

262182

VIABILIDADE TECNICA DA PRODUÇÃO DE BLOCOS SILICO-CALCARIOS  
NA REGIAO DE SANTA MARIA, NO RIO GRANDE DO SUL

por

JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Tese apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

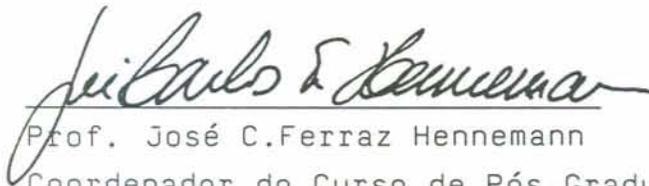
Porto Alegre, RS - Brasil.

1985

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Walter Otto Cybis  
Orientador



Prof. José C. Ferraz Hennemann  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. Walter Otto Cybis (orientador)  
M.Sc., PUC/UFRJ
- Prof. José Antônio Nascimento Pinto (UFSM)  
M.Sc., UFSM
- Prof. Adamastor Uriart (UFRGS)  
Eng., UFRGS

Ao Sr. ADRIANO, Dona EULINA e à  
CLAUDIA, pela alegria de sempre,  
dedico este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente:

- aos professores orientadores, Eng<sup>o</sup>- WALTER OTTO CYBIS e Eng<sup>o</sup>- JOSE DO NASCIMENTO PINTO, pelo incentivo e orientação;
- aos professores e funcionários do Laboratório de Materiais de Construção e de Química Inorgânica da UFSM, pelo emprego das instalações e equipamentos e pessoal necessários à realização da parte prática deste trabalho;
- à CAPES, pela bolsa de estudo que possibilitou a execução deste trabalho;
- à empresa TRANSCAL, pelo interesse demonstrado;
- aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS;
- à minha esposa e meus familiares pela constância dos estímulos.

## SUMARIO

AGRADECIMENTOS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE QUADROS .....	xii
DEFINIÇÕES, ABREVIATURAS E SIMBOLOS .....	xiv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xviii
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	6
2.1 - Histórico do uso dos produtos silico-calcários .....	6
2.2 - Tipos de produtos silico-calcários .....	8
2.2.1 - Generalidades .....	8
2.2.2 - Tijolos e blocos silico-calcários .....	9
2.2.3 - Grandes elementos silico-calcários .....	9
2.2.4 - Placas de revestimento silico-calcários .....	11
2.2.5 - Produtos silico-calcários celulares .....	12
2.2.6 - Outros produtos silico-calcários .....	15
2.3 - Estudo do agregado silicoso .....	16
2.4 - Disponibilidade de areia na região de Santa Maria .....	18
2.5 - Origem da cinza volante .....	19
2.6 - Aplicações atuais da cinza volante .....	20
2.7 - Origem da cal .....	22
2.8 - Ocorrências de calcário no Rio Grande do Sul e empregos .....	24
3 - PESQUISA TEORICA - BLOCOS SILICO-CALCARIOS .....	27
3.1 - Introdução .....	27

3.2 - Definição .....	28
3.3 - Processo de produção .....	29
3.3.1 - Matéria-prima .....	30
3.3.1.1 - Areia .....	30
3.3.1.1.1 - Origem .....	30
3.3.1.1.2 - Composição química .....	30
3.3.1.1.3 - Granulometria .....	33
3.3.1.2 - Cal .....	39
3.3.1.2.1 - Qualidade da cal .....	39
3.3.1.2.1.1 - Tipo .....	39
3.3.1.2.1.2 - Composição química .....	40
3.3.1.2.1.3 - Estabilidade da cal .....	43
3.3.1.2.1.4 - Rendimento da cal .....	45
3.3.1.2.1.5 - Reatividade da cal .....	45
3.3.1.2.1.6 - Finura da cal .....	46
3.3.1.2.1.7 - Plasticidade .....	47
3.3.1.2.2 - Quantidade de cal .....	47
3.3.1.3 - Água .....	49
3.3.1.4 - Pigmentos .....	50
3.3.2 - Processo de manufatura .....	51
3.3.2.1 - Preparação da mistura .....	53
3.3.2.1.1 - Proporcionamento .....	54
3.3.2.1.2 - Mistura .....	56
3.3.2.1.3 - Hidratação .....	58
3.3.2.1.4 - Remistura .....	60
3.3.2.2 - Moldagem dos blocos .....	61
3.3.2.3 - Autoclavagem dos blocos .....	65
3.3.2.3.1 - Autoclave .....	65

3.3.2.3.2 - Processo de endurecimento .....	66
3.3.2.3.3 - Reação processada durante o tratamento .....	70
3.3.2.4 - Tratamento final, transporte e estocagem .....	72
3.3.3 - Necessidades gerais para a produção .....	73
3.3.4 - Esquemas de produção .....	75
3.3.4.1 - Esquema 1 - Sistema do tambor de extinção .....	75
3.3.4.2 - Esquema 2 - Sistema do silo .....	78
3.3.4.3 - Esquema 3 - Sistema do reator .....	80
3.3.4.4 - Esquema 4 - Sistema de mistura contínua (com cal hidratada e areia) .....	80
3.3.4.5 - Esquema 5 - Sistema de mistura por betonada (com cal hidratada e areia) .....	80
3.3.5 - Características técnicas .....	83
3.3.5.1 - Formato e dimensão .....	84
3.3.5.2 - Cor e aparência .....	86
3.3.5.3 - Resistência à compressão .....	86
3.3.5.4 - Elasticidade .....	88
3.3.5.5 - Durabilidade .....	89
3.3.5.6 - Variação dimensional por secagem .....	90
3.3.5.7 - Massa específica aparente .....	94
3.3.5.8 - Absorção d'água e permeabilidade .....	94
3.3.5.9 - Condutibilidade térmica .....	95
3.3.5.10 - Dilatação térmica .....	95
3.3.5.11 - Resistência ao fogo .....	95
3.3.5.12 - Identificação .....	96
3.3.6 - Produção mundial e fatores locais determinantes do uso .....	97
3.3.7 - Aspectos do uso .....	102
3.3.7.1 - Produção .....	103

3.3.7.2 - Uso propriamente dito .....	103
3.3.7.3 - Performance após o uso .....	105
3.4 - Conclusões preliminares .....	106
4 - PESQUISA PRÁTICA .....	109
4.1 - Programa de pesquisa .....	109
4.2 - Materiais empregados .....	115
4.2.1 - Areia .....	115
4.2.1.1 - Propriedades físicas .....	115
4.2.1.2 - Propriedades químicas .....	118
4.2.2 - Cinza volante .....	118
4.2.2.1 - Propriedades físicas .....	119
4.2.2.2 - Propriedades químicas .....	119
4.2.3 - Cal .....	120
4.2.3.1 - Propriedades físicas .....	121
4.2.3.2 - Propriedades químicas da cal virgem .....	123
4.2.4 - Água .....	123
4.2.5 - Outros materiais .....	123
4.3 - Métodos empregados .....	123
4.3.1 - Manufatura dos corpos de prova .....	123
4.3.1.1 - Obtenção e preparação da matéria-prima .....	123
4.3.1.2 - Preparação da mistura .....	124
4.3.1.2.1 - Proporcionamento .....	124
4.3.1.2.2 - Mistura .....	125
4.3.1.2.3 - Hidratação .....	126
4.3.1.2.4 - Remistura .....	126
4.3.1.3 - Moldagem dos corpos de prova .....	127
4.3.1.3.1 - Moldagem por pressão .....	128
4.3.1.3.2 - Moldagem por vibração .....	129

4.3.1.3.3 - Moldagem por vibro-compressão .....	130
4.3.1.4 - Autoclavagem dos blocos .....	130
4.3.2 - Ensaio dos corpos de prova .....	134
4.3.2.1 - Determinação da variação dimensional e de massa por autoclavagem .....	134
4.3.2.2 - Determinação da massa específica aparente e da porosidade aparente .....	135
4.3.2.3 - Determinação da absorção d'água .....	136
4.3.2.4 - Determinação da resistência à compressão simples .	137
4.3.2.5 - Determinação da resistência à tração .....	140
4.4 - Apresentação dos Resultados .....	145
4.4.1 - Estudo da conveniência das matérias-primas locais, com o uso do processo produtivo padrão .....	146
4.4.1.1 - Variações dimensionais e de massa por autoclavagem (O, h, M) .....	146
4.4.1.1.1 - Resultados .....	146
4.4.1.1.2 - Análise dos resultados .....	148
4.4.1.2 - Massa específica aparente (Mea) .....	148
4.4.1.2.1 - Resultados .....	148
4.4.1.2.2 - Análise dos resultados .....	149
4.4.1.3 - Porosidade aparente (Pa) .....	151
4.4.1.3.1 - Resultados .....	151
4.4.1.3.2 - Análise dos resultados .....	151
4.4.1.4 - Absorção d'água (Aa) .....	154
4.4.1.4.1 - Resultados .....	154
4.4.1.4.2 - Análise dos resultados .....	154
4.4.1.5 - Resistência à compressão simples (Rc) .....	157
4.4.1.5.1 - Resultados .....	157
4.4.1.5.2 - Análise dos resultados .....	157
4.4.1.6 - Resistência à tração (Rt) .....	160

4.4.1.6.1 - Resultados .....	160
4.4.1.6.2 - Análise dos resultados .....	160
4.4.1.7 - Módulo de elasticidade à compressão (E) .....	162
4.4.1.7.1 - Resultados .....	163
4.4.1.7.2 - Análise dos resultados .....	163
4.4.2 - Estudo do efeito das variações do processo produtivo padrão sobre os produtos S.C. resultantes .....	165
4.4.2.1 - Variações dimensionais e de massa por autoclavagem (O, h, M) .....	166
4.4.2.1.1 - Resultados .....	166
4.4.2.1.2 - Análise dos resultados .....	168
4.4.2.2 - Massa específica aparente (Mea) .....	168
4.4.2.2.1 - Resultados .....	168
4.4.2.2.2 - Análise dos resultados .....	168
4.4.2.3 - Porosidade aparente (Pa) .....	171
4.4.2.3.1 - Resultados .....	172
4.4.2.3.2 - Análise dos resultados .....	172
4.4.2.4 - Absorção d'água (Aa) .....	175
4.4.2.4.1 - Resultados .....	175
4.4.2.4.2 - Análise dos resultados .....	175
4.4.2.5 - Resistência à compressão simples (Rc) .....	178
4.4.2.5.1 - Resultados .....	178
4.4.2.5.2 - Análise dos resultados .....	179
4.4.2.6 - Resistência à tração (Rt) .....	181
4.4.2.6.1 - Resultados .....	181
4.4.2.6.2 - Análise dos resultados .....	181
4.4.2.7 - Módulo de elasticidade à compressão (E) .....	184
4.4.2.7.1 - Resultados .....	184

4.4.2.7.2 - Análise dos resultados .....	184
5 - CONCLUSÕES FINAIS .....	187
5.1 - Conveniência da matéria-prima .....	187
5.2 - Efeito das variações no processo produtivo .....	188
6 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES .....	192
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	193

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Relação entre a condutibilidade térmica e a densidade de produtos S.C. celulares .....	14
FIGURA 2.2 - Relação entre a resistência à compressão e a densidade de produtos S.C. celulares .....	14
FIGURA 2.3 - Mapa de ocorrência de calcários no estado do Rio Grande do Sul .....	26
FIGURA 3.1 - Granulometrias da areia .....	38
FIGURA 3.2 - Relação entre a resistência à compressão e a estabilidade da cal .....	44
FIGURA 3.3 - Relação entre a resistência à compressão e o conteúdo de cal .....	48
FIGURA 3.4 - Processo de manufatura dos blocos silico-calcários .....	52
FIGURA 3.5 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tipos de areia .....	63
FIGURA 3.6 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tempos de moldagem .....	64
FIGURA 3.7 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão-temperatura de autoclavagem .....	68
FIGURA 3.8 - Relação entre a resistência à compressão e o tempo de autoclavagem, para diferentes areias e pressões na autoclave .....	69
FIGURA 3.9 - Esquema de produção - Sistema do tambor de extinção .....	77
FIGURA 3.10 - Esquema de produção - Sistema do silo .....	79
FIGURA 3.11 - Esquema de produção - Sistema de mistura contínua (com cal hidratada e areia) .....	81
FIGURA 3.12 - Esquema de produção - Sistema de mistura por betonada (com cal hidratada e areia) .....	82
FIGURA 3.13 - Durabilidade de blocos silico-calcários expostos ao ar .....	91

FIGURA 3.14 - Durabilidade de blocos silico-calcários enterrados .....	92
FIGURA 4.1 - Curva granulométrica da areia utilizada .....	117
FIGURA 4.2 - Curva de extinção da cal virgem utilizada .....	122
FIGURA 4.3 - Autoclave utilizada .....	131
FIGURA 4.4 - Aparato de colocação dos blocos na autoclave ..	133
FIGURA 4.5 - Relação entre a massa específica aparente e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	150
FIGURA 4.6 - Relação entre a massa específica aparente e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.....	150
FIGURA 4.7 - Relação entre a porosidade aparente e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	152
FIGURA 4.8 - Relação entre a porosidade aparente e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO .....	153
FIGURA 4.9 - Relação entre absorção d'água e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	156
FIGURA 4.10 - Relação entre a absorção d'água e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO ...	156
FIGURA 4.11 - Relação entre a resistência à compressão e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	158
FIGURA 4.12 - Relação entre a resistência à compressão e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO .....	158
FIGURA 4.13 - Relação entre a resistência à tração e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	161
FIGURA 4.14 - Relação entre a resistência à tração e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO .....	162
FIGURA 4.15 - Relação entre o módulo de elasticidade à compressão e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante .....	164

FIGURA 4.16 - Relação entre o módulo de elasticidade e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO .....	164
FIGURA 4.17 - Relação entre a massa específica aparente e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	169
FIGURA 4.18 - Relação entre a massa específica aparente e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	170
FIGURA 4.19 - Relação entre a porosidade aparente e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	173
FIGURA 4.20 - Relação entre a porosidade aparente e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	173
FIGURA 4.21 - Relação entre a absorção d'água e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	176
FIGURA 4.22 - Relação entre a absorção d'água e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	176
FIGURA 4.23 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	178
FIGURA 4.24 - Relação entre a resistência à compressão e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	178
FIGURA 4.25 - Relação entre a resistência à tração e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	182
FIGURA 4.26 - Relação entre a resistência à tração e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	182
FIGURA 4.27 - Relação entre o módulo de elasticidade e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem .....	185
FIGURA 4.28 - Relação entre o módulo de elasticidade e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem .....	185

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	- Consumo de carvão mineral nas termo-elétricas do Estado do Rio Grande do Sul .....	20
QUADRO 2	- Ocorrência de calcário no município de São Sepé, localidade de Vila Nova-RS .....	25
QUADRO 3	- Critérios para possível conveniência de areias para a manufatura de blocos silico-calcários .....	32
QUADRO 4	- Valores de superfície específica assumidos para cada tamanho de peneira .....	35
QUADRO 5	- Relação pressão e temperatura da vaporização da água .....	67
QUADRO 6	- Necessidades gerais para a produção de produtos S.C. ....	74
QUADRO 7	- Características físicas dos blocos S.C. em comparação com os elementos de argila e concreto .....	97
QUADRO 8	- Produção de blocos S.C. na Alemanha .....	100
QUADRO 9	- Produção de blocos S.C. no Reino Unido .....	100
QUADRO 10	- Produção de blocos S.C. na Holanda .....	101
QUADRO 11	- Produção de blocos S.C. nos E.U.A. ....	101
QUADRO 12	- Percentagem das misturas usadas .....	112
QUADRO 13	- Variação no processo produtivo sobre a mistura VII .....	114
QUADRO 14	- Água adicionada na remistura (em relação ao peso da mistura hidratada) .....	127
QUADRO 15	- Pressões por cm <sup>2</sup> e total na moldagem .....	129
QUADRO 16	- Absorção d'água admissível de tijolos maciços de argila .....	137
QUADRO 17	- Absorção d'água admissível de blocos de concreto estrutural e não estrutural .....	137
QUADRO 18	- Resistência à compressão admissível para tijolos maciços de argila .....	139

QUADRO 19 - Resistência à compressão admissível para blocos de concreto simples, sem função estrutural .....	139
QUADRO 20 - Resistência à compressão admissível para blocos de concreto simples, com função estrutural .....	139
QUADRO 21 - Resultados das variações na percentagem de matéria-prima na mistura .....	147
QUADRO 22 - Resultados das variações do processo produtivo sobre os corpos de prova obtidos (mistura VII) .....	167

## DEFINIÇÕES, ABREVIATURAS E SIMBOLOS

a) Definições.

BLOCO: unidade de alvenaria com dimensões tais que englobam os elementos tradicionalmente definidos como tijolos e blocos, sendo adotado como um termo único no presente trabalho.

BLOCO SILICO-CALCÁRIO: unidade de alvenaria composta por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal, agregado silicoso (basicamente a areia) e água, moldada no formato desejado e curada por vapor a alta pressão.

b) Abreviaturas.

SC = sílico-calcário(s).

CP = corpo(s) de prova.

c)  Símbolos.

Aa = Absorção d'água.

Cf = Coeficiente de forma da areia.

E = Módulo de elasticidade à compressão.

h = Altura.

M = Massa.

Mea = Massa específica aparente.

Pa = Porosidade aparente.

Rc = Resistência à compressão.

Rt = Resistência à tração por compressão diametral.

Se = Superfície específica da areia.

O = Diâmetro.

Δ = Diferencial entre duas medidas.

## RESUMO

Este trabalho é composto por dois estudos basicamente: um estudo teórico sobre os blocos sílico-calcários de areia-cal e um estudo prático sobre a viabilidade técnica de produção destes blocos em uma região determinada.

A pesquisa teórica procurou elucidar o que vem a ser um bloco sílico-calcário, buscando a viabilidade da pesquisa prática e os pontos principais a serem abordados.

Foram estudados, nesta parte, as matérias-primas e o processo produtivo empregado na confecção destes elementos, mostrando a importância de cada item para as características do produto final. Foi dada atenção ainda às características técnicas, aos fatores que determinam a produção e emprego e aos aspectos positivos e negativos dos elementos deste tipo produzidos em outros locais.

A pesquisa prática buscou a disponibilidade de matéria-prima conveniente para a produção de blocos sílico-calcários, e o efeito das variações do processo produtivo sobre os produtos confeccionados com os materiais estudados.

A matéria-prima empregada foi uma areia quartzosa da região de Santa Maria - RS, cal calcítica virgem de São Sepé - RS, e cinza volante da termoelétrica Presidente Médici, em Bagé - RS, fazendo-se variações nas percentagens destes componentes.

As variações do processo produtivo foram efetuadas no tipo de moldagem dos corpos de prova, em que foi usada pressão, vibração e vibro-compressão, e na pressão de autoclavagem.

Para todas as variações efetuadas foram obtidas as seguintes características: variações por autoclavagem, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água, resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade à compressão, as quais foram relacionadas através de quadros e figuras às diversas variações.

## ABSTRACT

This report is compounded by two basic studies: a theoretical study about calcium silicate blocks and a practical study about the technical possibility of production of these blocks in a determined region.

The theoretical research tried to show what is a calcium silicate block, looking for the feasibility of the practical research and the principal points to be studied.

At this part raw materials and the productive process used in the formation of these elements were studied showing the importance of each item for the characteristics of the final product. A special attention was also given to technical characteristics, to the factors that determine production and use, and to the positive and negative aspects of the elements of this type produced in other places.

Practical research looked for the availability of the right raw material for the production of calcium silicate blocks and the effects of the variations of the productive process upon the products made with the materials studied.

The raw materials used were: a quartz sand from the region of Santa Maria - RS, calcitic quicklime from São Sepé - RS and fly ash from the thermoelectric "Presidente Médici", from Bagé - RS, variations being made in the percentages of these compounds.

Variations of the productive process were done on the type models of the proof blocks, where it was used pressure, vibration and vibro-compression and in the pressure of the

autoclaving.

For every variation done were got the following characteristics; variations per autoclaving, apparent specific gravity, apparent porosity, water absorption, compressive strength, tensile strength and elasticity modulus in compression, which several variations were reported throughout the charts and figures of this paper.

## 1 - INTRODUÇÃO

Durante longo tempo, a utilização da cal para a obtenção de elementos sólidos, como pedras artificiais, resistentes à água, foi uma exceção, pois em condições normais a cal endurece muito lentamente, os elementos obtidos são de baixa resistência e facilmente destruídos pela água.

No entanto, a partir da patente de Van Derburgh (Inglaterra - 1866) e de W. Michaelis (Alemanha - 1880), ocorreu o surgimento dos produtos sílico-calcários, como uma mistura de cal e areia silicosa, moldada e colocada dentro de um ambiente de vapor saturado a uma pressão elevada.

A patente de 1866 não foi explorada, sendo utilizado o processo de Michaelis para a aplicação industrial somente em 1894, tendo o uso deste material crescido progressivamente desde esta data, ocupando no momento, em muitos países, uma parcela bastante significativa da produção total dos materiais para o fim ao qual se destinam.

Este avanço foi muito impulsionado pela obtenção de um produto com uma gama de características de pequenas variações quando pré-estabelecidas e de grande maleabilidade de escolha com a mesma matéria-prima e equipamentos de fabricação, principalmente no que diz respeito ao formato, resistência e densidade, as quais podem variar entre limites bastante distanciados conforme as exigências ou necessidades encontradas.

O desenvolvimento na Alemanha se deu em zonas em que existe areia de boa qualidade em abundância, o que não ocorre com outras

matérias-primas, fazendo com que estes materiais ocupem uma posição dominante entre os materiais de construção. Na URSS, o avanço se deu pelo mesmo motivo que o anterior, sendo estes produtos usados para todos os fins. Nestes dois países, a reconstrução de pós-guerra foi muito auxiliada pelo uso desses materiais silico-calcários.

Já em países como a Inglaterra e a Holanda, além da relativamente limitada conveniência da areia local, existe uma grande disponibilidade de argilas de boa qualidade para a fabricação de elementos de baixo custo, associado ao grande desenvolvimento das técnicas de produção, levando os produtores à fabricação de produtos silico-calcários de melhores qualidades, geralmente para fins estruturais, dedicando maior atenção à investigação dos fatores que afetam a qualidade, que em outros locais.

Em outros países, embora já tenham sido bem difundidos estes elementos são hoje pouco empregados, frente ao contínuo crescimento do uso de outros materiais, caso dos EUA, em que o desenvolvimento da indústria do concreto acarretou também um decréscimo na produção de elementos de outros tipos, e da França devido ao grande desenvolvimento da indústria de argila.

No Brasil, os elementos silico-calcários são produzidos em pequena quantidade, não havendo, por parte da população e dos técnicos, quase nenhum conhecimento sobre este tipo de material, embora nos deparemos aqui com uma variedade muito grande de matérias-primas, sendo facilmente visualizadas regiões que se adaptariam prontamente às diversas condições expostas anteriormente. No entanto, os meios industriais, pelo

desconhecimento dessas condições, baseiam-se nas soluções já adotadas em países desenvolvidos, caso do concreto, ou tradicionalmente já utilizados, como os elementos de argila, sem a procura de alternativas regionais ou locais mais viáveis técnica e/ou economicamente.

Este trabalho, em uma primeira idéia, busca o conhecimento do que vem a ser um produto silico-calcário: tipos, processo de manufatura, características, etc., detendo-se, com maior profundidade, no estudo dos blocos dessa natureza, formato mais tradicionalmente utilizado na construção local, optando-se pelos blocos pesados, procurando preencher a lacuna que está se formando pelo avanço da alvenaria estrutural, com a necessidade de elementos resistentes, e ainda pelo custo conhecidamente mais baixo que o elemento leve.

De posse deste conhecimento teórico, partiu-se para o estudo em uma região determinada, tomada como base, Santa Maria, Rio Grande do Sul, tendo em vista a viabilidade técnica da produção de blocos silico-calcários, estando este estudo baseado principalmente nos seguintes itens:

- disponibilidade de matérias-primas com características apropriadas ao emprego;
- efeito das variações do processo produtivo convencional sobre os produtos resultantes desta matéria-prima;
- estudo das características dos produtos resultantes.

Embora conhecendo-se, do estudo teórico, as características que as matérias-primas deveriam englobar para um produto final mais perfeito, procurou-se a utilização de materiais dentro das condições básicas, evitando-se uma escolha ótima ou um tratamento

exagerado dos mesmos, buscando-se a ampliação do aproveitamento do trabalho realizado, para locais em que esta escolha seja reduzida.

Ainda dentro da matéria-prima, com a utilização da cinza volante, foi procurada uma conciliação entre o uso de um detrito industrial, de baixo custo, com alto grau de poluição, encontrado em grandes quantidades não muito distante da região estudada, e a sabida necessidade de sílica finamente moída e mais reativa, encontrada neste material, para o aprimoramento das qualidades dos produtos resultantes.

Nas variações do processo produtivo foram alteradas aquelas etapas de importância mais acentuada do ponto de vista técnico, buscando-se ao mesmo tempo a obtenção de características mais satisfatórias dos produtos e a apresentação do encaminhamento em busca da otimização destas etapas produtivas, em termos de produtos finais para uma dada matéria-prima.

Dos blocos resultantes das variações, tanto da matéria-prima como do processo produtivo, foram obtidas as características básicas dentro dos seguintes grupos: variações por autoclavagem, densidade, resistência à penetração da água e resistência física, as quais foram calculadas e relacionadas as variações efetuadas.

Embora o estudo econômico deste produto não esteja desenvolvido para o local estudado, dados originários de outros países (KOMAR, 1978) atestam gastos reduzidos em relação aos demais produtos similares. Estes dados, aliados aos problemas hoje em dia encontrados na indústria da argila, em diversos locais, e ainda ao alto custo dos elementos de concreto, são

razões que, juntamente com os dados técnicos já disponíveis para os locais produtores, apontam os produtos silico-calcários como uma alternativa valiosa que merece e deve receber um estudo imediato.

## 2 - REVISAO DE LITERATURA

### 2.1 - Histórico do uso dos produtos sílico-calcários.

Como indica o nome, estes produtos se tratam de uma mistura de cal e um agregado silicoso.

O emprego destes materiais vem de longo tempo. Já na antiga Roma eles eram usados misturando-se uma parte de cal com duas partes de areia ou de detritos, sendo moldados os elementos que eram expostos ao ar o tempo necessário para endurecer. Na Suíça, vem já de longa data o emprego de elementos sílico-calcários, compostos de quatro partes de cal magro, uma parte de cimento e quinze partes de areia. A mistura era moldada em uma prensa e endurecida ao ar atmosférico.

Na Alemanha era usado um procedimento similar há algum tempo, mas uma produção em grande escala não era possível baseando-se em tal sistema, porque o alto teor de cal tornava muito cara a industrialização.

Isto mudou completamente quando em 1880 o químico Wilhelm Michaelis publicou seus estudos, permitindo que se empregasse a quarta parte da cal necessária e possuindo a vantagem de acelerar o endurecimento ao ar, que durava meses, mediante a ação do vapor a alta pressão, reduzindo a um tempo de 5 a 12 horas. Com isso se abriu os caminhos para a indústria sílico-calcária, que podia, então, entrar em concorrência com os elementos de argila.

Uma outra patente foi lançada, anteriormente, por Van

Derburgh, na Inglaterra, em 1866, não tendo, no entanto, sido empregada industrialmente.

Para ter-se uma idéia do desenvolvimento em que se encontra esta indústria nos países produtores destes elementos, pode-se observar o que dizem STOFFLER & GLASENAPP (1905):

No início da produção dos elementos sílico-calcários, houve uma certa dificuldade, devido à técnica da maquinaria para esta produção não ser aperfeiçoada como aquelas para a antiga indústria cerâmica, mas hoje estas dificuldades são superadas e existe uma série de procedimentos industriais que permitem a obtenção de um perfeito e ótimo produto final.

Já se passaram 80 anos e esta indústria ocupa, hoje, posição de destaque dentre os produtos de construção de muitos países, principalmente Alemanha Ocidental e Oriental, URSS e Holanda, sendo fabricados uma ampla variedade de tipos de elementos sílico-calcários, cumprindo uma fácil adaptação às diversas necessidades construtivas.

Nos últimos 10 anos, a produção de elementos sílico-calcários tem sido implantada em países das Américas, África e Ásia, com a utilização quase que na totalidade de tecnologia alemã e inglesa (BESSEY, 1974).

Segundo SABBATINI (1984), no primeiro artigo publicado no Brasil sobre o sílico-calcário, em 1909, H. C. Magalhães Gomes faz menção a uma suposta fábrica:

Consta-me que no Rio de Janeiro, em uma das ilhas da baía, foi estabelecida uma usina para a fabricação de sílico-calcário. O produto, no entanto, não teve aceitação, não sabendo a que atribuir isto.

A primeira fábrica a produzir elementos sílico-calcários (blocos) no Brasil, foi a "SILICAL - Indústria Sílico-Cal Nordeste S/A", em Salvador, BA, em 1970, não sendo empregados os blocos desta indústria em edifícios de alvenaria estrutural. Esta indústria cessou suas atividades em 1979 (SABBATINI, 1984).

A "PRENSIL S/A - Produtos de Alta Resistência", indústria que produz blocos sílico-calcários, iniciou sua produção em 1976, na cidade de Jacareí - SP, sendo a única empresa que supre o mercado com este tipo de bloco pesado, destinado à alvenaria estrutural.

Outras indústrias como a PUMEX, no Estado de São Paulo e a SICAL, em Minas Gerais, produzem elementos sílico-calcários celulares, blocos e painéis.

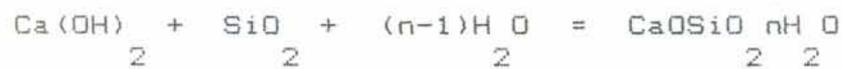
## 2.2 - Tipos de produtos sílico-calcários.

### 2.2.1 - Generalidades.

Os tipos de produtos sílico-calcários fabricados são muito diversificados em suas características. Eles incluem tijolos, grandes blocos, grandes unidades de diversos tipos fabricados em material denso, com ou sem reforços de ferragem, blocos e grandes unidades em material celular, outros produtos isolantes térmicos, etc. Inclui uma lista muito grande de matérias-primas, processos produtivos, formatos e emprego, sendo esta diversidade semelhante à diversidade dos produtos de argila e a dos produtos de concreto de cimento hidráulico.

Os produtos sílico-calcários resultam, geralmente, da

combinação de cal e areia, a qual, em condições normais, é inerte, sendo incapaz de combinar com a cal, obtendo uma pequena resistência apenas pelo endurecimento da cal. Mas, dentro de um ambiente de vapor saturado (100 % de umidade) a uma certa temperatura e pressão, obtido dentro de uma autoclave, a sílica se torna quimicamente ativa e começa a reagir quimicamente com a cal segundo a reação simplificada:



formando um silicato hidratado de cálcio, que é uma substância sólida e resistente à água.

A confecção dos produtos sílico-calcários se desdobra essencialmente nas seguintes etapas:

- obtenção da matéria-prima;
- preparação da massa;
- moldagem dos produtos;
- endurecimento nas autoclaves;
- manuseio e transporte.

### 2.2.2 - Tijolos e blocos sílico-calcários.

Este estudo será apresentado no capítulo "Pesquisa Teórica", a seguir.

### 2.2.3 - Grandes elementos sílico-calcários.

São elementos de grande utilização na construção pré-fabricada de muitos países, formados por uma massa densa e

endurecida em autoclave, composta de areia quartzosa, areia moída e cal virgem moída.

São uma variante dos painéis de concreto armado.

A fabricação de painéis sílico-calcários é composta em princípio das seguintes operações:

- obtenção da areia e separação das frações grossas;
- obtenção da cal virgem moída;
- preparação e mistura da ligação cal-areia moída;
- preparação do concreto sílico-calcário, misturando a areia não moída com a mistura finamente moída, cal, areia e água dentro de betoneiras;
- montagem dos elementos;
- tratamento em grandes autoclaves.

A percentagem de material a ser utilizado, assim como o tempo e pressão-temperatura de tratamento, tanto nestes elementos, como nos seguintes, não possuem limites fixos, podendo serem alterados conforme as necessidades econômicas e técnicas locais dos produtos.

A montagem destes elementos é feita sobre mesas vibratórias, por prensagem ou uma prensa vibratória, sendo os elementos que serão submetidos à esforços armados com barras ou treliças de ferro, as quais devem ser isoladas através de camadas protetoras.

Estes elementos, após a retirada da autoclave, possuem uma resistência de 15 a 40 MPa, com uma massa volumétrica de 1800 a 2100  $\text{Kg/m}^3$ , os vibrados, e de até 60 MPa com 2300  $\text{Kg/m}^3$  os vibro-laminados (KOMAR, 1978).

Os elementos sílico-calcários de grandes dimensões são

utilizados em construções industriais e civis em geral, na confecção de paredes em geral, painéis para lajes, vigas, degraus de escada, etc.

#### 2.2.4 - Placas de revestimento sílico-calcárias.

São placas para revestimento de alvenarias fabricadas de uma mistura de cal virgem moída com areia quartzosa, utilizando-se, para elevar a resistência e a durabilidade, misturar-se areia moída finamente e ainda uma pequena quantidade de cimento Portland.

A fabricação destas placas se faz de acordo com o esquema que é comum a todos os produtos sílico-calcários.

A adição da areia moída pode ser feita sob forma de uma mistura de areia e cal moídas, adicionadas e misturadas a seco ou sob a forma de uma mistura com água.

A confecção é feita sobre mesas vibratórias unitárias ou baterias de mesas, podendo ser confeccionadas placas lisas ou com relevo.

Após a confecção, se necessário, faz-se um tratamento da superfície e, então, elas são enviadas para o autoclave onde adquirirão suas características finais.

Os materiais de revestimento devem responder a duas condições: durabilidade e boas qualidades decorativas que não se alterem no tempo. As placas sílico-calcárias cumprem bem estas condições (KOMAR, 1978):

- sua cor é de um branco puro, podendo ser facilmente coloridas com pigmentos minerais em todas as cores;

- se prestam à moldagem em qualquer forma ou relevo;
- têm os seguintes índices mecânicos: resistência à ruptura por compressão: 20 a 30 MPa; massa volumétrica: 1900 a 1950 Kg/cm<sup>2</sup>; absorção d'água: 16% no máximo.

Estes elementos são empregados no revestimento em geral de paredes de construções industriais e civis, tomando-se o cuidado com o uso de placas de resistências menores em locais sujeitos a umidade elevada ou chuva, onde devem ser recobertos por uma camada impermeável.

#### 2.2.5 - Produtos silico-calcários celulares.

Os produtos silico-calcários celulares são resultantes de uma mistura de cal e areia moídas ou outro agregado fino silicoso e de um material gerador de células gasosas dentro da massa e após submetidas à ação de autoclavagem.

Este material possui características de baixa massa volumétrica e boas condições de isolamento térmico, resultantes de sua estrutura porosa.

Vários métodos são empregados para a formação deste tipo de estrutura, os mais usados são:

a) Formação de gás por reação química dentro da massa durante o estado líquido ou plástico. Geralmente é utilizado o pó de alumínio ou zinco, o qual é colocado no misturador juntamente com os outros materiais e umedecido, reagindo com a água segundo a reação simplificada (SHORT, 1968)



sendo o hidrogênio repassado para o ar.

A mistura é, então, moldada juntamente com os demais componentes e levada à autoclave para que a reação silico-calcária se processe.

b) Adição à massa, no misturador, de uma espuma estável pré-formada ou incorporando ar por agitação e, após, seguindo o encaminhamento do processo anterior.

As principais propriedades que diferenciam estes produtos dos demais são a densidade, resistência mecânica, condutibilidade térmica e retração por secagem.

Em geral, todas as propriedades destes elementos estão ligadas à sua densidade, que pode ser de até  $400 \text{ Kg/m}^3$ , na prática estando entre  $480$  e  $560 \text{ Kg/m}^3$  e  $720$  a  $820 \text{ Kg/m}^3$ , conforme se queira maior isolamento térmico ou resistência, respectivamente (SHORT, 1968).

As resistências obtidas dependem diretamente da densidade, como mostra a Figura 2.1, a seguir (Comité Euro-International du Béton, 1978):

A condutibilidade térmica é, também, função da densidade, possuindo, com ela, uma relação de valores aproximados, segundo a Figura 2.2, a seguir (Comité Euro-International du Béton, 1978), sendo, ainda, função do conteúdo de umidade, temperatura, matérias-primas, etc.

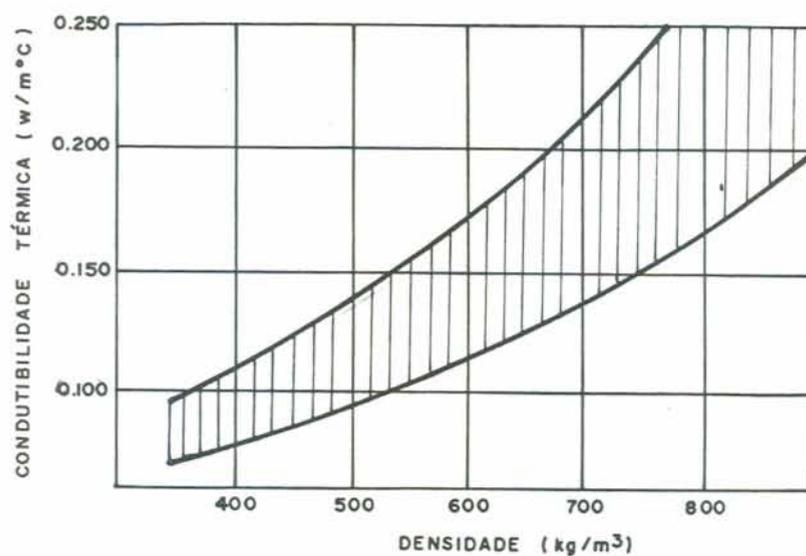


FIGURA 2.1 - Relação entre a condutibilidade térmica e a densidade de produtos S.C. celulares.

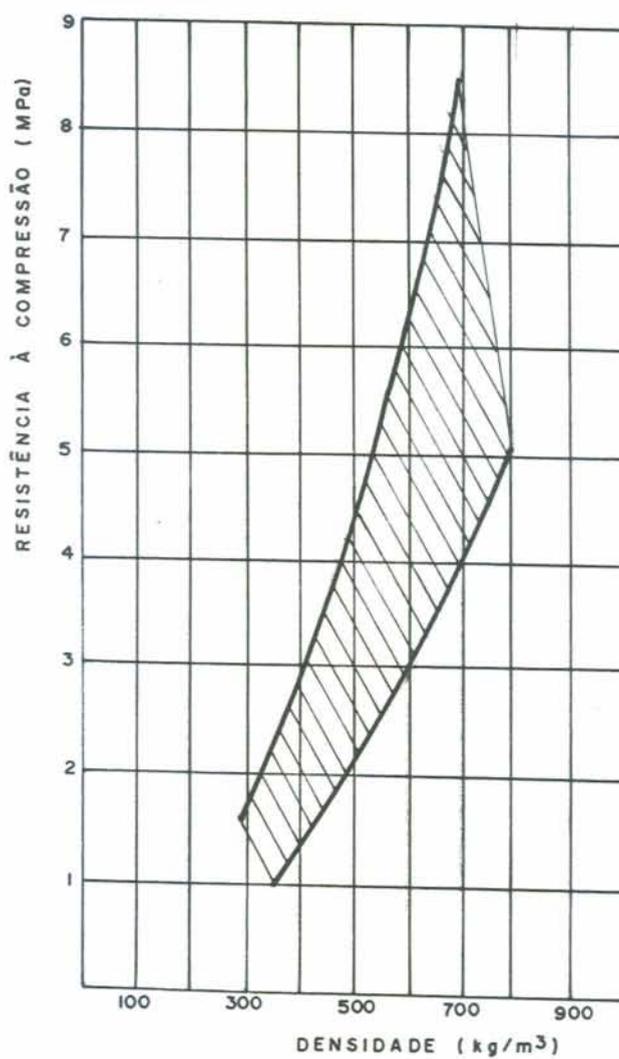


FIGURA 2.2 - Relação entre a resistência à compressão e a densidade de produtos S.C. celulares.

Já a retração por secagem destes elementos, tende a ser mais alta que na maioria dos materiais empregados, variando em relação à umidade, alcançando valores de até 0,05 %.

Estes elementos são usados tanto na forma de blocos como elementos maiores, reforçados com ferragens, sendo empregados para:

- vedação;
- paredes portantes;
- lajes de material celular armado para forros e pisos;
- telhados inclinados em material celular armado, etc.

#### 2.2.6 - Outros produtos sílico-calcários.

Esta massa sílico-calcária não possui limites de utilização na confecção dos mais variados elementos, bastando que se molde no feitiço desejado e posteriormente se leve a endurecer na autoclave, para que se obtenham produtos os mais variados possíveis.

Além dos já apresentados, outros produtos são também fabricados como elementos sílico-calcários nos diversos países em que estes produtos são usados, como:

- produtos sílico-calcários com fibras de asbestos ou fibra de vidro (isolamento térmico e mais resistência mecânica);
- tubos para canalização;
- elementos estruturais (vigas, pilares, etc);
- moirões para cercas, etc.

Em muitos países, o processo de fabricação de produtos sílico-calcários está muito desenvolvido, estando sendo utilizado

em grande escala para a produção de toda a classe de elementos de construção. Na URSS, a estrutura inteira de alguns edifícios, incluindo grandes painéis e lajes, são fabricadas com estes elementos.

Os limites de resistência apresentados para estes elementos não são limites práticos nesta propriedade. Em alguns lugares se obtém elementos de alta resistência até  $1400 \text{ Kg/cm}^2$  (Silicalcit, URSS) ou de  $840 \text{ Kg/cm}^2$  (Poreen, Alemanha), usados como elementos estruturais e para tubos de grande diâmetro. Os detalhes de produção destes elementos não são revelados, mas todos devem estar baseados no uso de matérias-primas especialmente selecionadas e no processo cada vez mais especializado de produção (BESSEY, 1964).

### 2.3 - Estudo do agregado silicoso.

O agregado a ser adicionado à mistura cumpre duas funções no processo, sendo, ao mesmo tempo, material reativo, pois reage com a cal para formar os silicatos hidratados, e como o agregado que vai ser cimentado (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1977), dependendo em grande parte do desempenho destas funções as características do produto resultante.

A reatividade do agregado está ligada ao seu conteúdo de sílica existente para reagir, e às condições em que esta se encontra. A sílica que se encontra na forma amorfa reage mais prontamente com a cal que aquelas que estão no estado cristalino, devido ao estado cristalino possuir ligações iônicas bastante mais fortes (SILVA, 1982). Também é de grande importância a

superfície específica dos grãos, devido ao maior número de contatos com os grãos da cal, o que leva a reagir mais prontamente.

Na confecção dos produtos silico-calcários é utilizada geralmente a areia como agregado, podendo-se, no entanto, utilizar-se a cinza volante, a escória de metais e outros.

A sílica existente em grandes percentagens na areia quartzosa, está no estado cristalino, possuindo, sem que sofra tratamento, uma baixa superfície específica.

Já a sílica da cinza volante se encontra no estado amorfo, com uma grande superfície específica, possuindo em meio alcalino uma maior reatividade que a areia (PAPROCKI, 1967), logo reagindo mais prontamente com a cal no interior da autoclave.

Sabe-se, no entanto, que os blocos de cinza-cal possuem características inferiores aos de areia-cal (KOMAR, 1978), pois segundo BESSEY (1964), embora a cinza reaja mais prontamente, as ligações mais cristalinas de silicato se encontram em blocos feitos com areia e ainda, segundo o estudo de concretos, que a resistência de uma massa aglomerada está ligada também à resistência do agregado.

Logo, embora a cinza reaja com maior velocidade, possuindo maior massa ligante, esta é de pior qualidade, e não possui, nos elementos em que somente cinza é utilizada, grãos de agregado de boa qualidade para cimentar.

Procurou-se, neste trabalho, uma conciliação das características mais favoráveis destes dois elementos silicosos, utilizando-se a cinza para o aumento da plasticidade da mistura, mais compacidade e reação mais imediata com a cal; pode-se dizer

como elemento catalizador da reação, e a areia como elemento ligante menos reativo, mas de reação mais resistente e como um agregado de boa característica a ser aglutinado.

#### 2.4 - Disponibilidade de areia na região de Santa Maria - RS.

A região de Santa Maria é servida de areia proveniente essencialmente de dois locais: rio Arenal (distrito de Arenal) e rio Vacacaí (Vila Passo do Verde), localizados, respectivamente, a 12 Km e a 27 Km da cidade, existindo, em ambos, uma atividade extrativa bastante intensa. O número de empresas cadastradas no município de Santa Maria para a extração e comércio de areia é de 19 no Arenal e 15 no Passo do Verde, havendo, ainda, uma certa quantidade de extrações clandestinas.

A extração da areia nestes locais é feita tanto de jazidas localizadas próximas aos rios, como por dragagem do leito do próprio rio.

Esta areia, devido a abundância, além de servir a cidade de Santa Maria, também é levada através de caminhões e trens para outro locais com carência deste material, como é o caso de diversas cidades da serra gaúcha.

As características físicas e químicas das areias provenientes destes locais, são muito diversificadas, devido à grande variação do local de extração e também devido aos diferentes tipos de obtenção do material, podendo-se ter uma faixa de escolha muito ampla.

O uso da areia destes locais é, principalmente, na confecção de argamassas e concreto, tendo, no entanto, uma grande

variedade de aplicações nos mais diversos campos.

Do ponto de vista da confecção de produtos sílico-calcários, pode-se dizer que, dentro da necessidade de matéria-prima conveniente, a areia necessária é um fator que não acarreta maiores preocupações, existindo na região uma grande variedade e abundância deste material.

### 2.5 - Origem da cinza volante.

A cinza volante é uma pozolona, ou seja, conforme ASTM C340-58T, um material silicoso ou alumino-silicoso que, por si só apresenta pequeno ou nenhum valor cimentante, mas que, na forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio em temperaturas ordinárias, para formar compostos que apresentam propriedades cimentantes (SILVA, 1982).

É originada, atualmente, da combustão do carvão mineral pulverizado, ocorrendo sua formação, à medida que o carvão é queimado, a partir de componentes não combustíveis do carvão e também de partículas que não foram queimadas. É composta de partículas finamente divididas, que são transportadas da câmara de combustão através de dutos de gases, sendo após separadas dos gases produzidos. Suas propriedades dependem da composição do carvão, temperatura de combustão e processo de retirada (CERATTI, 1979).

A maior parte da cinza volante, produzida no Sul do Brasil, é originária das centrais termoelétricas. A cinza utilizada neste trabalho é proveniente da Usina Presidente Médici, em Candiota,

no município de Bagé - RS. Possui esta cinza, partículas de forma aproximadamente esférica, finamente dividida, de vidro cerâmica com inclusões menores de material cristalino e ricos em ferro, que são retiradas após saírem da câmara de combustão, sendo então conduzidas ao local de deposição.

Esta cinza é classificada em dois tipos:

- tipo "a" - cinza que sofre beneficiamento;
- tipo "b" - cinza que se encontra nos silos de cinza leve e proveniente diretamente da central.

A cinza tipo "a" tem um maior grau de finura, apresentando menor diâmetro médio, maior superfície específica e maiores índices de reatividade pozolânica (CERATTI, 1979).

O quadro 1 mostra o consumo de carvão nas termoelétricas do Rio Grande do Sul (dados de 1976) (CERATTI, 1979), sabendo-se que o carvão do Estado tem um teor de 50 a 55 % de cinzas na mina (NARDI, 1975), tem-se uma visão do problema de poluição causado e da disponibilidade deste material.

QUADRO 1 - Consumo de carvão mineral nas termoelétricas do Estado do Rio Grande do Sul.

Termoelétrica	Atual (t/a)	Curto Prazo (t/a)	Médio Prazo (t/a)
Candiota	600.000	2.800.000	5.000.000
Charqueadas	350.000	700.000	2.500.000
São Jerônimo	100.000	100.000	100.000
Total	1.050.000	3.600.000	7.600.000

## 2.6 - Aplicações atuais da cinza volante.

Devido ao incremento acentuado da produção de cinzas

volantes e motivados pelo problema difícil e oneroso de colocação desse rejeito industrial, os estudos no mundo inteiro se intensificaram e se aprofundaram na busca de soluções, visando novas aplicações deste material, o que tornou as cinzas volantes materiais de diversificadas aplicações:

- cinza volante no concreto e no cimento:
  - \* como mistura no concreto e na argamassa;
  - \* como componente do cimento, pulverizado juntamente com o clínquer;
  - \* como matéria-prima no estágio anterior ao forno;
- na preparação de argamassas para injeções;
- como agente estabilizador de solos;
- como filler para preenchimentos de vazios e como agregado leve;
- na fabricação de elementos pré-moldados;
- na agricultura;
- na metalurgia;
- em processos químicos;
- em blocos para a construção;
- nos produtos sílico-calcários de cinza-cal substituindo a areia como elemento silicoso.

A percentagem de cinza nos blocos sílico-calcários é em torno de 75 a 80 %, sendo o restante de cal (KOMAR, 1978).

A cinza originária da Usina Presidente Médici é utilizada pelas indústrias de cimentos na confecção de cimentos pozolânicos, onde entram numa percentagem de até 30 %, ou em usos menores. Resta, ainda, uma grande quantidade, a qual causa problemas de enorme proporção à usina e à região próxima,

necessitando com brevidade uma aplicação mais acentuada.

## 2.7 - Origem da cal.

A cal é um aglomerante obtido pelo cozimento em fornos de calcinação de calcários ou dolomitos (calcários dolomíticos) à cerca de 900 a 1100 C. A essa temperatura, o carbonato de cálcio ou magnésio se dissociam segundo a reação:



Caso a percentagem de MgO seja inferior a 20 %, teremos a cal cálcica, quando este teor ultrapassa este valor, teremos as cales dolomíticas ou magnesianas.

O produto resultante da calcinação é chamado cal virgem, a qual reage em presença da água da seguinte maneira:



resultando a cal hidratada, apagada ou extinta. Caso a água colocada seja a estritamente necessária para completar a reação, teremos a cal comercialmente chamada de hidratada, que se encontra sob a forma de pó seco.

Há também na composição da cal outras impurezas, tais como a Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de Alumínio

( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dependendo destas impurezas a natureza cimentante da cal. A cal é considerada aérea quando a relação (r) entre os componentes argilosos e os óxidos de cálcio e magnésio é inferior a 0,1.

$$r = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}} < 0,1$$

Neste caso, o endurecimento não ocorre sob a água, somente no ar. Se esta relação estiver entre 0,1 e 0,5 é chamada cal hidráulica, com mais de 0,5, de cimento, ambos endurecendo sob a água.

Os fatores que mais afetam o comportamento da cal são:

- tipo de forno utilizado;
- temperatura e tempo de calcinação;
- quantidade de sílica e sesquióxidos;
- teor de carbonatos;
- tamanho e granulometria das partículas na calcinação;
- atividade ou tamanho cristalino da fração MgO.

Pode-se concluir que distintos tipos de cal, manufaturados por diferentes fabricantes, partindo de calcários distintos, apresentam uma variação considerável em suas propriedades físicas e químicas.

Na confecção dos produtos silico-calcários, as cales empregadas são as cales aéreas moídas com alto grau de finura, virgens ou hidratadas e do ponto de vista da composição, que seja mais calcica possível, ou seja, que possua um alto teor de CaO e baixíssimo teor de MgO (BESSEY, 1974). Esta última substância deve ser evitada pelos problemas de hidratação, como vai ser

visto posteriormente.

A cal pode, também, formar-se na hidratação do cimento Portland, usado como aglomerante, no entanto, neste trabalho iremos nos referir apenas àqueles produtos gerados da combinação da cal resultante da calcinação de calcários, com a sílica.

## 2.8 - Ocorrências de calcários no Rio Grande do Sul.

Segundo levantamento feito por SZUBERT & PRESOTTO (1974), no Rio Grande do Sul são encontradas áreas com diferentes possibilidades para calcário. Na Figura 2.3, é feito este mapeamento, pelo qual é fácil observar o grande potencial de produção de calcário do estado do Rio Grande do Sul.

Os calcários do Estado, do ponto de vista químico, são classificados por estes mesmos autores, da seguinte maneira:

- calcário - até 1,1 % de MgO;
- calcário magnesiano - 1,1 a 2,1 % de MgO;
- calcário dolomítico - 2,1 a 10,8 % de MgO;
- dolomito calcítico - 10,8 a 19,5 % de MgO;
- dolomito - 19,5 a 21,7 % de MgO.

Os calcários existentes no Rio Grande do Sul são predominantemente dolomitos calcíticos (45,3%) e dolomitos (32,3%), em menor número calcários puros (14,5%) e calcários dolomíticos (7 %) e raramente calcários magnesianos (0,9 %).

A reserva inferida no estado lavrável economicamente é de 555 milhões de toneladas de calcários para corretivo e cal e 120 milhões de toneladas para cimento, sendo que, para a fabricação de cimento, o calcário deve conter baixo teor de magnésio (menos

de 4 %).

As maiores explorações para corretivo e cal estão nos municípios de Rio Pardo, Dom Feliciano e Caçapava do Sul, sendo menos intensas em Cachoeira do Sul (Piquiri) e pequena em Bagé (Vila Mercedes), São Sepé (Vila Nova), Pinheiro Machado (Jaíba e Arceira) e São Gabriel (batovi).

Para o uso na indústria do cimento, as explorações de maior vulto se encontram em Pinheiro Machado (Passo da Conceição e Candiota), Arroio Grande (Pedreiras), São Gabriel (Vila da Palma) e Pedro Osório.

No município de São Sepé, na localidade de Vila Nova, origem da cal utilizada neste trabalho, ocorrem pequenos corpos de calcários que desde longa data vêm sendo usados como matéria-prima na fabricação de cal, na siderurgia, para corretivo e mesmo para cimento. As reservas desta área, conforme Quadro 2, possuem, em geral, uma baixa percentagem de MgO, o que é desejável para a produção de produtos sílico-calcários.

QUADRO 2 - Ocorrência de calcário no município de São Sepé, localidade de Vila Nova - RS.

Ocorrência	Comprimento (m)	Possanção Média (m)	Profundidade (m)	Densidade de (ton/m <sup>3</sup> )	Reserva inferida (ton)
Buriti	600	10	30	2,5	450.000
Fração	200	10	30	2,5	150.000
Cerro do Cabelo	100	10	30	2,5	75.000
Cerro da Cadeia	50	5	30	2,5	18.750

FIGURA 2.3 - Mapa de ocorrência de calcários no Estado do Rio Grande do Sul.

### 3 - PESQUISA TEORICA - BLOCOS SILICO-CALCARIOS

#### 3.1 - Introdução.

Por fatores de desenvolvimento e de tradição, ainda hoje nos deparamos com o emprego de tijolos e blocos como o mais difundido no nosso meio construtivo. Essa fato nos encaminhou para um estudo mais aprofundado em relação a esses elementos.

A nomenclatura "tijolo ou bloco de cal-areia" foi muito usada antes que se conhecesse a natureza do processo de endurecimento. Foi após substituída pelo termo "tijolo ou bloco silico-calcário", o qual geralmente engloba os tijolos e blocos confeccionados tanto com areia-cal como cinza-cal, escória-cal ou outro agregado silicoso e cal.

Nesse trabalho, será utilizada a nomenclatura "BLOCOS SILICO-CALCARIOS" (ou blocos SC) para se referir aos elementos confeccionados, usando-se como matérias-primas básicas a areia e a cal. Será empregado o termo bloco, sem referir-se apenas aos blocos construtivos de maiores dimensões, mas englobando também os elementos menores e logo o termo tijolo.

Nesta parte do trabalho, são pormenorizadas as matérias-primas usadas e as etapas do processo produtivo para os blocos silico-calcários de areia-cal e ainda os aspectos diversos da produção e uso destes blocos. Busca-se assim a visualização da validade do trabalho prático a ser empreendido e da falha dentro do contexto técnico pelo não conhecimento e estudo mais aprofundado destes elementos.

O processo produtivo para o caso da substituição da areia ou parte da areia, por outro agregado silicoso é repetido, havendo apenas diferenciações nos produtos finais obtidos.

### 3.2 - Definição.

A Norma da Alemanha Ocidental DIN 106 (DEUTSCHES INSTITUT FUER NORMUNG, 1974), define os blocos silico-calcários ou "Kalksandstein" (pedra de areia e cal) como um elemento de alvenaria fabricado com cal e agregado, de natureza predominantemente quartzosa, que, depois da mistura íntima dos referidos componentes, são moldados em peças, por pressão e compactação, e endurecidos sob ação do calor e pressão do vapor. Admite a utilização de corante.

Já a Norma Britânica BS 187 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1978) define mais detalhadamente: "Calcium silicate Bricks" ou tijolos de silicato de cálcio como um elemento de alvenaria constituído de uma mistura íntima e uniforme de areia, predominantemente quartzosa, ou pedregulhos silicosos ou rochas ou pedras silicosas moídas, ou uma mistura desses materiais, com uma pequena porção de cal, moldado por prensagem e cujos materiais reagem quimicamente pela ação do vapor sob pressão.

A tradução do termo alemão "Kalksandstein" e do termo inglês "calcium silicate brick", diferem do termo empregado no Brasil para o mesmo elemento que, no entanto, é assemelhado ao termo adotado para este produto em outros países de origem latina:

- "Ladrillo silico-calcáreo" (espanhol);

- "Brique silico-calcaire" (francês);
- "Blocchetto silico-calcareo" (italiano).

### 3.3 - Processo de produção.

Neste item é importante o conhecimento de todas as suas etapas, juntamente com suas importâncias e influências dentro do processo, para que se tenha possibilidade de evidenciar os problemas e as mudanças no produto final antes que ocorram. Assim, pode-se providenciar os cuidados necessários ou evitar as variações no processo produtivo.

Os fatores que afetam a qualidade destes blocos, na ordem em que eles aparecem no curso da produção, podem ser sumariamente colocados desta maneira:

- matéria-prima:
  - \* natureza da areia: origem, composição química e granulometria;
  - \* qualidade da cal;
  - \* quantidade da cal;
  - \* natureza da água.
- processo de manufatura:
  - \* processo de mistura: proporcionamento, mistura, hidratação, remistura;
  - \* moldagem dos blocos;
  - \* condições de autoclavagem: tempo, pressão e temperatura.

### 3.3.1 - Matéria-prima.

#### 3.3.1.1 - Areia.

Devido a grande quantidade requerida de areia, suas propriedades têm uma importante influência na qualidade dos blocos.

A conveniência do uso de uma areia depende da natureza da superfície dos grãos e alguma película sobre eles, da sua composição química e da quantidade de impurezas presentes e da sua granulometria.

##### 3.3.1.1.1 - Origem.

Em geral a areia é escavada em jazidas de areia, em outros casos é obtida do leito de rios ou lagos. Pode ainda ser retirada de dunas ou resultar da moagem de pedras arenosas moles.

O tratamento a que deve ser submetida a areia antes da sua utilização depende, primeiramente, de sua origem e depois dos detalhes de manufatura dos produtos e das qualidades finais desejadas.

##### 3.3.1.1.2 - Composição química.

A areia para a manufatura destes produtos deve ter um alto teor de sílica, porque o efeito de endurecimento depende da reação química da cal com a superfície livre de sílica existente.

Alguns produtores, na Europa, utilizam areias constituídas

essencialmente de grãos de quartzo, as quais estão disponíveis nos países que as utilizam. No entanto, em outras áreas, areias com muito baixo conteúdo de quartzo têm sido usadas com sucesso, e trabalhos de laboratório têm mostrado que, quando não está presente uma excessiva quantidade de materiais nocivos, areias de somente moderado conteúdo de sílica (- 60 %) podem dar blocos de qualidade adequada.

Não é possível fixar-se rígidos limites de composição para a aceitação da areia, pois ela depende das circunstâncias locais. A resistência mecânica e ao meio ambiente dos blocos, que podem ser aceitos, dependem dos métodos de construção e das condições climáticas locais, e o uso de tratamentos ou processos especiais na manufatura pode ser economicamente adotado, dependendo da posição de competição em relação aos materiais de construção alternativos.

Entretanto, como guia para uma escolha preliminar da areia usada para este propósito, é sugerido por BESSEY (1974) que sejam adotados os critérios do Quadro 3, a seguir:

QUADRO 3 - Critérios para possível conveniência de areias para a manufatura de blocos silico-calcários.

	Areias provavelmente venientes	Areias que requerem testes	Areias provavelmente convenientes
Conteúdo total de silica (SiO <sub>2</sub> )	> 90 %	75 a 90 %	< 75 %
Conteúdo de Feldspato	< 10 %	10 a 20 %	> 20 %
Material expansivo	< 1 %	1 a 5 %	> 5 %
Sais solúveis	< 0,05 %	0,05 a 0,2%	> 0,2 %
Alcalis total (K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O)	< 1 %	1 a 3 %	> 3 %
Sulfato solúvel (SO <sub>4</sub> )	< 0,02 %	0,02 a 0,1%	> 0,1 %
Argila e Silte (material < 20µm)	< 4 %	4 a 10 %	> 10 %

A percentagem de argila permitida, 10 % conforme Quadro 3, é seguida pela condição de que seja uniformemente distribuída. Assim ela aumenta a maleabilidade da mistura, facilitando a prensagem dos blocos, aumentando a resistência do bloco cru, a densidade, e diminuindo a permeabilidade. No entanto, quando a argila ocorre em grandes porções, há o retardamento da formação do agente cimentante durante a autoclavagem.

É comum em depósitos de areia mais recentes encontrar-se algum material turfoso ou húmus, derivados de vegetais decompostos. Isso pode causar efeitos adversos sobre a reação sílica-cal, mesmo quando em quantidades muito pequenas. A

quantidade a qual teria significativo efeito varia de acordo com o tipo de material orgânico, sendo então impossível fixar-se limites quantitativos permitidos; se alguma indicação de material orgânico é encontrada, então é necessário que sejam feitos testes, endurecendo-se por um processo padrão e determinando diretamente se as características do produto são afetadas.

Carbonatos de cálcio podem estar presentes como fragmento de pedra calcária ou como cascas, não tendo efeito prejudicial para este uso e podendo ser considerados inertes; no entanto, quando presentes como uma camada sobre os grãos de areia, podem reduzir a velocidade de reação com a cal, sendo então necessário um tratamento abrasivo antes de usar-se a areia.

Deve-se ter cuidado também com areia provenientes de dunas litorâneas, contaminadas com sal ou água do mar, para as quais é requerida uma lavagem e secagem subsequente antes do uso.

#### 3.3.1.1.3 - Granulometria.

A granulometria da areia afeta a maioria das propriedades do produto, principalmente a resistência mecânica do bloco cru e do bloco endurecido, textura, porosidade e a variação dimensional por secagem.

Esta característica da areia é obtida por peneiramento a seco, sendo após expressa em termos de proporção passando em cada peneira normalizada ou em termos de proporções acumuladas em sucessivas peneiras. Estas proporções são levadas para uma escala especificada logarítmica resultando a curva granulométrica da areia.

Estando a granulometria disposta desta maneira, pode-se então determinar os diversos parâmetros da areia, que são de importância na avaliação daquela que será usada na confecção dos blocos S.C., e os quais definem o tipo de areia com que estamos trabalhando, que são conforme literatura inglesa (BESSEY & PURTON, 1976):

a) Diâmetro médio.

É o tamanho médio das partículas da areia. Definido como o diâmetro que possui abaixo e acima uma percentagem (%) em peso da areia de 50 %. É determinado por análise da curva granulométrica.

b) Coefficiente de forma.

A abertura da graduação será indicada pela inclinação da linha representativa da areia, traçada em papel log-probabilístico. A areia tendo uma única granulometria terá sua curva vertical e quanto mais larga a granulometria, menor será a inclinação da curva.

A abertura da graduação da areia pode ser definida pelo Coeficiente de Forma (CF), dado pela fórmula:

$$Cf = \frac{\sqrt{Q_3 / Q_1}}{\sqrt{3}}$$

onde  $Q_1$  e  $Q_3$  são os diâmetros abaixo dos quais ocorre respectivamente uma percentagem de 25 % a 75 % de peso da areia, determinados a partir da curva granulométrica.

Uma granulometria única terá um coeficiente de forma igual a 1,0 e quanto mais larga for a granulometria, maior é este valor.

É independente, no entanto, do diâmetro médio do material. Assim, tanto uma areia fina, média ou grossa podem todas ter o

mesmo coeficiente de forma.

c) Superfície específica.

É a medida calculada da área superficial dos grãos de areia. É calculada supondo-se que os grãos individuais são esféricos. Este valor será geralmente menor que a verdadeira superfície específica, devido a não levar em conta as irregularidades das superfícies dos grãos e também por não computar a superfície muito grande das partículas argilosas. Em particular, a superfície específica será muito menor do que a verdadeira para areias muito finas e essas tiverem um apreciável teor de argila.

Os valores assumidos para cada tamanho de peneira no qual os grãos ficam retidos são de acordo com a bibliografia citada os do Quadro 4 a seguir:

QUADRO 4 - Valores de superfície específica assumidos para cada tamanho de peneira.

Peneira (mm)	Se (cm <sup>2</sup> /g)	Peneira (mm)	Se (cm <sup>2</sup> /g)
4,8 - 2,4	7	0,3 - 0,15	120
2,4 - 1,2	15	0,15 - 0,09	240
1,2 - 0,6	30	< - 0,09	360

Devido à grande importância da granulometria da areia nas qualidades do produto final, diversos trabalhos foram desenvolvidos visando estabelecer relações entre as diversas propriedades do produto com este fator. As conclusões mais importantes são as seguintes (BESSEY, 1974; BESSEY & PURTON, 1976; CLODREY & LEE, 1970; PURTON, 1974; QUINCKE, 1967; RADJY et alii, 1969):

a) O diâmetro máximo das partículas presentes na mistura é, por razões práticas, limitado pela dimensão do artigo produzido, pela performance da prensa e, em blocos com perfurações ou cavidades, pela dimensão da malha de material.

Para blocos sólidos de dimensões normais, o tamanho da partícula máxima aceitável, com uma satisfatória performance da prensa, é de 10 a 14 milímetros. Para blocos perfurados é de 6 a 8 mm, sendo necessário que, no mínimo, 90. % das partículas misturadas tenham diâmetro de, no máximo, 25 % da largura da mínima malha do material, para impedir que a existência de duas ou mais partículas de diâmetro máximo se encontrem próximas em um local de pequena largura do material, ocasionando uma sensível redução de resistência. Quando a quantidade de material de diâmetro maior não for exagerada, pode-se eliminar por peneiração.

b) Não mais do que 1/3 do agregado total deve exceder 1,0 mm para blocos de textura grosseira ou 10 % do agregado total para elementos de textura fina. A ótima proporção da fração grossa depende da granulometria desta fração e da textura requerida para o produto final.

c) Não mais do que 1/3 do agregado total deve ser mais fino do que 0,10 mm. Esse requerimento é incluído para evitar a necessidade de uma alta proporção de cal na mistura e para evitar riscos de obter produtos com excessiva variação dimensional por secagem.

d) A variação dimensional por secagem é uma função da superfície específica da areia, aumentando com o aumento desta, logo com o aumento de grãos muito finos. Com uma mesma

percentagem de material fino esta variação aumenta com o decréscimo do coeficiente de forma.

e) A presença de alguma sílica natural muito fina ou areia finamente moída é essencial para a obtenção de altas resistências, a qual tende a crescer com a quantidade desta sílica fina.

A ação deste material é dar um aumento da superfície específica da areia, facilitando sua mistura e levando-a a reagir mais prontamente com a cal.

A areia moída terá a superfície mais reativa, pois terá as superfícies fraturadas limpas, quando comparadas com os grãos de areia normal, os quais podem ter finas camadas de argila, óxido de ferro, alumina ou outras impurezas.

f) A densidade volumétrica dos produtos cresce quando existe uma proporção de partículas grossas juntamente com a proporção de finas e a cal preenchendo os vazios entre as partículas.

A absorção de água possui relação similar com respeito à graduação.

g) A graduação dos agregados deve ser tal que o coeficiente de forma não seja menor que 1,2.

A graduação descontínua do agregado (ver exemplo na Figura 3.1) ocasiona um aumento de resistência em relação à graduação contínua (ver exemplo na Figura 3.1). Um acréscimo na abertura do intervalo necessita uma maior proporção de finos ou com uma proporção constante de fino ocasiona uma perda de resistência.

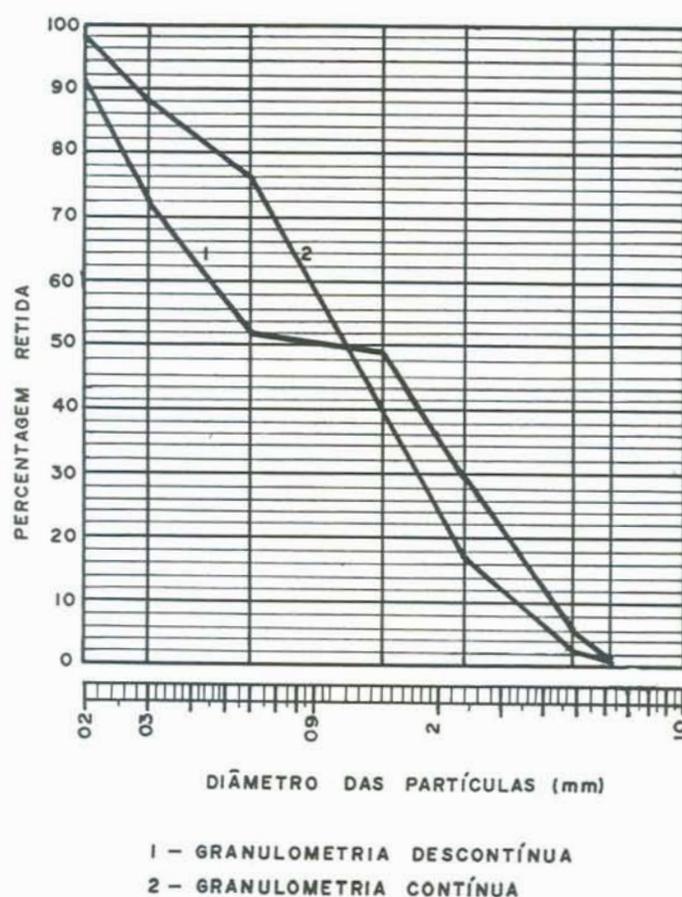


FIGURA 3.1 - Granulometria da areia.

Com uma graduação descontínua se consegue também, um maior empacotamento da mistura quando prensada e por consequência uma maior densidade volumétrica.

h) A composição granulométrica natural de muitas areias é suficiente para que a indústria de blocos S.C. fabrique blocos de qualidade uniforme com uma resistência à compressão de 15 MPa.

As areias, em sua maioria, contêm poucos tamanhos, são muito uniformes e não cumprem as condições de granulometria necessários para a obtenção de produtos de qualidades mais apuradas (BESSEY, 1964). Para que se obtenha uma granulometria mais apropriada pode-se utilizar diversos processos (QUINCKE,

1967):

- mistura de diversas areias naturais;
- classificação através de peneiramento e posterior combinação artificial das diversas frações obtidas;
- trituração ou moagem, devendo-se fazer distinção entre a areia simplesmente moída para melhorar a graduação e a areia em que somente as partículas maiores são moídas e graduadas para após serem misturadas novamente.

Todos estes processos, no entanto, envolvem uma supervisão contínua e precisa, despendendo um emprego relativamente grande de mão-de-obra e capital, o que encarece muito o processo.

### 3.3.1.2 - Cal.

A cal utilizada para esse fim é obtida como apresentado no item "origem da cal", devendo apresentar características específicas para o uso na confecção de blocos sílico-calcários.

No que se refere à cal, dois fatores são ligados às propriedades dos produtos resultantes: a qualidade da cal e a sua quantidade.

#### 3.3.1.2.1 - Qualidade da cal.

##### 3.3.1.2.1.1 - Tipo.

A cal utilizada para esse fim pode ser tanto cal virgem como cal hidratada moída, tendo-se o cuidado de que sua hidratação em ambos os casos esteja completa antes da entrada do

produto na autoclave.

### 3.3.1.2.1.2 - Composição química.

Dentro da cal empregada, duas substâncias despertam maiores cuidados quanto à percentagem existente: a cal disponível e o óxido de magnésio (magnésia) disponível.

A cal disponível é a quantidade de  $\text{CaO}$  presente como tal ou como Hidróxido de Cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). É o elemento necessário para a formação dos silicatos hidratados de cálcio, responsáveis pela cimentação do conjunto, dando a resistência desejada ao produto obtido, sendo, pois, desejável a existência de uma alta percentagem de  $\text{CaO}$  disponível, para que sejam envolvidos e cimentados todos os grãos da areia (BESSEY, 1974).

Segundo BESSEY (1974), uma boa qualidade da cal virgem utilizada conterá 90 a 95 % de cal disponível, enquanto uma cal hidratada conterá de 68 a 72 % (equivalente a 90 a 95 % de Hidróxido de Cálcio). No entanto, pode-se empregar, com bons resultados, uma cal virgem com um teor de 70 a 95 % de  $\text{CaO}$  e uma cal hidratada com 60 a 72 % (equivalente a 70 a 95 %).

A magnésia disponível atua como um fator detrimental em cales para este fim, devido a seus problemas durante a hidratação da cal, ou seja, durante a formação dos Hidróxidos de Cálcio e Magnésio.

A cal utilizada deve ser tal que, quando a cal virgem é usada, ele hidrate prontamente e completamente durante a parte do processo que precede a prensagem do produto ou quando a cal hidratada é utilizada a sua hidratação esteja completa no momento

de seu uso.

Esse requerimento é essencial devido à expansão que ocorre durante a hidratação da cal. Se esta hidratação não é previamente completada ela é acelerada, devido ao ambiente de vapor saturado e pressão, no interior da autoclave, resultando em expansão da massa, a qual, quando pequena, diminui a resistência dos blocos, e quando de maior intensidade causa rachaduras, quebras ou mesmo colapso do produto final.

A possibilidade de uma hidratação da cal indevidamente lenta ou incompleta, decorre da composição da pedra calcária da qual é feita a cal, ou da maneira imprópria de queima. Se a cal é queimada a uma temperatura muito alta ou por tempo excessivo, ela hidrata menos prontamente.

O óxido de Magnésio apresenta graves problemas de hidratação, pois durante a queima da cal, o carbonato de magnésio ( $MgCO_3$ ), da pedra calcária, é decomposto em  $MgO$  e  $CO_2$  (gás carbônico) a uma temperatura de aproximadamente  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto o carbonato de cálcio não se decompõe totalmente abaixo de  $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por isso, durante a queima da cal o  $MgO$  é sobrequeimado à temperatura de decomposição do carbonato de cálcio. Como resultante desta sobrequeima, o  $MgO$  hidrata lentamente, não completando sua hidratação antes de um longo período em contato com a água em condições normais.

Caso a queima não seja controlada, também o  $CaO$  resulta desta maneira, transformando cales de boa composição química em cales inconvenientes para o uso na confecção de produtos S.C.

No Reino Unido são estabelecidos limites do  $MgO$  de 5 % para a cal virgem, e 4 % para a cal hidratada, enquanto, na Alemanha

Ocidental, os fabricantes fixaram este limite em 1,5 % (BESSEY, 1974).

Estas percentagens são adotadas, não por problemas de composição química em si, mas pelos problemas de hidratação citados. Caso sejam tomados os cuidados necessários com a hidratação, pode-se exceder estes valores, sem prejuízos ao produto final.

Cuidados devem ser tomados também com as impurezas existentes na cal, pois embora apareçam em pequenas percentagens e possam ser consideradas inertes, elas têm, mesmo que em pequeno grau, uma certa influência sobre o produto final.

Os fabricantes alemães estabeleceram certos limites para as impurezas mais comuns na cal para o seu uso nos produtos S.C. (OHNEMULLER, 1967). As principais são as seguintes:

- Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ): o gás carbônico, embora inerte, é sinal de má queima da cal, devendo ser controlado. É limitado em 5 %.

- Adições Sulfurosas ( $\text{SO}_3$ ): são causadoras de corrosão. Menos de 0,25 %.

- Compostos Argilosos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): geralmente existentes na forma de compostos cálcicos, em cales com tendências hidráulicas. BESSEY & ELDRIDGE (1933) concluíram, em seus trabalhos, que embora suas percentagens diminuam a percentagem de  $\text{CaO}$ , a resistência por eles conferida, como compostos hidráulicos, compensa a resistência perdida da reação da cal com a areia. Cales fortemente hidráulicas, com alto teor destes componentes, são inconvenientes para a manufatura de produtos S.C., devido ao seu endurecimento muito rápido.

O óxido de Ferro ( $Fe_2O_3$ ) além de componente argiloso é um causador de sobrequeima da cal.

Como a cal pode ser fabricada tanto por um processo simples, com um pequeno controle de qualidade, quanto por um processo sofisticado, bem controlado, é necessário, antes do seu uso, a retirada e exame de amostras, decidindo sobre sua conveniência e sobre os detalhes necessários no processo para que seja empregada.

A composição química, embora seja importante fator para saber-se da conveniência da cal, não é capaz, por si só, de garantir blocos finais de boa qualidade, nem de decidir pela possibilidade de uso da cal. Mesmo cales de uma mesma caieira, logo com uma mesma composição química, podem ter como resultado, quando empregadas, blocos de diferentes qualidades (DHNEMULLER, 1967).

Em locais onde há menos liberdade de escolha, pode ser necessário utilizar-se a cal com as proporções de  $CaO$  e  $MgO$  alteradas, devendo-se, neste caso, ter em conta que as conveniências do uso da cal dependem das suas condições de queima e do processo de hidratação empregado (BESSEY, 1974).

#### 3.3.1.2.1.3 - Estabilidade da cal.

Pelas considerações já feitas do efeito da composição química, aparece que a conveniência da cal não depende primeiramente desta característica, mas antes da rapidez com que todas as partículas hidratáveis da cal se hidratam. A presença de alguma partícula no estado não hidratado, quando os blocos são

colocados dentro da autoclave resulta em expansão. Estabilidade neste caso é definida como a propriedade da cal de permanecer inalterada em volume, estando misturada com a areia, prensada, quando sujeita à ação de vapor sob as condições de manufatura dos produtos S.C.. Esta é a propriedade essencial da cal para este fim (BESSEY & ELDRIDGE, 1933).

BESSEY & ELDRIDGE (1933) encontraram uma relação entre a resistência do produto final e as expansões nos testes de estabilidade das cales, como sendo dada aproximadamente por uma curva parabólica (Figura 3.2), sendo esta relação considerada com uma consistência notável, devido às cales testadas serem diferenciadas amplamente em composição química e nas propriedades físicas, tal como finura e trabalhabilidade.

Diversos testes são utilizados nos diferentes países para a determinação desta propriedade da cal, sendo a escolha do método de teste importante para a avaliação desta característica. Os autores citados utilizaram o método da agulha de Le Chatelier, empregado na determinação da estabilidade de cimentos.

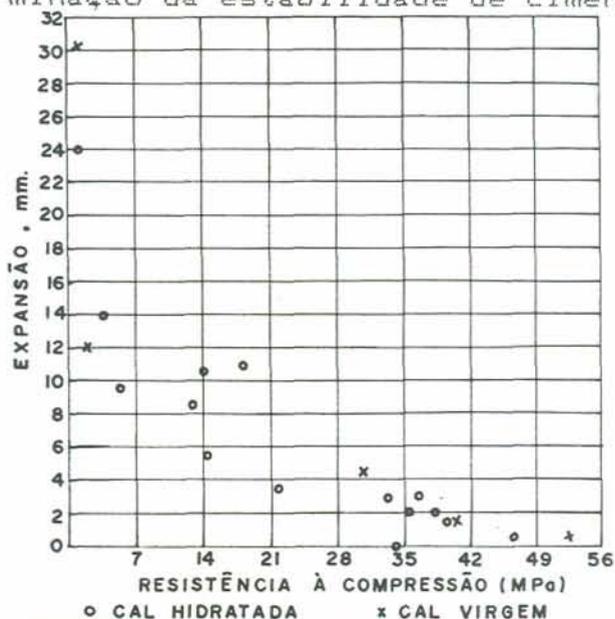


FIGURA 3.2 - Relação entre a resistência à compressão e a estabilidade da cal.

#### 3.3.1.2.1.4 - Rendimento da cal.

Um grande rendimento da cal é desejado, porque ele significa uma fácil dispersão e uma ação mais plástica da cal dentro da mistura.

A resistência dos blocos aumenta com o acréscimo do rendimento, no entanto, defeitos devido a um insuficiente rendimento são desconhecidos (OHNEMULLER, 1967).

#### 3.3.1.2.1.5 - Reatividade da cal.

A reatividade de uma substância é definida como a velocidade de reação dessa substância com o outro reagente, e pode ser expressa como a quantidade de substância que reage na unidade de tempo.

A cal é uma substância muito heterogênea. Apesar da composição uniforme, ela contém diferenciações no interior da massa total, devido à queima heterogênea dos volumes, havendo algumas partes da cal reagindo mais rapidamente e outras mais lentamente. Estas partes que reagem muito lentamente são consideradas como constituintes "não estáveis".

O conhecimento da reatividade da cal é importante para a escolha do processo e do tempo de hidratação a serem utilizados. Quanto mais reativa a cal mais econômica será esta etapa do processo produtivo.

O método comum de medida desta característica, consiste em plotar a curva de hidratação da cal, a qual se baseia nas variações da temperatura no tempo quando a cal virgem reage com

a água, liberando calor.

### 3.3.1.2.1.6 - Finura da cal.

A finura da cal utilizada e homogeneidade nesse respeito, juntamente com a reatividade, são fatores importantes a considerar quando decide-se a respeito do tipo de processo de manufatura e do tempo de permanência da cal dentro dos recipientes de hidratação.

Cal virgem pode ser fornecida pronta moída, na finura requerida ou na forma de pedra. Quando na última condição, é necessário ser moída na fábrica até a finura necessária, dependendo esta do processo de hidratação a ser usado:

- para o processo do tambor rotativo é considerado, no Reino Unido, uma finura passando na totalidade pela peneira 1,18 mm, ainda que a menor possível seja preferida;

- para o processo dos silos ou reatores, as normas alemãs (DIN 1060) requerem a cal passando completamente na peneira de 0,63 mm e não tendo mais do que 10 % de resíduo na peneira de 0,09 mm.

No caso de cales sobrequeimadas ou com alto teor de MgO, é preferível que a finura da cal seja bastante acentuada, pois embora o processo seja dispendioso, caso isso seja feito, pode-se transformar uma cal não estável em uma de boa estabilidade (DEMPSEY, 1969).

Uma boa finura também é importante para que a cal se distribua mais facilmente ao redor dos grãos de areia, englobando

todos os grãos com mais facilidade, diminuindo a energia de mistura ou com uma mesma energia resulta a cal melhor dispersa na massa.

Esta característica tem uma grande influência sobre uma outra propriedade da cal, a Plasticidade, que embora não tenha importância determinada sobre o produto final, é de grande importância durante a confecção dos elementos.

#### 3.3.1.2.1.7 - Plasticidade.

Quanto maior o número de finos da cal, maior é a sua plasticidade.

Quanto maior a plasticidade, mais trabalhável será a mistura, sendo mais facilmente moldada sob a ação da prensa, necessitando o emprego de pressões menos elevadas.

As cales com maior teor de MgO são mais plásticas.

#### 3.3.1.2.2 - Quantidade de cal (BESSEY, 1964).

A resistência obtida em um produto formado por um agregado e um agente cimentante energético, aumenta com este último, rapidamente a princípio, até que toda a superfície de agregado esteja ligado e se tenha obtido um mínimo de poros, depois cresce mais lentamente, podendo inclusive diminuir para quantidades excessivas de ligante. Intervém nesta resistência também a resistência inerente aos materiais e à ligação entre eles.

A quantidade de cal na mistura influi na resistência dos blocos crus, apenas prensados, e a relação citada anteriormente

existe dentro dos materiais aglutinados pelo silicato cálcico formado após o tratamento.

Na Figura 3.3 foi apresentada por BESSEY (1964) uma curva típica, para uma mistura cal-areia, sendo a areia bastante fina e uniforme, e mantida constante durante os ensaios.

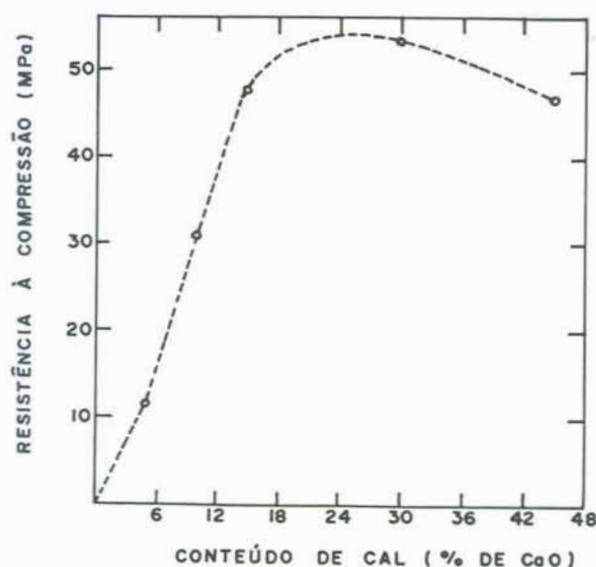


FIGURA 3.3 - Relação entre a resistência à compressão e o conteúdo de cal.

O conteúdo normal de cal para a fabricação de blocos S.C., segundo BESSEY (1964), é de 4 a 12 % (4 a 9 % de cal virgem ou 8 a 12 % de cal hidratada), estando a resistência, dentro destes limites, tão ligada a estes conteúdos, que pode-se considerar praticamente proporcional, para uma mesma cal e um processo de manufatura uniforme.

Os valores de resistência máxima e quantidade ótima de cal depende principalmente das características da areia. Assim, uma areia mais grossa dará lugar a valores menores do conteúdo ótimo

de cal e da resistência mecânica, enquanto que uma areia com o mesmo diâmetro médio, mas melhor graduada, daria similar ou maior conteúdo ótimo de cal, com uma resistência superior.

Outro fator importante neste item é a intensidade da mistura, para que a quantidade de cal utilizada se distribua o mais uniforme possível em toda a massa, não ocorrendo, devido às variações na percentagem da cal no interior da massa, variações sensíveis nas qualidades dos blocos resultantes.

Deve-se ter claro neste item que caso algum outro ponto do processo sofra variação ou que seja utilizada outra matéria-prima, mesmo que não haja variação do conteúdo de CaO, não se pode estabelecer uma relação fixa ou pré-determinar a resistência resultante.

### 3.3.1.3 - Água.

A água utilizada pode ser proveniente de fontes diversas, como água potável, de rios, lagos, poços, etc, evitando-se águas com alto teor de sais, que é o caso da água do mar e salobra.

A mistura dos materiais, quando for submetida à moldagem, deve ser úmida o suficiente para que manifeste coesão ao ser comprimida com a mão.

A quantidade de água varia com a granulometria da areia e com o tipo e a quantidade de cal empregada, mas geralmente é de 4 a 7 % do peso seco da mistura. Esta quantidade não é altamente crítica até um valor ótimo, mas caso seja excessiva, pode produzir a ruptura dos blocos no interior da autoclave.

A porção de água adicionada também é importante para a

resistência dos blocos crus, possuindo um valor ótimo conforme os itens restantes do processo anterior à autoclavagem.

#### 3.3.1.4 - Pigmentos.

Nenhum outro material além da cal, da sílica e da água é essencial para a manufatura dos produtos S.C. normais. Entretanto, quando estes produtos se destinam para o propósito de exposição e uma série de cores são desejadas, pigmentos são incorporados na mistura.

Nesses produtos, todos os materiais (cal, agregado e pigmentos) afetam a cor do produto de diversas maneiras, mas os pigmentos são os que mais contribuem para este fim, sendo o produto fabricado sem a utilização destas substâncias, de cor esbranquiçada, resultante da ação da cal, principalmente quando o agregado é areia.

De acordo com GULDE (1972), os pigmentos a serem utilizados devem cumprir os seguintes requisitos:

- devem produzir tonalidade intensa, brilho e firmeza;
- devem ser duráveis quando expostos ao meio ambiente (luz do sol, tempo, etc) e na presença de álcalis e ácidos fracos;
- devem ser de uma composição tal que não reajam quimicamente com a cal, em detrimento de colorir o produto;
- os pigmentos devem ser no mínimo 97 % insolúveis em água;
- no mínimo 95 % do pigmento deve passar na peneira n<sup>o</sup> 325;
- os pigmentos devem ser produzidos sob um padrão, para não acarretar diferenciações nas remessas dos produtos.

Uma grande gama de pigmentos é enumerada por esse autor no

trabalho citado, constando ainda a cor resultante do emprego de cada um e sua susceptibilidade em trocar de cor no instante da autoclavagem.

Os pigmentos são incorporados à mistura em proporções, variando entre 0,3 % e até 2 % do total do peso, para dar a cor desejada.

Existem dois métodos empregados para a mistura quando pigmentos coloridos são usados:

- pré-moagem do pigmento com a cal, com o agregado silicoso ou com ambos, antes de introduzir no misturador;
- misturar sem pré-moagem.

O primeiro processo é bem mais ativo.

A cor obtida será comum a todo o corpo do elemento, o que é importante para que não haja desfiguramento no caso de quebras.

### 3.3.2 - Processo de manufatura.

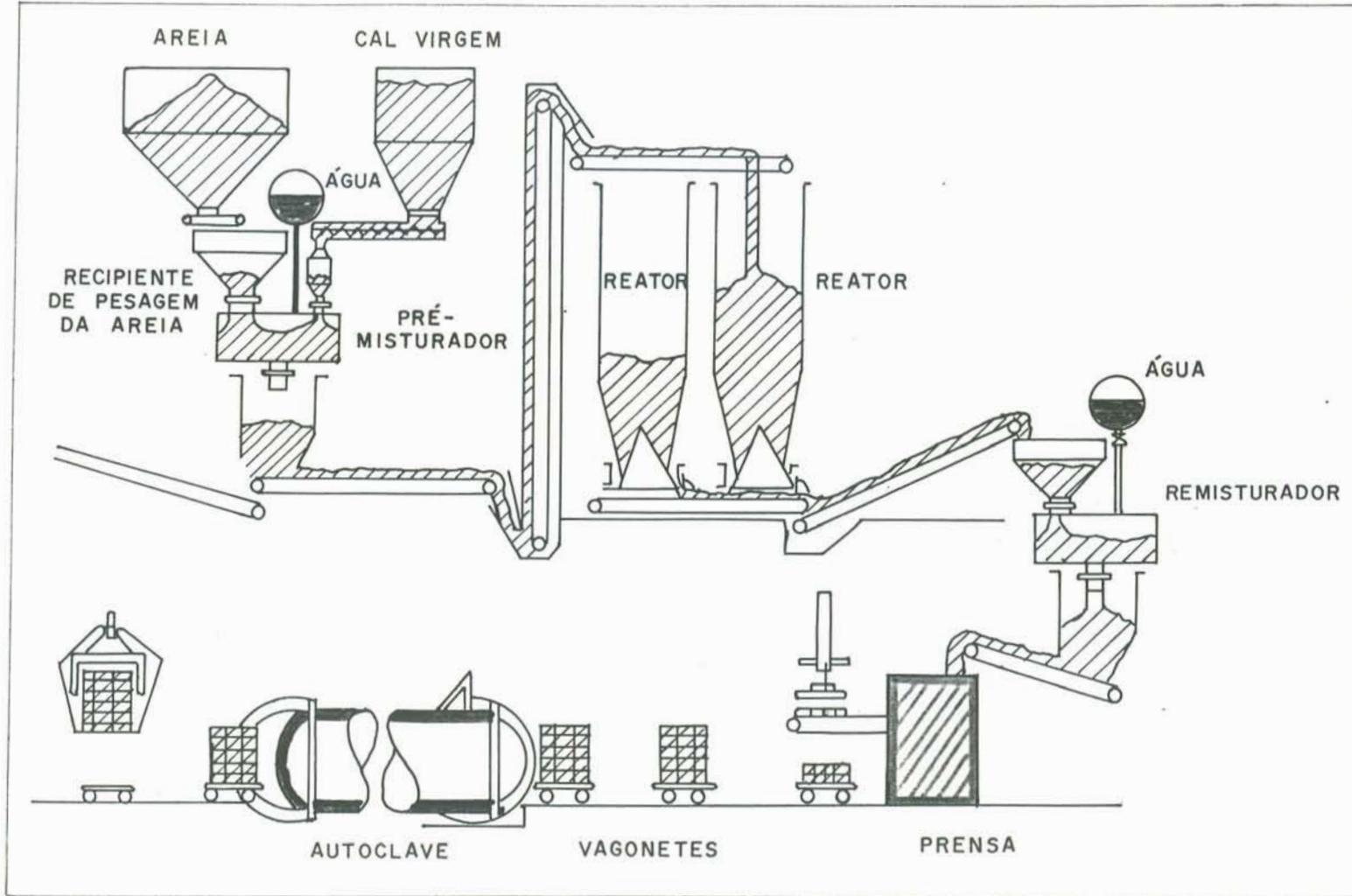
O processo de manufatura dos blocos sílico-calcários está ilustrado no diagrama da Figura 3.4 a seguir.

Este processo é dividido em quatro (4) estágios:

- preparação da mistura;
- moldagem dos blocos;
- autoclavagem dos blocos;
- manuseio e transporte dos produtos.

Estes estágios serão detalhados a seguir.

FIGURA 3.4 - Processo de manufatura dos blocos Silico-Calcários.



### 3.3.2.1 - Preparação da mistura.

Este estágio é muito importante no processo de manufatura dos blocos S.C., sendo, no entanto, o que menos cuidados e estudos tem recebido, ocorrendo em muitas fábricas uma mistura entre a areia e a cal insuficiente e incorreta, o que ocasiona uma grande perda de qualidade dos produtos finais, embora se tenha matérias-primas de boa qualidade (JUNG, 1967).

Na preparação da massa, as três matérias-primas (areia, cal e água) são tratadas para produzir uma mistura homogênea e completamente hidratada pronta para a prensagem.

As etapas envolvidas nesta preparação são: Proporcionalamento, Mistura, Hidratação e Remistura, sendo, no caso de utilizarmos cal hidratada, omitidas as etapas de hidratação e remistura, mas utilizando-se um estágio único de mistura mais eficiente.

Segundo JUNG (1967), as etapas individuais devem ser ordenadas de maneira que os seguintes requerimentos sejam cumpridos:

- a) Os tamanhos de grão de areia devem estar igualmente distribuídos dentro da mistura.
- b) Cal suficiente deve estar aderida cobrindo cada grão individual da areia e preenchendo alguma cavidade que venha a restar após a prensagem. O cobrimento dos grãos é importante para o processo de endurecimento e o preenchimento das cavidades para a resistência dos blocos.
- c) Água suficiente deve ser adicionada para a completa hidratação da cal. Água insuficiente leva à rehidratação dentro

da autoclave. Um pequeno excesso de água não é prejudicial e é recomendada do ponto de vista da segurança, mas uma grande quantidade excedente retarda o processo de hidratação.

d) A umidade natural da areia deve ser levada em consideração quando adiciona-se a água.

e) Cal e água devem ser uniformemente distribuídas no interior da areia durante a pré-mistura.

f) Antes da remistura, a cal deve estar completamente hidratada. Se algum traço de cal não hidratada permanece, então ela hidratará durante a remistura ou em último caso na autoclavagem, ocasionando o enfraquecimento ou quebra dos blocos.

g) Como o processo de hidratação é dependente do tempo, o material deve ser estocado de tal maneira que a distribuição uniforme dos grãos, efetuada durante a pré-mistura, não seja perturbada pela formação de pilhas cônicas.

h) A massa de material hidratado é muito seca para a prensagem, devendo ser umedecida durante a remistura. Nesta operação deve ser levada em conta a umidade original após a mistura inicial.

i) A água deve ser igualmente dispersada no material hidratado.

j) Após a remistura, o material pronto para a prensagem não deve ser estocado em grandes depósitos, porque a mistura homogênea pode segregar pela formação de montes cônicos.

#### 3.3.2.1.1 - Proporcionamento.

O objetivo do proporcionamento é a medição das matérias-

primas na relação correta. Quanto mais correto e uniforme o proporcionamento, melhores são as condições de qualidade do produto final.

A importância econômica do correto e uniforme proporcionamento está na economia da cal, a qual é um dos grandes fatores de custo.

Atualmente há três sistemas de proporcionamento em uso, o volumétrico, o gravimétrico-volumétrico e o gravimétrico.

No sistema VOLUMETRICO, todos os componentes são medidos volumetricamente em fluxo contínuo. Este processo é inexato, difícil de controlar e é afetado pela densidade da areia. Para ter-se uma margem de segurança, deve-se trabalhar com um excessivo consumo de cal.

O sistema VOLUMETRICO-GRAVIMETRICO tem a vantagem que ao menos a cal é medida de acordo com o peso, e o consumo de cal está, portanto, sempre sob controle. Apesar disso, esse sistema é também inexato, devido aos outros dois componentes serem sujeitos a influências de variáveis e para que se corrija, deve-se adicionar mais cal do que é necessário.

Tem sido provado, na prática, que o maior nível de exatidão é achado com o uso do sistema GRAVIMETRICO, pelo qual todos os três componentes são individualmente medidos de acordo com o peso. Embora os erros muito pequenos devidos às balanças, se pode esperar um proporcionamento da mistura muito exato, mas mesmo assim, grandes erros ocorrem em prática, como pela adesão dos materiais nos recipientes de pesagem e ainda devido ao fato que o conteúdo natural de umidade da areia é também pesado. A adição da cal deve sempre ser feita de acordo com a areia seca. Esses erros

podem ser retificados pela confecção de equipamentos apropriados que evitem ou acusem a adesão de material e pela determinação do conteúdo de umidade de cada carga de areia pesada na seção de mistura, e automaticamente ajustando o peso da cal e a água a ser adicionada (JUNG, 1967).

### 3.3.2.1.2 - Mistura.

A mistura deve ser efetuada intensamente sobre os três componentes de maneira a distribuí-los homogeneamente no interior da massa, obtendo-se uma variação da percentagem dos componentes mínima em relação às diversas porções da mistura.

Os tipos de misturadores usados industrialmente variam muito, tanto na posição das pás misturadoras, podendo ser horizontal ou vertical, como no número de pás, como também na maneira de enchimento que poderá ser com carregamento contínuo ou por betonada, e ainda em diversas outras características, como velocidade das pás, dimensões, etc. Embora haja uma diversidade muito grande de tipos de misturadores, todos buscam, com menos ou mais intensidade, o mesmo objetivo já citado no parágrafo anterior.

A qualidade dos blocos é dependente em grande parte do processo de mistura. Segundo QUINCKE (1967), foi encontrado em laboratório ser o efeito da intensidade da mistura, no mínimo, de igual significado que o tipo de cal e a finura da cal, sendo, no entanto, de menor influência que o tipo de areia, que as propriedades da areia e que a pressão de moldagem.

Uma boa ação misturadora inicia pela maneira de colocação

dos materiais proporcionados no interior da betoneira, continua por uma boa atuação do equipamento misturador e termina por uma descarga rápida e completa do material misturado.

A colocação dos materiais deve ser efetivada com o misturador completamente fechado, para prevenir os problemas com o pó no recinto de trabalho.

Uma colocação correta dos materiais é citada por JUNG (1967): a areia proporcionada deve ser descarregada sobre o misturador de maneira que imediatamente todas as suas partículas estejam em movimento giratório. Também a cal deve ser distribuída desta maneira e sua descarga deve ser efetivada vagarosamente para que ela se distribua sobre uma larga área dentro das partículas giratórias da areia. Isso é importante considerando-se a grande afinidade do  $\text{CaO}$  com a água, pois se a cal é misturada grosseiramente com a areia, há a tendência de formar torrões. Após uma boa mistura da areia e da cal, a água deve ser adicionada vagarosamente, distribuída sobre toda a superfície da mistura e borrifada sobre o material girando.

Dentro do misturador as partículas devem se manter em intenso movimento durante todo o período de mistura estipulado para cada equipamento. No misturador por carga (betonada), a descarga deve ser executada rapidamente, para que nova carga possa ser admitida automaticamente e feita de maneira que todo o material já misturado seja descarregado, não restando resíduos aderidos nas paredes da betoneira, para que a nova carga a ser processada seja completa.

No desenvolvimento de um bom misturador, o projetista deve considerar todos os aspectos os quais levam à maior intensidade

de mistura, com o objetivo de reduzir o consumo de cal e melhorar a qualidade dos blocos.

### 3.3.2.1.3 - Hidratação.

Antes da entrada na autoclave a mistura deve estar completamente hidratada. Para que isto ocorra é necessário um determinado período de tempo, conforme as propriedades da cal e as condições no interior do hidratador no qual a mistura areia-cal vai ser mantida.

Os tipos de processos utilizados para o fim de hidratar a mistura são:

#### a) Processo dos silos:

Neste processo, a mistura é mantida em repouso no interior de um silo durante um tempo determinado, geralmente de 4 a 8 horas, conforme as qualidades da cal citadas no item referente a matéria-prima.

São necessários, no mínimo, 2 silos para que, enquanto o material já hidratado é descarregado de um deles, o outro seja preenchido pelo material a ser hidratado. Os silos devem ser grandes o suficiente para possibilitarem o tempo necessário para a hidratação completa entre o enchimento e a descarga.

#### b) Processo do reator:

O reator foi inventado a partir do silo, imaginando a mistura sendo carregada e descarregada continuamente, dimensionando-se o silo de maneira que o tempo entre estas duas operações de uma porção de material seja um pouco maior que o tempo de hidratação do material.

O processo será ideal quando todas as partículas do material tenham o mesmo tempo de retenção quando passando pelo interior do reator, toda a massa possua o mesmo teor de umidade durante este tempo e não ocorra segregação do material, com separação das frações.

Para que isso ocorra e resultem blocos de qualidades homogêneas, são necessários diversos detalhes na fabricação do reator, de maneira que se tenha uma descarga de material uniforme.

Uma solução deste tipo é apresentada por JUNG (1967), onde diversos cuidados são tomados, tanto para a homogeneização da massa como para evitar-se a aderência desta nas paredes do reator.

c) Processo do tambor rotativo de extinção:

Neste processo os materiais são colocados em um tambor desenhado para resistir pressões, o tambor é fechado e rodado enquanto vapor a pequenas pressões (- 2 atm) é introduzido para acelerar a hidratação da cal, ao mesmo tempo que os materiais são misturados. A pressão é mantida e o tambor roda entre 20 e 30 minutos.

Este processo é menos utilizado que os reatores na Europa, devido aos altos custos envolvidos nesta operação. Ele passa a ser vantajoso no momento em que não se tem uma qualidade boa e/ou constante da cal, porque é bem mais efetivo que os demais processos, tendo-se a vantagem de um menor tempo de hidratação.

Após cada um destes processos o material hidratado é despejado diretamente no interior do remisturador, para a última etapa da preparação da mistura.

#### 3.3.2.1.4 - Remistura.

Cada estágio da preparação da massa tem suas funções particulares. Se alguma função é omitida em um dos estágios ela não pode ser compensada pelo estágio subsequente, isto também se aplica para a etapa da remistura. Neste estágio, a mistura hidratada seca é reumedecida para estar pronta para a prensagem.

Devido ao fluxo do equipamento de hidratação ser geralmente contínuo e a necessidade de uma alimentação contínua de material para as prensas, nas indústrias, os remisturadores geralmente são contínuos.

A água a ser colocada na mistura deve ser adicionada de maneira a facilitar a tarefa misturadora das pás, sendo preferível o uso de jatos de spray os quais aumentam a superfície de distribuição da água sobre as partículas, tornando mais fácil a mistura da massa.

A quantidade de água a ser adicionada deve ser o máximo possível, pois quanto mais úmida a mistura, mais fácil é a moldagem, aumentando a resistência dos blocos crus e diminuindo o desgaste das prensas. Este máximo possível de umidade, no entanto, é limitado pela própria prensagem, pois com um material com muita umidade é difícil o preenchimento dos moldes das prensas. Com um incorreto enchimento, os blocos crus não são suficientemente prensados, a sua resistência é reduzida e os blocos endurecidos frequentemente não alcançam a resistência desejada (JUNG, 1967). Valores da percentagem de água são citados no item referente à matéria-prima.

É muito importante para a operação seguinte, de prensagem,

que o conteúdo de umidade seja tão uniforme quanto possível. Isto pode ser conseguido por testes do conteúdo de umidade e controle automático da alimentação da água.

Após a remistura, a massa passa a alimentar as prensas.

### 3.3.2.2 - Moldagem dos blocos.

Após a preparação da massa de maneira que todas as matérias-primas estejam uniformemente distribuídas na mistura, e esta estando com um teor de umidade apropriada, a massa passa para a operação de moldagem dos blocos, a qual é feita através de prensas especiais.

A operação de prensagem é o centro do processo de manufatura, tendo sido dada muita atenção atualmente para o desenvolvimento de prensas com alta produção, com manuseio e empilhamento automático dos blocos e com alta uniformidade de qualidade e ausência de danos nas arestas ou faces. O sucesso desses esforços é encontrado no fato de que máquinas estão agora em uso com produção de mais de 7.000 blocos/hora, com empilhamento automático sobre os vagonetes que vão para a autoclave e transferência semi-automática dos vagonetes para a autoclave, tudo operado por um homem (BESSEY, 1974).

O único tipo de prensa nesta indústria, por volta de 1950, era prensa de mesa rotativa mecanicamente operada, primeiramente desenvolvida no começo do século. Esse tipo é ainda usado, adaptado com equipamento de descarregamento e empilhamento automático; pode ainda ser o mais apropriado onde o capital empregado deve ser limitado ao mínimo e os custos de M.O. são

relativamente baixos.

O segundo tipo de prensa, também mecanicamente operado, foi desenvolvido na Alemanha, próximo a 1950, e tem sido largamente usado. Tem um molde único, prensando diversos blocos em uma operação e tem um sistema integrado de descarregamento automático. Tem uma produção igual ou um pouco maior do que as prensas rotativas, mas é maior no custo inicial. É adaptável para produzir elementos de qualquer tamanho (BESSEY, 1974).

O desenvolvimento da tecnologia hidráulica e o advento de grandes moldes múltiplos levaram a introdução de prensas hidráulicas de grande produção, tendo vantagem de maior capacidade de controle, aplicando pressão constante sobre todos os blocos, e podendo ajustar o intervalo sob máxima pressão conforme o material a ser prensado, menor custo de manutenção e mais ampla adaptabilidade do que os tipos operados mecanicamente (BESSEY, 1974).

A pressão utilizada pelos alemães é de 10 a 25 MPa. Os ingleses utilizam de 30 a 45 MPa (KOMAR, 1978) e os soviéticos de 15 a 20 MPa (SABBATINI, 1984). Estas pressões implicam em prensas de alta capacidade, sendo empregado até 100 toneladas sobre cada bloco.

O tempo de moldagem é de alguns segundos. A moldagem deve ser progressiva (e não por choques) para expulsar o ar e conseguir o máximo efeito de compactação (SABBATINI, 1984).

As máquinas têm de ser muito robustas e o desgaste dos moldes é bastante grande. Estas altas pressões são necessárias para obter, com uma mistura não plástica, o grau de compactação necessário.

Pode-se utilizar no processo a vibração da mistura dentro dos moldes antes da prensagem, o que melhora a qualidade dos blocos, conforme observado na indústria Prensil visitada.

O grau de prensagem dos blocos acarreta variações muito grandes na resistência dos elementos, o que pode ser visto na FIGURA 3.5 (BESSEY, 1964), que relaciona a resistência a diversos tipos de areia ou na Figura 3.6, em que se relaciona com o tempo de prensagem (SCHLOSSER, 1967).

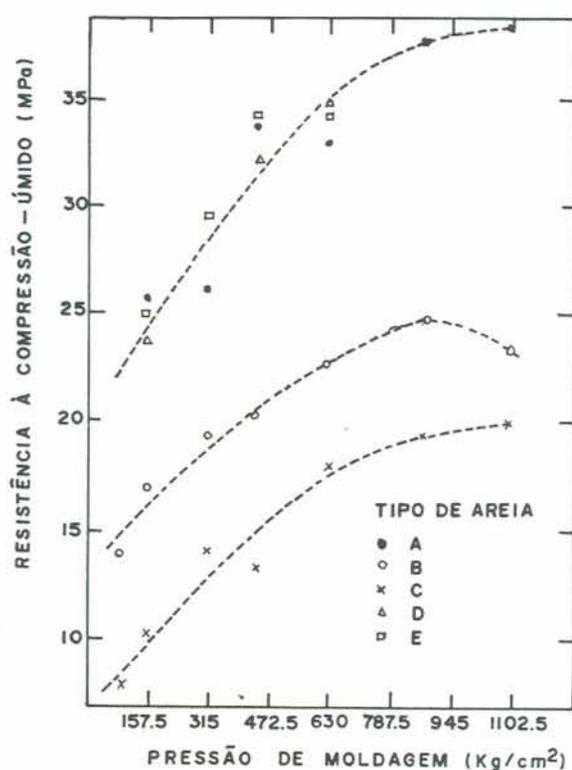


FIGURA 3.5 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tipos de areia.

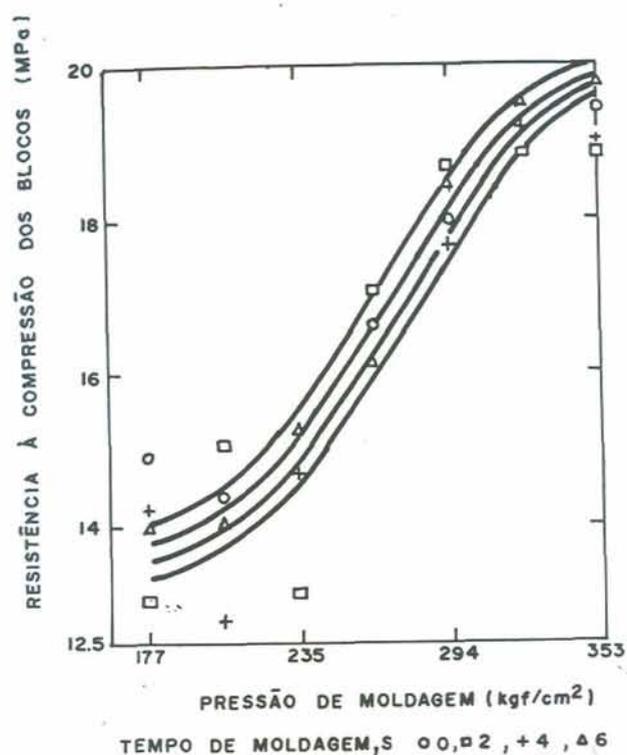


FIGURA 3.6 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tempos de moldagem.

Esta variação, como pode ser avaliada nestas figuras, no entanto, é importante para pressões crescendo até aproximadamente 630 Kg/cm<sup>2</sup>. Na prática, a obtenção de boas resistências por meio de altas pressões de moldagem encarece o produto, pelo elevado custo e manutenção das máquinas, sendo preferível recorrer-se a outros fatores para melhorar as qualidades dos blocos.

A escolha da pressão utilizada na fábrica deve decorrer do cotejo prático entre a carga máxima da prensa e sua economia, em termos de consumo de energia e gastos de manutenção em geral.

Retirados das prensas, os blocos são imediatamente encaminhados para as autoclaves com o uso de vagonetes. Um início de exposição ao ar será nocivo à operação de endurecimento.

Para este encaminhamento, é importante a resistência dos blocos crus, para que não ocorra muitas perdas devido ao manuseio dos elementos ainda não endurecidos. Os blocos, nestas condições, podem ser afetados por um ou mais dos problemas a seguir:

- avarias nas arestas e cantos;
- riscos ou marcas em uma ou mais faces do bloco;
- quebra do bloco;
- completo colapso.

Com a introdução nestas indústrias de equipamentos automáticos de descarregamento dos blocos, a tendência a que ocorram esses acidentes aumentou muito, razão pela qual a resistência dos blocos somente prensados passou a ser estudada mais cuidadosamente. Em trabalho realizado por COLDREY & LEE (1969), estes autores concluíram que esta característica está ligada ao conteúdo da cal, de água, de argila na areia, à granulometria das areias e também, em menor grau, à pressão de moldagem.

### 3.3.2.3 - Autoclavagem dos blocos.

#### 3.3.2.3.1 - Autoclave.

Esta fase processa-se no interior de autoclaves, que são cilindros de aço ou concreto armado, resistentes a pressão, normalmente com 2 a 2,5 metros de diâmetro e 10 a 30 metros de comprimento, com porta em uma ou duas extremidades. A quantidade delas e seus comprimentos devem estar de acordo com a capacidade de produção das prensas.

Os sérios riscos envolvidos com as altas pressões das autoclaves, exige todas as precauções de segurança no projeto, na operação das portas e com a autoclave em geral.

Estes cilindros são ligados a geradores de vapor, os quais lançam, no seu interior, vapor a uma temperatura e pressão pré-estabelecidas. Um pré-aquecimento pode ser processado, pela utilização dos vapores resultantes das autoclaves que estavam em funcionamento.

### 3.3.2.3.2 - Processo de endurecimento.

O ciclo de autoclavagem é normalmente dividido nesses períodos:

- pré-aquecimento;
- aquecimento ( elevação da temperatura, geração de pressão);
- período de máxima temperatura e pressão;
- período de alívio.

As condições de endurecimento ao vapor usadas na prática industrial estão determinadas, em princípio, por considerações econômicas, compreendendo a quantidade de combustível, o custo das instalações necessárias e seu rendimento, e ainda a mão-de-obra necessária.

Os limites das condições usadas industrialmente, variam desde 20 horas, sob máxima pressão, com as pressões mais baixas de 8 atm (170 C), até 2 horas com as pressões mais elevadas de 25 atm (223 C), sendo adicionados a este tempo, os tempos de aquecimento, alívio, carga e descarga (BESSEY, 1964).

O balanço dos fatores econômicos, a conveniência no regime de ciclos da autoclave e o efeito sobre as propriedades dos blocos, têm levado à adoção, pela maioria das fábricas existentes, de pressões de trabalho de 12 a 15 atm, com um período à máxima pressão de 4 a 8 horas. Em adição a este tempo, 30 a 60 minutos são necessários para elevar a pressão do vapor dentro da autoclave, e, para a retirada do vapor no fim do processo, carga e descarga dos blocos, mais 1 hora e 30 minutos a 2 horas são necessárias (BESSEY, 1974).

A pressão e a temperatura do vapor a serem empregadas estão relacionadas diretamente, havendo para cada temperatura de saturação do vapor, uma pressão correspondente, de acordo com o Quadro 5, a seguir (SILVA, 1980).

QUADRO 5 - Relação pressão e temperatura da vaporização da água.

Pressão relativa	Temperatura Vaporização	Pressão relativa	Temperatura Vaporização	Pressão relativa	Temperatura Vaporização
: 2	: 0	: 2	: 0	: 2	: 0
: Kg/cm	: C	: Kg/cm	: C	: Kg/cm	: C
: 0	: 99,1	: 8	: 174,5	: 16	: 203,4
: 1	: 119,6	: 9	: 179,0	: 17	: 206,1
: 2	: 132,9	: 10	: 183,2	: 18	: 208,8
: 3	: 142,9	: 11	: 187,1	: 19	: 211,4
: 4	: 151,1	: 12	: 190,7	: 20	: 213,9
: 5	: 158,1	: 13	: 194,1	: 21	: 216,2
: 6	: 164,2	: 14	: 197,4	: 22	: 218,5
: 7	: 169,2	: 15	: 200,4	: 23	: 220,8

Quando a autoclave é fechada, a velocidade de acréscimo na pressão e logo na temperatura do vapor é muito rápida para que as unidades em seu interior se aqueçam uniformemente. Consequentemente, o material no interior dos elementos fica com a

temperatura inferior a do vapor. Por isso longos períodos de autoclavagem são necessários para completar a reação entre a areia e a cal. Esta diferença de temperatura depende da dimensão das unidades autoclavadas e do número de faces expostas ao vapor (SMALLWOOD, 1967).

Em relação com a temperatura e a pressão, a resistência dos blocos não contém uma razão direta de variação, não ocorrendo depois de certos limites um acréscimo de resistência com o acréscimo da pressão de cura dos blocos. Isto foi observado por TAYLOR (1967) em seus estudos, dos quais resultou a Figura 3.7.

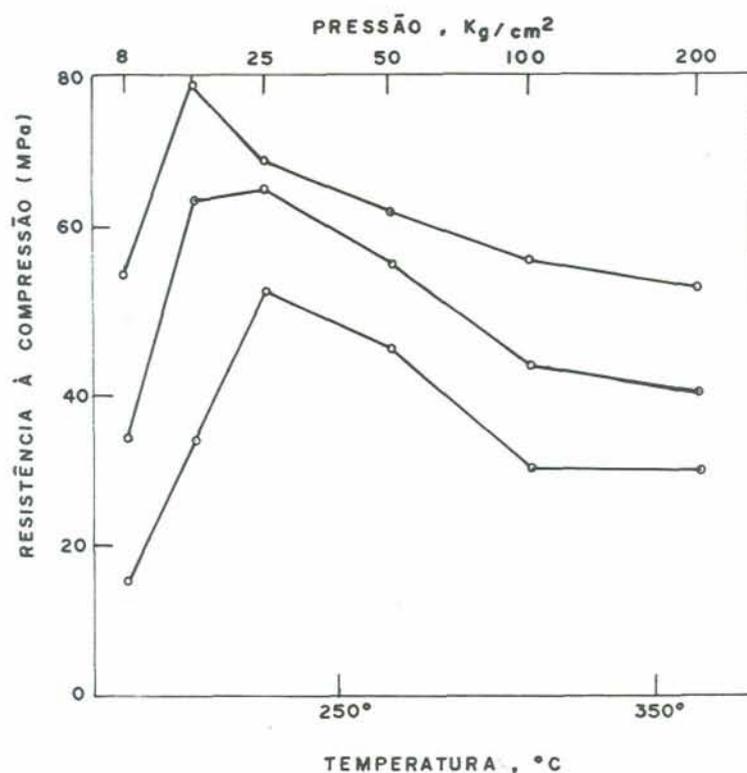


FIGURA 3.7 - Relação entre a resistência à compressão e a pressão-temperatura de autoclavagem.

Também foi observado que não somente a máxima temperatura e pressão durante a autoclavagem devem ser consideradas como importante, mas também a velocidade com que elas são elevadas e

aliviadas, para que não sejam causadas tensões no material.

Um mesmo grau de endurecimento pode ser encontrado para condições de pressão e temperatura diferentes, variando-se o tempo de autoclavagem adequadamente.

O aumento nesse tempo acarreta um aumento na resistência dos blocos, no entanto, como pode ser visto na Figura 3.8, em um estudo feito por BESSEY (1964), para dois tipos de areia, observa-se que, após um certo período, o ganho de resistência não é suficientemente grande para justificar os gastos de um maior tempo sob as condições da autoclave, ocorrendo, inclusive, um

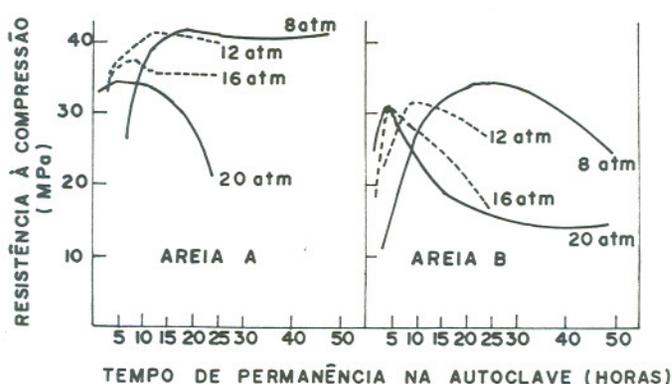


FIGURA 3.8 - Relação entre a resistência à compressão e o tempo de autoclavagem, para diferentes areias e pressões na autoclave.

decréscimo para tempos de permanência exagerada.

Neste mesmo gráfico pode ser notado também o fato de que, para pressões mais altas de cura, ainda que o aumento de resistência se suceda mais rapidamente, a máxima resistência obtida é menor do que para pressões de cura menores.

### 3.3.2.3.3 - Reação processada durante o tratamento.

Neste produto, a cal é usada como agente cimentante catiônico. O ânion necessário para a formação dos hidrosilicatos é obtido do agregado somente durante o processo hidrotermal de endurecimento. Isto ocorre em contraste com o endurecimento do cimento, no qual o cátion e o ânion são introduzidos dentro do agente cimentante (QUINCKE, 1967).

A ligação aglutinante, nos produtos sílico-calcários, dos grãos do agregado, se forma a partir do momento em que a mistura de sílica e hidróxido de cálcio é submetida a um ambiente de vapor saturado a altas pressões e temperaturas. Quando isto acontece, estas duas substâncias reagem para formar Silicato Cálcico Hidratado (S-C-H ou C-S-H da literatura inglesa).

Na mistura, a relação molar  $\text{CaO/SiO}_2$  (C/S) é usualmente próxima a 0,1, mas muitos dos quartzos não reagem e a relação efetiva é, portanto, muitas vezes maior. Na literatura há diversos autores que enumeram os estágios da reação entre estas substâncias, relacionando-os a esta relação molar (BESSEY, 1964; PURTON, 1974; TAYLOR, 1967).

Segundo estes autores, a tendência geral da reação S-C-H é:

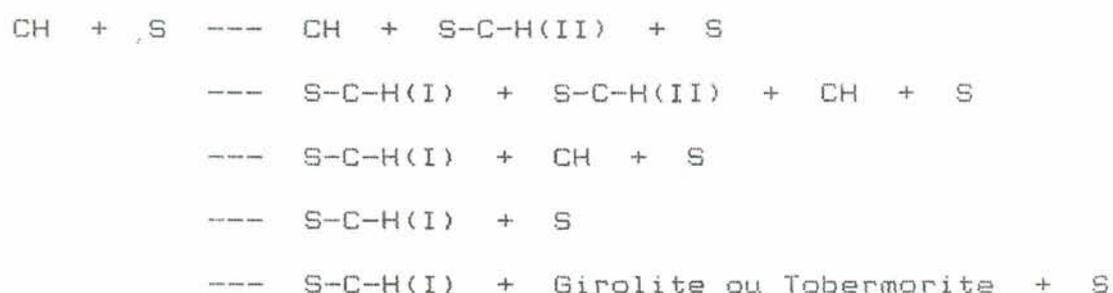
- em um primeiro estágio, forma-se uma fase rica em cal, com uma relação S/C de aproximadamente 1,75, podendo ter várias formas (+ comum S-C-H (II));

- no segundo estágio, reage com mais sílica, dando o composto denominado S-C-H (I), reduzindo a relação molar para até 0,8. Este composto não tem uma composição particular, sendo uma fase semi-cristalina;

- na terceira fase, mais sílica reage com este último, formando, de acordo com o valor da pressão na autoclave, diferentes compostos cristalinos de composição constante. Se a pressão é de 12 a 20 atm, é comum formar-se Gyrolite (S = 3, C = 2, H = 2), e à pressão de + 8 atm, é formada Tobermorite (S = 6, C = 5, H = 5), sendo estes nomes adotados devido a muitos dos silicatos cálcicos hidratados formados ocorrerem como minerais naturais, sendo usual empregar-se os nomes destes minerais para os compostos obtidos.

A sílica para a reação e a pressão e/ou o tempo na autoclave devem ser suficiente, senão os compostos não chegam na totalidade, à condição mais cristalina, resultando dentro da massa compostos menos resistentes, que diminuem a qualidade dos produtos.

A reação completa com suas fases pode, então, ser apresentada desta maneira:



Após esta reação, a resistência do produto resultante continua a se elevar embora lentamente, pois uma parte da cal que não entrou em reação química com a sílica reage com o gás carbônico do ar, dando carbonato de cálcio sólido de acordo com a reação:



#### 3.3.2.4 - Tratamento final, transporte e estocagem.

Os tijolos e blocos após a remoção da autoclave são retirados dos vagonetes e podem ser carregados diretamente sobre os caminhões transportadores, ou estocados até serem utilizados. Eles estão prontos para uso imediato não requerendo maturação adicional.

Tratamento superficial especial, tal como jatos de areia tem sido dados para produzir acabamento com textura áspera. Fendilhamentos nos blocos é também usado pela mesma razão e dá uma aparência atrativa. Os elementos coloridos são algumas vezes tratados com banhos de ácidos após endurecidos para intensificar as cores (BESSEY, 1974).

Para diminuir as variações dimensionais devido a umidade, os produtos devem estar razoavelmente secos quando assentados. Quando os produtores tomam medidas no armazenamento para garantir a entrega em tais condições, esta vantagem não pode ser perdida, permitindo-se umedecimento na obra. Eles devem, portanto, sempre que possível, serem estocados sob coberturas ou protegidos da chuva cobrindo com plásticos ou outro material impermeável.

Na produção de blocos em diversas cores, maiores cuidados devem ser tomados no empilhamento, pois embora haja espaço e cobertura para empilhamento, os riscos envolvendo a produção da quantidade total de uma série de determinada cor de uma vez, e ter que estocar até a entrega ser autorizada ao cliente, são grandes e

devem, quando possível, ser evitados, pois ocasiona a sujeira e efeito dos organismos (fungos, líquens, algas, etc) nos blocos ou ainda o perigo de quebras com manuseios ocasionando desvalorização do produto com perda de lucros. Com um bom controle de qualidade, partes da entrega total, isto é, pequenas quantidades de blocos, os quais podem ser prontamente manuseados, podem ser produzidos e entregues quando solicitados no local da construção, sem que haja necessidade de horas de estocagem (MAURER, 1967).

Empacotamentos dos blocos com cintos de aço ou por envoltório fechado sobre suportes são praticados por algumas fábricas como com outros tipos de blocos, para maior comodidade dos usuários, e equipamentos são disponíveis para isso (BESSEY, 1974).

### 3.3.3 - Necessidades gerais para a produção.

As necessidades gerais para a montagem de um indústria de blocos sílico-calcários são apresentadas no Quadro 6, segundo GUNZELMANN (1967).

No entanto, quando um local para a produção é planejado, seu tamanho e tipo devem ser adaptados tanto às condições locais como às necessidades do processo.

A tecnologia decorrente varia de país para país. Algumas razões desta variação são as influências das condições climáticas, a tradição construtiva e os costumes. Em adição, no entanto, há também fortes tendências gerais, que são:

- a finalidade de aperfeiçoar as propriedades técnicas do

produto;

- a necessidade de adaptar o produto aos seus usos, às exigências da racionalização e aos métodos construtivos dominantes.

QUADRO 6 - Necessidades gerais para a produção de produtos S.C.

Processo	Grupo especializado de máquinas	Espécie de máquinas
Processamento dos agregados		Peneiras, britador, moinhos; equipamento de lavagem
Proporcionamento	Tecnologia de processamento de materiais	Balanças, alimentadores, medidores de água
Mistura		Misturadores mecânicos contínuos, misturadores mecânicos por betonada, tambores misturadores
Hidratação		Grupo de silos, reatores (silos contínuos), tambor rotativo de hidratação
Moldagem	Tecnologia de moldagem	Prensas, máquinas de socagem, máquinas vibratórias, moldes para blocos
Endurecimento	Caldeiras, construção da instalação	Geradores de vapor, auto-claves
Transporte	Tecnologia de manuseio e transporte	Veículos sobre trilhos, transportadores contínuos, guindaste

Em uma produção em economia livre, há a tendência para a racionalização e automatização para manter a competitividade, no entanto, os níveis destas devem ser estudados e adaptados para cada lugar em particular, não devendo ser adotado nenhum padrão como correto (GUNZELMANN, 1967).

### 3.3.4 - Esquemas de produção.

Existem diversos esquemas de montagem de fábricas, os quais são utilizados nos muitos países produtores, e que são possíveis devido a diversificação na execução das etapas de processo e pela variedade nos equipamentos, e necessários em vista às variações da matéria-prima e das necessidades do produto final.

Aqui serão apresentadas cinco (5) plantas típicas, com seus fluxos de material, as quais foram apresentadas por STEPHENS (1969).

#### 3.3.4.1 - Esquema 1 - Sistema do tambor de extinção (Figura 3.9).

A areia é estocada em depósitos adequados e posicionados de maneira apropriada a receber as cargas de origem. É misturada volumetricamente entre as diferentes granulometrias, caso haja necessidade disto para melhora de sua graduação, através de aberturas ajustadas automaticamente e então colocada sobre correia transportadora inclinada, a qual transporta a areia até o recipiente de pesagem. Este recipiente é ajustado para encher automaticamente, até o peso estabelecido, quando então a alimentação é interrompida.

A cal é normalmente estocada em silos fechados, enchidos por tubos pneumáticos alimentadores, também posicionados de acordo a receber as cargas de material. É possível, com este sistema, elevar o silo. Podemos usar uma estocagem em tanques no solo, providenciando um elevador pneumático ou mecânico para elevar a cal até o equipamento de pesagem. Este equipamento

recebe a cal através de hélices transportadoras ou elevadores, ambos controlados para interromper o fornecimento quando o peso está correto.

Ambos os locais de pesagem são posicionados e ajustados para descarregarem diretamente dentro do tambor rotativo. Pigmentos podem ser também adicionados no tambor neste estágio.

Quando carregado, este tambor roda continuamente e é pressurizado com vapor, o qual acelera consideravelmente a hidratação da cal. A água pode também ser adicionada se necessário.

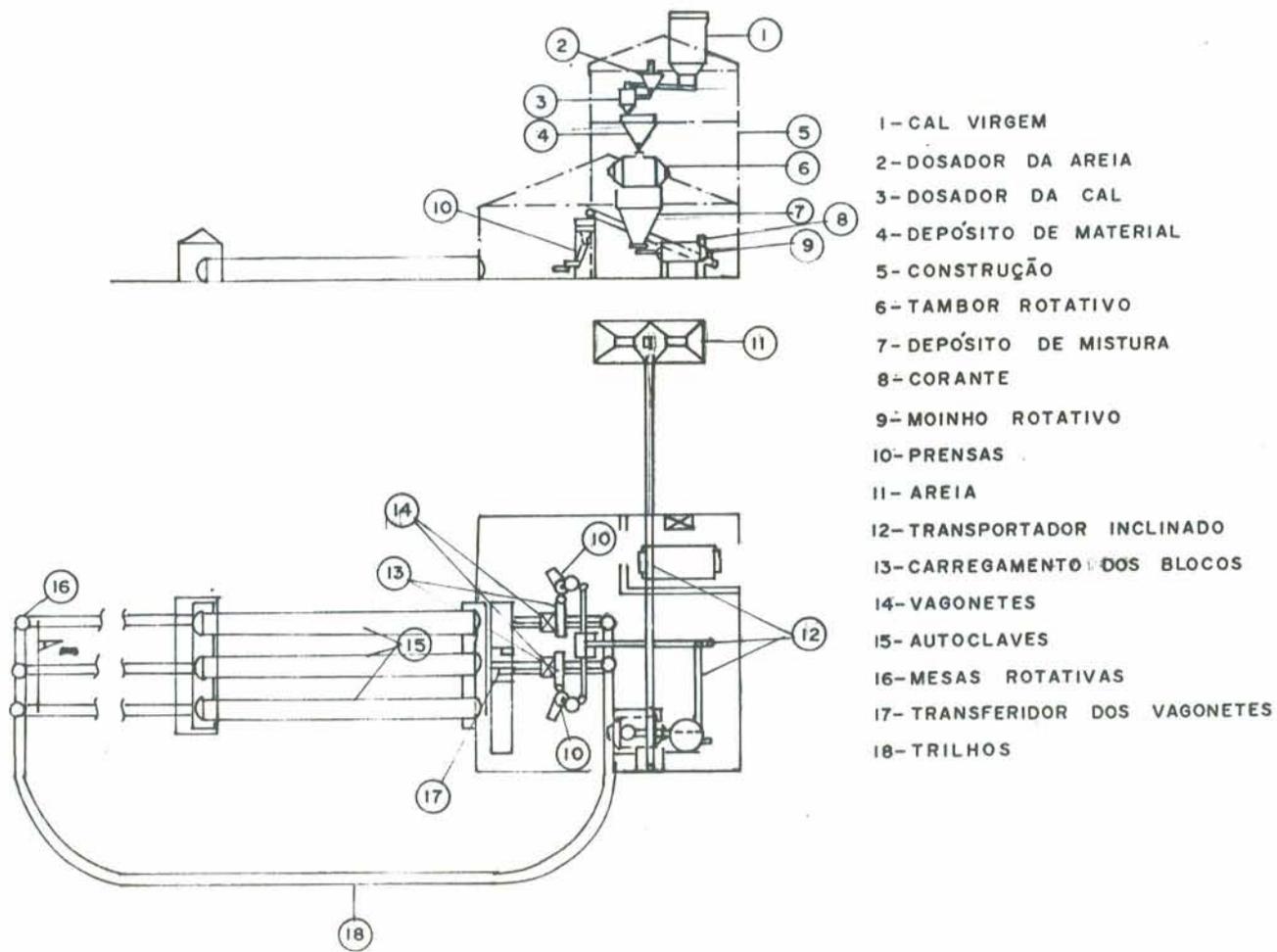
Após o intervalo de tempo apropriado, o conteúdo, já hidratado, é descarregado no recipiente de remistura, o qual tem adequada capacidade para manter uma alimentação constante para as prensas. A mistura é feita por misturadores contínuos, sendo também adicionada a umidade neste estágio, preparando o material para a prensagem.

Esta mistura é enviada para as prensas através de um depósito intermediário, o qual permite uma alimentação controlada volumetricamente para cada recipiente alimentador das prensas. O nível de material nesse recipiente pode ser mantido automaticamente.

Os blocos são fabricados em prensas de mesa rotativa, automaticamente descarregados e empilhados em vagonetes. A forma de empilhar os blocos é arranjada para fazer o melhor uso de volume das autoclaves. Um mecanismo automático leva as vagonetes até o interior das autoclaves através de trilhos.

As autoclaves normalmente têm aberturas nas duas extremidades, o que permite descarregar os blocos diretamente no

FIGURA 3.9 - Esquema de produção - Sistema do tambor de extinção.



pátio de estocagem. Após a descarga, que é feita por guindaste de pórtico, as vagonetes retornam às prensas.

#### 3.3.4.2 - Esquema 2 - Sistema do silo (Figura 3.10).

Esta planta incorpora uma similar estocagem de areia, anteriormente descrita, e um silo no solo para cal virgem.

As frações da areia são volumetricamente misturadas, sendo a areia a ser utilizada volumetricamente medida e, transportada por correias, lançada ao pré-misturador, juntamente com a cal, também transportada por correia transportadora vinda do silo e também volumetricamente medida.

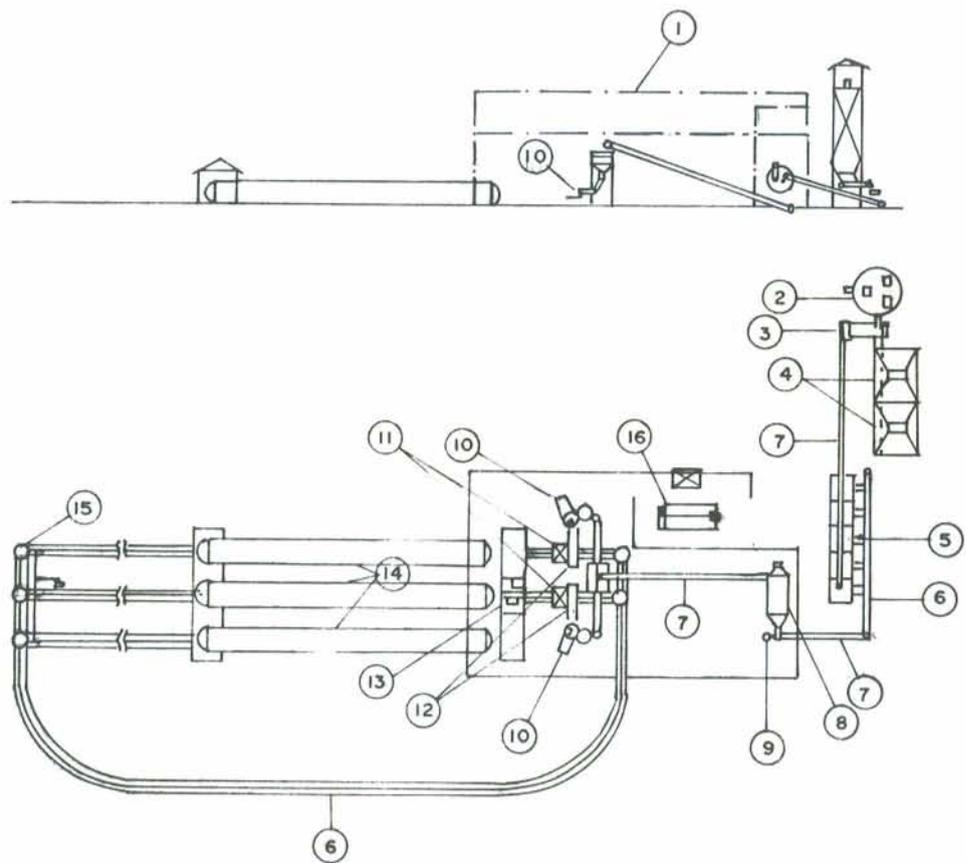
Esse sistema utiliza um misturador de pás contínuo, utilizado como um pré-misturador.

Um melhoramento pode ser obtido substituindo essa estação de mistura contínua por uma estação misturadora por betonada, com recipientes de pesagem para a cal e areia, o que ocasiona uma economia no consumo da cal.

Se é desejada coloração, é adicionada neste ponto do processo, sendo também melhor controlada se o misturador por betonada é usado.

Esta mistura é transportada para os silos e estocada por tempo suficiente para a completa hidratação. E, então, transportada por correias transportadoras para o misturador de pás, que dá a umidade desejada, e após para as prensas, ocorrendo o restante do processo como descrito no processo anterior.

FIGURA 3.10 - Esquema de produção - Sistema do silo.



- 1 - CONSTRUÇÃO
- 2 - CAL VIRGEM
- 3 - AREIA
- 4 - AREIA
- 5 - SILOS
- 6 - TRANSPORTADOR HORIZONTAL
- 7 - TRANSPORTADOR INCLINADO
- 8 - MOINHO ROTATIVO
- 9 - CORANTE
- 10 - PRENSAS
- 11 - VAGONETES
- 12 - CARREGAMENTO DOS BLOCOS
- 13 - TRANSFERIDOR DOS VAGONETES
- 14 - AUTOCLAVES
- 15 - MESA ROTATIVA
- 16 - CALDEIRA
- 17 - TRILHOS

#### 3.3.4.3 - Esquema 3 - Sistema do reator.

Esta planta é essencialmente a mesma que a do sistema do silo, mas incorporando reatores no lugar de simples silos de estocagem. No reator, a mistura é constantemente alimentada na parte superior e a mistura hidratada descarregada no fundo. Deve-se ter cuidado para que não passe alguma quantidade de massa sem hidratar pelo reator.

Esta técnica permite uma redução nas dimensões dos recipientes de rehidratação.

#### 3.3.4.4 - Esquema 4 - Sistema de mistura contínua (com cal hidratada e areia) (Figura 3.11).

Este é o mais simples formato de planta para a produção de blocos S.C.. Devido à necessidade de controlar a quantidade da cal hidratada, cara, as fábricas modernas usam o tipo de mistura por betonada.

#### 3.3.4.5 - Esquema 5 - Sistema de mistura por betonada (com cal hidratada e areia) (Figura 3.12).

A areia é estocada em depósitos adequados e transportada por correias transportadoras para os recipientes de pesagem, os quais são adaptados para encherem automaticamente até um peso estabelecido e descarregar em uma correia, à qual leva a areia para o misturador por betonada.

A cal hidratada é estocada em silos elevados, fechados,

- 1- CONSTRUÇÃO
- 2- AREIA
- 3- TRANSPORTADOR INCLINADO
- 4- MISTURADOR
- 5- MESA ROTATIVA
- 6- DEPÓSITO DE MISTURA
- 7- DOSADOR DE AREIA
- 8- CAL HIDRATADA
- 9- ELEVADOR PNEUMÁTICO
- 10- Prensas
- 11- COMPRESSOR DE AR
- 12- VAGONETES
- 13- AUTOCLAVES
- 14- TRANSFERIDOR DE VAGONETES
- 15- CALDEIRA
- 16- TRILHOS

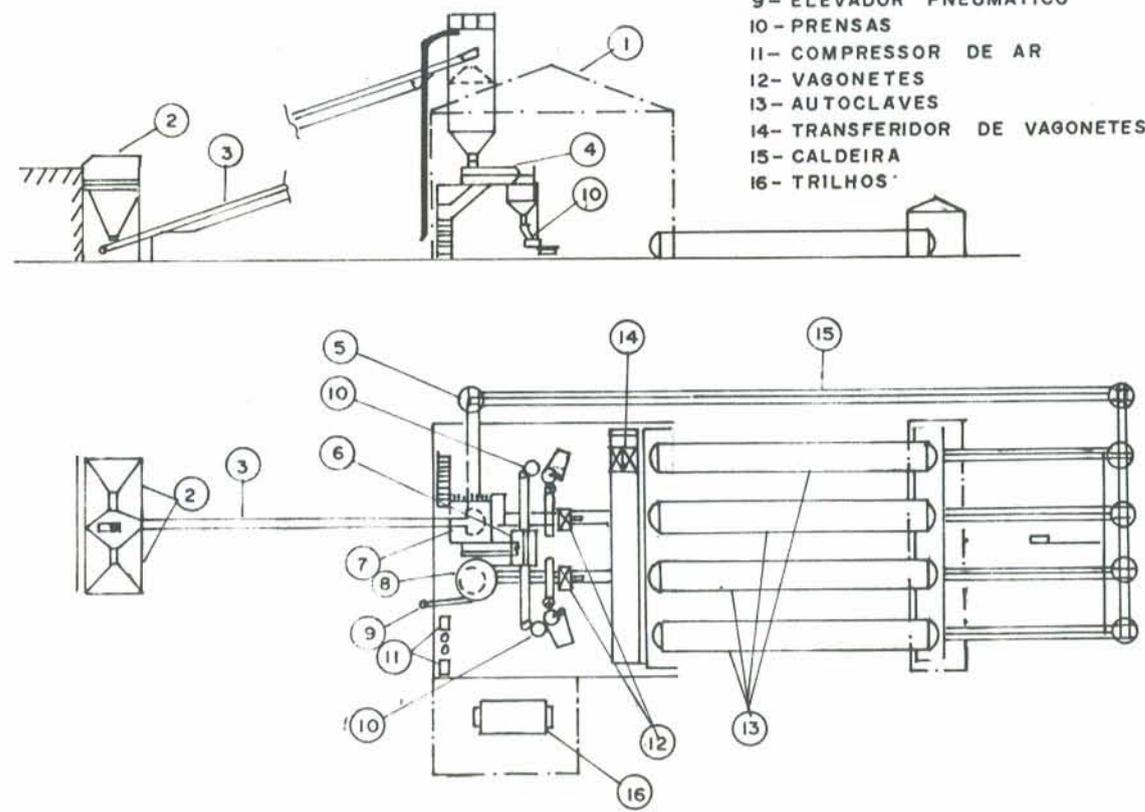
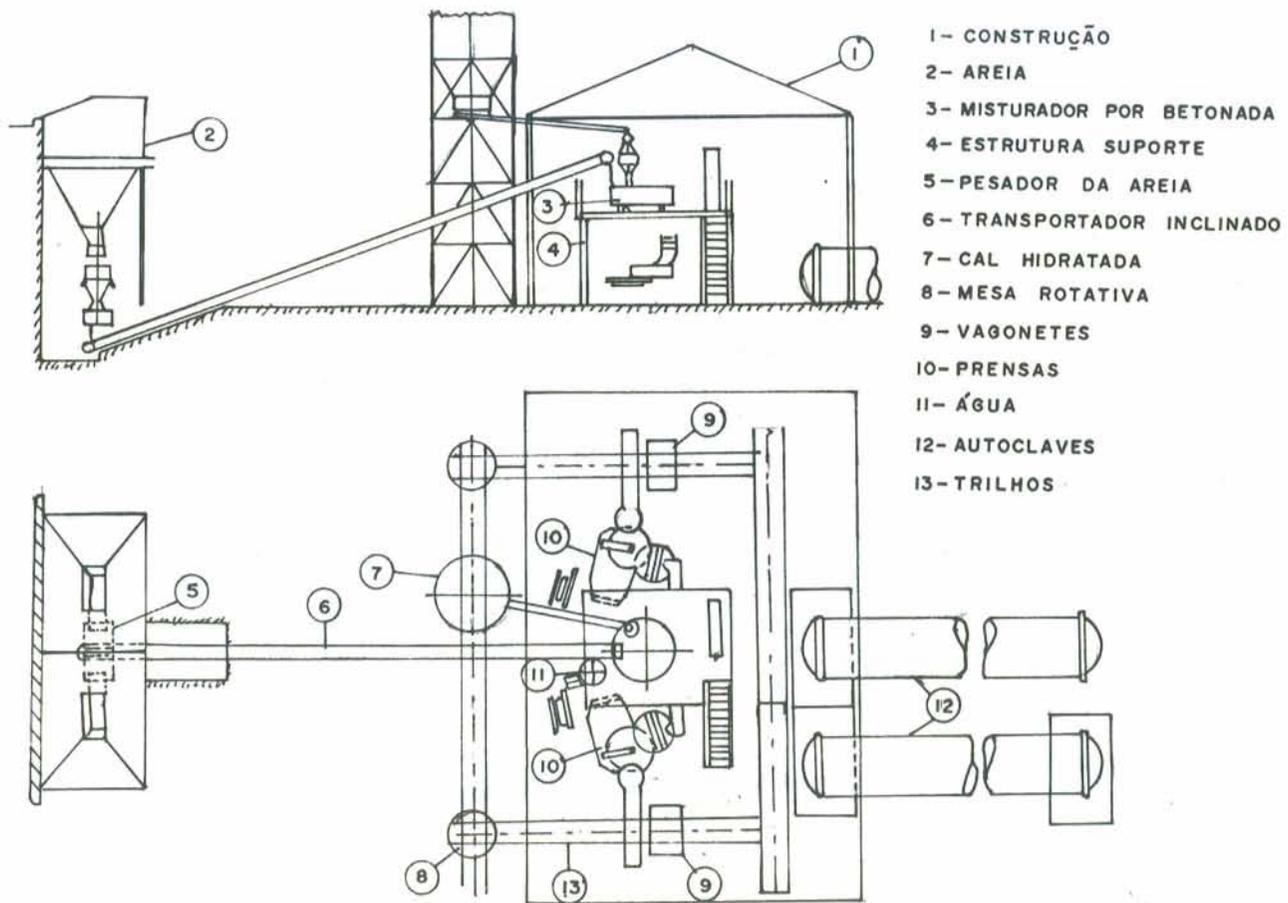


FIGURA 3.11 - Esquema de produção - Sistema de mistura contínua (com cal hidratada e areia).

FIGURA 3.12 - Esquema de produção - Sistema de mistura por betonada (com cal hidratada e areia).



enchidos por transportadores pneumáticos. Do silo, a cal é lançada para o recipiente de pesagem, o qual descarrega diretamente dentro do misturador.

A operação do misturador pode ser ajustada para operar automaticamente. Água e pigmentos são também adicionados no misturador, se necessário.

A mistura preparada é descarregada dentro de um depósito de estocagem de capacidade suficiente para fornecer alimentação contínua para as prensas. Isto é mantido a uma velocidade constante através de aberturas ajustáveis de descarga, que lançam a massa sobre as correias transportadoras.

### 3.3.5 - Características técnicas.

O processo de fabricação utilizado e as matérias-primas empregadas vão determinar as características dos blocos silico-calcários resultantes. Essas características são apresentadas neste capítulo, assim como seus valores normais e os valores comparativos de outros tipos de blocos.

Especificações normalizadas, definindo classes de blocos e exigências mínimas, são publicadas em muitos países, incluindo:

- Alemanha Ocidental: DIN 106 - 1980;
- Alemanha Oriental: TGL 9809;
- Reino Unido: BS 187 - 1978;
- Estados Unidos: ASTM C 73 - 1975;
- Holanda: N 522 - 1938;
- U.R.S.S.: GOST 379 - 1953;
- França: NF P 14-302;

- África do Sul: SABS 285 - 1951;
- Austrália: SAA A91 - 1967.

No Brasil, a firma produtora (PRENSIL S.A.), devido a importação de maquinárias da Alemanha Ocidental, utiliza às normas daquele país.

Todas as normas incluem exigências em relação ao formato, dimensões e resistência, e algumas possuem também incluídas exigências em respeito a uma ou mais das seguintes propriedades:

- variação dimensional por secagem;
- densidade;
- absorção;
- condutibilidade térmica;
- resistência ao congelamento.

Os valores das diversas características físicas dos blocos S.C. e sua comparação com os blocos de argila e concreto estão no Quadro 7 adiante, conforme BESSEY (1974).

#### 3.3.5.1 - Formato e dimensão.

Formato e dimensão precisos são características desses blocos. Sendo formados sob pressão em moldes de formatos exatos, e endurecidos por um processo no qual não há variações significativas nas dimensões, não há dificuldades em se encontrar esta precisão.

Arestas e cantos são normalmente vivos (aguçados) e perfeitos e a textura lisa, particularmente se a areia usada tem um conteúdo pequeno de material grosso.

As dimensões dos blocos S.C. a serem fabricados dependem

das normas e exigências locais. São geralmente fabricados nas mesmas dimensões e formas dos blocos de argila e de concreto, mas pode-se lhes dar uma confecção qualquer, devido a sua fácil moldagem.

Nos processos mais modernos de confecção, com grandes moldes, em que são moldados diversos elementos ao mesmo tempo, é possível tanto moldar-se uma grande quantidade de blocos de tamanho normal, como uma pequena quantidade de unidades maiores. É prática comum nas fábricas, fabricar mais do que um tamanho na mesma prensa, sendo a troca de um pelo outro um processo simples, em que apenas os moldes a serem enchidos e prensados são trocados.

Para uma economia de material e para a diminuição de peso das unidades, é comum o uso de perfurações na confecção destas unidades, sendo estas perfurações geralmente normalizadas em suas quantidades e posicionamento e alterando a nomenclatura dos blocos (cheios, furados e ocos), conforme normas. Também cavidades para fins de manuseio são encontradas em elementos de maiores dimensões.

As perfurações, em geral, são causadoras de grandes desgastes nos moldes, acarretando a diminuição da vida útil destes, encarecendo a produção. Devido a este fator, a produção de grandes blocos, com cavidades, devido ao peso, geralmente não é empreendida em muitos locais, pois o desgaste dos moldes nestes elementos é ainda mais elevado (maior superfície de contato, maiores dimensões, maiores pressões), necessitando uma renovação muito acentuada.

### 3.3.5.2 - Cor e aparência.

Devido à ação da cal, a cor natural dos elementos S.C. de areia-cal é esbranquiçada, com uma pequena coloração amarela, cinza ou rosa, dependendo da cor da areia usada. Estes elementos tem alta reflexão, a qual é vantajosa para o uso em faces internas, como também para minimizar o calor solar externamente.

Como foi citado em capítulo anterior, pode-se obter uma grande variedade de colorações dos blocos pela incorporação à massa de pigmentos, o que faz com que todo o corpo do elemento tenha a mesma coloração, não só sua superfície, o que é desejável em caso de quebras. Embora este fator encareça o processo, são muito usados estes tipos de blocos para fachadas. Deve-se ter cuidado na produção com a uniformidade, que depende, além do tipo de corante e sua quantidade, também das outras matérias-primas empregadas e do processo empregado, que devem ser uniformizados para que o produto final seja uniforme em cor, textura e formato.

O problema da eflorescência, causadas por sais solúveis, causador de má aparência em blocos de argila principalmente, praticamente inexistente nos produtos S.C., pois estes praticamente não possuem sais solúveis.

### 3.3.5.3 - Resistência à compressão.

Esta característica é a mais significativa destes produtos, pois ela afeta não somente os valores estruturais do material, mas também sua durabilidade e comportamento no manuseio.

Geralmente é tomada como medida de qualidade e é a base

para classificação dos produtos nas normas técnicas dos diversos países.

O material aglutinante, silicato cálcico, desses elementos é inerentemente de alta resistência, podendo ser tão efetivo como o derivado da hidratação do cimento Portland ou como o enlace cerâmico a alta temperatura.

Altíssimas resistências (200 MPa) têm sido obtidas em trabalhos experimentais com este material. Os primitivos blocos comerciais deste tipo eram frequentemente de menor resistência e qualidades variáveis (incertas), mas com os conhecimentos maiores do processo e dos fatores que afetam a resistência, progressivamente altas qualidades e resistências têm sido obtidas e mais altas classes de blocos acrescentadas às normas (BESSEY, 1974).

Embora às altas resistências obtidas, não há interesse em fazer-se um material muito mais resistente do que o uso justifica, e isso tem sido possível também com as melhoras dos conhecimentos, causando grande economia na manufatura, por exemplo, pela redução do conteúdo de cal ou pela diminuição da pressão de moldagem dos blocos, para propósitos que requerem somente uma resistência moderada. As influências desses fatores estão elucidadas nos capítulos anteriores.

As Normas Britânicas (BS 187 - 1978) estabelecem classes de blocos com resistência à compressão média de 14; 20,5; 27,5; 34,5; 41,5 e 48,5 MPa e seus usos estão condicionados a um outro código de prática (Code of Practice), o qual indica o uso apropriado para cada classe. As Normas Alemãs (DIN 106 - 1980) estabelecem um menor número de classes, tendo 7,5; 15,0; 25,0 e

35,0 MPa. Muitos fabricantes nestes países estão aptos a produzirem todas estas classes de blocos.

A habilidade para fabricação de blocos de uma determinada resistência, depende da conveniência da matéria-prima disponível, do maquinário usado e da operação do processo (mistura dos materiais, prensagem dos elementos e da pressão-temperatura e tempo de autoclavagem). As aspirações neste respeito dependerão das necessidades locais e das condições sob as quais os elementos fabricados são usados, e pode às vezes ser mais apropriado fabricar estes elementos com uma resistência apenas moderada e baixo custo, do que fazer com altas resistências e significativos altos custos (BESSEY, 1964).

A facilidade de produção com uma grande uniformidade da resistência é outro ponto económico importante, pois tendo-se uma resistência média moderada com pequena variação é como ter-se uma alta resistência com grande variação, pois a resistência mínima estatisticamente calculada é a mesma (PYLE, 1967).

#### 3.3.5.4 - Elasticidade.

Os produtos S.C. possuem um módulo de elasticidade muito menor do que os produtos de concreto de mesma resistência (ver Quadro 7), isto é, suas deformações elásticas podem ser maiores, enquanto que têm valores desse módulo maiores que os tijolos de argila de mesma resistência, embora com valores próximos (PYLE, 1967).

Esta diferença não é importante dentro da construção com esses elementos, exceto para o caso de paredes compostas com

tipos diferentes de blocos.

#### 3.3.5.5 - Durabilidade.

Esta propriedade está intimamente ligada à resistência dos produtos. Blocos desse tipo e de boa qualidade têm alta durabilidade, variando esta de acordo como eles serão usados e das condições a que vão ser expostos.

Eles são resistentes à abrasão, à maior partes das águas agressivas e a muitos sais sulfatados, mas são atacados por altas concentrações de sulfato de magnésio ou sulfato de amônia (o qual pode ser derivado de lixo industrial), como são os produtos de cimento Portland (BESSEY, 1974).

Ocasionalmente, a cristalização dos sais dentro dos produtos pode causar alguma fratura ou desintegração da superfície. Esses sais podem ser derivados dos elementos, da argamassa, ou do solo em contato com a parede.

Segundo PYLE (1967), a névoa marinha, devido a acumulação de sais, com uma posterior cristalização na superfície, pode causar a desagregação desta.

Os únicos gases normais na atmosfera, os quais afetam estes produtos, são o dióxido de enxofre e o dióxido de carbono. Exposição prolongada ao ar úmido contendo dióxido de enxofre, decompõe o silicato cálcico hidratado e forma uma casca de sulfato de cálcio e sílica hidratada. A carbonatação atmosférica, a qual ocorre em camadas que se tornam espessas vagarosamente com a idade, aumenta a resistência levemente, mas causa pequena variação dimensional (retração) (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT,

1977).

BESSEY & HARRISON (1970) realizaram trabalho de grande duração referente à durabilidade destes blocos, quando expostos ao ar simplesmente e enterrados, o qual resultou nas Figuras 3.13 (a e b) e 3.14.

Deste trabalho, os autores concluíram que o blocos S.C. de resistência à compressão superior a 20 MPa, apresentam uma resistência às intempéries semelhante aos elementos de argila e concreto. Devido à perda de resistência que sofreram os blocos enterrados, estes autores sugerem que sejam usados blocos de grande resistência à compressão na confecção de fundações.

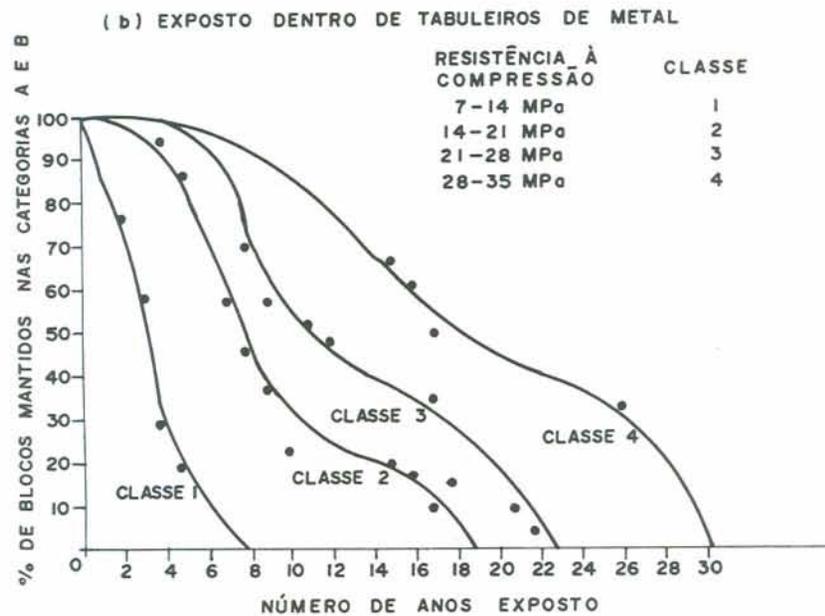
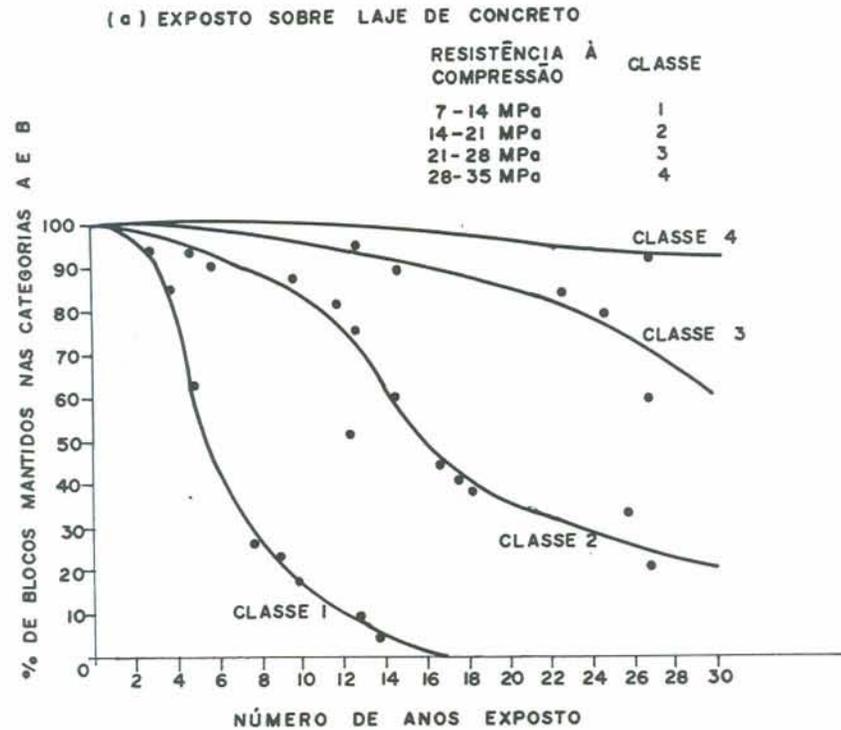
#### 3.3.5.6 - Variação dimensional por secagem.

Todos os materiais de construção que possuam a capacidade de absorver e liberar água ou vapor de água, estão sujeitos a uma variação de volume quando varia o seu conteúdo de umidade, sendo direta esta relação, aumentando e diminuindo o volume com o acréscimo ou decréscimo do conteúdo de umidade.

Estando os elementos S.C., após sua fabricação, com um teor de umidade superior à umidade de equilíbrio com o meio externo, ocorre uma perda de água para o meio, o que acarreta o que se chama retração por secagem ("drying shrinkage", do inglês) (SABBATINI, 1984).

Existem duas diferentes retrações: a retração inicial após a fabricação ou retração por secagem irreversível e a retração que ocorre após esta, a retração por secagem reversível.

A retração irreversível vai até o ponto de umidade em que



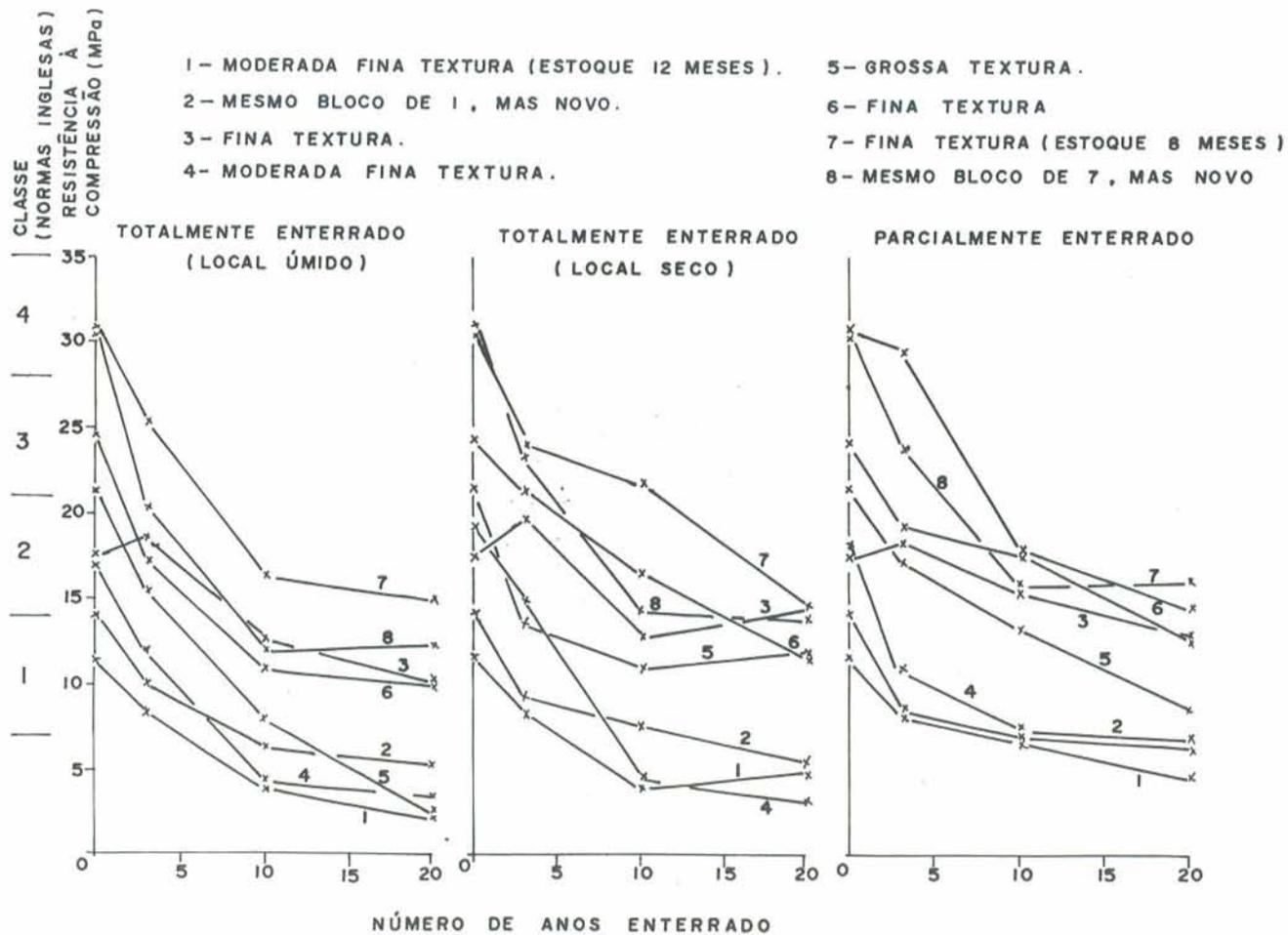
CATEGORIAS:

A - BOAS CONDIÇÕES

B - PEQUENA EROSÃO QUE AFETA A APARÊNCIA DA CONSTRUÇÃO

FIGURA 3.13 - Durabilidade de blocos silico-calcários expostos ao ar.

FIGURA 3.14 - Durabilidade de blocos silico-calçários enterrados.



se reumidecermos o material até a umidade de fabricação, ou mais, não iremos observar qualquer movimento com tendência a retornar à dimensão original.

A reversível, que ocorre continuamente com a secagem ainda mais acentuada do elemento, permite que, reumidecendo-se o material, ele retorne à dimensão que possuía quando iniciou esta retração.

A amplitude destas retrações possui limites extensos, variando com o material, com a umidade relativa do ar ambiente e com o teor de umidade.

Observações da estrutura destes blocos (BESSEY, 1964; NOORLANDER, 1967) concluíram que esta característica está intimamente relacionada ao grau de cristalização do material cimentante, sendo maior quando este material é amorfo e menor quando é cristalino.

Segundo NOORLANDER (1969), a retração é também função da distribuição e dimensão dos poros do elemento, sendo que a maior parte da retração é devido à difusão da água nos poros de menores dimensões. Logo, a retração está relacionada com aqueles fatores que influem nas dimensões destes poros, ou seja, a granulometria da areia e as condições de prensagem. RADJY et alii (1969) concluíram também ser a retração função da superfície específica da areia, aumentando com o aumento desta.

Geralmente os valores da retração (irreversível) para os blocos S.C. está entre 0,1 a 0,4 mm/m, dependendo do uso a que se destinam. Estes valores são menores que os do concreto denso, e maiores que os da argila (ver Quadro 7).

E importante, na fabricação, manter-se esta retração por

secagem a mais baixa possível e posteriormente prevenir-se contra ela, com um projeto e execução adequada, que minimizem os esforços que são produzidos.

### 3.3.5.7 - Massa específica aparente.

A massa específica aparente, nestes elementos, varia somente entre um pequeno intervalo, como visto no Quadro 7, variação esta devido ao agregado usado, sua granulometria, e à compactação (pressão de moldagem) do produto. Esta variação é similar aos elementos de argila de média densidade e um pouco inferior aos de concreto.

A densidade aparente destes produtos diminui nos elementos de maior dimensão, devido às perfurações com que eles são produzidos. Isto faz com que em algumas normas haja a diferenciação entre blocos e tijolos cheios, furados e ocos conforme a incidência destas perfurações. Nestes produtos a densidade aparente baixa até  $1,00 \frac{t}{m^3}$ .

### 3.3.5.8 - Absorção d'água e permeabilidade.

Estas características estão relacionadas à densidade dos elementos.

Possuem importância em relação a penetração da chuva, e nos efeitos de sucção de umidade da argamassa no assentamento, mas não há uma correlação simples com estes efeitos.

Os blocos de argila de baixa absorção alcançam valores inferiores aos S.C. sendo mais usados em locais onde baixa

absorção e impermeabilidade são essenciais (BESSEY, 1974).

#### 3.3.5.9 - Condutibilidade térmica.

Esta característica está também relacionada à densidade aparente dos elementos, dependendo também do grau de umidade dos elementos, tendo pouca influência a natureza química dos constituintes. Um material que possui essencialmente estrutura cristalina tende a manifestar uma condutibilidade pouco mais alta do que outro que seja em parte vítreo, de modo que os blocos têm uma condutibilidade térmica ligeiramente maior que os de argila de igual densidade. No entanto, esta diferença não é suficiente para ter algum significado prático (BESSEY, 1964).

#### 3.3.5.10 - Dilatação térmica.

A dilatação térmica dos blocos e tijolos S.C. é levemente superior que a dos tijolos de argila e de concreto. Raramente são necessárias precauções neste sentido nas construções, pois normalmente esta dilatação é contrabalançada pela retração por secagem. O valor médio obtido na Inglaterra foi de  $14 \cdot 10^{-6}$  por  $^{\circ}\text{C}$  (PYLE, 1967).

#### 3.3.5.11 - Resistência ao fogo.

Segundo BESSEY (1964), a resistência ao fogo destes elementos é boa, sendo comparada favoravelmente com outros materiais nestes respeito.

Na prática estes produtos S.C. procedentes de edificios destruídos pelo fogo, podem estar ainda em boas condições de serem empregados de novo. Embora esteja diminuída um pouco sua resistência, não é suficiente para desintegrá-los.

Alguns destes blocos são usados como refratários.

São aptos para chaminés, revestimentos de fornos, condutos de vapor, e outros locais onde um material de moderada capacidade refratária é requerida.

#### 3.3.5.12 - Identificação.

Nas normalizações existentes são, em geral, estipuladas maneiras de identificação dos blocos e tijolos S.C., geralmente relacionadas à resistência à compressão e à identificação do fabricante.

A resistência à compressão na maioria das normas (alemã, inglesa, americana) é conhecida pelo cliente, em geral, pela marca em cores diferentes nas faces dos produtos a qual é estipulada ser relacionada a cada resistência especificada pela norma local. Esta marca, como a identificação do fabricante, são colocados numa certa proporção de peças também conforme normalizado.

QUADRO 7 - Características físicas dos blocos S.C. em comparação com os elementos de argila e concreto.

Características	Blocos S.C. de areia-cal	Blocos de argila	Blocos de concreto
Ocorrência de eflorescências	Não	Não a severa	Não a pequena
Resistência à compressão (úmidos) (MPa)	10 - 55	10 - 60	7 - 50
Durabilidade sob severas condições	Boa a moderada	Excelente a muito pobre	Boa a pobre
Variação dimensional por secagem (%)	0,01 - 0,04	0,00 - 0,015	0,02 - 0,05
Densidade (t/m <sup>3</sup> )	1,6 - 2,1	1,4 - 2,4	1,7 - 2,2
Absorção d'água	7 - 16	1 - 30	4 - 12
Condutibilidade térmica (W/m C)	1,1 - 1,6	0,7 - 1,3	1,0 - 1,7
Resistência ao fogo	Boa	Muito boa a moderada	Boa a pobre

### 3.3.6 - Produção mundial e fatores locais determinantes do uso (BESSEY, 1967).

A utilização industrial dos elementos sílico-calcários é quase tão recente como o conhecimento de sua natureza e propriedades. Em muitos casos até agora, os avanços industriais têm seguido caminhos empíricos completamente independentes da investigação física e química fundamental. Baseando-se apenas no uso de processos industriais pré-estabelecidos, sem preocupar-se

com as variações devido aos diversos fatores produtivos.

Com os conhecimentos obtidos através dos estudos feitos pelos cientistas, em todo o mundo, sobre as complexas reações do sistema cal-silica-água, sobre os fatores de manufatura que influenciam as propriedades dos produtos e sobre novas idéias para fabricar melhor e maior variedades de produtos, existem muitas possibilidades de uma mais ampla utilização destes elementos.

Segundo BESSEY (1967), após o conhecimento técnico do processo de manufatura e das propriedades e uso destes produtos em uma determinada área, os fatores que afetam uma futura expansão da produção e uso deste material são os seguintes:

- custo relativo quando comparado a outros produtos alternativos, levando em conta o capital e custo de produção, custos de transporte, de execução e de manutenção ao longo do tempo;
- disponibilidade relativa da matéria-prima para este uso e para outros produtos alternativos;
- disponibilidade de mão-de-obra e custo;
- necessidade de combustível e energia relativos à manufatura;
- disponibilidade de capital;
- a tradição construtiva também é significativa, por seus efeitos na escolha dos elementos construtivos.

A produção mundial destes elementos é muito significativa, se desenvolvendo, principalmente, nos países seguintes (BESSEY, 1967):

O primeiro desenvolvimento comercial destes elementos foi

na Alemanha, como já mencionado, através da fábrica de Michaelis, em 1894, com uma produção inicial de apenas dois milhões por ano. O desenvolvimento foi rápido e o crescimento foi contínuo por muitos anos, chegando a 310 fábricas com uma produção de 1.550 milhões vinte anos mais tarde, quando o número de fábricas teve um decréscimo, e houveram, então, flutuações na produção, afetada pelas duas guerras mundiais, mas com ampla disponibilidade de matéria-prima neste país, principalmente areia de boa qualidade e pelas características do material obtido, os produtos S.C. já tinham seus lugares garantidos dentre os materiais de construções da Alemanha. A produção de 1964, de aproximadamente 4.900 milhões, na Alemanha Ocidental apenas, três vezes a quantidade produzida em 1914 em toda a Alemanha, mostra isso claramente (ver Quadro B).

Pode-se observar, ao correr dos anos, o aumento na média de produção por fábrica, isto se deve às mudanças nas máquinas operacionais, à mecanização e à automatização das fábricas juntamente com o aumento na demanda destes produtos.

Na URSS, a situação é parecida com a Alemanha, ocorrendo um aumento significativo da produção no decorrer dos anos, empregando-se, atualmente, em grande escala, estes elementos nos mais variados tipos.

QUADRO 8 - Produção de blocos S.C. na Alemanha.

A N O	Número de fábricas	Produção de blocos (milhões)	Média de fabricação por fábrica
1894	1	2	2
1900	80	300	4
1914	310	1550	5
1920	200	1000	5
1939	255	2500	10
1950	98	1000*	10*
1964	182	4900*	27*

\* Apenas na Alemanha Ocidental.

No Reino Unido a produção começou aproximadamente dez anos mais tarde do que na Alemanha, em 1905, e cresceu muito vagarosamente (ver Quadro 9), devido principalmente à limitação de areias convenientes, aliada ao grande desenvolvimento de elementos de argila, com matéria-prima mais disponível.

A Holanda, onde a produção iniciou quatro anos após a Alemanha, em 1933 já produzia quase 600 milhões por ano e continuou a crescer após a guerra, apresentando, em 1964, o dobro da produção de 1933 (conforme Quadro 10). Neste país, mesmo possuindo boa qualidade de argilas cerâmicas, os produtos S.C. são usados quase sempre como elementos resistentes.

QUADRO 9 - Produção de blocos S.C. no Reino Unido.

A N O	Número de fábricas	Produção de blocos (milhões)	Média de fabricação por fábrica
1905	1	4	4
1920	8	50	6
1932	15	100	7
1939	25	200	8
1950	21	160	8
1964	25	350	14

QUADRO 10 - Produção de blocos S.C. na Holanda.

A N O	Número de fábricas	Produção de blocos (milhões)	Média de fabricação por fábrica
1898	1	5	5
1908	16	100	6
1913	--	150	-
1933	--	600	-
1957	16	938	59
1964	20	1200	60

Nos E.U.A., este tipo de bloco é muito pouco empregado. Já houve épocas em que seu emprego era mais difundido (1920-1930), mas regrediu muito frente ao contínuo crescimento do uso de blocos de concreto neste país, o que acarretou também uma diminuição na produção dos elementos de argila (ver Quadro 11).

QUADRO 11 - Produção de blocos S.C. nos E.U.A.

A N O	Número de fábricas	Produção de blocos (milhões)	Média de fabricação por fábrica
1894	1	2	2
1900	80	300	4
1914	310	1550	5
1920	200	1000	5
1939	255	2500	10
1950	98	1000*	10*
1964	182	4900*	27*

Na França ocorreu o mesmo fato, devido à produção de elementos de argila muito desenvolvida.

Além desses países, os blocos S.C. são também produzidos na Austrália, Canadá, Chile, Dinamarca, Finlândia, Iugoslávia, Japão, Kuwait, Noruega, Polônia, Singapura, África do Sul, Suíça, Brasil e outros.

No Brasil são produzidos pela PRENSIL S.A., em São Paulo, a qual comprou a tecnologia e todo o conjunto de máquinas da Krupp alemã. Iniciou a produção em 1976, após um período de 3 anos de instalação e testes.

Sua capacidade máxima de produção é de 5 milhões de blocos por mês, em regime de 24 horas. Esta produção já foi alcançada em alguns períodos após a implantação. Devido a fatores já citados, como o uso de um processo industrial pré-estabelecido, sem o conhecimento profundo do processo desencadeado, a introdução cada vez mais acentuada dos elementos de concreto e ainda a crise da construção em que nos encontramos atualmente, ocorreu um declínio da produção, estando em abril de 1983 a um nível de produção de 3 milhões por mês (50 %).

A pequena produção no Brasil é devido principalmente aos seguintes fatores:

- desconhecimento dos materiais S.C. por parte dos técnicos de construção e dos empresários;
- uso tradicional dos elementos de argila;
- introdução crescente dos blocos de concreto, sem preocupação com o estudo de outros materiais alternativos.

### 3.3.6 - Aspectos do uso.

As vantagens e desvantagens do uso dos blocos sílico-calcários estão aqui apontadas de acordo com as seguintes etapas: produção, uso propriamente dito e performance após o uso.

3.3.6.1 - Produção (BESSEY, 1964; BESSEY, 1967; JORNAL DA CAL, 1983; PRENSIL; PYLE, 1967; WITHEY, 1939).

a) Vantagens:

- flexibilidade e bom controle, uniformidade de obtenção das propriedades desejadas, com a mesma matéria-prima e na mesma fábrica;

- podem ser fabricados em todas as formas e dimensões de conformidade com o mercado e com os padrões especificados;

- obtenção de elementos com superfície lisa, formas perfeitas e cor uniforme;

- facilidade de obtenção de uma grande variedade de cores, com o uso de pigmentos o qual é incorporado na massa, não havendo desfiguração devido às quebras;

- obtenção das resistências estipuladas, com pequenas variações, ou seja, resistências mais constantes e corretas;

- possibilidades de fabricação dos blocos em uma resistência determinada dentro de intervalos, podendo-se escolher o mais adequado para o uso.

b) Desvantagens:

- não podem ser produzidos na obra como os blocos de concreto.

3.3.6.2 - Uso propriamente dito (BESSEY, 1964; DEBES, 1951; HANDISYDE, 1958; KNIGHT, 1955; PYLE, 1969).

a) Vantagens.

- possibilidade de imediato uso após retirado da autoclave,

sem necessidade de posterior amadurecimento;

- a uniformidade das dimensões facilita o uso modular destes elementos;

- a uniformidade de forma e tamanho facilita o assentamento, economizando argamassa;

- esta uniformidade permite ainda com que seja possível construir paredes, com tijolos, de grandes dimensões, conservando planas ambas as faces;

- bom aspecto como bloco à vista, com ou sem pigmentos;

- os tipos obtidos sem pigmentação (brancos) tem boa reflexão de luz, sendo apropriados para uso como bloco à vista. Nos interiores, a cor branca e dimensões uniformes dispensa revestimentos.

- tratamentos superficiais, como qualquer tipo de pinturas, de revestimentos ou cortes são bem aceitos;

- caso vá revestir-se, a regularidade nas espessuras dos elementos permite uma sensível redução da argamassa de revestimento, permitindo também a aplicação de gesso, massa fina ou pintura diretamente sobre o material;

- possui boa adesão com a argamassa;

- a cor branca dispensa aclaramento durante a pintura;

- o fácil controle das resistências, variações menores, facilita ao profissional da construção o projeto de edifícios com mínima espessura de paredes, sem temor que algum dos blocos possa ter menor resistência que a calculada em projeto;

- suas altas resistências possibilitam o uso em alvenaria não estruturada (auto-portante), construída sem pilares e vigas, o que acarreta numa alta redução de ferros, concreto e madeira

das formas, sendo realizada com rapidez, menor mão-de-obra e sensível economia.

b) Desvantagens.

- Deve-se ter cuidado na coloração da argamassa, pois suas formas e tamanhos perfeitos acentuam as juntas, podendo, na dependência da cor da argamassa, causar uma visão desagradável. Este fato, no entanto, pode servir, se bem usado, como um atrativo na construção;

- não aceitam pregos e parafusos diretamente.

3.3.6.3 - Performance após o uso (BESSEY, 1964; BUILDING STANDARDS INSTITUTION, 1978; DEBES, 1951; PYLE, 1967).

a) Vantagens:

- quando na cor branca natural, eles permitem fazer as fachadas claras, imutáveis e agradáveis, e nos recintos de trabalho é favorável à iluminação do ambiente;

- facilidade de limpeza;

- as eflorescências causadas por sais solúveis ocorrem muito dificilmente, quase inexistindo;

- possui boa durabilidade mesmo nos meios mais adversos, variando com a resistência;

- boa resistência ao fogo.

b) Desvantagens:

- devido a sua uniformidade de cor e textura, os desfiuramentos são mais aparentes que em outros produtos;

- devido a cor clara (natural), a ocorrência de sujeiras e manchas é mais facilmente observada, devendo-se ter cuidado neste

aspecto;

- em geral, possuem alta retração por secagem, a qual exige cuidados especiais. Caso as medidas devidas não forem tomadas, podem causar má aparência devido a quebras e rachaduras;

- alta condutibilidade térmica e de som.

### 3.4 - Conclusões preliminares.

No decorrer do estudo teórico, observa-se diversos aspectos que ou necessitam maior estudo ou demonstram claramente uma adaptação às circunstância do local estudado.

Estes dois motivos foram os que nos levaram ao estudo prático, buscando a viabilidade técnica da produção dos blocos S.C. na região estudada, ou seja, a busca de dados que apontem uma relação de semelhança com a produção já empreendida em outros locais e a necessidade de comprovação de pontos que estão favoravelmente estampados.

Dentro do estudo teórico da matéria-prima, viu-se que:

- a disponibilidade desta é o ponto principal para o avanço de qualquer indústria desta natureza;

- o agregado silicoso, devido a grande percentagem dentro da mistura, possui maior influência sobre o produto final.

- existe uma grande margem de escolha e de tratamento possíveis para o caso do agregado silicoso;

- com a cal, já com margem mais estreita de escolha, podem ser tomados cuidados na sua obtenção e hidratação, satisfazendo-se os critérios estudados, podendo-se ampliar os limites de utilização;

- na maioria das indústrias é empregada a cal virgem de alta percentagens de CaO (> 90%).

Já no estudo do processo produtivo, observou-se que:

- o processo produtivo dos blocos S.C. é composto de etapas que podem ser cumpridas tanto por equipamentos de alta sofisticação, como por equipamentos menos exuberantes, podendo-se adotar o nível de mecanização e de sofisticação que melhor se adapte a ser empregado no local em que a indústria vai ser instalada e ao produto a ser obtido;

- todas as etapas são susceptíveis de serem adaptadas para as condições de cada local em particular, e serem cumpridas por equipamentos menos efetivos, mas de fácil obtenção, diminuindo os custos de implantação;

- a prensa é o centro e o que limita a atividade produtiva, seguida pela capacidade da autoclave. Estão nestes dois pontos do processo focalizados a maioria dos trabalhos referentes a esses elementos.

O estudo das características técnicas apresenta dados que são semelhantes aos elementos de argila ou de concreto, não possuindo nenhuma característica de vantagem ou desvantagem marcante em relação aos outros dois tipos simultaneamente. No entanto, para locais em que apenas um desses tipos é disponível, como é bastante observado, vantagens na aplicação dos elementos S.C. podem ser obtidas.

Dentro destas características, a boa aparência e a possível alta resistência são as que mais despontam como positivas, estando esta última ligada à praticamente todas as demais propriedades. A variação dimensional é a característica que causa

maiores preocupações do ponto de vista construtivo.

O estudo do emprego destes elementos deve ser encaminhado buscando-se o porquê de negligenciarmos o uso mais difundido destes produtos que tantos aspectos positivos apresentam e que estão sendo empregados, há longo tempo, em outros locais, sendo, inclusive, soluções construtivas para muitos países.

## 4 - PESQUISA PRÁTICA

### 4.1 - Programa de pesquisa.

O objetivo deste trabalho prático é, em primeiro plano, o estudo da viabilidade técnica da produção de blocos S.C. com uma mistura de areia e cal, pesquisando-se o comportamento de misturas nas quais varia-se a percentagem dos componentes. Foi utilizada uma areia aleatória da região de Santa Maria-RS, mantida invariável devido à grande diversidade existente, e uma cal calcítica com características de acordo com as necessidades estipuladas pelas bibliografias estudadas.

Em um segundo plano, foi estudado o efeito da adição de cinza volante substituindo uma porção de areia, variando-se sua percentagem juntamente com as variações da percentagem de cal. Esta fase foi baseada em trabalhos relacionados à importância para a melhora das características dos produtos obtidos, da existência de uma alta percentagem de sílica finamente moída (BESSEY, 1976; QUINCKE, 1967) e em trabalhos referentes à reatividade dos diversos tipos de sílica (PAPROCKI, 1967). Foi utilizada, para este fim, cinza de carvão da Usina Presidente Médici, em Candiota, no município de Bagé-RS.

Até este ponto, foi utilizado um processo produtivo padrão, sem variações nas etapas de manufatura dos elementos. Na última fase, já com a visualização da presteza da matéria-prima da região e da validade do uso da cinza e adotando-se a mistura VII, que obteve bons resultados com o processo padrão, como base,

passou-se a variar o processo de manufatura em dois pontos, sabidos serem de capital importância, na ação de moldagem dos corpos de prova e na autoclavagem, variando-se a pressão-temperatura do tratamento.

Buscou-se, nesta fase, visualizar o nível de ação destas variações do processo sobre o material regional empregado, obtendo-se o grau de validade destas alterações sobre as qualidades do produto final a ser obtido, e ainda observar-se os resultados das combinações destas variações, o que permitiria, para o caso de uma indústria, a escolha da alternativa ótima para as etapas estudadas.

Dentro do estudo das matérias-primas, devido a grande variedade existente, optou-se pela fixação de um tipo, dentro das faixas aceitáveis para este fim, sem uma escolha ótima, principalmente da areia, variando-se, então, a percentagem das mesmas.

Foi utilizada cal calcítica virgem na pesquisa, devido aos processos industriais comumente utilizarem a cal deste tipo e nesta forma. As percentagens adotadas para mistura, em relação a quantidade de CaO foram: 5, 7 e 9 %, faixa empregada pelos fabricantes de diversos países.

A cinza foi adicionada em substituição a uma quantidade da areia, como um tipo de sílica mais finamente moída e mais reativa, e, devido a pouca existência de trabalho em que a areia e a cinza são adicionados juntamente (HERMANN, 1969), ampliou-se as proporções da cinza para ter-se uma melhor visualização da utilidade de sua adição. A cinza foi empregada em percentagens de 5, 15 e 25 %, mantendo-se as variações já citadas da percentagem

de CaO.

A percentagem de água total variou de acordo com a mistura, sendo mantida, no entanto, sempre em relação constante de igualdade entre a água para a mistura e a quantidade de CaO. A água para ser adicionada para a remistura foi obtida pela moldagem dos corpos de prova, obtendo-se a quantidade ótima para a maior compactação com a prensagem, caso esta quantidade ótima causasse a perda de água através do topo e fundo do molde, no momento da prensagem, utilizou-se a quantidade imediatamente inferior em termos de compactação em que este fato não ocorresse, para que fosse evitada a perda de CaO e finos de areia e cinza juntamente com esta água expelida.

Foram estudadas 12 (doze) misturas de acordo com o Quadro 12 a seguir. As misturas de apenas areia-cal foram tomadas também como padrão de comparação da eficiência da adição da cinza.

A mistura VII foi tomada como básica e serviu como ponto de partida para os estudos posteriores de variações no processo produtivo e também como padrão de comparação.

Pela inexistência dos equipamentos industrialmente utilizados para a confecção destes elementos, as diversas etapas do processo de manufatura foram adaptadas, procurando-se a melhor aproximação possível do processo original.

As pequenas dimensões da autoclave empregada e o grande número de corpos de prova moldados, foram os fatores que levaram à moldagem de blocos reduzidos de forma cilíndrica para todo o encaminhamento do estudo.

O tipo de moldagem usado como padrão foi sob pressão, adotam-se 200 Kg/cm<sup>2</sup>, mantida durante 10 segundos, sendo uma

pressão abaixo da utilizada na fabricação destes blocos e em trabalhos a esse respeito, conforme estudo teórico.

O tempo e a pressão-temperatura de autoclavagem foram adotados dentro de uma faixa de utilização e buscando-se uma

QUADRO 12 - Percentagem das misturas usadas.

Mistura	% de areia	% de cinza	% de cal (CaO)	% de água (mistura)
I	95	-	5	5
II	93	-	7	7
III	91	-	9	9
IV	90	5	5	5
V	88	5	7	7
VI	86	5	9	9
VII	80	15	5	5
VIII	78	15	7	7
IX	76	15	9	9
X	70	25	5	5
XI	68	25	7	7
XII	66	25	5	9

racionalização da utilização do equipamento, não se adotando pressões demasiadas altas, devido aos perigos do trabalho de laboratório e posterior no emprego industrial e nem muito baixas, devido a excessiva perda de tempo para o tratamento. Foram utilizadas para o estudo inicial, ou seja, para o processo produtivo padrão, a pressão de 12,5atm (+ ou - 192,3 °C) e o tempo de 6 horas (+ ou - 5 min.).

As variações no processo produtivo foram no tipo de moldagem dos CPs e na pressão de autoclavagem. Foram adotados moldagens com pressões de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  e  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , mantidas durante 10 segundos, fazendo-se também o uso da vibração, embora a literatura existente cite apenas a moldagem de outros tipos e formatos de produto S.C. por este método, variando de 1 (um) e 2 (dois) minutos o tempo de vibração, e ainda vibro-compressão, método utilizado na indústria PRENSIL visitada, usando-se 1 (um) minuto de vibração seguida de prensagem com uma pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  mantida durante 10 segundos.

Na pressão de autoclavagem utilizou-se  $9 \text{ atm}$  ( $179,0^\circ \text{ C}$ ) e  $16 \text{ atm}$  ( $203,4^\circ \text{ C}$ ), sendo o tempo de autoclavagem mantido constante e efetuando-se ao mesmo tempo as variações do tipo de moldagem.

O Quadro 13 mostra as variações efetuadas no processo produtivo da mistura VII.

De todas as misturas e das variações do processo de manufatura, foram obtidas as seguintes características, com o uso de blocos reduzidos:

- variação dimensional e de massa por autoclavagem;
- massa específica aparente;
- porosidade aparente;
- absorção de água;
- resistência à compressão simples;
- resistência à compressão diametral (tração);
- módulo de elasticidade à compressão simples.

QUADRO 13 - Variação no processo produtivo sobre a mistura VII.

Variação	Tipo de moldagem	Pressão de autoclavagem (Atm)	Tempo de autoclavagem (Hs)
1	Pressão	100	
2 (padrão)	2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	200	
3		300	12,5
4	Vibração (min)	1	
5		2	
		2	
6	Vib-Com 1min+100Kg/cm <sup>2</sup>		
7	Pressão	100	
8	2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	200	
9		300	16
10	Vibração (min)	1	6
11		2	
		2	
12	Vib-com 1min+100kg/cm <sup>2</sup>		
13	Pressão	100	
14	2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	200	
15		300	
16	Vibração (min)	1	
17		2	9
		2	
18	Vib-com 1min+100Kg/cm <sup>2</sup>		

## 4.2 - Materiais empregados.

### 4.2.1 - Areia.

A areia utilizada neste trabalho é extraída por meio de dragagem do leito do rio Vacacai, no local denominado Passo do Verde, localizado a aproximadamente 27 Km da cidade de Santa Maria, existindo, neste local, diversas empresas de extração deste material, tanto do leito do rio como de jazidas, havendo uma abundância do mesmo.

A areia não sofreu processos de mistura, moagem, peneiramento ou lavagem.

Embora exista uma variedade muito grande de granulometrias e tipos de areia da região, que de acordo com o estudo teórico feito, estariam mais de acordo com as condições necessárias à obtenção de produtos de melhores qualidades, optou-se pelo uso desta areia pelo fato que esta abundância e possibilidade de escolha pode não existir em outros locais que venham a se beneficiar destes estudos.

A seguir apresenta-se as propriedades físicas e químicas desta areia.

#### 4.2.1.1 - Propriedades físicas (LMCC da UFSM).

Análise granulométrica: (NBR 7217-82)

Peneiras mm	Massa retida (g)	Percentagem retida (%)	Percentagem reti- da acumulada (%)
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	3,1	0,31	0,31
2,4	19,5	1,95	2,26
1,2	76,3	7,63	9,89
0,6	200,7	20,07	29,96
0,3	500,7	50,07	80,03
0,15	179,4	17,94	97,97
0,09	13,5	1,35	99,32
Fundo	20,27	2,03	100,0
Fundo	6,8	0,68	100,0
TOTAL	1000	100	

Classificação da areia conforme limites granulométricos da NBR 7211-83: areia média fina - zona 2.

Dimensão máxima característica: 2,4.

Módulo de finura: 2,20.

Dados da curva granulométrica (Figura 4.1) conforme literatura Inglesa (BESSEY & PURTON, 1976):

- diâmetro médio: 0,45mm;

- coeficiente de forma - Cf =  $\sqrt{\frac{Q3}{Q1}}$

Q3 = 0,7mm

Q1 = 0,33mm

Cf = 1,46

- superfície específica - Se =  $64,58 \frac{cm^2}{g}$ ;

- tipo de granulometria: contínua.

Massa específica real:  $2,614 \frac{g}{cm^3}$ .

Coeficiente de umidade: a ser determinado antes de cada preparação da mistura, para melhor proporcionamento dos materiais.

Coeficiente médio de inchamento: 1,209.

Umidade crítica da areia: 3,40%.

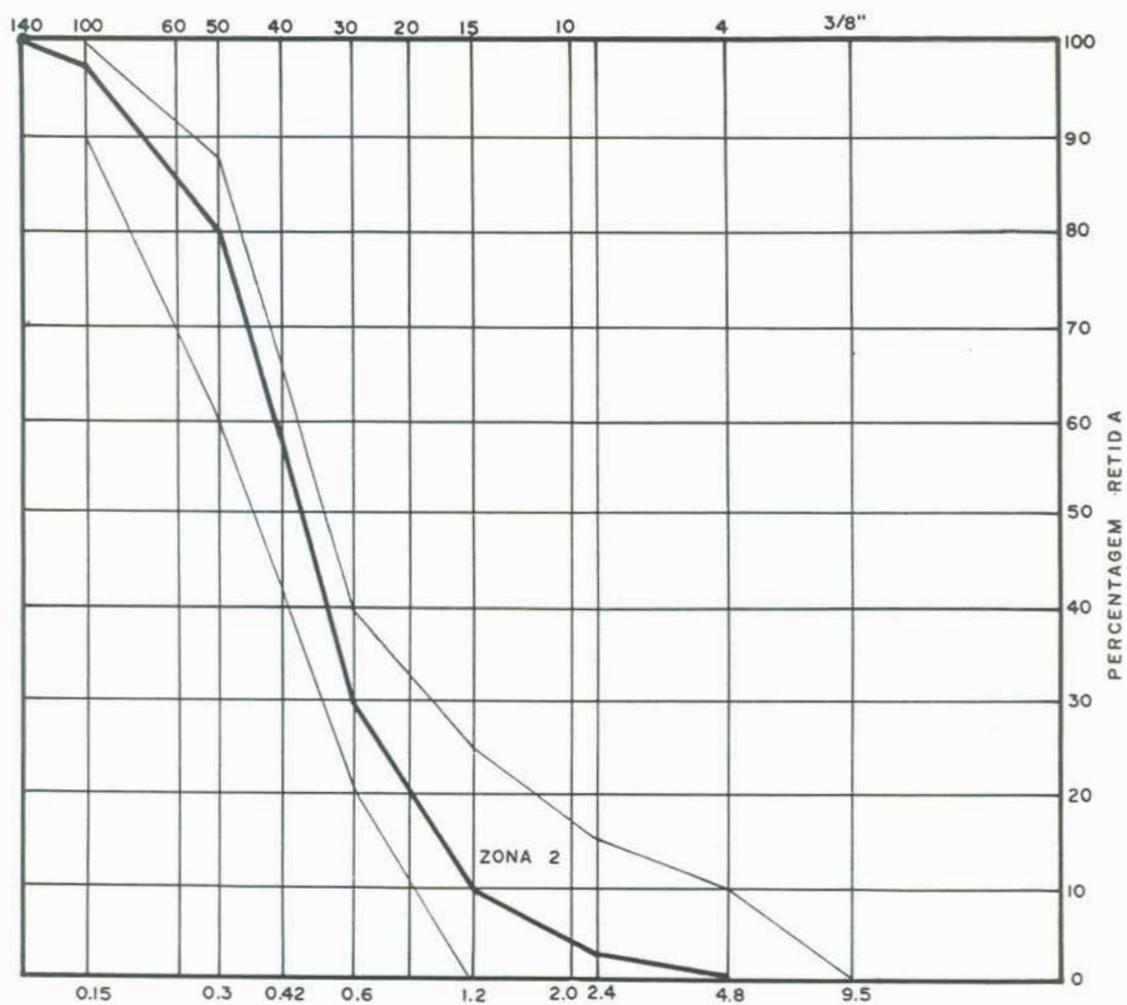


FIGURA 4.1 - Curva granulométrica da areia utilizada.

#### 4.2.1.2 - Propriedades químicas (Departamento de Geociência da UFRGS).

Substância	% existente	% recomendada para o uso em bloco S.C. (18)
SiO <sub>2</sub>	94,06	> 75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,90	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	
FeO	0,27	
CaO	0,50	
MgO	0,10	
MnO	0,01	
TiO <sub>2</sub>	0,23	
Na <sub>2</sub> O	0,27	
K <sub>2</sub> O	1,01	> 3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	
H <sub>2</sub> O	0,04	
Perda ao fogo	0,37	

#### 4.2.2 - Cinza volante.

Foi utilizada, neste trabalho, cinza volante do tipo a, proveniente da Usina Termelétrica Presidente Médici, situada no município de Bagé-RS, na região de Candiota. A seguir, são apresentadas as propriedades físicas e químicas desta cinza.

## 4.2.2.1 - Propriedades físicas (CIENTEC).

Diâmetro médio das partículas (um): 7.

Material retirado na peneira n<sup>o</sup> 325: 31,59 %

Superfície específica: 3612 cm<sup>2</sup> /g ou 8668 cm<sup>2</sup> /cm<sup>3</sup> .

Índice de atividade pozolânica com cimento Portland:  
77,78 % .

Com cal: 53,00 % .

Massa específica real: 2,39 g/cm<sup>3</sup> .

Granulometria (%) :

0 < 10 un - 19 %

10 a 20 un - 19 %

20 a 40 un - 20 %

40 a 60 un - 12 %

60 a 80 un - 19 %

80 a 100 un - 7 %

0 > 100 un - 4 %

## 4.2.2.2 - Propriedades químicas (CIENTEC).

Perda ao fogo: 0,15 % .

Teor de umidade: 1,1 % .

Ph: 8,4.

Equivalente alcalino ( em Na<sub>2</sub>O ): 1,45 % .

Análise química (%):

Silica (SiO<sub>2</sub>) ..... 76,3

Oxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ..... 9,44

Oxido de Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) .....	9,28
Oxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ) .....	0,70
Oxido de Magnésio ( $\text{MgO}$ ) .....	0,70
Oxido de Sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) .....	0,30
Oxido de Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) .....	1,75
Oxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ) .....	0,75
Anidrido Fosfórico ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) .....	0,058
Anidrido Sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) .....	0,11

#### 4.2.3 - Cal.

A cal empregada é do tipo calcítica, virgem, comercializada na forma de pedra pela empresa Transcal, Oscar Andreazza & Filhos limitada, localizada no distrito de Vila Nova, comarca de São Sepé-RS.

O calcário para a produção da cal é extraído em dois locais:

- Serro da Cadeia: entrada Km 280 da BR 290; mais 400 m por estrada vicinal;
- Serro do Cabelo: entrada Km 283 da BR 290, mais 4200 m por estrada vicinal.

Os calcários destas extrações são misturados aleatoriamente e queimados na indústria localizada no Distrito de Vila Nova, em 4 fornos contínuos alimentados a lenha, com uma capacidade total de 10 ton/dia. Neste mesmo local a cal é embalada em containers de 300, 400 e 600 Kg ou sacos de 20 Kg e remetida para a Siderúrgica Rio-Grandense toda a produção.

As propriedades físicas e químicas desta cal são

apresentadas a seguir.

#### 4.2.3.1 - Propriedades físicas.

Massa específica (NBR 6474-80-LMCC):  $M_e = 2,843 \text{ g/cm}^3$ .

Determinação da velocidade de extinção (reatividade):  
(ASTM C 110/76a - item 10 - IPT)

	Média
Temperatura inicial (°C)	25,2
Elevação da temperatura em 30 s (°C)	2,4
Elevação total da temperatura (°C)	34,4
Tempo total de extinção (min)	19,0

A elevação da temperatura em função do tempo está graficada na curva de extinção da cal, Figura 4.2 a seguir e foi realizada para o material na finura empregada no trabalho.

##### a) Estabilidade:

Conforme BESSEY & ELDRIDGE (1933).

Expansão = 2,36 mm.

##### b) Plasticidade: (CE - 18:15, 11-003 da ABTN - IPT)

- Plasticidade: 110;

- fator água/cal, em massa: 0,60 g/g;

- consistência obtida na pasta: 22 mm.

##### c) Finura:

A finura requerida da cal para a confecção dos blocos S.C. é estabelecida conforme o processo de hidratação. Neste trabalho em que foi empregado o processo de hidratação semelhante ao processo dos silos de hidratação, estabeleceu-se a finura

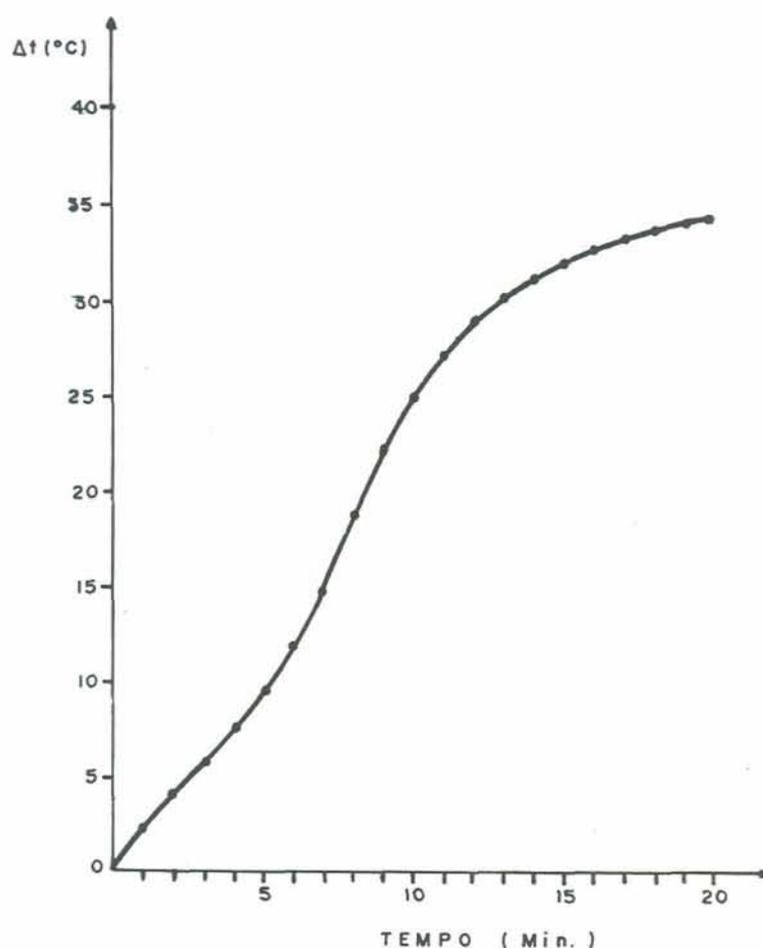


FIGURA 4.2 - Curva de extinção da cal virgem utilizada-IPT.

adequada de acordo com a norma DIN 1060, que requer, para este processo, a cal passando completamente na peneira de malha 0,63 mm, não se obtendo, no entanto, a segunda recomendação desta norma, ou seja, não obter mais que 10 % de resíduo na peneira de 0,09 mm de malha, ficando este resíduo na média de 50 %.

Este grau de finura foi obtido pela moagem da cal virgem em pedra na máquina para ensaio à abrasão de brita LOS ANGELES, durante o tempo de 60 minutos, sendo, então, peneirada na peneira 0,63 mm, retirando o resíduo e fazendo-se a moagem manual através de soquete metálico, com novo peneiramento.

## 4.2.3.2 - Propriedades químicas da cal virgem (NBR 6473-80-IPT).

Substância	% existente	% recomendada para o uso em blocos S.C. (BESSEY, 1974)
CaO	86,2	> 70
MgO	0,44	< 1,5
Fe O + Al O 2 3 2 3	1,03	-
Insolúveis em ácido clorídrico	2,56	-
Perda ao fogo	9,80	-
CO 2	3,80	< 5

## 4.2.4 - Água.

A água utilizada para todos os fins foi água potável da rede de distribuição da UFSM.

## 4.2.5 - Outros materiais.

Não foram utilizados pigmentos, expansores ou outro material no processo.

4.3 - Métodos empregados.

## 4.3.1 - Manufatura dos corpos de prova.

## 4.3.1.1 - Obtenção e preparação da matéria-prima.

Foi elucidado dentro do item "Materiais empregados".

#### 4.3.1.2 - Preparação da mistura.

Com a areia, a cinza e a cal virgem devidamente moída, passou-se à preparação da massa para posterior moldagem.

Esta preparação constou de 4 etapas, de acordo com o método empregado industrialmente:

- proporcionamento dos materiais;
- mistura;
- hidratação;
- remistura.

##### 4.3.1.2.1 - Proporcionamento.

O proporcionamento dos materiais foi feito gravimetricamente, com exceção da água, a qual é indiferente, sendo este processo empregado por possuir um nível mais apurado de precisão, estando sujeito a um menor número de variações nos materiais.

Este proporcionamento foi sempre relacionado ao peso seco da mistura, evitando-se, com isso, as variações de peso da areia causadas pelo teor de umidade variável com as condições climáticas. Este teor foi sempre determinado antes de cada pesagem, obtendo-se o peso úmido da areia a ser adicionado correspondente ao peso seco necessário, sendo ainda a quantidade de água existente dentro do peso da areia úmida, subtraída da quantidade de água a ser adicionada na mistura.

A quantidade de cal a ser adicionada foi sempre relacionada à percentagem de CaO de cada mistura, fazendo-se uma relação com

a percentagem de CaO dentro da composição da cal (aproximadamente 86 %).

Estabelecidas as percentagens conforme Quadro 12, o cálculo do peso do material a ser adicionado foi feito adotando-se o peso total da mistura seca de 8000 g, o que era necessário e suficiente para a moldagem da série de corpos de prova, sendo, então, pesados os materiais com uma precisão de 1g.

A água a ser adicionada na mistura foi mantida sempre como sendo igual a quantidade de CaO existente para hidratar.

#### 4.3.1.2.2 - Mistura.

Estando as matérias-primas corretamente pesadas, foi executada a mistura das mesmas, adotando-se como equipamento de mistura a betoneira Lider BL 100 para 100 litros, sendo os materiais adicionados da seguinte maneira e tomando-se cuidado para que não ocorresse aderência de material nas paredes da betoneira.

- adicionada a areia e colocada em movimento giratório;
- adicionada a cinza (quando constando da mistura) distribuída sobre a areia uniformemente, entrando em movimento juntamente com esta;
- foi, então, colocada a cal, lentamente, distribuída o mais uniformemente possível sobre as partículas da areia e da cinza (quando presente), para evitar a formação de torrões, deixando-se girar até completa homogeneização da mistura;
- a água potável foi após borrifada através de spray sobre

toda a mistura girando e foi mantido o movimento até a formação de uma massa de características homogêneas.

Os tempos empregados foram de 5 minutos para a mistura de apenas areia e cinza, 5 minutos após a adição da cal, seguido de mais 5 minutos após a adição total da água. Estes tempos foram obtidos por tentativa e visualização da massa, devido ao equipamento estar sendo improvisado para este fim, não podendo ser relacionado a nenhum processo de mistura empregado.

A quantidade de mistura a ser processada foi sempre relacionada ao número de corpos de prova e à massa necessária para cada um, com uma certa margem de segurança.

Após retirada do misturador, a mistura era levada para o recipiente de hidratação.

#### 4.3.1.2.3 - Hidratação.

O processo de hidratação foi semelhante ao processo dos silos, deixando-se a mistura em repouso dentro de um recipiente metálico, de maneira a não reagir com o ar exterior, durante 36 horas mais ou menos 1 hora, tempo necessário para a completa hidratação da cal, com grande segurança.

Durante este tempo, pela reação com a cal e pela perda com a evaporação, a mistura se torna seca, necessitando uma remistura com a adição da água de remistura, para após ser moldada.

#### 4.3.1.2.4 - Remistura.

Com a quantidade de água de remistura estabelecida, como já

citado, e conforme valores do Quadro 14, efetuou-se esta etapa imediatamente antes da moldagem, sendo executada manualmente dentro de um recipiente metálico bem vedado, para que não houvesse perdas de material e de umidade, até a completa distribuição da água no interior da massa e homogênea aparência e plasticidade desta.

QUADRO 14 - Água adicionada na remistura (em relação ao peso da mistura hidratada).

Mistura	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
% água remistura	7,0	5,0	4,0	6,0	4,0	3,0	6,0	4,5	3,0	6,5	5,5	4,0

#### 4.3.1.3 - Moldagem dos corpos de prova.

Utilizou-se a moldagem de blocos reduzidos cilíndricos com as dimensões de acordo com a NBR 7215-82 "Ensaio de Cimento Portland".

Três tipos de moldagem foram empregados durante o decorrer do trabalho: por pressão, por vibração e por vibro-compressão.

Para todas as moldagens foram utilizados moldes metálicos cilíndricos, em número de dois, com as seguintes dimensões: diâmetro de 5,05 cm, altura de 10,0cm com paredes de 0,46 cm de espessura, possuindo ainda dois meios moldes com o mesmo diâmetro e espessura das paredes e altura de 4,73 cm que eram colocados sobre os anteriores para favorecer o enchimento e permitir o excesso de massa necessária antes de efetuada a moldagem, sendo, após, retirados.

Os moldes eram colocados sobre chapas metálicas, sendo efetuada a colocação da massa dentro dos mesmos, manualmente através de espátulas, usando-se somente no caso dos blocos a serem moldados por pressão, devido à maior quantidade de massa, a colocação por camadas, em número de 3 (três) e um soquete metálico de 2540 g, efetuando-se 3 (três) golpes por camada, para melhor assentamento da massa. Nas demais moldagens a massa era simplesmente colocada dentro do molde no peso necessário.

Em todas as moldagens, o peso necessário de massa para um CP era estabelecido inicialmente.

#### 4.3.1.3.1 - Moldagem por pressão.

Após ser colocada a massa dentro do molde, como citado, este era encaminhado juntamente com a chapa inferior para a prensa de ensaio tipo "ZDM Pu 10" máquina de ensaio de carga alternativa, para 10 toneladas, em que era assinalada a pressão, em toneladas, total sobre o bloco. O cálculo desta pressão total foi feita pela multiplicação da pressão por  $\text{cm}^2$  estipulada pela área do êmbolo da prensa, aproximadamente igual à área do bloco de mais ou menos  $20,0 \text{ cm}^2$ , resultando o Quadro 15, a seguir.

A elevação da pressão era feita lentamente a uma velocidade de 200 Kg/seg e mantida no valor máximo durante 10 segundos. Esta pressão era efetuada por um êmbolo cilíndrico de 4,90 cm de diâmetro que era introduzido no interior do meio molde.

A retirada do bloco dos moldes foi efetuada com o auxílio de um molde secundário de mesmo diâmetro externo mas com um diâmetro interior de 5,46 cm e altura de 10,50 cm, o qual era

2  
 QUADRO 15 - Pressões por cm<sup>2</sup> e total na moldagem.

Pressão por cm <sup>2</sup> (Kg)	Area do bloco (cm <sup>2</sup> )	Pressão total (Kg)
100	20	2000
200	20	4000
300	20	6000

colocado sob o molde em que se encontrava o bloco já moldado, submetendo-se à ação do êmbolo da prensa até a retirada.

Quando um excesso de massa era observado, após a moldagem, efetuava-se o razamento antes da desmontagem.

#### 4.3.1.3.2 - Moldagem por vibração.

Utilizando os mesmos moldes, meios-moldes e chapas, foi colocada a massa no peso estabelecido dentro dos mesmos, e então encaminhados para a mesa vibratória tipo DYNAPAC, com frequência de vibração de 3000 vib/min e amplitude de 0,05 mm.

Os tempos de vibração estabelecidos por tentativa e observação foram de 1 minuto e 2 minutos, sendo que, quando restavam 15 segundos, era colocado um pequeno soquete de 1400 g no interior do molde para regularizar a superfície do bloco.

A desmoldagem foi executada da mesma maneira que a anterior, só que manualmente, com o uso de um soquete e do molde secundário, fazendo-se antes o razamento da massa, quando em excesso.

#### 4.3.1.3.3 - Moldagem por vibro-compressão.

Nesta moldagem foi usada, primeiramente, a moldagem por vibração por 1 minuto e após a prensagem com 100 Kg/cm<sup>2</sup>, durante 10 segundos, mantendo-se invariáveis os demais aspectos das duas moldagens empregadas. A desmoldagem foi feita com o uso da prensa.

Após retirados das formas os corpos de prova cilíndricos eram comparados a um padrão de altura 10,0 cm, tendo-se uma tolerância de mais ou menos 2,0 mm, caso estes valores fossem extrapolados, o bloco era desprezado.

Para uma mistura ou variação eram moldados 16 CPs, sendo 14 o número necessário para a introdução na autoclave e 2 para o caso de quebras com o manuseio. Foram moldados, no decorrer do trabalho aproximadamente 600 blocos reduzidos.

Os blocos, imediatamente após moldados, eram colocados sobre um vidro envolto por saco plástico, para controle da umidade e das reações com o ar atmosférico, e mantidos até o dia seguinte, quando todos juntos eram colocados na autoclave.

#### 4.3.1.4 - Autoclavagem dos blocos.

O equipamento utilizado nesta última etapa do processo foi uma autoclave REGMED, tipo AU/E-20\*, de produção brasileira, com capacidade de aproximadamente 20 litros, conforme a Figura 4.3, devendo ser preenchido em no máximo 3/4 de sua capacidade, com

\* Equipamento utilizado junto ao departamento de Química Inorgânica da UFSM.

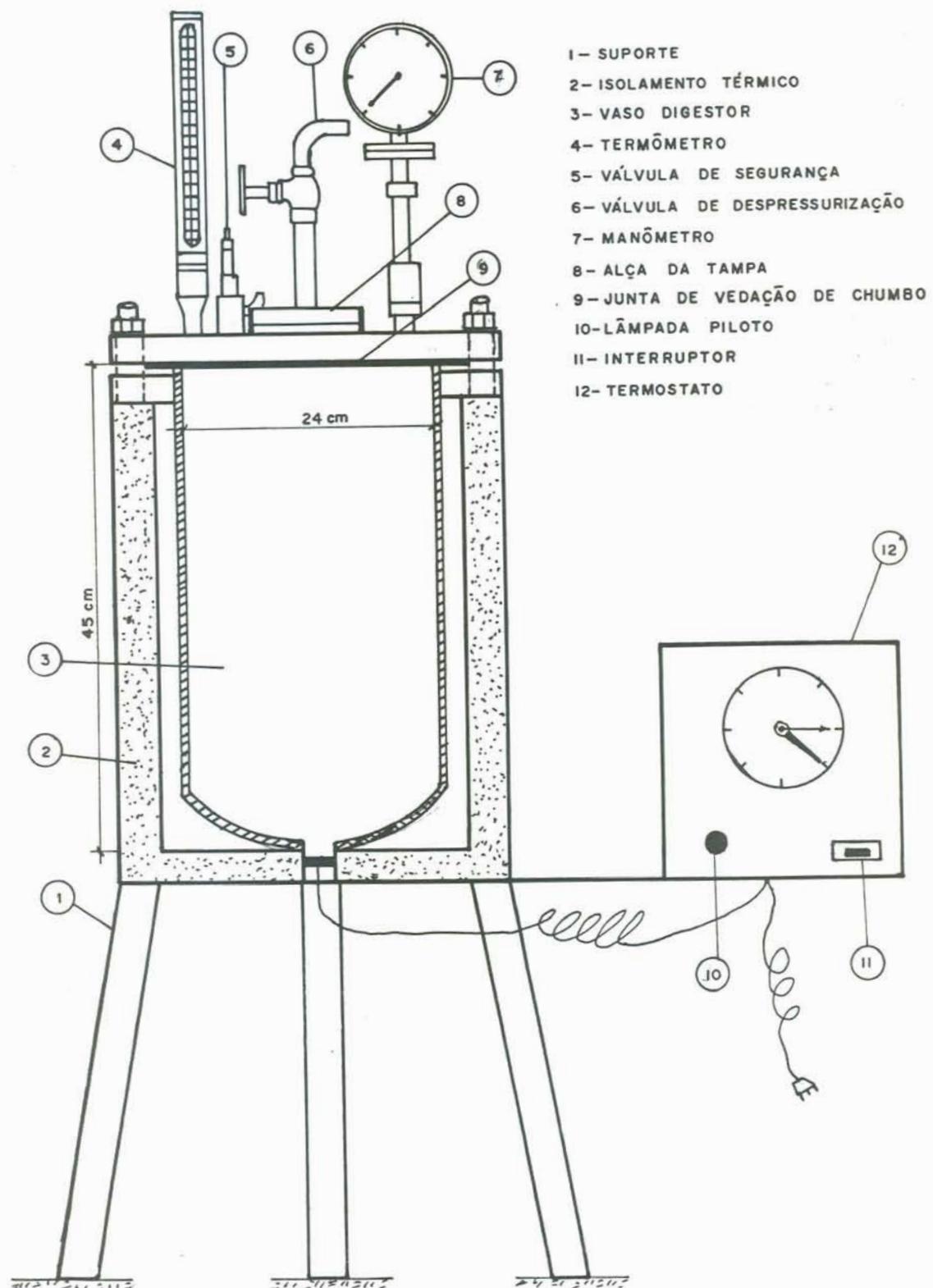


FIGURA 4.3 - Autoclave utilizada.

geração de vapor por aquecimento elétrico da água colocada no interior, abaixo dos CPs.

As dimensões da autoclave possibilitaram a introdução de 14 blocos reduzidos por camada e, ainda, duas camadas.

Com a finalidade de colocação dos blocos na autoclave, foi confeccionado o aparato da Figura 4.4, desta maneira impedindo o contato prematuro dos blocos com a água contida no fundo do aparelho a uma altura de 15 cm.

Em cada autoclavagem eram colocados duas variações, com 14 blocos cada: 12 inteiros e 4 meios blocos, sendo que cada camada continha 7 blocos de cada variação.

Após a colocação dos blocos, a autoclave era fechada e a temperatura elevada, alcançando-se a pressão desejada. Para o processo padrão, esta pressão medida no manômetro do aparelho foi de 12,5 atm + 0,5 atm, sendo alcançada num tempo de uma hora e cinco minutos + 5 min., mantida durante 6 horas e aliviada em 20 minutos + 3 minutos.

Para processos variantes, as pressões foram de 9 atm + 0,5 atm e 16 atm + 0,5 atm, sendo os tempos de elevação de uma hora + 5 minutos e de uma hora e 10 minutos + 5 minutos, respectivos, e mantidos constantes os tempos de permanência e alívio.

Após a abertura da autoclave, os blocos eram mantidos em repouso no seu interior até o dia seguinte para estabilização e exposição ao meio, e após ensaiados às diversas características estudadas da seguinte maneira:

- 4 blocos para determinação das variações por autoclavagem, que eram, após medidos e pesados,

- ensaiados às outras características;
- 4 blocos para a determinação da massa específica aparente e porosidade aparente;
  - 4 blocos para a determinação da absorção de água;
  - restantes ensaiados à compressão axial e diametral, no mínimo 3 (três) para cada ensaio e, no caso de número ímpar, o maior número para o ensaio à compressão axial.

Geralmente ocorriam quebras ou colapsos de algum bloco devido à ação da água quando ainda crus.

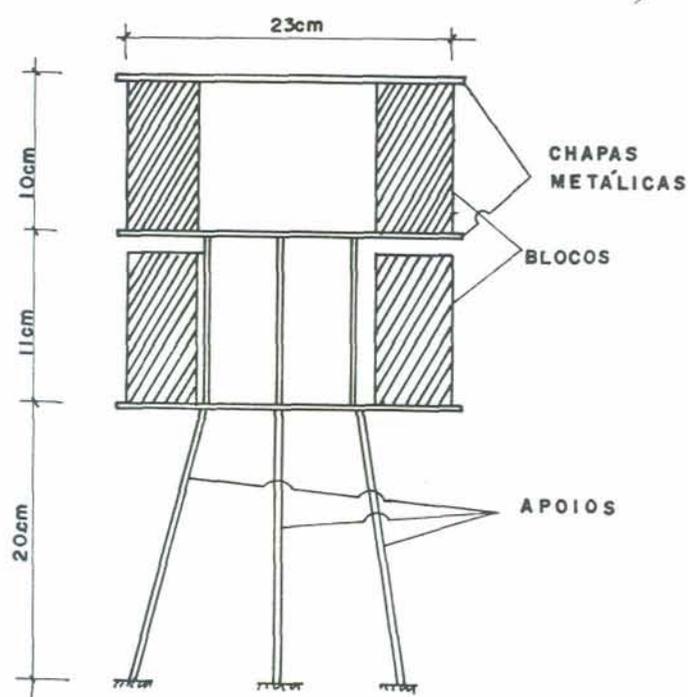


FIGURA 4.4 - Aparato de colocação na autoclave.

#### 4.3.2 - Ensaio dos corpos de prova.

##### 4.3.2.1 - Determinação da variação dimensional e de massa por autoclavagem.

Foi empregado na obtenção desses dados, métodos semelhantes ao método M.CIENTEC-1/C-021 para determinação da retração linear de cozimento de argilas.

Para este cálculo foram utilizados 4 CPs aleatórios para cada determinação dentre aqueles a serem levados à autoclave. Destes CPs foram anotados o diâmetro e a altura com precisão de 1/20 mm e o peso com precisão de 0,01 g.

Após a autoclavagem e resfriamento dos blocos até a temperatura ambiente eram obtidos estes dados, sendo feito o cálculo individual para cada bloco de acordo com a fórmula seguinte:

$$h = \frac{h - h_i}{h_i} \cdot 100 \qquad \qquad \qquad \delta = \frac{O - O_i}{O_i} \cdot 100$$

$$M = \frac{M - M_i}{M_i} \cdot 100$$

onde: h,  $\delta$  e M são as variações percentuais da altura, diâmetro e massa, respectivamente.

$h_i$ ,  $O_i$  e  $M_i$  = altura, diâmetro e massa iniciais antes da autoclavagem.

h,  $\delta$  e M = altura, diâmetro e massa após a autoclavagem.

Sendo, após, calculadas as médias para os 4 corpos de prova.

#### 4.3.2.2 - Determinação da massa específica aparente e da porosidade aparente.

Os métodos empregados na obtenção da massa específica aparente e da porosidade aparente foram: método M.CIENTEC-1/C-024 (Set 76) e M.CIENTEC-1/C-023 (Ago. 76), respectivamente, métodos empregados na determinação destas características para materiais cerâmicos.

Foram utilizados 4 (quatro) meios blocos reduzidos para estas determinações, os quais seguiram o seguinte processo:

- secagem a 110 °C por 24 horas;
- pesagem, anotando-se o peso seco com precisão de 0,01 g;
- colocação em recipiente apropriado e fervura durante 2 horas;
- resfriamento em água corrente, retirada da água superficial e nova pesagem, anotando-se o peso úmido com precisão de 0,01 g;
- pesagem em balança hidrostática, tendo-se o peso imerso com precisão de 0,01 g;

A massa específica aparente do material é dada pela expressão:

$$Mea = \frac{Ps}{Pu - Pi}$$

A porosidade aparente do material é dada pela expressão:

$$Pa(\%) = \frac{Pu - Ps}{Pu - Pi} \cdot 100$$

onde:  $Mea$  = massa específica aparente, g/cm<sup>3</sup> ;

$Pa$  = porosidade aparente, %;

Ps = peso do corpo de prova seco, g;

Pu = peso do corpo de prova úmido, g;

Pi = peso do corpo de prova imerso, g.

Era, após, calculada a média das 4 determinações.

#### 4.3.2.3 - Determinação da absorção d'água.

O método empregado nesta determinação foi baseado no método M.CIENTEC-1/C-22 (Ago. 76) para determinação da absorção d'água de materiais cerâmicos.

Foram utilizados 4 blocos reduzidos e encaminhados da seguinte maneira:

- primeiramente, os blocos eram limpos e secos em estufa a 110 °C até constância de peso, não menos que 24 horas, sendo pesados e anotado seu peso seco, com precisão de 0,01 g;
- após, eram imersos em água limpa, para saturar durante 24 horas, retirando-se após o excesso d'água e pesando-se com a mesma precisão, anotando-se o peso do bloco saturado de água;
- a absorção de água foi calculada e expressa em percentagem, por meio da fórmula:

$$Aa (\%) = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 \quad \text{onde}$$

Aa = Absorção de água, %;

Pu = Peso do corpo de prova úmido, g;

Ps = Peso do corpo de prova seco, g;

sendo calculada a média das 4 dterminações.

Os valores de absorção d'água admissíveis para tijolos maciços de argila, segundo ASTM C62-69 e blocos de concreto, segundo NBR 7173-82 (não estrutural) e NBR 6136-80 (estrutural) estão nos quadros 16 e 17 a seguir.

QUADRO 16 - Absorção d'água admissível de tijolos maciços de argila.

Absorção d'água - % máxima		
Grade	Média 5 tijolos	Individual
SW	17	20
MW	22	25
N	Sem limite	Sem limite

QUADRO 17 - Absorção d'água admissível de blocos de concreto estrutural e não estrutural.

Absorção d'água - % máxima		
Não estrutural		Estrutural
Média	Individual	
10	15	10

#### 4.3.2.4 - Determinação da resistência à compressão simples.

Este ensaio baseou-se nas indicações fornecidas pela NBR 7215-82, método de ensaio de cimento portland.

O procedimento adotado foi o seguinte: o bloco reduzido era colocado imerso em água potável durante 24 horas. Era retirado da água antes do rompimento e seco superficialmente, sendo

regularizadas e medidas as faces de trabalho com aproximação de 1/20 de mm. Era, então, encaminhado para a prensa, onde procedia-se o ensaio de compressão. O valor de resistência de cada bloco, calculada em  $\text{Kg/cm}^2$  \*, era obtido mediante a divisão da carga máxima em Kg, observada durante o ensaio, pela média das áreas das duas faces de trabalho em  $\text{cm}^2$ .

Os corpos de prova eram rompidos no mínimo em triplicata, sendo calculado o valor médio da tensão de ruptura, admitindo-se uma tolerância de  $\pm 10\%$  em torno da média. Se um dos corpos se afastasse desse intervalo, procedia-se à determinação de nova média com os restantes, se o fato se repetisse até que restassem apenas dois blocos, procedia-se a moldagem de novos blocos.

O ensaio de compressão axial foi realizado com deformação controlada, para obtenção do módulo de elasticidade à compressão, que foi calculado por análise do gráfico tensão-deformação, confeccionado posteriormente.

Foi utilizada uma prensa SOLOTEST com anel dinamométrico com capacidade de 5 toneladas, adotando-se uma velocidade de aplicação da carga de 50 Kg/s.

Os valores admissíveis para a resistência à compressão simples de tijolos maciços de argila, segundo NBR 7170-74 e blocos vazados de concreto sem função estrutural, segundo NBR 7173-82 e com função estrutural, segundo NBR 6136-80, estão nos quadros 18, 19 e 20 a seguir, respectivamente.

-----

2

\* Foi adotado 1 MPa = 10 Kg/cm<sup>2</sup> nos resultados.

QUADRO 18 - Resistência à compressão admissível para tijolos maciços de argila.

Categoria	Resistência à compressão	
	Min., MPa	
A	1,5	
B	2,5	
C	4,0	

QUADRO 19 - Resistência à compressão admissível para blocos de concreto simples, sem função estrutural.

	Resistência à compressão	
	Min.,	MPa
Média	individual	
2,5	2,0	

QUADRO 20 - Resistência à compressão admissível para blocos de concreto simples, com função estrutural.

Classe	Resistência à compressão	
	Min.,	MPa
A	fbk	
B	6	
	4,5	

onde:

$$fbk = fb - t \cdot S_n$$

sendo fb = resistência média dos blocos ensaiados;  $S_n$  = desvio-padrão do ensaio e t = coeficiente de Student, dependente do número de blocos ensaiados.

#### 4.3.2.5 - Determinação da resistência à tração.

Este ensaio baseou-se nas indicações da NBR 7222-83, para determinação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos cilíndricos de argamassa.

O bloco reduzido era colocado imerso em água durante 24 horas, então era retirado, seco superficialmente, medidas suas faces de trabalho e sua altura, com precisão de 1/20 mm, e ensaiado à compressão diametral.

A resistência à tração para cada bloco era obtido em MPa pela fórmula:

$$R_t = \frac{f_c \cdot 2}{h \cdot \phi}$$

onde:

$f_c$  = carga máxima em Kgf obtida;

$h$  = altura do bloco obtida em mm, e

$\phi$  = diâmetro médio do bloco em mm.

Os corpos de prova eram rompidos no mínimo em triplicata, sendo utilizados o mesmo processo de cálculo da média e aceitação dos valores que no ensaio da compressão simples, sendo também empregado o mesmo equipamento de ensaio.

Estes dois últimos ensaios foram realizados no estado úmido devido a relação das características no estado úmido e no estado seco ser muito variável. O valor médio desta variação, segundo bibliografia estudada (CAL) é de aproximadamente 0,65.

A seguir são apresentadas fotos com o andamento dos trabalhos de laboratório.

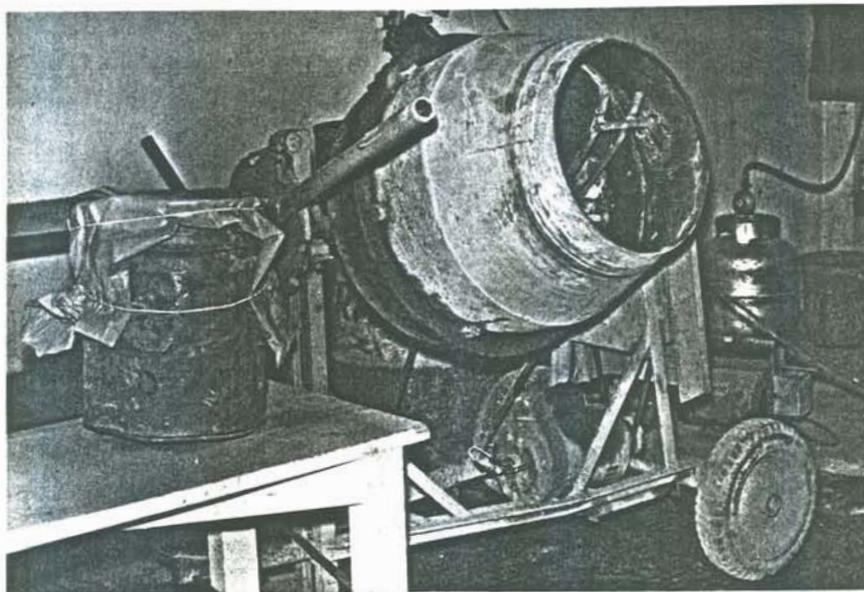


FOTO 1 - Betoneira de mistura e recipiente de hidratação coberto.

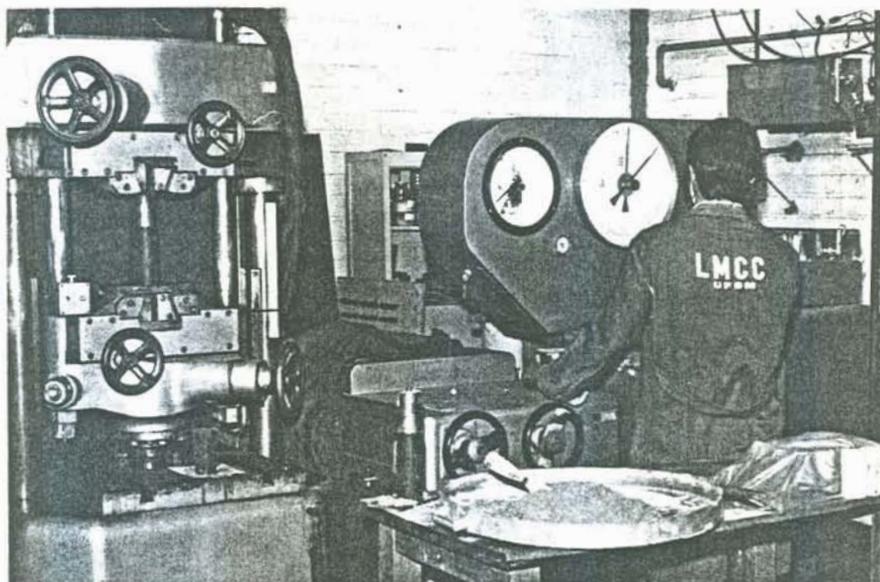


FOTO 2 - Mistura sendo moldada na prensa e blocos cobertos para esperar autoclavagem.

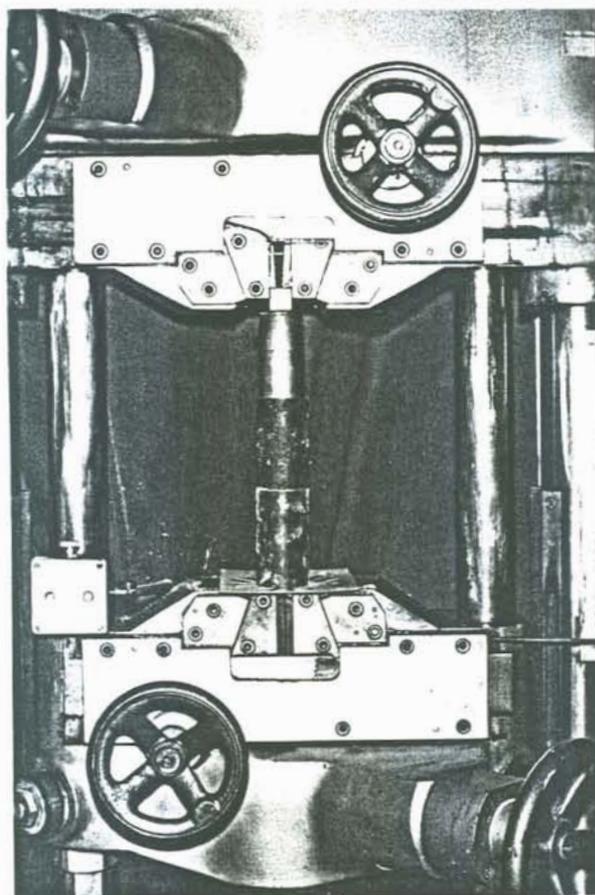


FOTO 3 - Detalhe da desmoldagem na prensa.

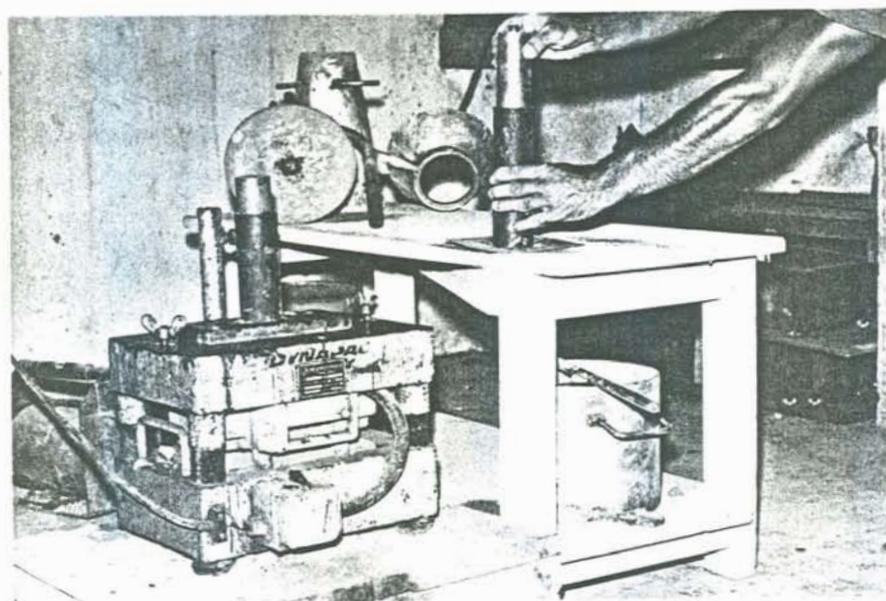


FOTO 4 - Moldagem por vibração e desmoldagem manual dos blocos.



FOTO 5 - Autoclave utilizada e aparato de colocação dos blocos.

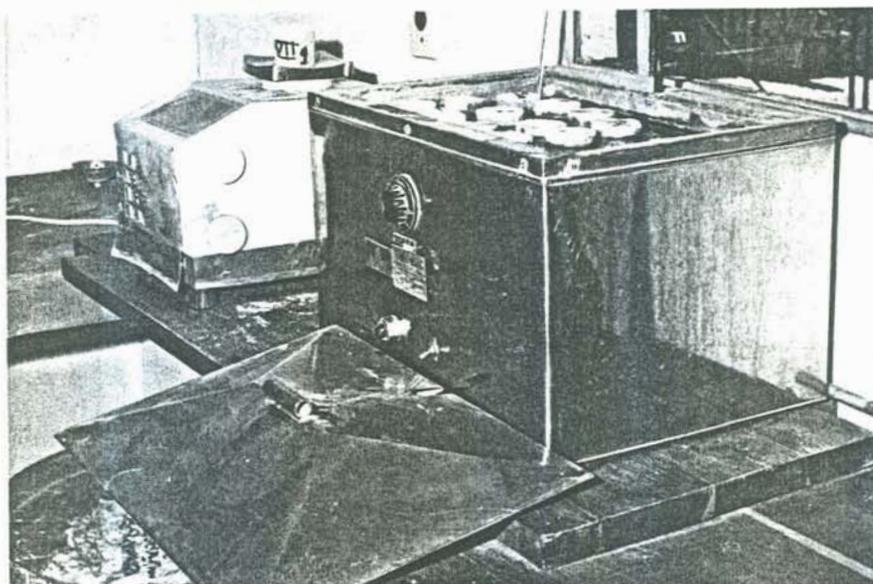
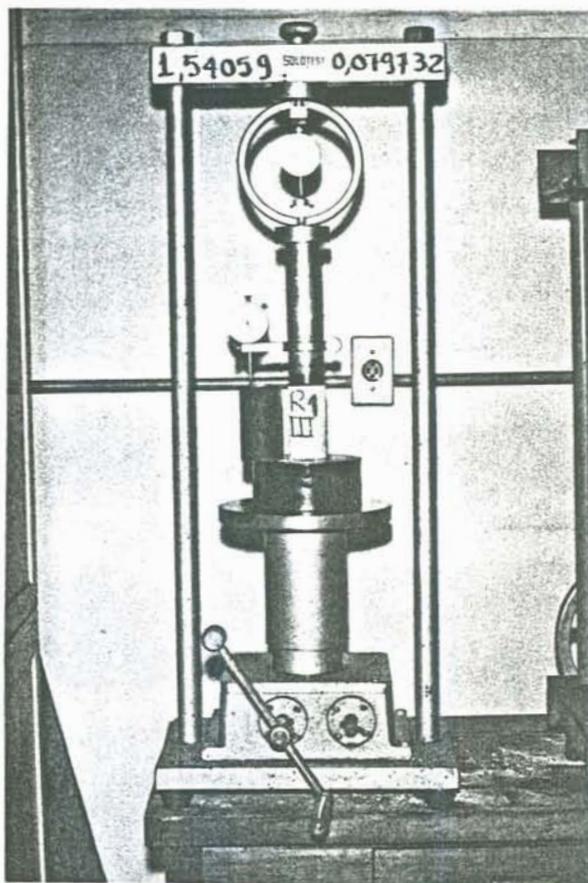


FOTO 6 - Blocos imersos e balança de pesagem.



FOTO 7 - Estufa de secagem dos blocos.

FOTO 8 - Ensaio de resistência à compressão com medida das deformações.



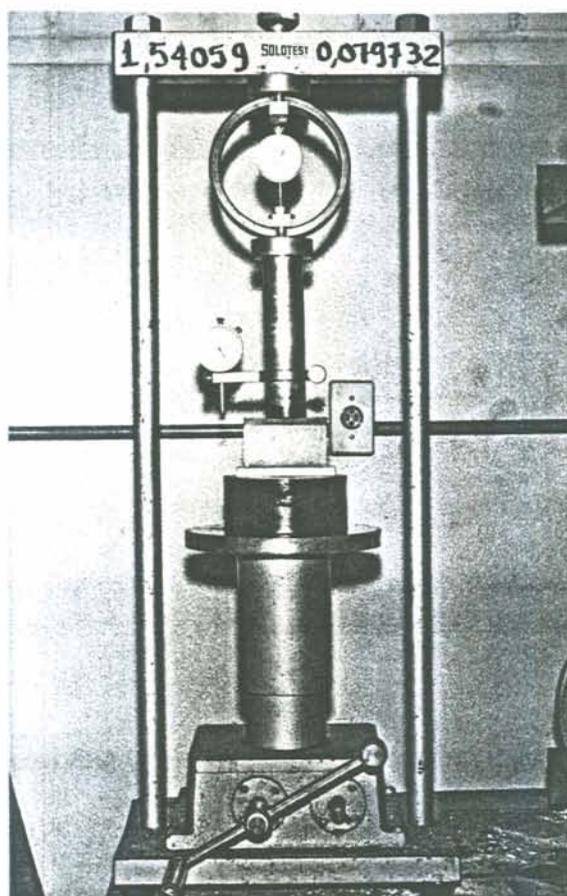


FOTO 9 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

#### 4.4 - Apresentação dos resultados.

Neste item, apresenta-se os resultados referentes aos ensaios a que foram submetidos os corpos de prova reduzidos, na busca da visualização da presteza da matéria-prima da região para a confecção de blocos silico-calcários e do efeito das variações do processo produtivo usando esta matéria-prima.

Estes resultados foram encontrados dentro do presente estudo com o uso dos materiais já apresentados e caracterizados, empregando-se os equipamentos e métodos de produção e ensaio também elucidados anteriormente, estando, logo, estes resultados ligados a estes fatores, sendo resultados específicos para as condições do estudo aqui desenvolvido.

#### 4.4.1 - Estudo da conveniência das matérias-primas locais, com o uso do processo produtivo padrão.

O Quadro 21 apresenta os resultados relativos à Variação Dimensional e de Massa por autoclavagem, Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente, Absorção d'água, Resistência à Compressão Simples, Resistência à Tração e Módulo de Elasticidade à compressão, para as doze (12) misturas estudadas.

Estes resultados são apresentados na forma das Figuras 4.5 à 4.16 para melhor visualização das variações ocorridas.

Todos os corpos de prova ensaiados foram confeccionados pelo processo padrão seguinte:

- Pressão de moldagem: 200 Kg/cm<sup>2</sup>
- Tempo sob máxima pressão: 10 seg.
- Pressão de autoclavagem: 12,5 atm
- Tempo de autoclavagem: 06 horas.

##### 4.4.1.1 - Variações dimensionais e de massa por autoclavagem (O, h e M).

###### 4.4.1.1.1 - Resultados.

O quadro 21 apresenta os valores das variações dimensionais do diâmetro e da altura e de massa por autoclavagem, em relação às variações nas percentagens da mistura.

QUADRO 21 - Resultados das variações na matéria-prima na mistura. na percentagem da

Mistura	Losagem			Variações por autoclavagem			Massa específica aparente (Mea) g/cm <sup>3</sup>	Absorção d'água (Aa) %	Porosidade aparente (Pa) %	Compressão simples (Rc) MPa	Tração por compressão diametral (Rt) MPa	Módulo de elasticidade (E) x 10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
	Areia	Cinza	Cal	ΔL %	Δh %	ΔM %						
I	95	-	5	1,78	- 0,48	- 2,78	1,80	12,9	31,2	4,23	0,46	9,18
II	93	-	7	1,63	0,52	- 1,58	1,81	12,5	30,6	5,80	0,56	9,93
III	91	-	9	1,98	0,08	- 5,97	1,83	12,5	29,4	6,51	0,66	10,34
IV	90	5	5	1,31	1,04	- 4,00	1,83	12,3	29,4	5,65	0,89	13,51
V	88	5	7	2,24	0,39	- 3,56	1,84	11,5	27,9	5,62	0,81	10,38
VI	86	5	9	2,17	0,91	- 3,33	1,80	11,6	29,2	4,72	0,69	4,72
VII	80	15	5	1,86	0,77	- 2,60	1,86	12,9	27,8	6,05	1,13	10,06
VIII	78	15	7	1,87	1,05	- 1,39	1,80	15,4	30,9	8,25	0,69	7,27
IX	75	15	9	1,47	1,34	- 1,19	1,70	16,5	33,4	6,03	0,56	6,48
X	70	25	5	1,99	0,79	- 2,59	1,70	16,0	33,1	6,19	1,66	7,00
XI	65	25	7	3,96	1,73	- 2,55	1,69	16,1	32,8	11,50	1,67	11,17
XII	65	25	9	4,05	1,73	- 1,79	1,56	19,5	35,3	7,61	1,25	6,96

#### 4.4.1.1.2 - Análise dos resultados.

Devido ao fato de, na autoclave usada, o vapor ser gerado por aquecimento de uma quantidade de água colocada dentro da autoclave, em um nível inferior ao dos blocos, ocorreram muitas variações nas medidas das dimensões e da massa dos blocos após autoclavagem, principalmente pela desagregação de partes do material e pelo achatamento de alguns blocos pela ação do vapor antes do endurecimento.

Isto, ligado ainda ao nível de precisão necessário, não nos permitiu um relacionamento mais direto desta variações com as diferentes proporções das misturas.

Ao mesmo tempo nota-se uma perda de massa nesta fase do processo, em todas as misturas estudadas.

Pode-se observar, no entanto, o aumento das dimensões dos elementos pela autoclavagem, sendo este aumento mais acentuado para as misturas em que foi utilizada a cinza.

#### 4.4.1.2 - Massa específica aparente (Mea).

##### 4.4.1.2.1 - Resultados.

A figura 4.5 apresenta a relação entre a Massa específica aparente e o teor de cal da mistura, em função de diferentes teores de cinza.

A figura 4.6 nos mostra a relação entre a Massa específica aparente e a percentagem de cinza volante da mistura, em função do teor de CaO.

#### 4.4.1.2.2 - Análise dos resultados.

No quadro 21, pode-se observar que o máximo valor da Mea foi obtido para a mistura VII, com 5 % de CaO e 15 % de cinza, tendo  $1,86 \text{ g/cm}^3$ , enquanto a mínima Mea, de  $1,56 \text{ g/cm}^3$ , para a mistura XII, com 9 % de CaO e 25 % de cinza, apresentando uma variação total de  $0,3 \text{ g/cm}^3$ .

Pela figura 4.5, nota-se que, para as misturas sem a adição de cinza a Mea aumenta em razão direta com o aumento da percentagem de CaO, no entanto, com a adição da cinza, esta relação começa a se inverter para pequenas proporções de cinza (5 %) e se inverte para as proporções maiores de 15 a 25 %. Logo, dentro deste trabalho, quanto maior a proporção de cinza para valores menores da proporção de CaO se encontrou a máxima Mea.

As misturas com 25 % de cinza são as que apresentaram menor Mea para todas as percentagens de CaO.

Nota-se, também, que as variações da Mea são mais acentuadas, em relação a variação da percentagem de cal, para teores mais elevados de cinza, logo, a percentagem de CaO tem maior influência sobre a Mea quanto maior o conteúdo de cinza da mistura.

A figura 4.6 nos apresenta o valor da Mea variando em relação à percentagem de cinza. Esta variação para a percentagem de 5 % de cal é crescente até 15 % de cinza; decrescendo após este valor. Para 7 % de cal cresce até 5 % de cinza e para 9 % de cal é decrescente em relação ao aumento da percentagem de cinza. Neste caso, quanto maior a proporção de cal, para valores menores da proporção de cinza, foi encontrado o máximo valor de Mea.

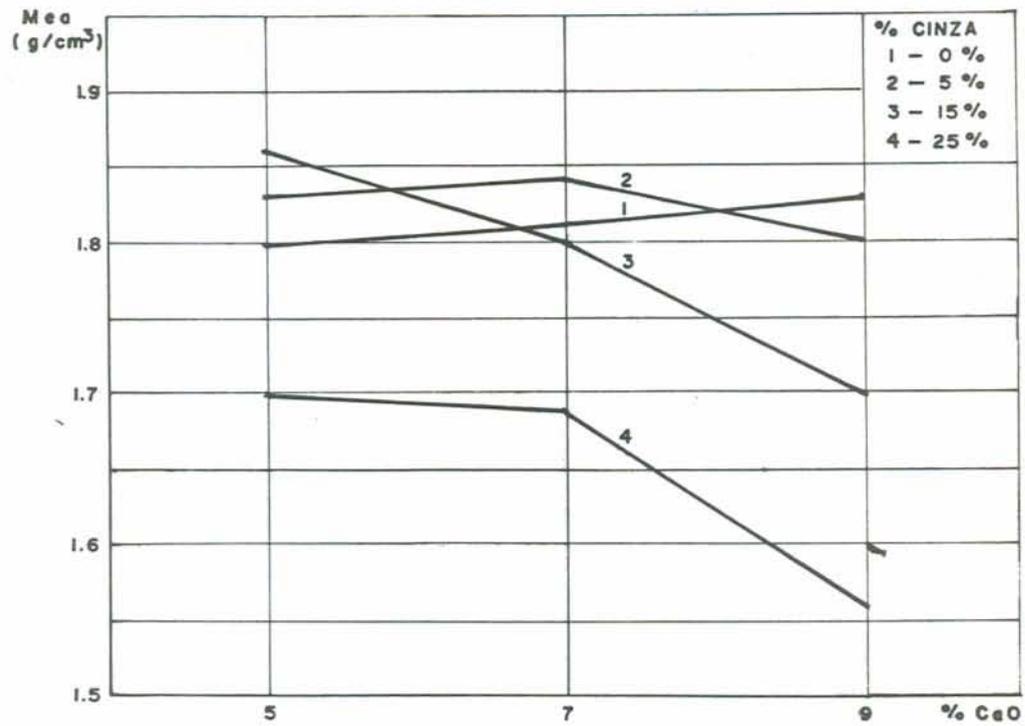


FIGURA 4.5 - Relação entre a Massa Específica Aparente e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante.

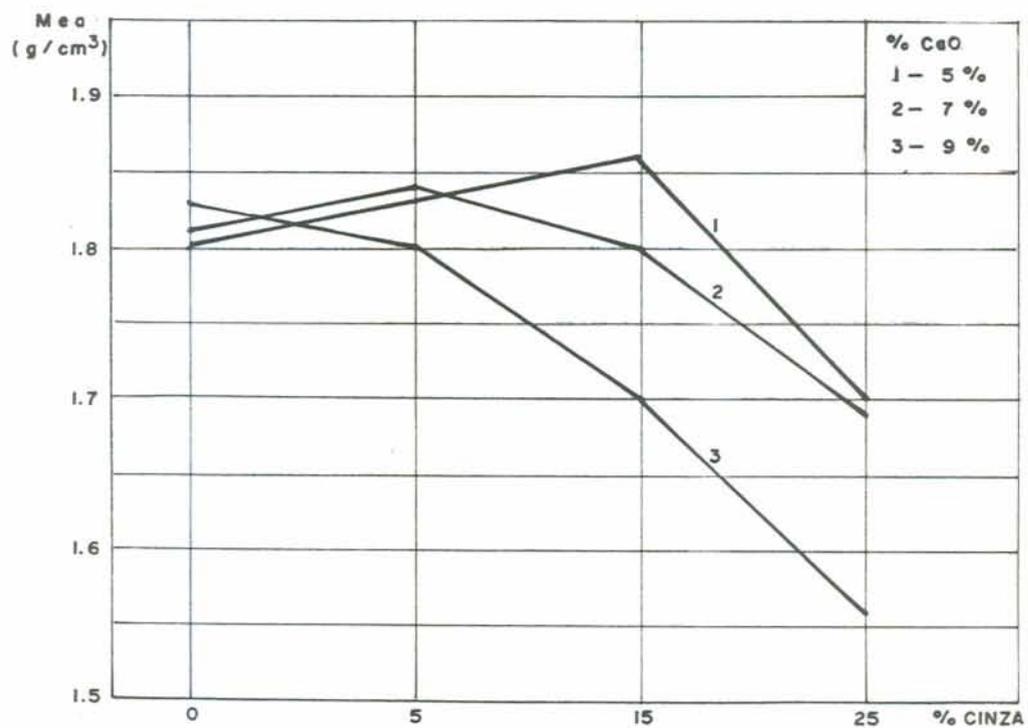


FIGURA 4.6 - Relação entre a Massa Específica Aparente e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

Com exceção das misturas sem a adição de cinza, o mínimo valor da Mea é encontrado para o conteúdo de CaO de 9 %.

As variações da Mea, em relação a percentagem de cinza, são mais acentuadas para conteúdos mais altos de CaO. Logo, a quantidade de cinza tem maior influência sobre a Mea quanto maior a percentagem de CaO.

Tanto o conteúdo de CaO como o de cinza têm um nível de importância sobre a massa específica aparente dos produtos resultantes. No entanto, a alteração da percentagem de cinza possibilita uma gama maior de variações dos valores desta característica, embora a amplitude de variação da percentagem de cinza seja maior.

#### 4.4.1.3 - Porosidade aparente (Pa).

##### 4.4.1.3.1 - Resultados.

Os valores da Porosidade aparente dos produtos em relação ao conteúdo de CaO da mistura, em função de teores variáveis de cinza, se encontram na Figura 4.7.

A Figura 4.8 apresenta a relação entre esta característica e o teor de cinza da mistura para diferentes teores de CaO.

##### 4.4.1.3.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 21 apresenta uma variação da Pa entre o valor máximo de 39,3 % para a mistura XII, com 9 % de CaO e 25 % de cinza, e o valor mínimo de 27,8 % para a mistura VII, com 5 % do

CaO e 15 % de cinza; logo, com uma variação de 11,5 % entre os valores extremos.

Da Figura 4.7, que relaciona esta característica com a percentagem de CaO da mistura, observa-se que, para as misturas

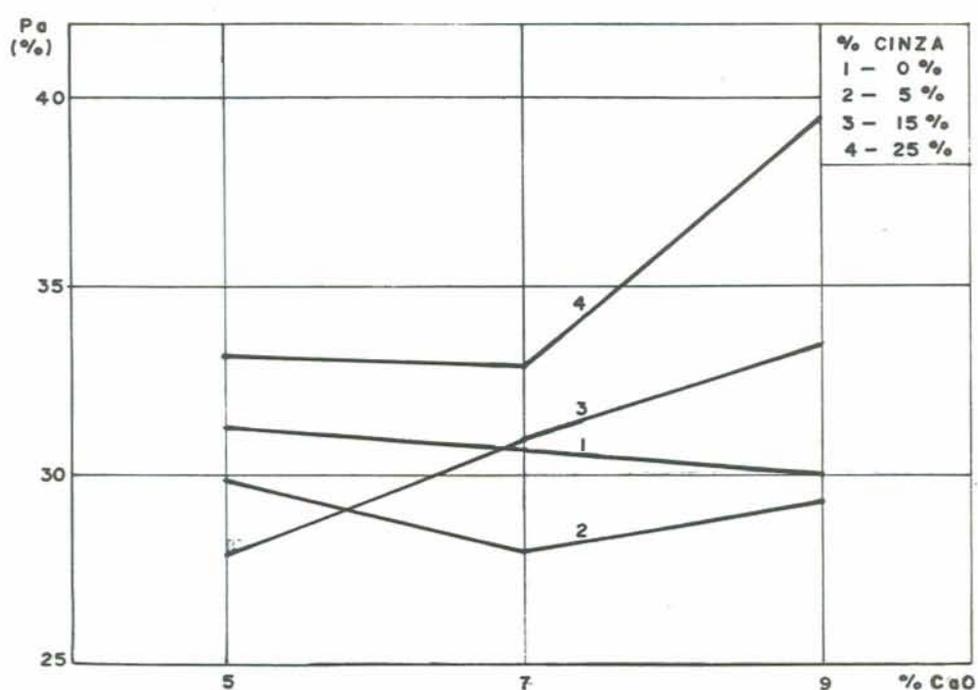


FIGURA 4.7 - Relação entre a Porosidade Aparente e o teor de CaO, em função do teor de cinza.

sem a adição de cinza a Pa decresce com o aumento do conteúdo de CaO. Com 5 % de cinza, a Pa é mínima para 7 % de cal, com 15 % de cinza para 9 % de cal e para 25 % de cinza volta a ser mínima para 7 % de cal.

Até o conteúdo de cinza 15 %, quanto maior a percentagem de cinza, menor é a percentagem de CaO que gera produtos com a mínima Pa.

Os máximos valores de Pa, neste trabalho, foram encontrados

para a percentagem de 25 % de cinza, independente da quantidade de cal.

As variações da Pa em relação à percentagem de CaO, são mais acentuadas para os conteúdos maiores de cinza; logo, tem maior influência a percentagem de CaO sobre a Pa.

A Figura 4.8 mostra a Pa tendo valor mínimo variando em relação à percentagem de cinza, sendo quanto menor a percentagem de CaO, maior a percentagem de cinza que gera produtos de mínima Pa.

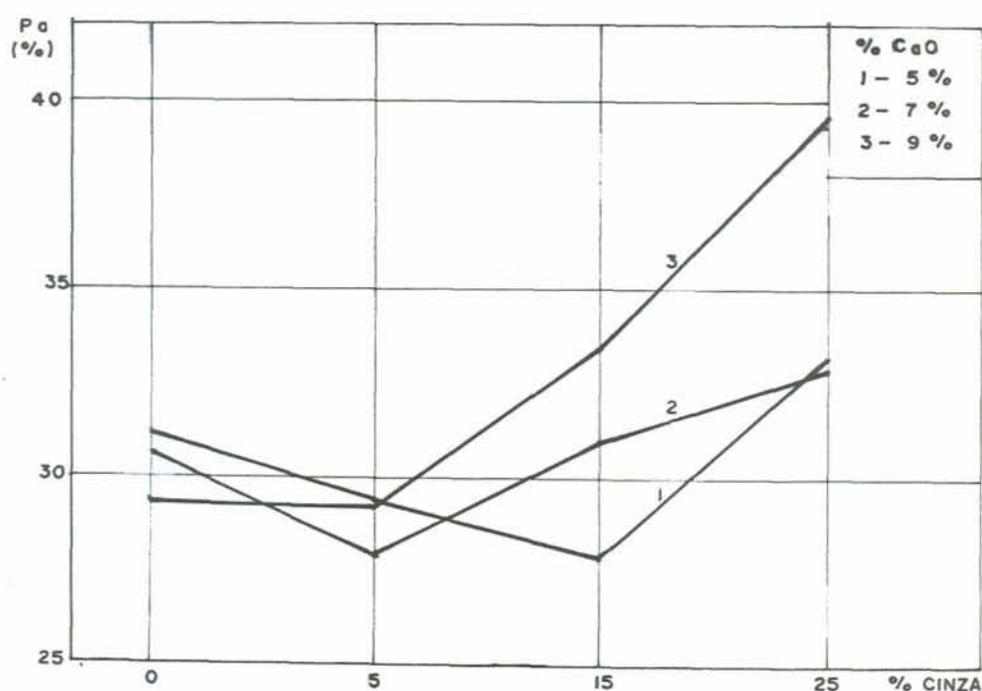


FIGURA 4.8 - Relação entre a Porosidade Aparente e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

O máximo valor da Pa para os produtos com zero e 5 % de cinza é encontrado para um conteúdo de 5 % de CaO, para 15 e 25 %

de cinza para um conteúdo de 9 % de CaO.

Embora os dois materiais estudados tenham significado em relação à Porosidade aparente dos produtos resultantes, a cinza, principalmente devido à variação do conteúdo mais amplo, apresenta um maior grau de importância neste sentido.

#### 4.4.1.4 - Absorção d'água (Aa).

##### 4.4.1.4.1 - Resultados.

Na Figura 4.9, são apresentados os valores da Absorção d'água dos corpos de prova em relação à percentagem de CaO da mistura moldada, em função dos diferentes teores de cinza empregados.

Na Figura 4.10, a relação é feita entre a Absorção d'água e o teor de cinza volante em função de diferentes conteúdos de CaO.

##### 4.4.1.4.2 - Análise dos resultados.

Pelo Quadro 21, observa-se um intervalo de variação da absorção d'água dos corpos de prova de 8 %, sendo o valor mínimo de 11,5 % na mistura V, com 7 % de CaO e 5 % de cinza, e o valor máximo de 19,5 para a mistura XII, com 9 % de CaO e 25 % de cinza.

Na Figura 4.9, vê-se, para os teores de cinza de zero e 5 %, que a absorção d'água máxima se dá nos elementos com menor teor de CaO (5 %), decrescendo para percentagens maiores de CaO. Para os teores de cinza de 15 % e 25 %, esta absorção máxima se

dá para o maior teor de CaO (9 %), decrescendo com o decréscimo deste teor.

Para teores maiores de cinza, a variação da absorção d'água é mais acentuada em relação ao conteúdo de CaO; logo, tendo maior grau de influência sobre a Aa este conteúdo.

Nas misturas realizadas, para todas as percentagens de CaO, a mínima absorção é encontrada para teores de cinza de 5 % e a máxima para teores de 25 %.

A Figura 4.10 nos dá o efeito da adição de cinza sobre a absorção d'água, em misturas com o conteúdo de CaO mantido constante.

Para os diversos teores de CaO, a Aa, em misturas de apenas areia e cal, decresceu com adição de uma pequena porção de cinza de 5 %, crescendo após para porções mais elevadas de 15 e 25 %.

Esta variação da absorção d'água com a variação do conteúdo de cinza é mais acentuada para teores maiores de CaO, sendo o valor da absorção d'água mais sensível ao aumento do teor de cinza.

Também viu-se que, com alteração do conteúdo de cinza, embora esta alteração seja muito mais ampla, as variações da Aa se dão com maior amplitude, sendo, para esta característica, de maior grau de importância a alteração do teor de cinza que o teor de CaO, dentro das faixas de variações utilizadas.

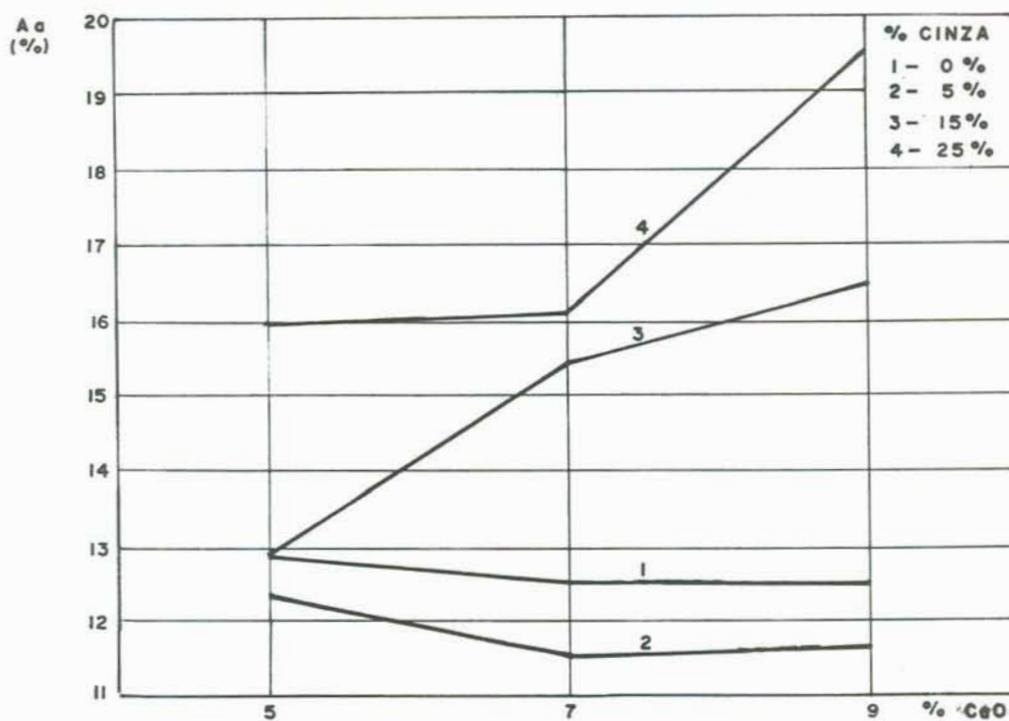


FIGURA 4.9 - Relação entre a Absorção d'água e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante.

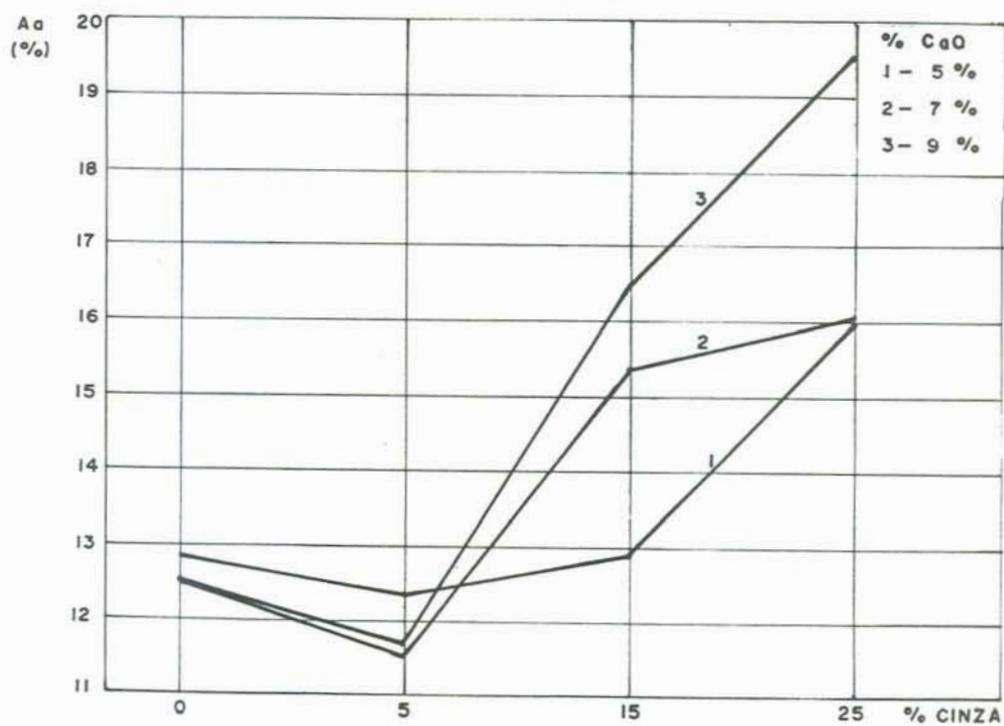


FIGURA 4.10 - Relação entre a Absorção d'água e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

#### 4.4.1.5 - Resistência à compressão simples (Rc).

##### 4.4.1.5.1 - Resultados.

A Figura 4.11 representa a relação existente entre a Resistência à compressão simples dos corpos de prova ensaiados e a percentagem de CaO utilizada na mistura, em função dos diferentes teores de cinza empregados.

A Figura 4.12 representa a relação existente entre a Resistência à compressão e a percentagem de cinza da mistura, em função dos diferentes teores de CaO.

##### 4.4.1.5.2 - Análise dos resultados.

A observação do Quadro 21 nos mostra a ampla variação da resistência à compressão dos elementos moldados, com a variação no conteúdo de CaO e cinza, possuindo um mínimo de 4,23 MPa, para a mistura I, com 5 % de CaO e sem adição de cinza, e um máximo de 11,50 MPa para a mistura XI, com 7 % de cal e com uma adição de cinza de 25 %. Logo, uma variação total de 7,27 MPa.

Na Figura 4.11 observa-se, para as misturas sem adição de cinza, um crescimento da Rc com o aumento do teor de CaO. Já para as misturas com adição de 5 % de cinza, há um decréscimo da Rc em relação ao aumento do teor de CaO, e naquelas com 15 e 25 %, o valor desta característica aumenta até 7 % de CaO, decrescendo para um teor de 9 %.

As variações mais acentuadas da Rc em relação ao conteúdo de CaO se dão para o teor de 25% de cinza.

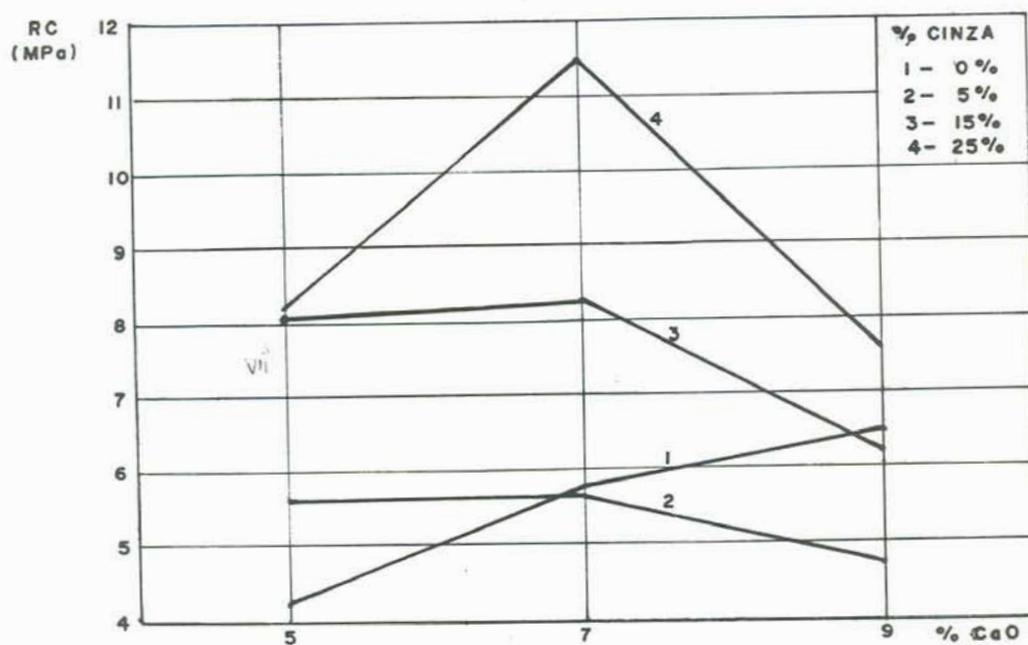


FIGURA 4.11 - Relação entre a resistência à compressão e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante.

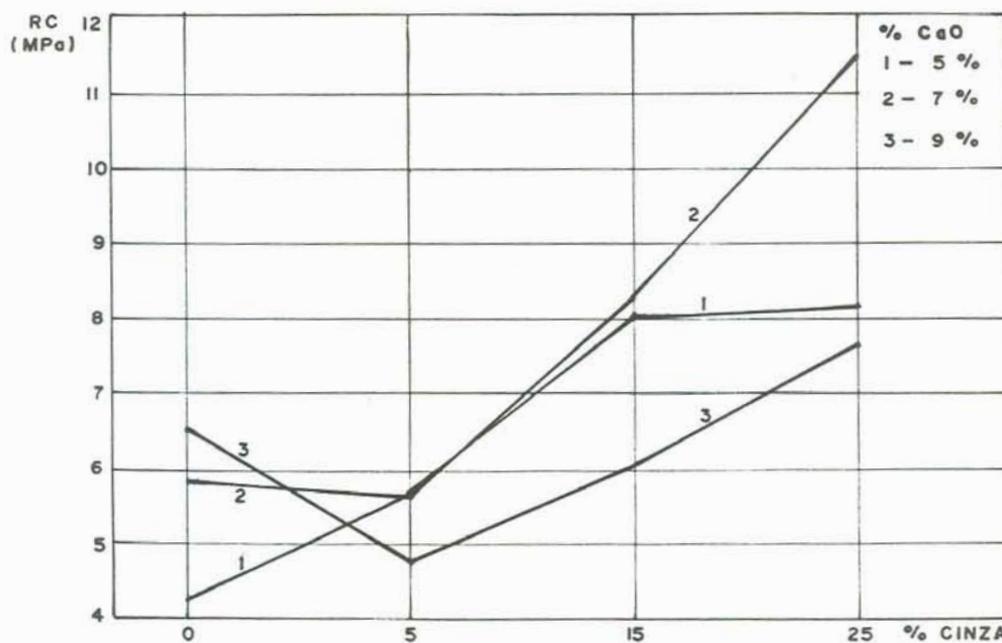


FIGURA 4.12 - Relação entre a Resistência à compressão e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

Para todos os teores de CaO, a máxima resistência à compressão é encontrada para um teor de 25 % de cinza. A mínima Rc para as misturas com 5 % de CaO se dá sem a adição de cinza e para as misturas com 7 % e 9 % de CaO com a adição de 5 % de cinza.

A Figura 4.12 apresenta um acréscimo de Rc com o aumento do teor de cinza para um conteúdo de CaO de 5 %. Para conteúdos de 7 e 9 %, esta Rc decresce com a adição de uma pequena porção de 5 % de cinza, aumentando para adições maiores de 15 % e 25 %.

Para uma percentagem de 7 % de CaO, as variações da Rc em relação ao conteúdo de cinza são mais bruscas, tendo maior influência a adição de cinza.

Dentro dos teores usados de CaO e cinza, a última apresenta maior influência sobre a Rc, possuindo esta característica variações mais acentuadas com a alteração do teor de cinza.

Observa-se que na literatura estudada é citado que a resistência à compressão de blocos S.C. aumenta com o aumento do teor de CaO até um teor ótimo, e que este teor ótimo é maior para maiores teores de material fino na mistura. Neste estudo, a relação crescente da Rc com o teor de CaO se dá apenas para as misturas sem adição de cinza e a relação do teor ótimo de CaO com o conteúdo de finos se dá para as misturas com a adição de cinza, que apresentam para 5 % de cinza (finos) um valor máximo de Rc para 5 % de CaO e com 15 e 25 % de cinza para 7 % de CaO.

#### 4.4.1.6 - Resistência à tração (Rt).

##### 4.4.1.6.1 - Resultados.

Na Figura 4.13 tem-se a relação existente entre a Resistência à tração dos elementos resultantes e a percentagem de CaO da mistura, em função dos diversos teores de cinza.

Na figura 4.14, a relação se dá entre a Resistência à tração e o conteúdo de cinza das misturas, mantidos constantes os teores de CaO para cada linha desta relação.

##### 4.4.1.6.2 - Análise dos resultados.

Dentro do Quadro 21, na coluna referente à Resistência à tração, observa-se a amplitude de variação desta característica para os elementos ensaiados. Esta variação se dá entre um mínimo de 0,46 MPa para a mistura I, com 5 % de CaO e sem adição de cinza, e um máximo de 1,67 MPa, para a mistura XI, com 7 % de CaO e 25 % de cinza, sendo a variação total de 1,21 MPa.

Na Figura 4.13, observa-se o valor da Rt ser crescente com o aumento do teor de CaO para as misturas sem a adição de cinza. Para as misturas com 5 e 15 % de cinza, esta relação se inverte decrescendo para maiores teores de CaO, e para 25 % de cinza, o valor da Rt se mantém aproximadamente estável para 5 e 7 % de CaO, decrescendo para 9 % de CaO.

As variações mais acentuadas da Rt em relação ao teor de CaO se dão para o teor de cinza de 15 %.

As máximas Rt para todos os teores de CaO são encontradas

para teores de cinza de 25 %. A mínima  $R_t$  é encontrada, para 5 e 7 % de  $\text{CaO}$ , nas misturas sem adição de cinza e para 9 % de  $\text{CaO}$  nas misturas com adição de 15 % de cinza.

A Figura 4.14 apresenta um acréscimo da  $R_t$  com o aumento do teor de cinza para as misturas com 5 % de  $\text{CaO}$ . Para um conteúdo de  $\text{CaO}$  de 7 a 9 %, este acréscimo se dá para a adição de 5 % de cinza, havendo um decréscimo para 15 % de cinza, voltando a crescer até um valor máximo para 25 % de cinza.

A máxima  $R_t$  se dá nas misturas sem cinza para um teor de 9 % de  $\text{CaO}$ . Nas misturas com 5 e 15 % de cinza para um teor de 5 % de  $\text{CaO}$  e para um teor de 25 % de cinza para 7 % de  $\text{CaO}$ .

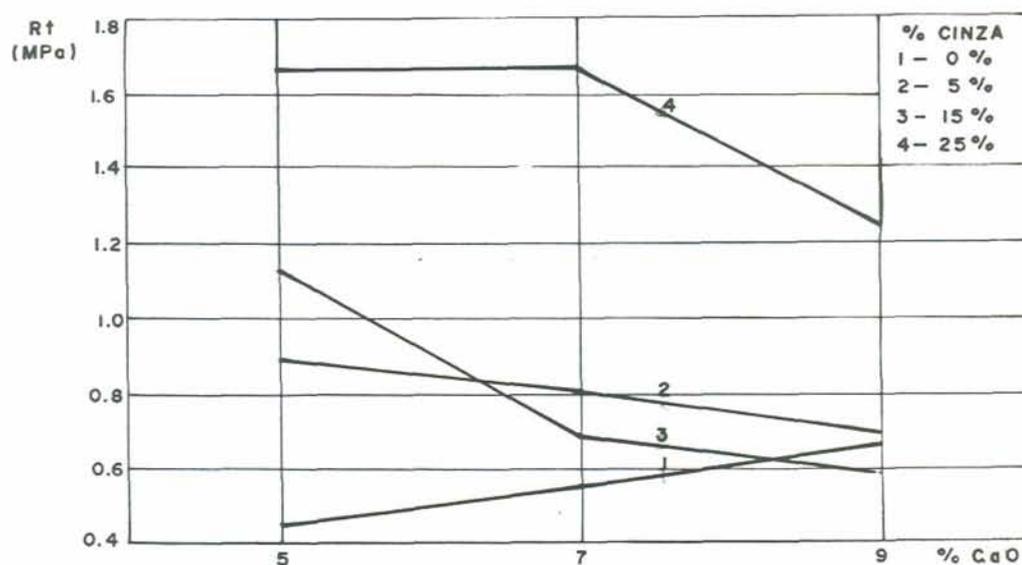


FIGURA 4.13 - Relação entre a Resistência à tração e o teor de  $\text{CaO}$ , em função do teor de cinza volante.

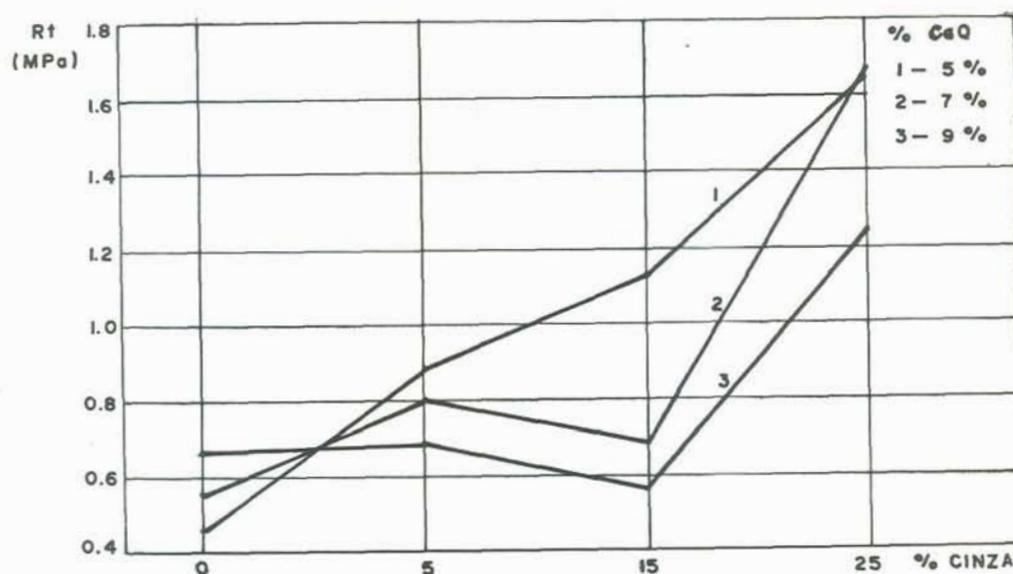


FIGURA 4.14 - Relação entre a Resistência à tração e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

A mínima  $R_t$  se dá para 5 % de CaO, sem a adição de cinza, e para 9 % de CaO para as demais misturas com adição deste material.

As variações mais acentuadas da  $R_t$  em relação às variações na percentagem de cinza se dá para as misturas com 5 % de CaO; logo, a cinza tem maior influência neste caso.

Tanto o teor de cal como de cinza possuem importância sobre a  $R_t$  dos elementos, no entanto, dentro dos conteúdos utilizados, a alteração do teor de cinza acarreta mudanças mais acentuadas nesta característica, tendo, pois, maior significado.

#### 4.4.1.7 - Módulo de elasticidade à compressão (E).

#### 4.4.1.7.1 - Resultados.

A apresentação da relação entre o Módulo de elasticidade à compressão com o conteúdo de CaO é feita na Figura 4.15, em função do teor de cinza utilizado.

Na Figura 4.16 é apresentada a relação entre o Módulo de elasticidade e o conteúdo de cinza, em função do teor de CaO.

#### 4.4.1.7.2 - Análise dos Resultados.

No Quadro 21 é visto que o módulo de elasticidade varia, com as percentagens dos componentes da mistura, entre um valor mínimo de  $4720 \text{ Kg/cm}^2$  para a mistura VI, com 9 % de cal e 5 % de cinza, e  $13510 \text{ Kg/cm}^2$  para a mistura IV, com 5 % de cal e 5 % de cinza, logo com uma variação total de  $8790 \text{ Kg/cm}^2$ .

Na Figura 4.15, o Módulo de elasticidade apresenta valores crescentes com o aumento do teor de CaO, para as misturas sem a adição de cinza, tendo um valor máximo para 9 % de CaO e um mínimo para 5 % de CaO. Já com a adição de 5 e 15 % de cinza esta relação se inverte, sendo decrescente com o aumento do teor de CaO, apresentando valores máximos para 5 % de CaO e mínimo para 9 %. Com 25 % de cinza, o valor de E é máximo na mistura com 7 % de CaO e mínimo com 9 %.

A variação mais acentuada de E, com o teor de cal, se dá para um teor de cinza de 5 %, e a menos acentuada para as misturas sem cinza.

A Figura 4.16 apresenta o valor de E oscilando bastante com a alteração do teor de cinza da mistura, não apresentando um

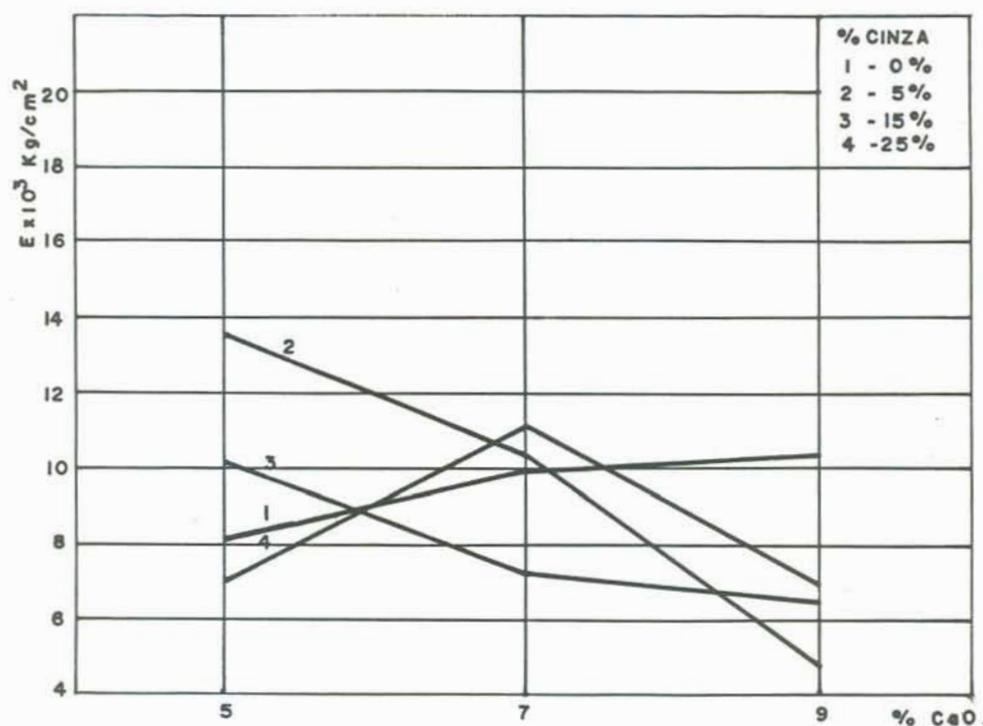


FIGURA 4.15 - Relação entre o Módulo de Elasticidade à Compressão e o teor de CaO, em função do teor de cinza volante.

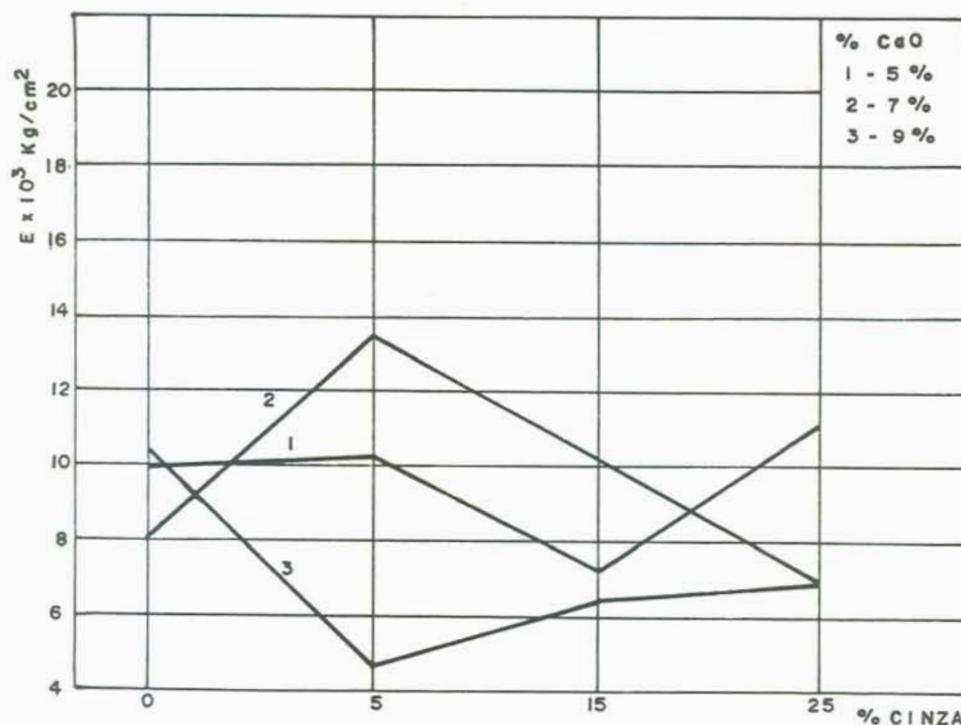


FIGURA 4.16 - Relação entre o Módulo de Elasticidade e o teor de cinza volante, em função do teor de CaO.

padrão aparente de variação.

As misturas com 5 % de CaO apresentam um valor máximo de E para 25 % de cinza, e um mínimo para 15 % de cinza. As misturas com 7 % de CaO têm um valor máximo de E para 5 % de cinza e o mínimo para 25 %, e as com 9 % de CaO têm um máximo para a mistura sem adição de cinza e um mínimo para 5 % de cinza.

Para todas as misturas em que foi adicionada a cinza, o mínimo valor de E se encontra para um teor de 9 % de cal e aquelas sem adição de cinza para um teor de 7 %.

#### 4.4.2 - Estudo do efeito das variações do processo produtivo padrão sobre os produtos S.C. resultantes.

A mistura escolhida para este estudo foi a mistura VII, com 5 % de CaO, 15 % de cinza e 80 % de areia, devido principalmente aos seguintes fatores:

- consumo não exagerado de cinza, o que viria a alterar muito profundamente a coloração esbranquiçada do produto, fator técnico positivo, sendo, também, fator econômico devido ao transporte;
- consumo reduzido de cal;
- resistência à compressão de maior valor que as misturas com menor teor de cinza e semelhante àsquelas com teor mais elevado, com o mesmo teor de cal;
- resistência à compressão com valor suficiente para os usos mais comuns de blocos deste tipo;
- baixa absorção d'água, ao contrário de outras misturas também com boa resistência.

O Quadro 22 apresenta os resultados da Variação Dimensional e de Massa por autoclavagem, Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente, Absorção d'água, Resistência à Compressão, Resistência à Tração e Módulo de Elasticidade à compressão para as 18 variações do processo produtivo efetuadas. Todas as variações foram efetuadas sobre a mistura VII já citada.

Estes resultados são também apresentados nas Figuras 4.17 a 4.28, onde podem ser melhor visualizados os efeitos das variações do processo produtivo sobre as características dos corpos de provas resultantes.

Nas figuras das variações das características com a alteração do tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem, foi feita uma separação entre as moldagens por pressão e por vibração e vibro-compressão, devido ao não conhecimento de relações entre estas diferentes naturezas de moldagem de trabalhos anteriores.

#### 4.4.2.1 - Variações dimensionais e de massa por autoclavagem (O, h, M).

##### 4.4.2.1.1 - Resultados.

O Quadro 22 apresenta os resultados das variações dimensionais do diâmetro e da altura e de massa por autoclavagem para as 18 (dezoito) variações do processo produtivo.

QUADRO 22 - Resultados das variações do processo produtivo sobre os corpos de prova obtidos (mistura VII).

Variação	Tipo de moldagem	Pressão Autoclave (Atm)	Variações por autoclave			Massa esp. aparente (Ma)g/cm <sup>3</sup>	Absorção d'água (Aa) %	Porosidade aparente (Pa) %	Compressão simples (Rc) MPa	Tração p/compressão diametral (Rt) MPa	Módulo de elasticidade (L) x 10 <sup>-4</sup> kg/cm <sup>2</sup>
			Diâmetro (M)	Altura (At)	Massa (M)						
1	Pressão 100kg/cm <sup>2</sup>	12,5	2,12	0,77	- 3,79	1,77	14,6	34,2	7,36	0,98	11,24
2	Pressão 200kg/cm <sup>2</sup>	12,5	2,13	0,77	- 2,60	1,86	12,9	27,6	8,05	1,13	10,06
3	Pressão 300kg/cm <sup>2</sup>	12,5	2,05	0,84	- 4,71	1,94	13,3	26,6	9,20	1,50	14,05
4	Vibração 1 min.	12,5	2,09	0,86	- 2,95	1,70	15,0	37,1	6,32	0,89	10,37
5	Vibração 2 min.	12,5	2,60	0,62	- 3,45	1,78	14,0	31,5	8,24	0,94	19,67
6	Vibro-compressão 1 min + 100kg/cm <sup>2</sup>	12,5	2,27	0,40	- 6,58	1,78	14,9	32,8	8,21	0,85	17,89
7	Pressão 100kg/cm <sup>2</sup>	16,0	2,39	0,49	- 5,31	1,75	14,0	33,3	9,81	1,69	9,48
8	Pressão 200kg/cm <sup>2</sup>	16,0	2,45	0,54	- 3,32	1,84	14,3	30,1	10,00	1,25	9,41
9	Pressão 300kg/cm <sup>2</sup>	16,0	2,17	1,71	- 3,38	1,86	15,2	29,6	8,54	1,39	8,25
10	Vibração 1 min.	16,0	2,73	0,58	- 2,50	1,79	16,1	25,9	8,23	0,97	11,52
11	Vibração 2 min.	16,0	2,75	0,66	- 4,03	1,80	15,3	26,1	8,90	1,07	17,37
12	Vibro-compressão 1 min + 100kg/cm <sup>2</sup>	16,0	2,12	0,36	- 2,90	1,79	14,7	31,9	6,25	1,21	15,15
13	Pressão 100kg/cm <sup>2</sup>	9,0	2,13	0,76	- 2,54	1,70	14,1	34,6	7,35	1,31	7,41
14	Pressão 200kg/cm <sup>2</sup>	9,0	2,12	0,76	- 2,39	1,71	15,6	34,5	7,74	1,32	8,60
15	Pressão 300kg/cm <sup>2</sup>	9,0	2,19	0,79	- 1,71	1,76	14,5	31,9	7,80	1,38	7,81
16	Vibração 1 min.	9,0	2,49	1,67	- 1,67	1,51	18,1	37,2	3,76	0,72	6,74
17	Vibração 2 min.	9,0	2,40	1,97	- 3,12	1,63	18,2	34,5	4,56	0,79	11,34
18	Vibro-compressão 1 min + 100kg/cm <sup>2</sup>	9,0	2,13	0,50	- 3,66	1,77	15,3	32,5	7,40	1,31	6,39

#### 4.4.2.1.2 - Análise dos resultados.

Devido aos mesmos fatores apresentados quando estudadas as 12 (doze) misturas, com variações nas percentagens da matéria-prima, as medidas das variações das dimensões e da massa dos corpos de prova foram também, neste caso, bastante alteradas, não permitindo, com isso, um relacionamento mais apurado destas variações com os diferentes processos produtivos.

Foi possível apenas a observação de um aumento em ambas as dimensões e de uma diminuição da massa, durante o processo de autoclavagem, em todas as variações dos processos de moldagem e autoclavagem empregados.

#### 4.4.2.2 - Massa específica aparente (Mea).

##### 4.4.2.2.1 - Resultados.

Na Figura 4.17, as variações na pressão de autoclavagem são relacionadas à Massa específica aparente dos produtos resultantes, em função do tipo de moldagem do processo produtivo.

Na Figura 4.18, a relação é feita entre os diferentes tipos de moldagem e a Massa específica aparente, agora em função da pressão de autoclavagem do processo.

##### 4.4.2.2.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 apresenta uma variação da Mea entre um mínimo de 1,66 g/cm<sup>3</sup>, para a variação do processo produtivo 16, com uma

pressão de autoclavagem de 9 atm e uma moldagem com 1 (um) minuto de vibração, e no máximo de 1,94 g/cm<sup>3</sup> para a variação 3, com uma pressão de autoclavagem de 12,5 atm e uma moldagem por pressão com 300 kg/cm<sup>2</sup>. Este intervalo de variação da Mea é de 0,28 g/cm<sup>3</sup>.

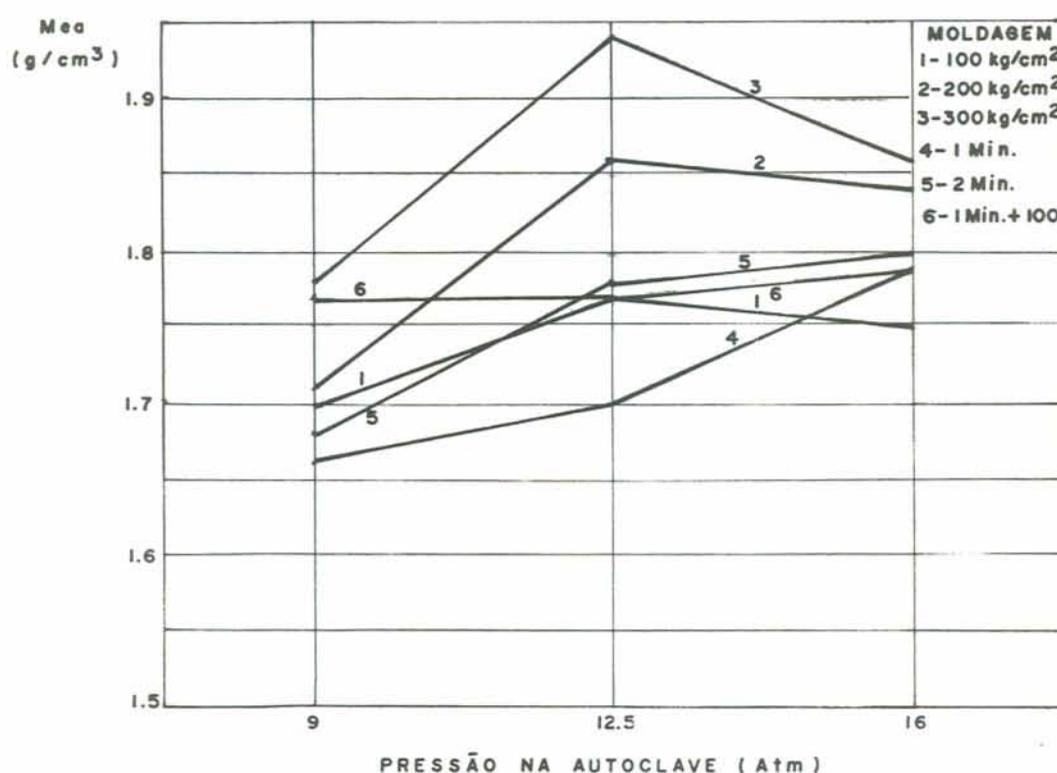


FIGURA 4.17 - Relação entre a Massa Específica Aparente e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

A Figura 4.17 mostra, para as curvas de moldagem por pressão, a Mea crescente de 9 para 12,5 atm e decrescendo para 16 atm. Tendo um mínimo em 9 atm e um máximo para 12,5 atm. Para as curvas de moldagem por vibração e vibro-compressão o valor mínimo se dá para 9 atm crescendo até um máximo para 16 atm.

Para todas as pressões de autoclavagem, a máxima Mea se deu para a moldagem por pressão de 300 Kg/cm<sup>2</sup>. A mínima Mea, para 9 e

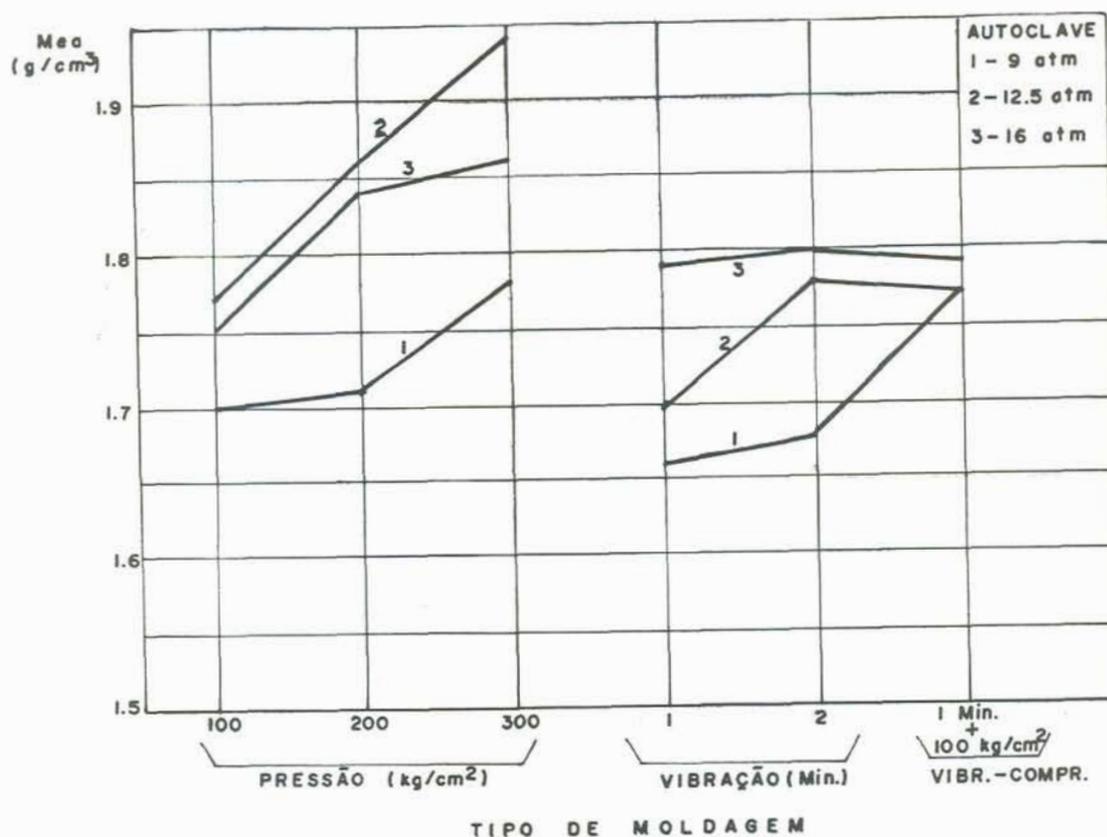


FIGURA 4.18 - Relação entre a Massa Específica Aparente e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

12,5 atm, foi encontrada para uma moldagem com 1 (um) minuto de vibração, e para 16 atm, com uma pressão de 100 Kg/cm<sup>2</sup>.

Na Figura 4.18, observa-se a Mea ser crescente com a pressão de moldagem, independente da pressão de autoclavagem. A Mea é crescente também com o tempo de vibração na moldagem da mistura, para todas as pressões de autoclavagem.

O tipo de moldagem por vibro-compressão apresenta, para 9 atm na autoclave, um aumento na Mea em relação à moldagem por pressão de 100 e 200 Kg/cm<sup>2</sup> e por vibração de 1 (um) minuto e 2 (dois) minutos. Para 12,5 atm, apresenta um aumento na Mea em relação à moldagem por pressão de 100 Kg/cm<sup>2</sup> e por vibração de 1 (um) minuto. Para 16 atm, apresenta um aumento apenas em relação

à moldagem por  $100 \text{ Kg/cm}^2$  de pressão, se igualando ao valor encontrado com uma vibração de 1 (um) minuto; logo, não tendo influência, neste caso, a prensagem posterior a vibração. Logo, o efeito da vibro-compressão sobre a Mea foi maior com a diminuição da pressão na autoclave.

Para uma pressão na autoclave de 9 atm, a moldagem por vibração apresenta valores inferiores da Mea que os obtidos por pressão. Já com 12,5 atm, a vibração, durante 2 (dois) minutos apresenta um valor da Mea superior ao obtido por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , e com 16 atm tanto a vibração durante 2 (dois) minutos como durante 1 (um) minuto apresentam valores superiores aos obtidos com  $100 \text{ Kg/cm}^2$ . Logo, quanto maior a pressão de autoclavagem, menor é a diferença, em relação a Mea, entre os tipos de moldagem.

O valor máximo da Mea foi obtido, para as moldagens por pressão, com uma pressão na autoclave de 12,5 atm, e para as moldagens por vibro-compressão com uma pressão de 16 atm.

O valor mínimo da Mea foi encontrado, para todos os tipos de moldagens, com uma pressão de autoclavagem de 9 atm.

O valor da Mea possui um relacionamento tanto com as pressões de autoclavagem utilizadas como com os tipos de moldagem do processo, dependendo, no trabalho realizado, destas duas variações.

#### 4.4.2.3 - Porosidade aparente (Pa).

#### 4.4.2.3.1 - Resultados.

Na Figura 4.19 é apresentada a relação entre as variações da pressão de autoclavagem e a Porosidade aparente dos corpos de prova resultantes, em função do tipo de moldagem empregado.

A Figura 4.20 apresenta a relação entre os tipos de moldagem e a Pa, sendo mantido constante o processo de autoclavagem em cada linha de relacionamento.

#### 4.4.2.3.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 apresenta o intervalo de variação do valor da Porosidade aparente em relação às diversas variações do processo produtivo. Esta característica teve um valor mínimo de 25,9 % para a variação 10, com moldagem por vibração de 1min e autoclave com 16 atm de pressão e um valor máximo de 37,2 % para a variação 16, com moldagem por vibração de 1 (um) minuto e autoclave com 9 atm de pressão, logo, com uma amplitude de variação de 11,3 %.

Observa-se, pela Figura 4.19, que nas moldagens por pressão, com 100 Kg/cm<sup>2</sup>, e por vibração, durante 1 (um) e 2 (dois) minutos, a Pa é decrescente com o aumento da pressão na autoclave. Para as moldagens com uma pressão de 200 e 300 Kg/cm<sup>2</sup>, a Pa decresce de 9 atm para 12,5 atm, crescendo para 16 atm até valores inferiores aos de 9 atm. Para a moldagem por vibro-compressão, o valor da Pa cresce de 9 para 12,5 atm, decrescendo para 16 atm até um valor inferior ao de 9 atm.

Os valores máximos da Pa são encontrados, para 9 e 12,5 atm, com uma moldagem por vibração durante 1 min, e para 16 atm,

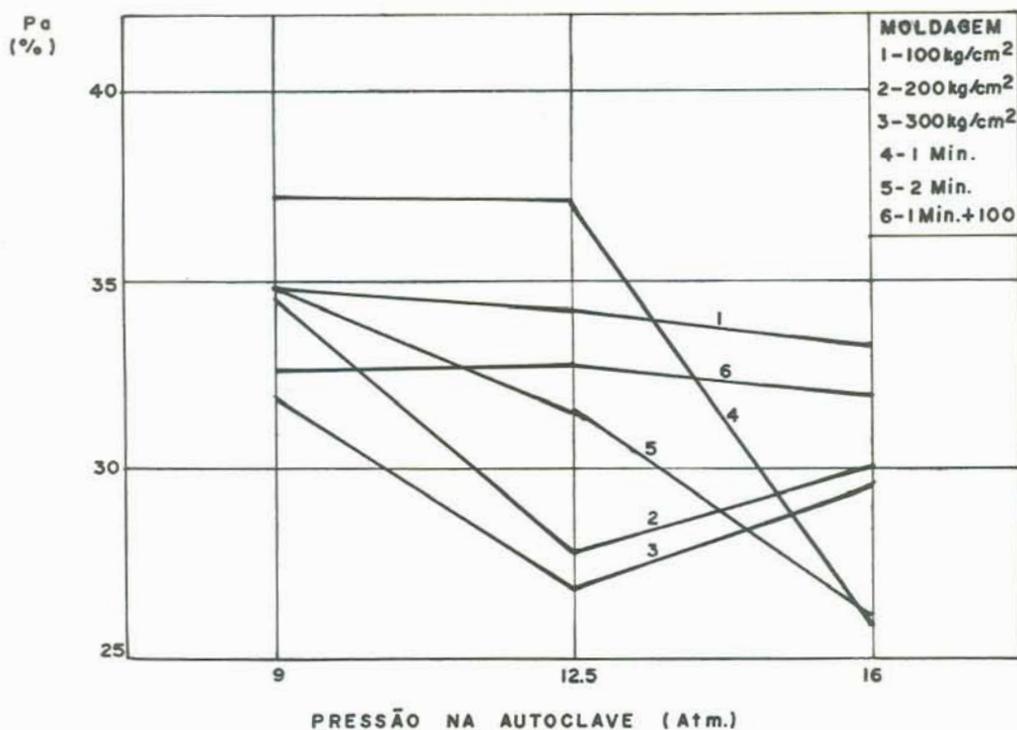


FIGURA 4.19 - Relação entre a Porosidade Aparente e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

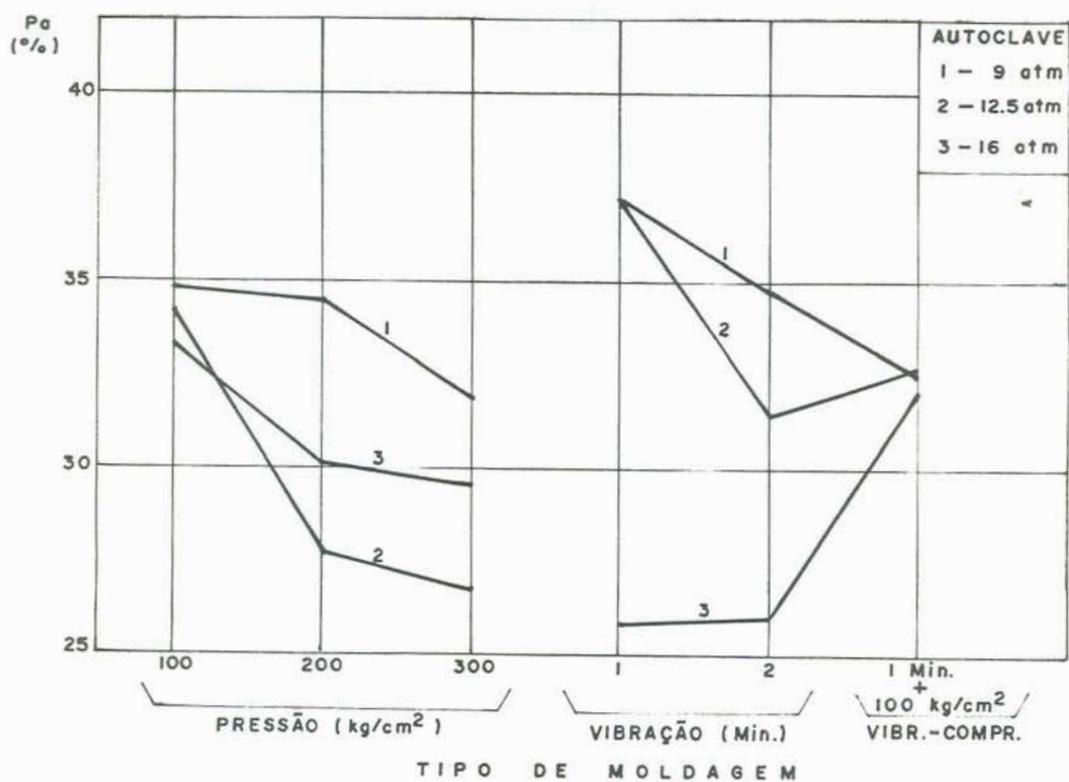


FIGURA 4.20 - Relação entre a Porosidade Aparente e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

com uma moldagem por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ .

Os valores mínimos desta característica são encontrados, para 9 e 12,5 atm, com a moldagem por pressão de  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , e para 16 atm, com uma vibração de 1 (um) minuto.

As maiores variações da Pa com a pressão de autoclavagem ocorreram com os corpos de prova moldados por vibração de 1 (um) e 2 (dois) minutos.

A Figura 4.20 apresenta, na primeira parte, o valor da Pa ser decrescente com o aumento da pressão de moldagem para todas as pressões na autoclave. O valor de Pa é, também, decrescente com o aumento do tempo de vibração para uma autoclavagem de 9 e 12,5 atm, sendo crescente para 16 atm.

Os valores de Pa obtidos por moldagem com vibro-compressão são inferiores aos obtidos por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , em todos os casos, e inferiores aos obtidos por vibração durante 1 (um) minuto com autoclavagem de 9 e 12,5 atm.

O máximo valor de Pa foi encontrado, para todos os tipos de moldagem, com uma autoclavagem de 9 atm, com exceção de vibro-compressão em que foi para 12,5 atm.

O mínimo valor de Pa para as moldagens por pressão foi encontrado, para  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , com uma pressão de 16 atm e, para 200 e  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , com 12,5 atm. Para os corpos de prova moldados por vibração e vibro-compressão, o valor mínimo de Pa foi obtido para 16 atm na autoclave.

Observa-se que a Porosidade aparente possui uma relação mais marcante com o tipo de moldagem do que com a pressão de autoclavagem, para os valores de pressão da autoclave e os tipos de moldagens utilizados no trabalho.

#### 4.4.2.4 - Absorção d'água (Aa).

##### 4.4.2.4.1 - Resultados.

Na Figura 4.21 estão apresentadas as relações entre a Absorção d'água dos blocos resultantes e a pressão de autoclavagem utilizada no processo produtivo, em função do tipo de moldagem empregado.

Na Figura 4.22 são apresentadas as relações entre a Absorção d'água, dos produtos finais, e o tipo de moldagem empregado na produção, em função da pressão de autoclavagem.

##### 4.4.2.4.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 mostra a Absorção d'água variando entre um mínimo de 12,9 % para a variação do processo 2, com autoclavagem de 12,5 atm e moldagem por pressão de 200 Kg/cm<sup>2</sup>, e um máximo de 18,2 % para a variação 17, com uma autoclavagem de 9 atm e moldagem por vibração de 2 (dois) minutos; logo, com um intervalo de 5,3 % entre os produtos obtidos.

A Figura 4.21 nos apresenta o valor da Aa, para a moldagem por pressão de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, crescendo de 9 para 12,5 atm e decrescendo para 16 atm. Para as moldagens por pressão de 200 e 300 Kg/cm<sup>2</sup> e vibração de 1 (um) e 2 (dois) minutos, a Aa é decrescente de 9 para 12,5 atm e crescente até 16 atm; logo, tendo um mínimo para 12,5 atm. Para a vibro-compressão, a Aa é decrescente com o aumento da pressão na autoclave.

O valor mínimo desta característica foi obtido com uma

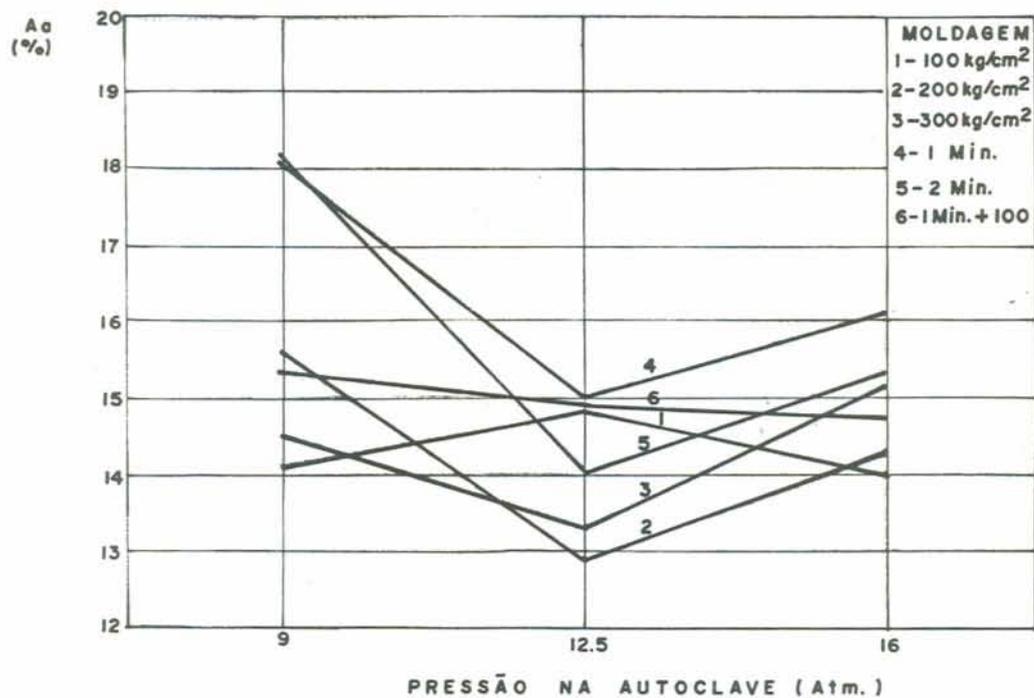


FIGURA 4.21 - Relação entre a Absorção d'água e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

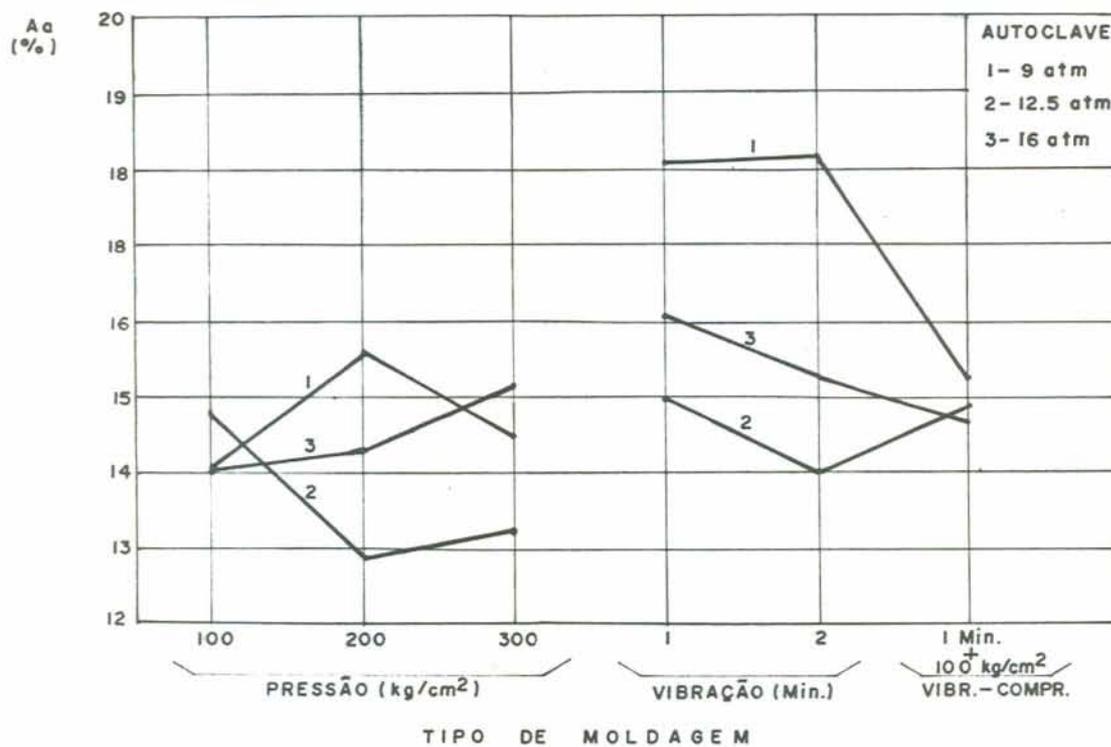


FIGURA 4.22 - Relação entre a Absorção d'água e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

pressão de moldagem de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  para 9 e 16 atm, e com uma pressão de  $200 \text{ Kg/cm}^2$  para 12,5 atm.

O valor máximo da Aa ocorre com uma moldagem por vibração de 2 (dois) minutos para 9 atm e 1 (um) minuto para 12,5 e 16 atm.

A Figura 4.22 não apresenta uma relação aparente do valor da Aa com a pressão de moldagem. A Aa decresce com o tempo de vibração para 12,5 e 16 atm e cresce, em pequena proporção, para 9 atm.

A vibro-compressão apresenta valores da Aa inferiores aos da vibração por 1 (um) minuto e superiores aos da moldagem por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , com 12,5 e 16 atm de pressão na autoclave. O aumento não é acentuado.

O valor da Aa, neste trabalho, apresentou sofrer maior influência e ter uma maior relação de variação com a pressão de autoclavagem do que com o tipo de moldagem empregado.

#### 4.4.2.5 - Resistência à compressão simples (Rc).

##### 4.4.2.5.1 - Resultados.

A Figura 4.23 apresenta a relação entre a Resistência à Compressão e a pressão de autoclavagem utilizada, em função do tipo de moldagem do processo.

A Figura 4.24 apresenta a relação entre a Resistência à Compressão e o tipo de moldagem, em função da pressão empregada na autoclave.

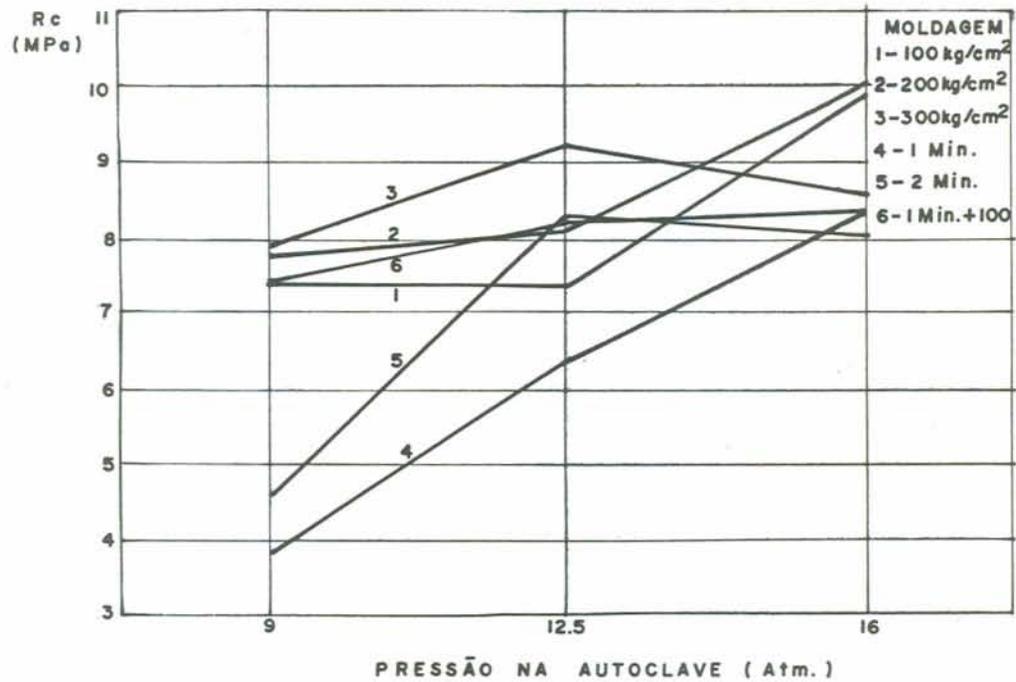


FIGURA 4.23 - Relação entre a Resistência à Compressão e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

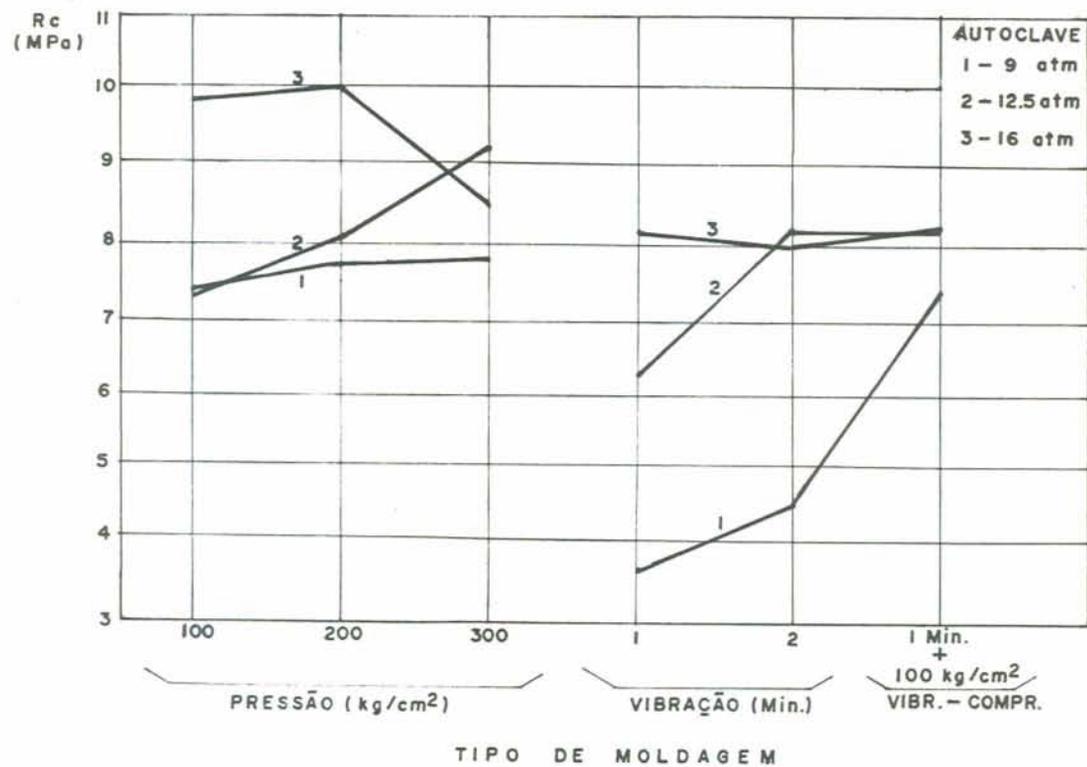


FIGURA 4.24 - Relação entre a Resistência à Compressão e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

#### 4.4.2.5.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 nos dá os valores da Resistência à compressão com as variações do processo produtivo dos corpos de prova. O intervalo de valores foi entre um mínimo de 3,76 MPa, para a variação 16, com uma autoclavagem com pressão de 9 atm e uma moldagem por vibração durante 1 (um) minuto, e um máximo de 10 MPa, para a variação 8, com uma autoclavagem de 16 atm e uma moldagem por pressão de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

A Figura 4.23 nos mostra a Rc crescente com o aumento da pressão na autoclave para as moldagens por pressão de 100 e 200 Kg/cm<sup>2</sup>, por vibração de 1 (um) minuto e por vibro-compressão. Para as moldagens por pressão de 300 Kg/cm<sup>2</sup> e vibração por 2 (dois) minutos, o valor de Rc é crescente quando a autoclave passa de 9 para 12,5 atm e decresce para 16 atm até valores superiores a 9 atm.

O máximo valor de Rc, para 9 e 12,5 atm, é encontrado com moldagem de 300 Kg/cm<sup>2</sup> e, para 16 atm, com 200 Kg/cm<sup>2</sup>.

O mínimo valor de Rc, para 9 e 12,5 atm, se deu com a moldagem por vibração de 1 (um) minuto e, para 16 atm, com 2 (dois) minutos de vibração.

As moldagens por vibração foram mais sensíveis à variação da pressão da autoclave com relação aos valores da Rc, obtendo-se uma oscilação mais ampla destes valores.

A vibro-compressão obteve valores maiores da Rc do que a vibração simples por 1 (um) minuto e superiores, mas próximos, aos obtidos por compressão de 100 Kg/cm<sup>2</sup> com exceção da autoclavagem de 16 atm.

A Figura 4.24 mostra o valor de  $R_c$  crescente, para os blocos confeccionados com pressão de autoclave de 9 e 12,5 atm, com a pressão de moldagem e o tempo de vibração. Para os blocos colocados na autoclave com pressão de 16 atm, a  $R_c$  aumenta com a pressão de moldagem de 100 para 200  $\text{Kg/cm}^2$  e diminui, para valores inferiores aos obtidos com 100  $\text{Kg/cm}^2$  de pressão, para 300  $\text{Kg/cm}^2$  e também diminui com o tempo de vibração.

O máximo valor de  $R_c$  para as moldagens por pressão de 100 e 200  $\text{Kg/cm}^2$ , por vibração de 1 (um) minuto e por vibro-compressão, se deu para uma autoclavagem de 16 atm. Para a pressão de moldagem de 300  $\text{Kg/cm}^2$  e vibração por 2 (dois) minutos, o máximo valor se deu para 12,5 atm na autoclave.

O mínimo valor de  $R_c$  foi encontrado, para todos os tipos de moldagem, com uma autoclavagem de 9 atm.

Tanto a pressão de autoclavagem como o tipo de moldagem possuem influência sobre a Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados.

A moldagem por vibração de 1 (um) e 2 (dois) minutos obteve valores de  $R_c$  inferiores aos outros tipos de moldagem para todas as pressões de autoclavagem, exceção feita à autoclavagem com 12,5 atm, em que a vibração por 2 (dois) minutos alcançou resultados de  $R_c$  superiores à pressão de moldagem de 100  $\text{Kg/cm}^2$  e à vibro-compressão.

Nas autoclavagens com pressão de 12,5 e 16 atm, os valores de  $R_c$  são bastante próximos para os diversos tipos de moldagens. Com 9 atm na autoclave, a separação entre esses valores de  $R_c$  são maiores; logo, o tipo de moldagem tem maior significado.

O que foi observado no estudo teórico, com o aumento da  $R_c$

com a elevação da pressão da autoclave e da pressão de moldagem, se observou parcialmente nos testes práticos com a matéria-prima local, pequeno desvio ocorreu com os produtos confeccionados com uma pressão de moldagem de  $300 \text{ Kg/cm}^2$  e uma autoclavagem de 16 atm.

#### 4.4.2.6 - Resistência à tração (Rt).

##### 4.4.2.6.1 - Resultados.

A figura 4.25 apresenta a relação entre a Resistência à Tração e a pressão de autoclavagem, em função de cada tipo de moldagem empregado.

A Figura 4.26 apresenta a relação entre a Resistência à Tração e o tipo de moldagem, em função de cada pressão de autoclavagem do processo.

##### 4.4.2.6.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 apresenta o valor mínimo de Rt de 0,72 MPa, para a variação 16 do processo, com uma autoclavagem de 9 atm e uma moldagem por vibração de 1 (um) minuto da massa, e uma máxima de 1,69 MPa, para a variação 7, com 16 atm na autoclave e uma pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  na moldagem. O intervalo é de 0,97 MPa.

Na Figura 4.25, o valor de Rt, para as moldagens por pressão de  $100$  e  $200 \text{ Kg/cm}^2$  e vibro-compressão, decresce de 9 atm para 12,5, crescendo após para 16 atm. Para a moldagem por pressão de  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , ocorre o inverso, e para as moldagens por

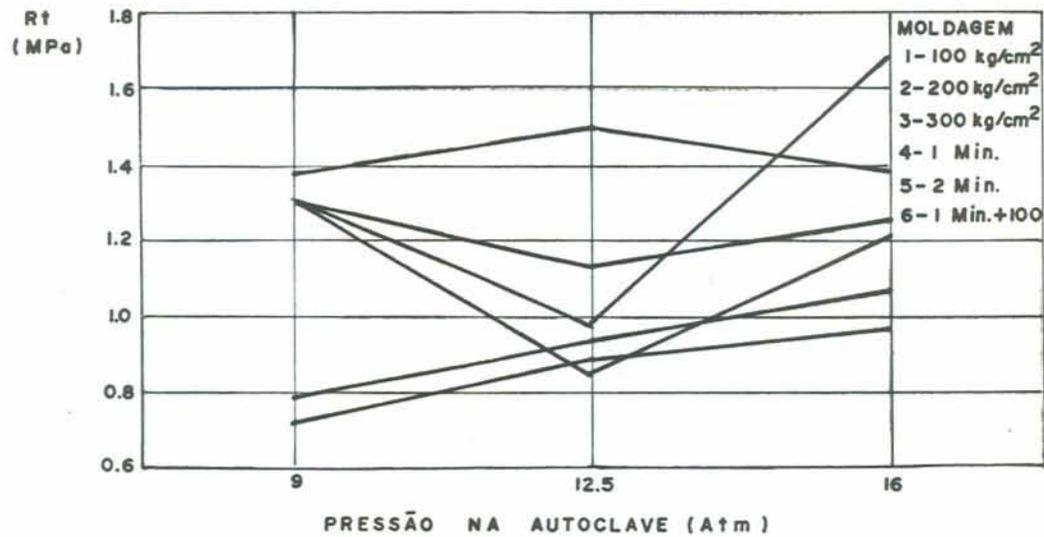


FIGURA 4.25 - Relação entre a Resistência à Tração e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

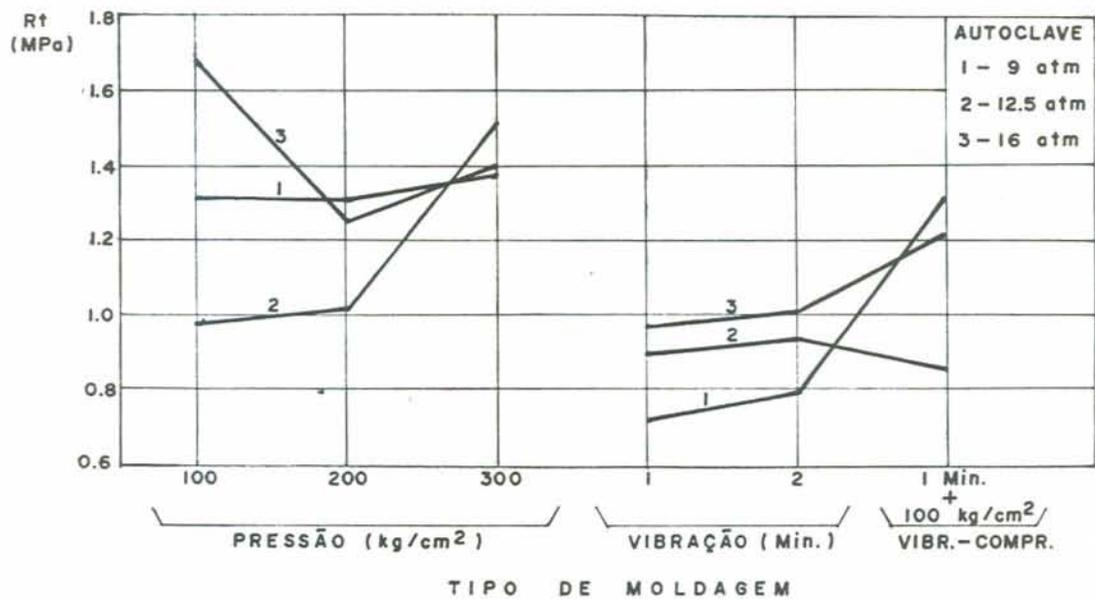


FIGURA 4.26 - Relação entre a Resistência à Tração e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

vibração de 1 (um) e 2 (dois) minutos a Resistência à tração é crescente com o aumento da pressão de autoclavagem.

O máximo valor de  $R_t$ , para 9 e 12,5 atm, é encontrado com uma moldagem de  $300 \text{ Kg/cm}^2$  de pressão e, para 16 atm, com uma moldagem de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  de pressão.

O mínimo valor de  $R_t$ , para 9 e 16 atm, é encontrado com uma moldagem por vibração de 1 (um) minuto, e, para 12,5 atm, com uma moldagem por vibro-compressão.

Na Figura 4.26 se observa a  $R_t$  crescente com a pressão de moldagem, para 9 e 12,5 atm, e com o tempo de vibração.

A moldagem por vibro-compressão apresentou resultados da  $R_t$  inferiores à moldagem por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , para 12,5 e 16 atm, e, para 9 e 16 atm, superiores aos obtidos por vibração.

A moldagem por vibração apresentou valores de  $R_t$  inferiores aos obtidos por pressão, para todas as pressões na autoclave.

O máximo valor de  $R_t$ , para as moldagens por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  e vibração de 1 (um) e 2 (dois) minutos, se deu para uma autoclavagem de 16 atm, para as moldagens por pressão de  $200 \text{ Kg/cm}^2$  e vibro-compressão, para uma autoclavagem de 9 atm, e, por pressão de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , para 12,5 atm.

O mínimo valor de  $R_t$ , para as moldagens por pressão de 100 e  $200 \text{ Kg/cm}^2$  e por vibro-compressão, se deu para uma pressão na autoclave de 12,5 atm. Para as demais moldagens, para uma autoclavagem de 9 atm.

Não se observou uma relação mais saliente e constante da Resistência à Tração com a pressão de autoclavagem e com o tipo de moldagem dos corpos de prova.

#### 4.4.2.7 - Módulo de Elasticidade à compressão (E).

##### 4.4.2.7.1 - Resultados.

A Figura 4.27 nos dá a relação Módulo de Elasticidade com a pressão de autoclavagem do processo, em função do tipo de moldagem.

Na Figura 4.28, a relação apresentada é do Módulo de Elasticidade com o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem utilizada.

##### 4.4.2.7.2 - Análise dos resultados.

O Quadro 22 apresenta os valores do Módulo de Elasticidade, para as diversas variações do processo produtivo, dentro de um intervalo com um valor mínimo de  $6,74 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ , para a variação de 16, com pressão de autoclavagem de 9 atm e moldagem por vibração durante 1 (um) minuto, e um máximo de  $18,67 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ , para a variação 5, com pressão de autoclavagem de 12,5 atm e moldagem por vibração durante 2 (dois) minutos. Este intervalo no valor de E é de  $11,93 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ .

A Figura 4.27 nos mostra o valor de E, para todos os tipos de moldagem, crescente de 9 para 12,5 atm, decrescendo após para 16 atm até valores superiores ao de 9 atm. Uma exceção ocorre para a moldagem por vibração durante 1 (um) minuto, em que o valor de E é crescente com a pressão de autoclavagem.

O máximo valor de E, para todas as pressões de autoclavagem, foi encontrado para uma moldagem por vibração

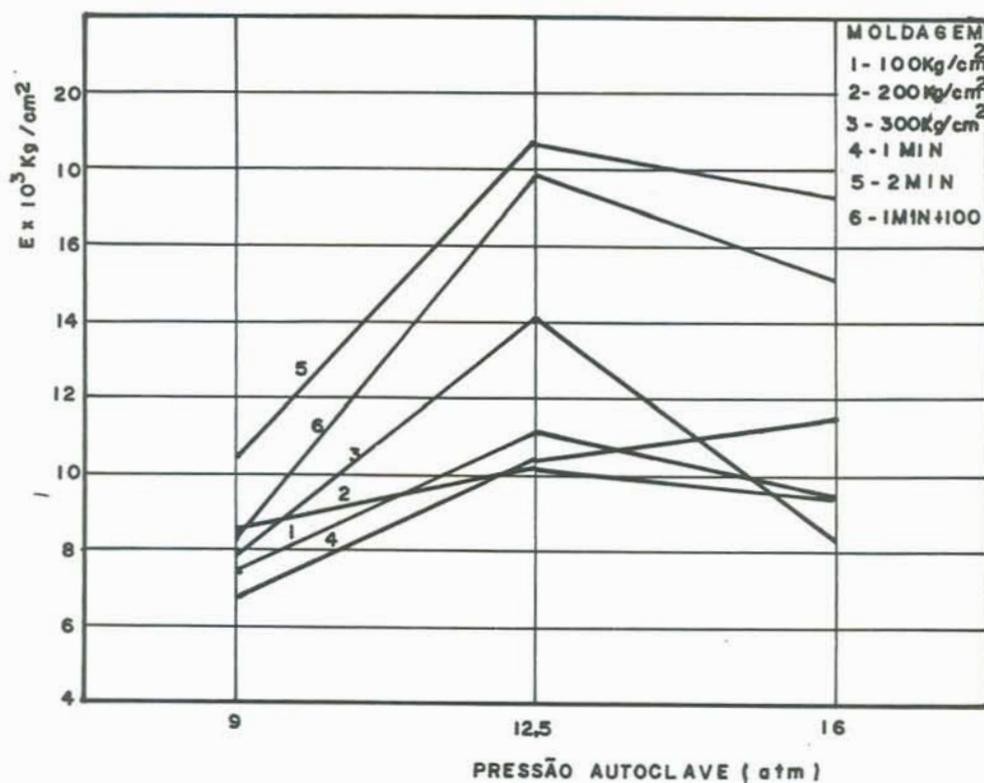


FIGURA 4.27 - Relação entre o Módulo de Elasticidade e a pressão de autoclavagem, em função do tipo de moldagem.

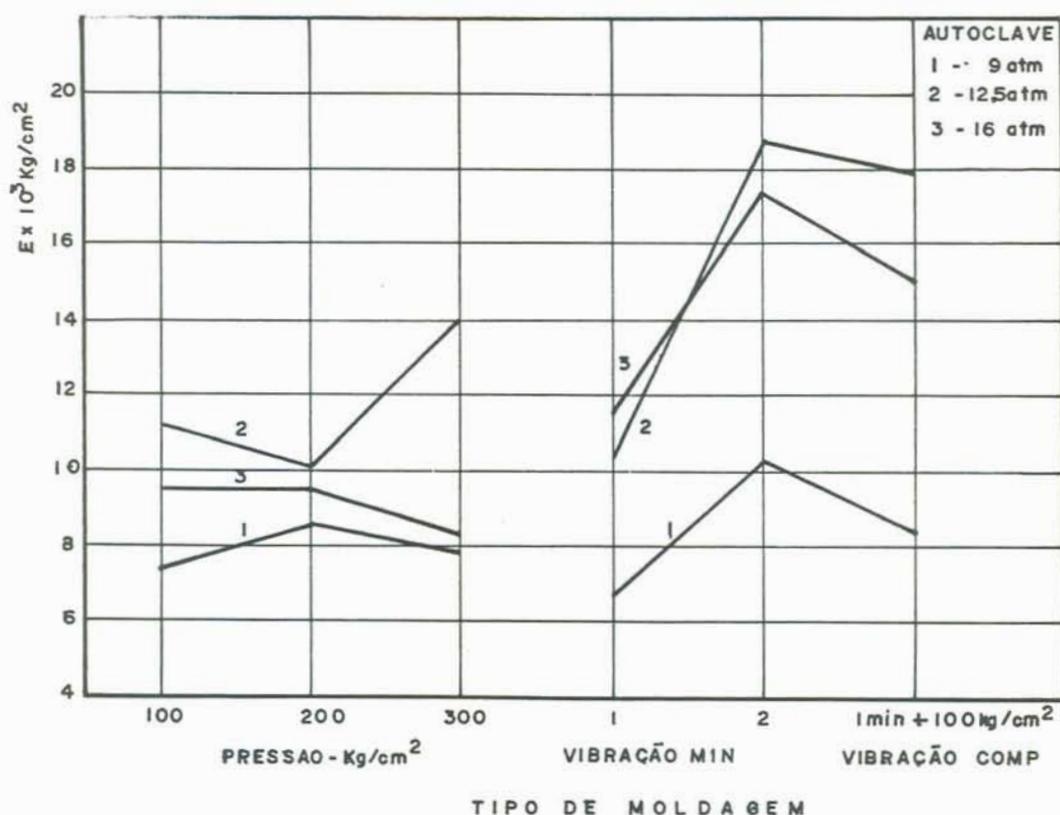


FIGURA 4.28 - Relação entre o Módulo de Elasticidade e o tipo de moldagem, em função da pressão de autoclavagem.

durante 2 (dois) minutos, o que nos mostra o efeito deste tipo de moldagem sobre a característica do produto.

O mínimo valor de E, foi obtido, para 9 atm, com uma moldagem por vibração de 1 (um) minuto, para 12,5 atm, com pressão de 200 Kg/cm<sup>2</sup> e para 16 atm, com pressão de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

A Figura 4.28 nos mostra, na primeira parte, a variação de E com a pressão de moldagem dos corpos de prova. Esta variação não apresenta uma relação mais próxima deste tipo de moldagem com esta característica. A segunda parte desta Figura, no entanto aponta um relacionamento direto do valor de E com o tempo de vibração.

Este gráfico nos mostra a maior influência da moldagem por vibração do que por pressão, sobre o valor de E.

A moldagem por vibro-compressão apresentou aumento significativo, para todas as pressões de autoclavagem, em relação tanto à simples compressão como à vibração por 1 (um) minuto; logo, tendo um significado no aumento do valor desta característica.

O máximo valor de E para todos os tipos de moldagens é encontrado para uma pressão de autoclavagem de 12,5 atm, com exceção da moldagem por vibração durante 1 (um) minuto, em que o valor máximo é encontrado para 16 atm.

O mínimo valor de E é encontrado, para todos os tipos de moldagem, com uma pressão na autoclave de 9 atm.

## 5 - CONCLUSÕES FINAIS

As principais conclusões que foram evidenciadas na execução deste trabalho, foram as seguintes:

### 5.1 - Conveniência da matéria-prima.

A cal calcítica virgem, utilizada na pesquisa, possui características físicas e químicas de acordo para a produção de blocos S.C., no entanto, pela observação dos corpos de prova ensaiados no trabalho, observou-se a necessidade de aprimoramento no grau de finura da cal, devido ao grande número de partículas de maior dimensão que permaneceram sem reagir dentro da massa.

Os corpos de prova confeccionados, dentro deste trabalho, com as misturas de apenas areia e cal e pelo processo padrão, embora tenham obtido características de resistência à compressão que satisfazem as normas brasileiras para tijolos maciços de argila ou blocos de concreto não estruturais, e de absorção d'água que está dentro do especificado pela ASTM para tijolos maciços de argila, necessitam, para a obtenção de produtos de melhores características, um maior aprimoramento ou nos dois materiais empregados ou no processo produtivo.

A adição da cinza dentro das misturas estudadas acarretou alterações sensíveis em todas as características ensaiadas, principalmente para teores de 15 a 25 %. A percentagem de 5 % de cinza acarretou apenas pequenas melhoras na absorção d'água e na resistência à tração. As percentagens maiores de cinza utilizadas

causaram um aumento acentuado nas resistências mecânicas, um aumento menos acentuado na absorção d'água e na porosidade aparente e redução na massa específica aparente.

Tanto a variação do conteúdo de CaO como do conteúdo de cinza acarretaram alterações nas características físicas dos produtos resultantes, no entanto, dentro do presente trabalho e dentro das faixas de variações do teor de CaO e de cinza adotadas, a variação do teor cinza volante foi responsável por alterações mais acentuadas em todas as características.

Os corpos de prova reduzidos, confeccionados pelo processo padrão, com o uso de 15 a 25 % de cinza, para qualquer teor de CaO empregado, cumprem as exigências das normas brasileiras referentes à resistência à compressão para tijolos maciços de argila e blocos de concreto estrutural ou não (com exceção da mistura IX), e as exigências das normas americanas para absorção d'água de tijolos maciços de argila (com exceção da mistura XII).

Pode-se concluir, finalmente, do estudo da disponibilidade da matéria-prima regional, que, com o uso do processo padrão estabelecido no trabalho, é possível a confecção de blocos S.C. de boas qualidades com a matéria-prima regional utilizada, sendo recomendado, dentro desse trabalho, a obtenção de um maior grau de finura da cal e o uso de percentagens de cinza de 15 a 25 %.

## 5.2 - Efeito das variações no processo produtivo.

As variações do tipo de moldagem efetuadas sobre a mistura VII, pré-estabelecida, acarretaram alterações nas características dos corpos de prova resultantes, sendo estas alterações mais

acentuadas com a variação na natureza da moldagem, com uso de pressão e com o uso de vibração.

A moldagem por vibração, em relação à moldagem por pressão, acarretou, sobre a mistura usada, em geral, uma diminuição na massa específica aparente e nas resistências à compressão e à tração, e um aumento na porosidade aparente, absorção d'água e no módulo de elasticidade.

O uso de pressões mais elevadas de moldagem somente alcançou resultados favoráveis sobre a resistência à compressão e tração, no caso da autoclavagem com 12,5 atm, nas demais autoclavagens esta alteração não trouxe modificações satisfatórias sobre estas características.

A moldagem por vibração por 2 (dois) minutos, empregada neste trabalho, originou corpos de prova com boa resistência à compressão e absorção d'água, principalmente para pressões de autoclavagem de 12,5 a 16 atm. Esta moldagem se apresentou, portanto, dentro deste trabalho, como uma opção válida na substituição da moldagem por pressão, para estas duas pressões na autoclave. Para uma pressão na autoclave de 9 atm, a moldagem por vibração apresentou resultados bastante defasados negativamente da moldagem por pressão.

A moldagem por vibro-compressão não apresentou, neste trabalho, alterações positivas sensíveis em nenhuma característica dos corpos de prova, em relação à moldagem por pressão de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, não sendo evidenciada como uma opção válida para a matéria-prima e o processo utilizado.

As variações dos tipos de moldagem apresentaram alterações sensíveis nas características dos corpos de prova, no entanto,

não houve, dentro do trabalho realizado, nenhuma característica (exceto a Mea), que apresentou um comportamento homogêneo em relação a estas vibrações, em função de todas as pressões de autoclavagem. Logo, as alterações das características dos corpos de prova, em relação as variações de tipo de moldagem, para a matéria-prima utilizada, dependem da pressão de autoclavagem empregada. O mesmo ocorre com as variações na pressão de autoclavagem, cujas alterações sobre o produto final, dependem do tipo de moldagem empregada, para todas as características (exceto o E).

Para as moldagens por vibração, as diferenças encontradas, para os valores das diversas características, entre os resultados com o uso de 9 atm e 12,5 atm foram bem mais amplas que entre 12,5 atm e 16 atm. É recomendado, em termos técnicos (visando o fator econômico não estudado neste trabalho), o uso da pressão intermediária (12,5 atm) para este tipo de moldagem com a matéria-prima e restante do processo estabelecidos neste trabalho.

Em relação à resistência à compressão e à absorção d'água, para as moldagens por pressão, as diferenças entre os resultados encontrados com o uso de 9 atm e 12,5 atm são aproximadamente as mesmas que entre 12,5 atm e 16 atm. Neste caso, a escolha da pressão de autoclavagem a ser utilizada, com a matéria-prima empregada no trabalho, dependerá das necessidades do produto final.

Todas as variações, com exceção da 15 e 16, do processo produtivo sobre a matéria-prima da mistura VII, resultaram produtos que cumprem as especificações das normas brasileiras

para a resistência à compressão de tijolos maciços de argila e blocos de concreto, e as normas americanas de absorção d'água para tijolos maciços de argila.

Tanto neste caso, como no caso da variação da percentagem da matéria-prima, deve-se levar em conta que, devido às dimensões reduzidas dos corpos de prova e os diferenciados métodos de ensaio, esta última conclusão não possui um nível mais apurado de expressão, servindo apenas para o papel de dimensionar os resultados.

As alterações do processo produtivo causaram alterações acentuadas sobre todas as características dos produtos resultantes, confeccionados com a matéria-prima local estabelecida, sendo necessário o estabelecimento de parâmetros mínimos necessários das características e um estudo econômico para a adoção do processo produtivo a ser empregado.

## 6 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

- Desenvolver o mesmo estudo para regiões diversas;
- estudar a utilização de outros tipos físicos e químicos de areia;
- estudar a possibilidade da utilização da cal dolomítica, mais abundante;
- estudar o efeito de variações em outras etapas do processo produtivo, como na mistura e no tempo na autoclave;
- moldar e estudar a confecção de blocos nos diversos tamanhos e tipos produzidos industrialmente;
- estudar o uso prático dos blocos em tamanhos normais na confecção de paredes de alvenaria;
- desenvolver a construção de uma unidade habitacional para testes de performances dos blocos após o uso;
- estudar a viabilidade econômica da produção dos blocos S.C. nas diversas regiões em que haja interesse;
- estudar a possibilidade de aplicação deste tipo de elemento para pavimentação;
- realizar estudo técnico e econômico para uma possível implantação industrial da produção dos elementos S.C.;
- desenvolver estudo a respeito dos outros tipos de produtos S.C., como painéis, ladrilhos de revestimentos e produtos celulares.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard specifications for building brick (solid units made from clay or shale): C62-69. In: ANNUAL book of ASTM Standards, 1970. Philadelphia, 1970. pt.12, p.56-60.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado para concreto. NBR 7211. Rio de Janeiro, 1983.
- \_\_\_\_\_. Análise química de cal virgem e cal hidratada. MB-342. Rio de Janeiro, 1967.
- \_\_\_\_\_. Argamassa de concretos - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 7222. Rio de Janeiro, 1983.
- \_\_\_\_\_. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. NBR 6136. Rio de Janeiro, 1980.
- \_\_\_\_\_. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. NBR 7173. Rio de Janeiro, 1982.
- \_\_\_\_\_. Cal hidratada para argamassas. EB-153. Rio de Janeiro, 1972.
- \_\_\_\_\_. Cal virgem hidratada - análise química. NBR 6473. Rio de Janeiro, 1980.
- \_\_\_\_\_. Determinação da composição granulométrica dos agregados. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1982.
- \_\_\_\_\_. Ensaio de cimento Portland. NBR 7215. Rio de Janeiro, 1982.
- \_\_\_\_\_. Método de ensaio para a determinação da massa específica de cimentos. NBR 6474. Rio de Janeiro, 1980.
- \_\_\_\_\_. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. NBR 7170. Rio de Janeiro, 1983.
- BARRET, P.; MENETRIER, D.; COTTIN, B. Study of silicalime solution reactions. Cement and concrete research. Elmsford, Z(1):61-8, 1977.
- BATEMAN, J. H. Materials of construction. London, Pitman, 1950, p.244-5.
- BAUER, L. A. Falcão. Materiais de construção. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979.

- BENNETT, Ralph Pierre; FURGEAUD, René; PALJAK, Ivar. Le béton cellulaire autoclavé: propriétés et utilisations. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*. Paris, (376):74-102, Oct, 1979.
- BESSEY, G. E. The assessment of suitability of raw materials for calcium silicate brick manufacture. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, 3., Utrecht, Sep. 25-28, 1973. Is.n.t.!
- \_\_\_\_\_. Calcium silicate bricks (including sand-lime and flint-lime bricks). Garstons, Building Research Station, 1974. (Overseas building notes, 154).
- \_\_\_\_\_. Hydrated calcium silicate products other than hydraulic cements. In: TAYLOR, H.F.W. *The chemistry of cements* London, Academic Press, 1964. v.2, p.101-34.
- \_\_\_\_\_. The history and present day development of the autoclaved calcium silicate building products industries. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. *Papers*. London, Society of chemical Industry, 1967, p.7-10.
- \_\_\_\_\_. Shrinkage and expansion in brickwork and blockwork; - causes and effects. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.
- BESSEY, G. E. & ELDRIDGE, H. J. Suitability of limes for sand-lime brick manufacture. *Journal of the Society of Chemical Industry*. London, 52:443-7, Dec, 1933.
- BESSEY, G. E. & HARRISON, W.H. Some results of exposure tests on durability of calcium silicate bricks. Garston, Building Research Station, 1970. (Current papers, 24).
- BESSEY, G. E. & PURTON, M. J. The effect of grading of the aggregate upon the strength of calcium silicate (sand-lime and flint-lime) bricks or blocks. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. *Papers*. London, Society of chemical Industry, 1976, p.18-33.
- BLOCOS de silico-cal. *Jornal da Cal*. São Paulo, 8(29):2, julho, 1983.
- BOYNTON, Robert S. *Chemistry and technology of lime and limestone*. New York, Interscience, 1967, p.193-7.
- BRACKETT, C. E. Availability, quality, and present utilization of fly ash. In: SYMPOSIUM ON FLY ASH UTILIZATION, Pittsburgh, Mar. 14-16, 1967. *Proceedings*. Washington, Bureau of Mines, 1967, p.16-36.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Building materials. 2. ed., Lancaster, The Construction Press, 1977, p.92-8.

CAL residual: estudo bibliográfico sobre o emprego da cal residual nas caldeiras a vapor do acetileno na fabricação de blocos sílico-calcários. Trad. por Indústrias Químicas Eletro Clore S.A. (s.n.t.)

CERATTI, J. A. P. Efeitos da adição de cal e cinza volante nas propriedades de um solo residual compactado. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1979.

COLDREY, J. M. & LEE, H. N. The green strength of calcium silicate specimens. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28, Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.

\_\_\_\_\_. A study of the grading of the siliceous aggregate on the drying shrinkage of calcium silicate specimens. Chemistry and Industry. London, (21):260-70, Feb, 1970.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. manufacture and properties of aerated concrete. In: ---. Autoclaved aerated concrete: CEB manual of design and technology. Lancaster, Construction Press, 1978. Cap.1, p.13-24.

DEBES, G. Matériaux de construction. Paris, Eyrolles, 1951. v.2, p.136-7.

DEFFNER, D. The position of mechanisation and automation in the calcium silicate brick industry and possibilities of future development. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.80-5.

DEMPSEY, B. A short review of current lime burning systems and the suitability of limes for the production of autoclaved calcium silicate products. In: INTERNATIONALE SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUM-SILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28, Marz, 1969. Hannover, Bundesverband kalksandsteinindustrie, 1969.

DEUTSCHES INSTITUT FUER NORMUNG. Blocos sílico-calcários maciços, furados e ocos. DIN 106. Trad. por PRENSIL S/A produtos de Alta Resistência. São Paulo, 1974.

FUNDAÇÃO DE CIENCIA E TECNOLOGIA - CIENTEC. Argilas - determinação da retração linear de cozimento. M 1/C-021. Porto Alegre, 1976.

\_\_\_\_\_. Materiais cerâmicos - determinação da massa específica aparente: M 1/C-024. Porto Alegre, 1976.

- \_\_\_\_\_. **Materiais cerâmicos - determinação da porosidade aparente.** M 1/C-023. Porto Alegre, 1976.
- \_\_\_\_\_. **Materiais cerâmicos - ensaio de absorção de água:** M 1/C-022. Porto Alegre, 1976.
- GULDE, C. James. Color in autoclaved products. In: MENZEL SYMPOSIUM ON HIGH PRESSURE STEAM CURING, Chicago, Apr. 1969. Proceedings. Detroit, American Concrete Institute, 1972, p.161-91.
- GUNZELMANN, R. The importance of mechanical engineering developments in the manufacture of calcium silicate building materials. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.59-63.
- HANDISYDE, Cecil C. **Building materials: science and practice.** 3. ed., London, Architectural Press, 1958, p.183-7.
- HERMANN, A. Calcium silicate brick mixes with ground limestone, powerstation fly ash of pulverized granules. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie.
- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOCLAVE CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, 3., Utrecht, Sep. 25-28, 1973. Utrecht, Stichting Research Centrum Kalksandsteinindustrie, 1973.
- INTERNATIONALES SYMPOSIUM UBER DIE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN EIGENSCHAFTEN VON KS-PRODUKTEN UND DEM BINDEMITTE-LAUFBAU, Karlsruhe, Mai 10-11, 1978. Hannover, Forschungsvereinigung "Kalk-Sand", 1978.
- INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., hannover, 25-28 Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.
- JUNG, H. Recent technical developments in the calcium silicate brick industry: the plant designers' viewpoint. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.64-71.
- KALOUSER, George L. The reactions of cement hydration at elevated temperatures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 3., London, 1952. Proceedings. London, Cement and Concrete Association, 1964, p.334-55.
- \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ Discussion by BESSEY, G. E., p.357-61.
- \_\_\_\_\_. Tobermorite and related phases in the system CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. Journal of the American Concrete Institute. Detroit, 51:988-1011, 1955.

- KNICHT, Bernard H. & KNIGHT, Rena G. *Builders' materials*. 3. ed., London, Edward Arnold, 1955, p.9-19.
- KNOFEL, D. *Corrosion of building materials*. New York, Van Nostrand, 1978, p.38-9.
- KOMAR, A. *Matériaux et éléments de construction*. Moscou, Mir, 1978, p.259-72.
- KRUPP MASCHINENFABRIKEN. *General directions for planning calcium silicate bricks factories*. Bremen, s.d..
- KRZHEMINSKII, S. A. et alii. Influence of the composition of the mixture and the temperature of hydrothermal treatment on the Kinetics of interaction of lime and quartz. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. *Papers*. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.110-3.
- MACHADO, Edna C. da Cunha & FERREIRA, Heber Carlos. Tijolos sílica-cal uma tentativa de aproveitamento dos resíduos industriais da Caulisa - I - viabilidade técnica. *Cerâmica*, São Paulo, 27(134):71-8, Fev, 1981.
- MATERIAUX de construction, par une Reunion d'Ingénieurs. 2. ed., Paris, Eyrolles, 1972, p.374.
- MAURER, R. Some problems in the manufacture and marketing of coloured calcium silicate bricks. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. *Papers*. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.267-70.
- MESNAGER, A. *Matériaux de construction - pierres*. Paris, J. B. Bailbière, 1923, p.204-5.
- MILLS, Adilbert P. *Materials of construction: their manufacture and properties*. 6. ed., New York, John Wiley, 1955, p.470-9.
- NARDI, José Vidal. *Estabilização da areia com cinza volante e cal; efeito do cimento como aditivo e de lerita na mistura*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1975, Diss. maestr.
- NOORLANDER, A. Reducing the shrinkage of calcium silicate bricks. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. *Papers*. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.152-4.
- \_\_\_\_\_. Shrinkage and expansion of calcium silicate bricks. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 März 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.

- OHNEMULLER, W. The requirements for lime used in calcium silicate brick manufacture. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.7-10.
- OPPERMANN, H. Resistence to chemical action by calcium silicate bricks. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PROCUPTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.155-62.
- PACELLI, Edoardo. I silico-calcarei: un punto sullo "stato dell'arte". I parte. La Prefabbricazione, Milano, 19(6):471-5, giug, 1983.
- \_\_\_\_\_. II parte. La Prefabbricazione, Milano, 19(10):719-21, ott, 1983.
- \_\_\_\_\_. III parte. La Prefabbricazione, Milano, 19(12):899-903, dic, 1983.
- \_\_\_\_\_. IV parte. La Prefabbricazione, Milano, 20(1):65-8, gen, 1984.
- \_\_\_\_\_. V parte. La Prefabbricazione, Milano, 20(2):141-4, feb, 1984.
- \_\_\_\_\_. VI parte. La Prefabbricazione, Milano, 20(3):225-9, mar, 1984.
- PAPROCKI, Antoni. Production and utilization of fly ash in Poland. In: SYMPOSIUM ON FLY ASH UTILIZATION, Pittsburgh, Mar 14-16, 1967. Proceeding. Washington, Bureau of Mines, 1967.
- PETRUCCI, Eládio. Materiais de construção. Porto Alegre, Globo, 1975.
- PRENSIL S/A PRODUTOS DE ALTA RESIST-NCIA. PRENSIL: bloco que constrói branco e mais barato. São Paulo, s.d..
- \_\_\_\_\_. O que é o bloco PRENSIL. São Paulo, s.d. (Folheto técnico, 1).
- PULVER, H. E. Materials of construction. 5. ed., New York, McGraw-Hill, 1922, p.110-7.
- PURTON, M. J. The effect of sand grading on the calcium silicate brick reaction. Cement and Concrete Research, Elmsford, 4(1):13-29, 1974.
- PURTON, M. J. & COLDREY, J. M. The effect of autoclaving conditions upon the composition and properties of dense autoclaved calcium silicate specimens. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FUR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.

- PYLE, M. A. The properties and behavior of calcium silicate bricks in buildings and the design of structures using them in the United Kingdom. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society on Chemical Industry, 1967, p. 220-9.
- QUINCKE, J. E. Broadening the particle size range of natural sands for calcium silicate brick manufacture. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.11-7.
- \_\_\_\_\_. A study of the mixing process in the calcium silicate brick industry. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.38-53.
- RADJY, F. et alii. Effect of aggregate grading and c/5 ratio on autoclaved calcium silicate products. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 März, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.
- SABBATINI, Fernando Henrique. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984, Diss. Mestr.
- SCHLOSSER, H. G. & SCHULZ, E. Methods for improving the physical properties of calcium silicate bricks. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.74-9.
- SHORT, Andrew & KINNIBURGH, William. Lightweight Concrete. London, CR Books, 1968.
- SILVA, Maria Anita M. da. Efeito da estabilização de solos mediante a adição de cal e cinza volante, visando a sua utilização em construção civil e em pavimentação. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1982. Diss. mestr.
- SMALLWOOD, P. Some thermal aspects os autoclaving calcium silicate building products. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, may 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.54-8.
- STEPHENS, A. Development and progress of calcium silicate brick manufacture in the world. In: INTERNATIONALES SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUMSILIKAT-BAUSTOFFE, 2., Hannover, 25-28 März, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.

- \_\_\_\_\_. Factors in calcium silicate brick manufacture to be considered when designing plant. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.72-3.
- STOFFLER, E. & GLASENAPP, M. *Mattoni e pietre di sabbia e calce (arenoliti)*. 2. ed., Milano, Ulrico Hoepli, 1905.
- SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967.
- SYMPOSIUM ON FLY ASH UTILIZATION, Pittsburgh, Mar. 14-16, 1967, Proceedings. Washington, Bureau of Mines, 1967.
- SZUBERT, Eugenio Casimiro & PRESOTTO, Cladis Antonio. *Projeto inventário de calcário no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1974, v.1 e 2.
- TAYLOR, H. F. W. A review of autoclaved calcium silicates. In: SYMPOSIUM ON AUTOCLAVED CALCIUM SILICATE BUILDING PRODUCTS, London, May 18-21, 1965. Papers. London, Society of Chemical Industry, 1967, p.195-205.
- VERÇOZA, Enio José. *Materiais de construção*. Porto Alegre, PUC-EMMA, 1975, v.1.
- VOROBYEV, V. A. *Matériaux de construction*. Moscou, Mir, 1967, p.262-70.
- WITHEY, M. O. & ASTON, J. *Johnson's materials of construction*. 8. ed., New York, John Wiley, 1930, p.288-9.