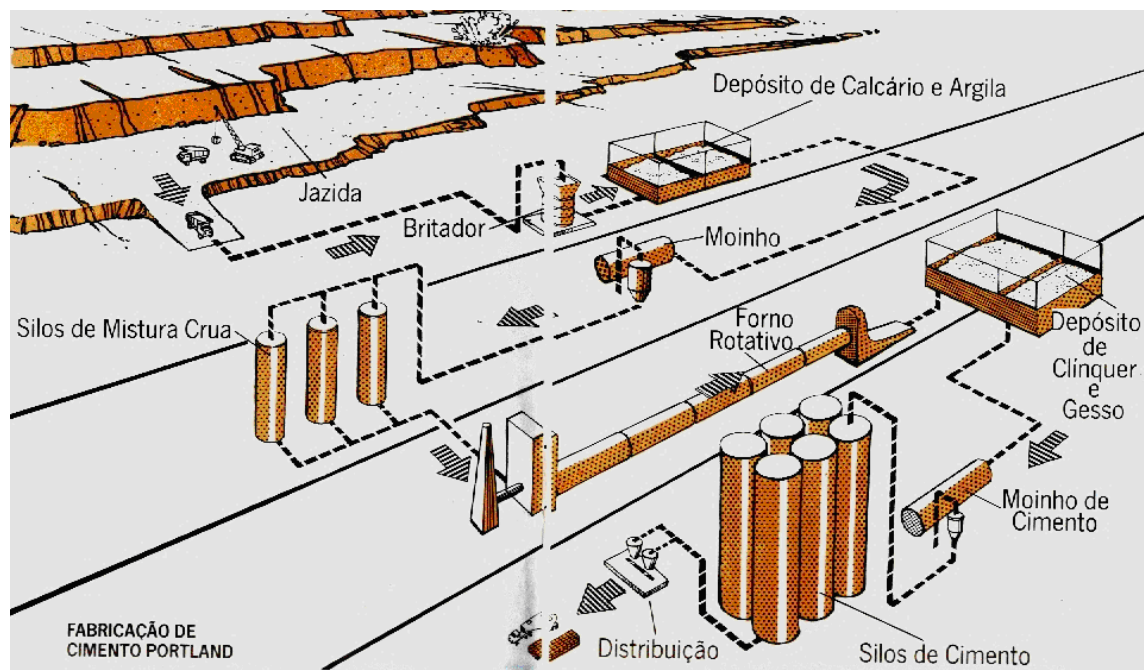


Figura 2 – fluxograma de fabricação de cimento
Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

3.1.2. Tipos de Cimento Portland

Diferentes tipos de cimento Portland são fabricados para atender as diversas utilidades específicas, tais como durabilidade e resistência. O mercado nacional dispõe de diversos tipos de cimento e são cobertos pela "American Standart Test Measurements" (ASTM) ASTM C 150. Esses tipos e suas respectivas descrições de uso estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de cimento e suas aplicações

<i>Tipo de cimento</i>	<i>Aplicação</i>
Cimento Portland Comum (CP I) NBR 5732	Este tipo de cimento não possui quaisquer 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.

<i>Tipo de cimento</i>	<i>Aplicação</i>
Cimento Portland II (CP II) NBR 11578	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 industrial. Este cimento apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo.
Cimento Portland de alto forno (CP III) NBR 5735	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 agregados, 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) NBR 5736	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) NBR 5737	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 fábricas 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) NBR 5733	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. Pode ser utilizado ainda em elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada entre outros.

Fonte: Autor

Esses tipos de cimento se diferem de acordo com a proporção do clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentados no processo de moagem. Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca etc. O Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I – S), de 1% a 5% de material pozolânico, escoria ou filler calcário. O Cimento Portland Composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F) podem conter adição de 5% a 15% de escória, pozolana e filler. Já o Cimento Portland de Alto Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adição como de 35% a 70% de escoria para CP III e de 15% a 50% de pozolana para CP IV (Vieira, 2007).

3.2. Pozolanas

Os materiais pozolânicos são produtos naturais e artificiais, constituídos essencialmente por sílica e alumina, que por si só possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante e hidráulica, entretanto quando preparados adequadamente (moídos), exibem a propriedade de reagir em meio aquoso e a temperatura ambiente com o hidróxido de cálcio, proporcionando a formação de novos compostos, com propriedades aglomerantes (cimentícias) e, portanto, insolúveis em água.

Em tecnologia de cimento, pozolana é todo o material silicoso ou silico-aluminoso 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.

3.2.1. Pozolanas Naturais

São materiais de origem vulcânica e geralmente ácidos, ou de origem sedimentar. As erupções de origem vulcânica explosivas projetam gotas líquidas de materiais silicosos e sílico-aluminosos a grandes alturas, que ao esfriar-se, formam compostos não cristalizados (vítreos/amorfos) de alta reatividade. Um exemplo clássico de erupção explosiva com formação de matérias pozolânicos, foi a erupção do monte vesúvel, em 79 A.C., (Farenzena, Hélio 1995).

As erupções de origem sedimentar ou não explosiva, proporcionam a formação de grande quantidade de compostos silicosos e silico-aluminosos cristalizados e portanto, compostos com baixa reatividade que devido as suas ligações serem rígidas, são compostos estruturalmente estáveis e sem nenhuma atividade pozolânica. As pozolanas de origem sedimentar, geralmente possuem em seu estado “in natura” baixa atividade pozolânica.

O fator determinante do maior ou menor potencial reativo destas pozolanas está fundamentado na homogeneidade da composição dos materiais ou proporção dos elementos primários e secundários, e acima de tudo, da temperatura que as mesmas são submetidas durante o processo de formação, (Farenzena, Hélio 1995).

3.2.2. Pozolanas Artificiais

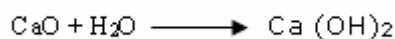
São materiais geralmente particulados que possuem atividade pozolânica, proveniente de tratamento térmico (argilas calcinadas), subprodutos decorrentes do processo de combustão industrial (cinza volantes, cinza de casca de arroz), subprodutos decorrentes da fabricação de ferro-ligas e silício metálico (microsilica), subprodutos provenientes da combustão de rejeitos carboargilosos (xisto pozolânico), rejeitos sílico-aluminosos provenientes de craqueamento de petróleo, cinza provenientes da queima de resíduos vegetais e escórias siderúrgicas ácidas.

3.2.3. Justificativa do uso de pozolanas como aditivo ao cimento

O material pozolânico tem a capacidade de se combinar com a cal livre do cimento (óxido de cálcio), que quando hidratado toma a forma de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2).

O hidróxido de cálcio é muito sensível a ataques químicos, pois é dissolvido pela água e é arrastado através de poros. Este processo de dissolução aumenta a porosidade da pasta endurecida e com ela sua permeabilidade, o que acelera a corrosão dos embutidos metálicos, diminuindo a resistência mecânica e permitindo o ataque de agentes agressivos ao concreto (**Andriolo e Scanduzzi, 1986**).

Do ponto de vista de resistência, o constituinte mais importante do cimento é o C_3S ou silicato tricálcico, pois reage rapidamente com a água, atingindo grande resistência em até 7 dias, porém, um alto teor de C_3S requer um grau de saturação de cal (CaO) no clínquer muito grande, com o risco de uma elevada proporção de cal livre (CaO), que hidratada se transforma em hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 . Nesta reação entre a cal livre e água ocorre uma expansão, que pode originar fissurações.



Outro constituinte do cimento é o C_3A ou tetracálcio alumino ferrita, que juntamente com o C_3S , confere ao cimento, um elevado calor de hidratação, e isto podendo provocar fissuras no concreto por excessiva retração térmica. Portanto, o cimento Portland possui dois problemas a serem tratados: a expansibilidade (expansão e retração) e a durabilidade (resistência química). Por estes motivos substitui-se uma parte do cimento por material pozolânico, pois estes apresentam os mesmos óxidos utilizados

na produção do cimento. Estes óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3), reagem com a cal livre, formando produtos com propriedades aglomerantes do mesmo tipo dos formados na hidratação dos silicatos do clínquer (CSH), porém, de natureza diferente, de mais baixa relação CaO/SiO_2 , menos alcalinos e por essa razão, quimicamente mais estáveis e resistentes aos meios agressivos. Reduzindo consideravelmente o teor de hidróxido de cálcio da hidratação do cimento portland e formando com ele um novo composto de elevado poder aglomerante. O material pozzolânico não só elimina o composto vulnerável, como também forma componentes muito mais estáveis e resistentes.

O problema de retração térmica devido ao calor de hidratação do cimento, também é minimizado pelo material pozzolânico. A substituição de uma parte do cimento por uma quantidade equivalente de pozzolana reduzirá o calor de hidratação de forma proporcional à quantidade substituída (Vieira, 2007).

Um outro problema do concreto é a expansão causada pela reação dos álcalis do cimento com o agregado reativo. O material pozzolânico reage prontamente com os álcalis impedindo que os mesmos se concentrem na superfície dos agregados, evitando a reação expansiva (Vieira, 2007).

3.2.4. Vantagens do uso de Pozolanas

- *Diminuição da segregação e melhorar a trabalhabilidade*

Essa melhoria é mais pronunciada nos concretos “pobres” (altas relações água/cimento) do que nos ricos (baixa relação água/cimento), e depende diretamente da finura do produto e da porcentagem substituída.

- *Redução do calor de hidratação e com isso a redução térmica*

Substituindo-se uma parte do cimento por pozzolana, estaremos trocando substâncias com alto calor de hidratação por outros de baixa hidratação, por isso, a redução de calor de hidratação é proporcional a quantidade de cimento substituída.

- *Aumento da impermeabilidade*

Isso ocorre quando a pozzolana reage com hidróxido de cálcio do cimento e forma produtos insolúveis, enquanto que o cimento sem pozzolana pode conter o hidróxido de cálcio o qual, quando arrastado pela água deixa poros no concreto.

- *Aumento da resistência aos ataques químicos (água, solos, sulfatos, águas do mar, etc.)*

Com a eliminação do composto vulnerável, no caso, o hidróxido de sódio, e com o aumento da impermeabilidade, o concreto torna-se resistente a agentes agressivos.

- *Impede a expansão e desintegração causada pela reação entre agregados reativos com o álcali do cimento*

A pozolana reage com o álcali do cimento antes que este possa reagir com os agregados reativos.

- *Redução d o custo*

A pozolana possui um custo bem menor que o cimento e proporciona inúmeras vantagens ao seu concreto.

3.2.5. Desvantagem do uso da Pozolana

- Redução da velocidade de endurecimento e da resistência mecânica nas primeiras idades, o que nada afeta em idades mais avançadas.
- A reação da pozolana na temperatura ambiente é lenta, porém nas idades mais avançadas confere uma excelente resistência ao concreto.

3.3. Cinza Volante (FLY-ASH)

As cinzas volantes são resíduos obtidos em usinas termelétricas resultantes da combustão do carvão em pó, usado em forma de combustível. Estes resíduos conduzidos pelos gases e precipitados em filtro eletrostáticos ou precipitadores mecânicos, em geral, possuem partículas esféricas com grande variação de tamanho.

As propriedades físicas da cinza volante dependem da composição do carvão e do seu grau de pulverização, da eficiência da combustão e do sistema de coleta.

Historicamente as cinzas volantes passaram a ter seu uso intensificado como aditivo de concreto a partir de 1930 nos E.U.A e a partir de 1950 no Canadá. Sua participação efetiva na fabricação de cimento Portland somente foi intensificada, a partir de 1970 na França, Itália e Inglaterra e em 1980 na Alemanha. No Brasil iniciou em 1969 pela S.A. Indústrias Reunidas Matarazzo, em sua unidade de fabricação de cimento localizada no município de Canoas-RS.

No Brasil as fontes geradoras da cinza “Fly Ash”, estão localizadas na Região Sul, compreendendo aos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, (Farenzena, Hélio 1995).

3.3.1. Processo de obtenção da cinza volante por combustão a seco com tiragem artificial

Neste tipo de processo o carvão utilizado necessita de um beneficiamento preliminar (moagem), a fim de melhorar a eficiência da queima. O carvão pulverizado é injetado para dentro de uma fornalha com temperatura de 1200 – 1300 °C por meio de maçaricos, de modo que somente uma pequena porção (10-15%) de cinza, se apresenta em forma granulada (cinza pesada), enquanto que a fração restante é arrastada pela corrente de gases e recolhida nos precipitadores de pó. Este processo é utilizado pela termelétrica Jorge Lacerda situada em Capivari de Baixo-SC. A Figura 3 mostra um fluxograma simplificado do processo de fabricação da cinza volante através do processo de combustão a seco com tiragem artificial.

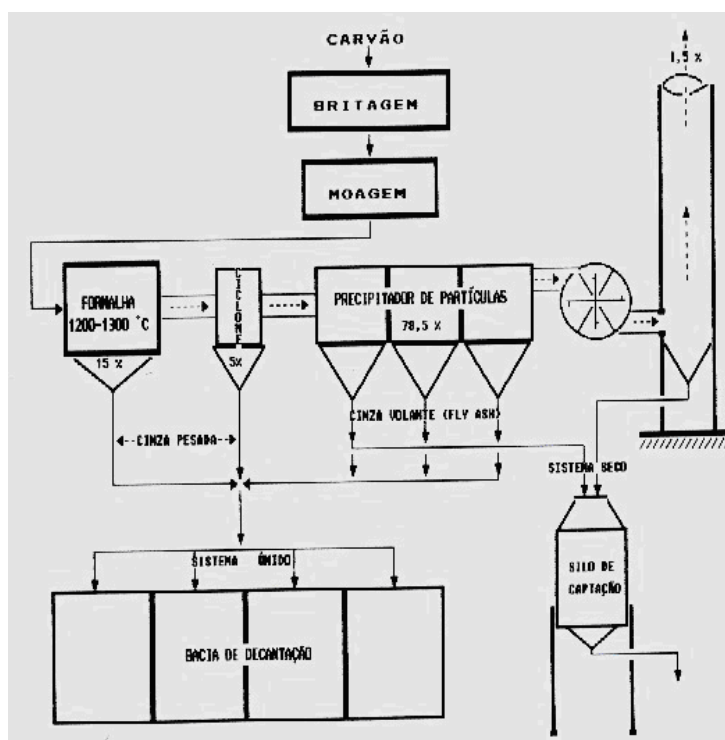


Figura 3 – Fluxograma processo de fabricação das cinzas volantes através de sistema de combustão de carvão com extração mecânica a seco.

Fonte: Potencial técnico das cinzas volantes na fabricação de cimento portland escrito por Helio V. Farenzena.

3.4. Moagem fina e ultrafina de Minerais industriais

Nas operações de moagem fina, com granulometria menor que 100 μm , e ultrafina, menor que 10 μm , são usados diferentes tipos de moinhos. Estes podem ser classificados de acordo com o mecanismo de fragmentação, que depende da resistência do material a ser processado ou do ambiente de moagem (seco/úmido).

Nos moinhos industriais, com exceção dos moinhos de faca, apenas os materiais quebradiços podem ser processados. Os materiais que apresentam plasticidade, quando submetidos ao processo de deformação, em alguns casos, só podem ser moídos se recursos de secagem ou técnicas criogênicas forem utilizadas. Na moagem de materiais resistentes e/ou abrasivos ocorre a contaminação do produto pela abrasão da carcaça ou do meio moedor. Para minimizar essa contaminação, são utilizados moinhos revestidos de materiais resistentes, tais como metais duros, carbetos de tungstênio, óxido de alumínio, carbetos de silício, dióxido de zircônio, entre outros. Em alguns moinhos, a câmara de fragmentação é revestida com uma camada do próprio material; em outros, o meio moedor consiste do próprio material, os “pebbles”. Em moagens onde há requisitos de pureza elevadas, os moinhos são revestidos com aços especiais e os contaminantes são removidos da polpa por lavagem ácida, numa etapa posterior do processo de moagem (Beraldo, 1987).

As operações de moagem podem ser realizadas num ambiente úmido ou seco, dependendo do tipo de moinho e da destinação do produto final. Na moagem ultrafina, geralmente, a aplicação prevista dos produtos determina o ambiente. Assim, realiza-se a moagem em ambiente seco, quando a aplicação do material na forma de pó, e em ambiente úmido, quando em forma de polpa.

3.4.1. Moinhos Vibratórios

Os moinhos vibratórios dividem-se em dois tipos, de cilindros horizontais e de cilindros verticais. Os moinhos com cilindros horizontais são adequados para a moagem fina em operação contínua. Nesses equipamentos, dois ou três cilindros são conjugados num único conjunto. Os cilindros alcançam comprimentos de até 4 m e diâmetros de 0,65 m, as capacidades variam de 20 a 40 t/h. A granulometria da alimentação dos moinhos com cilindros horizontais pode variar entre 1 a 10 mm.

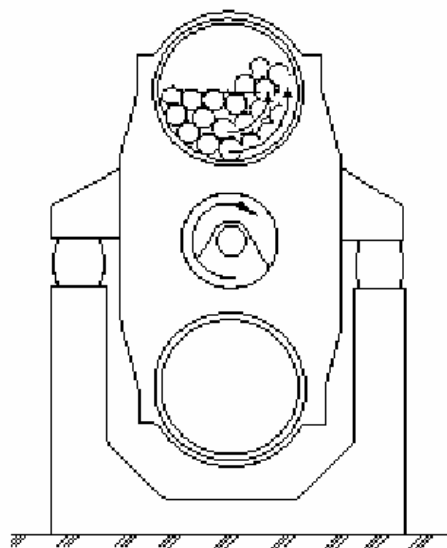


Figura 4 – Moinho vibratório de barras
(Fonte: Beraldo, J.L)

Os moinhos com cilindros verticais são adequados para a moagem ultrafina em operação descontínua. Esses moinhos possuem carcaças com volume de 0,6 até 250 L e são operados com meio-moedores muito finos.

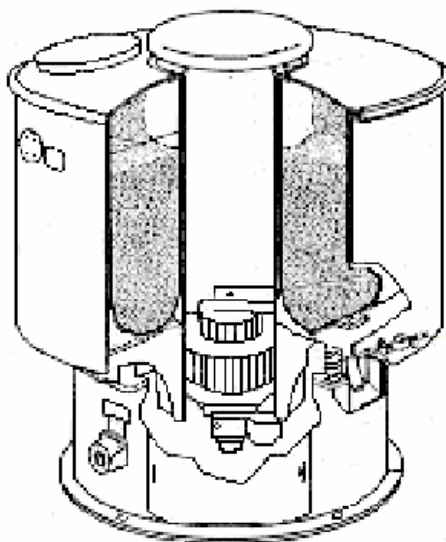


Figura 5 – Moinho vibratório modelo vertical
Fonte: Beraldo, J.L

Nos moinhos vibratórios, o meio moedor é movido por vibração provocada pelo movimento oscilante da carcaça, em trajetória circular de alta frequência. Para tal, as carcaças são suportadas elasticamente e acopladas a um sistema de massas centrífugas. Esse movimento específico do meio moedor permite a moagem de materiais friáveis e

abrasivos, com resistência alta ou média à fragmentação, tais como escória, quartzo, areias quartzíticas e argila refratária, com baixas taxas de desgaste do moinho e meio moedor (Sanchez, 1990).

3.5. Moagem das cinzas volantes

A moagem das cinzas volantes se justifica sob o ponto de vista técnico, sendo que no estado “in natura” são materiais com granulometria muito variável. Os principais objetivos da moagem das cinzas são:

- Otimização da fração ativa;
- A trituração ou moagem dos agrupamentos de partículas maiores, proporcionando aumento da fração superfina e consequentemente da superfície específica.
- Ativação da superfície das cinzas, provocada pela destruição das capas a base de Fe_2O_3 , Fe_3O_4 e compostos de sulfatos existente na superfície das partículas, que dificulta ou inibem a reação do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ com a SiO_2 ;
- Eliminação dos aglomerados de partículas esponjosas que por absorverem muita água afetam a trabalhabilidade das argamassas e concreto de cimento;
- Ajuste da fração granulométrica para obtenção de uma fração super fina, proporcionando um alto grau de compactação e superfície de contato;
- Homogeneização dos sulfatos solúveis (reativos) que as vezes se encontram presentes na formação das capas das esferas maiores.

3.6. Aditivos para moagem

Os aditivos para moagem a base de aminas e cloretos são produtos introduzidos durante o processo de moagem, que têm por objetivo a redução dos custos de produção e a melhora das características de desempenho do cimento. Reflexos que podem ser provocados pela utilização dos aditivos de moagem:

- Aumento de Produção (tipicamente 5-20%)
- Redução de kWh/t e custos de Matéria Prima
- Aumento da fluidez da cinza
- Estreitamento da Curva de Distribuição de Partículas
- Aumento das resistências iniciais

- Melhora das propriedades reológicas
- Menor demanda de água no concreto.

3.6.1. Reação do aditivo com o cimento

O cimento tem como principais constituintes o C_3S – Silicato Tricálcico ($3CaO.SiO_2$), C_2S – Silicatos Bicálcico ($2CaO.SiO_2$), C_3A – Aluminato Tricálcico ($3CaO.Al_2O_3$) e o C_4AF – Tetracloretos ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$).

Cada um destes constituintes possui uma função diferente no processo de hidratação do cimento, conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 – Principais constituintes do cimento e suas funções

Constituintes	Funções
C_3S	Responsável pela resistência a curta e média idades.
C_2S	Responsável pela resistência a médias e longas idades.
C_3A	Responsável pelo tempo de início de pega e estabilidade química do cimento, contribuindo para as resistências iniciais.
C_4AF	Responsável pela cor do cimento, sua contribuição na resistência do cimento ainda é pouco expressiva.

Fonte: Autor

Os constituintes C_4AF e C_3A ficam na fase intersticial, que envolve os outros dois constituintes (C_2S e C_3S). Esta fase intersticial é envolvida por uma barreira rica em ferro, com a qual o aditivo de moagem reage, quebrando esta barreira e liberando os constituintes do cimento responsáveis pelo desenvolvimento de resistência (C_2S e C_3S), aumentando assim a reatividade dos mesmos. Isso ocorre porque facilita a hidratação destes silicatos, contribuindo para o aumento da resistência (Vieira, 2007). A Figura 6 ilustra o processo descrito anteriormente.

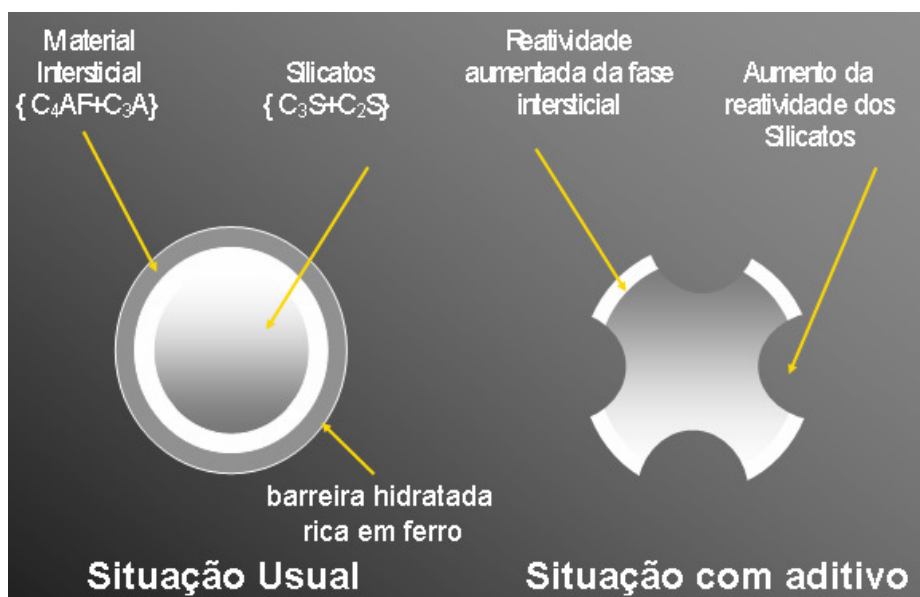


Figura 6 – Ilustração da reação do aditivo com o cimento
Fonte: Autor

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Testes Preliminares

Os testes preliminares foram realizados no laboratório da empresa, a fim de se determinar as proporções iniciais dos aditivos, avaliar os parâmetros de desempenho e avaliar a possibilidade da utilização do aditivo no processo de moagem.

4.1.1. Moagem

Primeiramente foi realizada a moagem da cinza volante (Fly Ash) no moinho do laboratório. Foram realizados diversos testes de moagem variando a quantidade de aditivo, após a moagem, foi preparada a mistura da cinza volante já aditivada com o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI), variando também o percentual de cinza.

Para avaliar melhor as formulações, foram realizados testes físicos e mecânicos como, resistência à compressão e análise granulométrica. A Figura 7 ilustra o processo descrito anteriormente.

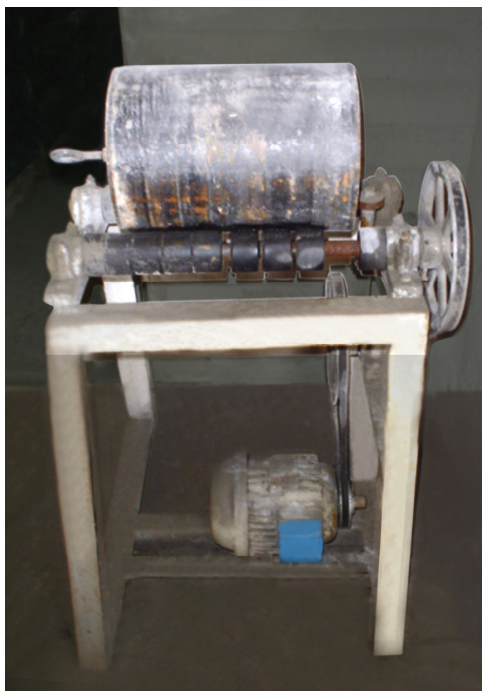


Figura 7 – Moinho do laboratório
Fonte: Autor

4.1.2. Resistência à compressão

A resistência mecânica do cimento é a propriedade mais indicada para os objetivos estruturais. A resistência é solicitada em todas as especificações.

A resistência mecânica dos cimentos é determinada por meio de corpos de prova cilíndricos, moldados com argamassa padronizada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Após a moldagem são submetidos a um período de cura inicial ao ar e a um período final em água, da seguinte maneira:

a) Cura inicial ao ar: os corpos de prova ainda nos moldes são colocados em câmara úmida, onde devem permanecer durante 24 horas com a face superior coberta com uma placa de vidro plana. Os corpos de prova referentes aos diferentes amassamentos devem ser aleatoriamente agrupados em séries distintas de quatro corpos de prova, sendo que cada série corresponde a uma idade (1 dia, 3 dias, 7 dias e 28 dias). A Figura 8 ilustra o procedimento realizado no laboratório.



Figura 8 – Moldagem e cura inicial
Fonte: Autor

b) Cura final em água: os corpos de prova são retirados das formas, identificados por idades, em seguida são imersos em um tanque com água não corrente e saturada com cal, exceto aqueles que serão rompidos com 24 horas de idade. Os corpos de prova devem permanecer submersos até o momento do rompimento. A Figura 9 apresenta as instalações utilizadas no laboratório da empresa Pozolana.



Figura 9 – Câmara úmida e Tanque de Cura
Fonte: Autor

Após o término do período de cura final, os corpos de prova são submetidos ao teste de resistência à compressão, o mesmo é realizado em uma prensa mecânica. Antes do rompimento os corpos de prova passam por uma espécie de nivelamento das bases, chamado de capeamento. O capeamento é feito a partir de uma mistura de enxofre com cinza que quando aquecido passa do estado sólido para líquido facilitando assim o nivelamento das bases dos corpos de prova. A Figura 10 apresenta a prensa utilizada no teste de rompimento.



Figura 10 – Rompimento dos corpos de prova
Fonte: Autor

4.1.3. Análise granulométrica

A pulverização do clínquer ou cinza até a granulometria desejada através da moagem, permite aumentar a característica do material de duas maneiras. A maior presença de material fino ou moído proporciona um maior envolvimento da superfície de grão de areia ou outro material mais grosso, ocorrendo desta forma um contato mais íntimo entre os componentes da argamassa. Assim a reação entre o cimento e a água ocorre mais rapidamente.

A finura ou grau de moagem é determinado por meio de peneiramento, através de peneiras com malha nº 325 (0,045 mm) por via úmido. A Figura 11 apresenta as instalações para o ensaio de peneiramento utilizados no laboratório da Pozolana.



Figura 11 – Determinação da finura por peneiramento via úmido
Fonte: Autor

4.2. Testes Industriais

Nos testes industriais foram reproduzidos os mesmos testes realizados no laboratório, só que dessa vez em escala maior. Os testes foram conduzidos da seguinte forma: em um dos moinhos foi adicionado o aditivo através de uma bomba dosadora. Logo após a moagem da cinza foi extraída uma amostra, a qual foi misturada com Cimento Portland (CP V ARI). Posteriormente foram realizados os testes de resistência à compressão e análise granulometria.

4.2.1. Descrição do processo de moagem

4.2.1.1. Matéria Prima

A matéria prima utilizada no processo de moagem é a cinza volante ou “Fly Ash”, comercializada pela usina termelétrica Jorge Lacerda hoje Tractebel. A mesma chega até a empresa em carretas silos e são descarregas no silo 1 da empresa, através de um sistema de transporte pneumático.

4.2.1.3. Estocagem da matéria-prima e do produto moído

Todos os produtos, desde as matérias-primas até o produto acabado, são estocados em silos metálicos que não provocam nenhuma contaminação ou reação com os materiais. Cada produto possui um silo específico para armazenagem, sendo que a cinza bruta fica armazenada no silo identificado como 1 e a cinza moída no silo 2.

O silo 1 para cinza bruta tem capacidade de armazenamento de 1600 toneladas, cujas dimensões são 18 metros de altura e 12 metros de diâmetro.

O silo 2 para cinza moída tem capacidade de 600 toneladas, cujas dimensões são 21 m de altura e 7 metros de diâmetro.

4.2.1.2. Moinhos

Os moinhos são do tipo horizontal vibratório (modelo Palla), preparados para moer materiais finos. Cada moinho é constituído por dois cilindros que possui como corpos moedores, barras cilíndricas. Hoje a empresa opera com um total de quatro moinhos.

O transporte da cinza volante bruta do silo 1 para os moinhos é realizado através de calha fluidizada que vai até um elevador de canecos (elevador 1). O mesmo leva as cinzas a uma altura de aproximadamente onze metros até uma outra calha fluidizada, onde é feita a distribuição para as caixas dos moinhos. A alimentação dos moinhos é feita através de válvulas dosadoras com velocidade variável, que estão instaladas na base das caixas dos moinhos.

Os quatro moinhos produzem em média nove toneladas por hora. Após a moagem até a granulometria desejada, a cinza moída é levada através de calhas pneumáticas e elevador de canecos para o silo 2. A Figura 12 apresenta as instalações de moagem da Pozolana.



Figura 12 – Moinhos horizontais de Barras
Fonte: Autor

4.2.1.4. Dosagem do aditivo

O aditivo a base de aminas será adicionado no ponto de alimentação do moinho através de bomba dosadora de diafragma.

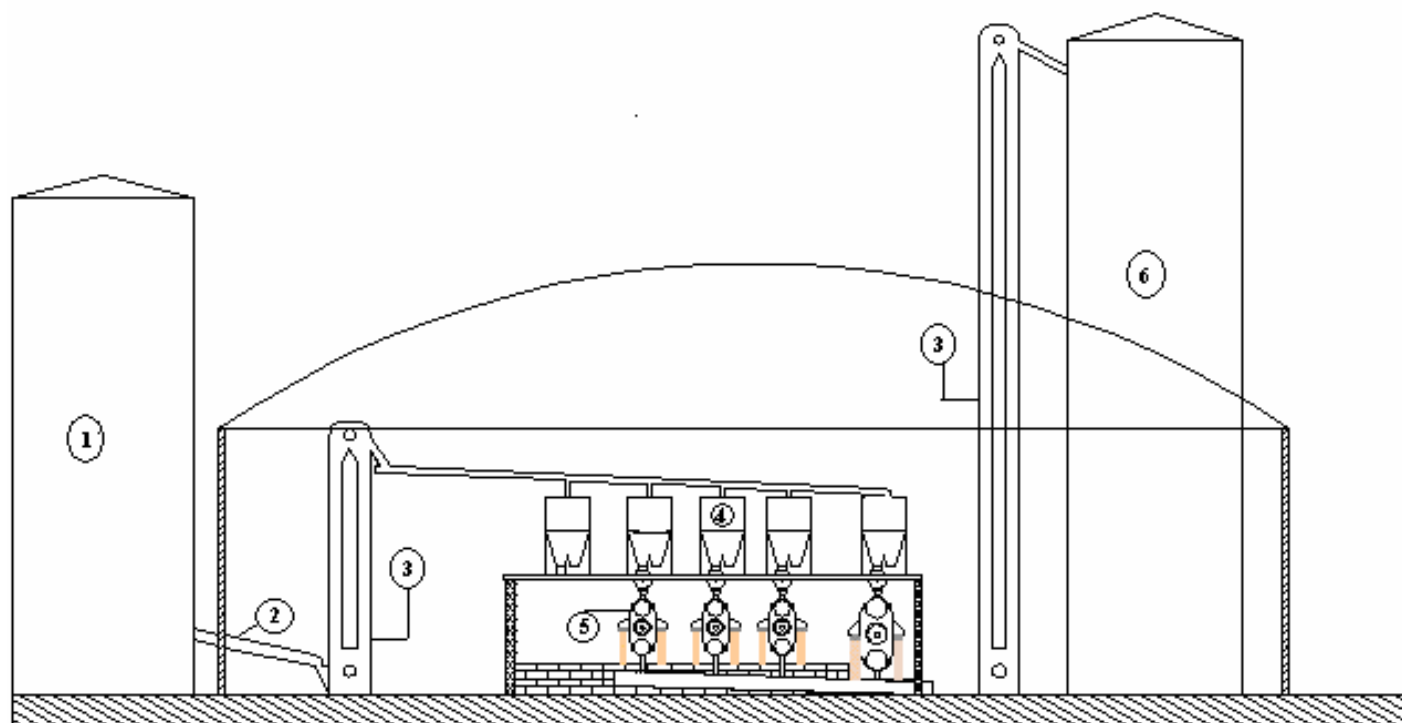
Este tipo de bomba é indicado para processos onde existe a necessidade de adicionar produtos químicos com controle de vazão. A bomba foi acoplada em uma base na entrada do moinho e o seu acionamento foi realizado através de um variador de velocidade.

A quantidade do aditivo foi adicionada conforme determinado nos testes de laboratório. Para controlar e garantir que a bomba estava fornecendo a quantidade desejada ao processo foram realizadas sucessivas medidas de vazão. A Figura 13 apresenta a bomba dosadora utilizada nos testes industriais.



Figura 13 – Bomba dosadora de diafragma com um cabeçote

A **figura 14** a seguir, faz uma apresentação detalhada do processo de moagem sem aditivo, da empresa Pozosul.


LEGENDA:

- ① Silo N° 1 Cinza bruta
- ② Calha Pneumática
- ③ Elevador de canecos
- ④ Caixas de alimentação dos moinhos
- ⑤ Moinhos de barras
- ⑥ Silo N° 2 Cinza Moída

Figura 14 – Processo atual de moagem da Cinza volante sem Aditivo

Fonte: Autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados dos testes realizados nas instalações da empresa Pozolana, os quais foram divididos em duas partes, os testes laboratoriais e os testes industriais.

O objetivo principal dos testes realizados foi a avaliação do desempenho do aditivo a base de aminas através dos comparativos dos testes de resistência à compressão, do produto acabado (CP IV-32) com e sem o aditivo, bem como o comportamento operacional dos moinhos durante a moagem da cinza bruta com o mesmo aditivo.

5.6. Resultados dos testes laboratoriais

Para a realização dos testes laboratoriais foram realizadas operações de moagem de cinza bruta variando a percentagem de aditivo, tendo como base inicial a quantidade sugerida pelo fabricante do aditivo, ou seja, 0,312%. Para o controle da moagem foi utilizado o valor especificado pela empresa para seu processo tradicional, onde o limite máximo é de 10% retido na peneira 0,044 mm (nº 325), ensaio realizado conforme a NBR 9202:1985.

Para a avaliação do desempenho do aditivo foram realizadas diferentes formulações para a produção do cimento Portland pozolânico (CP IV – 32) com aditivo, em escala laboratorial, alterando os percentuais das matérias-primas para a realização do ensaio de resistência a compressão, realizado conforme NBR 7215/1996. Na Tabela 3 será apresentado os resultados obtidos das análises granulométricas e dos ensaios de resistência a compressão das formulações preparadas.

Tabela 3 – Resultados da Análise Granulométrica e da Resistência a Compressão dos testes realizados em escala laboratorial. Com o uso de aditivo durante o processo de moagem utilizando diferentes formulações.

Formulações	Quantidade de aditivo (%)	Retido # 325 (%)	Resistência à compressão (Mpa)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Referência	0,000	3,60	18,10	22,13	33,29
A	0,624	8,30	22,93	26,04	41,17
B	0,624	8,30	19,04	25,08	36,01
C	0,624	5,10	17,26	25,73	39,48
D	0,312	4,60	18,88	23,91	37,36
Valores especificados NBR 5736			≥ 10,00	≥ 20,00	≥ 32,00

Os resultados das formulações A e C, foram os que demonstraram os melhores resultados. Sendo que na formulação A conseguiu-se um grande aumento na resistência à compressão, porém, não se obteve nenhuma redução de custo, pois a formulação utilizada foi a mesma da referência com acréscimo do aditivo. Já na formulação C conseguiu-se reduzir em até 7% o consumo da matéria prima de maior custo na fabricação do cimento portland pozolânico e ao mesmo tempo, um aumento na resistência a compressão. Como o objetivo principal do uso de aditivo no processo é a redução de custo de matérias primas, a formulação que mais se destacou nos testes de laboratório foi à formulação C.

O gráfico apresentado na Figura 16 mostra o desempenho de resistência a compressão da formulação C em relação à formulação referência.

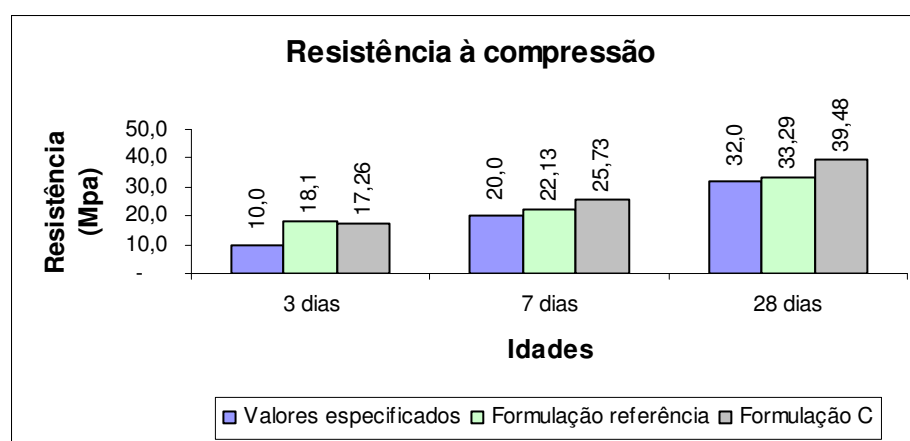


Figura 15 – Desempenho da resistência à compressão com a melhor formulação (C)
Fonte: Autor

5.7. Resultados dos testes industriais

Com o objetivo de reproduzir as formulações A e C em escala industrial, iniciou-se a moagem com adição de 0,624% de aditivo. Porém com esta adição aconteceram muitos problemas operacionais nos moinhos, pois a cinza do cilindro superior umedecia e entupia a passagem para o cilindro inferior. Como consequência, o cilindro superior ficava com excesso de material, entortado as barras (corpos moedores dos moinhos) e alterando significativamente a corrente elétrica dos motores dos moinhos. Apesar das dificuldades, a formulação A foi reproduzida, porém a C foi descartada.

Desta forma diminuiu-se a quantidade de aditivo, na tentativa de melhorar o comportamento dos moinhos, onde se conseguiu adicionar 0,312%, conforme a formulação D.

Além das formulações desenvolvidas em laboratório (**A, B, C e D**), durante os testes industriais foram criadas mais duas formulações **E e F** onde, foi mantido a quantidade de 0,312% de aditivo, alterado-se apenas as quantidades das matérias primas.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise granulométrica e da resistência a compressão do produto acabado (CP IV -32). Com o uso de aditivo durante o processo de moagem utilizando diferentes formulações.

Tabela 4 – Resultados dos testes industriais

Formulações	Quantidade de aditivo (%)	Retido # 325 (%)	Resistência à compressão (Mpa)		
			3 dias	7 dias	28 dias
Referência	0,000	3,60	18,10	22,13	33,29
A	0,624	3,40	20,80	26,12	41,24
D	0,312	2,10	18,68	22,55	32,18
E	0,312	3,21	17,31	22,15	32,88
F	0,312	5,32	16,41	20,10	29,45
Valores especificados NBR 5736			≥ 10,00	≥ 20,00	≥ 32,00

Fonte: Autor

As formulações **A e E**, foram as que demonstraram os melhores resultados. Sendo que na formulação A conseguiu-se um grande aumento na resistência à compressão, porém a quantidade de aditivo (0,624%) adicionada no moinho provocou os problemas operacionais conforme citado anteriormente. Como esta formulação não reduziu o custo de produção do cimento portland pozolânico, pois a alteração em relação a formulação referência foi de apenas o acréscimo do aditivo, a mesma foi descartada. Já na formulação E conseguiu-se reduzir em até 3,00% o consumo das matérias-primas do cimento portland pozolânico e a resistência à compressão ficou dentro dos valores especificados pela NBR 5736.

Como o objetivo principal do uso de aditivo no processo é a redução dos custos, concluiu-se que a formulação que mais se destacou nos testes industriais foi à formulação E.

O gráfico da Figura 16 mostra o desempenho da resistência a compressão da melhor formulação com aditivos desenvolvida nos testes industriais em relação á resistência da formulação referência da empresa e a resistência especificada na NBR 5736.

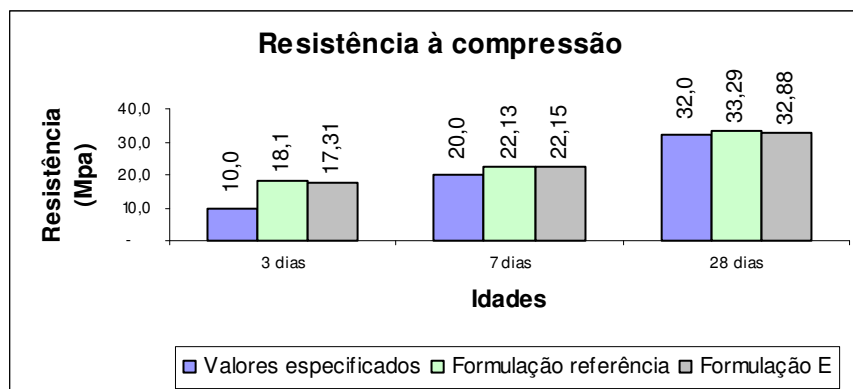


Figura 16 – Desempenho da resistência à compressão com a melhor formulação
Fonte: Autor

5.8. Análise Econômica

A análise econômica terá um embasamento visando à redução de custos das matérias-primas para fabricação do cimento Portland Pozzolanico.

Para implantação do uso do aditivo no processo foram necessários alguns investimentos como: Bombas, Tubulações e caixas de fibra. A Tabela 5 demonstra os custos destes investimentos.

Tabela 5 - Custos gerados para implantação do uso do aditivo no processo de moagem da cinza bruta. 1

Investimentos	Quantidade	Custo Total
Bomba dosadora de diafragma com um cabeçote	4	R\$ 4400,00
Bomba de engrenagem	1	R\$ 720,00
Caixa de fibra com tampa	1	R\$ 500,00
Tubulações	1	R\$ 63,00
TOTAL		R\$ 5.683,00

Fonte: Autor

Como demonstrado anteriormente nos testes industriais o aditivo apresentou um bom desempenho, possibilitando assim uma alteração na formulação inicial, onde a matéria prima de maior custo pode ser substituída por outra de custo mais baixo.

A Tabela 6 apresenta a redução de custos obtidos com a nova formulação (E), baseando-se em uma produção de 160.000 sacos (8000,00 ton) de CP IV -32 produzidos no mês.

Tabela 6 – Demonstrativo da redução de custo mensal

Matérias Prima	Custo/ton Formulação Referência	Custo/ton Formulação E	Custo de Produção Sem Aditivo	Custo de Produção Com Aditivo	Redução de Custo Mensal	Redução de Custo Anual
1	R\$ 121,60	R\$ 114,59	R\$ 972.800,00	R\$ 916.720,00	R\$ 56.080,00	R\$ 672.960,00
2	R\$ 11,88	R\$ 12,62	R\$ 95.040,00	R\$ 100.960,00	-R\$ 5.920,00	-R\$ 71.040,00
Aditivo à base de aminas	R\$ 0,00	R\$ 3,90	R\$ 0,00	R\$ 31.200,00	-R\$ 31.200,00	-R\$ 374.400,00
TOTAL	R\$ 133,48	R\$ 131,11	R\$ 1.067.840,00	R\$ 1.048.880,00	R\$ 18.960,00	R\$ 227.520,00

Fonte: Autor

É possível verificar através da análise econômica, que o custo gerado para implantação do uso do aditivo no processo foi de aproximadamente R\$ 5.683,00 reais e conforme demonstra tabela 6, fica evidenciado que é viável o uso do aditivo, pois o mesmo proporciona uma redução de custo de R\$ 18.960,00 por mês no processo de fabricação do cimento portland pozolânico (CP IV).

Na **Figura 17** está demonstrado as instalações realizadas para o uso de aditivo no processo de moagem.

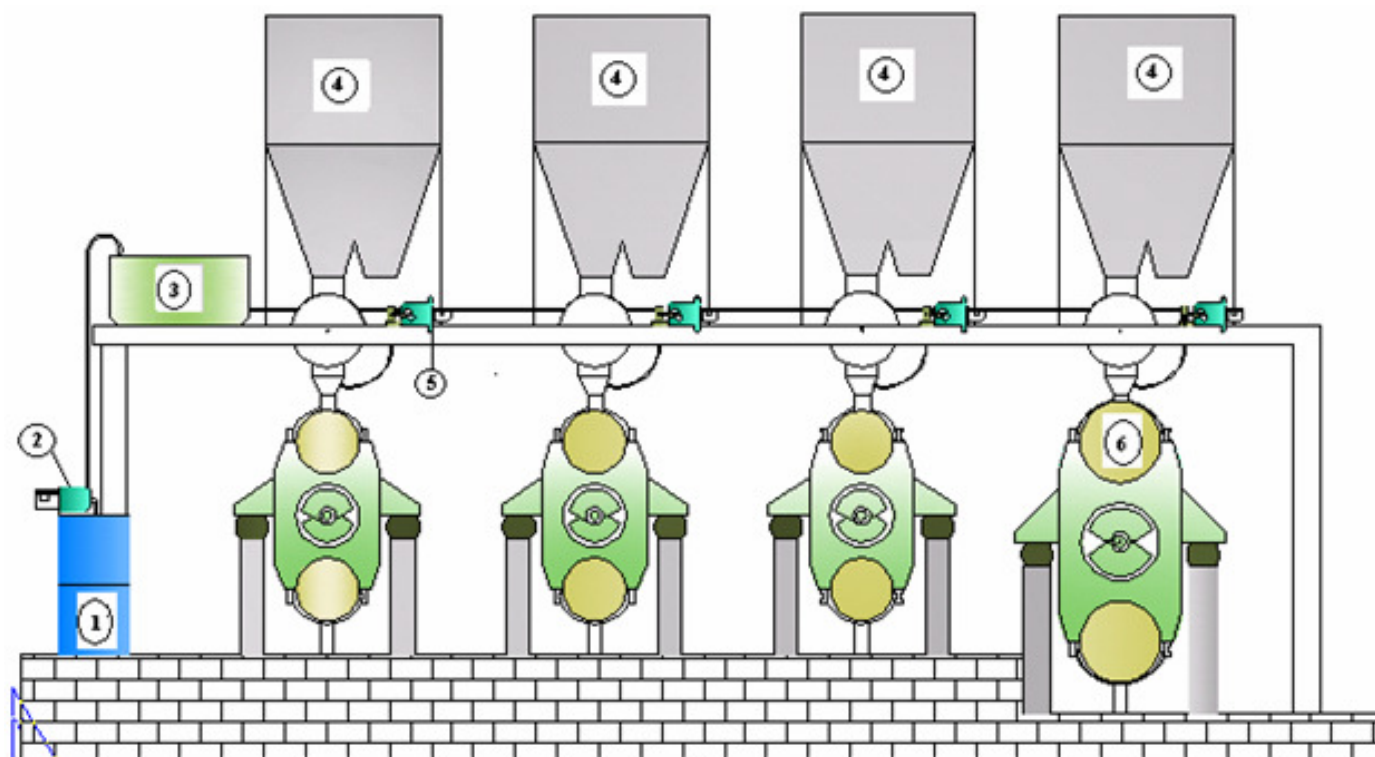


Figura 17 – Processo de moagem da cinza volante com as implantações para do uso do Aditivo à base de aminas

LEGENDA:

- ① Container com aditivo
- ② Bomba de engrenagem
- ③ Caixa de fibra
- ④ Caixas de alimentação dos moinhos
- ⑤ Bomba Dosadora de diafragma
- ⑥ Moinhos de barras

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento do uso de aditivos a base de aminas no processo de moagem da cinza volante, sob o ponto de vista tecnológico, operacional e qualitativo. Após os procedimentos realizados e descritos neste trabalho foi comprovado que a utilização dos aditivos reduzem os custos de produção, melhoram as propriedades físico-químicas, proporcionando um aumento das resistências iniciais.

A comprovação da eficiência do uso do aditivo no processo de moagem foi realizada em testes laboratoriais e industriais. Através dos testes pode-se determinar a quantidade de aditivo (0,312%) ideal para adicionar no processo de moagem da cinza volante e testar a melhor formulação.

Com o uso do aditivo conseguiu-se aumentar a fluidez da cinza, melhorar as propriedades físico-químicas do cimento e um aumento da resistência do Cimento Portland Pozolânico, possibilitando assim a redução da matéria prima de maior custo para a empresa e proporcionando uma significativa redução o custo de produção.

O uso do aditivo no processo é extremamente viável para empresa, pois, é possível reduzir o custo de produção em aproximadamente R\$ 18.960,00, baseando-se em uma produção de aproximadamente 160.000 sacos de 50 Kg por mês.

A atividade realizada durante todo o período de estágio foi de grande importância, pois possibilitou a prática dos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de engenharia química da Unisul.

Durante o processo de moagem observou-se uma aceleração da oxidação dos revestimentos dos moinhos que não foi possível avaliar durante o período de estagio, deixo então como sugestão esta avaliação.

REFERÊNCIAS

1 – FARENZENDA , Hélio V. **Potencial técnico das cinzas volantes na fabricação de Cimento Portland**, 1995.

2 – SCANDIUZZI , Laércio; ANDRIOLO, Francisco R. **Concreto e seus materiais: Propriedades e ensaios**. São Paulo, 1986.

3 – **Grace Construction**. Disponível em: <http://www.br.graceconstruction.com>. Acessado em 30 set. 2007 às 14:00 hs.

4 – **Pozolana Industria e Comércio Ltda.** Disponível em: <http://www.cimentopozosul.com.br>. Acesso em 15 out. 2007 às 19:00 hs

5 – SANCHEZ, Isidro; MATSUSHITA, Koji; PONS, Francisco. **Moagem e Moinhos**, São Paulo,1990

6 – BERALDO, José Luiz. **Moagem de minérios em moinhos tubulares**. São Paulo,1987

