

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JEAN CARLOS SILVA ANDRADE

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS**

NATAL/RN
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JEAN CARLOS SILVA ANDRADE

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS**

Dissertação submetida à
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
como parte dos requisitos para obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Dr. Eng. CARLOS ALBERTO PASKOCIMAS

NATAL/RN
2009

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Andrade, Jean Carlos Silva.

Estudo e caracterização de matérias-primas para desenvolvimento de blocos sílico-calcários / Jean Carlos Silva Andrade. – Natal, RN, 2009. 107 f.

Orientador: Carlos Alberto Paskocimas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Areia – Dissertação. 2. Cal – Caracterização – Dissertação. 3. Blocos sílico-calcários – Dissertação. 4. Silicato de cálcio hidratado – Dissertação. 5. Tratamento hidrotermal – Dissertação. I. Paskocimas, Carlos Alberto. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 691.22(043.3)

JEAN CARLOS SILVA ANDRADE

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA O
DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS**

Esta dissertação foi julgada
adequada para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mecânica
sendo aprovada em sua forma final

Dr. Carlos Aberto Paskocimas (UFRN) - Orientador

BANCA EXAMINADORA

Dr. Carlos Alberto Paskocimas (UFRN) – Presidente

Dr. Rubens Maribondo do Nascimento (UFRN) – Examinador Interno

Dra. Jaquelígia Brito da Silva (UFRN) – Examinadora Interna

Dr. Eiji Harima (IFRN) – Examinador Externo

*Dedico à minha mãe, Josefa
Macena, e ao meu avô, Severino
Macena (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me iluminou e acompanhou durante todo este percurso, dando-me forças e bençãos para realizar este objetivo.

Aos meus pais, minha irmã e meu irmão pelo incentivo e força em todos os momentos a que precisei, meu eterno agradecimento.

A Ana Rúbia, pela cumplicidade e companheirismo em todos os momentos.

Ao Professor e orientador Carlos Alberto Paskocimas, pela amizade, apoio, orientações e aprendizado.

Ao Professor Rubens Maribondo, pela atenção e apoio nos momentos que precisei durante esta jornada.

A Jaquélia Brito, por fazer parte da banca examinadora, pela confiança e amizade;

Aos colegas José Ferreira, Eduardo Galvão, Clawsio, Micheline e Elisângela pela realização de ensaios e testes, que contribuíram diretamente para a elaboração deste trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro, na forma de concessão de bolsa.

Em fim, aos colegas e amigos do Laboratório de Cerâmica e Compósitos, os “LEMBROTHERS” Daniel Macedo, Pedro Alighieri, Felipe Formiga, José Carlos, Rannier Mendonça, Ricardo Peixoto, Wagner Gomes, Jota Carlos, Antônio Marcos, Márcio Thompson, Beatriz Cela, Brena Kelly, Grazielle Lopes, Janiara Ferreira, Jaquélia Brito, Rosanne de Lima, Laurenia Martins e Adeilza Silva, que de uma forma ou de outra, contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Os tipos de produtos sílico-calcários fabricados são muito diversificados em suas características. Eles incluem tijolos, blocos, produtos acessórios em material denso, com ou sem reforços de ferragem, grandes unidades em material celular, e produtos isolantes térmicos. Os elementos sílico-calcários são de grande utilização na construção pré-fabricada, sendo formados por massas densas e endurecidos em autoclave. Este trabalho teve como objetivo desenvolver formulações que possibilitem a obtenção de blocos sílico-calcários com características que correspondem às especificações técnicas, no Estado do Rio Grande do Norte, na finalidade de obter viabilidade técnica para uso na construção civil. O trabalho estudou a disponibilidade de matérias-primas convenientes para a produção de blocos sílico-calcários, e o efeito das variações do processo produtivo sobre os produtos desenvolvidos. As matérias-primas estudadas foram: uma areia quartzosa oriunda do município de São Gonçalo do Amarante/RN, e duas cal, uma cal hidratada e uma cal virgem oriundas do município de Governador Dix-Sept Rosado/RN. As matérias-primas coletadas foram submetidas a ensaios de distribuição de tamanho de partícula, fluorescência de raios X, difração de raios X. Em seguida foram produzidas 8 formulações e confeccionados corpos-de-prova por prensagem uniaxial a 36 MPa, e curados durante 7 horas em pressão de aproximadamente 18 kgf/cm², e temperatura de aproximadamente 180°C. As propriedades tecnológicas de cura avaliadas foram: retração linear, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água, módulo de ruptura à flexão em 3 pontos, resistência a compressão, análise fases (DRX) e análise micromorfológica (MEV). A partir dos resultados apresentados das propriedades tecnológicas, foi possível afirmar que a utilização da cal hidratada torna-se mais viável sua utilização em massas sílico-calcárias, para fabricação de blocos sílico-calcários.

Palavras-chave: areia. cal. blocos sílico-calcários. silicato de cálcio hidratado. tratamento hidrotermal.

ABSTRACT

The types of products manufactured calcium silicate blocks are very diversified in its characteristics. They include accessory bricks, blocks, products in dense material, with or without reinforcements of hardware, great units in cellular material, and thermal insulating products. The elements calcium silicate are of great use in the prefabricated construction, being formed for dense masses and hardened by autoclaving. This work has for objective develop formulations that make possible the obtaining of calcium silicate blocks with characteristics that correspond the specifications technical, in the State of the Rio Grande of the North, in finality of obtaining technical viability for use in the civil construction. The work studied the availability raw materials from convenient for the production of calcium silicate blocks, and the effect of variations of the productive process on the developed products. The studied raw materials were: the quartz sand from the city of São Gonçalo do Amarante/RN, and two lime, a hydrated lime and a pure lime from the city of Governador Dix-Sept Rosado/RN. The raw materials collected were submitted a testes to particle size distribution, fluorescence of X rays, diffraction of X rays. Then were produced 8 formulations and made body-of-test by uniaxial pressing at 36 MPa, and cured for 7 hours at about 18 kgf/cm² pressing and temperature of approximately 180 °C. The cure technological properties evaluated were: lineal shrinkage, apparent density, apparent porosity, water absorption, modulus of rupture flexural (3 points), resistance compression, phase analysis (XRD) and micromorphological analysis (SEM). From the results presented the technological properties, was possible say that utilization of hydrated lime becomes more viable its utilization in mass limestone silica, for manufacture of calcium silicate blocks.

Key-words: *sand. lime. calcium silicate blocks. hydrated calcium silicate. hydrothermal treatment.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Relação entre a resistência à compressão e a densidade de produtos sílico-calcários celulares (SANTOS, 1985)	23
Figura 2.2: Blocos sílico-calcários (PRENSIL, 1999)	24
Figura 2.3: Número de registros de licenciamento para areia (CARVALHO, <i>et al.</i> , 2005)	28
Figura 2.4: Evolução da arrecadação e da produção de areia e cascalho no Estado do Rio Grande do Norte (NESI, <i>et al.</i> , 2004)	30
Figura 2.5: Granulometria da areia (SANTOS, 1985)	33
Figura 2.6: Segmento dos Carbonatos (CARVALHO, <i>et al.</i> , 2005)	35
Figura 2.7: Relação entre resistência à compressão e a estabilidade da cal (SANTOS, 1985)	41
Figura 2.8: Relação entre a resistência à compressão e o conteúdo de cal (SANTOS, 1985)	43
Figura 2.9: Processo de manufatura dos blocos sílico-calcários (PRENSIL, 1999)	45
Figura 2.10: Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tipos de areia (SANTOS, 1985)	50
Figura 2.11: Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tempos de moldagem (SANTOS, 1985)	50
Figura 2.12: Relação entre a resistência à compressão e a pressão-temperatura de autoclavagem (SANTOS, 1985)	53
Figura 2.13: Relação entre a resistência à compressão e o tempo de autoclavagem, para diferentes areias e pressões na autoclave (SANTOS, 1985)	54
Figura 2.14: Desenho esquemático dos blocos maciços (NBR 14974-1:2003)	57
Figura 2.15: Desenho esquemático do bloco furado, perfurado ou vazado (NBR 14974-1:2003)	58
Figura 2.16: Desenho esquemático do bloco vazado (NBR 14974-1:2003)	58
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia experimental empregada	66
Figura 3.2: Reator químico elétrico assistido por um controlador de temperatura	70
Figura 3.3: Perfil de cura do tratamento hidrotermal	70
Figura 4.1: Curva granulométrica das matérias-primas	78
Figura 4.2: Difratograma da areia quartzosa	81
Figura 4.3: Difratograma da cal hidratada	82
Figura 4.4: Difratograma da cal virgem	82
Figura 4.5: Corpos-de-prova após serem curados em reator químico	83
Figura 4.6: Corpos-de-prova após serem curados com suas respectivas medidas	83
Figura 4.7: Corpos-de-prova após serem curados com escala	84
Figura 4.8: Retração linear de cura (RLc) com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporados à areia quartzosa	85

Figura 4.9: Absorção de água com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporado à areia quartzosa	86
Figura 4.10: Porosidade Aparente com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporados à areia quartzosa	87
Figura 4.11: Massa específica aparente com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporados à areia quartzosa	88
Figura 4.12: Módulo de ruptura à flexão com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporados à areia quartzosa	89
Figura 4.13: Resistência à compressão com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporados à areia quartzosa	90
Figura 4.14: Difratoograma da formulação contendo 15% de CH à areia quartzosa	91
Figura 4.15: Difratoograma da formulação contendo 12% de CV à areia quartzosa	92
Figura 4.16: Micrografias obtidas por MEV das amostras contendo 15% de CH (A) e 12% de CV (B) à areia quartzosa, curadas aproximadamente a 180 °C, com 40x de ampliação	93
Figura 4.17: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 15% de CH-I, curadas a ± 180 °C, com 2400x (A), 4000x (B), 4500x (C) e 10000x (D) de ampliação	94 e 95
Figura 4.18: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 15% de CH-II, curadas a ± 180 °C, com 2400x (A), 4000x (B), 4500 x(C) e 10000x (D) de ampliação	96 e 97
Figura 4.19: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 12% de CV-I, curadas a ± 180 °C, com 1500x (A), 3000x (B), 4500x (C) e 6000x (D) de ampliação	98 e 99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Depósitos catalogados de areias quartzosas.	29
Tabela 2.2: Segmento de agregados para construção civil, pontos fortes e pontos fracos (CARVALHO, NESI, <i>et al.</i> , 2005)	30
Tabela 2.3: Critérios para possível conveniência de areias para a manufatura de blocos sílico-calcários (SANTOS, 1985)	32
Tabela 2.4: Conjunto dos dados relativos aos núcleos de produção da cal no Rio Grande do Norte (modificado de CARVALHO <i>et al.</i> , 2000)	36
Tabela 2.5: Reservas de carbonatos nas meso-regiões Oeste e Central Potiguar (Compilado de NESI, REGO, COSTA, XAVIER <i>et al.</i> , 2004)	36
Tabela 2.6: Segmento carbonático, pontos fortes e pontos fracos (CARVALHO, NESI, <i>et al.</i> , 2005)	37
Tabela 2.7: Relação pressão e temperatura da vaporização da água (SANTOS, 1985)	52
Tabela 2.8: Necessidades gerais para a produção de produtos sílico-calcários (SANTOS, 1985)	56
Tabela 2.9: Formas e dimensões do bloco modular de 12,5 cm (NBR 14974-1:2003)	57
Tabela 2.10: Formas e dimensões do bloco modular de 20,0 cm (NBR 14974-1:2003)	58
Tabela 2.11: Características físicas dos blocos sílico-calcários em comparação com os elementos de argila e concreto (SANTOS, 1985)	61
Tabela 2.12: Resistência à compressão - Classes de blocos sílico-calcários (NBR 14974-1:2003)	62
Tabela 3.1: Formulação das massas sílico-calcárias estudadas	68
Tabela 4.1: Distribuição de tamanhos de partículas das matérias-primas	77
Tabela 4.2: Composição química das matérias-primas	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	–	Absorção de água
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG	–	Análise granulométrica
BSC	–	Bloco sílico-calcário
CCVA	–	Central de Calcinação Vale do Apodi
CH	–	Cal hidratada
CPs	–	Corpos-de-prova
C-S-H	–	Silicato de cálcio hidratado
CTGÁS	–	Centro de Tecnologia do Gás
CV	–	Cal virgem
D ₁₀	–	Diâmetro no qual 10% das partículas estão abaixo dele
D ₅₀	–	Diâmetro no qual 50% das partículas estão abaixo dele
D ₉₀	–	Diâmetro no qual 90% das partículas estão abaixo dele
D _M	–	Diâmetro médio das partículas
DNPM	–	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	–	Difração de raios X
FRX	–	Fluorescência de raios X
Kical	–	Kical Comercial e Industrial de Cal Ltda
MEA	–	Massa específica aparente
MRF	–	Módulo de ruptura à flexão
PA	–	Porosidade aparente
PF	–	Perda ao Fogo
PT	–	Propriedades tecnológicas
RLc	–	Retração linear após a cura
RN	–	Rio Grande do Norte
UFRN	–	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 PRODUTOS SÍLICO-CALCÁRIOS	21
2.2 ELEMENTOS SÍLICO-CALCÁRIOS	21
2.2.1 Revestimentos sílico-calcários	22
2.2.2 Materiais sílico-calcários celulares	23
2.2.3 Outros materiais sílico-calcários	24
2.3 BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS	24
2.3.1 Processo produtivo de fabricação	26
2.3.2 Matérias-primas	27
2.3.2.1 <i>Areia</i>	27
2.3.2.1.1 <i>Ocorrências de areia no Estado do Rio Grande do Norte</i>	27
2.3.2.1.2 <i>Agregado silicoso</i>	31
2.3.2.1.3 <i>Origem</i>	31
2.3.2.1.4 <i>Composição química</i>	31
2.3.2.1.5 <i>Granulometria</i>	32
2.3.2.2 <i>Cal</i>	34
2.3.2.2.1 <i>Disponibilidade de carbonatos no Estado do Rio Grande do Norte</i>	34
2.3.2.2.2 <i>Origem da cal</i>	38
2.3.2.2.3 <i>Qualidade da cal</i>	39
2.3.2.2.4 <i>Quantidade de cal</i>	42
2.3.2.3 <i>Água</i>	43
2.3.2.4 <i>Pigmentos</i>	44
2.3.3 Processo de manufatura	45
2.3.3.1 <i>Preparação da mistura</i>	45
2.3.3.2 <i>Moldagem dos blocos</i>	49
2.3.3.3 <i>Autoclavagem dos blocos</i>	51
2.3.3.3.1 <i>Autoclave</i>	51
2.3.3.3.2 <i>Processo de endurecimento</i>	51
2.3.3.3.3 <i>Reação processada durante o tratamento</i>	54
2.3.4 Necessidades gerais para a produção	55
2.3.5 Características técnicas dos blocos sílico-calcários	56

2.3.5.1 Formas e dimensões	56
2.3.5.1.1 Bloco modular de 12,5 cm	57
2.3.5.1.2 Bloco modular de 20,0 cm	58
2.3.5.2 Tolerância dimensional	59
2.3.5.3 Cor e aparência	59
2.3.5.4 Absorção d'água e permeabilidade	59
2.3.5.5 Retração por secagem	60
2.3.5.6 Massa específica aparente	61
2.3.5.7 Durabilidade	61
2.3.5.8 Resistência mecânica à compressão.....	61
3 MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS	65
3.1.1 Areia	65
3.1.2 Cal	65
3.2 MÉTODOS	66
3.2.1 Caracterização das matérias-primas	66
3.2.1.1 Análise granulométrica	66
3.2.1.2 Análise química por fluorescência de raios X	67
3.2.1.3 Análise de fases por difração de raios X	67
3.3 PREPARAÇÃO DA MASSA SÍLICO-CALCÁRIA	67
3.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	68
3.5 SECAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	69
3.6 CURA DOS CORPOS-DE-PROVA	69
3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CURADOS	72
3.7.1 Propriedades tecnológicas	72
3.7.1.1 Retração linear de cura	72
3.7.1.2 Absorção de água	72
3.7.1.3 Porosidade aparente	73
3.7.1.4 Massa específica aparente	73
3.7.1.5 Resistência mecânica	74
3.7.2 Análise de fases por difração de raios X	75
3.7.3 Análise micromorfológica por microscopia eletrônica de varredura	75
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	77

4.1.1	Análise granulométrica	77
4.1.2	Análise química por fluorescência de raios X	78
4.1.3	Análise de fases por difração de raios X	80
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CURADOS	83
4.2.1	Propriedades tecnológicas	84
4.2.1.1	<i>Retração linear de cura</i>	84
4.2.1.2	<i>Absorção de água</i>	85
4.2.1.3	<i>Porosidade aparente</i>	86
4.2.1.4	<i>Massa específica aparente</i>	87
4.2.1.5	<i>Resistência mecânica</i>	88
4.2.2	Análise de fases por difração de raios X	90
4.2.3	Análise micromorfológica por microscopia eletrônica de varredura	92
5	CONCLUSÕES	100
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS	104

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O processo de produção de blocos sílico-calcários existe na Alemanha desde 1880, ano este em que o método foi patenteado por Wilhelm Michaelis, e chamado de “Método de produção de pedra artificial de areia” (SABBATINI, 1984). Até a década de 30 os tijolos fabricados eram de baixa resistência, sendo utilizados somente para alvenaria de vedação. No início dos anos 40 foram desenvolvidos os processos que permitiam a fabricação dos blocos sílico-calcários (BSC’s) de alta resistência para o uso em alvenaria estrutural, ou seja, que suportam cargas além de seu próprio peso (HOLANDA Jr, 2000). Na Alemanha os BSC são conhecidos como *Kalksandstein* e na Inglaterra como *Sandlime Bricks* (SABBATINI, 1984).

Segundo a norma NBR-14974-1:2003, BSC’s são blocos prismáticos para alvenaria, fabricados com cal e agregados finos, de natureza predominantemente quartzo, que depois da mistura íntima são moldados em peças, por pressão e compactação, sofrendo posteriormente endurecimento sob ação de calor e pressão de vapor.

Os principais centros produtores dos BSC’s são Alemanha, Holanda, Rússia, Inglaterra e em menor escala Estados Unidos, México e Canadá (PRENSIL, 1999). Na Holanda, após a Segunda Guerra, 70% da reconstrução dos edifícios foi feita com a aplicação dos BSC’s.

Particularmente na Rússia e na Alemanha, as misturas de cal e areia quartzosa estão sendo usadas para fabricação de vários tipos de blocos e painéis destinados ao revestimento de paredes, forros, divisórias e revestimentos de fachadas. Na Rússia, o custo de se fazer o BSC é menor comparado ao bloco cerâmico (PRENSIL, 1999).

Os BSC’s são utilizados principalmente na Holanda, onde 70% dos blocos são produzidos de sílico-calcários, Na Alemanha e na Rússia o percentual é de 25% (PRENSIL, 1999). São largamente produzidos na Inglaterra, nos Estados Unidos e no Canadá. Diversos outros países da América, África e Ásia produzem BSC’s a partir de tecnologia alemã ou britânica. No Brasil, em 1973 foi inaugurada a primeira empresa “Prensil S/A Produtos de Alta Resistência”, no entanto, só a partir de 1976, os BSC’s começaram a ser produzidos, sendo que toda a tecnologia utilizada é da empresa Alemã KRUPP (SANTOS, 1985).

As matérias-primas dos BSC’s são as mesmas da tradicional argamassa de cal:areia quartzosa e hidróxido de cálcio. No entanto, a cal hidratada e a areia não reagem quimicamente entre si nas condições normais de temperatura e pressão. A argamassa endurece e assume resistência a esforços moderados, apenas pela secagem e pela adesão entre os grãos de areia proporcionada pela formação de cristais de carbonato de cálcio, a partir da reação do

hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono do ar (carbonatação). A areia não se envolve no processo. As mesmas matérias-primas, porém, quando submetidas a alta pressão de vapor saturado e a relativamente altas temperaturas, reagem quimicamente formando compostos, conhecidos como silicatos de cálcio, na superfície dos grãos de areia silicosa. Portanto, o BSC consiste basicamente de um esqueleto granular de areia cimentado por silicatos de cálcio hidratados. Em particular, grãos finos de areia reagem inteiramente com a cal (HOLANDA Jr, 2000).

Na construção civil, os BSC's podem ser utilizados em substituição aos blocos convencionais, pois normalmente apresentam algumas vantagens sobre eles, dentre as quais possuem relativa simplicidade no processo de manufatura, boa uniformidade e aparência geométrica correta conferindo grande qualidade. Podem ser usados em todas as formas e tamanhos de conformidade com o mercado e com os padrões específicos.

Os BSC's são exclusivamente utilizados na construção de alvenarias. Tem a vantagem de dispensar chapisco e emboço no revestimento, não é preciso regularizar a parede, é bastante nivelado, e pode ficar aparente ou receber uma fina camada de revestimento. Isso significa economia de mão-de-obra e material de acabamento. Há modelos com furos de diferentes formatos para a passagem dos eletrodutos. A principal desvantagem desses blocos refere-se ao seu peso, que é superior aos blocos convencionais. No Brasil, são fabricados blocos vazados para alvenaria armada de 6 MPa e maciços perfurados para alvenaria não armada de 10 MPa (REIS, 2008).

As matérias-primas, areia silicosa e cal, devem ser de boa qualidade, não devendo conter substâncias prejudiciais, como sais solúveis que são causadores dos problemas de eflorescência (HOLANDA Jr, 2000).

A alternativa proposta de fabricar BSC's para uso em alvenarias na construção civil resulta da relativa simplicidade em que o processo de fabricação é realizado, ou seja, na produção racionalizada e na otimização de recursos de materiais, humanos e energéticos, tendo em vista, por exemplo, da não necessidade dos BSC's serem sinterizados, evitando assim grande impacto ambiental proveniente da desertificação (madeira) e da poluição do ar atmosférico pelas impurezas contidas nos gases de exaustão dos fornos utilizados na indústria cerâmica vermelha.

A avaliação da potencialidade das matérias-primas estudadas será através de aplicação de técnicas de delineamento estatístico para formulação de massas de BSC's. As massas serão formuladas com variações dos percentuais das matérias-primas, da umidade, da

granulometria, da pressão de moldagem e variações de pressão e temperatura na autoclavagem. Essas variações darão como resultado diferentes valores de retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, resistência mecânica e formação microestrutural. Isso permitirá o desenvolvimento de uma formulação de massa em função da característica que se deseja obter no produto final.

Estes aspectos motivaram o desenvolvimento de um trabalho que avalie a viabilidade da produção de BSC's, no Estado do Rio Grande do Norte, que atenda as características físicas e mecânicas especificadas em normas técnicas.

Além desses benefícios ambientais citados anteriormente haverá também a contribuição destinada aos consumidores da construção civil, de ter nova opção de escolha de produtos de alvenarias.

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver no Estado do Rio Grande do Norte um processo de fabricação de BSC's na finalidade de obter viabilidade técnica para uso em alvenarias na construção civil. Dentre os objetivos específicos deste trabalho estão: caracterização física e química das matérias-primas areia, cal hidratada e cal virgem; desenvolver formulações que possibilitem a obtenção de material com características que correspondam às especificações técnicas; avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos BSC's, tanto no estado seco quanto no estado curado, a partir de misturas proporcionadas de areia e da cal hidratada e da cal virgem; e estabelecer uma diretriz para o beneficiamento eficaz das matérias-primas, com o intuito de tornar viável sua utilização como material da construção civil.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRODUTOS SÍLICO-CALCÁRIOS

Os tipos de produtos sílico-calcários fabricados são muito diversificados em suas características. Eles incluem tijolos, blocos, produtos acessórios fabricados em material denso, com ou sem reforços de ferragem, 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 (SANTOS, 1985).

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:



A reação forma 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: (a) obtenção da matéria-prima; (b) preparação da massa; (c) moldagem dos produtos; (d) endurecimento nas autoclaves; (e) manuseio e transporte (SANTOS, 1985).

2.2 ELEMENTOS SÍLICO-CALCÁRIOS

Os elementos sílico-calcários são de grande utilização na construção pré-fabricada, sendo 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 elementos sílico-calcários é composta, em princípio, das seguintes operações: (a) obtenção da areia e separação das frações grossas; (b) obtenção da cal virgem moída; (c) preparação e mistura da ligação cal-areia moída; (d) preparação do concreto sílico-calcário, misturando a areia não moída com a mistura finamente moída, cal, areia e água, dentro de betoneiras; (e) montagem dos elementos; (f) 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 ser alterados conforme as necessidades econômicas e técnicas locais dos produtos (SANTOS, 1985).

A montagem destes elementos é feita sobre mesas vibratórias, por prensagem ou uma prensa vibratória, sendo os elementos que serão submetidos a 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 kg/m³, os vibrados, e de até 60 MPa com 2300 kg/m³ os vibrado-laminados. 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. (KOMAR, 1978).

2.2.1 Revestimentos sílico-calcários

Revestimentos sílico-calcários de alvenarias fabricadas são 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 (SANTOS, 1985). 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 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.

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 coloridos com pigmentos minerais em todas as cores;
- prestam-se à moldagem em qualquer forma ou relevo;
- têm os seguintes índices-mecânicos: resistência á ruptura por compressão de 20 a 30 MPa; massa volumétrica de 1900 a 1950 kg/cm², absorção d'água de no máximo, 16%.

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 (SANTOS, 1985).

2.2.2 Materiais sílico-calcários celulares

Os materiais sílico-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, onde em seguida são submetidas à ação de autoclavagem (SANTOS, 1985). Este material possui características de baixa massa volumétrica e boas condições de isolamento térmico, resultantes de sua estrutura porosa.

As resistências mecânicas obtidas dependem diretamente da densidade, como mostra a Figura 2.1, a seguir (COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON, 1978):

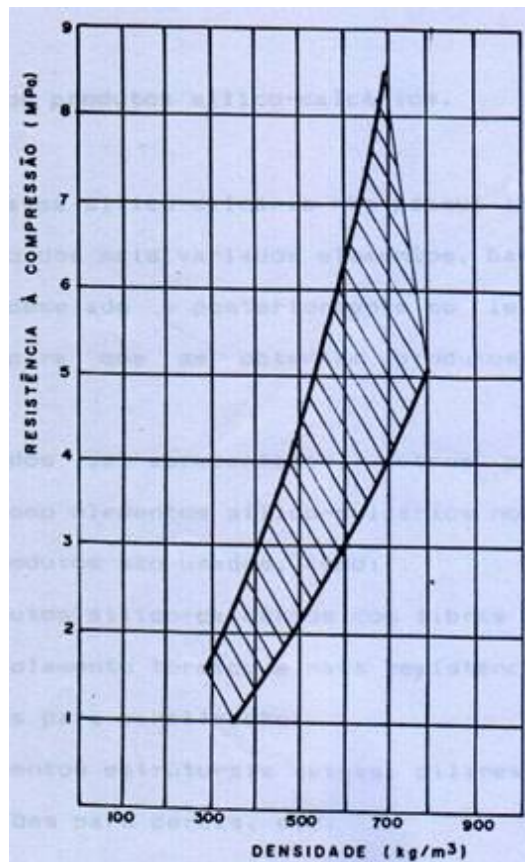


Figura 2.1: Relação entre a resistência à compressão e a densidade de produtos sílico-calcários celulares.

Fonte: (SANTOS, 1985).

2.2.3 Outros materiais sílico-calcários

A 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 em autoclave, para que se obtenham produtos os mais variados possíveis (SANTOS, 1985).

Além dos já citados, outros produtos são também fabricados:

- 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.

2.3 BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS

- Definição

Neste trabalho, o termo *BSC* será empregado, para designar também o tijolo sílico-calcário, que por conceito, se diferencia do bloco apenas pelo seu dimensionamento. (Figura 2.2).

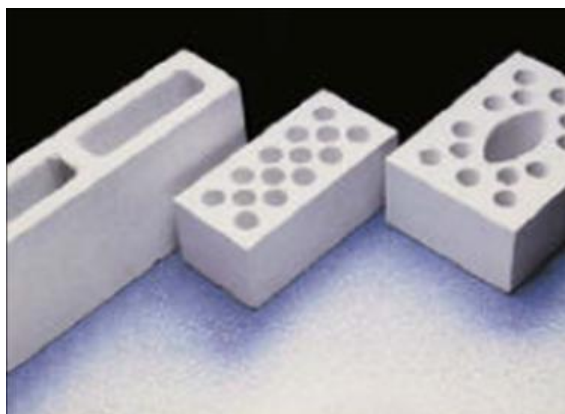


Figura 2.2: Blocos sílico-calcários.
Fonte: (PRESIL, 1999).

O intuito é de uniformizar a terminologia de um produto que não possui estandardização internacional (o que é tijolo para uns é bloco para outros) e adequá-la ao uso corrente da

designação do produto entre nós, pois no Brasil, como a quase totalidade do consumo é de blocos, há uma generalização em denominar-se tijolos ou blocos por BSC's

Será adotada a seguinte definição, que incorpora as observações anteriores e se fundamenta nas definições citadas:

“Bloco Sílico-Calcário é uma unidade de alvenaria composta por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal e areia quartzosa, moldado por prensagem e curada por vapor à alta pressão”.

A definição acima é auto-explicativa em relação ao processo de fabricação e aos materiais básicos empregados. Poder-se-ia também adotar uma outra, relacionada com a constituição do BSC:

“Bloco Sílico-Calcário é uma unidade de alvenaria constituída por uma estrutura granular de areia quartzosa cimentada por silicatos de cálcio hidratados”.

- Histórico

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. A primeira patente mundial que tinha como idéia básica fazer cura de uma mistura de cal e areia em autoclaves foi de Van Derburgh na Inglaterra em 1866 (BESSEY, 1967). Porém seu processo nunca foi explorado industrialmente (FRANCO, 1988).

Na Alemanha, em 1880, o pesquisador químico Wilhelm Michaelis, patenteou um outro processo, que denominou “Método de Produção de Pedra Artificial de Areia” Seus estudos, permitiram 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. (ROBERT, 1970).

No entanto, a aplicação industrial desse processo só foi ocorrer em 1894 através de Simon Neffgren na cidade de Neumunster, também na Alemanha (ROBERT, 1970). Em 1898 iniciou-se a produção na Holanda e em 1905 na Inglaterra e daí em diante por toda Europa, Estados Unidos e Canadá.

Até cerca de 40 anos atrás, a produção de BSC foi voltada somente para fabricação de tijolos “comuns” de baixa resistência, sem função estrutural. Somente na década de 40, desenvolveram-se processos que permitiram a fabricação de unidades com resistência à compressão fantasticamente alta. Assim, o advento na Europa da alvenaria estrutural na década de 50 coincidiu com a disponibilidade de um elemento que lhe era muito adequado.

Os principais centros produtores dos BSC's são Alemanha, Holanda, Rússia, Inglaterra e em menor escala Estados Unidos, México e Canadá (PRENSIL, 1999). Nos últimos 34 anos a produção tem sido implantada em países das Américas, África e Ásia, com a utilização quase que na totalidade de tecnologia alemã e inglesa (SANTOS, 1985).

Com certeza pode-se afirmar que a primeira fábrica a produzir em escala industrial o BSC foi a “Silical – Indústrias Sílico-Cal Nordeste S.A., em Salvador/BA, em 1970. Esta indústria cessou suas atividades em 1979.

A “Prensil S/A – Produtos de Alta Resistência”, única empresa que atualmente supre o mercado. Começou a produzir o BSC em 1976 na cidade de Jacareí/SP (SANTOS, 1985). Seu produto, desde o início foi recomendado para a alvenaria estrutural não armada. Aliás, deve-se a Prensil, os primeiros estudos para a viabilização da alvenaria estrutural não armada na construção de edifícios residenciais.

2.3.1 Processo produtivo de fabricação

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 do BSC, na ordem em que eles aparecem no curso da produção, podem ser sumariamente colocados desta maneira:

(1) matéria-prima:

- natureza da areia: origem, composição química e granulometria;
- qualidade da cal;
- quantidade da cal;
- natureza da água.

(2) processo de manufatura:

- processo de mistura: proporcionamento, mistura, hidratação, remistura;
- moldagem dos blocos;
- condições de autoclavagem: tempo, pressão e temperatura (SANTOS, 1985).

2.3.2 Matérias-primas

2.3.2.1 Areia

Devido a grande quantidade requerida de areia, suas propriedades têm uma importante influencia na qualidade dos blocos. A conveniência do uso de uma areia depende da natureza da superfície dos grãos, da sua composição química, da quantidade de impurezas presentes e da sua granulometria.

2.3.2.1.1 Ocorrência de areia no Estado do Rio Grande do Norte

Os depósitos aluvionares, distribuídos largamente no Rio Grande do Norte, nos vales de rios, são os mais importantes economicamente, embora outros depósitos de menor importância sejam evidenciados: coberturas arenosas, depósitos lacustres, depósitos litorâneos representados por dunas fixas e móveis e os sedimentos de praia. Conforme informações do DNPM estão catalogadas 54 títulos de licenciamento para areia (Figura 2.3).

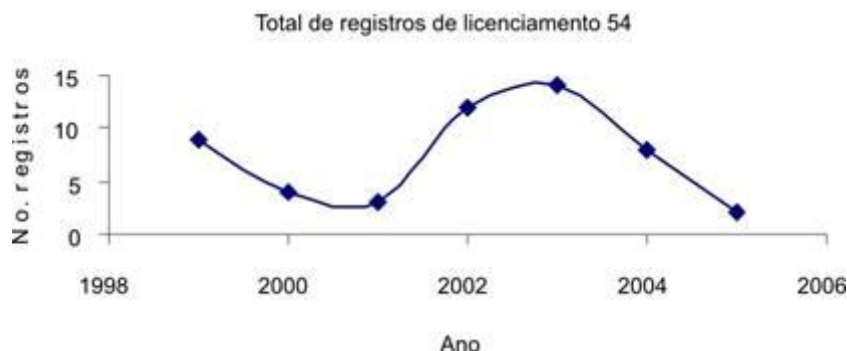


Figura 2.3: Número de registros de licenciamento para areia.
Fonte: (CARVALHO, *et al.*, 2005).

É ressaltado que os depósitos mais significativos estão situados ao longo dos leitos dos rios Apodi, Carmo, Ceará-Mirim, Maxaranguape, Paraú, Piranhas-Açu, Pium, Potengi, Seridó e Trairí. Embora quartzosas com 82 - 86% de SiO_2 , algumas areias (rios Apodi e Trairí) possuem impurezas reveladas pelas concentrações de 6 a 9% de Al_2O_3 (presença de minerais de argila e feldspatos), de 3 a 4% de K_2O , 2% de Na_2O (presença de feldspatos), além de aproximadamente 0,6% de Fe_2O_3 devido os fragmentos de hidróxidos de ferro (NESI & CARVALHO, 1999).

As areias de lagoas estão distribuídas principalmente na meso-região leste Potiguar - litoral norte nos municípios de Maxaranguape, Ceará - Mirim e Extremoz. As areias quartzosas (a maioria com mais de 90% de quartzo e traços de feldspatos, micas, rutilo, ilmenita, magnetita, limonita e alguma argila e rara matéria orgânica).

Também ocorrem em depósitos superficiais, com importante distribuição horizontal, como manchas no topo de tabuleiros sobre sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário-Quaternário) na faixa litorânea da meso-região leste Potiguar, ao longo da linha de costa, onde os depósitos situam-se em áreas de ecossistemas costeiros de difícil exploração. No interior do estado recobrem os sedimentos da Formação Serra do Martins, nas Serras de Santana (meso-região Central Potiguar) e Martins/Porta Alegre (meso-região Oeste Potiguar).

Sobrepõem também os sedimentos da Formação Açu (Cretáceo) bordejando, de leste a oeste, a bacia Potiguar nos municípios de João Câmara para Pedro Avelino, Afonso Bezerra, Ipanguaçu, Açu, Upanema e Apodi. Por fim, as areias quartzosas capeiam as rochas metamórficas proterozóicas, principalmente quartzíticas da Formação Equador, na região leste de Equador, sítio Jacu, na meso-região Central - Potiguar, estendendo-se para Junco do Seridó no estado da Paraíba.

Cerca de 14 depósitos de areias quartzosas foram catalogados, verificado na Tabela 2.1, (NESI & CARVALHO, 1999) repousando:

Tabela 2.1: Depósitos catalogados de areias quartzosas.

FORMAÇÃO	MUNICÍPIOS	NÚMERO DE DEPÓSITOS
Grupo Barreiras	Brejinho (1), Ceará-Mirim (2), Mossoró (1), Serra do Mel (1) e Serrinha (1)	6
Serra dos Martins	Lagoa Nova	2
Açu	Apodi (1), Caraúbas (1), João Câmara (1) e Mossoró (1)	4
Equador	Equador	2

Fonte: (NESI & CARVALHO, 1999)

A lavra de areia, para a construção civil, se dá nas proximidades das regiões urbanas como a grande Natal, Mossoró e Caicó recuperada dos leitos dos rios Potengi, Ceará-Mirim, Trairí, Seridó, Apodi e do Carmo, além de pequenas lagoas e de coberturas arenosas. Além disto, quase todos os municípios, do Estado exploram areia dos rios que cortam ou margeiam suas cidades, sem qualquer controle efetivo (NESI, *et al.*, 2004).

Há pelo menos 20 empresas lavrando e comercializando areias e cascalhos, e muitas delas atuam na informalidade, sem caracterização tecnológica destes sedimentos e ausência de incentivos por parte do poder público. Estes fatos dificultam sobremaneira uma avaliação segura das reservas, embora os autores acima estimem reservas de areias quartzosas dos depósitos aluvionares e coberturas arenosas da ordem de 50 milhões e de 6 bilhões de toneladas respectivamente, considerando uma espessura da ordem de 1,5 m de areias lavráveis.

A Figura 2.4 demonstra que a produção de areia e cascalho no Estado, no período de 1995 a 2002, partiu de 266 milhões de m³ no ano de 1995, com um primeiro salto em 1997 produzindo 1,5 milhão de m³, atingindo uma produção de um pouco mais de 16 milhões de m³ em 2001, com uma arrecadação da ordem de 16 milhões de reais, sofrendo ligeiro declínio em 2002.

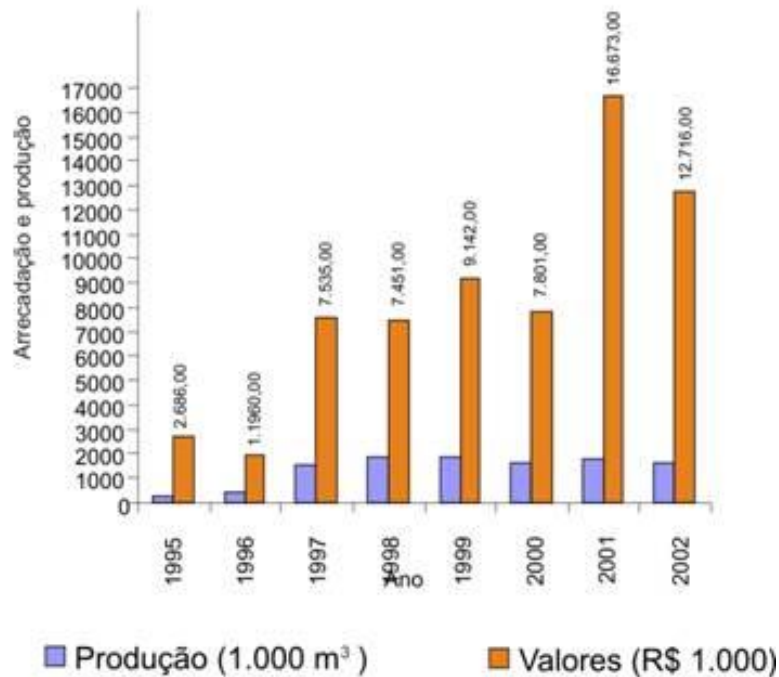


Figura 2.4: Evolução da arrecadação e da produção de areia e cascalho no Estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: (NESI, *et al.*, 2004).

- Diagnóstico setorial

Nesta abordagem, apresenta-se uma síntese do perfil e problemas enfrentados pelo segmento de agregados para a construção civil, para a substância mineral areia e cascalho, visualizada através da Tabela 2.2 (CARVALHO, *et al.*, 2005).

Tabela 2.2: Segmento de agregados para construção civil, pontos fortes e pontos fracos.

SUBSTÂNCIA	PERFIL	PROBLEMAS
AREIA E CASCALHO	A exploração destes materiais ocorre em todo o Estado para abastecer as cidades e provêm das aluviões dos rios próximos. Outras fontes são os depósitos de lagoas, praias, dunas e outras coberturas recentes. A atividade empresarial está em grande parte legalizada no DNPM e IDEMA. As demais estão na informalidade. O setor não tem representação em alguma forma de organização.	Desconhecimento do total de empreendimentos em operação no Estado. Falta de estudos geológico e tecnológico das jazidas. Informalidade do setor. Concorrência predatória na comercialização. Falta de organização do setor. Ausência de gestão empresarial.

Fonte: (CARVALHO, NESI, *et al.*, 2005).

2.3.2.1.2 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, dependendo em grande parte do desempenho destas funções as características do produto resultante (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1977).

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 à superfície específica dos grãos, devido ao maior número de contatos com os grãos da cal, o que leva a reagir mais prontamente. A sílica existente em grandes percentagens na areia quartzosa está no estado cristalino, possuindo, sem que sofra tratamento, uma baixa superfície específica.

2.3.2.1.3 Origem

De 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 à areia antes da sua utilização depende, primeiramente, se sua origem e depois dos detalhes de manufaturas dos produtos e das qualidades finais desejadas.

2.3.2.1.4 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.

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.

Como guia para uma escolha preliminar da areia usada para este propósito, é sugerido por (BESSEY, 1974) que sejam adotados os critérios da Tabela 2.3, a seguir:

Tabela 2.3: Critérios para possível conveniência de areias para a manufatura de blocos sílico-calcários.

Critérios	Areias Provavelmente Convenientes	Areias que Requerem Testes	Areias Provavelmente Inconvenientes
Conteúdo total de Sílica (SiO ₂)	> 90 %	75 a 90 %	< 75 %
Conteúdo de Feldspatos	< 10 %	10 a 20 %	> 20 %
Materiais Expansivo	< 1 %	1 a 5 %	> 5 %
Sais Solúveis	< 0,05 %	0,05 a 0,20 %	> 0,20 %
Álcalis Total (K ₂ O + Na ₂ O)	< 1 %	1 a 3 %	> 3 %
Sulfato Solúvel (SO ₄)	< 0,02 %	0,02 a 0,10 %	> 0,10 %
Argila e Silte (material < 20 µm)	< 4 %	4 a 10 %	> 10 %

Fonte: (SANTOS, 1985).

A percentagem de argila permitida, 10% conforme Tabela 2.3, 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.

2.3.2.1.5 Granulometria

A granulometria da areia afeta a maioria das propriedades do produto, principalmente a resistência mecânica do bloco cru e do bloco endurecido. Estando a granulometria disposta por peneiramento a seco, pode-se então determinar os diversos parâmetros da areia, que são de importância na avaliação daquela que será usada na confecção dos BSC's, e os quais definem o tipo de areia com que estamos trabalhando (BESSEY & PURTON, 1976).

A seguir serão estabelecidas conclusões importantes, devido á grande importância da granulometria da areia nas qualidades do produto final:

(1º) 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 do material.

(2º) 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 última proporção da

fração grossa depende da granulometria desta fração e da textura requerida para o produto final.

(3^o) 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.

(4^o) 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.

(5^o) 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 á graduação.

(6^o) A graduação dos agregados deve ser tal que o coeficiente de forma não seja menor que 1,2. A graduação descontínua do agregado ocasiona um aumento de resistência em relação á graduação contínua (Figura 2.5). Um acréscimo na abertura do intervalo necessita uma maior proporção de finos ou com uma proporção constante de fino ocasiona uma perda de resistência (SANTOS, 1985). Com uma graduação descontínua se consegue também, um maior empacotamento da mistura quando prensada e por conseqüência uma maior densidade volumétrica.

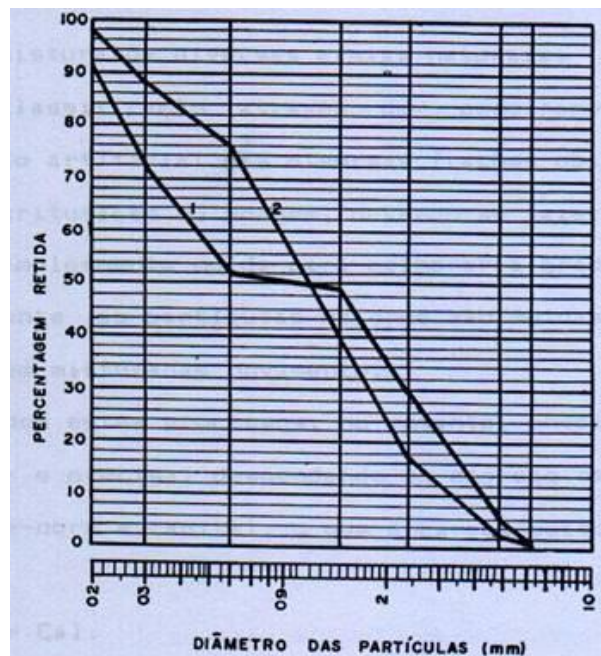


Figura 2.5: Granulometria da areia.
Fonte: (SANTOS, 1985).

(7º) A composição granulométrica natural de muitas areias é suficiente para que a indústria de BSC fabrique blocos de qualidade uniforme com uma resistência à compressão de 15 MPa.

2.3.2.2 Cal

A cal utilizada para esse fim deve apresentar características específicas para o uso na confecção de BSC. No que se refere à cal, dois fatores são ligados às propriedades dos produtos resultantes: a qualidade da cal e a sua quantidade.

2.3.2.2.1 Disponibilidade de carbonatos no Estado do Rio Grande do Norte

As rochas carbonáticas no Estado do Rio Grande do Norte estão distribuídas na Bacia Potiguar mesozóica (Formação Jandaíra constituída essencialmente por calcários bioclásticos), cobrindo uma área aproximada de 21.000 km², ocupando grande parte da região centro-norte do Estado, formando uma extensa faixa leste-oeste, mergulhando suavemente para NNE, e nos terrenos metamórficos proterozóicos, ocorrendo como mármore predominantemente calcíticos da Formação Jucurutu.

Os calcários da Formação Jandaíra podem ser lajeados, compactos, bioclásticos e gredosos, distribuindo-se predominantemente nas porções ocidental, oriental e central da Bacia Potiguar. Quimicamente nos carbonatos destacam-se dois domínios: cálcico e magnésiano, distribuindo-se respectivamente nas porções ocidental e oriental da parte emersa da bacia Potiguar. Assim definidos domínios de calcários calcíticos e dolomíticos (MENOR *et al.*, 1980), ressaltando-se a abundância do primeiro domínio na meso-região Oeste Potiguar envolvendo os municípios de Mossoró, Governador Dix-Sept Rosado, Felipe Guerra, Pendências, Apodi e Baraúnas, e o segundo domínio nas meso-regiões Central, Agreste e Leste Potiguar ocupando os municípios de Jandaíra, Pureza, Parazinho, João Câmara, Pedra Preta, Pedro Avelino, Poço Branco, Macaíba e São Gonçalo do Amarante.

Os calcários da Bacia Potiguar (calcíticos e em menor proporção dolomíticos) são utilizados essencialmente como matéria-prima na produção de cimento e em menor proporção como brita e corretivo de solo na região de Mossoró, Pendências e João Câmara. A produção de cal também se dá nos municípios de Governador Dix-Sept Rosado e Jandaíra, Apodi, Felipe Guerra, Assu e Baraúna na bacia Potiguar. A cal também é produzida a partir de

mármore da Formação Jucurutu nos municípios de Almino Afonso, Messias Targino, Caicó, Jucurutu, Jardim do Seridó, São José do Seridó e São Rafael. O segmento dos carbonatos, especificamente usados na produção de cal pode ser visualizado em quatro Pólos produtores localizados na meso-zonas Oeste e Central Potiguar (Figura 2.6).

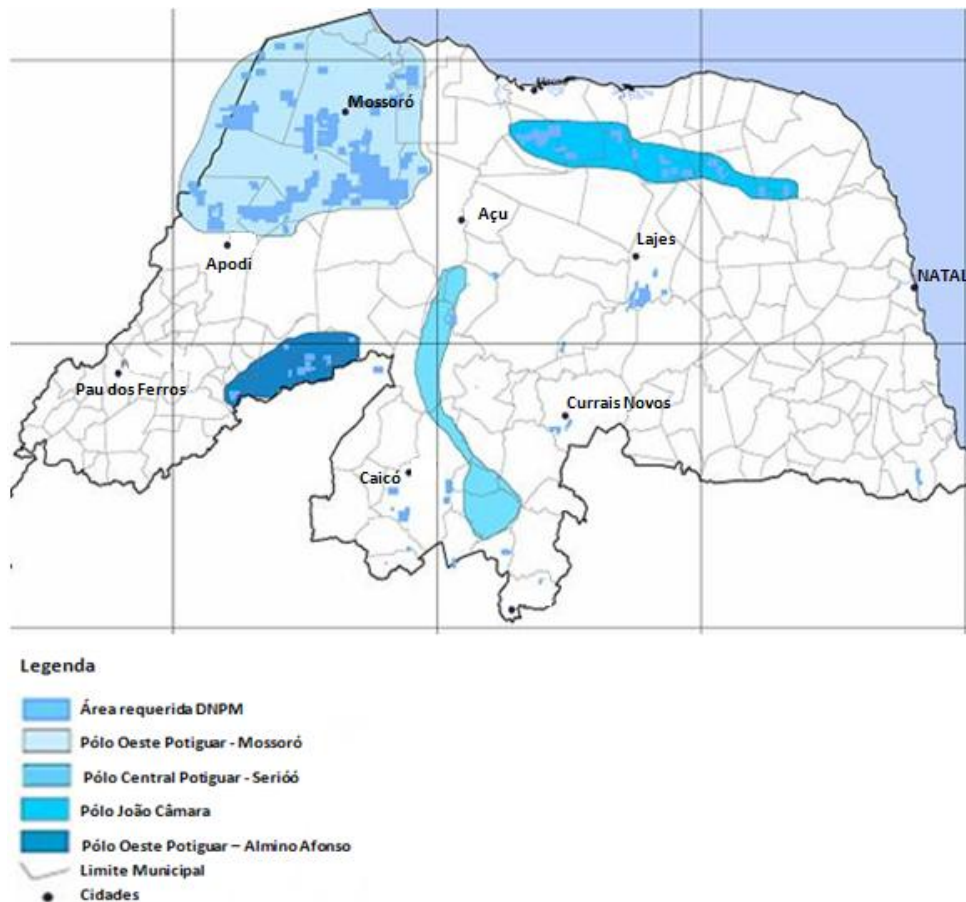


Figura 2.6: Segmento dos Carbonatos.
Fonte: (CARVALHO, *et al.*, 2005).

Ressalta-se que o processo de obtenção da cal, a partir da calcinação dos carbonatos de cálcio, é, com raras exceções, rudimentar, e utiliza-se como combustível a borracha de pneus velhos, casca da castanha de caju, e principalmente a madeira (lenha). Isto ocasiona a devastação da flora, além da poluição do ar, principalmente, devido a queima da borracha. A empresa Kical em governador Dix-Sept Rosado e a CCVA em Mossoró, já usam gás natural na calcinação do calcário. O segmento carbonático no Rio Grande do Norte envolveu cerca de dezessete municípios nos quatro pólos supracitados, possuindo 184 fornos, dentre os quais somente 106 encontravam-se em atividade (CARVALHO *et al.*, 2000).

O conjunto dos pólos, arregimentando mais de 900 operários, possui capacidade produtiva de cal bruto da ordem de 20.000 toneladas, porém a produção não ultrapassa 7.000 toneladas (Tabela 2.4), para o mercado consumidor dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Ceará e Alagoas, atendendo o setor açucareiro, construção civil, tintas e o siderúrgico. No Rio Grande do Norte as rochas sedimentares são utilizadas principalmente na fabricação de cimento Portland, na produção de cal, como brita e como corretivo de solos. Os calcários cristalinos são menos aproveitados, sendo usados na produção de cal e como rocha ornamental.

Tabela 2.4: Conjunto dos dados relativos aos núcleos de produção da cal no Rio Grande do Norte.

Núcleos	Núcleos Produtores	Nº DE FORNOS			PESSOAL ENVOLVIDO			CAPACIDADE PRODUTIVA (ton/mês)	
		ATIVOS	INATIVOS	TOTAL	DIRETO	INDIRETO	TOTAL	EFETIVA	INSTALADA
I*	44	45	36	81	288	266	554	4.308	13.420
II**	31	22	19	41	100	93	193	540	1.860
III**	34	35	17	52	122	31	153	1.928	3.570
IV*	5	4	6	10	24	15	39	176	1.940
Total	114	106	78	184	534	405	939	6.952	20.796

* meso-região Oeste Potiguar

**meso-região Central Potiguar

Fonte: (modificado de CARVALHO *et al.*, 2000).

O faturamento do setor atingiu cifras da ordem de 267 mil reais/mês, destacando-se os núcleos I (meso-região Oeste Potiguar, Governador Dix-Sept Rosado, Apodi, etc.) e III (meso-região Central Potiguar, Jandaíra), explorando calcários da bacia potiguar, com valores girando em torno de R\$ 150 mil e R\$ 77 mil por mês, respectivamente (Tabela 2.5).

Tabela 2.5: Reservas de carbonatos nas meso-regiões Oeste e Central Potiguar.

MUNICÍPIOS	RESERVAS DE TONELADAS (TONELADAS)			
	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL POR MUNICÍPIO
Açu	14.147.000	6.144.000	9.369.000	29.660.000
Areia Branca	21.106.035	15.870.542	-	36.976.577
Baraúna	194.078.850	53.693.040	-	247.771.890
Felipe Guerra	223.627	321.227	2.	
Gov. Dix-Sept Rosado	445.181.100	349.944.000	269.273.400	1.064.398.500
Mossoró	1.764.995.920	1.530.968.232	902.021.590	4.197.985.742
Pendências	53.163.255	14.529.680	143.937.000	211.629.935
TOTAL	2.492.895.787	1.971.470.721	1.326.996.827	5.791.363.355

Fonte: (Compilado de NESI *et al.*, 2004).

Os depósitos de carbonatos são estratiformes, constituindo jazidas de grande porte, cuja lavra a céu aberto torna-se de fácil extração. Nas meso-regiões Oeste e Central Potiguar,

abrangendo os municípios de Mossoró, Governador Dix-Sept Rosado, Baraúnas, Felipe Guerra, Açú e Areia Branca as reservas são estimadas em torno de 5,8 bilhões de toneladas (Tabela 2.4). Face ao alto consumo de madeira (lenha) o setor produtivo de cal poderá ser inviabilizado em futuro próximo, uma vez que a produção de uma tonelada de cal exige um consumo 4 (quatro) m³ de lenha. Assim para uma produção de 6.952 toneladas/mês de cal, serão necessárias 27.808 m³ de lenha, equivalendo ao desmatamento da ordem de 185 ha/mês.

- Diagnóstico setorial

Nesta abordagem, apresenta-se uma síntese do perfil e problemas enfrentados pelo segmento produtivo carbonático, visualizada através da Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Segmento carbonático, pontos fortes e pontos fracos.

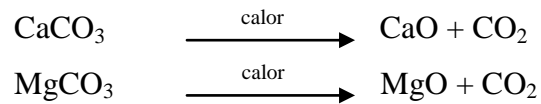
SETOR	PERFIL	PROBLEMA
GERAL	A produção de cal está espalhada pelo Estado. Opera com lavra manual e semi-mecanizada e utiliza a lenha como combustível. Os novos projetos industriais em implantação dispõem de fornos rotativos e utilizarão gás natural como combustível.	Este segmento apresenta baixa tecnologia e organização e gestão empresarial do negócio. Alta informalidade e conflitos ambientais pelo uso da lenha. Fazem exceção os novos projetos em implantação.
RECURSOS EXPLORÁVEIS	Rocha bruta, britada e polida para ornamentação e construção civil. Rocha moída para uso como corretivo e fertilizante. Rocha para calcinação e produção de cal e cimento. Variações de cores e de composição química favorecem diversidade de usos e aplicações. Grande abundância de matéria-prima.	Embora as reservas sejam amplas, estas rochas carecem de melhor conhecimento geológico e caracterização tecnológica.
LAVRA	Na indústria do cimento a lavra é toda mecanizada e controlada. Na produção de corretivo e cal, pratica-se essencialmente lavra manual e até predatória.	Baixo nível tecnológico, falta de controle de qualidade e desperdício na lavra de corretivo e cal. Falta de acompanhamento técnico e profissional.
BENEFICIAMENTO	Para produção de cal o processo consiste na calcinação; de corretivo, na moagem fina. Os fornos de cal usam lenha como na indústria cerâmica. Exceto os novos empreendimentos.	Baixo nível tecnológico do processo produtivo e do controle de qualidade.
SITUAÇÃO LEGAL	A produção de cal apresenta elevada informalidade perante a legislação mineral, ambiental, trabalhista e tributária.	Lavra informal; evasão de tributos; conflitos trabalhistas; conflitos ambientais pela exploração de lenha de ecossistemas frágeis como a caatinga.
ASSISTÊNCIA TÉCNICA	Atividade exercida por práticos e operários de baixa escolaridade. Carência de suporte técnico à produção de cal e corretivos.	Baixa escolaridade e qualificação técnica da mão de obra empregada.
CRÉDITO E FINANCIAMENTO	Opera com as linhas e exigências tradicionais dos bancos oficiais.	Descapitalização e endividamento da pequena produção.

Fonte: (CARVALHO, *et al.*, 2005).

Esta tabela abrange, quando possível, um conjunto de informações contendo recursos exploráveis, lavra, beneficiamento, situação geral, assistência técnica, crédito e financiamento (CARVALHO *et al.*, 2005).

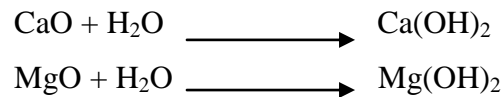
2.3.2.2.2 Origem da cal

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:



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 (SANTOS, 1985). Há também na composição da cal outras impurezas, tais como sílica (SiO₂), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de alumínio (Al₂O₃), 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. Neste caso, o endurecimento não ocorre sob a água, somente no ar.

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

Os fatores que mais afetam o comportamento da cal são: (a) tipo de forno utilizado; (b) quantidade de sílica e sesquióxidos; (c) teor de carbonatos; (d) tamanho e granulometria das partículas na calcinação, e (e) atividade ou tamanho do cristalino da fração MgO.

2.3.2.2.3 Qualidade da cal

- Tipo

A cal utilizada para esse fim pode ser tanto cal virgem como cal hidratada moídas, tendo-se o cuidado de que sua hidratação em ambos os casos esteja completa antes da entrada do produto na autoclave (SANTOS, 1985).

- 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 CaO presente como tal ou como hidróxido de cálcio (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 CaO disponível, para que sejam envolvidos e cimentados todos os grãos da areia (BESSEY, 1974).

Segundo (BESSEY, 1974), uma boa qualidade da cal virgem conterà 90 a 95% de cal disponível, enquanto uma cal hidratada conterà 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 CaO e uma cal hidratada com 60 a 72% (equivalente a 70 a 95%).

A cal utilizada deve ser tal que, quando a cal virgem é usada, ela 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. 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.

Na confecção dos produtos sílico-calcários, as cales empregadas são as cales aéreas moídas com alto grau de granulometria, virgens ou hidratadas e do ponto de vista da

composição, que seja mais cálcica 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.

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 °C, enquanto o carbonato de cálcio não se decompõe totalmente abaixo de 900 °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.

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.

Há fabricantes que estabelecem certos limites para as impurezas mais comuns na cal para seu uso nos produtos BSC (OHNEMULLER, 1967). As principais são as seguintes:

- *Dióxido de Carbono (CO_2)*: o gás carbônico, embora inerte, é sinal de má queima da cal, devendo ser controlado. É limitado em 5%.
- *Compostos Argilosos (SiO_2 , Al_2O_3)*: geralmente existentes na forma de compostos cálcicos.
- *Óxido de Ferro (FeO)*: componente argiloso (BESSEY & ELDRIDGE, 1933).

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, (OHNEMULLER, 1967). Em locais onde há pelo 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).

- Estabilidade

Estabilidade da cal 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 sílico-calcários. 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 (Figura 2.7), dada aproximadamente por uma curva parabólica, sendo esta relação considerada com consistência notável, devido às cales testadas serem diferenciadas amplamente em composição química e nas propriedades físicas, tal como finura e trabalhabilidade (SANTOS, 1985).

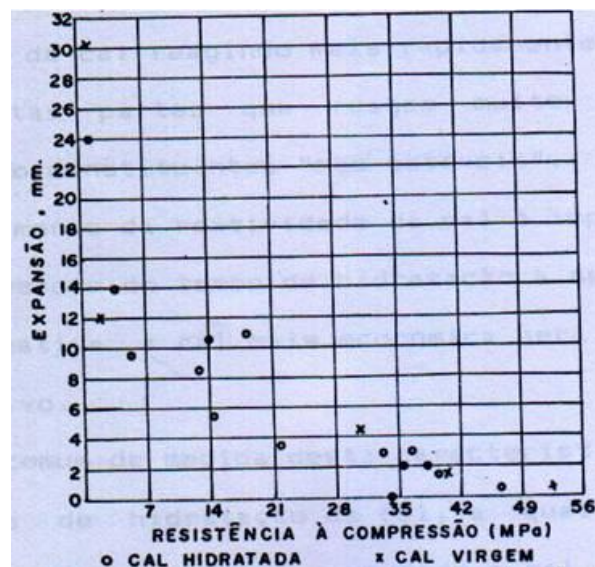


Figura 2.7: Relação entre resistência à compressão e a estabilidade da cal.
Fonte: (SANTOS, 1985).

- Reatividade

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.

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.

- Granulometria

A finura da cal é mais um fator importante a considerar quando decide-se a respeito do tipo de processo manufatura e do tempo de permanência da cal dentro dos recipientes de hidratação. 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 (DEMPSEY, 1969). Esta característica tem uma grande influência sobre uma outra propriedade da cal, a plasticidade, que não tem importância determinada sobre o produto final (SANTOS, 1985).

- Plasticidade

Quanto maior o teor 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 (SANTOS, 1985).

2.3.2.2.4 Quantidade de cal

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 (SANTOS, 1985).

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 2.8 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.

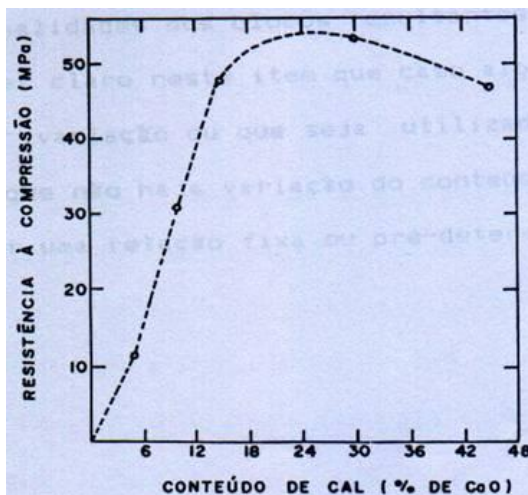


Figura 2.8: Relação entre a resistência à compressão e o conteúdo da cal.
Fonte: (SANTOS, 1985).

O conteúdo normal de cal para a fabricação de BSC's segundo (BESSEY, 1964), é de 4 a 12% (4 a 9% de cal virgem, CaO ; ou 8 a 12% de cal hidratada, Ca(OH)_2); 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 dependem 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 (SANTOS, 1985).

2.3.2.3 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 (SANTOS, 1985).

2.3.2.4 Pigmentos

Nenhum outro material além da cal, da sílica e da água é essencial para a manufatura dos produtos sílico-calcários. 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 número 325;
- os pigmentos devem ser produzidos sob um padrão, para não acarretar diferenciações nas remessas dos produtos.

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:

- (1º) pré-moagem do pigmento com a cal, com o agregado silicoso ou com ambos, antes de introduzir no misturador;
- (2º) misturar sem pré-moagem.

A cor obtida será comum a todo o corpo do elemento, o que é importante para que não haja desfiguramento no caso de quebras (SANTOS, 1985).

2.3.3 Processo de manufatura

O processo de manufatura dos blocos sílico-calcários está ilustrado na Figura 2.9 a seguir.

Este processo é dividido em quatro (4) estágios:

- (1) preparação da mistura;
- (2) moldagem dos blocos;
- (3) autoclavagem dos blocos;
- (4) manuseio e transporte dos produtos.

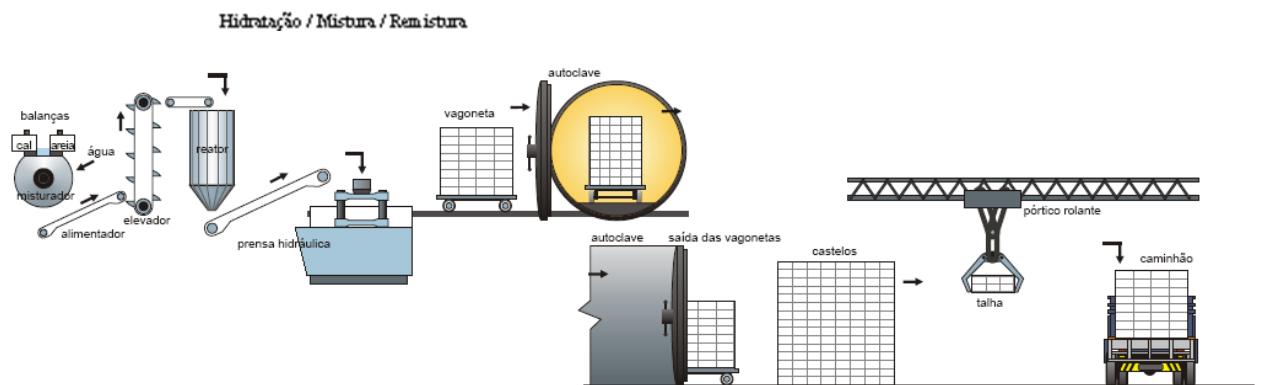


Figura 2.9: Processo de manufatura dos blocos sílico-calcários.
Fonte: (PRENSIL, 1999).

2.3.3.1 Preparação da mistura

Este estágio é muito importante no processo de manufatura dos BSC's, 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: proporcionamento, 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.

As etapas individuais devem ser ordenadas de maneira que os seguintes requisitos sejam cumpridos:

1. Os tamanhos de grão de areia devem estar igualmente distribuídos dentro da mistura.
2. 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.
3. 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.
4. Cal e água devem ser uniformemente distribuídas no interior da areia durante a pré-mistura.
5. Antes da remistura, a cal deve estar completamente hidratada. Se algum traço de cal não hidratada permanece, então ela hidrata durante a remistura ou em último caso na autoclavagem, ocasionando o enfraquecimento ou quebra dos blocos.
6. 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.
7. 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.
8. A água deve ser igualmente dispensada no material hidratado (JUNG, 1967).

- Proporcionamento

O objetivo do proporcionamento é a medida 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: *volumétrico*, *gravimétrico-volumétrico* e *gravimétrico*.

No sistema *volumétrico*, 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 *gravimétrico-volumétrico* 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 *gravimétrico*, 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 (JUNG, 1967).

- 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 (SANTOS, 1985). A qualidade dos blocos é dependente em grande parte do processo de mistura. A colocação dos materiais deve ser efetivada com o misturador completamente fechado, para prevenir os problemas com o pó no recinto de trabalho (QUINCKE, 1967).

Uma colocação correta dos materiais: 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 CaO com 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 (JUNG, 1967). Dentro do

misturador as partículas devem se manter em intenso movimento durante todo o período de mistura estipulado para cada equipamento.

- 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:

- I. *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.
- II. *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.
- III. *Processo do tambor rotativo de extinção*: Neste processo os materiais são colocados em um tambor desenhado para resistir pressões, onde 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.

Após cada um destes processos o material hidratado é despejado diretamente no interior do remisturador, para a última etapa da preparação da mistura (JUNG, 1967).

- 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.

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 (JUNG, 1967).

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.

2.3.3.2 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.

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 (BESSEY, 1974).

A pressão utilizada pode variar de 10 a 45 MPa (SABBATINI, 1984). 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.

A escolha da pressão utilizada deve decorrer do cotejo prático entre a carga máxima da prensa e sua economia. Em termos de consumo de energia e gastos são imediatamente encaminhados para as autoclaves com o uso de vagonetes.

O grau de prensagem dos blocos acarreta variações muito grandes na resistência dos elementos, o que pode ser visto na Figura 2.10 (BESSEY, 1964), que relaciona a resistência a diversos tipos de areia ou na Figura 2.11, em que se relaciona com o tempo de moldagem (SCHLOSSER & SCHUIZ, 1967).

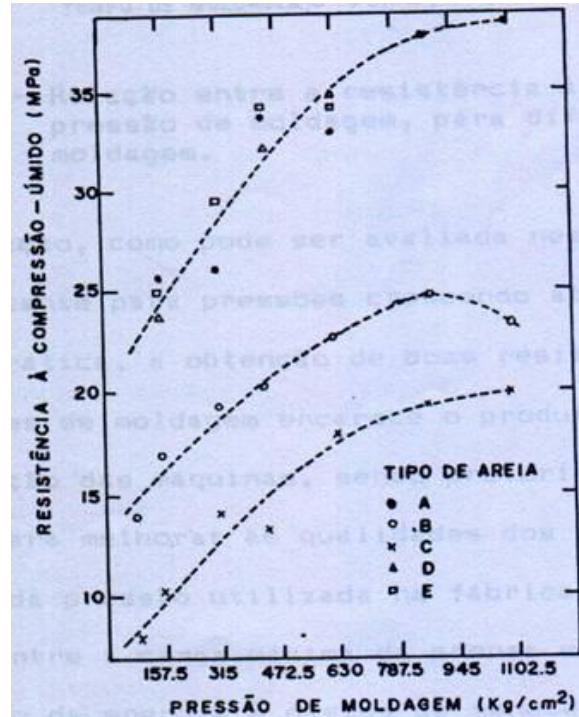


Figura 2.10: Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tipos de areia.
Fonte: (SANTOS, 1985).

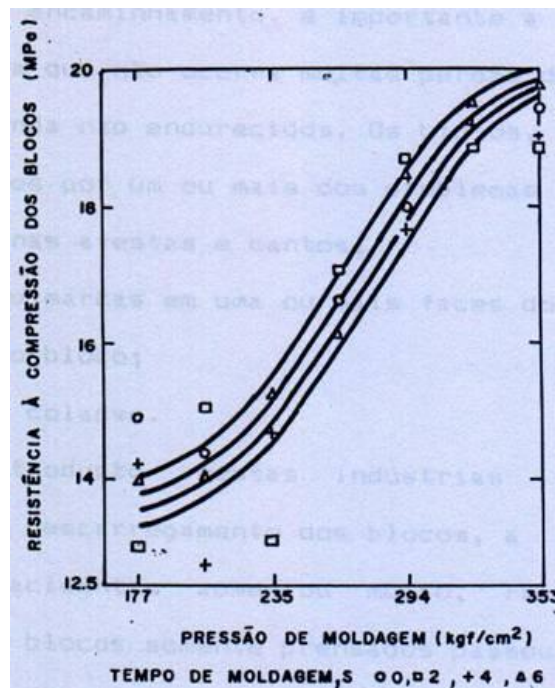


Figura 2.11: Relação entre a resistência à compressão e a pressão de moldagem, para diferentes tempos de moldagem.
Fonte: (SANTOS, 1985).

Esta variação, como pode ser avaliada nestas figuras, no entanto, é importante para pressões crescendo até aproximadamente 630 kg/cm^2 (Figura 2.10). 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.

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 ocorram 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.

2.3.3.3 Autoclavagem dos blocos

2.3.3.3.1. Autoclave

Esta fase processa-se no interior de autoclaves, que são cilindros de aço ou concreto armado, resistentes à pressão, normalmente com 2 a 2,5 metros de diâmetro e 10 a 30 metros de comprimento, com porta em uma ou duas extremidades. 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 (SANTOS, 1985).

2.3.3.3.2 Processo de endurecimento

O ciclo de autoclavagem é normalmente dividido nesses períodos: (1º) pré-aquecimento; (2º) aquecimento (elevação da temperatura, geração de pressão); (3º) período de máxima temperatura e pressão. 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 há 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 a Tabela 2.7, a seguir (SILVA, 1982).

Tabela 2.7: Relação pressão e temperatura da vaporização da água.

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

Fonte: (SANTOS, 1985).

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. Conseqüentemente, 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 (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. Observado em seus estudos, dos quais resultou a Figura 2.12 (TAYLOR, 1967).

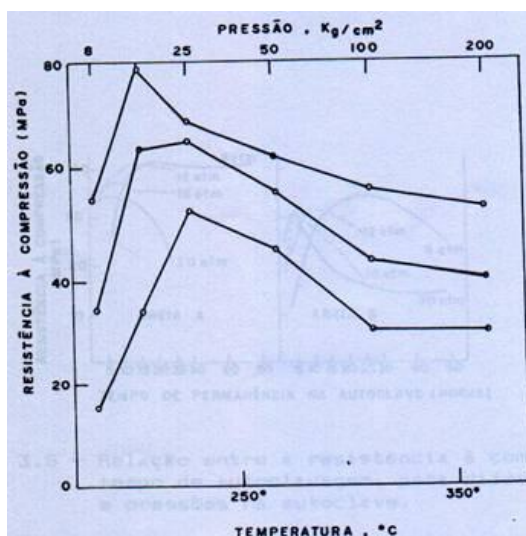


Figura 2.12: Relação entre a resistência à compressão e a pressão-temperatura de autoclavagem.

Fonte: (SANTOS, 1985).

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.

O aumento no tempo acarreta um aumento na resistência dos blocos, no entanto, como pode ser visto na (Figura 2.13), em um estudo feito 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 decréscimo para tempos de permanência exagerada (SANTOS, 1985).

No gráfico da Figura 2.13 pode ser notado também que para pressões mais altas de cura, ainda, o aumento de resistência obtida é menor do que para pressões de cura menores (SANTOS, 1985).

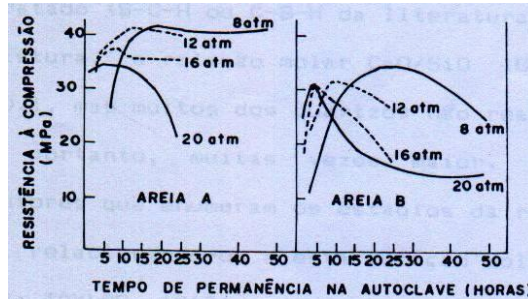


Figura 2.13: Relação entre a resistência à compressão e o tempo de autoclavagem, para diferentes areias e pressões na autoclave.

Fonte: (SANTOS, 1985).

2.3.3.3.3 Reação processada durante o tratamento

A cal é usada como agente cimentante catiônico. O ânion necessário para a formação dos hidrosilicatos é obtido do agregado somente durante o processo hidrotérmal 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 CaO/SiO (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 (TAYLOR, 1967).

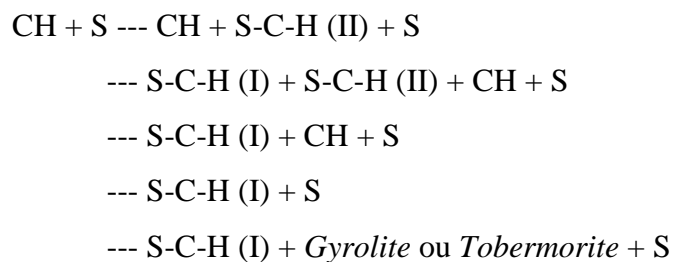
A tendência geral da reação S-C-H é:

- *Primeiro estágio:* Forma-se uma fase rica em cal, com uma relação S/C (I), reduzindo a relação molar para até 0,8. Este composto não tem uma composição particular, sendo uma fase semi-cristalina;
- *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;

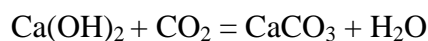
- *Terceiro estágio:* Mais sílica reage com este último, formando, de acordo com o valor da pressão na autoclave, diferentes compostos cristalinos de composição constante. Se a pressão é de 12 a 20 atm, é comum formar-se *Gyrolite* (S= 3, C= 2, H= 2), e à pressão de ± 8 atm, é formada *Tobermorite* (S = 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 (SANTOS, 1985).

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 entrou em reação química com a sílica reage com o gás carbônico do ar, dando carbonato de cálcio sólido de acordo com a reação:



2.3.4 Necessidades gerais para a produção

As necessidades gerais para a montagem de uma indústria de BSC's são apresentadas na Tabela 2.8 (GUNZELMANN, 1967).

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

Tabela 2.8: Necessidades gerais para a produção de produtos sílico-calcários.

Processo	Grupo Especializado de Máquinas	Espécie de Máquinas
Processamento dos Agregados		Peneiras, Britador, Moinhos, Equipamentos 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 secagem, máquinas vibratórias, moldes para blocos
Endurecimento	Caldeiras, Construção Instalada	Geradores de vapor, autoclaves
Transporte	Tecnologia de manuseio e transporte	Veículos sobre trilhos, transportadores contínuos, guindaste

Fonte: (SANTOS, 1985).

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 e particular, não devendo ser adotado nenhum padrão como correto (GUNZELMANN, 1967).

2.3.5 Características técnicas dos blocos sílico-calcários

O processo de fabricação utilizado e as matérias-primas empregadas vão determinar as características dos BSC's resultantes. As exigências em relação a formas, dimensões e resistência, dizem respeito a uma ou mais das seguintes propriedades: (a) variação dimensional por secagem; (b) dilatação térmica; (c) densidade; (d) absorção, e (e) resistência mecânica.

2.3.5.1 Formas e dimensões

Os BSC's possuem formas e dimensões padronizados de acordo com seu tipo. Os blocos complementares (meio-bloco, canaleta etc.) seguem esta padronização (NBR 14974-1:2003). 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 BSC's a serem fabricados depende da norma 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.

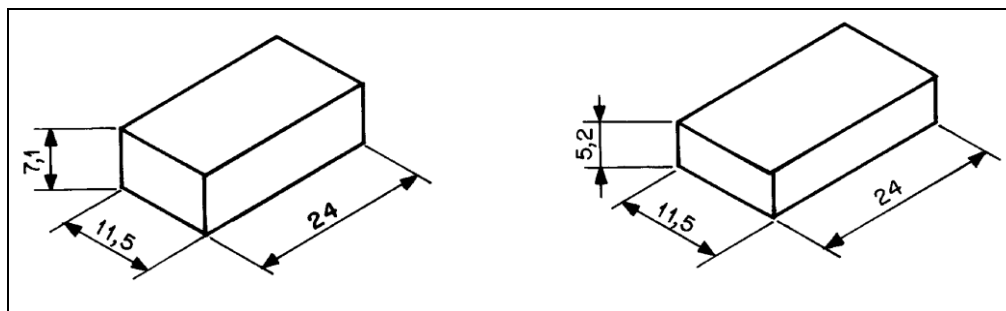
2.3.5.1.1 Bloco modular de 12,5 cm

Bloco que atende à modulação de 12,5 cm de altura e comprimento, incluindo 1 cm referente à dimensão teórica da junta de argamassa, podendo variar a sua largura. De acordo com a Tabela 2.9 e Figuras 2.14 e 2.15 (NBR 14974-1:2003).

Tabela 2.9: Formas e dimensões do bloco modular de 12,5 cm.

Tipo	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Maciço (a)	11,50	7,10	24,00
Maciço (b)	11,50	5,20	24,00
Furado, perfurado ou vazado (c)	11,50	11,30	24,00
Furado, perfurado ou vazado (d)	14,00	11,30	24,00
Furado, perfurado ou vazado (e)	17,50	11,30	24,00

Fonte: (NBR 14974-1:2003).



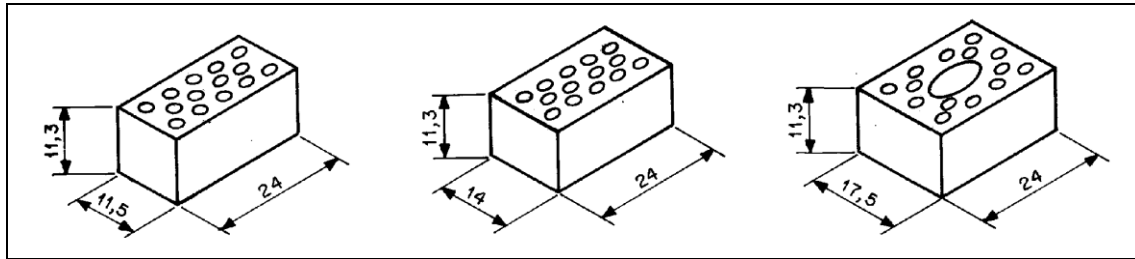
Maciço tipo (a)

Maciço tipo (b)

Figura 2.14: Desenho esquemático dos blocos maciços

Fonte: (NBR 14974-1:2003).

Para uma economia 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). Também cavidades para fins de manuseio são encontradas em elementos de maiores dimensões.



Furado ou perfurado tipo

(c)

Furado ou perfurado tipo
vazado

(d)

Furado, perfurado ou
vazado

(e)

Figura 2.15: Desenho esquemático do bloco furado, perfurado ou vazado.
Fonte: (NBR 14974-1:2003).

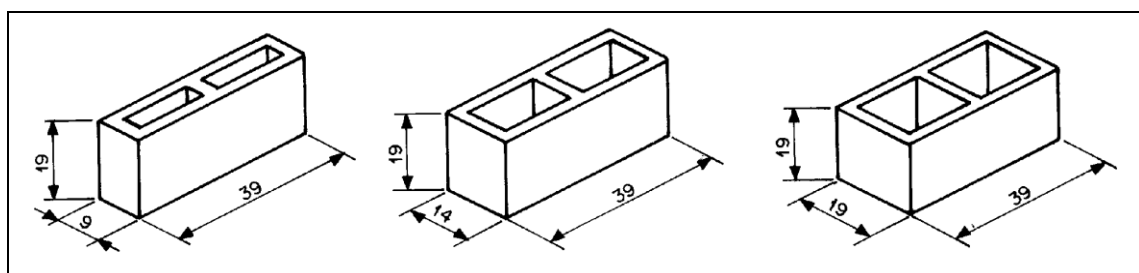
2.3.5.1.2 Bloco modular de 20,0 cm

Bloco que atende à modulação de 20,0 cm de altura e comprimento, incluindo 1 cm referente à dimensão teórica da junta de argamassa, podendo variar a sua largura. De acordo com a Tabela 2.10 e a Figura 2.16 (NBR 14974-1:2003).

Tabela 2.10: Formas e dimensões do bloco modular de 20,0 cm.

Tipo	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Vazado (a)	9,00	19,00	39,00
Vazado (b)	14,00	19,00	39,00
Vazado (c)	19,00	19,00	39,00

Fonte: (NBR 14974-1:2003).



Vazado tipo (a)

Vazado tipo (b)

Vazado tipo (c)

Figura 2.16: Desenho esquemático dos blocos vazados
Fonte: (NBR 14974-1:2003).

As perfurações, em geral, são causadoras de grandes desgastes nos moldes, acarretando a diminuição da vida 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.

2.3.5.2 Tolerância dimensional

A tolerância dimensional para todos os tipos de BSC's é de ± 2 mm em qualquer das dimensões (NBR 14974-1:2003).

2.3.5.3 Cor e aparência

Devido à ação da cal, a cor natural dos elementos sílico-calcários de areia-cal é esbranquiçada, com uma pequena coloração amarela, cinza ou rosa, dependendo da cor da areia usada. Estes elementos têm alta reflexão, a qual é vantajosa para o uso em faces internas, como também para minimizar o calor solar externamente. 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 sílico-calcários, pois estes praticamente não possuem sais solúveis (SANTOS, 1985).

2.3.5.4 Absorção d'água e permeabilidade

Estas características estão relacionadas à densidade dos elementos. Possuem importância em relação à penetração da chuva, e nos efeitos de sucção de umidade da argamassa no assentamento, mas não há uma correlação simples com estes efeitos.

Os valores de absorção, para todas as classes de BSC's, devem estar entre 11% e 18% (NBR 14974-1:2003). Os blocos de argila de baixa absorção alcançam valores inferiores aos

sílico-calcários sendo mais usados em locais onde baixa absorção e impermeabilidade são essenciais (BESSEY, 1974).

2.3.5.5 Retração 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.

Existem duas diferentes retrações:

- (1) a retração inicial após a fabricação ou a *retração por secagem irreversível*, que vai até o ponto de umidade em que se reumidecemos o material até a umidade de fabricação, ou mais, não se observa qualquer movimento com tendência a retornar a dimensão original.
- (2) a retração que ocorre após esta, conhecida como *retração por secagem 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 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 (NOORLANDER, 1969).

Geralmente os valores da retração irreversível para os BSC's 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 Tabela 2.11).

É 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.

2.3.5.6 Massa específica aparente

A massa específica aparente, nestes elementos, varia somente entre um pequeno intervalo (Tabela 2.11), 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 é de até $1,00\text{g/cm}^3$.

Tabela 2.11: Características físicas dos blocos sílico-calcários em comparação com os elementos de argila e concreto.

Características	Blocos sílico-calcários	Blocos de argila	Blocos de concreto
Ocorrências de eflorescências	Não	Não a severa	Não a pequena
Resistência à compressão (úmidos) MPa	10 – 55	10 – 60	7 – 50
Absorção d'água	10 – 18	1 – 30	4 – 12
Durabilidade sob severas condições	Boa a moderada	Excelente a muito pobre	Boa a pobre
Retração por secagem (%)	0,01 – 0,04	0,00 – 0,015	0,02 – 0,05
Densidade (g/cm^3)	1,6 – 2,1	1,4 – 2,4	1,7 – 2,2

Fonte: (SANTOS, 1985).

2.3.5.7 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 parte 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).

2.3.5.8 Resistência mecânica 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. 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. Os BSC's são divididos em classes, de acordo com o valor de resistência à compressão, conforme Tabela 2.12 (NBR 14974-1:2003).

Tabela 2.12: Resistência à compressão - classes de blocos sílico-calcários.

Classe	Resistência à compressão (MPa)
A	4,5
B	6,0
C	7,5
D	8,0
E	10,0
F	12,0
G	15,0
H	20,0
I	25,0
J	30,0

Fonte: (NBR 14974-1:2003).

O valor da resistência característica (f_{bk}) à compressão dos BSC's é calculado pela seguinte equação:

$$f_{bk} = fb - Sn$$

Onde:

fb é a média aritmética das resistências à compressão da amostra, em megapascals;

Sn é o desvio-padrão da resistência à compressão da amostra (NBR 14974-1:2003).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e a metodologia utilizados, bem como as técnicas de caracterização e propriedades tecnológicas são apresentados no fluxograma da Figura 3.1.

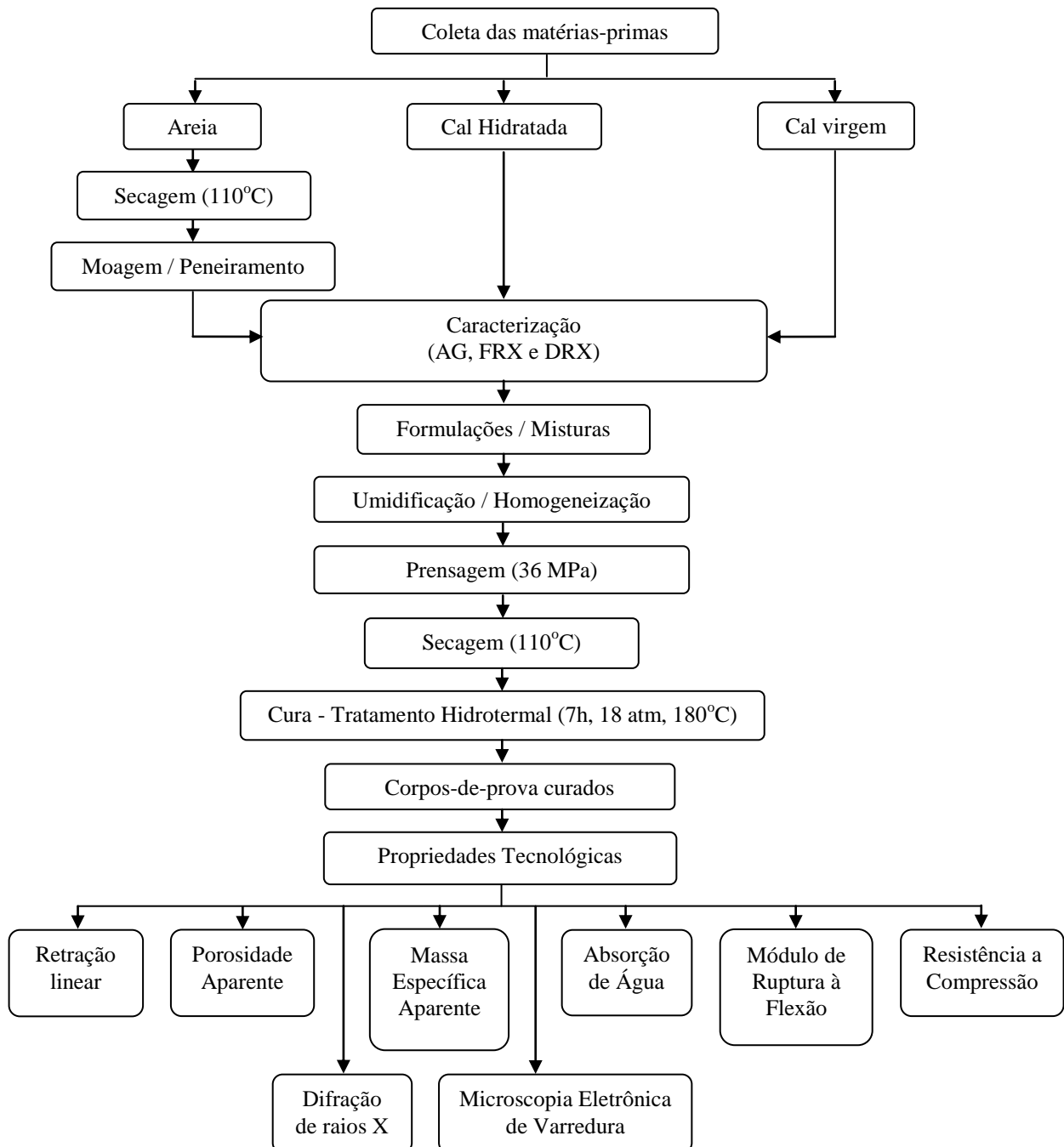


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia experimental empregada.

3.1 SELEÇÃO DE MATERIAIS

3.1.1 Areia

A areia utilizada neste trabalho foi extraída por meio de dragagem do leito de um rio, próximo a 500 metros da estrada da Jacobina, zona rural do município de São Gonçalo do Amarante/RN, existindo, neste local, empresa de extração de material, tanto no leito do rio como de jazidas, havendo abundância do mesmo.

Foram coletadas amostras de areia dessa região, pois com o estudo teórico feito, as mesmas estariam enquadradas nas condições necessárias à obtenção de produtos de melhores qualidades. Outro fator relevante foi à abundância do material na localidade, e o interesse direto do empresário, proprietário da área aonde foi extraída areia, em viabilizar a produção e comercialização de BSC's.

As amostras foram coletadas e colocadas em saco plástico para transporte até a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), onde permaneceu estocada em temperatura ambiente no Laboratório de Cerâmica (LABCER).

3.1.2 Cal

Para a realização do presente trabalho foi utilizada cal hidratada (Ca(OH)_2) e cal virgem (CaO), provenientes de uma empresa situada no município de Governador Dix-Sept Rosado/RN, que se destaca por ser grande produtora destes materiais no Estado do Rio Grande do Norte.

Foram levantadas informações das matérias-primas para saber se atendiam a certos critérios, e foi verificado com base em critérios estabelecidos de conveniência, que estavam aptas para serem estudadas.

As amostras foram coletadas e colocadas em saco plástico para transporte até a UFRN, onde permaneceu estocada em temperatura ambiente no Laboratório de Cerâmica (LABCER). As amostras de cal hidratada e cal virgem foram identificadas como (CH) e (CV) respectivamente.

3.2 MÉTODOS

O trabalho experimental constitui na preparação e caracterização das matérias-primas, como também a preparação e confecção de amostras sílico-calcárias a partir de adições crescentes de cal (CH e CV) à areia.

A areia coletada foi submetida a um processo de secagem realizada em estufa elétrica com termostato regulado em $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas. Após o processo de secagem a amostra de areia foi destorroada com o auxílio de almofariz/pistilo e acondicionada em saco plástico para caracterização, sendo que as amostras de cal (CH e CV) foram apenas submetidas e acondicionadas em sacos plásticos.

3.2.1 Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas por técnicas de: análise granulométrica (AG), análise química por fluorescência de raios X (FRX) e análise de fases por difração de raios X (DRX).

3.2.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras, presumivelmente representativas dos sedimentos, e no tratamento estatístico dessa informação.

As medidas foram realizadas em soluções líquidas, contendo material particulado a ser analisado em suspensão, homogeneizado com dispersante hexametáfosfato em pequena quantidade (0,5% da massa total da amostra). A solução foi agitada e dispersa por um agitador, sendo a contagem efetuada via microcomputador. O tempo de medida total é inferior a 1 minuto e a faixa de leitura é entre 0,5 e 500 μm , ou seja, partículas finas.

Os resultados são expressos por histogramas e por curvas de porcentagem cumulativa de partículas (%) versus diâmetro das partículas (μm) sendo possível, através destes, retirar frações de interesse (D_{10} , D_{60} , D_{90} e D_M).

A análise granulométrica foi realizada com o auxílio do granulômetro a laser da marca CILAS modelo 920L com “software” CILAS versão 2.56.

3.2.1.2 Análise química por fluorescência de raios X

A composição química das matérias-primas foi determinada por fluorescência de raios X por energia dispersiva (FRX). Para isso, utilizou-se o equipamento Espectrômetro por fluorescência de raios X EDX-700 da Shimadzu, alocado nas instalações do Laboratório de Ensaio de Materiais do CTGÁS. Para realizar as análises utilizou-se o método semiquantitativo, numa atmosfera de vácuo. As matérias-primas utilizadas foram moídas até granulometria inferior a 200 mesh (0.075mm de abertura).

3.2.1.3 Análise de fases por difração de raios X

Para analisar as fases das matérias-primas, bem como as fases formadas após o tratamento hidrotermal dos CP's, ensaios de DRX foram realizados com amostras secas e moídas com granulometria inferior a 200 mesh (0.075 mm de abertura) aonde foram submetidas as seguintes condições de ensaio: tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) como fonte primária de raios X, tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, varredura de 2° a 80° para 2θ , velocidade de $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ$. Para a identificação dos picos foi usado o *software* JCPDF cadastradas no ICDD (*Internacional Centre for Diffraction Data*). A análise de difração de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro XRD-6000 da Shimadzu alocado no Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro de tecnologia do gás (CTGÁS).

3.3 PREPARAÇÃO DA MASSA SÍLICO-CALCÁRIA

A areia utilizada no trabalho foi submetida à moagem em moinho planetário (Moinho de bolas - máquina bp Engenharia, CB2-T, por período de 10 minutos) para a obtenção de partículas menores e de tamanhos homogêneos. Logo após foi passada em uma peneira ABNT número 65 (abertura de 0,212mm), e acondicionada em saco plástico. As amostras de CH foram peneiradas (abertura de 0,212mm) e acondicionadas em sacos plásticos.

Foram fixadas as porcentagens de CH e de CV para cada composição de formulação e, em seguida, foram pesadas (balança digital TECNAL Mark/2200-0,01g) areia, cal hidratada e cal virgem. Fundamentado no conteúdo normal de cal para a fabricação de BSC's segundo (BESSEY, 1964), que é de 4 a 12% (8 a 12% de cal hidratada, Ca(OH)_2 ou 4 a 9% de cal virgem, CaO).

As amostras das massas sílico-calcárias foram formuladas, preparadas com teores de 94, 91, 88 e 85 % de areia, sendo adicionadas a cada uma, teores de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de 6, 9, 12 e 15 %. Foram também separadas amostras com teores de 97,94, 91 e 88 % de areia, sendo adicionadas a cada uma, teores de cal virgem (CaO) de 3, 6, 9 e 12 %. Em seguida adicionou-se aproximadamente 10% de água às formulações, em da massa. As formulações foram identificadas de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Formulação das massas sílico-calcárias estudadas.

Formulação	Tipos de Matérias Primas		Formulação	Tipos de Matérias Primas	
	Areia (%) (SiO_2)	CH (%) $\text{Ca}(\text{OH})_2$		Areia (SiO_2)	CV(%) (CaO)
CH1	94	6	CV1	97	3
CH2	91	9	CV2	94	6
CH3	88	12	CV3	91	9
CH4	85	15	CV4	88	12

Misturou-se manualmente cada formulação até obter homogeneidade da massa, e em seguida todas as misturas foram passadas em peneira de 35 mesh (abertura de 0,425mm) com intenção de transformá-las em pequenos aglomerados, de forma a adquirir as características mais próximas possíveis de uma atomização. Após a granulação, os materiais obtidos foram armazenados em recipientes plásticos e vedados, para que não houvesse variação de umidade nas massas

3.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Nesta etapa, para cada formulação foram conformados 6 CP's, pesando-se 13 g de cada mistura úmida e utilizando um molde metálico com seção interna de 6 cm x 2 cm sendo utilizado prensagem uniaxial de 36 MPa e de simples efeito (prensa hidráulica manual, modelo PHS 15ton - schulz).

3.5 SECAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Após a obtenção dos CP's, estes foram pesados (balança digital TECNAL Mark/2200-0,01g) e medidos (Paquímetro digital STARRETT-0,01 mm) suas três dimensões, comprimento, largura e altura e avaliadas as variações ocorridas. Esses valores foram utilizados para determinar a massa específica aparente à verde, a seco e curado dos CP's. O valor do comprimento inicial (L_i), de forma isolada, foi utilizado para posterior determinação da retração linear de cura (RL_c). Inicialmente a secagem foi realizada naturalmente por no máximo 24 horas ao ar livre em ambiente de laboratório e posteriormente por mais 24 horas em estufa elétrica (estufa para esterilização e secagem, modelo TE-397/3 - TECNAL), com uma temperatura de 110°C.

3.6 CURA DOS CORPOS-DE-PROVA

A condição de cura adotada no presente trabalho foi por tratamento hidrotérmico. O tratamento hidrotérmico, refere-se a um processo de cura acelerada, tendo em vista a rapidez com que as peças atingem o enrijecimento. É um tipo de cura em que as peças confeccionadas são submetidas durante o período de enrijecimento a um ambiente de temperatura e presença constante de vapor d'água.

Para a cura dos CP's foi utilizado um reator elétrico horizontal (Figura 3.2), com diâmetro interno de 19 cm e comprimento de parte cilíndrica de 40 cm, com válvula automática para eliminação do ar.

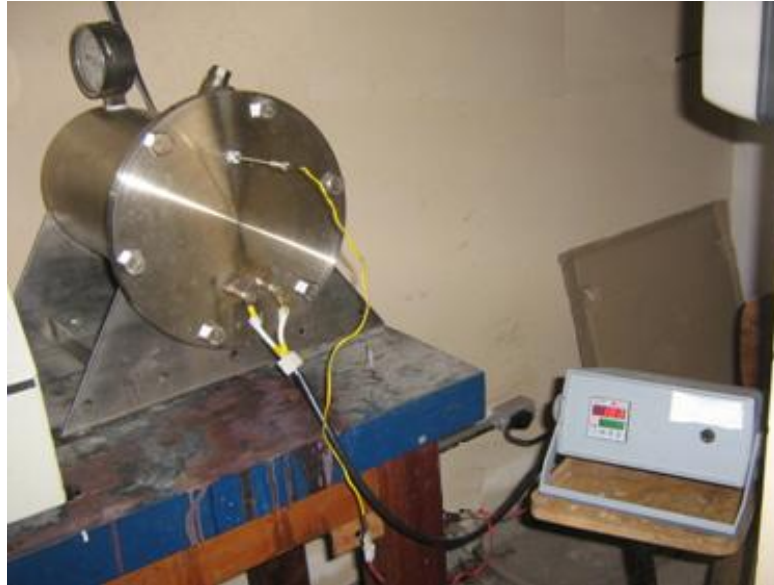


Figura 3.2: Reator químico elétrico assistido por um controlador de temperatura.

Os CP's foram curados sob pressão e temperatura, por um determinado tempo. Na Figura 3.3 pode-se verificar as curvas de pressão e temperatura a que foram submetidos os CP's dentro do reator químico. O tratamento hidrotermal teve 12 horas de duração. Após as 5 primeiras horas atingiu-se a pressão aproximada de 18 kgf/cm² e temperatura aproximada de 180 °C, onde as mesmas permaneceram praticamente constantes durante 7 horas.

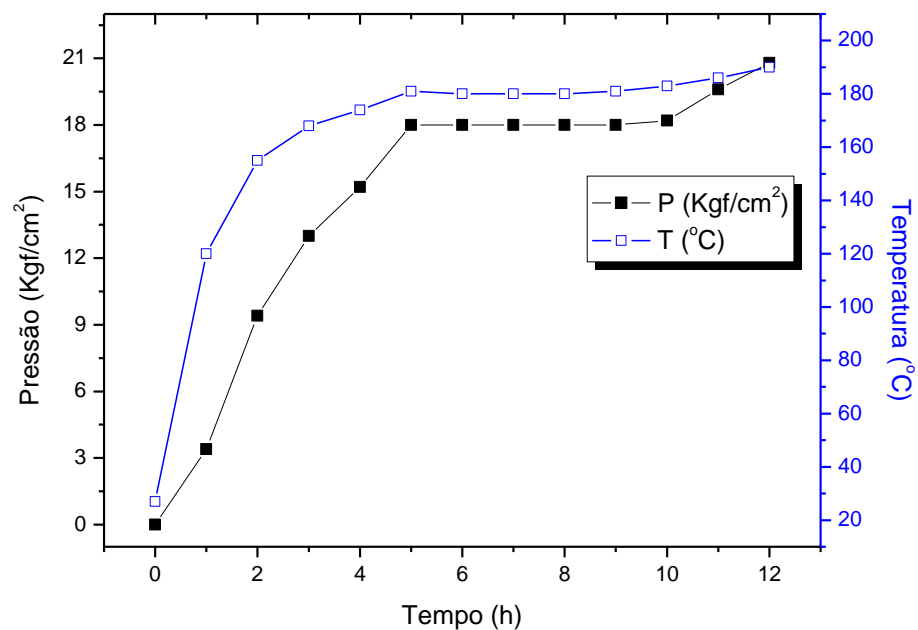


Figura 3.3: Perfil de cura do tratamento hidrotermal.

A adoção dessa técnica tem se desenvolvido rapidamente no último meio século em todo o mundo. Sendo considerável, na atualidade, o interesse teórico e prático de se investigar o processo de interação entre a cal e a sílica, sob condições hidrotermais, bem como a composição das fases e as propriedades das novas substâncias criadas e dos novos produtos formados durante o processo e também o comportamento de engenharia dos produtos finais (ZWONOK, 1999).

A ação da temperatura, no CP, pelo tratamento através da autoclave favorece o desenvolvimento de reações de formação de materiais cimentantes com máxima intensidade.

No processo de tratamento hidrotérmico, também conhecido como vaporização, distinguem-se 03 (três) estágios:

(1º) Começa no momento da entrada ou formação do vapor d'água na câmara de cura e termina, quando se atinge a temperatura de equilíbrio de vapor dos produtos tratados.

(2º) Caracteriza-se pela constância da temperatura e pressão do vapor d'água dentro da câmara climatizada ou da autoclave. Neste período alcançam o máximo desenvolvimento, todos aqueles processos físico-químicos que contribuem para a formação dos hidrossilicatos e hidroaluminatos de cálcio e conseqüentemente para o enrijecimento das peças fabricadas.

(3º) Inicia no momento em que cessa a entrada ou a formação do vapor d'água e incorpora o tempo de esfriamento das peças, até o momento da retirada das mesmas.

A função do vapor, durante a vaporização, é no sentido de auxiliar a conservação da água no CP em condições de temperatura elevadas. Neste momento os poros do CP estão preenchidos com solução aquosa de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que espontaneamente se agrega à sílica. Na ausência de vapor sucederia, a evaporação da água de moldagem, e conseqüentemente, a secagem do material e a redução das reações responsáveis pela formação dos materiais cimentantes.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CURADOS

3.7.1 Propriedades tecnológicas

Para avaliar as propriedades físico-mecânicas de cada CP final, foram realizados ensaios de retração linear de cura (RLc), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), absorção de água (AA) e resistência mecânica sob flexão em três pontos.

Para todas as propriedades tecnológicas o resultado final foi obtido a partir de uma média das medidas obtidas para seis corpos-de-prova. Todo procedimento experimental para determinação dessas propriedades tecnológicas é apresentado a seguir, bem como a importância de cada propriedade.

3.7.1.1 Retração linear de cura

A determinação da retração linear de cura (RLc) dos corpos-de-prova foi determinada com base na variação dimensional linear (comprimento) dos CP's após cura (Equação 3.1). Utilizou-se um paquímetro digital de resolução 0,01mm e fez-se a medida do comprimento do CP seco antes e após curado de acordo com o método dimensional.

$$RLc(\%) = \frac{(L_s - L_c)}{L_c} \times 100 \quad \text{Eq. 3.1}$$

Onde:

L_s = comprimento do corpo-de-prova seco a 110°C (cm)

L_c = comprimento do corpo-de-prova curado (cm)

3.7.1.2 Absorção de Água

Os corpos-de-prova foram pesados em balança digital (0,01g) logo após a cura e depois submersos em água por 24 h. Passando esse tempo foram novamente pesados a fim de calcular o quanto de água cada corpo-de-prova absorveu, de acordo com a equação 3.2.

$$AA(\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100 \quad \text{Eq. 3.2}$$

Onde:

Mu = Massa do corpo de prova úmido (g)

Ms = Massa do corpo de prova seco (g)

3.7.1.3 Porosidade aparente

A porosidade aparente (PA) foi avaliada através do método de Arquimedes em CP's curados utilizando-se como fluido de imersão a água na temperatura ambiente. Além das medições realizadas para o cálculo da absorção de água, os CP's foram pesados imersos em água, após 24hs submersos, pelo método da balança hidrostática, a fim de se calcular a porosidade aparente. A Equação 3.3 apresenta cálculo para a porosidade aparente.

$$PA(\%) = \frac{(Mu - Mc)}{(Mu - Mi)} \times 100 \quad \text{Eq. 3.3}$$

Onde:

Mu = Massa do corpo-de-prova saturado (g)

Mc = Massa do corpo-de-prova curado (g)

Mi = Massa do corpo-de-prova imerso em água (g)

3.7.1.4 Massa Especifica Aparente

A massa especifica aparente (MEA) é definida como a relação entre a massa de uma amostra e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (volume total). A Equação 3.4 foi utilizada para o cálculo da MEA.

$$MEA(g / cm^3) = \frac{Mc}{Mu - Mi} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Onde:

Mc = Massa do corpo-de-prova curado (g)

Mu = Massa do corpo-de-prova saturado (g)

Mi = Massa do corpo-de-prova imerso em água (g)

3.7.1.5 Resistência mecânica

O comportamento mecânico dos CP's analisado pelo ensaio de flexão à três pontos. O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaios mecânicos da marca Zwick/Roell, modelo BZ 2.5/TS1T, com célula de carga com capacidade de 2,5 KN. O ensaio foi realizado com uma velocidade de carregamento de 0,5 mm/min e com distância fixa entre os apoios de 5,0 cm. Os resultados, dados em termos de módulo de ruptura à flexão (MRF), foram calculados pela Equação 3.5.

$$MRF(Pa) = \frac{3 \times P \times d}{2 \times a \times b^2} \quad \text{Eq. 3.5}$$

Onde:

P = carga de ruptura (N)

d = distância entre os apoios do suporte (cm)

a = largura do corpo-de-prova (cm)

b = altura do corpo-de-prova (cm)

O comportamento mecânico dos CP's analisado pelo ensaio de resistência à compressão. O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaios universal, Shimadzu Autograph AG-I-TRAPEZIUM 2, com velocidade de carregamento de (0,05 ±0,01) MPa/s. Os resultados, dados em termos de tensão de compressão (T), foram calculados pela Equação 3.6.

$$T(Pa) = \frac{F_{m\acute{a}x}}{S_o} \quad \text{Eq. 3.6}$$

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ = Força máxima de compressão (N)

S_0 = Área da seção do corpo-de-prova (cm²)

3.7.2 Análise de fases por difração de raios X

Nesta etapa a difração de raios X foi realizada nas formulações curadas sob efeito de pressão, tempo e temperatura. As amostras curadas foram trituradas manualmente e classificadas por peneiramento na granulometria inferior a 200 mesh (0.075 mm de abertura), e secas. Utilizou-se o mesmo equipamento da análise de DRX da caracterização das matérias-primas.

3.7.3 Análise micromorfológica por microscopia eletrônica de varredura

O modelo de equipamento utilizado foi o SSX-550 de marca Shimadzu alocado no Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro de Tecnologia do Gás (CTGÁS). Para analisar as amostras do ponto de vista das fases formadas, as mesmas foram observadas na superfície de fratura após o tratamento prévio de lixamento. Porém, as amostras foram metalizadas para tornarem-se condutoras e aderidas a um porta amostra de alumínio por uma fita condutora de carbono.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1 Análise granulométrica

A Tabela 4.1 contém os resultados de distribuição de tamanhos de partículas das matérias-primas estudadas nas frações acumuladas de 10%, 50%, 90% e D_M .

Tabela 4.1: Distribuição de tamanhos de partículas das matérias-primas.

Matérias-primas	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	D _M
	(μm)			
Areia quartzosa	2,7	28,1	111,4	42,4
Cal hidratada	0,9	6,4	10,4	6,1
Cal virgem	0,7	4,2	8,6	4,5

De acordo com a Tabela 4.1, observa-se que a matéria-prima areia quartzosa é a que apresenta a distribuição de tamanho de partícula mais grossa em relação à cal hidratada e a cal virgem, o que pode ser evidenciado pelas percentagens retidas nas diferentes frações granulométricas estabelecidas. O tamanho médio de partícula/aglomerado de 42,4μm e o tamanho médio a 50% (D_{50}) de 28,1μm apresentam diferença significativa devido a não uniformidade da faixa de distribuição de partículas da areia quartzosa.

A distribuição de tamanhos de partículas mais finas observados na Tabela 4.1 na cal hidratada e na cal virgem, o que pode ser evidenciado pelas percentagens retidas nas diferentes frações estabelecidas, apresentam semelhanças. Os valores obtidos nas matérias-primas são inferiores a 1μm na fração de 10% e por seus tamanhos médios de partícula/aglomerado de 6,1 e 4,5μm e os tamanhos médios a 50% de 6,4 e 4,2μm apresentarem pequena diferença entre tamanho médio e o D_{50} , atribuída a não ocorrência de uma distribuição estatística normal das curvas de tamanho de partículas/aglomerado.

A Figura 4.1 apresenta as curvas granulométricas das matérias-primas.

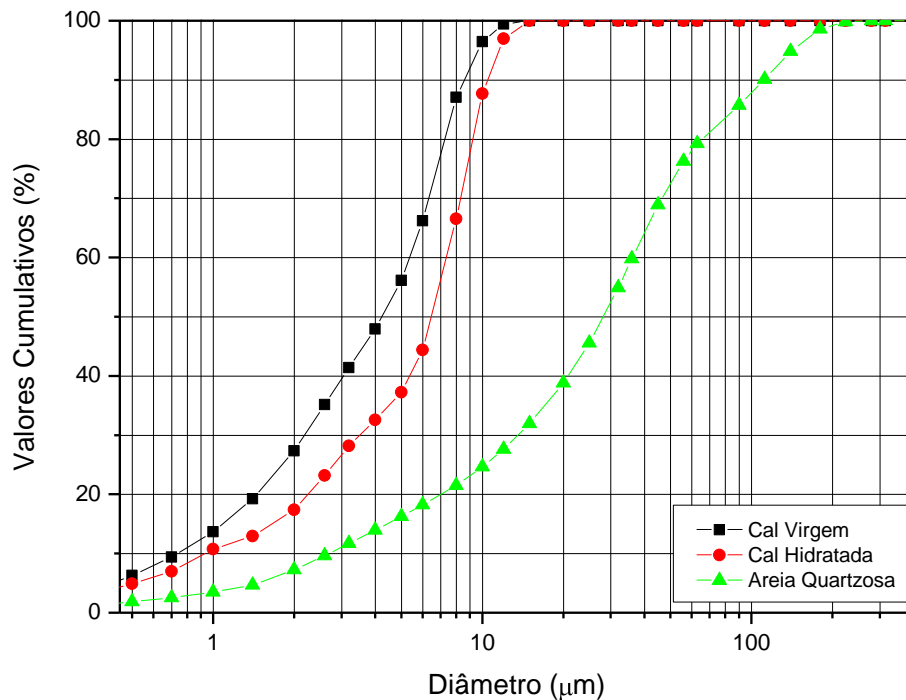


Figura 4.1: Curva granulométrica das matérias-primas.

De acordo com a Figura 4.1, observa-se que a faixa de valores encontrada através da curva granulométrica da areia quartzosa é extensa e variou entre $0,12\mu\text{m}$ e $228\mu\text{m}$. A faixa de valores encontrada através das curvas granulométricas entre a cal hidratada e a cal virgem não variam muito, pois seus valores ficaram compreendidos entre $0,22\mu\text{m}$ e $14,35\mu\text{m}$, e entre $0,23\mu\text{m}$ e $12,75\mu\text{m}$, respectivamente.

O comportamento da curva granulométrica da areia quartzosa apresentou uma larga variação do diâmetro das partículas com frações acumuladas, confirmando que as matérias-primas cal hidratada e cal virgem, são diferentes em termos de granulometria.

4.1.2 Análise química por fluorescência de raios X

A Tabela 4.2 contém os resultados da composição química, expressa na forma de óxidos, dos principais constituintes das matérias-primas estudadas.

Tabela 4.2: Composição química das matérias-primas

Composição Química	Teor (% em massa)		
	Areia	Cal Hidratada	Cal virgem
SiO ₂	81,71	0,38	0,59
Al ₂ O ₃	10,36	0,37	0,25
Fe ₂ O ₃	1,94	0,15	0,22
CaO	2,23	76,04	87,95
K ₂ O	2,09	-	-
Na ₂ O	-	-	-
TiO ₂	0,80	-	-
SO ₃	0,19	-	-
P ₂ O ₅	0,15	-	-
MnO	0,09	0,03	0,03
MgO	-	-	-
NiO	0,03		
SrO	-	0,04	0,05
CuO	-	0,03	0,03
*PF	0,41	22,96	10,88
**CO ₂	-	3,5	3,9

* Valores calculados a partir da calcinação das matérias-primas à temperatura de 950 °C (NBR NM 18:2004).

** Valores calculados a partir da análise química considerando como não voláteis: % de umidade + % de Perda ao fogo. (NBR NM 18:2004).

Verifica-se que a areia apresenta teor de sílica (SiO₂) de 81,74%, superior aos 75% de SiO₂ em areias, que requerem testes para possível conveniência. O teor de Al₂O₃ é de 10,36%, estando dentro do critério de conteúdo de feldspatos, que é permitido até a ordem de 20%. O teor de CaO é de 2,23%, estando dentro do critério de conteúdo, que é de 1 a 5% para materiais expansivos. O teor de álcalis (K₂O + Na₂O) é da ordem de 2,09%, não apresentando teor de Na₂O, estando dentro do critério para possível conveniência que é da ordem de 1 a 3%. Os demais constituintes são provenientes de impurezas.

Verifica-se na Tabela 4.2 que a cal hidratada e a cal virgem apresentam teor de óxido de cálcio (CaO) igual a 72,48% e 84,03, respectivamente. Tendo em vista que o teor mínimo de

CaO para uso em BSC's é de 70%, ambas as matérias-primas são recomendadas para a realização deste trabalho. Observando o teor de perda ao fogo da cal hidratada, 22,96%, e comparada ao teor da cal virgem, 10,88%, pode-se dizer que é devido à cal hidratada possuir maior quantidade de água constituída por ser hidratada (NBR NM 18:2004).

Verifica-se que não há percentual de óxido de magnésio (MgO) na composição química da cal hidratada e da cal virgem, isso quer dizer que ambas as matérias-primas são do tipo calcítica. Sem a presença de MgO na composição química de ambas as matérias-primas resulta dizer que evita-se graves problemas de hidratação, a exemplo de não ser recomendado para o uso em BSC teor acima de 1,5% de MgO.

Pode-se afirmar que os compostos argilosos (SiO_2 e Al_2O_3) são geralmente existentes na forma de compostos cálcicos. Os teores de dióxido de carbono (CO_2) encontrados na cal hidratada (3,56%) e cal virgem (3,92%) estão dentro do recomendando, abaixo de 5% (NBR NM 20:2004).

4.1.3 Análise de fases por difração de raios X

Nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 contém os difratogramas das matérias-primas areia quartzosa, cal hidratada e cal virgem, respectivamente.

O difratograma da areia quartzosa pode ser verificado na Figura 4.2. Nele está determinada a análise mineralógica do material. Sua análise indica a presença predominante de sílica na forma de Quartzo (SiO_2). Verifica-se a presença de feldspato na fase refletida de Ortoclásio (KAlSi_3O_8), como também a presença de impurezas presentes na areia quartzosa na forma de Caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e Mineral Micáceo. O Mineral Micáceo, possivelmente mica muscovita e biotita, apresenta textura lamelar.

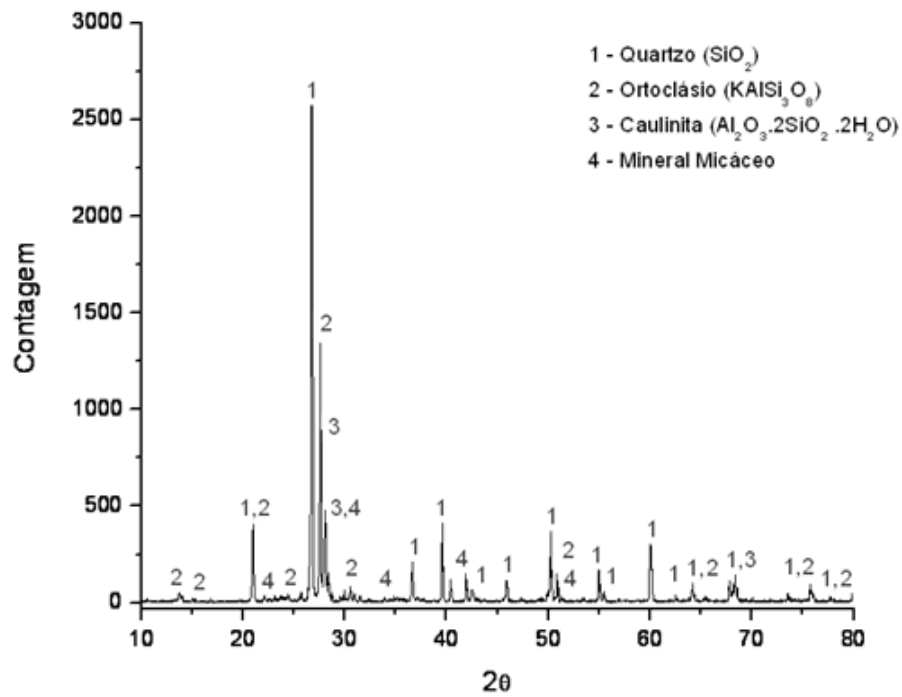


Figura 4.2: Difratograma da areia quartzosa.

Os difratogramas da cal hidratada e da cal virgem podem ser verificados nas Figuras 4.3 e 4.4. Neles estão determinadas as análises mineralógicas de cada material. Verifica-se picos de difração das fases cristalinas refletidas referentes à Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e Calcita (CaCO_3) para a cal hidratada (Figura 4.3).

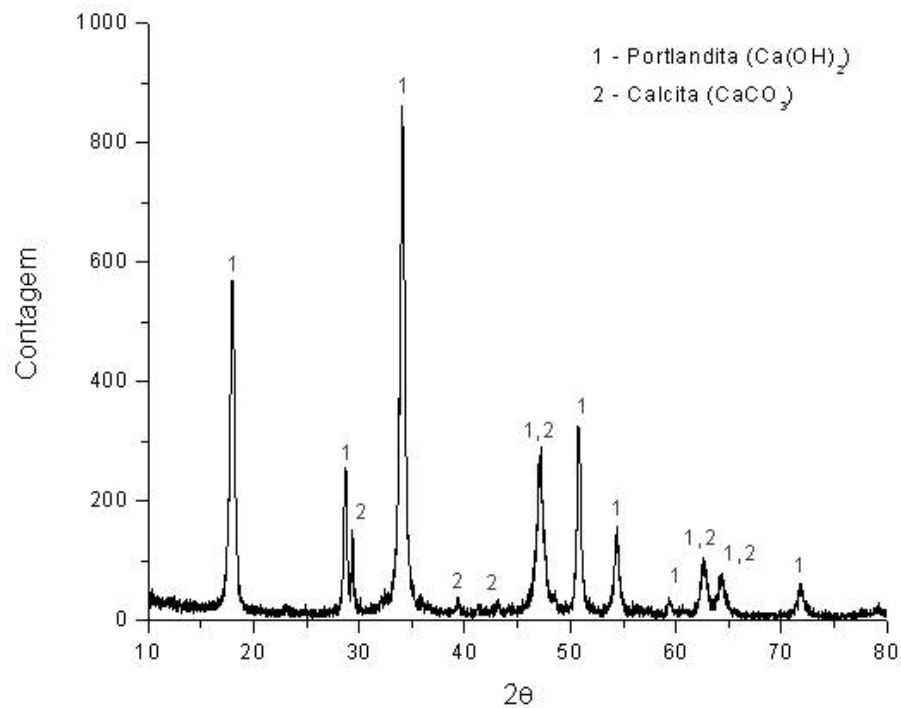


Figura 4.3: Difratograma da cal hidratada.

Para a cal virgem verificou-se picos de difração das fases cristalinas refletidas referentes à Portlandita (Ca(OH)_2) e Cal (CaO) (Figura 4.6).

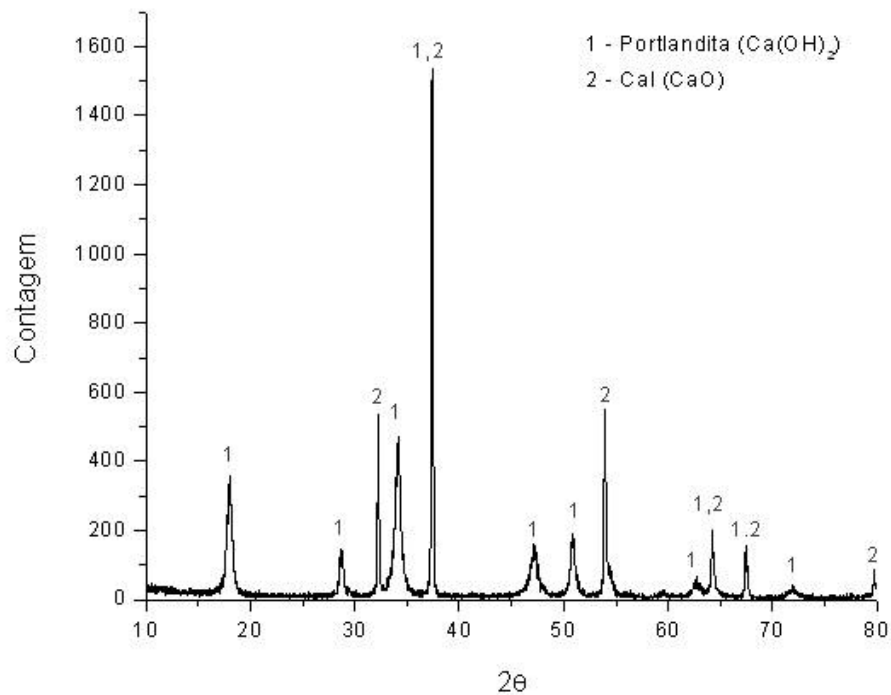


Figura 4.4: Difratograma da cal virgem.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CURADOS

Na Figura 4.5 é mostrado os corpos-de-prova após serem curados dentro do reator, numa visão frontal do equipamento

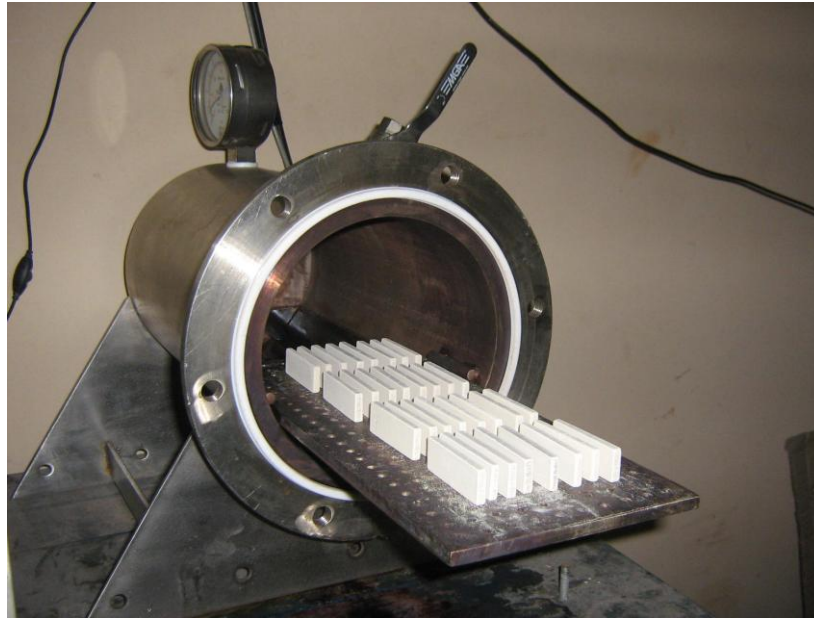


Figura 4.5: Corpos-de-prova após serem curados em reator químico.

Nas Figuras 4.6 e 4.7 verifica-se um dos 8 conjuntos de 6 corpos-de-prova que foram estudados e juntos analisados seus resultados a partir das propriedades tecnológicas.

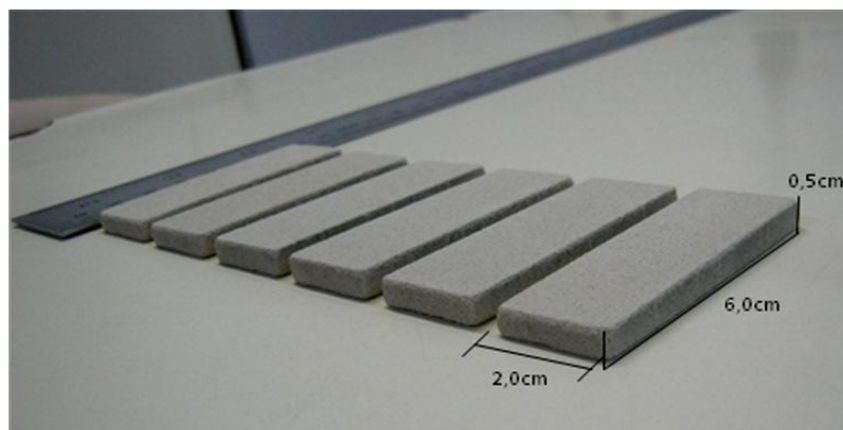


Figura 4.6: Corpos-de-prova após serem curados com suas respectivas medidas.

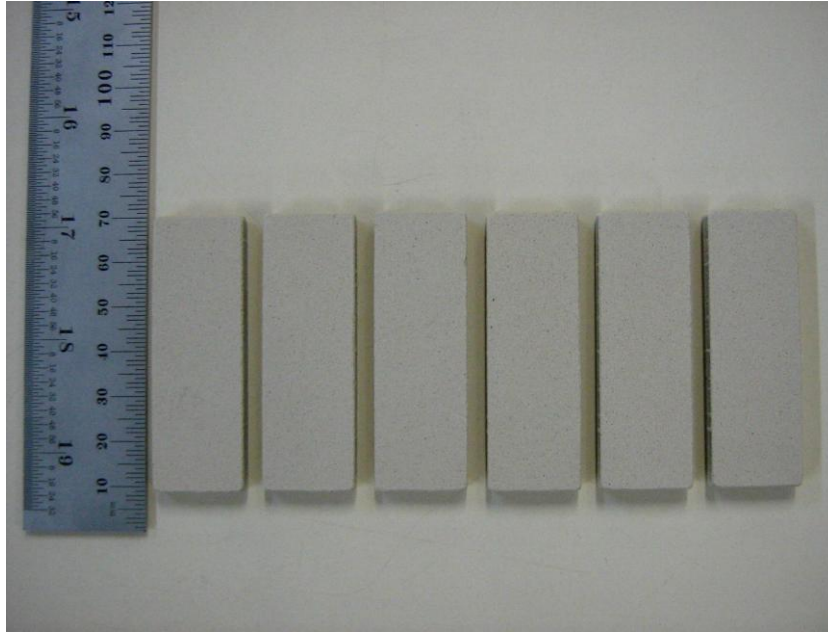


Figura 4.7: Corpos-de-prova após serem curados com escala.

4.2.1 Propriedades tecnológicas

As variáveis escolhidas para a análise dos corpos-de-prova com teores de cal hidratada e cal virgem adicionadas à areia, estão relacionadas com suas propriedades no estado curado (retração linear de cura, absorção de água, porosidade, massa específica aparente e módulo de ruptura à flexão).

4.2.1.1 *Retração linear de cura*

Na Figura 4.8 verifica-se os resultados obtidos dos testes de retração linear de cura, com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa, onde foram submetidos ao mesmo tratamento hidrotermal de cura.

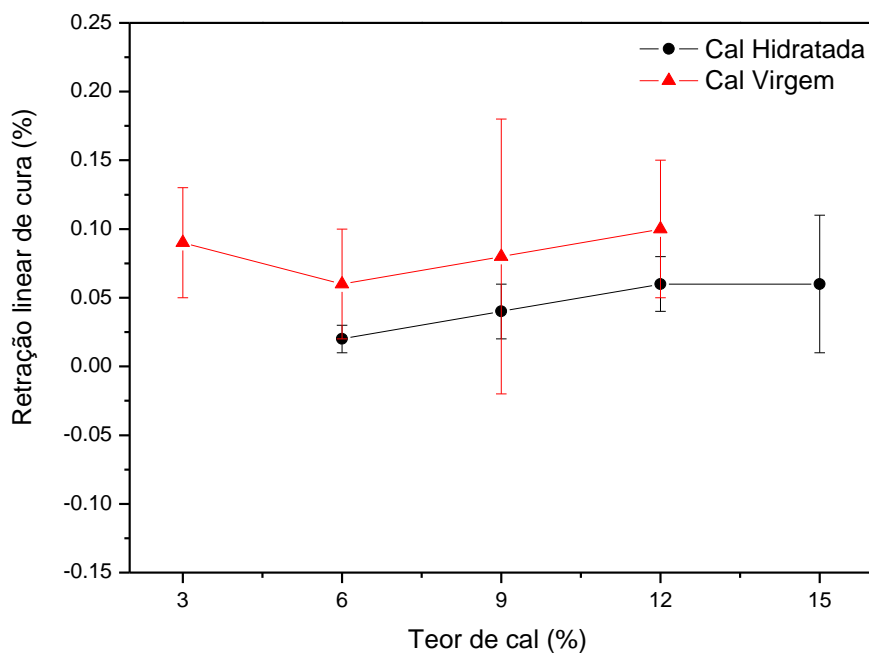


Figura 4.8: Retração linear de cura (RLc) com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 0,02 e 0,06%, apresentando menor retração de secagem, para o teor de 6% de CH, e maior, para os teores de 12 e 15% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 0,04 e 0,10%, apresentando menor retração de secagem para os teores de 3 e 6% de CV, e maior, para o teor de 12% de CV.

A retração de secagem é uma propriedade específica que avalia os BSC's, e possui valores compreendidos entre 0,01 a 0,035%. Os CP's que atendem essa propriedade são os de índice de 6% de CH, que possuiu média equivalente de 0,02% de retração de secagem. A tolerância dimensional dos BSC's na literatura é de ± 2 mm, de acordo com o que especifica a NBR 14974-1:2003.

4.2.1.2 Absorção de água

Na Figura 4.9 verifica-se os resultados obtidos de absorção de água dos CP's, com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa, onde foram submetidos ao mesmo tratamento hidrotermal de cura.

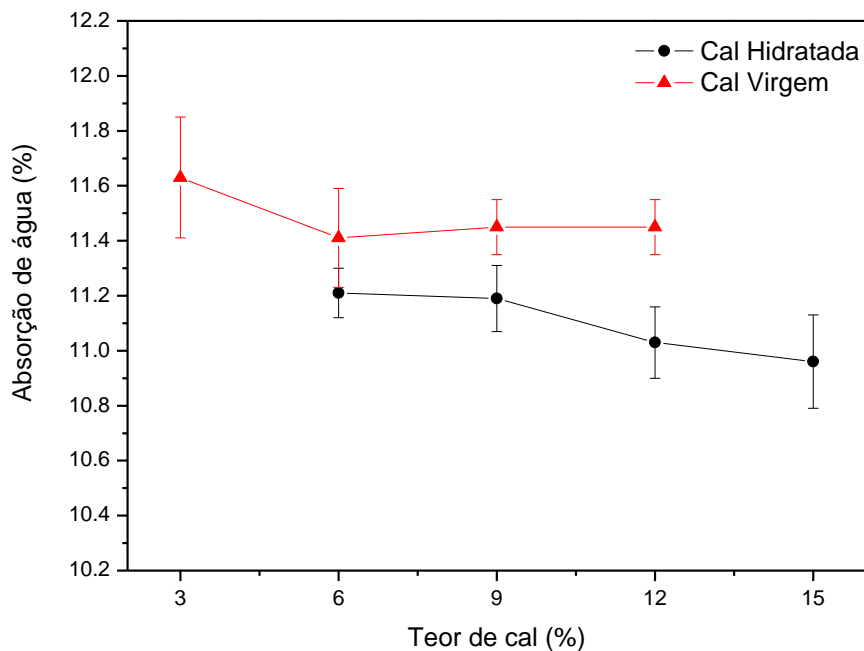


Figura 4.9: Absorção de água com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 10,96 e 11,21%, apresentando menor absorção de água, para o teor de 15% de CH, e maior, para o teor de 6% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 11,41 e 11,63%, apresentando menor absorção de água para o teor de 6% de CV, e maior, para o teor de 3% de CV.

Todos os resultados obtidos de absorção de água nas 8 formulações estudadas como pode ser observado na Figura 4.9, estão entre 11 e 18% e atendem o que especifica a NBR 14974-1:2003.

4.2.1.3 Porosidade aparente

Na Figura 4.10 verifica-se os resultados obtidos de porosidade aparente dos CP's, com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa, onde foram submetidos ao mesmo tratamento hidrotermal de cura.

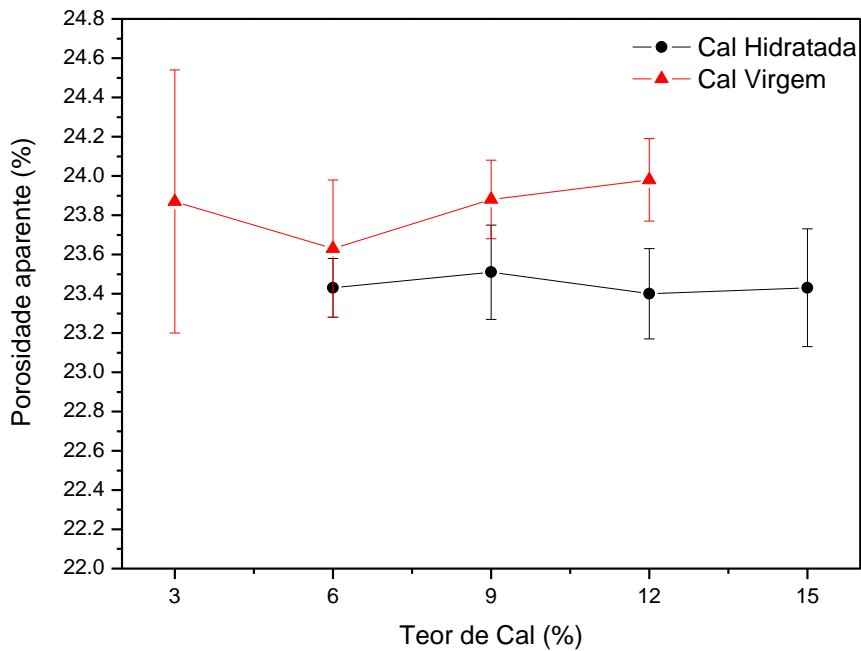


Figura 4.10: Porosidade Aparente com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 23,40 e 23,51%, apresentando menor porosidade aparente, para o teor de 12% de CH, e maior, para o teor de 9% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 23,63 e 23,98%, apresentando menor porosidade aparente para o teor de 6% de CV, e maior, para o teor de 12% de CV.

4.2.1.4 Massa específica aparente

Na Figura 4.11 verifica-se os resultados obtidos da massa específica aparente dos CP's, com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa, onde foram submetidos ao mesmo tratamento hidrotermal de cura.

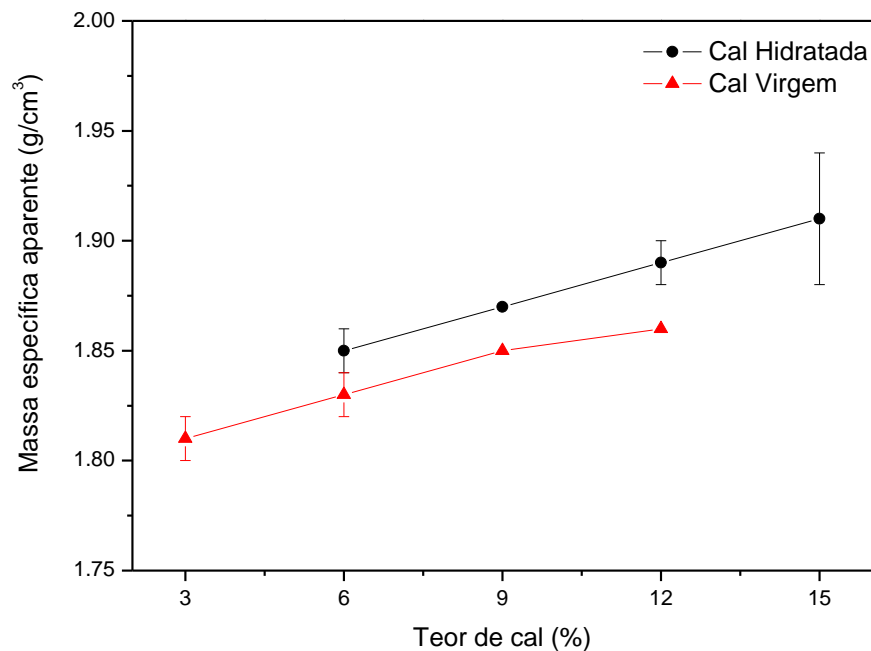


Figura 4.11: Massa específica aparente com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 1,85 e 1,91%, apresentando menor massa específica aparente, para o teor de 6% de CH, e maior, para o teor de 15% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 1,81 e 1,86%, apresentando menor massa específica aparente para o teor de 3% de CV, e maior, para o teor de 12% CV.

A massa específica aparente é uma propriedade específica que auxilia na avaliação dos BSC's, aonde os valores devem atender entre 1,61 a 2,1 g/cm³ (SANTOS, 1985). Todos os resultados obtidos da massa específica aparente das 8 formulações estudadas como pode ser visto na Figura 4.11, atendem essa propriedade, pois os valores estão compreendidos nos valores especificados.

4.2.1.5 Resistência mecânica

Nas Figuras 4.12 e 4.13 verifica-se os resultados obtidos da resistência mecânica dos CP's, com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa, onde foram submetidos ao mesmo tratamento hidrotermal de cura.

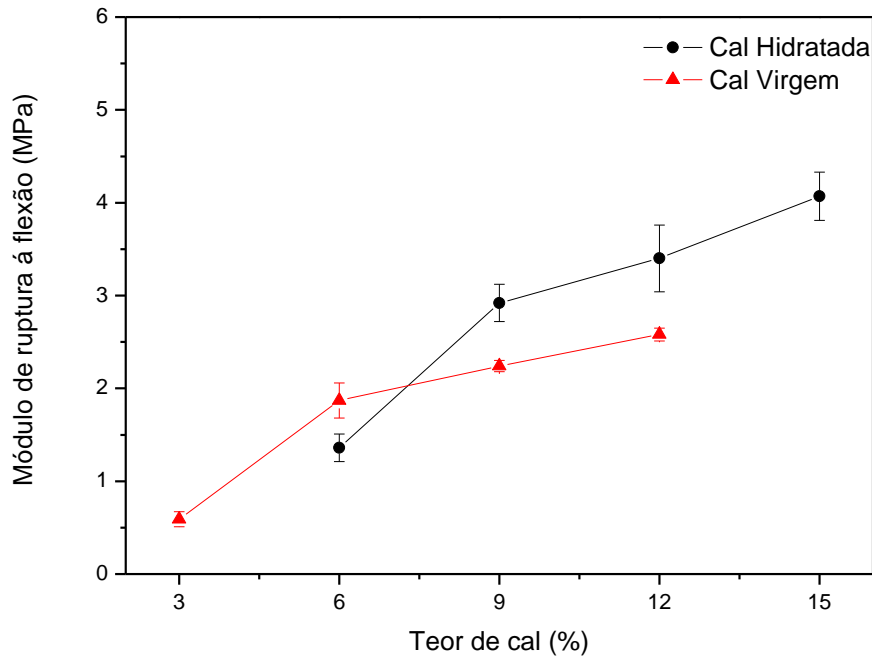


Figura 4.12: Módulo de ruptura à flexão com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 1,36 e 4,07 MPa, apresentando menor módulo de flexão à ruptura, para o teor de 6% de CH, e maior, para o teor de 15% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 0,59 e 1,86 MPa, apresentando menor módulo de ruptura à flexão para o teor de 3% de CV, e maior, para o teor de 12% CV, como mostrado na Figura 4.12.

Os melhores resultados foram obtidos no teor de cal hidratada a 15% incorporada à areia quartzosa. Os resultados apresentados de resistência mecânica dos CP's não tiveram seus resultados tão significativos como esperado em ambas as formulações, devido os CP's terem sido submetidos a ensaio mecânico de flexão de 3 pontos.

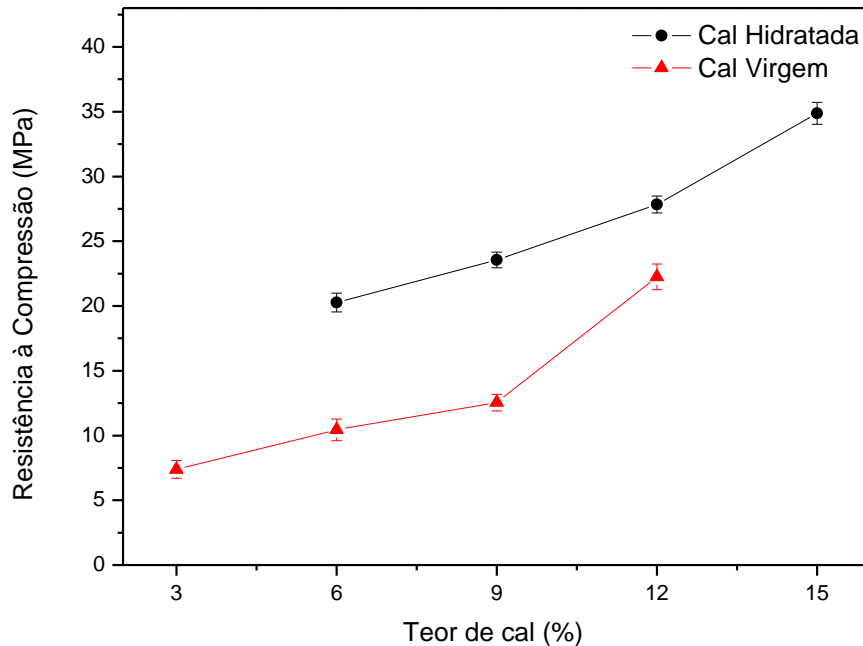


Figura 4.13: Resistência à compressão com diferentes teores de cal hidratada e cal virgem incorporadas à areia quartzosa.

Os resultados para os CP's contendo cal hidratada tiveram valores entre 20,27 e 34,87 MPa, apresentando menor resistência à compressão, para o teor de 6% de CH, e maior, para o teor de 15% de CH. Já os CP's contendo cal virgem tiveram resultados entre 7,38 e 22,24 MPa, apresentando menor resistência à compressão para o teor de 3% de CV, e maior, para o teor de 12% CV, como mostrado na Figura 4.13.

Os resultados obtidos com teor de cal virgem estão de acordo com o valor de resistência à compressão da classe A (4,5 MPa) até a classe H (20,0 MPa). Os resultados obtidos com teor de cal hidratada estão de acordo com o valor de resistência à compressão de todas as classes, da A até a classe J (35 MPa) de blocos sílico-calcários (NBR 14974-1:2003).

4.2.2 Análise de fases por difração de raios X

Foram analisadas duas amostras:

- Uma da formulação contendo 15% de CH à areia quartzosa. Foi escolhida por apresentar valores de maior resistência mecânica dentre todas as formulações

estudadas, e por isso o maior teor de novas formações responsáveis pelo fortalecimento do material,

- Uma da formulação contendo 12% de CV à areia quartzosa. Foi escolhida por apresentar valores de maior resistência, mas dentro dos teores de CV incorporadas a mistura.

Foram observadas transformações significativas em alguns picos caracterizando o fortalecimento dos corpos-de-prova, apresentando componentes de estruturas cristalinas e principalmente a formação de novas estruturas amorfas.

O difratograma do material contendo cal hidratada pode ser verificado na Figura 4.14. As fases identificadas foram o Quartzo (SiO_2), a Calcita (CaCO_3), o Ortoclásio (KAlSi_3O_8), a Caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e o C-S-H ($\text{H}_{0,6}\text{Ca}_{1,7}\text{SiO}_4$). Apresentou a transformação da fase C-S-H ($\text{H}_{0,6}\text{Ca}_{1,7}\text{SiO}_4$) desejada por aumentar os valores das propriedades mecânicas do material.

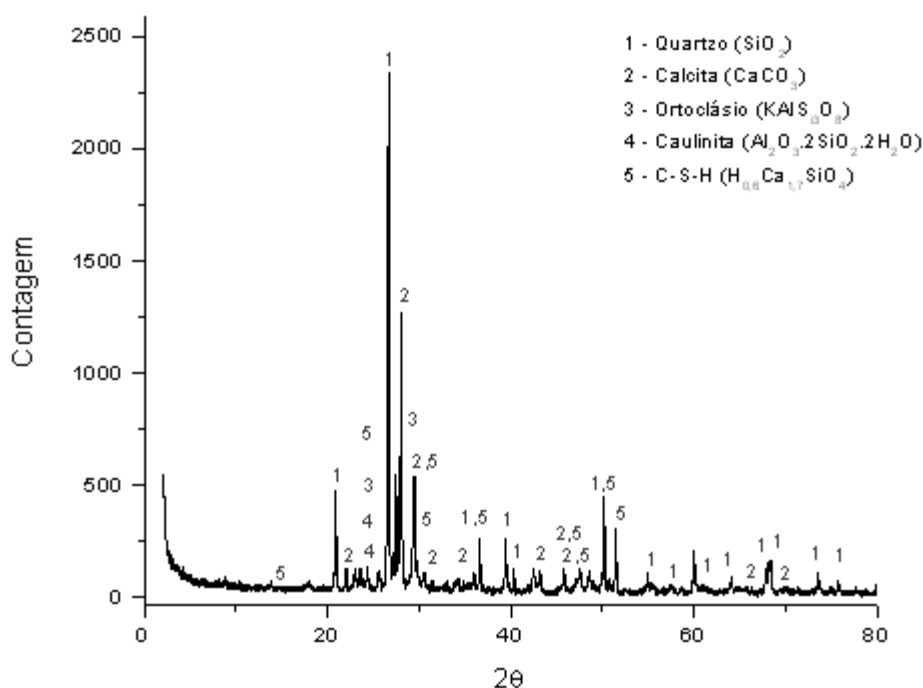


Figura 4.14: Difratograma da formulação contendo 15% de CH à areia quartzosa.

O difratograma do material contendo cal virgem pode ser verificado na Figura 4.15. As fases identificadas foram o Quartzo (SiO_2), a Calcita (CaCO_3), o Ortoclásio (KAlSi_3O_8) e a

transformação da fase Silicato de Cálcio ($\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$), desejada por aumentar os valores das propriedades mecânicas do material. Não foi formada a fase C-S-H (silicato de cálcio hidratado).

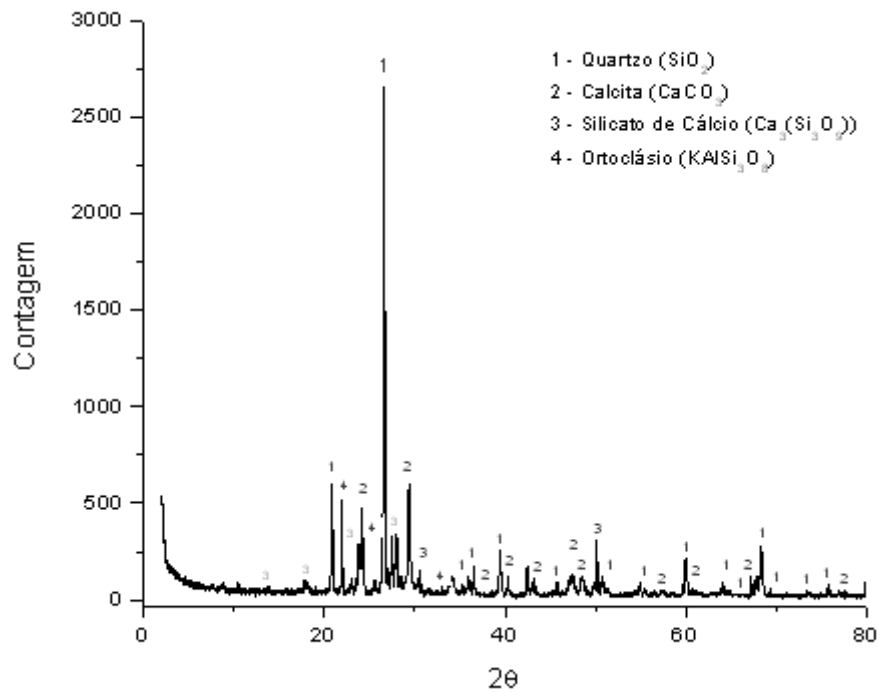


Figura 4.15: Difratograma da formulação contendo 12% de CV à areia quartzosa.

4.2.3 Análise micromorfológica por microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 4.16 verifica-se micrografias com aumento de 40x utilizadas para a análise das amostras contendo 15% de CH e 12% de CV à areia quartzosa.

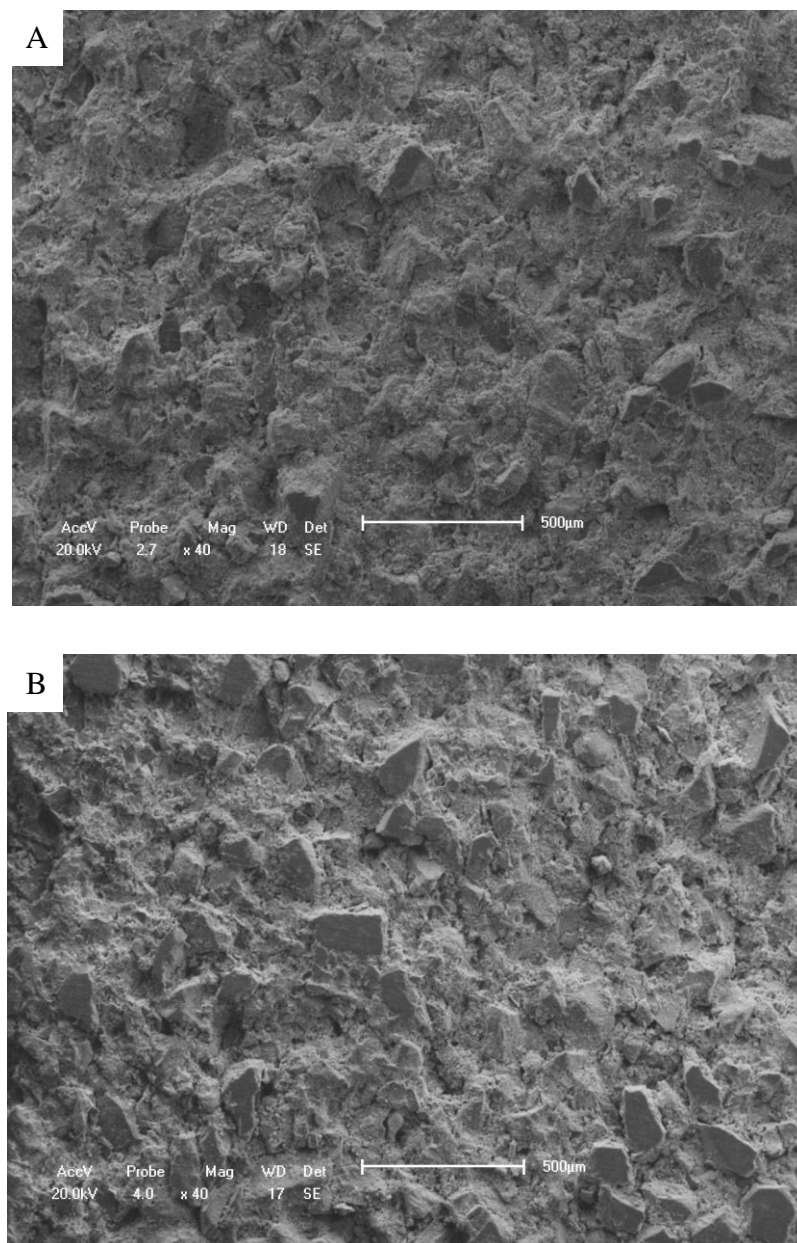
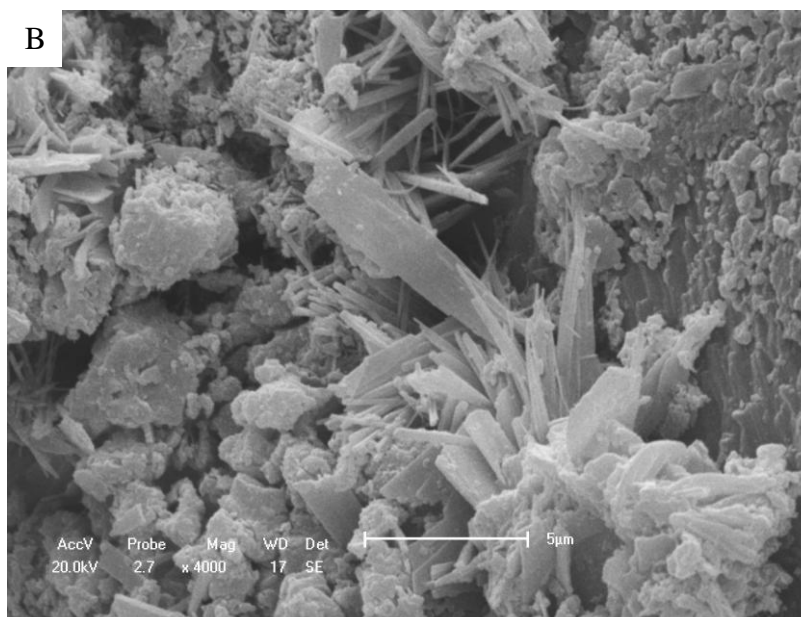
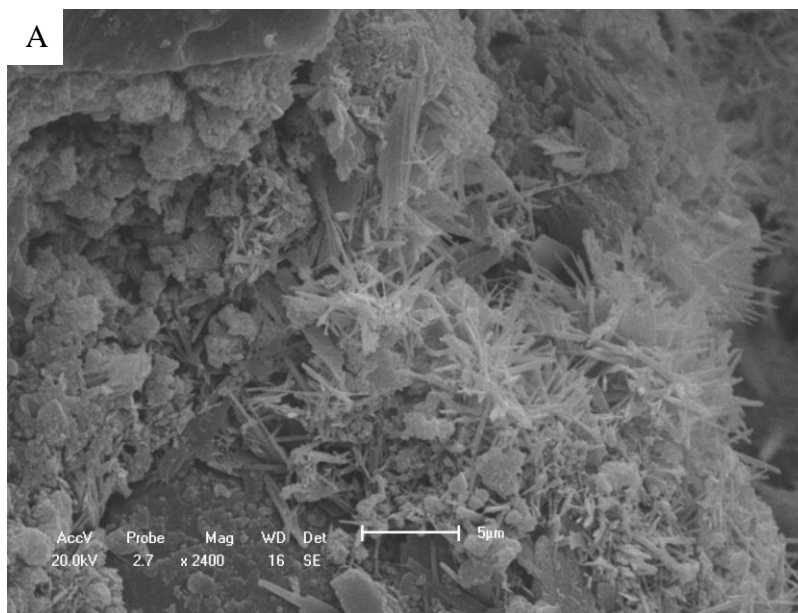


Figura 4.16: Micrografias obtidas por MEV das amostras contendo 15% de CH (A) e 12% de CV (B) à areia quartzosa, curadas aproximadamente a 180 °C, com 40x de ampliação.

Os resultados mostram que as microestruturas desenvolvidas apresentam esqueleto granular de grãos grosseiros de quartzo cimentado. Observa-se que na amostra contendo 15% de CH (A), a superfície está mais cimentante, pois está mais envolvida pela fase matriz, quando comparada com a superfície da amostra contendo 12% de CV (B), onde os grãos de quartzo estão mais visíveis e menos envolvidos pela fase matriz.

Na Figura 4.17 é verificada micrografias com aumento de 2400x, 4000x, 4500x e 10000x utilizada para a análise da amostra contendo 15% de CH-I.



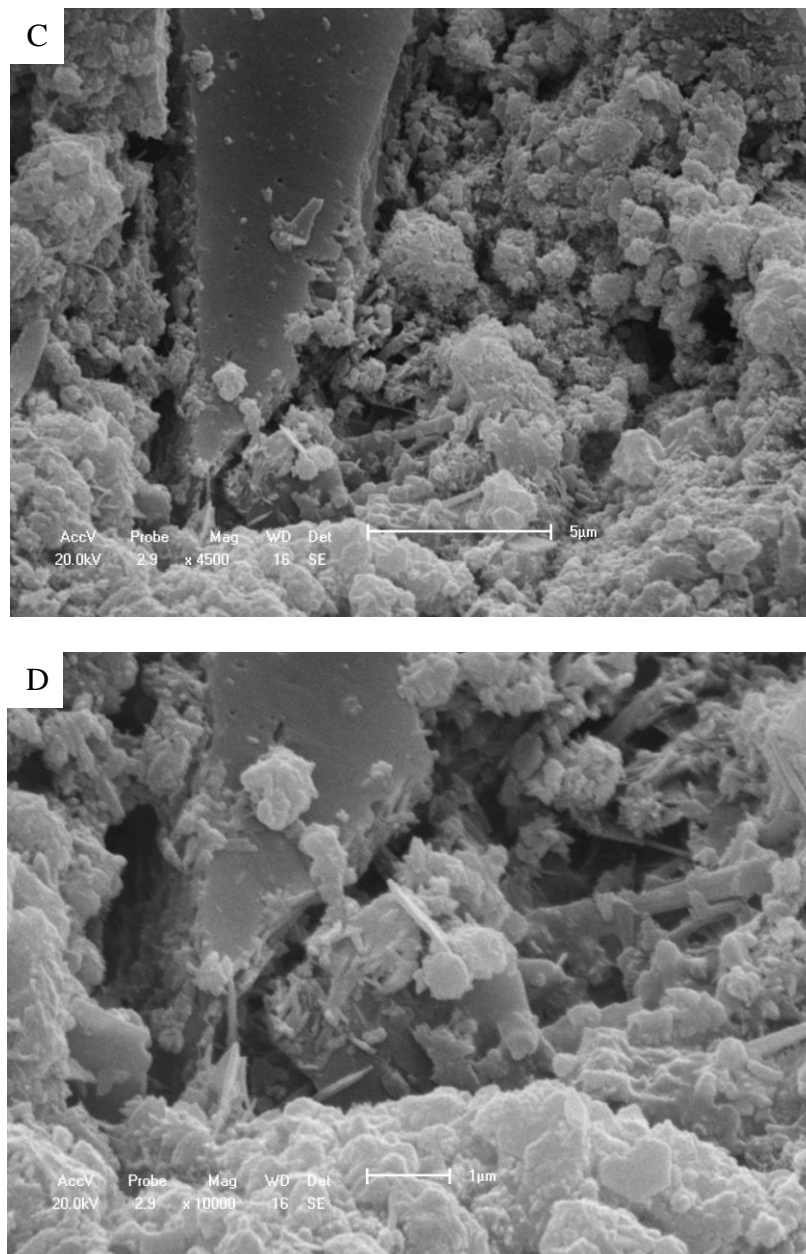
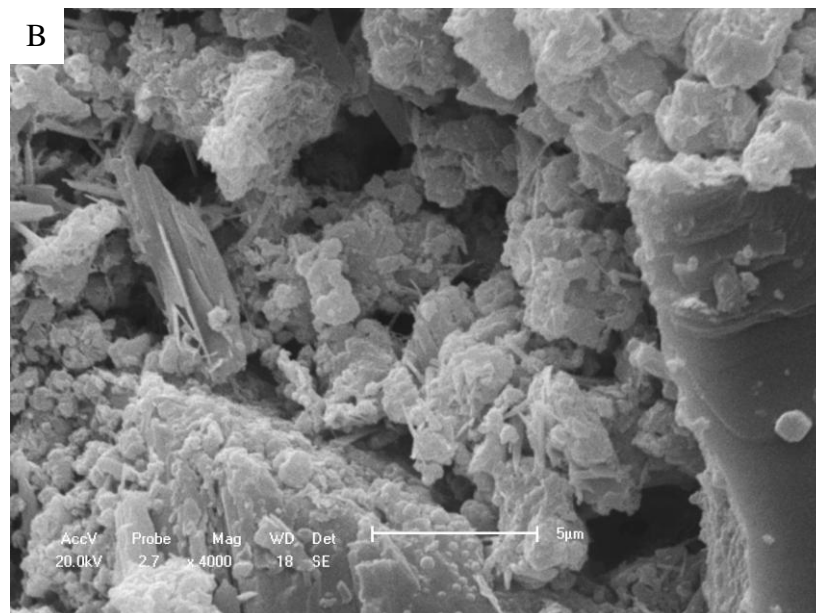
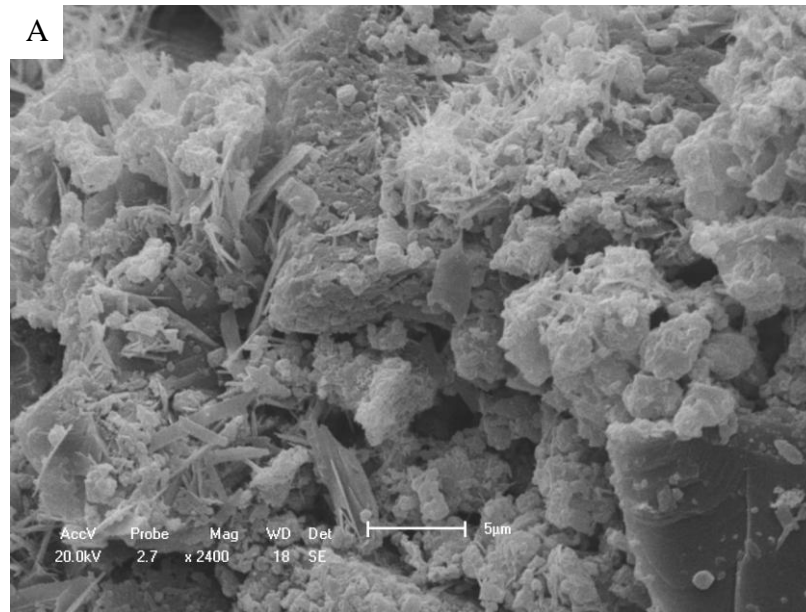


Figura 4.17: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 15% de CH-I, curadas a $\pm 180^\circ\text{C}$, com 2400x (A), 4000x (B), 4500x (C) e 10000x (D) de ampliação.

A Figura 4.17 apresenta as micrografias da amostra contendo 15% de CH-I. A Figura 4.17 (A) tem presença de produtos em forma de placas de fases ricas em cálcio, típicas de portlandita, apresentando planos de clivagem bem definidos e de pequena espessura. A Figura 4.17 (B) é uma aproximação da Figura 4.17 (A), comprovando que a portlandita está aderindo nas partículas de quartzo. A Figura 4.17 (C) apresenta uma partícula de quartzo bem visível, ao seu redor poros, e mostrando a adesão da portlandita na partícula de quartzo. A Figura 4.17

(D) é uma aproximação da Figura 4.17 (C), que mostra visivelmente os poros, e eles estão sendo ocupados pela formação da fase pontlandita, característicos de C-S-H.

Na Figura 4.18 é verificado micrografias com aumento de 2400x, 4000x, 4500x e 10000x utilizada para a análise da amostra contendo 15% de CH-II.



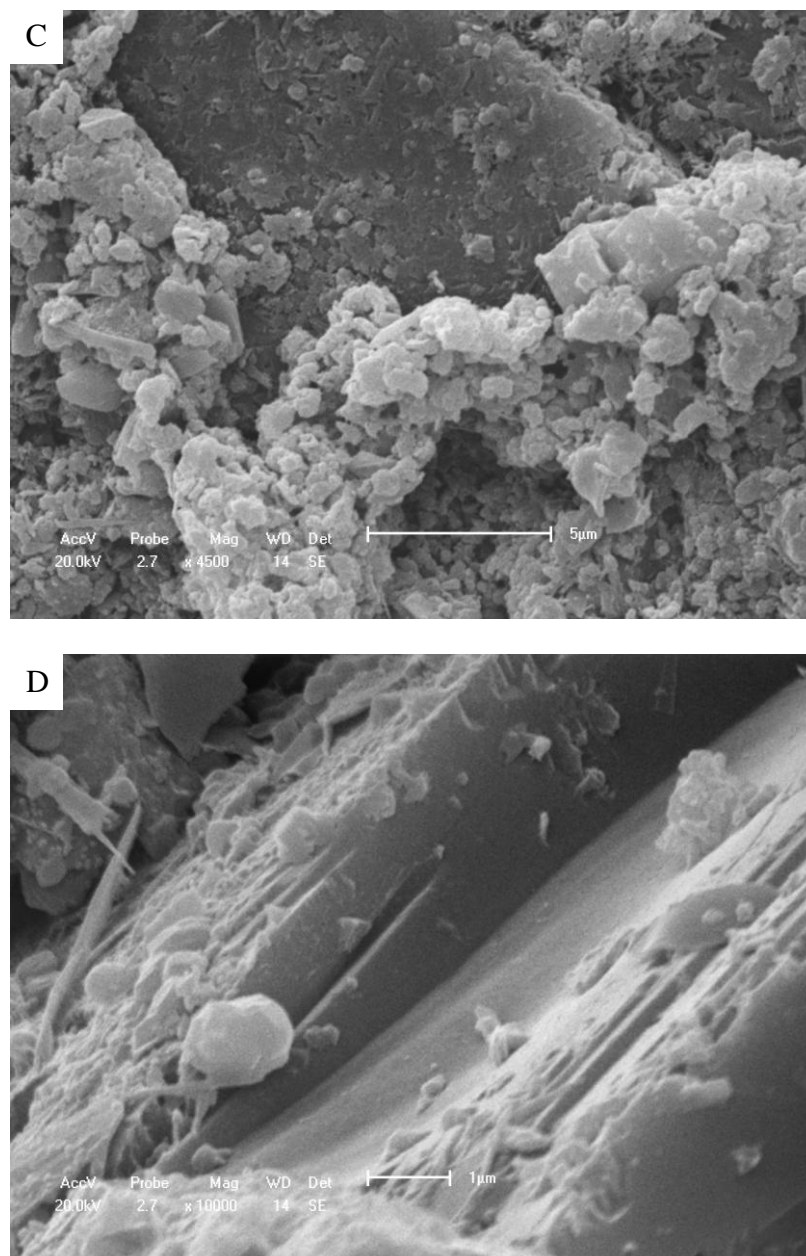
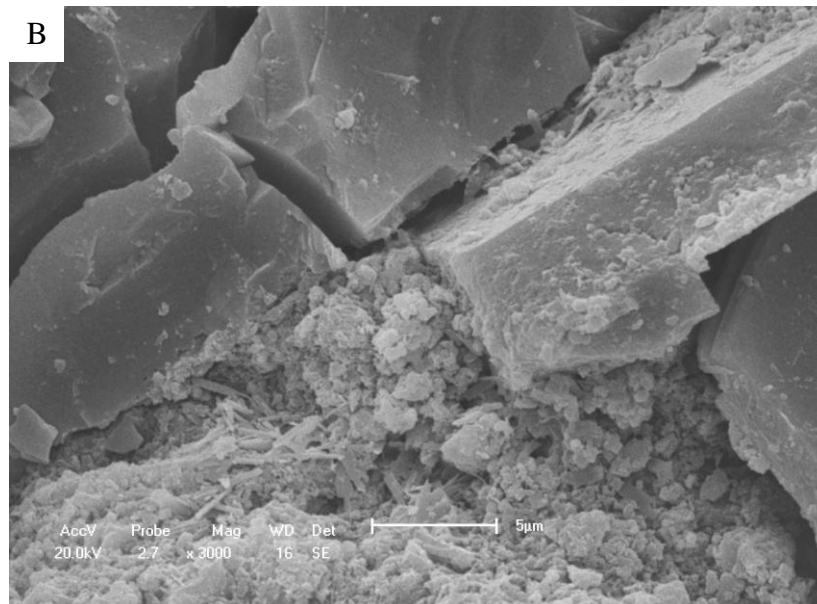
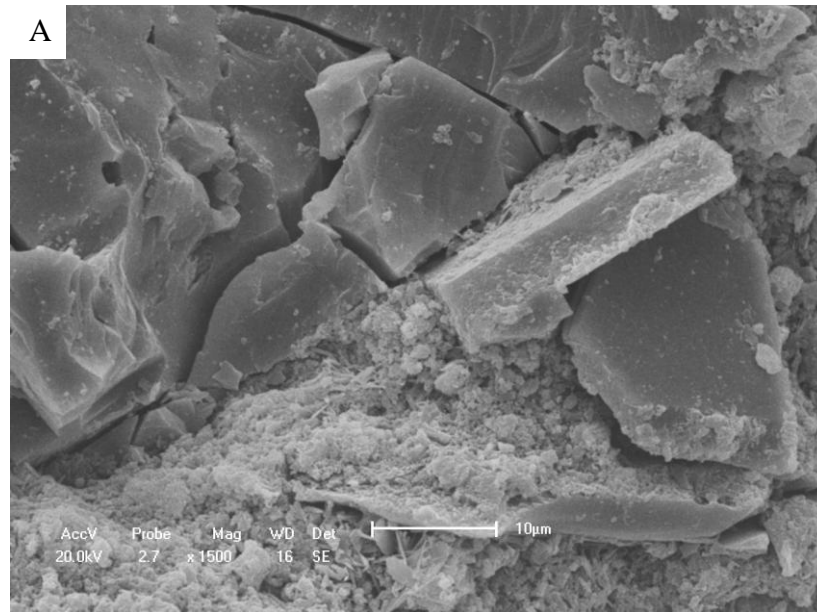


Figura 4.18: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 15% de CH-II, curadas a $\pm 180^\circ\text{C}$, com 2400x (A), 4000x (B), 4500 x(C) e 10000x (D) de ampliação.

A Figura 4.18 apresenta as micrografias da amostra contendo 15% de CH-II. A Figura 4.18 (A) apresenta a partícula de quartzo aderida de pontlandita, com formação de aglomerados, características de C-S-H, típicos de recém formação, com fases ricas em cálcio. A Figura 4.18 (B) é uma aproximação da Figura 4.18 (A), podendo ser observado que os poros existentes estão sendo ocupados pela formação de aglomerados. A Figura 4.18 (C) apresenta aglomerados de pontlandita aderindo superficialmente a uma partícula de quartzo.

A Figura 4.18 (D) é uma micrografia que mostra visivelmente a superfície de uma partícula de quartzo.

Na Figura 4.19 é verifico micrografias com aumento de 1500x, 3000x, 4500x e 6000x utilizada para a análise da amostra contendo 12% de CV.



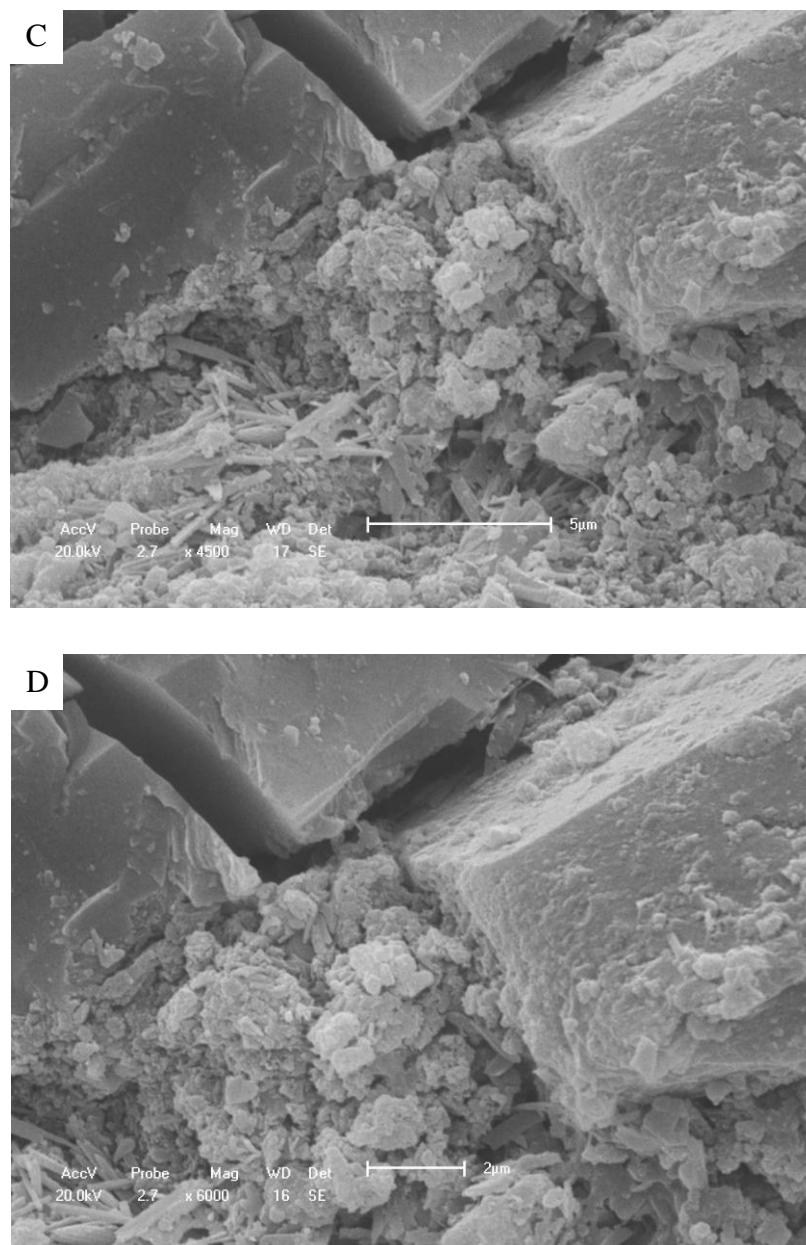


Figura 4.19: Micrografias obtidas por MEV da amostra contendo 12% de CV-I, curadas a $\pm 180^\circ\text{C}$, com 1500x (A), 3000x (B), 4500x (C) e 6000x (D) de ampliação.

A Figura 4.19 apresenta as micrografias da amostra contendo 12% de CV-I. A Figura 4.19 (A) até 4.19 (D) são micrografias da amostra de uma mesma região, sendo ampliadas. Pode ser observada a existência de 3 partículas de quartzo, onde há existência de aglomeração de portlandita aderida entre as 3 partículas, insuficiente para a coesão, podendo acontecer à formação silicato de cálcio. O processo de endurecimento cimentante não ocorre por completo nessa região, pois é necessário a formação de hidrosilicatos, para ocorrer a ligação aglutinante, características da formação do C-S-H.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

- As matérias-primas caracterizadas quanto as suas propriedades físicas e químicas são recomendadas para uso em formulações e desenvolvimento de produtos sílico-calcários industrialmente, pois estão de acordo com os critérios estabelecidos, para a produção de blocos sílico-calcários, de acordo com a NBR 14974-1:2003.
- Os percentuais de cal hidratado e cal virgem a partir de 9% e 6%, respectivamente, incorporados na mistura, foram os que obtiveram os melhores resultados em termos de propriedades tecnológicas;
- Os melhores resultados das propriedades tecnológicas foram obtidos nas formulações que possuem cal hidratada em sua composição, devido ter formado fase C-S-H (silicato de cálcio hidratado) no corpos-de-prova, o que não se comprovou nas formulações contendo cal virgem;
- Analisando a absorção de água das amostras verifica-se que todas as formulações satisfazem o exigido em norma técnica (NBR 14974-1:2003), se encontram dentro de (11 a 18 % de água);
- Os resultados de resistência mecânica (módulo de ruptura a flexão) das formulações contendo cal virgem ficaram abaixo do recomendado industrialmente (resistência à compressão), devido à baixa ligação aglutinante que existiu entre a areia quartzosa e a cal virgem durante o tratamento hidrotermal, tendo como conseqüência do ocorrido a não formação de hidrosilicatos;
- Por meio dos métodos DRX e MEV foi estabelecido que, em conseqüência da hidratação das composições iniciais ocorreram a transformação da cal (CaO) e da portlandita Ca(OH)_2 , em forma de carbonato, sendo a calcita (CaCO_3),

- Através da análise morfológica composta por quartzo e portlandita, nas amostras contendo 15% de CH-I e CH-II, observou-se regiões de poros, difusão e aglomerados da portlandita em partícula de quartzo, e também o indicativo da fase C-S-H em processo de hidratação nas regiões dos poros e adesão nas partículas de quartzo, ao contrário das amostras contendo 12% de CV, onde não houve formação da fase C-S-H.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros propõem-se:

- Estudar a viabilidade econômica da produção dos blocos sílico-calcários nas diversas regiões do Estado do Rio Grande do Norte em que haja interesse e potencialidade de matérias-primas;

- Estudar os parâmetros que envolvem, pressão, temperatura e tempo de permanência dos produtos sílico-calcários em autoclave, a fim de ter domínio do tratamento hidrotermal;

- Estudar outros tipos de areia, sendo aconselhável com percentual acima de 90% de SiO₂;

- Estudar o uso prático dos blocos em tamanhos normais que possam atender a NBR 14974-1:2003;

- Estudar a adição de pigmentos na produção de blocos sílico-calcários que possa ter maior valor agregado;

- Estudar materiais auxiliares que podem ajudar em ganho de propriedades mecânicas;

- Estudar a viabilidade de uma unidade de pressão independente acoplada ao sistema de tratamento hidrotermal;

- Viabilidade do uso de pressão isostática.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14947-1**. Bloco sílico-calcário para alvenaria - Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio.. Rio de Janeiro, Ago/2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 20:2004**. Cimento Portland e suas matérias-primas - Análise química - Determinação de dióxido de carbono por gasometria. Rio de Janeiro, Abr/2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 18:2004**. Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, Abr/2004.

BESSEY, G.E.; **Calcium silicate bricks** (including sand-lime and flint-lime bricks). Garstons, Building Research Station, 1974. Overseas building notes, nº. 154.

BESSEY, G.E.; 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.

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.; & 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.

BESSEY, G.E.; The history and present day development of the autoclaved calcium silicate building products industries. In: **Autoclaved Calcium Silicate Building Products**. London, Society of Chemical Industry, 1967. p.3-6.

BRANDÃO, P. R. G. **Métodos de Instrumentação e Análise**. Apostila do curso de pós graduação em Engenharia de Minas e Metalúrgica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, 2004. 127f.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT.; **Building materials**. 2. ed., Lancaster, The Construction Press, 1977, p.92-8.

CARVALHO, O.O.; *et al.*; **Avaliação e Diagnóstico do Setor Mineral do Estado do Rio Grande do Norte**, Relatório técnico, DNPM, SGB/CPRM, SEDEC/RN, FAPERN, 2005. cap. 3, p. 115-6.

CARVALHO, O. O.; RÊGO, J. M. do.; CUNHA, L. de S.; LEITE J. Y. P.; Perfil da industria de cal no Rio Grande do Norte. **Relatório Técnico**, FIERN/SENAI - RN, 84f. 2000. Natal. (Versão em CD-ROM).

COMITE EURO-INTERNACIONAL 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.

DEMPSEY, B.; A short review of corrent lime burning systems and the suitability of limes for the production of autoclaved calcium silicate products. In: **INTERNATIONALE SYMPOSIUM FUR DAMPFGEHARTETE KALZIUM-SILIKAT-BAUSTOFFE, 2.**, Hannover, 25-28, Marz, 1969. Hannover, Bundesverband Kalksandsteinindustrie, 1969.

FRANCO, L. S.; Blocos sílico-calcários. **Jornal da Cal**, São Paulo, 1988. v.13, n.44, p.4-5.

GULDE, C.J.; Color in autoclaved products. In: MENZELSYMPOSIM 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.

HOLANDA JÚNIOR, O.G.; **Blocos estruturais de concretos, cerâmicos e sílico-calcários**. Escola em Engenharia de Estruturas (EESC-USP) – São Carlos-SP – Departamento de Engenharias de Estruturas, Materiais e Técnicas Construtivas, 2000. p.591-602.

KOMAR, A.; **Matériaux et éléments de construction**. [s.n]. Moscou, Mir, 1978, p. 259-72.

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.

MENOR, E. do A. *et al.*; Qualificação de rochas carbonáticas aflorantes da bacia do Apodi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31º, 1980, Camboriú/SC. **Atas**. Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v.3. p,1649-1663.

NESI J. R., & CARVALHO V. G. D.; 1999. **Minerais industriais do Rio Grande do Norte**. Relatório técnico, CPRM, SINTEC/RN, SENAI, SEBRAE, 156f.

NESI J. R., REGO J. M. do., COSTA J. L. da., XAVIER C. B., FARIAS FILHO A., CORTEZ C. M. B., CARVALHO O. O. & VENTURA P. E. de O.; Perfil dos bens minerais e energéticos. In: **Avaliação preliminar do setor mineral do Rio Grande do Norte, 1995 - 2002**, Capítulo 6, 65 - 127p. 2004.

NOORLANDER, A.; Shrinkage and expansion of calcium silicate bricks. In: INTERNATIONALE SYMPOSIUM FÜR DAMPFGEHARTETE KALZIUM-SILIKAT-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.

PRENSIL S/A PRODUTOS DE ALTA RESISTÊNCIA. **Blocos Sílico-Calcário, Vedação, Aparentes, Estruturais – Prensil – Manual Técnico**, Edição, 1999.

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 of Chemical Industry, 1967, p.220-229.

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.

REIS, A.S. dos; **Alvenaria Estrutural: uma visão do sistema construtivo**. 2008. 82f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia. Porto Alegre, 2008.

ROBERT, Siegfried.; **Silikatbeton**. Berlin, VEB-Verlag FUR Bauwesen, 1970.

SABBATINI, F. H.; **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 298f. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 1984.

SANTOS, J.C.P.; **Viabilidade Técnica da Produção de Blocos Sílico-Calcários na Região de Santa Maria, no Rio Grande do Sul**. 200f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1985.

SATO, N.M.N.; ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.M. Influência da porosidade nos processos de fixação e transporte de água em pastas de gesso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília - **Anais**: Universidade de Brasília, 2001. p.485 - 497.

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.

SILVA, M. A. 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**. 148f. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1982, Dissertação de Mestrado.

SMALLWOOD, P.; Some thermal aspects on 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.

TAYLOR, H.F.; A review of autoclaved calcium silicates. In: **Autoclaved Calcium Silicate Building Products**. London, Society of Chemical Industry, 1967. p.195-205.

ZWONOK, O.; (et al). **Desenvolvimento de Blocos e Tijolos a partir de Cinzas de Fundo e Cal Hidratada**. Projeto CIPECAL, Relatório Final. Porto Alegre, CIENTEC, 1999. 215f. (FINEP/COPEL - Contrato: 13/07/1999 - 007377).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)