



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

KAIQUE MATHEUS BARBOSA FERREIRA

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO DO
CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE CIMENTO
MIZU-BARAÚNA/RN**

MOSSORÓ/RN

2017

KAIQUE MATHEUS BARBOSA FERREIRA

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO
DO CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE CIMENTO
MIZU-BARAÚNA/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró e ao Centro de
Engenharias como requisito para
obtenção do título de Engenheiro
Químico.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Barbosa
Rios

MOSSORÓ/RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F383a Ferreira, Kaique Matheus Barbosa .
Acompanhamento do processo produtivo e
avaliação do controle de qualidade na indústria de
cimento Mizu-Baraúna/RN / Kaique Matheus Barbosa
Ferreira. - 2017.
45 f. : il.

Orientadora: Rafael Barbosa Rios.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2017.

1. Cimento. 2. Clínquer. 3. Sistema de
Qualidade. 4. Processo Produtivo. I. Rios, Rafael
Barbosa, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO DO
CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE CIMENTO
MIZU-BARAÚNA/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Mossoró, como parte dos
requisitos para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Química.

Aprovado em: 23/10/17

Banca Examinadora:

Rafael B. Rios

Prof. Dr. Rafael Barbosa Rios - UFERSA

Presidente

Manoel Reginaldo Fernandes

Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes - UFERSA

Primeiro membro

Francisco Robson dos Santos

Bel. Francisco Robson dos Santos

Segundo membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais, José Valquirio Filho e Edna Maria e a meu irmão Kenneth Muller, com muito carinho, amor e apoio, não mediram esforços para eu conseguir realizar meus sonhos e objetivos, além disso, fazem o possível e impossível para que eu pudesse alcançar esta etapa na minha vida.

Aos meus avós maternos, Edmundo (in memorian) e Nazide que sempre fizeram presente, ainda que distante trouxeram a força, o amor e força de vontade nesse desafio.

Aos meus avós paternos, José Valquirio (in memorian) e Mariquinha (in memorian) pelos os conselhos durante minha vida e a sua sabedoria de serem pessoas especiais.

As minhas tias Elza e Erica e a meu tio Naldinho, juntamente com meus primos, pelo incentivo a educação e por confiarem na minha capacidade.

A minha querida noiva Laiane Paula, pelo amor, incentivo, carinho, companheirismo e pelo seu apoio durante a realização desse trabalho.

Em especial ao meu orientador e professor Rafael Rios, que teve paciência, compreensão e amizade durante a conclusão deste trabalho.

Aos professores Macelo Vidal, Marta Lígia, Álvaro Pinheiro, Andarair, Alessandro, Geraldine, Kalyanne, Manoel e no geral todos os professores pela contribuição na minha vida acadêmica e por tanta influência na minha futura vida profissional.

Aos meus amigos pelo apoio e cumplicidade. Porque mesmo distantes estavam presentes na minha vida.

A todos colaboradores da empresa MIZU que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho e a oportunidade de estagiar na empresa.

Aos que participaram da minha banca examinadora.

RESUMO

O cimento é um material cerâmico que tem grande importância para o desenvolvimento das civilizações. As principais matérias-primas para a produção de cimento incluem o calcário, o gesso e o clínquer, podendo apresentar substâncias usadas como corretivo, dependendo do tipo de cimento que irá ser produzido. Com a finalidade de reduzir os custos com a fabricação do cimento, algumas empresas vêm substituindo parcial e/ou totalmente matérias-primas tradicionais empregadas para se obter o cimento por materiais que são resíduos ou rejeitos de outras indústrias. Vale a pena ressaltar que para isso são realizados estudos sobre a produção e a qualidade do cimento a fim de garantir que o produto apresente propriedades semelhantes ao cimento tradicional e de fato haja economia no processo de fabricação. O presente trabalho pretende descrever as principais atividades realizadas durante o estágio em Engenharia Química nos setores de processo produtivo e de qualidade na indústria de cimento MIZU, situada na cidade de Baraúna/RN. Foram descritas as principais etapas de fabricação do cimento Portland (CP II-Z e CPV-ARI): mineração, britagem, pré-homogeneização, moagem do cru, moagem de combustível, clínquerização, resfriador, moagem de cimento e expedição. No setor de controle da qualidade, por sua vez, foram descritos os métodos para avaliar os principais parâmetros referentes à qualidade do produto e que devem respeitar as normas da ABNT, o que incluiu análises de resistência do cimento e do calcário perfurado (pó de rocha), blaine, resíduo insolúvel, perda ao fogo, finura, quantidade de CaO livre presente e fluorescência de raio-x.

Palavras-chave: Cimento. Clínquer. Sistema de Qualidade. Processo Produtivo.

ABSTRACT

Cement is a ceramic material that has great importance for the development of civilizations. The main raw materials for the production of cement include lime, gypsum and clinker, and may contain substances used as a corrective, depending on the type of cement to be produced. The production and quality of cement have been increasingly studied for the improvement of this product and for cost reduction, with the partial and / or total replacement of traditional raw materials by materials are waste from another factory presenting similar property for the formation of cement and with a lower value, thus reducing the costs of the company. The present work intends to describe the main activities carried out during the stage in Chemical Engineering in the sectors of productive process and quality in the cement industry MIZU, located in the city of Baraúna / RN. The main manufacturing stages of the Portland cement (CP II-Z and CPV-ARI) were described: mining, crushing, pre-homogenization, crushing of the raw material, crushing of fuel, clinker, cooler, cement grinding and dispatch. In the area of quality control, in turn, the methods for assessing the main parameters related to product quality have been described and that they must comply with the standards of the ABNT, which is the regulatory body, such as: cement resistance and perforated limestone (rock powder), blaine, insoluble residue, fire loss, fineness, amount of free CaO present and x-ray fluorescence.

KEYWORDS: Cement. Clinker. Quality System. Productive Process.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al_2O_3 – Óxido de alumínio

CaCO_3 – Carbonato de Cálcio

CaO – Óxido de Cálcio

C_2S – Silicato Dicálcico (belita)

C_3A – Aluminato Tricálcico

C_3S – Silicato Tricálcico (alita)

C_4AF – Ferro Aluminato Tetracálcico

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

Fe_2O_3 – Óxido de ferro (III)

IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente

RN – Rio Grande do Norte

SiO_2 – Dióxido de Silício

SO_3 – Trióxido de enxofre

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma do processo.....	22
Figura 02	Perfuração de rocha usando perfuratrizes.....	23
Figura 03	Formação da pilha de material na parte interna da pré-homogeneização.....	25
Figura 04	Moinho vertical utilizado para moagem do cru	25
Figura 05	Pré-aquecedores constituído pela torre de ciclone (a) e calcinador (b).....	27
Figura 06	Silo de clínquer.....	29
Figura 07	Resfriador do tipo IKN.....	30
Figura 08	Processo de moagem do cimento em operação.....	31
Figura 09	Silo de armazenamento do cimento.....	31
Figura 10	Expedição de cimento ensacado na fábrica MIZU-Baraúna por caminhões.....	32
Figura 11	Forno mufla.....	33
Figura 12	Processo de filtragem do material.....	34
Figura 13	Permeabilímetro para encontrar o valor do Blaine.....	36
Figura 14	Peneira rotativa aerodinâmica.....	38
Figura 15	Micro-onda, bomba a vácuo e frasco de etileno glicol neutralizado.....	39
Figura 16	Argamassadeira em operação.....	40
Figura 17	Corpo de prova moldado.....	41
Figura 18	Aparelho de ruptura dos corpos de prova.....	41

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Sobre a Empresa.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. História do Cimento.....	10
2.2. Matérias-Primas para Fabricação do Cimento Portland	10
2.2.1. CALCÁRIO.....	11
2.2.2. ARGILAS OU POZOLANAS	11
2.2.3. GESSO	12
2.2.4. CORRETIVOS	12
2.2.6. CLÍNQUER.....	13
2.2.6. OUTROS ADITIVOS	14
2.3. Tipos de Cimentos Portland.....	14
2.3.1. CIMENTO PORTLAND COMUM CP I E CP I-S (NBR 5732).....	15
2.3.2. CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II (NBR 11578)	15
2.3.3. CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO CP III (NBR 5735)	16
2.3.4. CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO CP IV (NBR 5736)	16
2.3.5. CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL CP V-ARI (NBR 5733).....	17
2.3.6. CIMENTO PORTLAND RESISTENTES A SULFATOS CP RS (NBR 5733).....	17
3. DETALHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND DA MIZU.....	17
3.1. Mineração	18
3.2. Britagem	19
3.3. Pré-Homogeneização (Pré-Homo).....	20
3.4. Moagem do Cru	21
3.5. Moagem de Combustível (Sólido).....	22
3.6. Clinquerização	23
3.7. Resfriador	25
3.8. Moagem de Cimento	26

3.9. Expedição.....	27
4. DETALHAMENTO DO COTROLE DE QUALIDADE DA MIZU	28
4.1. Determinação de Perda ao Fogo (NBR NM 18)	29
4.2. Determinação do Resíduo Insolúvel (NBR NM 15)	30
4.3. Teste de Permeabilidade de Blaine (NBR NM 76)	31
4.4. Determinação de Massa Especifica (NBR NB 23).....	32
4.5. Determinação da Finura do Cimento Pela Peneira Aerodinâmico	33
4.6. Determinação de Cal livre (NBR NM 13)	34
4.7. Determinação da Resistência a Compressão (NBR 7215)	35
5. SUGESTÕES DE MELHORIAS.....	38
6. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O cimento Portland, comercializado na forma de pó e que faz parte da composição do concreto, é o segundo material mais consumido em todo mundo, perdendo apenas para a água. O fato que justifica essa sua grande utilização é devido às suas propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, que endurece na presença de água. Os diferentes modos de preparo do cimento, de acordo com a dosagem do mesmo e demais materiais empregados, podem resultar basicamente em concreto e argamassas, estes dois, por sua vez, originarão, por exemplo, lajes, vigas, revestimentos, entre outros (ABCP, 2002).

Cimento Portland é composto de clínquer, gesso e aditivos. No mercado brasileiro podem ser encontrados vários tipos de cimento que atendam as normas da ABNT, o que diferencia esses tipos de cimentos é a quantidade de aditivos (em porcentagem) presentes e o tipo de aditivo que pode ser adicionado durante o processo de moagem, permitindo alguma correção ou característica especial requerida para a sua aplicação. Dessa maneira, podem ser encontrados: Cimento Portland Comum (CP I), Cimento Portland Composto (CP II), Cimento Portland de Alto Forno Cimento (CP III), Cimento Portland Pozolânico (CP IV) e Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V). Cada cimento tem sua finalidade de acordo com a resistência necessária, o tempo de pega (endurecimento), permeabilidade, desempenho e entre outros (ABCP, 2002).

Durante o processo de fabricação de cimento necessita-se de um alto consumo de energia elétrica devido aos diversos equipamentos que estão presentes durante o processo de fabricação do clínquer, principal matéria-prima do cimento, contando com as etapas do processo produtivo: britagem, pré-homogeneização, moagem da farinha, moagem do combustível, torre de ciclone, forno, resfriador e posteriormente, moagem do clínquer com os outros aditivos para formar o cimento. Por fim, ensacadeira, que são automatizadas, logo, o produto é expedido por ensacamento ou a granel (RAMOS, 2015). Além disso, há também um alto consumo de combustível para alimentar o forno e manter a temperatura do processo. No caso da fábrica MIZU-Baraúna, esse combustível é o coque de petróleo oriundo da Turquia comprado em dólares e trazido por navios em contêineres.

O sistema da qualidade é importante para garantir a eficiência do produto final que será oferecido aos clientes. Quando se fala em qualidade do cimento, as empresas cimenteiras têm a responsabilidade de avaliar as análises físicas e químicas de acordo com as exigências da ABNT. Dessa forma, através de um controle rigoroso e diário, o produto é analisado para ser entregue com segurança à população consumidora e dentro do que é definido em normas.

O presente trabalho apresenta uma descrição das principais etapas do processo produtivo da fabricação de cimento realizado na empresa MIZU-Baraúna, localizada no estado do Rio Grande do Norte, bem como aponta os principais aspectos do controle de qualidade da produção desse cimento.

1.1. Sobre a Empresa

As empresas de cimentos MIZU ESPECIAIS, como são conhecidas, é uma organização cuja a razão social pertence ao grupo POLIMIX CONCRETO LTDA.

No Brasil podemos encontrar atualmente seis fábricas do cimento MIZU, são elas: a primeira fábrica que foi construída na cidade de Vitória, estado do Espírito Santo, inaugurada em 1998, com processo de moagem para produção anual de 900 mil toneladas do cimento. Em seguida, no ano de 2002, foi inaugurada a segunda unidade para produção de clínquer e moagem de cimento em Pacatuba, no estado do Sergipe, com produção anual de 360 mil toneladas de produto final. Logo depois, em 2005, foi instalada uma fábrica de moagem em Mogi das Cruzes, situada no estado de São Paulo, com capacidade anual de 750 mil toneladas produzidas. No ano de 2010, na cidade e no estado do Rio de Janeiro, criou-se uma nova unidade para a produção de 750 mil toneladas/ano. No mesmo ano, na cidade de Baraúnas, no estado do Rio Grande do Norte foi iniciada a implantação de uma fábrica para ter capacidade de 3,6 milhões produzidos por ano com duas linhas para fabricação de clínquer e duas para moagem de cimento. Já em 2014, o pólo industrial da cidade de Manaus, do estado do Amazonas teve uma nova unidade de moagem do grupo com de 450 mil toneladas por ano de capacidade (MIZU^[1], 2015).

O estágio que gerou esse relatório foi realizado na unidade de Baraúna – RN localizada a 260 km da capital do estado (Natal). A unidade comercializa seu produto de duas formas: a granel e ensacado. Os principais consumidores são as concreteiras, empresas de pré-moldados, construtoras, lojistas e distribuidoras (MIZU^[1], 2015).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História do Cimento

O cimento já vem sendo utilizado pela humanidade há bastante tempo. A origem da palavra cimento vem do Latim “*caementu*” e em Roma significava pedra natural de rochedos não quebrável. Nessa época, para o desenvolvimento da civilização, procurava-se um material aglutinante que fosse capaz de resistir a presença de água (umidade) oriunda das mudanças climáticas e que tivesse alta durabilidade (ABCP, 2009).

O termo cimento vem sendo utilizada na construção civil. No entanto, a denominação estabelecida em todo mundo é de cimento Portland. A patente do cimento Portland se deu em 1824 pelo inglês Joseph Aspdin. A escolha desse nome deu-se por conta da sua coloração e dureza semelhante a uma pedra encontrada na ilha de Portland na Inglaterra. Depois disso, o cimento começou a fazer parte do desenvolvimento das civilizações gradativamente, de geração para geração, pelo seu uso e comercialização. Nos dias atuais, o cimento continua sendo bastante importante e ainda é objeto de estudo na busca por melhorias nesse material (ABCP, 2002).

No Brasil, as indústrias cimenteiras só foram implantadas no final do século XIX devido a dois fatos históricos da época que facilitaram o surgimento de mercado para este produto: Primeira Guerra mundial e a remodelação da capital do país situada na cidade do Rio de Janeiro. Durante o período de guerra, o país importava milhares de toneladas para Europa e ao mesmo tempo ganhava mercado interno pelas construções de novas casas, monumentos e demais obras de infraestrutura durante a remodelação da capital. Durante muito tempo no Brasil só havia um único tipo de cimento Portland, sendo assim, pesquisadores e estudiosos no decorrer dos anos buscaram conhecimentos técnicos para outros tipos de cimento serem produzidos no país (SNIC, 2006).

2.2. Matérias-Primas para Fabricação do Cimento Portland

O processo produtivo do cimento Portland é composto por cinco matérias-primas essenciais para sua constituição com proporções adequadas para fornecer características desejáveis para ser aplicado. São elas: calcário, argila, clínquer, escória de alto forno e gesso. A seguir, será apresentado cada uma detalhadamente.

2.2.1. CALCÁRIO

A principal matéria-prima para fabricação do cimento é o calcário, que é encontrado em formação rochosa na forma de CaCO_3 (carbonato de cálcio). Este carbonato de cálcio é acompanhado por diversos materiais que são importantes para aplicação do mesmo como óxidos de ferro, de alumínio e de silício. Porém, outros óxidos como os de magnésio, de sódio e de potássio que são, na maioria das vezes indesejáveis, estão presentes. Além da indústria cimenteira, o calcário é utilizado em diversos processos, sendo, portanto, um material bastante explorado e com diversas aplicabilidades, tais como: material na construção civil, produção de alimentos, uso nas estações de tratamentos de esgotos, nas composições de creme dentais e tintas e entre outras (ABCP, 2002).

De acordo com Bugalho (1998), para fabricar um cimento de qualidade, o calcário deve possuir quatro características importantes que são: baixos teores de magnésio (menor ou igual a 4%) para não provocar trinca no concreto; baixos teores de óxidos de sódio e de potássio (abaixo de 1%) visto que em altas quantidades podem reagir com os agregados do concreto, no qual pode fragilizar a estrutura; quantidades de trióxido de enxofre menores que 0,5%, pois quando passa pelo forno a temperaturas em torno de 1450 °C poderá sofrer uma mudança de estado física (evaporar), ao ponto que ao passar pelo forno a temperaturas mais baixas, por volta de 900 °C, poderá cristalizar, provocando incrustações que acarretarão na diminuição do rendimento do forno e exigindo uma manutenção para desobstruir essas incrustações formadas.

2.2.2. ARGILAS OU POZOLANAS

Argila é um mineral particulado com pequena granulometria, alto grau de plasticidade e é geralmente obtida juntamente com o calcário na jazida da mina. É bastante comum encontrar em sua formação alguns minérios, visto que, esses minérios são responsáveis pela divisão das argilas em grupos. Os principais são: caulinita, illita, esmectita, vermiculita e clorita. Cada grupo tem suas particularidades, características e aplicabilidades (OLIVEIRA; BARBOSA, 2006).

Na exploração da mina de calcário aproveita-se argila contida na rocha por serem ricas em alumínio e sílica. Essa argila é conhecida como argila sedimentares ou argilas secundárias. Esse material com o passar dos anos foi sendo levado através da ação de intempéries do meio

ambiente até ser depositado na rocha formando uma nova composição rochosa na superfície e no interior (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2014).

Na indústria cimenteira é utilizada a argila pozzolânica que passa por um processo de calcinação para adquirir propriedade de ligante hidráulico e poder ser empregada no processo produtivo do cimento. A argila passa ainda por um processo de moagem para ficar na forma de um pó fino. Mas, o material pozzolânico na presença de água não tem a propriedade de endurecer como outros materiais que constitui a sua composição (SOUZA, 2013).

Oliveira e Barbosa (2006) definem a principal propriedade da pozzolana como: “capacidade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante, tais como: silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, assim, no cimento Portland, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos, reage com a pozzolana, utilizada como substituição parcial do cimento, resultando em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são produtos mais estáveis do cimento hidratado”.

2.2.3. GESSO

Material encontrado com facilidade no meio ambiente, podendo também ser produzido pela indústria. Na sua forma natural é chamado de gipsita e na sua forma artificial é o sulfato de cálcio hidratado (gesso), porém, os termos “gipsita” e “gesso” são frequentemente usados como sinônimos. Sua finalidade é aumentar o tempo de endurecimento do cimento em presença de água, uma vez que, sem sua adição, o endurecimento do cimento seria em alguns minutos. Dessa forma, inviabilizando o seu uso pela falta de tempo de manusear o cimento (BUGALHO, 1998).

De acordo com Baltar e colaboradores (2003): “a gipsita é utilizada na fabricação de cimento como fonte de SO_3 , sendo misturada ao clínquer com a função de retardar o tempo de pega do cimento Portland. A quantidade de gipsita adicionada é função do teor de enxofre existente no calcário e no combustível utilizado na calcinação do clínquer. Nas fábricas de cimento da região utiliza-se a gipsita na proporção de 2 a 5% em peso”.

2.2.4. CORRETIVOS

A farinha é uma mistura homogeneizada das matérias-primas de calcário, de argila e se houver necessidade, de corretivos (arisco e minério de ferro). O produto final é formado por grãos muito finos, daí o nome farinha ou cru. A farinha é estocada em silos especiais até

ser enviada ao forno rotativo. Se não houver quantidade suficiente de algum elemento químico na composição da farinha, esses corretivos são empregados para corrigir a falta principalmente de ferro, alumínio e sílica (SIGNORETTI, 2008).

- Argila e minério de ferro: São utilizadas nessa etapa para correção da composição pela falta de alumínio, ferro e sílica para obtenção da farinha. Isso para quando for realizada a transformação da farinha em clínquer esteja presente na composição do clínquer os óxidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e de SiO_2 . Podem ser utilizados outros materiais para obtenção da correção como: bauxita, areia e escória de aciaria (SIGNORETTI, 2008).
- Arisco: é um argilomineral fino que é obtido na jazida de rocha, tendo em vista que sua composição é basicamente constituída por Dióxido de silício (SiO_2). É uma matéria-prima essencial para a produção da farinha e é empregada na forma de quartzo moído por apresentar alta reatividade para que essas características sejam obtidas para farinha (MIZU^[2], 2015).

2.2.6. CLÍNQUER

A farinha é levada a um forno rotativo que alcança a temperatura em torno de 1450 °C transformando-se em clínquer, a principal matéria prima do cimento. Posteriormente, o clínquer é resfriado bruscamente para em seguida ser finamente moído tornando-se um pó. Em forma de pó, o clínquer tem a característica de reagir quimicamente em presença de água. No primeiro momento o clínquer se transforma em um material pastoso e em seguida endurece, adquirindo elevada resistência mecânica e durabilidade. Portanto, este é o principal componente do cimento Portland (ABCP, 2002).

No decorrer da etapa de aquecimento no forno, os óxidos de cálcio e de magnésio formados se combinam com os óxidos de silício, de alumínio e de ferro provenientes da farinha e das cinzas dos combustíveis, dando origem aos compostos que são os óxidos cristalinos constituintes do clínquer (C_4AF , C_3A , C_2S e C_3S), que serão apresentados abaixo (VOTORANTIM, 2002).

- C_3S : Silicato tricálcico (alita). É o componente responsável pelas principais características físicas e químicas do cimento. Responsável pela alta resistência inicial do cimento e propriedades hidráulicas. No entanto, o clínquer tem de ser finamente moído e na presença de água vai endurecer rapidamente caracterizando o que foi descrito anteriormente (VOTORANTIM, 2002).

- C_2S : Silicato dicálcico (belita). Fornece propriedades hidráulicas como o C_3S . Em contrapartida, sua resistência inicial é menor pelo fato da reação de hidratação do cimento/água ocorrer lentamente. Porém, no decorrer da reação sua resistência aumenta até sua resistência final (VOTORANTIM, 2002).
- C_3A : Aluminato tricálcico. Apresenta elevada reatividade com água, apesar de que sua contribuição para resistência mecânica seja irrisória. Quando reage com água tem um elevado calor de hidratação por ser uma reação instantânea e exotérmica (VOTORANTIM, 2002).
- C_4AF : Ferro Aluminato tetracálcico. Apresenta pouca influência na resistência mecânica. É responsável pela coloração cinzenta do cimento e é o agente que fornece resistência aos ataques químicos (VOTORANTIM, 2002).

2.2.6. OUTROS ADITIVOS

Os aditivos são usados na etapa de moagem de cimento. Estes são misturados juntamente com o clínquer antes de ir para processo de moagem para determinar as características do cimento produzido.

- Calcário: Usado para suprir a deficiência de calcário que se mostra insuficiente ao processo.
- Escória de alto forno: Esse aditivo pode ser adicionado ou não, isso vai depender de qual tipo de cimento vai ser produzido. Pode-se encontrar cimento com até 65% de escória de alto forno em sua composição. Dessa forma, ajuda na resistência final do cimento. Sua aplicabilidade é ampla nas cimenteiras por substituir parte do clínquer, em consequência, de seu custo ser mais barato. No entanto, a partir de certo grau irá acarretar em diminuição na resistência mecânica do cimento (MIZU^[2], 2015).

2.3. Tipos de Cimentos Portland

No Brasil existem inúmeras fábricas de cimento Portland que produzem diversos tipos de cimento. O que difere cada tipo é o uso de aditivo ou não, a quantidade utilizada de cada componente e a característica desejada. Sabendo que a dosagem de aditivo utilizada tem que atender as exigências presente nas normas técnicas da ABNT. Os principais tipos de cimento ofertados no mercado são: cimento Portland comum, cimento Portland composto (maior produção em torno de 75%), cimento Portland de alto-forno, cimento Portland pozolânico,

cimento Portland de alta resistência inicial, cimento Portland resistente aos sulfatos (ABCP, 2002).

2.3.1. CIMENTO PORTLAND COMUM CP I E CP I-S (NBR 5732)

O primeiro fabricado no Brasil (CP I), sua composição é composta apenas de clínquer e gesso, não possui nenhum tipo de aditivo além do gesso que retardar o início do endurecimento do cimento (tempo de pega) para aumentar o tempo de aplicação do mesmo. O uso desse tipo de cimento é recomendado em obras que as estruturas de concreto não estejam próximas a sulfatos dos solos ou de águas subterrâneas, uma vez que, ocasionará fissuras e trinca no concreto (ABCP; 2002). Além disso, é encontrado o cimento Portland comum CP I-S, que em sua composição tem 5% de material pozolânico na sua formulação, mas suas características são semelhantes ao que foi descrito anteriormente no CP I (MARQUES, 2010).

2.3.2. CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II (NBR 11578)

O cimento Portland composto tem essa nomenclatura devido a adição de outros materiais em sua composição. São divididos em três classes: cimento Portland composto com Escória de Alto Forno (CP II-E), cimento Portland composto com Filler (CP II-F) e cimento Portland composto com Pozolana (CP II-Z). Sua utilização pode ocorrer em ambientes que possam existir ataques de sulfatos presente nos solos, pois consegue ter uma resistência satisfatória em relação a esses ataques (MARQUES, 2010).

O CP II-E apresenta adição de 6 a 34% de escoria, 56 a 94% de mistura (clínquer mais sulfato de cálcio) e 0 a 10 de calcário. Em locais que o cimento consegue atingir um calor menor durante o processo de hidratação, seus resultados são melhores, posteriormente, a resistência terá um aumento circunstancial (MARQUES, 2010).

O CP II-Z apresenta adição de 6 a 14% de material pozolânico, 76 a 94% de mistura (clínquer mais sulfato de cálcio) e 0 a 10% de calcário. Esse tipo de cimento tem a permeabilidade menor, no qual, é indicado para obras subterrâneas com presença de água e para ambientes marítimos. Concretos feitos com esse material demonstra ter maior durabilidade e impermeável (MARQUES, 2010).

O CP II-F apresenta somente adição de 6 a 10% de material carbonático (calcário triturado da jazida da mina) e 90 a 94% da mistura (clínquer mais sulfato de cálcio). A principal característica com o uso desse aditivo é a facilidade com que os operários têm de se

trabalhar com concreto e argamassa. Sendo empregada nas argamassas para assentamento, revestimento, argamassa armada, pré-moldados, nas armações de concretos e dentre outros (MARQUES, 2010).

2.3.3. CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO CP III (NBR 5735)

A composição corresponde de 35 a 70% de escória de alto forno, que é um subproduto da produção do minério de ferro em alto forno, sendo constituído principalmente de silicatos e aluminossilicatos de cálcio. Uma vez que a escória de alto forno estiver em contato com a água, logo, irá acarretar na reação de hidratação e, posteriormente, no endurecimento dessa mistura (escória e água). Isso faz com que se assemelhe as propriedades hidráulicas do clínquer. A reação de hidratação da escória é lenta na sua forma natural (ABCP, 2002).

Quando adicionada no cimento permite ser empregado em ambientes que sofram ataques de sulfatos, bem como, sendo menos permeável, estável e aumento na durabilidade do concreto. As principais aplicações são: nas estruturas de barragens, nos dutos que transportam efluentes agressivos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estrada, pista de aeroportos. No entanto, pode ser usado em argamassas de assentamento, revestimento e em concretos (MARQUES, 2010).

2.3.4. CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO CP IV (NBR 5736)

Para esse tipo de cimento, acrescenta-se de 15 a 50% de material pozolânico, que são materiais silicosos ou silicoaluminosos. Na sua forma bruta, não reagem com água, só quando são misturados com clínquer e moído muito fino. Dessa forma, começam a reagir com o hidróxido de cálcio que é liberado do clínquer. Quando estão em presença de água e em temperatura ambiente, o cimento ganha função aglomerante por essa razão (ABCP, 2002).

Dessa maneira, o concreto feito com esse cimento se torna mais durável, mais impermeável e por fim, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum. Tendo sua principal aplicação em construções que estão sendo expostas com passagem de água corrente em meio agressivo (MARQUES, 2010).

2.3.5. CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL CP V-ARI (NBR 5733)

Este tipo de cimento é designado em obras que precisam de elevada resistência inicial, no qual o concreto no seu primeiro dia tem que atingir uma característica importante que é a resistência de 26 MPa no mínimo para atender os padrões da ABNT. O fabricante pode optar por adicionar fíller de 0 a 5% na composição do cimento. O alto valor de resistência inicial se dar pela dosagem diferenciada de calcário e argila durante a produção de clínquer. Além disso, na etapa de moagem, tem que proporcionar um cimento mais fino através da diminuição do tamanho das bolas na câmara do moinho para reduzir ainda mais a granulometria do material. Assim que o CP V-ARI começa a reação cinética de hidratação com água, este começa a ter valores de resistência satisfatórios e com maior velocidade (ABCP, 2002).

A utilização desse material está presente desde pequenas construções até obras de maiores portes, bem como no preparo do concreto e da argamassa. De maneira geral sua aplicação é apropriada para aplicação que precisem de resistência inicial elevada e desforma rápida, pois tem seu valor comercial agregado devido as suas características e particularidades durante o processo de fabricação (MARQUES, 2010).

2.3.6. CIMENTO PORTLAND RESISTENTES A SULFATOS CP RS (NBR 5733)

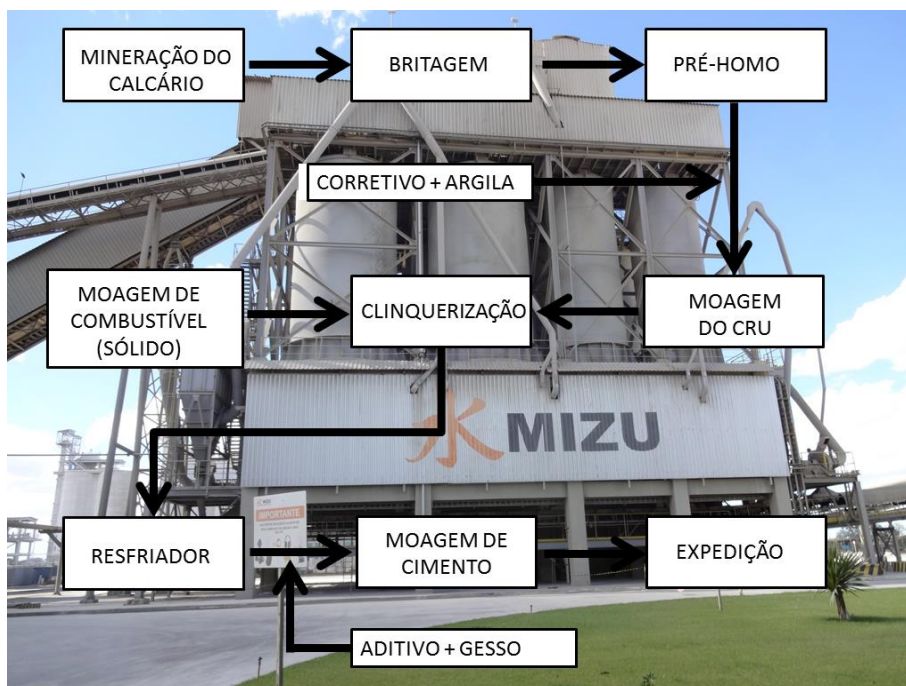
Sua principal característica é a capacidade de oferecer as obras resistência aos meios que estão na presença de sulfatos, que são agressivos para alguns tipos de cimento podendo danificar a estrutura. São bastante utilizados na estrutura e nos dutos das estações de tratamento de água e esgoto e em construções que tenham influência da água do mar e outros tipos de solos que podem causar ataque químico (MARQUES, 2010; ABCP, 2002).

3. DETALHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND DA MIZU

O processo de fabricação de cimento é um processo que transforma as matérias-primas em um mineral sintético com capacidade de reagir com a água, o qual desenvolve propriedades de resistência mecânica. Para um melhor entendimento, o processo foi dividido em nove etapas, conforme mostrado na Figura 01: mineração, britagem, pré-homogeneização,

moagem do cru, moagem de combustível, clinkerização, resfriador, moagem de cimento e expedição (VOTORANTIM, 2002).

Figura 01 – Fluxograma do processo



Fonte: Autoria Própria.

3.1. Mineração

A principal matéria-prima para fabricação do cimento é o calcário, que é encontrado em formação rochosa na forma CaCO_3 (Carbonato de Cálcio). O surgimento de uma mina se dar por uma pesquisa mineral que tem como finalidade mapear a área e fazer a sondagem do material (na superfície e no seu interior). Em seguida, faz-se uma análise quantitativa e qualitativa em laboratório do material para saber a composição do material. Dessa forma, tem-se como saber a quantidade e a qualidade do material, o que permite provar tecnicamente se há viabilidade econômica ou não do empreendimento (PEDROSA, 2014).

Antes de iniciar o funcionamento em uma mina necessita-se de um planejamento de atividades para os funcionários saberem sua função para que possa desempenha-la da melhor forma possível e com segurança. O planejamento atual da mineração na MIZU está dividido em sete etapas, uma vez que, algumas dessas etapas já foram realizadas (MIZU, 2007):

- 01 etapa: Limpeza da vegetação com tratores de esteiras;
- 02 etapa: Remover água do segundo nível;

- 03 etapa: Planejar perfuração e desmonte;
- 04 etapa: Acompanhar etapas unitárias;
- 05 etapa: Acompanhamento do carregamento e desmonte;
- 06 etapa: Verificar se todos os explosivos foram detonados;
- 07 etapa: Tombar material preso no topo da bancada;
- 08 etapa: Carregamento e transporte;
- 09 etapa: Construir vias de acesso no entorno da mina e reforçar a sinalização.

O processo começa pela perfuração da rocha com equipamentos conhecidos como perfuratrizes, descritos na Figura 02, para que possa fazer um plano de fogo (uso de explosivo onde foi perfurado). Quando esse material é derrubado por explosivos, a escavadeira faz a raspagem (calcário e argila) e carrega os caminhões, no qual esse processo pode contar com o auxílio de um rompedor para diminuir tamanhos das rochas para facilitar o carregamento. Por fim, o material dos caminhões é depositado em um britador para a redução da granulometria das rochas (PEDROSA, 2014).

Figura 02 – Perfuração de rocha usando Perfuratrizes



Fonte: Autoria Própria.

3.2. Britagem

A britagem do calcário da jazida do VELAME II é realizada por um britador de martelo e com capacidade de produção de 850 ton/h. São transportados por caminhões até o

britador, em seguida, terão a sua granulometria reduzida para que seja usado no processo industrial da fábrica (MIZU, 2007).

No processo de fabricação de cimento utiliza-se esse tipo de britador pela capacidade de esmagar pedras de tamanhos variados (grande à pequena), além da facilidade de operação e alta capacidade de produção. No entanto, a principal desvantagem está no seu elevado custo de manutenção e no seu desgaste, não sendo recomendado para rochas muito abrasivas (BEM, 2006).

O funcionamento do britador de martelos se dá por acionamento de rotores equipados com martelos que trabalham em alta velocidade para o esmagamento do material. O equipamento é alimentado por uma entrada de material na sua estrutura. Em seguida, o material irá ser golpeado, cortado e socado para um intervalo de tamanho adequado para o processo posterior. Isso ocorre pela movimentação rápida dos rotores, que tem martelos acoplados, girando em sentidos opostos, o que reduz o tamanho do material devido aos impactos entre os martelos (SANTOS, 2013).

3.3. Pré-Homogeneização (Pré-Homo)

Nessa etapa, o material britado (argila e calcário) é deslocado para pré-homo tipo chevron contínuo. Através de uma correia transportadora, o material britado é conduzido do britador até o topo do pré-homo para criar um empilhamento ordenado de camadas individuais ao longo do comprimento total, conforme demonstrado na Figura 03. A velocidade de formação da camada pode ser controlada em função da espessura da pilha (SELLITTO, 1999).

Essa etapa do processo é a primeira etapa da homogeneização da mistura oriunda do britador (matéria-prima bruta) e serve para diminuir os efeitos das variações da composição química da matéria-prima. A locomoção do material pela superfície é realizada por uma retomadora para que todo material estocado esteja mais homogêneo possível para não influenciar na composição da farinha, uma vez que, nem toda área composta da mina de que é extraído, o mesmo irá ter a mesma composição química de cada elemento principalmente do calcário. Esse empilhamento é para diminuir os efeitos da falta de algum material garantindo mais uniformidade da farinha a ser produzida (SELLITTO, 1999).

Figura 03 – Formação da pilha de material na parte interna da pré-homogeneização



Fonte: Autoria Própria.

3.4. Moagem do Cru

Nesta etapa, o calcário, a argila e os corretivos serão moídos e transformados em uma farinha. O equipamento usado nesse processo é o moinho vertical, que pode ser observado na Figura 04. Sua utilização consiste na diminuição do tamanho do material transformando-o em pó fino e homogêneo (VOTORANTIM, 2002).

Figura 04 – Moinho vertical utilizado para moagem do cru



Fonte: Autoria Própria.

No processo de moagem do cru é empregado o moinho vertical de rolos que utilizam quatro rolos cilíndricos para moer os materiais. A moagem do material é feita por rolos rotativos em cima de uma base rotativa para aumentar a eficiência. Esse equipamento apresenta como vantagens: instalação compacta; baixo consumo específico de energia em casos de alta umidade e maior capacidade de secagem, pois suportam altas temperaturas de gases (MIZU, 2007).

As matérias-primas alimentam o moinho vertical com rolos (moinho de cru) para serem em conjunto moídas, há uma injeção de água para que o material mais fino não seja suspenso e para melhorar a homogeneização das matérias-primas. Ao mesmo tempo, em sistema contínuo, há entrada de ar quente em contracorrente oriundo do forno, esse ar será usado para secagem do material que já passou pelos rolos. Assim o material trocará calor com o ar e, em seguida, passará por um separador, no qual o material passante terá a granulometria desejada obtendo-se assim a farinha (pó fino) que irá ser armazenado num silo. Já o material restante, que não atingiu a granulometria adequada, volta para o processo de moagem por uma correia até atingir a granulometria necessária (CARVALHO, 2008; MIZU, 2007).

No silo de homogeneização, a farinha proveniente da moagem de cru, é sujeita a uma última operação de homogeneização e assim fica armazenada até à sua alimentação na torre de ciclone (SELLITTO, 1999).

3.5. Moagem de Combustível (Sólido)

São vários os combustíveis utilizados na indústria cimenteira, mas os mais comuns são o coque de petróleo e materiais do coprocessamento, como fonte energética para alimentação do forno para formar o clínquer. O coque necessita de uma moagem preliminar, de modo a permitir a sua injeção e ignição no interior do forno, assegurando e otimizando o seu perfil térmico. O coprocessamento, nos dias atuais é uma alternativa segura e eficiente para eliminação de resíduos industriais e pneus, vem sendo bastante utilizado como fonte de combustível nas fábricas de cimento, sendo, também, uma maneira de diminuir custo para empresa e contribuir para o meio ambiente (CARVALHO, 2008).

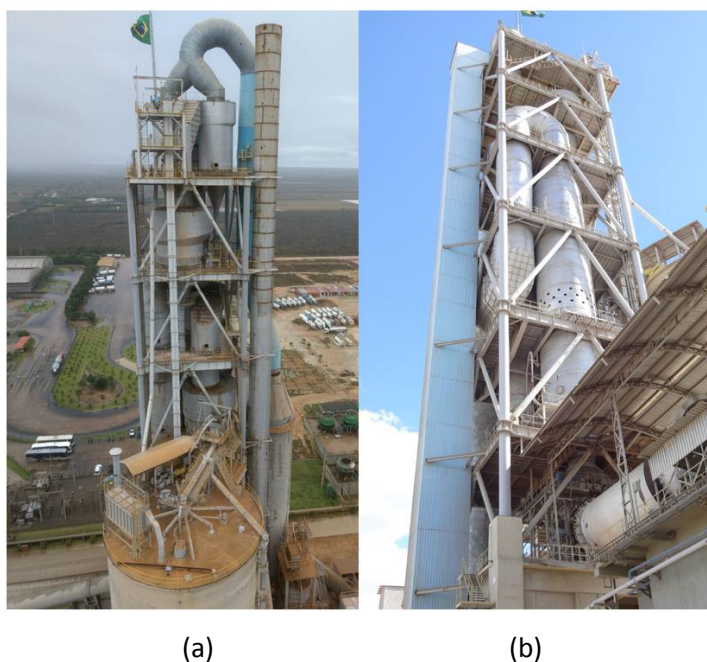
A moagem do coque é realizada em um moinho horizontal de bolas em monocâmara, dado que o coque é um material sólido que necessita ser processado para aumentar sua área de contato, proporcionando assim que a energia latente seja totalmente aplicada no processo de queima (MIZU, 2007).

3.6. Clinquerização

Nessa etapa do processo, os materiais do cru, após a moagem e homogeneização, serão alimentados nos pré-aquecedores em suspensão na forma de um pó fino denominado de farinha, com composição química e granulometria ajustada (VOTORANTIM, 2002).

Os pré-aquecedores (Figura 05) são constituído por calcinador e torre de ciclone. A torre de ciclone é constituída por 6 ciclones, dividido em 5 estágios (diferindo apenas no primeiro estágio que tem 2 ciclones em paralelo para obter maior eficiência de separação). A alimentação do material é feita no duto de ascensão do segundo estágio na parte superior da torre. O pré-aquecimento da farinha acontece em contracorrente em relação aos gases durante o seu trajeto da torre até a entrada do forno, no qual a troca térmica ocorrerá nos dutos de ascensão. O ar quente utilizado no processo é oriundo do forno e do calcinador pelo processo de combustão. Os gases quentes que saem da torre de ciclones são “despoeirados” antes de serem reenviados à atmosfera para que o meio ambiente não seja prejudicado (MIZU, 2007).

Figura 05 – Pré-aquecedores constituído pela torre de ciclone (a) e calcinador (b)



Fonte: Autoria Própria.

O material passa por ciclones um equipamento utilizado para separar gás de sólido. Em seguida, vão para o calcinador. O ar é separado e a farinha pré-aquecida. Inicia-se, então,

a descarbonatação da farinha (liberação do CO_2) a 850 °C até a zona de queima, zona na qual começam as reações químicas para formação do clínquer (MIZU, 2007).

A moagem das matérias-primas produz um pó fino conhecido como cru que é pré-aquecido numa torre de ciclone e calcinador. Em seguida, alimenta um forno rotativo cujo o seu combustível é o coque de petróleo. Os gases gerados nesse processo percorrem em contracorrente o percurso da matéria-prima. Uma parte desses gases é reaproveitada no processo da moagem de cru e a outra parte vai para atmosfera. O material é aquecido a uma temperatura em torno de 1400 °C durante o percurso no forno e sai na outra extremidade já na forma de clínquer, antes de ser subitamente resfriado por rajadas de ar, através de um resfriador tipo IKN. Assim, é produzido o clínquer, o material básico necessário para a produção de todos os tipos de cimento. As reações que ocorrem para produção de clínquer são de difusão iônica entre sólidos. No entanto, a viscosidade da fase líquida que é formada na presença de alta temperatura do forno pode influenciar a clinquerização do processo. Os componentes principais do clínquer são C_4AF , C_3A , C_2S e C_3S , como já foi descrito anteriormente (SIGNORETTI, 2008).

Os fornos nas indústrias cimenteiras são cilíndricos horizontais com dimensões longas e rotativos. São dimensionados com uma leve inclinação combinado com o movimento de rotação. Dessa forma, permite que o material percorra o cilindro à medida que desliza pelas paredes e não haja necessidade de um equipamento para movimentação do material ao longo do forno (redução de custo). O seu interior é constituído de um revestimento com material refratário que protege a carcaça do forno em altas temperaturas e consegue manter o calor no interior do forno (SIGNORETTI, 2008).

A capacidade de produção do forno da empresa é 3500 ton/dia. Por fim, o clínquer é armazenado em dois silos fechados, um maior e um menor. O clínquer armazenado no silo maior serve para alimentar o processo, já o menor para transporta caso necessite o seu transporte por caminhões, este silo menor é alimentado pelo silo maior que são mostrados na Figura 06, ou pode ser estocado numa zona a céu aberto (MIZU, 2007).

Figura 06 – Silo de clínquer



Fonte: Autoria Própria.

3.7. Resfriador

A Figura 07 demonstra um resfriador do tipo IKN que é utilizado pelo seu alto rendimento e a sua capacidade de baixar a temperatura do clínquer entre 50 a 120 °C. O clínquer aquecido sai do forno há uma temperatura de 1450 °C, para permitir seu transporte através de correias e a estocagem, essa temperatura deve ser reduzida. Além disso, essa redução de temperatura é ainda importante pois uma redução de temperatura rápida mantém o C_3S (principal componente químico do cimento) estável, mas, se o resfriamento for lento o C_3S vai retornar ao estado anterior formando C_2S e liberando CaO (cal livre). Quanto mais C_2S produzido menos propriedades hidráulica o cimento irá possuir e maior será a dureza do clínquer dificultando a redução do seu tamanho na moagem (SIGNORETTI, 2008; MIZU, 2007).

Figura 07 – Resfriador do tipo IKN



Fonte: Autoria Própria.

O resfriador do tipo IKN é composto por uma grande estrutura (“caixa”) com duas grelhas fixas do tipo IKN, com uma grelha móvel inclinada composta de suportes que são fixas as placas que podem ser fixas e/ou móveis, para que tenha fluxo de clínquer no interior do equipamento. (SIGNORETTI, 2008).

3.8. Moagem de Cimento

Nessa etapa do processo, vai ocorrer a moagem do clínquer juntamente com as matérias-primas aditivas (gesso, calcário, escória de alto forno e pozolana, se necessário). A mistura é então finamente moída para se obter o cimento de acordo com seu tipo e adequá-lo à norma regulamentadora. Nesse caso, o cimento tem que sair fino do processo de moagem e com temperatura na faixa de 90 a 110 °C, para não influenciar na sua qualidade ou na etapa de armazenamento ou no ensacamento (VOTORANTIM, 2002).

O moinho de bolas representado na Figura 08 é empregado para reduzir o tamanho da mistura pela sua efetividade, as bolas apresentam diâmetros diferentes para aumentar a superfície de contato entre os materiais (mistura matéria-prima). São separadas em duas câmaras pelo um diafragma, o qual, os materiais só atravessam com granulometria adequada (MIZU, 2007).

Figura 08 – Processo de moagem de cimento em operação



Fonte: Autoria Própria.

Essa operação é bastante dispendiosa devido à dureza principalmente do clínquer da mistura, implicando no desgaste das esferas do moinho. Por último, após a moagem final, o cimento está pronto e é armazenado nos silos representado na Figura 09 (MIZU, 2007).

Figura 09 – Silo de armazenamento do cimento.



Fonte: Autoria Própria.

3.9. Expedição

O equipamento responsável pelo ensaque é chamado de ensacadeira que tem capacidade de ensacar 3600 sacos por horas. O cimento é ensilado e pode ser vendido a granel

ou embalado em sacos de papel (Figura 10), acondicionados em paletes ou em pacotões. A expedição de cimento pode ser feita por caminhão, comboio ou navio, de acordo com as respectivas disponibilidades (MIZU, 2007).

A comercialização por a granel é destinada para consumidores de grande porte, normalmente no segmento industrial e de concreteiras. As instalações destes consumidores são dotadas de silos para armazenagem do cimento. O ensacado, por sua vez, destina-se aos consumidores de menor porte ou que não possuam silo de armazenagem. No mercado podemos encontrar embalagens de 25, 40 ou 50 kg conforme o tipo de cimento desejado (MARQUES, 2010).

Figura 10 – Expedição de cimento ensacado da fábrica da MIZU-Baraúna por caminhões



Fonte: Autoria Própria.

4. DETALHAMENTO DO COTROLE DE QUALIDADE

A etapa de controle de qualidade tem como objetivo analisar a qualidade durante a fabricação do cimento. É nesta etapa que são feitos todos os ensaios de análises química e física necessários para garantir a qualidade do produto. A seguir estão todas as análises e conhecimentos adquiridos durante o período de estágio no centro de resultados da qualidade.

4.1. Determinação de Perda ao Fogo (NBR NM 18)

O procedimento consiste na obtenção de um parâmetro através da perda da massa do material durante seu aquecimento no forno mufla. Essa perda se dá devido a liberação do dióxido de carbono (CO_2) presente no calcário. Isto é, é possível avaliar a quantidade de adição desse composto no processo produtivo do cimento. Porém, há perda de massa pela evaporação de água contida no gesso. Sabendo disso, a norma permite até no máximo 4,5% de perda ao fogo do cimento (PETRUCCI, 2005).

O início do procedimento consiste em pesar a massa de um cadinho de porcelana sem amostra e anota esse valor. Em seguida, pesar aproximadamente uma grama de amostra. Posteriormente, coloca-se para calcinar num forno mufla (Figura 11) em uma temperatura entre 900 e 1000 °C durante 45 min. Após esse período, a amostra é colocada num dessecador para esfriar e não pegar umidade do ar. Depois é pesado o valor da amostra calcinada (VOTORANTIM, 2002).

Figura 11 – Forno mufla



Fonte: Autoria Própria.

- Equação para perda ao fogo:

$$PF = \frac{(P1 - P2) \cdot 100}{m}$$

onde,

P1 = É a soma do peso do cadinho sem amostra com o peso apenas da amostra;

P2 = Peso do cadinho mais o da amostra calcinada;

m = Massa da amostra em análise.

4.2. Determinação do Resíduo Insolúvel (NBR NM 15)

Esta análise avalia a porção do cimento que não solubiliza aos ataques químicos de ácido clorídrico em temperaturas elevadas. Os principais causadores são as impurezas contidas no gesso que não agregam propriedades benéficas para o cimento. O tolerado pela norma é no máximo 1% para CP V e 16% para CP II de insolúveis (ZAGO, 2015).

Inicialmente, pesa aproximadamente uma grama de material (m) e transfere-a para um Becker de 250 mL. Adiciona-se 100 mL de água destilada e coloca-se para agitar em um agitador magnético por dois minutos. Adiciona-se ao Becker novo 100 mL da solução de ácido clorídrico (HCl) e agita-se por 30 minutos. Posteriormente, filtra-se todo o material da mistura através de um papel de filtração para reter a parte sólida da mistura, conforme mostrado na Figura 12. Feito isso, deve-se lavar com HCl aquecido a 70 °C. Em seguida, transfere-se o material retido juntamente com o papel filtro para um cadinho previamente pesado e anotado (mL), calcina-se a amostra no forno mufla lentamente na temperatura entre 900 e 1000 °C por 20 min. Por fim, esfria-se a amostra num dessecador (m2) e pesa-se. (VOTORANTIM, 2002):

Figura 12 – Processo de filtragem do material



Fonte: Autoria Própria.

- Equação para o percentual do resíduo insolúvel:

$$\% R.I. = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{m}$$

onde,

m = Massa inicial da amostra (g);

m₁ = Massa do cadinho (g);

m₂ = Massa do cadinho mais resíduo calcinado (g).

4.3. Teste de Permeabilidade de Blaine (NBR NM 76)

O método foi criado por Ridgen e Blaine no início dos anos de 1940. O equipamento foi denominado de permeabilímetro de ar, uma vez que, seu funcionamento determinava o tempo para uma quantidade de ar passava por uma camada de cimento compactada em uma câmara em condições padronizadas. A resistência do fluxo do ar é uma função do ar e função da área superficial compacta, de forma que quanto maior a superfície, mais difícil de passar o ar e mais fino será o cimento. A faixa permitida pela norma esta entre 3500 a 5000 cm²/g (ZAGO, 2015).

O laboratório deve estar na temperatura entre 18 a 22 °C. Determina-se a quantidade de massa usada pela seguinte equação:

$$M = \rho \cdot V_{cam} \cdot (1 - \varepsilon)$$

Sabendo que:

M = Massa do cimento (g);

ρ = Massa específica do cimento (g/cm³), disponibilizada pela ABNT de acordo com NBR NM 23;

V_{cam} = Volume da camada do material, podendo ser encontrado na etiqueta do aparelho;

ε = Porosidade da camada, geralmente o ponto de partida usada é 0,500.

Com o material já pesado, insere-se um papel filtro no formato de disco na cápsula no fundo, utiliza-se uma haste seca e limpa para pressionar. Em seguida, coloca-se a amostra na cápsula golpeando-a para torna-se uma superfície plana. Depois, coloca-se outro papel filtro pressionando-o novamente com a haste. Usando o embolo do aparelho para compactar de maneira suave e firme, até que se encoste à parte superior do filtro. Agora coloca-se a cápsula no tubo manométrico do permeabilímetro (Figura 13) que tem vaselina na sua borda onde é introduzido a cápsula para vedar. Posteriormente, com auxílio de uma pera, coloca-se o líquido (ftalato de dibutila) na marca superior e fecha-se a válvula. Nesse momento, começa a

contabilizar o tempo até a marca atingir a parte inferior. Por fim, anota-se esse tempo em segundo para calcular a superfície específica de massa através da seguinte equação (MIZU^[2], 2015):

$$S_{esp} = \frac{K \cdot \sqrt{\varepsilon^3} \cdot \sqrt{t}}{\rho \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{\eta}}$$

onde,

S_{esp} = Superfície específica de massa (cm^2/g);

K = Constante do aparelho ($\text{poises}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$);

ε = Porosidade da camada;

t = Tempo medido (s);

ρ = Massa específica do material (g/cm^3);

η = Viscosidade dinâmica do ar (poises).

Figura 13 – Permeabilímetro para encontrar o valor do Blaine



Fonte: Autoria Própria.

4.4. Determinação de Massa Específica (NBR NB 23)

Massa específica é a quantidade de massa contida em uma unidade volume em ensaio padronizado. A importância desse conhecimento é fundamental para o cálculo da finura pelo método de Blaine. Mas, a medida que se adiciona os materiais aditivos o valor da massa específica diminui (MARQUES, 2010).

Para começar a análise, coloca-se querosene com auxílio de um funil no frasco de Le Chatelier, em quantidade tal que seu nível superior fique entre as marcas 0 e 1 mL. Com auxílio de uma haste em volta de um papel deve-se secar o frasco na parte superior do tubo. A seguir, tampa-lo com a rolha e colocá-lo em uma caixa de isopor com água na vertical por 30 minutos. Após esse tempo, faz-se a leitura do nível do querosene contido no frasco e anota-se esse valor como volume inicial (VI). Posteriormente, pesa-se 60 g de material e insere aos poucos com um funil e uma espátula todo o material, vale salientar que o material sólido não pode estar colado na parede interna do frasco, acima do nível do líquido. Ao término desse processo, tampa-se o frasco, coloca-o numa posição inclinada e aplica-se um movimento giratório, suavemente, segundo um círculo horizontal, com o fim de expulsar o ar contido no material. Isto se consegue quando não mais aparecerem bolhas de ar na superfície do líquido. Coloca-se novamente no banho por mais 30 min e faz-se a leitura final (VF). O cálculo é obtido através da seguinte equação (MIZU^[2], 2015).

$$\rho = \frac{m}{(Vf - Vi)}$$

ρ = Massa específica do cimento (g/cm³);

m = Massa da amostra (g).

Vi = Volume inicial de querosene (cm³);

Vf= Volume final de querosene mais amostra (cm³).

4.5. Determinação da Finura do Cimento Pela Peneira Aerodinâmico

O princípio do peneiramento baseia-se simplesmente na separação do material em duas frações: uma fração possui partículas maiores em uma dimensão desejada que fique retida na peneira. A outra fração, por sua vez, é formada pelas partículas que possuem as dimensões menores que a abertura da peneira. A finura do cimento é caracterizada pelo índice de finura, que é o material retido na peneira de 75 µm (nº 200), expresso em porcentagem de massa (ZAGO, 2015).

Pesa-se aproximadamente 10 g da amostra, insere-se numa peneira aerodinâmica rotativa (Figura 14) com Mesh #170 no tempo de cinco minutos. A seguir, ajusta-se o vacuômetro para 200 mm de água. Depois desse tempo, mede-se o resíduo contido na peneira (MIZU^[2], 2015).

Figura 14 – Peneira rotativa aerodinâmica



Fonte: Autoria Própria.

- Equação para porcentagem da finura do cimento:

$$\% \text{ Finura} = \frac{R \cdot f \cdot 100}{m}$$

R = Resíduo da peneira (g);

f = Fator de correção da peneira;

m = Massa inicial (g).

4.6. Determinação de Cal livre (NBR NM 13)

Na etapa de clinquerização, existe óxido de cálcio que não reagiu na formação do clínquer e que está presente no cimento, este óxido é chamado de cal livre. São medido e representado para valores em percentual, quando sua presença está em excesso significa que o concreto terá a maior probabilidade de problemas estruturais como fissuras (ZAGO, 2015).

A metodologia consiste em pesar aproximadamente um grama da amostra, e, em seguida, transferi-la para um erlenmeyer de 250 mL, onde adiciona-se 30 mL de etileno glicol neutralizado. Posteriormente, agita-se até homogeneizar e a amostra é levada para o micro-ondas (Figura 15) juntamente com 30 mL de etileno glicol num Becker onde permanece por 1 min. Transfere-se para o kitassato com dois papéis filtros e liga-se a bomba a vácuo. Sempre lavando o precipitado do kitassato com o etileno glicol do becker. Depois que o material é filtrado, o produto no fundo do kitassato é inserido um indicador de cal livre (vermelho de metila). Por fim, acontece a titulação com uma solução de HCl 0,1M (MIZU^[2], 2015).

Figura 15 – Micro-onda, bomba a vácuo e frasco de etileno glicol neutralizado



Fonte: Autoria Própria

- Equação para porcentagem de cal livre:

$$\% \text{ CaO livre} = \frac{F \cdot V}{m}$$

No qual,

F = Fator de HCl solução calculada de acordo com a norma;

V = Volume de HCl utilizado na titulação;

m = Massa da amostra pesada.

4.7. Determinação da Resistência a Compressão (NBR 7215)

É considerada a principal análise qualitativa do cimento, tendo em vista que avalia todos os parâmetros durante a etapa da execução dessa análise, como endurecimento e resistência para que o então produto final tenha capacidade de suportar uma determinada força estabelecida pela norma durante a ruptura do corpo de prova. Consequentemente, vai atingir a resistência necessária para os clientes e sem perigo de danificar as estruturas de concreto e quem está ao seu entorno no dia-dia (ZAGO, 2015).

Tudo começa pela preparação da moldagem dos corpos de prova. Pesa-se 624 g de cimento, pesa-se 468 g de todas as areias com Mesh (#16, #30, # 50 e #100) e 300 g de água destilada. Introduz-se a água na argamassadeira (Figura 16), em seguida, liga-la na velocidade mínima e durante 30 segundos adiciona-se o cimento. Após este tempo, com o equipamento

funcionando coloca-se a mistura das areias de forma gradual durante 30 segundos. Após acrescentar a areia, muda-se a velocidade para máxima por 30 segundos. Após esse tempo, desliga-se por 1 minuto e 30 segundos, durante os primeiros 15 segundos retira-se a massa que ficou aderida nas paredes da cuba da argamassadeira com o auxílio de uma espátula. Depois desse intervalo, liga-se novamente o aparelho por 1 minuto na velocidade máxima (MIZU^[2], 2015).

Figura 16 – Argamassadeira em operação.



Fonte: Autoria Própria.

Seguidamente, já são colocados no molde na forma (Figura 17) de camada, necessariamente quatro camadas, na moldagem o operador deve fazer o procedimento de vinte soquetadas circulares de forma alternada para melhor compactação. Quando esse procedimento é concluído obtém-se os corpos de provas que ficaram em descanso por 24 horas na “sala fria”, ao fim do período são armazenados num tanque que contém água e cal virgem que podem ficar estocados na câmara por 1, 3, 7, 28 dias. Então, os corpos de provas já podem ser analisados quanto à resistência para cada tempo específico, mas como a fábrica produz CP II – Z não há necessidade de o primeiro dia ser analisado e o CP V todos os dias citados tem que ser realizado (MIZU^[2], 2015).

Figura 17 – Corpo de prova moldado.



Fonte: Autoria Própria.

Para realizar a ruptura é necessário fazer o capeamento com mistura de enxofre nos corpos de prova. Essa mistura é constituída de enxofre e areia moída na proporção de 67,5 % de enxofre mais 32,5 % de areia e aquecida entre 129 a 143 °C. Numa forma, coloca-se a mistura e insere-se uma extremidade do corpo de prova e depois faz-se o mesmo processo para a outra extremidade. Por fim, a amostra é analisada num aparelho (Figura 18) que mede a resistência MPa (MIZU^[2], 2015).

Figura 18 – Aparelho de ruptura dos corpos de prova



Fonte: Autoria Própria.

5. SUGESTÕES DE MELHORIAS

No processo de transporte do clínquer para o silo, foi percebido o empoeiramento do setor causado pela queda deste material entre o duto de alimentação e os “carrinhos” que transportam o clínquer. Foi proposto que se utilize o princípio das torres de destilação fracionada para diminuir a velocidade de queda das partículas implicando na diminuição da poeira. No entanto, há necessidade de um estudo para encontrar um material capaz de diminuir o impacto das partículas que irão colidir com pratos para que o mesmo não venha se deteriorar muito rápido.

No duto de transporte do corretivo, logo após sair do processo pelo filtro, existia um problema de quantificar o fluxo de material e mantê-lo dentro de um valor desejado, sendo assim, sugeriu-se que fosse automatizado essa parte do processo, implantado uma válvula de instrumentação juntamente com um transmissor de fluxo e um controlador de forma a manter constante o fluxo de material que segue para as demais etapas.

No controle de qualidade, foi sugerido um estudo de reaproveitamento da água que é descartada no esgoto durante a produção de água destilada. Essa água depois de ser tratada poderia ser reaproveitada no sistema de descarga de privada ou para irrigação da vegetação da empresa. Salientando que há a necessidade de um estudo aprofundado para o método de dessalinização dessa água.

6. CONCLUSÃO

No período de realização do estágio supervisionado foi possível unir o conhecimento adquirido na universidade à prática, o que contribuiu para o processo de aprendizagem do aluno bem como para o aprimoramento da capacidade técnica do estagiário enquanto futuro engenheiro químico. Principalmente associando conhecimento específico aos que estão presente no dia-dia da indústria cimenteira, tal como sua complexidade de produção e controle da qualidade.

Nesta experiência foi possível ter contato com todos os colaboradores da empresa, assim foi possível ter a oportunidade de compreender a importância de um bom relacionamento interpessoal entre todos que fazem parte do quadro de colaboradores da empresa, pois todos trabalham felizes e amizade entre eles tornando uma equipe vencedora que consegue atingir perspectiva da empresa.

Durante o estágio foi possível acompanhar a importância de entender as etapas do processo para fabricação do cimento e o controle de qualidade para assegurar a satisfação do cliente. No decorrer das atividades tive a colaboração de toda a equipe da MIZU-Baraúna e acredito que conseguir atingir um crescimento profissional e interpessoal durante o período de estágio.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico da Utilização do Cimento Portland**, ed. 7, p. 28, São Paulo, 2002.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009. **Uma Breve História do Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>> Acesso em: 21/07/2017.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B. **Diagnóstico do Pólo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com Ênfase na Produção de Gipsita para Fabricação de Cimento**. 2003. Disponível em: < <http://maxgesso.com.br/download/Gipsita%20ufpe.PDF>> Acesso em: 21/07/2017.

BEM, S.S. **Instalações de Britagem, Condições de Trabalho e de Processo: Uma Abordagem de Saúde e Segurança**. 2006. 193f. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BUGALHO, A. **Competitividade das Indústrias de Cimento do Brasil e da América do Norte**. 1998. Dissertação (mestrado em Geociência) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARVALHO, M.B.M. **Impactos e Conflitos da Produção de Cimento no Distrito Federal**. 2008. 187f. Dissertação (mestrado em desenvolvimento sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MARQUES, S.K.J. **Estudo Incorporação de Cascalho Proveniente da perfuração de Poços de Petróleo em Formulações para Tijolos de Solo-Cimento**. 2010. 109f. Dissertação (mestrado em ciência e engenharia de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Argilas Plásticas do tipo “Ball Clay”**. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 118-124, nov. 2014.

MIZU^[1]. **Manual do Integrante da Cimento MIZU Integração, Código Disciplinar e Ético**, Baraúna, 2015.

MIZU^[2]. **Manual do Sistema de Qualidade da MIZU**, Baraúna, 2015.

MIZU. **Padrões Internos de Produção e Processo de Cimento**, Baraúna, 2007. (Atualizado em 2013)

OLIVEIRA, M.P.; BARBOSA, N.P. Potencialidades de um Caulim Calcinado como Material de Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassas. **Revista Brasileira de Engenharias Agrícolas e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 490-496, 2006.

PEDROSA, F.J.B. **Análise Operacional do Desmonte de Calcário**. 2014. 42f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia de minas) - Universidade Estadual de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

RAMOS, M.D. **Estudo da Formação e Emissão de Poluentes na Atmosfera Originários do Coprocessamento de resíduos em Fábricas de Cimento**. Tese (doutorado em engenharia mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

SANTOS, J.M. **Comparação entre Rotas Tradicionais de Beneficiamento de Minérios para a Concentração de Alumínio Metálico em Escórias**. 2013. 91f. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

SELLITTO, M.A. **Sistema de Produção Sincronizado: Uma Aplicação em Processos Produtivos de propriedade Contínuos Segundo a Teoria das Restrições**. 1999. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SIGNORETTI, V.T. **Controle das Emissões de NO_x, SO_x e Metais Pesados quando se utilizam Combustíveis Alternativos e de teor de Enxofre na Indústria de Cimento**. 232f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2008.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **SNIC 50 Anos**, Rio de Janeiro, 2006. Disponível: <<http://snic.org.br/historia.asp>> Acesso em: 18/09/2017.

SOUZA, L.A. **Processos e Gestão da Inovação na indústria Cimenteira Brasileira**. 2013. 102f. Dissertação (mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VOTORANTIM. **Apostila Controle de Qualidade**. 2002.

ZAGO, S.C. **Estudo do Efeito da Cristalinidade da Escória de Aciaria nas Propriedades Físico-Químicas do Cimento Portland CP III**. 2015. Dissertação (mestrado em ciência) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.