

GUIRLEI EURIPEDES MEDEIROS

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL - 1987

GUIRLEI EURIPEDES MEDEIROS

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL - 1987

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

ESTÁGIO: PROJETO DE PESQUISA

LOCAL : LABORATÓRIO DE SOLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ÁREA : CERÂMICA

TÍTULO : ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

ORIENTADOR: PROF. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA

ESTAGIÁRIO: GUIRLEI EURIPEDES MEDEIROS

CARGA HORÁRIA: 500 HORAS

INÍCIO : 01/08/86

TÉRMINO : 09/07/87

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - 1987

GUIRLEI EURIPEDES MEDEIROS  
ENG.-MAT., UFPB

ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

ESTÁGIO APRESENTADO À UNIVERSIDADE  
FEDERAL DA PARAIBA, COMO PARTE DAS  
EXIGÊNCIAS DO CURSO DE GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE MATERIAIS.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TÉCNOLOGIA DOS MATERIAIS CERÂMICOS

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - 1987



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

POR

GUIRLEI EURIPEDES MEDEIROS  
ENG.-MAT., UFPB

APROVADO EM 05/AGOSTO / 1987

POR

Julgo 8,0 (oito) Elcio B. Tavares

Julgo 8,0 (oito) Hebe L. D.

Julgo 8,0 (oito) Ruth H. Goldschmidt

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL - 1987.

ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO COM CASCA DE ARROZ

## PREFÁCIO

O Curso de Engenharia de Materiais está dividido em três áreas: polímeros, cerâmica e metais. Dos quais, muitos materiais cerâmicos são empregados nos campos de produção e projeto pelo engenheiro de materiais.

Exemplos dos tipos mais comuns de materiais cerâmicos incluem vidros, materiais dielétricos de alta frequência, cimentos, alguns dos mais recentes materiais magnéticos, abrasivos, refratários, produtos argilosos pesados, esmaltes, vidrados e cerâmica branca.

Para examinar os componentes desses materiais, devemos lembrar que os elementos da tabela periódica podem ser dividido em duas categorias gerais: metálicos e não-metálicos. Os átomos metálicos perdem com facilidade os seus elétrons de valência tornando-se íons positivos. Os átomos dos não-metálicos, pelo contrário, retêm seus elétrons de valência mais firmemente do que os metálicos o fazem, e, de fato, aceitarão ou compartilharão elétrons adicionais. Numa terminologia vulgar, os materiais cerâmicos são considerados as substâncias usualmente formadas por compostos de elementos metálicos e não-metálicos. Assim  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $SO_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiC$  e  $BaTiO_3$  são compostos cerâmicos relativamente simples. Outros mais complexos, são as argilas, os espinélios magnéticos, a mulita, os vidros amorfos.

Foi desenvolvido neste trabalho experimentalmente e através de cálculos, a obtenção do cimento através da substituição da tradicional argila pela cinza obtida da casca de arroz calcinada. Também o cimento derivado da mistura da cinza, gesso e o clínquer do cimento Portland.

## RESUMO

A idéia deste estágio de estudo surgiu à partir do interesse de um melhor conhecimento da obtenção do cimento por meio de um material alternativo, por ser uma técnica até hoje não suficientemente estudada, onde o tradicional e até hoje usado material argiloso foi substituído pela cinza derivada da casca de arroz após a calcinação. Isto porque, desde a invenção do cimento Portland, há quase 150 anos, poucos esforços tem sido desenvolvidos no sentido de modificar a sua composição com vistas à reduzir o custo desse produto.

A escolha da cinza da casca de arroz para substituir a argila no cimento baseou-se na existência de certo dado encontrado na literatura, o que facilitou a comparação dos resultados aqui obtidos.

A importância deste método de obtenção de cimento através de material pozolânico, representa uma linha de pesquisa nunca antes explorada nesta região no sentido de correlacionar de um modo preciso as propriedades finais que governam o cimento, tais como a cal, gesso, óxidos de ferro cinza da casca de arroz e clínquer do cimento Portland.

As composições das matérias primas usadas em proporções corretas para elaboração do cimento final, foram calculadas através de módulo matemáticos já existente.

Enfim, este cimento surgiu da mistura calcinada de cal, cinza, óxido de ferro e gesso adicionado posteriormente como agente de pega. E devido também à mistura de cinza da casca de arroz com clínquer do cimento Portland mais o gesso como agente de pega.

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Heber Carlos Ferreira, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realizar este trabalho e pela firme orientação e apoio.

Ao Dr. Celso A. Martins, Professor do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, pela acolhida em seu Departamento, especial atenção e pelas valiosas sugestões e críticas a esse trabalho.

Ao aluno de Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, Márcio Jorge Lucas Farias pela valiosa ajuda na obtenção das matérias primas para a realização deste trabalho.

## SIMBOLOGIA UTILIZADA

<u>SIMBOLOS</u>	<u>PROPRIEDADES</u>
C <sub>3</sub> S.....	Silicato Tricálcico
C <sub>2</sub> S.....	Silicato Dicálcico
C <sub>3</sub> A.....	Alúminato Tricálcico
C <sub>4</sub> AF.....	Alúminato-Ferrita Tetracálcico
SO <sub>4</sub> Ca-2H <sub>2</sub> O.....	Gesso Di-Hidratado
P.F.....	Perda ao Fogo
D.....	Dureza
I.P.....	Início de Pega (minutos)
F.P.....	Fim de Pega (minutos)
I.H.....	Índice de Hidráulicidade
T.F.....	Temperatura de Fusão (°C)
C.H.....	Calor de Hidratação (Cal/g)
M.S.....	Módulo de Silica
M.A.....	Módulo de Alumina
M.C.....	Módulo de Cal
M.G.....	Módulo de Gesso
T.....	Tração (Kgf/cm <sup>2</sup> )
T.R.....	Tensão de Ruptura (Kgf/cm <sup>2</sup> )
C.A.....	Carga de Adensamento (Kgf/cm <sup>2</sup> )
C.....	Compressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )
NºP.....	Número da Peneira
Cimento P.....	Cimento Portland

## ÍNDICE

	Pág.
CAPITULO I-1- <u>INTRODUÇÃO</u> .....	01
2- <u>OBJETIVOS</u> .....	02
CAPITULO II- <u>REVISÃO LITERÁRIA</u>	
1- <u>INTRODUÇÃO</u> .....	02
2- <u>ALGUNS TIPOS DE CIMENTOS</u>	
2.1-Cimento pozzolânico.....	03
2.2-Cimento Portland.....	04
2.2.1-Reações dos Componentes.....	06
2.2.2-Óxidos contidos no cimento.....	07
2.2.3-Características dos componentes....	10
2.2.4-Hidratação do cimento.....	11
2.2.4.1-Hidratação dos componentes.	13
2.2.4.2-Calor de hidratação.....	15
3- <u>MATÉRIAS PRIMAS USADAS EM CIMENTO</u>	
3.1-Gesso	
3.1.1-Introdução.....	16
3.1.2-Fluxograma da obtenção do gesso....	17
3.2-Cal	
3.2.1-Introdução.....	17
3.2.2-Obtenção da cal.....	18
3.2.3-Hidratação da cal.....	18
3.2.4-Reação de carbonatação.....	19
3.3-Casca de arroz e a argila	
3.3.1-Introdução.....	20
3.3.2-Potencial de produção.....	21
CAPITULO III- <u>MÉTODOLOGIA</u>	
1- <u>INTRODUÇÃO</u> .....	22
2- <u>INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL</u> .....	23
3- <u>MATÉRIAS PRIMAS</u> .....	23
4- <u>EQUIPAMENTOS</u> .....	24
5- <u>FÓRMULAS MATEMÁTICAS E SEUS PROCESSOS</u> DE	
<u>CÁLCULO NA OBTENÇÃO DOS CIMENTOS DE</u> CINZA	
<u>DE CASCA DE ARROZ</u> .....	25
6- <u>DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA PRODUÇÃO</u> .....	30

	Pág.
<u>7-MÉTODOS DE FABRICAÇÕES DOS CIMENTOS</u>	
7.1-Método-A.....	31
7.2-Método-B.....	32
<u>8-AMOSTRAGEM PARA ANÁLISE</u>	
8.1-Amostra-A.....	33
8.2-Amostra-B.....	34
8.3-Amostra-C.....	35
8.4-Amostra-D.....	36
8.5-Amostra-E.....	37
<u>CAPITULO IV- RESULTADOS DAS ANÁLISES E ENSAIOS EFETUADOS</u>	
<u>1-RESULTADOS DAS COMPOSIÇÕES.....</u>	38
1.1-Composição química da cinza, após cal- cinação à 1000°C até seu peso tornar-se constante.....	38
1.2-Composição química da cinza, após cal- cinação à 1000°C durante três horas....	39
1.3-Composição química da cal da indústria Caulisa, sem tratamento térmico.....	40
1.4-Composição química do gesso da indús- tria Cimepar, após tratamento à 50°C...	41
1.5-Composição obtida pela análise racional calculada por módulo matemático e tem- peratura de fusão da amostra de cinza-A após à análise química.....	42
1.6-Composição química da argila usada como corretivo no cimento-A de cinza de cas- ca de arroz, sem tratamento térmico....	42
1.7-Composição química do cimento Portland usado como referência para comparação com os cimentos desenvolvidos durante o estudo deste trabalho.....	43
<u>2-ENSAIOS TÉCNOLOGICOS</u>	
2.1-Introdução.....	44
2.2-Ensaio do cimento-A de cinza do método-A.....	45

2.2.1-Teores de matérias primas contidas no cimento-A de cinza e comparação com o cimento Portland.....	45
2.2.2-Cálculo da composição do cimento-A de cinza e comparação com a composição do cimento Portland.....	46
2.2.3-Cálculo do módulo de saturação do cimento-A de cinza e comparação com o módulo de saturação do cimento Portland.....	47
2.2.4-Cálculo dos componentes mineralógicos do cimento-A de cinza e comparação com os componentes do cimento Portland.....	47
2.2.5-Resultados dos ensaios do cimento-A de cinza e comparação com o cimento Portland.....	48
2.3-Ensaio do método-B, para os cimentos resultantes das misturas do clínquer do cimento Portland mais cinza e gesso.....	49
2.3.1-Teores de matérias primas contidas nos cimentos resultantes do método-B.....	49
2.3.2-Resultado dos ensaios dos cimentos da mistura de cinza, gesso e clínquer do cimento Portland.....	49
2.4-Observações finais dos processos	
2.4.1-Introdução.....	50
2.4.2-Observações do cimento-A de cinza, relativo ao método-A.....	51
2.4.3-Observações dos cimentos de cinza obtidos pelo método-B.....	53
 CAPÍTULO V- <u>CONCLUSÃO</u>	
1- <u>CONCLUSÕES DO PRESENTE TRABALHO</u> .....	54
 CAPÍTULO VI- <u>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS E BIBLIOGRAFIA</u>	
1- <u>SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS</u> .....	56
2- <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	57

## CAPITULO I

### 1-INTRODUÇÃO

O atual contexto econômico e energético, caracterizado pelas expressivas mudanças decorrentes da substituição do óleo combustível por fontes alternativas de energia, aliado às solicitações cada vez mais exigentes do mercado, tem levado a indústria cimenteira nacional a buscar técnicas mais informativas e eficazes para a investigação e controle dos cimentos produzidos.

Entre as fontes alternativas para o cimento, encontra-se as pozolânicas ativas, capazes de serem obtidas em larga escala da cinza de casca de arroz, na região sul, sudeste e centro-oeste. Onde numa combustão controlada da casca de arroz resulta cerca de vinte por cento de cinza, constituída quase que exclusivamente de sílica em estado amorfo, que é uma pozolana altamente reativa.

As pozolanas são classificadas como:

-POZOLANAS NATURAIS: São materiais de origem vulcânicas e materiais sedimentares de origem animal ou vegetal como diatômica, esqueleto de micro-organismo silicosos etc.

-POZOLANAS ARTIFICIAIS: São materiais tratados como rochas ou materiais não reativo no estado natural, onde podem melhorar graças a um tratamento térmico entre 600 a 900°C, tais como argila, casca de arroz e outros. Onde este tratamento elimina a água e modifica a estrutura da matéria.

## 2 - OBJETIVOS

- a) - Estudar a substituição da argila pela cinza da casca de arroz.
- b) - Calcular a porcentagem de óxido de ferro a ser adicionado à mistura de matéria prima, para fabricar o cimento.
- c) - Achar o módulo do agente de pega.
- d) - Obter um cimento que possua um índice de resistência suficiente de trabalho.
- e) - Obter um cimento da mistura do clínquer mais a cinza e o gesso.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 1 - INTRODUÇÃO

Antes de iniciar o estudo da fabricação de cimento utilizando a cinza como matéria prima, chegou-se por conveniência; mostrar algumas considerações relativas à certas caracteris

ticas de alguns cimentos, encontradas na literatura. Serão apresentados informações gerais sobre a obtenção do cimento e suas matérias primas, sendo mostrado também reações, funções dos componentes e seus óxidos na formação do cimento.

## 2-ALGUNS TIPOS DE CIMENTOS

### 2.1-CIMENTO POZOLÂNICO

Os cimentos pozolânicos são substâncias silicosas e alumínicas que embora não tendo qualidades aglomerantes próprias reagem com a cal hidratada na presença de água, nas temperaturas ordinárias, resultando a formação de compostos cimentícios. Esses materiais podem ocorrer naturalmente ou serem produzidos em instalações industriais adequadas, sendo os primeiros encontrados como cinzas vulcânicas e os segundos resultantes do beneficiamento de argilas cozidas, escórias e neste caso devido a calcinação da casca de arroz até a obtenção da cinza.

Não se conhece ainda o mecanismo da ação química entre as pozolânicas e a cal presente no cimento hidratado, embora admite-se que a sílica amorfa finamente dividida, presente nas pozolânicas reaja com a cal hidratada, produzindo principalmente silicato monocálcico.

O uso conveniente das pozolânicas nos concretos de cimento Portland melhora muitas as qualidades desse material, como, por exemplo; a trabalhabilidade, além disso, diminui o calor de hidratação, aumenta a impermeabilidade, assim como a resistência aos ataques por águas sulfatadas, águas puras e águas do mar, diminui os riscos de reação álcalis-agregado, a eflorescência por percolação de água e finalmente os custos.

Não resta a menor dúvida de que a utilização das pozolanas se vai tornando uma imposição de natureza econômica e tecnológica, principalmente nas obras de grande envergadura, onde suas qualidades fazem melhor efeito. Não há, até o presente momento, qualquer tentativa de utilização desse material aqui no Brasil.

## 2.2 - CIMENTO PORTLAND

O cimento portland pelo que foi informado, é obtido pelo cozimento até a fusão incipiente de mistura de calcário, argila e óxido de ferro convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial.

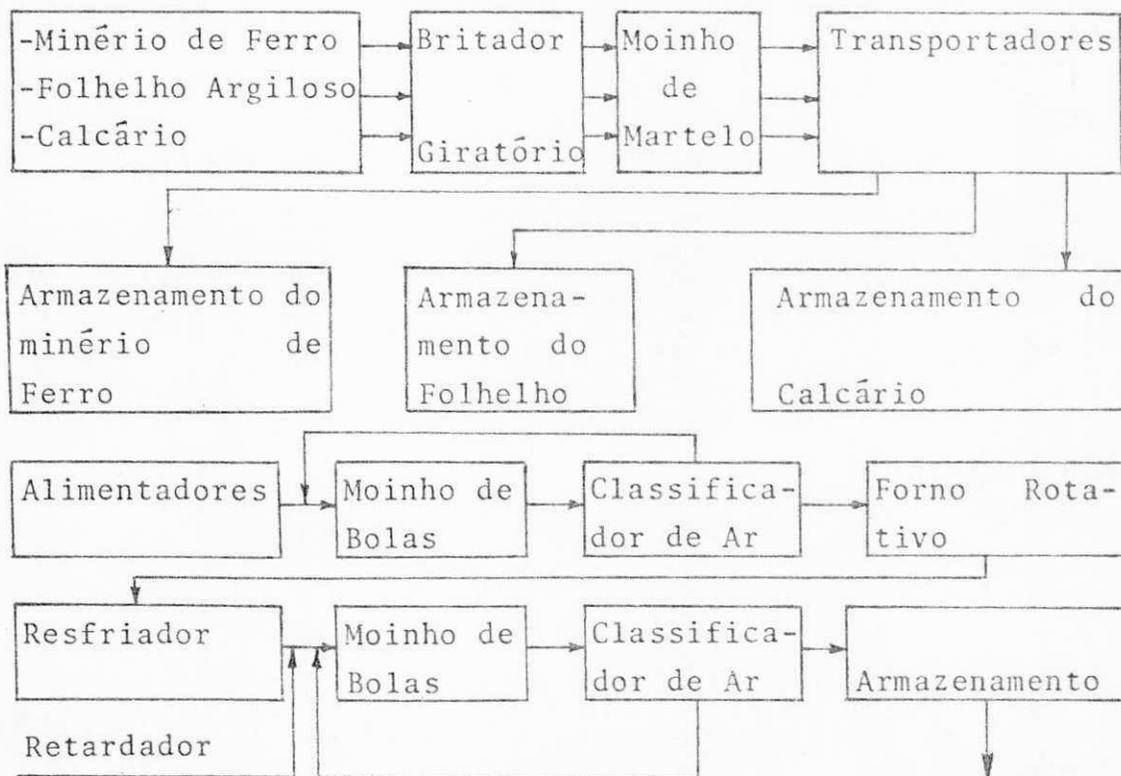
O endurecimento rápido e a alta resistência do cimento, é devido a combinação cal-sílica, formando:

- SILICATO TRICÁLCICO: Que constitui no silicato mais rico em cal que é possível de obter através de reações na fase sólida, a uma temperatura compreendida entre os limites de estabilidade e durante o tempo necessário até que todas as partículas de cal tenham reagido com as de sílica (processo de escala laboratorial). Mas a cal livre que não combinou-se, fica contida dentro do cimento numa estrutura mineral compacta procedente de uma fusão e endurecimento posterior. Nem depois do clínquer ter sido moído, a cal livre alcança uma finura elevada, apenas reduz a cal livre em condições mais acessivas à água de apagamento. Quando se hidrata as partícu

las de cal, as únicas partículas que não apagam-se, são as de cal livre, que vai durante o processo de endurecimento do cimento enfraquecê-lo ou desintegrar-se sua estrutura, este fato designa-se como expansão por cal livre no cimento. O conteúdo de carbonato de cálcio na mistura de clínquer só é regular com uma precisão de 0,1%.

Atualmente pode-se calcular com exatidão suficiente até que ponto pode-se elevar, teoricamente, o módulo de saturação da cal na mistura de clínquer, pois sabemos quais são os compostos principais que integram o clínquer do cimento.

-FLUXOGRAMA PARA OBTENÇÃO DO CIMENTO PORTLAND À SECO



## 2.2.1-REAÇÃO DOS COMPONENTES

TABELA-1

Temperatura	Processo	Reações
Até 100°C	Evaporação de água livre	Endotérmica
100-200°C	Evaporação da água adsorvida	Endotérmica
500°C	Desidroxilação dos minerais argilosos	Endotérmica
400-900°C	Os argilo-minerais perdem seus grupos OH	Endotérmica
Acima 700°C	Decomposição da dolomita e início das reações no estado sólido	Endotérmica
900°C	Recristalização dos minerais de argila	Exotérmica
Acima 900°C	Decomposição do $\text{CaCO}_3$	Exotérmica
900-1200°C	Reação de CaO com os aluminosilicatos	Exotérmica
1200-1280°C	Início da formação da fase líquida	Endotérmica
1280°C	Formação de $\text{C}_2\text{S}$	Exotérmica
1280-1330°C	Formação principal da fase líquida e de $\text{C}_3\text{S}$	Endotérmica
1330-1400°C	Crescimento dos cristais de $\text{C}_3\text{S}$ e $\text{C}_2\text{S}$	Endotérmica
Acima 1400°C	Começa a fusão com formação de $\text{C}_3\text{S}$ e $\text{C}_2\text{S}$	Endotérmica

### 2.2.2-ÓXIDOS CONTIDOS NO CIMENTO

#### -CaO

A cal é o componente essencial dos cimentos, figurando numa porcentagem de 60 a 67%. Na maior parte provém da decomposição do carbonato de cálcio. Só em proporção muito pequena é que se encontra em estado de liberdade no cimento artificial. Em igualdade de condição pode-se dizer de suas propriedades mecânicas aumenta com o teor de cal, desde que se encontre completamente combinada. Se o processo é imperfeito, pode resultar uma certa quantidade de cal livre cuja presença em estado anidro, acima de certos limites prejudica a estabilidade de volume das argamassas de concreto.

#### -SiO<sub>2</sub>

A proporção de sílica no cimento Portland varia de 17 a 25%. Ela se encontra combinada com outros componentes e provém sobretudo das argilas usadas como matéria prima. É da sua combinação com a cal que resulta os compostos mais importantes do cimento Portland.

#### -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Também da argila provém a alumina do cimento artificial, onde seu teor varia geralmente de 3 a 8%. O com-

posto formado pela combinação desse óxido com a cal acelera a pega do aglomerante e reduz sua resistência aos sulfatos, razão pela qual a quantidade presente deve ser pequena. Praticamente não se pode prescindir da alumina porque, agindo como fundente, facilita, com as temperaturas correntes no processo, o desenvolvimento das reações que possibilitam a formação do clínquer.

-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Esse óxido trazido pela argila aparece geralmente no cimento Portland em quantidades relativamente pequena 0,5 a 6%, combinado com outros óxidos presente. No cimento branco pode descer abaixo de 0,2%. Geralmente não há a assinalar a presença de FeO, salvo em quantidades pequenas, no máximo 0,3%.

Esse óxido trazido pela argila, desde em porcentagem não muito elevada, é útil pelo seu papel fundente, desenvolvendo nesse sentido uma ação mais enérgica do que a alumina. Acredita-se que os teores relativamente altos de alumina e óxido de ferro possam facilitar a produção comercial de um cimento com porcentagem de cal suficientemente alta para converter toda a sílica em silicato tricálcico sem que resulte cal livre em quantidade inconveniente.

-SO<sub>3</sub>

Tem sua origem principalmente no sulfato de cálcio adicionado corretamente ao cimento para regular sua pega, retardando-a. Geralmente estabelecem as especificações o teor máximo de 3% para SO<sub>3</sub>, considerando-se perigosa sua presença acima deste limite, em virtude da formação do sulfaluminato. Uma boa parte do pequeno teor de enxofre contido nas matérias primas e no combustível desprende-se no forno com as poeiras.

-MgO

A magnésia no cimento provém do carbonato de magnésio presente no cálcario, geralmente sob a forma de dolomita, ou, em pequena quantidade, na argila. Seu teor no cimento varia de 0,1 a 6%.

Admite-se que no cimento Portland a magnésia não se encontra combinada. Em quantidades superiores a certos limites esse óxido atua como expansivo, agindo de forma nociva sobre a estabilidade de volume das argamassas e concretos.

Tanto em relação ao  $\text{SO}_3$  como ao MgO, admite-se, maioria das autoridades que devem ser fixados limites, visto que as provas de resistência até 28 dias nada informam a este respeito. Quais os limites a adotar, é assunto discutível que tem figurado na literatura técnica desde os primeiros tempos da história dos aglomerantes hidráulicos.

- $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{Na}_2\text{O}$

Os álcalis encontram-se com frequência no cimento Portland, em teores de 0,5 a 1,3%, desenvolvendo o papel de fundente na cozedura e agindo como acelerador de pega.

Certos agregados de composição anormais provocam expansões anormais nas argamassas, quando o cimento contém um teor de álcalis superior a 0,6%.

- $\text{TiO}_2$  -  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  -  $\text{P}_2\text{O}_5$

Os óxidos de titânio e manganês e o anidrido fosfórico são encontrados em pequenas quantidades no cimento, por isso, geralmente não são determinados separadamente.

## -PERDA AO FOGO E INSOLÚVEIS NO HCl

São dados que podem dar indicações sobre a eficiência da cozedura, aeração ou adulteração.

A perda ao fogo reúne umidade, água combinada e gás carbônico. As especificações toleram no máximo 4% o que já é excessivo. Na realidade só atingiriam limites dessa ordem em cimentos armazenados por tempo muito longo em condições pouco favoráveis, e isso ficaria patenteado nos ensaios mecânicos.

O teor de insolúveis tolerado em especificações em geral não excede de 1%, sendo que na realidade raramente se encontra um cimento Portland com mais de 0,4% de insolúveis.

### 2.2.3-CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

Os resultados de inúmeros trabalhos sobre a constituição do cimento mostraram ser ele essencialmente de compostos:

-SILICATO TRICÁLCICO:Ocorre em cristais bem definidos, relativamente grandes, com contornos hexagonais. Os cristais, em algumas amostras revelam formas muito perfeitas, com arestas bastante vivas, e em outras apresentam acentuada de corrosão, aparecendo os ângulos arredondados.

Os  $C_3S$  desenvolvem a resistência inicial e um calor de hidratação bastante elevado.

-SILICATO DICÁLCICO:Ocorre em cristais relativamente grandes exibindo forma arredondada ou apresentando bordas ocas

sem nenhuma evidência de forma regular.

Entre os cristais do  $C_2S$  encontram-se o material intersticial claro e o material intersticial escuro, constituído essencialmente das fases que se achavam no estado líquido à temperatura de clinquerização.

-ALÚMINATO TRICÁLCICO: É este composto que possui o endurecimento mais rápido e o calor de hidratação mais elevado.

Os cristais formados tem um aspecto variável do modo de esfriamento do clinquer segundo: em geral são pequenos e estão mal formados, se o esfriamento é rápido, e são grandes e retangulares no caso contrário.

-ALÚMINIO-FERRITA TETRACÁLCICO: Este composto praticamente, não contribui para a resistência. Se encontra na fase intersticial limpa do clinquer.

#### 2.2.4-HIDRATAÇÃO DO CIMENTO

O cimento é constituído por um certo número de compostos, cujas reações são a origem do processo de endurecimento. Consequentemente, antes de estudar o mecanismo, do endurecimento, impõe-se examinar a natureza das reações desses compostos com a água.

Os compostos presentes no cimento são anidros, mas, quando postos em contato com a água, reagem com ela formando produtos hidratados. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis, em compostos hidratados menos solúveis. Na hidratação, há

formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros, de maneira que na zona de transição( zona intermediaria entre o cristal primário e o gel), a solução é supersaturada em relação aos compostos hidratados. As variações de concentração de soluto e água fazem com que gere um gradiente de concentração, originando uma pressão osmótica que vai trazer a ruptura do gel, expondo novas áreas do composto anidro à ação da água.

Os produtos hidratados são de fraca solubilidade na água, de tal sorte que em concreto denso a dissolução é de grandeza desprezível. Apesar disso, é interessante examinar o processo do ataque pela água, o que se fará para o caso dos silicatos hidratados, que são os compostos mais importantes do concreto endurecido.

O silicato hidratado, em presença da água pura sofre hidrólise, libertando íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  e íons dos ácidos silícicos, até que a concentração atinja o valor desejado para o seu equilíbrio. Se continuar a extração com água sempre renovada, o silicato hidratado, eventualmente deixará um residuo, constituído de sílica hidratada, passando o íon  $\text{Ca}^{2+}$  totalmente para a solução, acompanhando os íons  $\text{OH}^-$  e de parte de sílica que tarda a permanecer em solução.

O silicato de cálcio hidratado constitui um exemplo de composto que forma solução incongruente. O composto é parcialmente decomposto, quando em contato com a água, perdendo principalmente, cálcio e pouco silício, tornando-se menos básico. O equilíbrio é atingido, quando a concentração dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ , libertados em solução, atinge o valor necessário para estabilizar o silicato de cálcio hidratado menos básico que resulta do processo de dissolução parcial. Os dois silicatos sólidos, mais básico e menos básico, juntamente com a solução, formam um sistema em equilíbrio para cada temperatura considerada. Adiciona a parte de hidróxido de cálcio à solução, este se combina com o silicato menos básico e, se for juntada mais água, esta se combinará com o silicato mais

básico. Em ambos os casos, o sistema tende a atingir o equilíbrio, embora possa exigir tempo considerável em virtude da lentidão do processo químico. Na prática como foi dito, a dissolução do silicato hidratado, contido no cimento endurecido, é insignificante sobretudo, nas massas de porosidade reduzida.

A hidratação como um processo cristaloidal, o endurecimento é explicado pelo engavetamento de cristais que se formam pela cristalização de uma solução supersaturada de compostos hidratados menos solúveis que os anidros.

O aglomerante, em definitivo, é um sistema de constituintes anidros instáveis, que em presença da água, tendem a dar um sistema de constituintes hidratados estáveis.

#### 2.2.4.1-HIDRATAÇÃO DOS COMPONENTES

-C<sub>3</sub>S

A hidratação começa dentro de poucas horas, desprende-se calor, o composto anidro vai passando para a solução, aparecendo cristais de Ca(OH)<sub>2</sub>, enquanto uma massa gelatinosa de silicato hidratado se forma em torno dos grãos originais.

-C<sub>2</sub>S

É atacado lentamente pela água, depois de semanas os cristais se recobrem de silicato hidratado, forma-se também Ca(OH)<sub>2</sub>, porém em menor quantidade que na hidratação de C<sub>3</sub>S.

-C<sub>3</sub>A

Reage rapidamente com a água e cristaliza em poucos minutos. Não produz hidróxido, mas alúminato hidratado. O calor de hidratação é tanto que seca a massa.

-C<sub>4</sub>AF

Reage menos rapidamente que o C<sub>3</sub>A. Não libera o cal e forma também um alúminato hidratado.

Estas reações, processam-se simultaneamente, havendo ainda uma reação, da parte dos compostos, com o gesso.

O alúminato de cálcio hidratado reage com o sulfato de cálcio e forma um sulfo-alúminato conhecido pelo nome de sal de Candlot.



A cristalização desse sal se dá com fixação de muita água.

Havendo cal dissolvido na água de embebição o alúminato não está dissolvido e forma-se nos poros da massa uma quantidade de sulfo-alúminato maior do que ele pode conter, o que provoca a expansão e desagregação do material.

Em caso contrário, isto é, formando-se o sulfo-aluminato a partir do alúminato dissolvido, a cristalização do sal não ocupa um volume maior que o dos três componentes (água-alúminato-sulfato), o elemento sólido se aloja nos poros e a massa se torna mais compacta.

#### 2.2.4.2-CALOR DE HIDRATAÇÃO

A reação de pega e endurecimento dos concretos são exotérmicas.

Este desenvolvimento de calor eleva a temperatura da pasta, argamassa ou concreto, sobretudo se forem rápidas as reações.

O aumento de temperatura é mais sensível em concretos-massa, visto a dissipação do calor fazer-se pela superfície e ser ele gerado proporcionalmente ao volume.

A quantidade de calor liberado é função da composição do clínquer e é expresso em calorías por grama.

O calor de hidratação é a quantidade de calor em calorías por grama de cimento anidro, desenvolvida depois da completa hidratação, a uma dada temperatura.

O método mais usado para a determinação do calor de hidratação é o da medida da diferença entre os dois valores do calor de dissolução de duas amostras de cimento, uma anidra e outra hidratada, numa mistura de ácido fluorídrico e nítrico.

Procura-se ter baixo calor de hidratação para reduzir a diferença entre as temperaturas máximas e final do concreto, a fim de evitar o fissuramento.

O calor gerado aumenta com a finura do cimento menos rapidamente que a resistência, e é possível compensar a diminuição de resistência inicial devida a uma composição pobre em  $C_3A$ , por uma moagem mais enérgica.

Conclui-se, pois, que 90% do calor é liberado aos 20 dias, atingindo-se cerca de 50% aos 3 dias de idade.

### 3 - MATÉRIAS PRIMAS USADAS EM CIMENTO

#### 3.1-GESSO

##### 3.1.1-INTRODUÇÃO

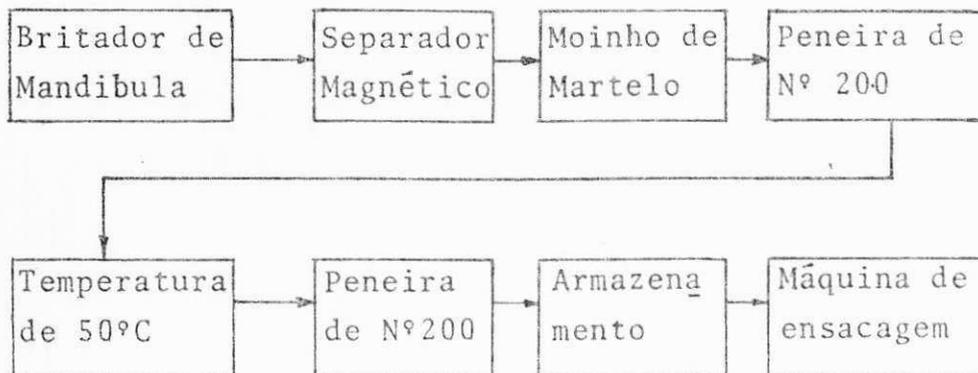
O cimento Portland contém, em grande proporção, os minerais: silicato tricálcico, silicato dicálcico, alumínio ferrita tetracálcico e aluminato tricálcico além de MgO livre. Na hidratação, há dissolução, recristalização, hidratação e precipitação da sílica coloidal, que leva à pega. Como cimento Portland geralmente pega rapidamente, é usado 3% de gesso não tratado ou seja no estado natural para retardar a pega. Este reage com o aluminato tricálcico para formar sulfo-aluminato de cálcio, que retarda a pega e reduz a retração.

A rocha, também chamada de gesso, quando pura, consiste no mineral gipsita, que é sulfato hidratado de cálcio,  $\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$ .

Há depósitos contendo 99% de gesso, porém outros depósitos podem conter até 65%, com impurezas de calcário, quartzo ou folhelho argiloso.

Bem, o gesso  $\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$  não tratado será adicionado como agente de pega no cimento.

### 3.1.2-FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DO GESSO



### 3.2-CAL

#### 3.2.1-INTRODUÇÃO

Os materiais para a obtenção de cal são os calcários (calcita  $\text{CaCO}_3$ ) ou conchas de ostras (aragonitas) que pela calcinação, transformam-se em cal viva ou  $\text{CaO}$ . Essa reação começa a cerca de  $900^\circ\text{C}$  e é processada em fornos estáticos verticais e em fornos rotativos, decompõe-se em óxidos de cálcio e anídridos carbônicos.

### 3.2.2-OBTENÇÃO DA CAL



O óxido de cálcio( cal viva), exibe estrutura porosa e formatos idênticos aos dos grãos de grandes dimensões com 10 a 20cm em média.

### 3.2.3-HIDRATAÇÃO DA CAL



A reação de hidratação é altamente exotérmica acompanhada de um grande volume. Na variedade cálcica de grande pureza, o processo é violento. Na variedade magnésiana, o processo é mais lento e, conseqüentemente a produção de calor é menor, assim como o aumento de volume.

A hidratação da cal viva pode resultar na produção de hidróxido em forma cristalina ou coloidal, em proporção que depende das condições mantidas durante a reação. Os cristais de hidróxido de

cálcio formam-se e desenvolvem-se devagar, enquanto o hidróxido coloidal se forma com rapidez. Quanto mais rápida a reação, maior a proporção coloidal de hidróxidos. A utilização de água quente ou morna e a agitação de mistura concorrem para o aumento da proporção do coloide.

O processo de hidratação da cal viva pode ser conduzido naturalmente, por efeito de absorção da umidade do ar. Ele é, contudo, acompanhado de carbonatação, visto que o CO<sub>2</sub> do ar está associado ao vapor de água presente no mesmo, tornando-se o produto inútil como aglomerante.

A cal hidratada oferece sobre a cal virgem algumas vantagens, entre elas a maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. É um produto pronto para ser utilizado, eliminado em canteiro a operação de extinção e, subsequentemente, de envelhecimento. Quando seco, pulverulento, oferece maior facilidade de mistura na elaboração das argamassas. Apesar de seu nome, a cal hidráulica não é um produto apropriado para construção sob a água. Sua pega é muito lenta, o que a torna mais adequada a emprego de menor responsabilidade.

#### 3.2.4 - REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO



A reação de carbonatação, ocorre a temperatura ambiente, quando da elaboração de argamassas, por recombinação do hidróxido com o gás carbônico presente na atmosfera, reconstituindo o carbonato original, cujos cristais ligam de maneira permanente aos grãos de agregados utilizados.

### 3.3-CASCA DE ARROZ E A ARGILA

#### 3.3.1-INTRODUÇÃO

A casca de arroz é constituída por vários orgãos protetores, os quais influênciam a constituição da casca do arroz devido a formação geológica do solo onde é cultivado a planta. Como o tipo de solo enfluência na formação dos constituintes da casca de arroz, implica que irá então influênciar nos teores de óxidos da casca, variando assim sua composição química de região para região.

As cascas de arroz são pouco utilizadas por serem muito pobres em proteínas digestíveis e em nutrientes digestíveis totais, apresentando escasso valor nutritivo.

Em ensaio realizado em laboratório especializado, provou que a casca é um material com alto poder calorífico, alto teor de sílica e alúmina, com outros componentes em proporção pequenas. O que vem a provar que a mesma é um material altamente abrasivo.

Atualmente é usado como combustível, embalagem, obtenção do furfurool, fardos industriais, fertilizantes manufaturados e agregados em tijolos de barro.

Além disso, a casca contém óleo fino, fluído incolor e inodoro e mais ou menos 82% de amido ou 86% de materiais livres de ozôto, o que bem revela a sua pobreza em materiais azotados.

Enfim, devido ter constatado pelas análises químicas da cinza da casca de arroz e da argila tradicionalmente usada na confecção do cimento, que estas mesmas possuem composições químicas semelhantes, pode então chegar-se a conclusão da substituição da argila pela cinza.

### 3.3.2 - POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE CASCA

Para a região centro-oeste a oferta de casca de arroz da última safra foi estimada, em Goiânia e Anápolis, em 1.250.000 toneladas. Um problema é que grande parte é beneficiado nos meses de janeiro a julho no caso, grandes, médios e pequenos cerealistas. De julho a janeiro, geralmente, pequenos e médios beneficiadores continuam operando. Um razoável controle de oferta de arroz em casca é executado pela C.F.P. - comissão de financiamento da produção, do ministério da agricultura, a qual, comprando os excedentes na época da safra, efetua a comercialização na entre-safra com o intuito de regular o preço do arroz limpo. Existem também a produção de arroz irrigado na planície do médio Araguaia, no estado de Goiás, com colheita de 90.000 toneladas

com tendência de aumento de produção. Para a região, que se estudou, a produção de cimento à partir de casca de arroz será adequada devido a grande oferta de casca de arroz na periferia da cidade de Goiânia. O transporte da casca será feito em caminhões com capacidade de  $35m^3$ , recolhendo em depósito aberto. Enfim a fabricação do cimento, deverá ser feita próxima às máquinas beneficiadoras, que consideram a casca como rejeito indesejável.

### CAPÍTULO III

#### MÉTODOLOGIA

##### 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado à seguir o local onde foi realizado este trabalho, seus principais materiais, suas matérias primas e fórmulas.

Para a realização deste trabalho, foi planejado inicialmente cinco métodos diferentes, com subdivisões destes métodos em quatro ensaios diferentes, devido o adição ou não de agente de pega, clínquer do cimento Portland e óxido de ferro. Mas como o tempo para a realização deste estudo não foi suficiente, tornou-se necessário à redução

dos cinco métodos para dois métodos.

Foi também realizado várias análises de matérias primas, para obter-se informações necessárias à realização, deste trabalho.

## 2 - INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

A instalação experimental utilizada foi a do departamento de engenharia civil, laboratório de solos, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Campina Grande, Paraíba. Com a preciosa orientação e colaboração do chefe do laboratório de solos, Professor Dr. Heber Carlos Ferreira.

## 3 - MATÉRIAS PRIMAS

Sobre as matérias primas usadas para elaboração do cimento, estas foram as seguintes:

- CAL HIDRATADA: a cal hidratada usada no trabalho foi obtida no comércio de Campina Grande, Paraíba.

- CESSO DI-HIDRATADO: O gesso usado neste trabalho foi conseguido na indústria de cimento Cimepar localizada na cidade de João Pessoa, Paraíba.

- CASCA DE ARROZ: A casca de arroz usada na experiência foi fornecida pelo aluno de engenharia de materiais Márcio de Lucas Jorge Farias, conseguindo o material no sertão da Paraíba, na região de Patos.

- ÓXIDO DE FERRO: O óxido de ferro que é usado no cimento como corretivo, foi obtido na mina da fábrica de cimento Cimepar.

- CLINQUER: O clínquer do cimento Portland que foi usado em certa proporção à mistura de casca de arroz calcinada, mais o gesso foi obtido também na indústria de cimento Cimepar.

#### 4 - EQUIPAMENTOS

Sobre a unidade de efetuar a pesagem, foi utilizado duas balanças de precisão, sendo uma eletrônica e a outra mecânica.

Apesar do laboratório dispor de vários equipamentos para realizar a moagem, foi utilizado apenas três tipos de moinhos, um moinho de bolas pequeno (elétrico), um moinho de porcelana (manual) e um de rolo.

Para confecção deste trabalho foi utilizado os seguintes materiais:

- Máquina de ensaio de compressão
- Máquina de ensaio de tensão de ruptura
- Moldes e prensa hidráulica
- Foi usado vários fornos com capacidade máxima de temperatura de até 1400°C.
- Usou-se também várias peneiras, cadinhos e outros materiais.

### 5-FÓRMULAS MATEMÁTICAS E SEUS PROCESSOS DE CÁLCULO NA OBTENÇÃO DOS CIMENTOS DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

#### a) -FÓRMULA DA ANÁLISE RACIONAL CALCULADA USADA NO CÁLCULO DA CINZA-A

$\%Na_2O \times 5,6 = \%SiO_2$  no feldspato sódico ( $NaAlSi_3O_8$ )

$\%K_2O \times 3,83 = \%SiO_2$  no feldspato potássico ( $KAlSi_3O_8$ )

$\%Na_2O \times 1,63 = \%Al_2O_3$  no feldspato sódico

$\%K_2O \times 1,09 = \%Al_2O_3$  no feldspato potássico

$\%Al_2O_3$  Total -  $\%Al_2O_3$  de feldspato =  $\%Al_2O_3$  na substância argilosa ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ )

$\%Al_2O_3$  da substância argilosa  $\times 1,18 = \%SiO_2$  na substância argilosa

$\%Quartzo = \%SiO_2$  Total - ( $\%SiO_2$  da substância argilosa +  $\%SiO_2$  de feldspato sódico e potássico)

$\%Feldspato = (\%Na_2O \times 8,45) + (\%K_2O \times 5,92)$

$\%Substância\ Argilosa = 100 - \%(\text{quartzo} + \text{feldspato})$

b) -FÓRMULA PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE HIDRÁULICIDADE DO CIMENTO-A

$$I.H. = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO}$$

c) -PROCESSO PARA O CÁLCULO DO CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO-A DE CINZA

$$C.H. = 136(\%C_3S) + 62(\%C_2S) + 200(\%C_3A) + 30(\%C_4AF) \text{ (Cal/g)}$$

d) -MÉTODO DE CÁLCULO DAS PORCENTAGENS DE CAL E CINZA MAIS A ARGILA USADA COMO CORRETIVO NO CIMENTO-A DE CINZA

O método de cálculo das porcentagens é realizado pelo Método de Newberry (Eckel, 1909).

O método necessita de três etapas:

ETAPA 1: Na cinza, multiplicar a  $\%SiO_2$  por 2,8,  $\%Al_2O_3$  por 1,2 e a  $\%Fe_2O_3$  por 0,65; somar os produtos; subtrair da soma, a  $\%CaO$  na cinza, e subtrair também 1,4 vez a  $\%MgO$  na cinza. Chamar o resultado de "A".

ETAPA 2: No cal, multiplicar a  $\%SiO_2$  por 2,8,  $\%Al_2O_3$  por 1,2 e  $\%Fe_2O_3$  por 0,65; somar os três produtos; e da  $\%CaO$  +

1,4(%MgO) subtrair a soma dos três produtos. Chamar o resultado de "B".

ETAPA 3: Dividir "A" por "B". O quociente será o número de partes(em peso) de cal por partes de cinza, mas geralmente usa-se uma relação 10% menor que esse quociente.

e) -PROCEDIMENTO DO CÁLCULO DOS COMPOSTOS MINERALÓGICOS DO CIMENTO-A

$$\%C_3S = 4,07 \text{ CaO} - (7,6\text{SiO}_2 + 6,72\text{Al}_2\text{O}_3 + 1,43\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2,85\text{SO}_3)$$

$$\%C_2S = 2,87 \text{ SiO}_2 - 0,754 \text{ C}_3\text{S}$$

$$\%C_3A = 2,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,69 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\%C_3AF = 3,04 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\%SO_4Ca = SO_3 \text{ 1,7}$$

Para um bom cimento, a composição média dos seus componentes mineralógicos deve estar sempre próxima da seguinte:

-Para o  $C_3S=45\%$

-Para o  $C_3A=12\%$

-Para o  $C_2S=25\%$

-Para o  $C_4AF=9\%$

f) - MÉTODO DOS CÁLCULOS DOS MÓDULOS DE SATURAÇÃO DOS COMPONENTES AGLOMERANTES DO CIMENTO - A DE CINZA

$$\text{- MÓDULO DE SILICA} = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{- MÓDULO DE ALÚMINA} = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{- MÓDULO DE CAL} = \frac{\% \text{CaO} - 0,7 (\% \text{SO}_3)}{2,8 (\% \text{SiO}_2) + 1,2 (\text{Al}_2\text{O}_3) + 0,65 (\% \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

$$\text{- MÓDULO DE GESSO} = 1,7 (\% \text{SO}_3)$$

Onde o módulo de sílica deve estar entre 2 a 2,5 para o cimento comum; entre 1,7 e 2 para o cimento baixo em sílica; e entre 2,5 e 3,5 para o cimento alto em sílica.

O módulo de alúmina, teoricamente, poderia variar entre infinito para o cimento branco, sem ferro, e zero para o cimento à base de minério de ferro, isto é, uma ferrita de cálcio, sem alúmina. Entretanto, o valor mínimo é da ordem de 0,66, devendo estar entre 1 e 4.

O módulo de saturação da cal é também especificado entre 0,66 e 1,02, sendo o mais frequente entre 0,85 e 0,95.

g) - MÉTODO DE CÁLCULO DA TENSÃO DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA DE CIMENTOS.

É realizado pela seguinte fórmula:  $T.R. = \frac{(15) \cdot (f)}{(h^2) \cdot (L)}$

f = Carga peso de rompimento do corpo de prova

h = Altura do corpo de prova

L = Comprimento do corpo de prova.

h - FÓRMULA DO CÁLCULO DA TEMPERATURA DE FUSÃO DA CINZA - A  
DA COSCA DE ARROZ

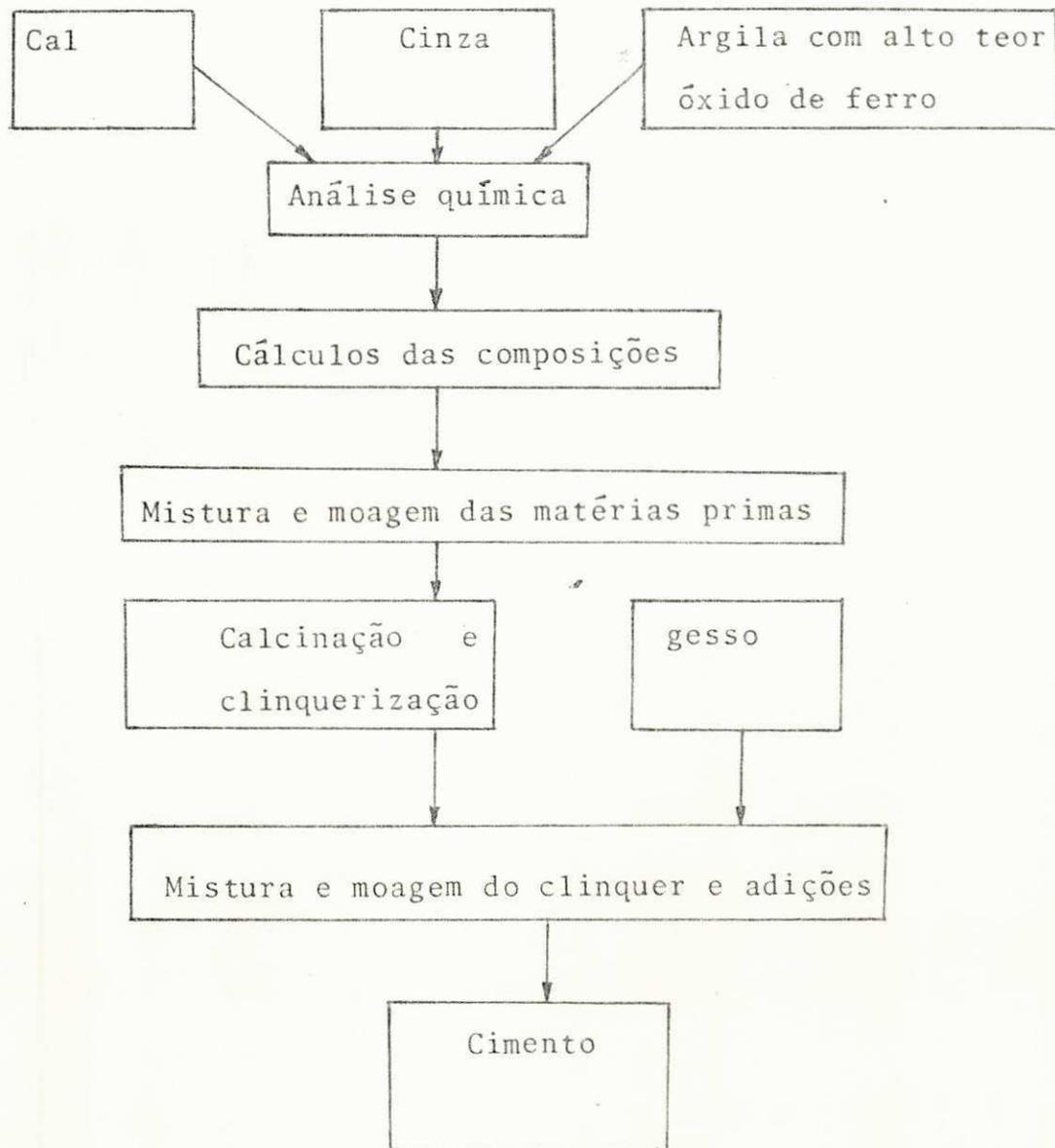
Pega-se o teor de cada componente da análise química e divide cada um pela diferença, entre 100 e a perda ao fogo, obtendo-se assim novos valores para os óxidos que serão usados nos cálculos abaixo:

$$Al_2O_3 = \frac{\%Al_2O_3}{\frac{Al_2O_3 + SiO_2}{100}}$$

$$RO = \frac{(K_2O + Na_2O + SO_3 + MgO + CaO + Fe_2O_3) + Al_2O_3 + SiO_2}{100}$$

$$\text{Temperatura de Fusão} = \frac{360 + Al_2O_3}{0,228} - RO = T.F.$$

6-DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA PRODUÇÃO

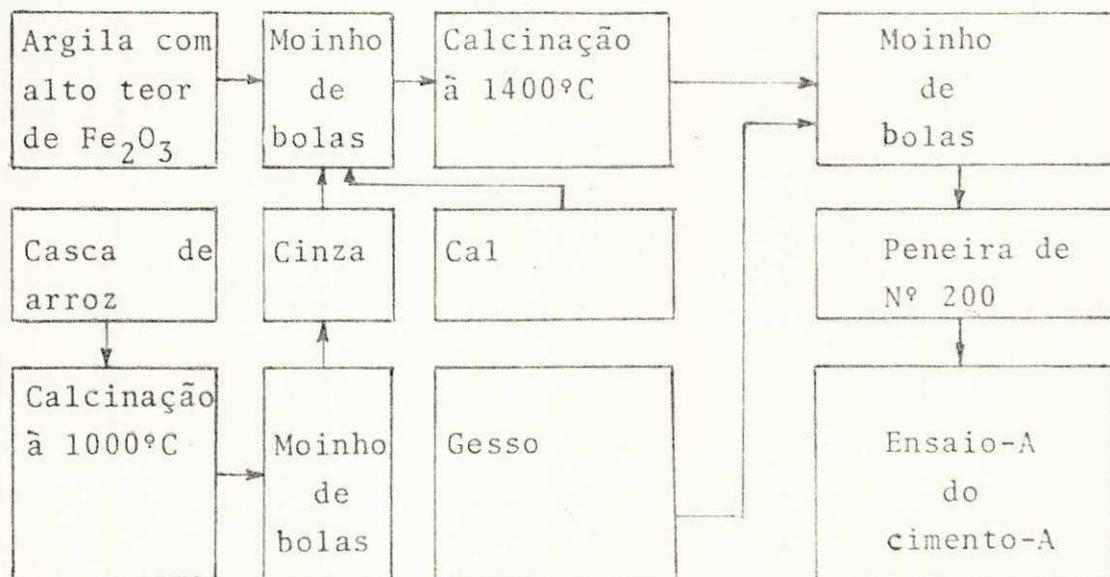


## 7-MÉTODOS DE FABRICAÇÕES DO CIMENTO

### 7.1-MÉTODO-A

Este método foi realizado utilizando a casca de arroz calcinada à 1000°C, onde em seguida esta era dosada com corretivo e cal, para posterior pulverização, em um moinho de bolas, em seguida foi levado a mistura ao forno elétrico e calcinado durante cinco horas, com uma temperatura de 1400°C. Após esta calcinação deixou-se a mistura esfriar-se para em seguida pulverizá-la junto com o controlador de pega. E por fim fez-se o peneiramento do cimento final de casca de arroz calcinada, e seus ensaios.

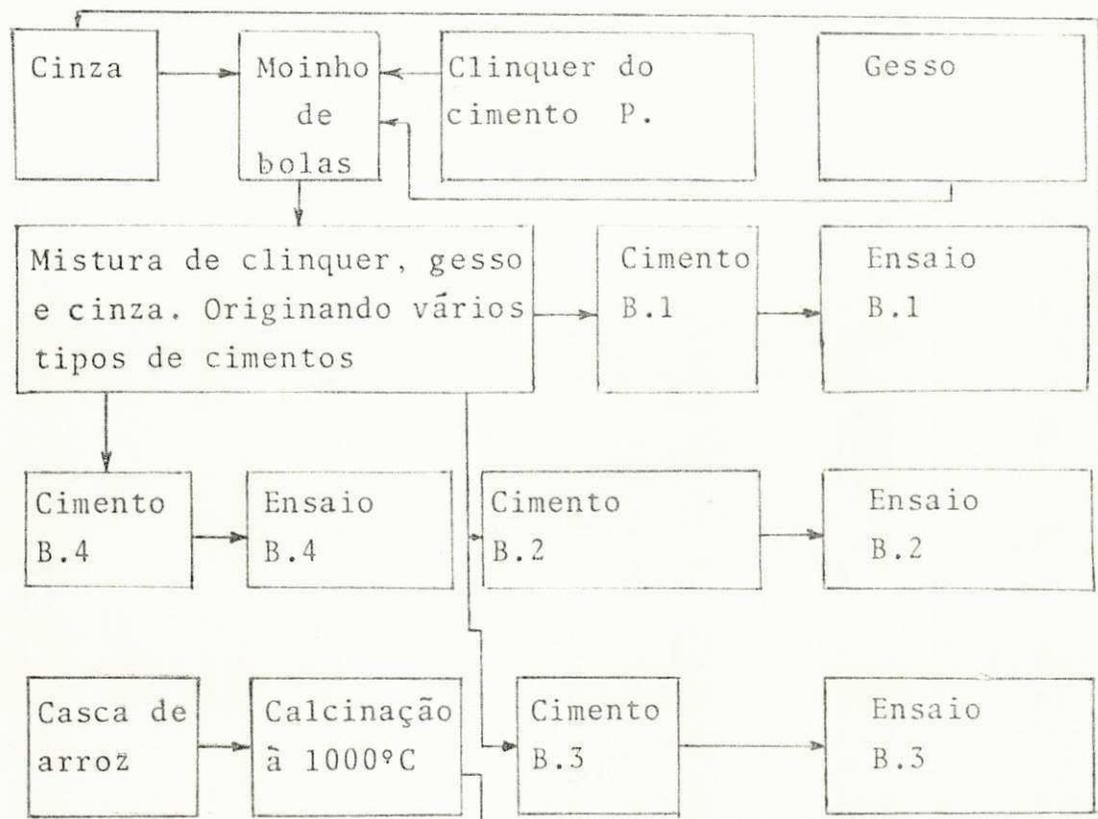
#### -FLUXOGRAMA



## 7.2-MÉTODO-B

Este método utilizou apenas a casca de arroz calcinada num forno elétrico à 1000°C durante 3 horas, com posterior dosagem de clínquer do cimento Portland à cinza, e também acrescentou-se o gesso à mesma mistura para os vários ensaios.

### -FLUXOGRAMA



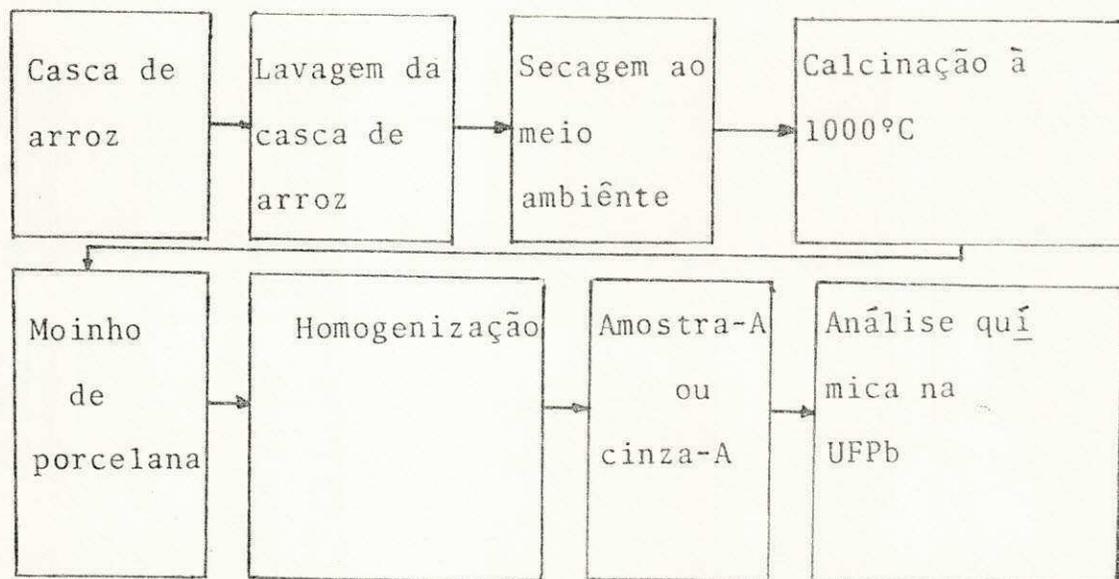
## 8 - AMOSTRAGEM PARA ANÁLISE

### 8.1 - AMOSTRA-A

Primeiramente foi lavado uma grande quantidade de casca de arroz para retirar as impurezas contidas nesta casca; depois passado a mesma por um processo de secagem ao meio ambiente durante um certo tempo, onde em seguida calcinou-a num forno à 1000°C, até que seu peso tornou-se constante.

Após certificar que o peso ficou constante, realizou a moagem da cinza em uma vasilha de porcelana, com posterior homogeneização e dosagem da amostra. Onde a mesma amostra foi enviada para o laboratório de análises minerais do campus II da UFPb, para fazerem a determinação dos óxidos contidos.

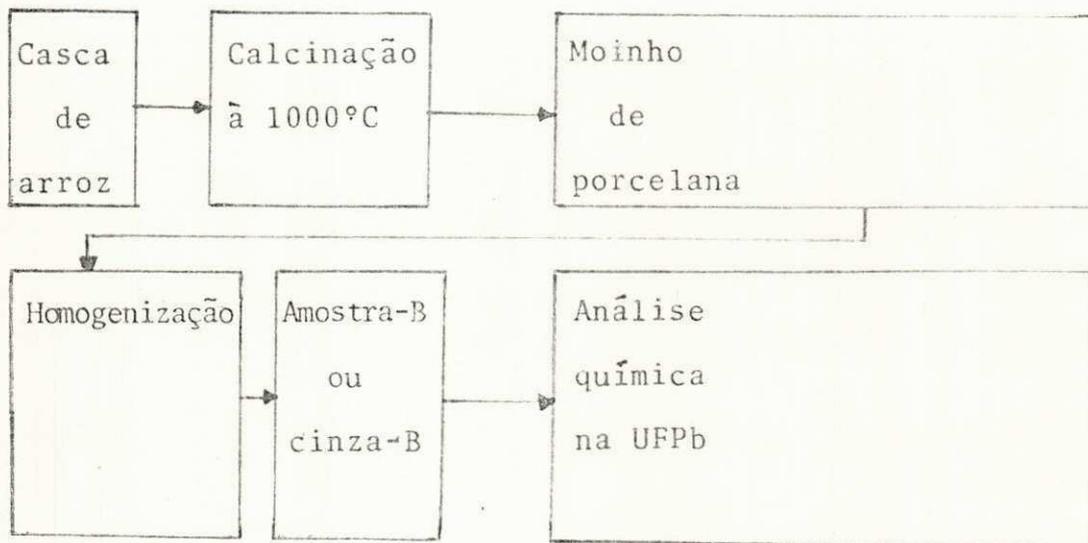
#### - FLUXOGRAMA



## 8.2-AMOSTRA-B

Esta amostra consistiu apenas em calcinar uma grande quantidade de casca de arroz à 1000°C durante três horas, com uma moagem da cinza em moinho de porcelana, depois da moagem realizou-se uma homogenização da amostra. Sendo a amostra enviada depois para o laboratório de análises minerais da UFPb, para fazerem a determinação dos óxidos contidos na amostra.

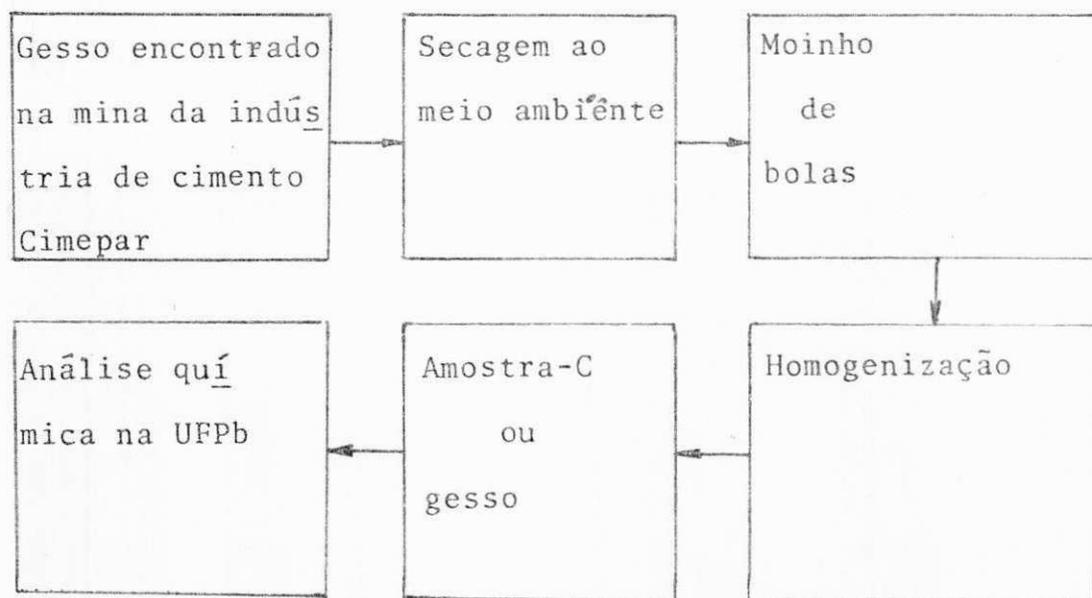
### FLUXOGRAMA



### 8.3-AMOSTRA-C

O gesso que se usa como controlador do tempo de pega do cimento é o di-hidratado, que é obtido pela pulverização da gipsita. Foi enviada uma amostra do gesso para o laboratório de análises minerais da UFPb para determinarem os teores de óxidos presentes no gesso.

#### -FLUXOGRAMA



#### 8.4. AMOSTRA-D

Este processo consistiu em adquirir uma cal da indústria Caulisa na cidade de Campina Grande. Onde em seguida preparou-se uma amostra e enviou-a para o laboratório de análise minerais desta universidade, para determinarem os teores de óxidos presentes na cal.

#### -FLUXOGRAMA

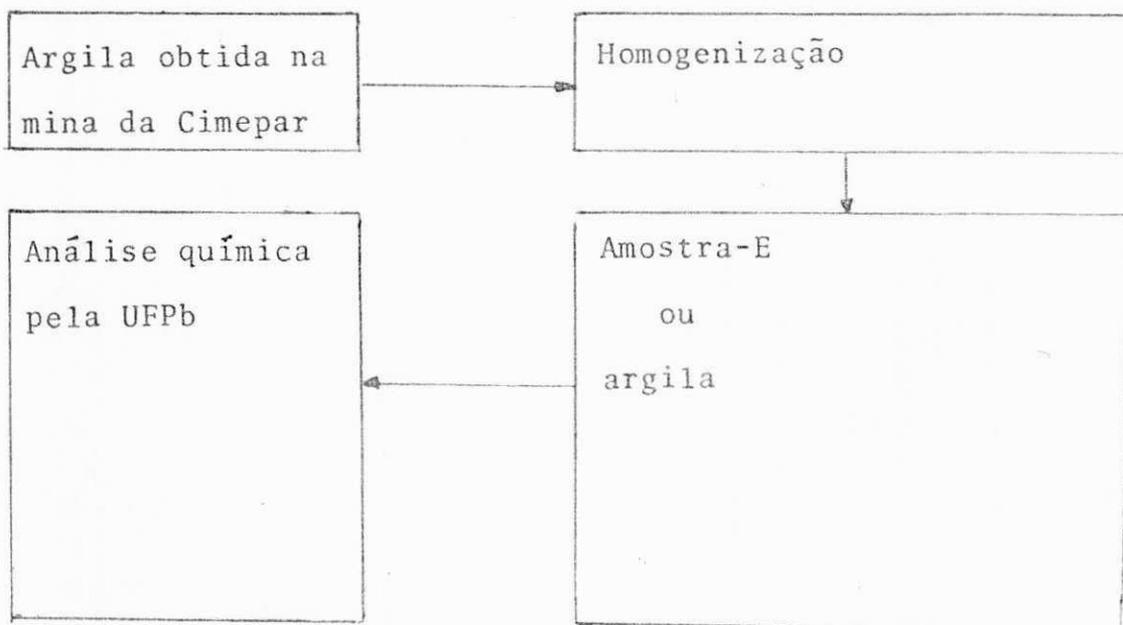


## 8.5-AMOSTRA-E

A argila usada como corretivo do teor do óxido de ferro e outros óxidos contidos no cimento, foi adquirida na mina da indústria de cimento Cimepar, que é localizada na cidade de João Pessoa-Pb.

Foi enviada uma amostra da argila para o laboratório desta instituição, para determinarem os teores de óxidos contidos na argila.

### FLUXOGRAMA



## CAPITULO IV

### RESULTADOS DAS ANÁLISES E ENSAIOS EFETUADOS

#### 1-RESULTADOS DAS COMPOSIÇÕES

Devido o resultado da cinza-A estar semelhante ao resultado de uma análise química de casca de arroz efetuada na Universidade de São Paulo, e também pelo método na qual a mesma foi submetida ser o mais correto, resolveu-se então usar para efeito de cálculo matemático o resultado da cinza-A como sendo o ideal, em vez de usar o da cinza-B.

#### 1.1-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA, APÓS CALCINAÇÃO À 1000°C ATÉ SEU PESO TORNAR-SE CONSTANTE

Tabela-2

Composição(%)	Cinza-A
SiO <sub>2</sub>	92,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
CaO	1,62
MgO	0,38
SO <sub>3</sub>	N.D.
Na <sub>2</sub> O	0,50
K <sub>2</sub> O	0,81
P.F.	N.D.
Total	100,00

N.D.-Não detectado

P.F.-Perda ao fogo

1.2-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA, APÓS CALCINAÇÃO A 1000°C  
DURANTE TRÊS HORAS

Tabela-3

Composição(%)	Cinza-B
SiO <sub>2</sub>	74,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55
CaO	N.D.
MgO	1,98
SO <sub>3</sub>	N.D.
Na <sub>2</sub> O	0,34
K <sub>2</sub> O	0,95
P.F.	5,20
Total	100,00

N.D.- Não detectado

P.F.- Perda ao fogo

1.3-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CAL DA INDÚSTRIA CAULISA, SEM TRATAMENTO TÉRMICO

Tabela-4

Composição(%)	Cal
SiO <sub>2</sub>	5,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26
CaO	54,90
MgO	1,36
K <sub>2</sub> O	0,30
Na <sub>2</sub> O	1,55
P.F.	34,75
Total	100,00

P.F.-Perda ao Fogo

1.4-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GESSO DA INDÚSTRIA CIMEPAR, APÓS  
TRATAMENTO À 50°C

Tabela-5

Composição(%)	Gesso
SiO <sub>2</sub>	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N,D
CaO	36,78
MgO	0,58
Na <sub>2</sub> O	0,81
K <sub>2</sub> O	0,09
SO <sub>3</sub>	55,49
P.F.	5,62
Total	100,00

P.F.-Perda ao Fogo

N.D.-Não Detectado

1.5-COMPOSIÇÃO OBTIDA PELA ANÁLISE RACIONAL CALCULADA POR MÓDULO MATEMÁTICO E TEMPERATURA DE FUSÃO DA AMOSTRA DE CINZA-A, APÓS A ANÁLISE QUÍMICA

Tabela-6

Composição(%)	Cinza-A
Quartzo	83,51
Feldspato	9,02
Substância Argilosa	7,47
Total	100,00
T.F.	1639 °C

T.F.-Temperatura de Fusão

1.6-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ARGILA USADA COMO CORRETIVO NO CIMENTO-A DE CINZA DE CASCA DE ARROZ, SEM TRATAMENTO TÉRMICO

Tabela-7

Composição(%)	Argila
SiO <sub>2</sub>	57,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,77
CaO	0,27
MgO	0,09
SO <sub>3</sub>	N.D.
K <sub>2</sub> O	0,30
Na <sub>2</sub> O	0,07
Perda ao Fogo	18,60
Total	100,00

1.7-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND USADO COMO RE-  
FERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO COM OS CIMENTOS DESENVOLVIDOS DU-  
RANTE O ESTUDO DESTE TRABALHO

Tabela-8

Composição(%)	Cimento Portland
SiO <sub>2</sub>	22,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,70
CaO	63,50
MgO	2,30
SO <sub>3</sub>	1,30
K <sub>2</sub> O	0,30
Na <sub>2</sub> O	0,50
P.F.	Zero
Total	99,80

P.F.-Perda ao Fogo

## 2- ENSAIOS TÉCNOLOGICOS

### 2.1- INTRODUÇÃO

Durante a comparação da composição da cinza com a da argila, pode notar que todos os óxidos estavam presentes em proporções aceitáveis, menos o óxido de ferro e o óxido de silício. Onde o óxido de ferro possuía uma grande diferença ou seja, ele estava contido em menor proporção na cinza do que na argila. Mas, isto foi contornado facilmente, ou seja com a adição de uma argila contendo alto teor de óxido de ferro como corretivo à mistura de cimento de cinza. E a sílica foi encontrada na cinza com teores acima do normal, ou seja 25% a mais do que é normal ser encontrado na argila.

Durante os ensaios foram confeccionados, vários corpos de provas, variando seus teores de matéria prima. Depois de ter realizado os ensaios com os corpos de prova, aproveitando-se os ensaios de melhores resultados, desprezando os outros. E por fim fixou-se as porcentagens das matérias primas do novo cimento em: 85% para o Cal, 7,25% para a Cinza, 0,5% para o Gesso e 7,25% para a Argila usada como corretivo.

O clínquer do cimento Portland que foi usado para confeccionar os cimentos do método-B, passou por um tratamento térmico em forno rotativo na indústria de Cimento Cimepar, até que o mesmo apresentasse 25% de fase vítrea o que indica que o clínquer ficou de acordo com a norma ABNT.

## 2.2-ENSAIOS DO CIMENTO-A DE CINZA DO MÉTODO-A

### 2.2.1-TEORES DE MATÉRIAS PRIMAS CONTIDOS NO CIMENTO-A DE CINZA E COMPARAÇÃO COM O CIMENTO PORTLAND

Tabela-9

Composição(%)	Cimento-A	Cimento Portland
Cal	85,00	82,00
Cinza	7,25	Zero
Argila como corretivo	7,25	Zero
Gesso	0,50	2,00
Argila	Zero	16,00
Total	100,00	100,00

2.2.2-CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DO CIMENTO-A DE CINZA E COMPARAÇÃO COM A COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Tabela-10

(%)	Cinza + Corretivo	Cal	Mistura	Cimento-A	Cimento Portland
SiO <sub>2</sub>	74,810	27,7	102,51	24,6	22,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,050	6,7	16,75	4,0	7,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,900	1,3	5,20	1,3	1,7
CaO	0,945	274,5	275,45	66,1	63,5
MgO	0,235	6,8	7,03	1,7	2,3
SO <sub>3</sub>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,3
K <sub>2</sub> O	0,555	1,5	2,05	0,5	0,3
Na <sub>2</sub> O	0,285	7,8	8,04	1,9	0,5
P.F.	9,220	173,8	182,97	N.D.	Zero
Total	100,000	500,0	600,00	100,0	99,8

CORRETIVO: É a argila usada como correção da composição da cinza usada no cimento-A

N.D.: Não Detectado

P.F.: Perda ao Fogo

2.2.3-CÁLCULO DO MÓDULO DE SATURAÇÃO DO CIMENTO-A DE CINZA  
E COMPARAÇÃO COM O MÓDULO DE SATURAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Tabela-11

(%)	Cimento-A	Cimento Portland
Módulo de Sílica	4,67	2,40
Módulo de Alumina	3,01	4,50
Módulo de Cal	0,90	0,85
Módulo de Gesso	0,00	2,20

2.2.4-CÁLCULO DOS COMPONENTES MINERALÓGICOS DO CIMENTO-A DE  
CINZA E COMPARAÇÃO COM OS COMPONENTES DO CIMENTO PORTLAND

Tabela-12

(%)	Cimento-A	Cimento Portland
C <sub>3</sub> S	53,3	31,0
C <sub>2</sub> S	30,4	41,3
C <sub>3</sub> A	8,4	17,1
C <sub>4</sub> AF	3,9	5,2

2.2.5-RESULTADOS DOS ENSAIOS DO CIMENTO-A DE CINZA E COMPA-  
RAÇÃO COM O CIMENTO PORTLAND

Tabela-13

	Cimento-A	Cimento Portland
Calor de hidratação (cal/g)	10930,6	10352,6
Índice de hidrãu- licidade	0,5	0,5
Início de pega (minutos)	162,0	150,0
Fim de pega (minutos)	305,0	285,0
Compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	136,7	168,4
Resíduo na penei- ra 200	zero	zero
Tensão de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	8,8	10,2
Água de amas- samento (ml)	192,0	147,0

2.3-ENSAIOS DO MÉTODO-B, PARA OS CIMENTOS RESULTANTES DAS MISTURAS DO CLINQUER DO CIMENTO PORTLAND MAIS CINZA E GESSO

2.3.1-TEORES DE MATÉRIAS PRIMAS CONTIDAS NOS CIMENTOS RESULTANTES DO MÉTODO-B

Tabela-14

(%)	Cimento-B.1	Cimento-B.2	Cimento-B.3	Cimento-B.4
Gesso	5	5	10	5
Cinza	35	10	35	25
Clinquer do cimento Portland	60	85	55	70

2.3.2-RESULTADO DOS ENSAIOS DOS CIMENTOS DA MISTURA DE CINZA, GESSO E CLINQUER DO CIMENTO PORTLAND

Tabela-15

	Cimento B.1	Cimento B.2	Cimento B.3	Cimento B.4	Cimento Portland
Água de amassamento(ml)	170,0	152,0	180,0	163,0	147,0
Início de pega(minutos)	175,0	168,0	185,0	170,0	150,0
Fim de pega (minutos)	331,0	319,0	351,0	320,0	285,0
Compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	259,2	275,5	257,7	260,2	168,4
Resíduo na peneira 200	zero	zero	zero	zero	zero
Tensão ruptura(kgf/cm <sup>2</sup> )	25,8	28,2	24,4	25,9	10,2
Calor de hidratação(cal/g)	I.R.	I.R.	I.R.	I.R.	10352,6
Índice hidráulico	I.R.	I.R.	I.R.	I.R.	0,5

I.R. - Impossível de realizar

## 2.4-OBSERVAÇÕES FINAIS DOS PROCESSOS

### 2.4.1-INTRODUÇÃO

Um cimento amorfo ou finamente coloidal é mais fácil de se combinar com a estrutura do agregado e desenvolver melhor adesão do que os cimentos altamente cristalinos.

As variações interatômicas não produzem ligações em grandes distâncias mal combinadas.

Uma estrutura amorfa é muitas vezes flexível de tal forma que sejam desenvolvidas severas concentrações de tensões quando forem aplicadas cargas ou forem encontradas mudanças dimensionais numa argamassa.

O cimento Portland e outros utilizam poucas ligações primárias iônicas e covalentes, isto se deve, em grande parte, ao fato de que os cimentos não são fundidos, mas dependem da água ou de outros líquidos para atingir a consistência de trabalho. Portanto as ligações primárias ocorrem em um cimento somente quando os átomos do cimento são químicamente adsorvidas pela superfícies dos agregado. As ligações de Van Der Waals dos cimentos mais fortes utilizam pontes de hidrogênio(e hidrôxilas) e não dependem dos momentos dipolares, mais frágeis, para aderência superficial.

Notou-se que estes cimentos possuíam dois tipos de reações; possui reações que consomem água e reações finais( polimerização por condensação) que liberam água.

#### 2.4.2-OBSERVAÇÕES DO CIMENTO-A DE CINZA, RELATIVO AO MÉ- TODO-A

Durante o estudo da fabricação deste cimento, ocorreram dois resultados diferentes:

a)-PRIMEIRO RESULTADO:O primeiro resultado consistiu na obtenção de vidro através de uma composição química contendo 5% de Gesso, 14,5% de Cinza de casca de arroz e 85% de cal. Este vidro foi conseguido a uma temperatura de 1400°C, quando a mistura fundiu-se por completo transformando em vidro devido a mesma composição possuir alto teor de sílica e álcalis. E conclui-se que o C<sub>3</sub>A foi a razão da formação do vidro, isto devido o mesmo estar muito acima do normal, do que é permitido encontrar -se nos cimentos e pelo mesmo possuir também certas propriedades de formação de vidro em suas fases cristalinas.

Devido formar sempre o vidro com esta mistura, resolveu então deixar de lado esta mistura e partir para outra composição de cimento de cinza.

b)-SEGUNDO RESULTADO:O segundo resultado foi completamente satisfatório, isto devido à adição de uma argila contendo baixo teor de sílica e alto teor de óxido de ferro como correção da composição da cinza da casca de arroz, devido está conter alto teor de sílica e baixo teor de óxido de ferro. A mistura final para o cimento-A consis-

tiu de 7,25% de Cinza de casca de arroz, 7,25% de argila cor-  
retiva, 0,5% de Gesso e 85% de Cal . Esta mistura inicial foi  
levada sem o gesso a um forno comum e queimada a uma tempe-  
ratura de 1400°C durante 5 horas em um cadinho, depois de re-  
tirada do forno a mistura de clínquer e passado um certo tem-  
po para o resfriamento, em seguida foi adicionado o gesso  
à mistura final de clínquer, como agente de pega. Após a  
passagem da mistura final do cimento-A no moinho de bolas pa-  
ra homogenização, esta em seguida passou por um processo de  
peneiramento com malha final de 200 abertura por centímetro.

Os ensaios dos corpos de prova deste cimento-A  
de cinza de casca de arroz comprovaram pelo ensaio de tensão  
de ruptura e pelo de compressão que o mesmo cimento apresen-  
tou uma razoável qualidade, isto devido suas propriedades de  
tensão de ruptura e compressão estarem abaixo das normas do  
cimento Portland. Mas como um material aglomerante, este ci-  
mento-A possui suficiente propriedades de trabalho para cons-  
truções que não exija esforços demasiados nas argamassas fei-  
tas com este cimento-A.

O calor de hidratação deste cimento ficou um  
pouco acima do calor de hidratação do cimento Portland, o que  
prova com isso é que o mesmo cimento necessitou de mais água  
de amassamento para formação da massa de trabalho que o  
próprio cimento Portland, como foi comprovado nos ensaios com-  
parativos entre os corpos de prova.

Sobre o índice de hidráulicidade, o cimento-A de cinza apresentou-se semelhante ao do cimento Portland.

O cimento-A apresentou menor densidade que o cimento Portland, onde chegou-se a conclusão que esta menor densidade foi devido a cinza apresentar menor densidade que a tradicional argila contida na estrutura do cimento Portland.

O início e fim de pega do cimento-A foi maior que o do cimento Portland, isto ocorreu devido existir gesso acima do normal, mas caso desejar tornar o início e fim de pega menor ou igual ao do cimento Portland, faz-se isto através de novos ensaios com a redução do agente de pega, onde para este cimento-A usa-se como agente de pega o gesso não tratado.

Para este cimento-A relativo ao método-A, deve fazer-se um melhor estudo sobre a viabilidade econômica de sua produção em escala comercial. Isto porque o mesmo cimento foi estudado em escala laboratorial e não comercial.

#### 2.4.3-OBSERVAÇÕES DOS CIMENTOS DE CINZA OBTIDOS PELO MÉTODO-B

Estes cimentos são resultantes da mistura do clínquer do cimento Portland mais o Gesso e a Cinza derivada da casca de arroz sem tratamento térmico. A mistura chegou-se a passar apenas pelos processos de moagem em moinho de bolas e depois de homogenizado e pulverizado a mistura de cimento passou por um processo de peneiramento com malha final de 200 aberturas por centímetro.

Por esse processo chegou-se a fazer vários cimentos, variando as composições de matérias primas até um máximo de 35% de cinza, 55% de clínquer do cimento Portland e 10% de gesso. Foram realizados para os corpos de prova, os ensaios de compressão e tensão de ruptura, onde sempre foi obtido resultados melhores e completamente satisfatório, quando comparado com o cimento Portland.

Para todos esses cimentos relativo ao método-B, os ensaios finais de suas massas hidratadas provaram que os mesmos possuem maiores início e fim de pega que o cimento Portland e também uma maior quantidade de água de amassamento, mas se caso precisar alterar alguns desses fatores, é só reduzir o agente de pega até deixar o cimento com módulo desejado.

O calor de hidratação e índice de hidrãulicidade, não foram possíveis de calcular devido não dispor de formulas matemáticas para mistura de Clinquer, Gesso e Cinza.

Estes tipos de cimentos são altamente viáveis economicamente para misturas com um máximo de matérias primas de 35% de cinza, 55% de clinquer e 10% de gesso. Chegou-se a esta conclusão de viabilidade devido a certos fatores como:

- A grande facilidade no processo de obtenção deste cimento.
- Baixo gasto de energia na calcinação da casca de arroz.
- Reduções dos custos na construção civil.
- Grande facilidade na utilização das cascas de arroz disponíveis na cidade de Anápolis no Estado de Goiás.

## CAPITULO V

### CONCLUSÃO

#### 1-CONCLUSÕES DO PRESENTE TRABALHO

a)-Neste trabalho sobre o cimento-A de cinza relativo ao método-A, poderia chegar à obter resultado melhor, isto é, desde que o presente trabalho fosse realizado em fornos rotativos, fazendo assim uma melhor homogenização da mistura durante a queima e consecutivamente realizando por completo as reações dos componentes mineralógicos que influem nas qualidades finais dos cimentos hidrãulicos.

b)-Para o cimento-A de cinza relativo ao método-A, que resultou da mistura de 7,25% de cinza de casca de arroz, 0,5% de gesso, 85% de cal e 7,25% de argila com alto teor de óxido de ferro e que foi utilizada como corretivo da composição da cinza, devido esta mesma possuir em excesso, sílica e pequeno teor de óxido de ferro. O resultado final deste cimento-A não foi melhor devido a composição química do cal possuir um excesso de álcalis, e a cinza conter alto teor de sílica em sua composição. Mas mesmo assim o resultado do cimento-A de cinza ficou numa faixa razoável de qualidade, um pouco abaixo dos padrões de qualidade do cimento Portland.

c)-Para os cimentos de cinza relativo ao método-B, os resultados destes cimentos feitos da mistura de cinza, gesso e clínquer do cimento Portland, ficaram provado pelos ensaios que os teores de matérias primas em suas estruturas não ultrapassaram de 35% de cinza, 55% de clínquer e 10% de gesso, conseguindo sempre apresentarem resultados melhores que o do cimento Portland, para os ensaios de tensão de ruptura e pelo de compressão. Comprovando assim, que a fabricação deste cimento relativo ao método-B é altamente viável economicamente.

d)-Esta pesquisa compreendeu várias missões direcionadas para os grandes objetivos de interesse público, tais como:

- O progresso das técnicas de fabricação.
- Melhora da qualidade do produto.
- Desempenhou uma função inovadora de controle, de formação, normalização e também de documentação.
- Economia de energia.
- Preservação do meio ambiente.
- Melhora das condições de trabalho.

e)-Ficou claro também que durante a revisão da literatura, a mesma evidenciou que a produção de excedente descartáveis de casca de arroz na região centro-oeste, nas cidades de Goiânia e Anápolis é suficientemente viável para montar uma pequena fábrica de cimento de cinza, utilizando como matérias primas a cinza derivada da casca de arroz, gesso e o clínquer do cimento Portland.

## CAPITULO VI

### SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS E BIBLIOGRAFIA

#### 1-SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

a)-Para os futuros trabalhos sobre cimento de cinza de casca de arroz, deve levar-se em consideração a utilização da cinza em novos processos de fabricação de cimento dentro de fornos rotativos. E tentar também o desenvolvimento de novo processo de calcinação da casca de arroz, com aproveitamento de seu calor despreendido, para a fabricação do novo cimento de cinza. A idéia em geral é aproveitar o calor liberado pela casca junto com outro combustível na queima do cimento de cinza em um forno rotativo.

b)-Deve também levar-se em consideração para os novos estudos da cinza da casca de arroz, que a cinza possui um alto teor de sílica de 92%, 4% de alumina e 1,3% de álcalis. Onde isto indica ser a cinza um material que possui todas as propriedades para transformar-se em vidro com pequenas adições ou não de  $B_2O_3$ ,  $PbO$ ,  $As_2O_5$ ,  $ZnO$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$ . Para que a cinza transforme em vidro, usa-se temperatura acima de  $1200^\circ C$ .

## 2-BIBLIOGRAFIA

01-Keil, Fritz; Cimento; Academic Press New York and London

02-Czernin, W.; A Química do Cimento; A Wiley - Interscience Publications - New York

03-G. Petrucci, Eládio; Concreto de Cimento Portland; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

04-Venuat, Michel y Papadakis, Michel; Control y Ensayo de Cementos, Morteros y Hormigones; Editorial Mir Moscu

05-N. W. Akroyd, T.; Concrete; Editorial Mir Moscu

06-Komar, A.; Materiaux Et Elements de Construction; Editorial Mir Moscu

07-Souza Santos, P.; Tecnologia de Argilas, Vol.II; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

08-Sã, Paulo; Indústrias de Construção - Solos, Cimentos e Concretos; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

09-Mayor Gonzales, Geraldo; Materiais de Construção; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

10-Norton, F. H.; Introdução a Tecnologia Cerâmica; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

11-Enciclopédia Delta Universal, Vol.II; Editora Delta S.A. Rio de Janeiro

12-Bauer, L. A. F.; Materiais de Construção, Vol.I; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

13-Kirsch, Helmut; Mineralogia Aplicada; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

14-Van Vlack, Lawrence H.; Propriedades dos Materiais Cerâmicos; Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo

15-Taylor, H. F. W.; La Química de los Cementos, Vol.I; Enciclopedia de la Química Industrial; Ediciones Urmo-Españero, 10-Bilbao

16-Labahn, Otto; Prontuario del Cemento; Editores Técnicos Asociados S.A.-Barcelôna