

PRODUÇÃO DE BLOCOS PRENSADOS E DE ENCAIXE COM PÓ
DE PEDRA DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS CALCÁRIAS

NOELÇO SILVA DIAS JÚNIOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO - 2011

PRODUÇÃO DE BLOCOS PRENSADOS E DE ENCAIXE COM PÓ
DE PEDRA DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS CALCÁRIAS

NOELÇO SILVA DIAS JÚNIOR

“Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil”.

Orientador: Prof. Jonas Alexandre

Co-orientador: Prof. Gustavo de Castro Xavier

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

DEZEMBRO – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**

37/2012

Dias Júnior, Noelço Silva

Produção de blocos prensados e de encaixe com pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias / Noelço Silva Dias Júnior. – Campos dos Goytacazes, 2011.

xi, 91 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2011.

Orientador: Jonas Alexandre.

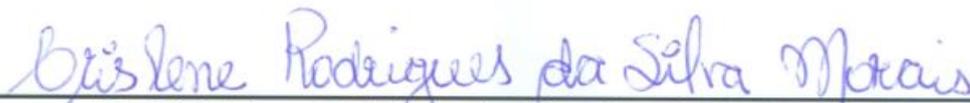
PRODUÇÃO DE BLOCOS PRENSADOS E DE ENCAIXE COM PÓ
DE PEDRA DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS CALCÁRIAS

NOELÇO SILVA DIAS JÚNIOR

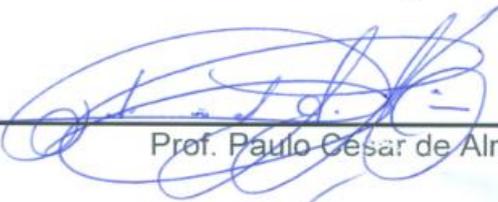
“Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil”.

Aprovada em 12 de dezembro de 2011.

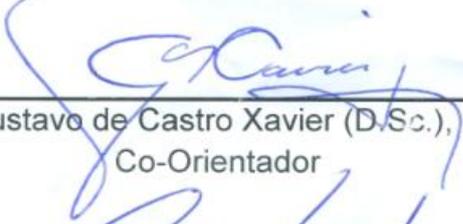
Comissão Examinadora:



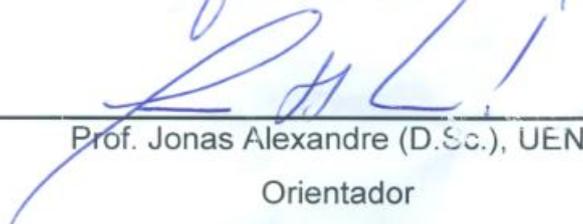
Prof.^a Crislene Rodrigues da Silva Morais (D.Sc.), UFCG



Prof. Paulo César de Almeida Maia. (D.Sc.), UENF



Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc.), UENF
Co-Orientador



Prof. Jonas Alexandre (D.Sc.), UENF

Orientador

Aos meus pais Noelço e Marlene.

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, que sempre abençoou a mim e a minha família.

À minha família, meus pais, Noelço e Marlene, que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelo suporte técnico e financeiro.

À empresa Calcário Paraíso pelo fornecimento de parte do material pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias.

Ao meu orientador Jonas Alexandre, pela orientação e incentivo que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Gustavo de Castro Xavier, pela orientação, dedicação e incentivo.

Aos técnicos Milton Pereira Soares e Vanúzia Almeida dos Santos Ferreira, do Laboratório de Mecânica dos Solos, pela amizade e ajuda nos diversos ensaios.

À doutoranda Luciana Lezira Pereira de Almeida (LAMAV), pela amizade e pelo auxílio nos ensaios de caracterização dos materiais.

A todos os professores do LECIV pelos ensinamentos e amizade.

A todos colegas da minha turma de Pós-Graduação.

E, por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 História da alvenaria	3
2.2 Calcário	4
2.3 Rochas carbonáticas	5
2.4 Utilização de resíduos do beneficiamento de rochas	7
2.4.1 Utilização do resíduo em concretos	7
2.4.2 Utilização do resíduo em argamassas	8
2.4.3 Utilização do resíduo em tijolos de solo-cimento	8
2.4.4 Utilização do resíduo na indústria cimenteira	9
2.5 Aditivos Minerais	9
2.6 Blocos vazados de concreto para alvenaria	10
2.6.1 Vantagens da alvenaria de blocos de concreto	11
2.6.2 Materiais empregados na produção de blocos de concreto	12
2.6.3 Dosagem e Cura	13
2.6.4 Classificação dos blocos de concreto	14
2.6.5 Requisitos físicos e mecânicos: resistência à compressão; absorção de água e índice de vazios	15
2.7 Alvenaria intertravada	16
2.8 Solo-cimento	17
2.8.1 Aspectos conceituais	18
2.8.2 Materiais e características dos tijolos de solo-cimento	19
2.9 Fatores que afetam a qualidade do solo cimento	20
2.9.1 Tipo de solo	20
2.9.2 Umidade de moldagem	22
2.9.3 Tipo de prensa de moldagem	22
2.9.4 Tipo e percentagem de estabilizante	23
2.9.5 Cura	23
2.10 Fator Eficiência	24

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	26
3.1 Materiais	26
3.1.1 Cimento Portland.....	26
3.1.2 Agregado Miúdo	26
3.1.3 Água.....	26
3.1.4 Pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC)	26
3.2 Caracterização das matérias-primas	27
3.2.1 Cimento Portland.....	27
3.2.2 Agregado Miúdo	28
3.2.3 PPRC	29
3.3 Produção dos blocos prensados de encaixe	30
3.3.1 Determinação da umidade de compactação	30
3.2.1 Traços produzidos.....	31
3.2.2 Processo de mistura.....	32
3.2.3 Moldagem dos blocos	33
3.2.4 Cura dos blocos	35
3.3 Verificação das propriedades dos blocos	36
3.3.1 Ensaio de resistência à compressão dos blocos	36
3.3.2 Ensaio de resistência à compressão dos prismas.....	38
3.3.3 Absorção de água	39
3.3.4 Ensaio de desgaste: Slake Durability	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Cimento	42
4.2 Agregado miúdo	43
4.2.1 Caracterização física.....	43
4.3 Pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC)	44
4.3.1 Caracterização física.....	44
4.3.2 Caracterização química.....	46
4.3.3 Caracterização morfológica.....	47
4.3.4 Caracterização mineralógica do PPRC	50
4.4 Verificação das propriedades físico-mecânicas dos blocos	51
4.4.1 Traços com 5% de teor de cimento (T1, T2 e T3).....	51
4.4.2 Traços com 10% de teor de cimento (T4,T5,T6 E T7)	53
4.4.3 Traços com 15% de teor de cimento (T9, T10, T11 E T12)	56

4.4.4 Slake Durability	58
4.4.5 Comparativo entre as resistências dos blocos	62
4.4.6 Comparativo de custo para os traços.....	64
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	65
6. REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pirâmides do Egito	3
Figura 2.2 - Coliseu	4
Figura 2.3 - Consumo de calcário no Brasil	6
Figura 2.4 - Reservas brasileiras de calcário	7
Figura 2.5 - Sistema de partículas.....	9
Figura 2.6 - Classificação dos sistemas de alvenaria intertravada.....	17
Figura 2.7 - Comparação entre alvenarias: (a) alvenaria em solo-cimento; (b) alvenaria convencional.....	19
Figura 2.8 - Execução de coluna grauteada com alvenaria de solo-cimento	19
Figura 3.1 - Imagens da extração e beneficiamento de rochas calcárias: (a) extração da rocha; (b) etapa do beneficiamento da rocha; (c) PPRC pronto para utilização....	27
Figura 3.2 - Permeabilímetro de Blaine.....	28
Figura 3.3 - Tentativa de moldagem dos blocos com 9,7% de umidade para o traço (10:40:50).....	30
Figura 3.4 - Equipamentos no processo de mistura: (a) misturador de eixo vertical; (b) borrifador de água	32
Figura 3.5 Prensa: (a) Vista lateral da prensa Permaq MTS-010; (b) detalhe da forma onde são moldados os blocos	33
Figura 3.6 - Lançamento da mistura na cuba da prensa passando antes por peneiramento para destorroar os grumos	33
Figura 3.7 - Procedimento para moldagem dos blocos. (a) e (b) sequencia de utilização do mecanismo tipo “gaveta” da prensa para enchimento da fôrma; (c) e (d) prensagem do material; (e) e (f) blocos moldados	35
Figura 3.8 - Blocos de PPRC recém moldados com a lona plástica com a qual foram cobertos	35
Figura 3.9 - Detalhe dos blocos em cura úmida	36
Figura 3.10 - Blocos após 28 dias de cura úmida	36
Figura 3.11 – Preparação dos blocos para o capeamento (a) Blocos serrados, (b) Bloco serrado formando prisma	37
Figura 3.12 - Blocos capeados prontos para ensaio de Resistência à Compressão..	38
Figura 3.13 - Ensaio de Resistência à Compressão	38
Figura 3.14 - Ensaio de resistência à compressão em prismas	39
Figura 3.15 - Cilindro do aparelho Slake Durability	40
Figura 3.16 - Peças de um traço de bloco preparadas para o ensaio	41
Figura 4.1 - Distribuição granulométrica da areia.....	43
Figura 4.2 - Distribuição granulométrica do PPRC.....	45
Figura 4.3 - Micrografia do PPRC	47
Figura 4.4 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 1	48
Figura 4.5 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 2	48

Figura 4.6 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 3	49
Figura 4.7 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 4	49
Figura 4.8 - Difratoograma de Raios X do PPRC	50
Figura 4.9 - Resistências comparadas com 5% de teor de cimento.....	51
Figura 4.10 - Resistências comparadas com teor de 5% de cimento.....	52
Figura 4.11 - Comparação da absorção de água dos traços com 5% de teor de cimento.....	53
Figura 4.12 - Comparação entre as resistências à compressão dos blocos em função do traço	54
Figura 4.13 - Resistências comparadas com teor de 10% de cimento.....	55
Figura 4.14 - Comparação da absorção de água dos traços com 10% de teor de cimento.....	55
Figura 4.15 - Resistências comparadas com 15% de teor de cimento.....	57
Figura 4.16 - Resistências comparadas com teor de 15% de cimento.....	57
Figura 4.17 - Comparação da absorção de água dos traços com 15% de teor de cimento.....	58
Figura 4.18 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T1	58
Figura 4.19 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T2.....	59
Figura 4.20 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T6.....	59
Figura 4.21 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T7	60
Figura 4.22 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T9.....	60
Figura 4.23 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T11	61
Figura 4.24 - Resistência Média de todos os traços fabricados	62
Figura 4.25 - Resistência Média dos blocos fabricados com 8% de umidade.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades e limites (ABNT 6136, 2008)	15
Tabela 2.2 - Propriedades e limites (ABNT 10836, 1994)	20
Tabela 2.3 - Critérios para seleção de solos	21
Tabela 2.4 - Produtividade das prensas para componentes de solo-cimento	23
Tabela 2.5 - Valores de eficiência parede-bloco	25
Tabela 2.6 - Valores de eficiência prisma-bloco.....	25
Tabela 3.1 – Ensaio de caracterização do agregado	28
Tabela 3.2 - Ensaio de caracterização física do PPRC	29
Tabela 3.3 - Traços produzidos (CIMENTO:PPRC:AREIA)	31
Tabela 3.4 - Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio.....	41
Tabela 4.1 - Características do Cimento Portland.....	42
Tabela 4.2 - Caracterização física do agregado miúdo	44
Tabela 4.3 - Massa específica e massa unitária no estado solto do PPRC	46
Tabela 4.4 - Composição Química do PPRC em forma de óxidos.....	46
Tabela 4.5 - Resumo dos resultados para blocos com 5% de teor de cimento.....	51
Tabela 4.6 - Resumo dos resultados para blocos com 10% de teor de cimento.....	53
Tabela 4.7 - Resumo dos resultados para blocos com 15% de teor de cimento.....	56
Tabela 4.8 - Custo de produção dos blocos.....	64

LISTA SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP II E-32:	Cimento Portland com escória de alto-forno
CP V ARI:	Cimento Portland de alta resistência
DIDEM/DNPM:	Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral do DNPM
DNPM:	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX:	Difração de raios X
EDX:	Espectrometria por fluorescência de raios X
LAMAV:	Laboratório de Materiais Avançados da UENF
LECIV:	Laboratório de Engenharia Civil da UENF
MEV:	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR:	Norma Brasileira
PPRC:	Pó de pedra do Beneficiamento de Rochas Calcárias
UENF:	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a incorporação do pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC) na produção de blocos de alvenaria prensados de encaixe. Através de prensagem manual foram fabricados diversos traços para blocos, que consistiam em misturas, compactadas e curadas, de areia, pó de pedra, cimento e água. Deste modo foram realizadas as caracterizações física, química, mineralógica e morfológica do pó de pedra; seguida da caracterização das diferentes propriedades físicas e mecânicas de blocos e prismas produzidos. Foram fabricados doze traços de blocos com variações dos teores de cimento, PPRC, areia e água. Os resultados obtidos no programa experimental mostraram que todos os traços produzidos alcançaram resultados bastante satisfatórios, alcançando até 6,12 MPa de resistência à compressão, podendo ser classificado, quanto a resistência, como alvenaria estrutural.

Palavras-chave: pó de pedra, calcário, blocos prensados, alvenaria.

ABSTRACT

This work aimed to study the stone dust incorporation, dust of rock from the limestone processing, in the production of masonry blocks pressed and docking. Using manual pressing, several traits were made for blocks, consisting of mixtures compacted and cured, sand, stone dust, cement and water. Therefore, had been carried the characterizations physical, chemical, mineralogical and morphologic of the rock dust; followed of the characterization of the different physical and mechanical properties of blocks and prisms produced. Twelve traces of blocks with variations in the amounts of cement, dust of rock and sand were produced. The obtained results in the experimental program showed that some blocks have achieved significant results, reaching up to 6,12 MPa compressive strength, which can be classified in terms of resistance, such as structural masonry.

Keywords: crushed stone, limestone, masonry, pressed blocks.

1. INTRODUÇÃO

O Município de Italva, localizado no interior do Estado do Rio de Janeiro, distando aproximadamente 350 km da capital e com uma população de aproximadamente 14.496 habitantes (IBGE/2008) possui reservas consideráveis de rochas calcárias calcíticas e dolomíticas, sendo as mesmas exploradas por uma empresa mineradora da região.

Ao longo do processo de extração e beneficiamento dessas rochas, beneficiamento este realizado pela empresa Calpar, é gerado um pó de pedra, que é então beneficiado, ensacado e vendido como de Liga de Carbonato de Cálcio para Argamassa.

O presente trabalho trata, portanto, do estudo da incorporação do pó de pedra resultante da exploração de rochas calcárias (PPRC) de Italva para produção de blocos prensados e de encaixe, buscando desenvolver um produto de alta qualidade, que seja uma alternativa às tecnologias convencionais.

Os blocos de solo-cimento, que consistem numa mistura compactada de solo, cimento e água em numa umidade ótima, tem sido tema de diversos trabalhos acadêmicos. Muitos abordam a incorporação de diversos tipos materiais desde resíduos industriais a fibras naturais.

Utilizando uma metodologia de fabricação semelhante à adotada para blocos de solo-cimento, DESTEFANI (2009), desenvolveu um tipo de bloco prensado e de encaixe com o resíduo de rochas ornamentais, sendo este bloco composto de uma mistura de resíduo, areia, cimento e água, sem solo, portanto.

As vantagens que esses blocos propõem, em relação à alvenaria tradicional, vão desde a maior rapidez na execução das obras, redução do desperdício de matérias-primas a redução do custo.

Ressalta-se também a importância do estudo deste material para o entendimento de suas propriedades características, sendo que, não foram encontradas pesquisas anteriores a esta sobre o uso do pó de pedra de rochas calcárias para tais fins.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade da incorporação do pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias na produção de blocos prensados e de encaixe, visando o desenvolvimento de um material de qualidade, agregando valor ao produto.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterização física, química, mineralógica e morfológica do pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias;
- avaliação da resistência à compressão dos blocos e primas de blocos produzidos;
- avaliação da absorção de água dos blocos;
- estudo da durabilidade dos blocos através do ensaio de desgaste Slake Durability.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho é composta de seis capítulos que são descritos a seguir:

- Capítulo 1: Trata da introdução ao tema, na qual se destaca a relevância do trabalho e seus objetivos.
- Capítulo 2: Fundamentação Teórica abordando os conteúdos necessários ao entendimento do tema e desenvolvimento da pesquisa.
- Capítulo 3: Programa Experimental propriamente dito que envolve desde a caracterização dos materiais utilizados até a metodologia adotada para se chegar aos objetivos propostos.
- Capítulo 4: Dedicado à discussão dos resultados obtidos no programa experimental.
- Capítulo 5: Refere-se às conclusões e sugestões para trabalhos futuros.
- Capítulo 6: Referências bibliográficas utilizadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 História da alvenaria

A alvenaria é um sistema construtivo muito tradicional, tendo sido utilizada pelo homem para os mais variados fins desde o início da atividade humana. Utilizando-se blocos dos mais diversos tipos e materiais, foram construídas obras de grande importância histórica e monumentos que perduram séculos e até milênios. (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Desde a antiguidade foram construídas grandes obras, utilizando-se alvenaria, que hoje são testemunhos das culturas antigas e medievais. Entre elas destacam-se as pirâmides do Egito (Figura 2.1), construídas em alvenaria de pedras de maneira a produzirem a forma piramidal, o anfiteatro romano Coliseu (Figura 2.2), suportado por pórticos formados por pilares e arcos (IZQUIERDO, 2011).



Figura 2.1 - Pirâmides do Egito

Fonte: Disponível no site www.infoescola.com

As áreas mais populosas dos tempos antigos testemunharam o aparecimento dos tijolos de barro secos ao sol (adobe). A necessidade de materiais de construção combinada com a abundância de argila o clima quente e seco necessário para secar o tijolo e a falta de madeira e pedra para construção conduziram ao desenvolvimento do tijolo de barro. Os tijolos podiam ser facilmente moldados, eram mais leves do que a pedra e formavam uma parede durável e resistente ao fogo (LOURENÇO, 1999).



Figura 2.2 - Coliseu

Fonte: Disponível no site www.rpghogwarts.forumeiros.com

As construções de alvenaria apresentam diversas vantagens e simplicidade no processo de execução. Entretanto, necessitam desenvolvimentos constantes principalmente no sentido da racionalização, da industrialização, da produtividade e da qualidade. Atualmente no Brasil, o sistema construtivo em alvenaria tem experimentado um grande impulso. A estabilização da economia e a concorrência têm feito com que um número crescente de empresas passe a se preocupar mais com os custos, acerando as pesquisas e a utilização de novos materiais (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

2.2 Calcário

O calcário tem sido amplamente usado, desde os tempos remotos para diversos fins. Tanto dos tempos das cavernas, como dos tempos bíblicos e da antiguidade pode-se constatar a existência de testemunhos relacionados ao uso dos calcários, e dos seus produtos derivados em obras grandiosas e nos empregos domésticos (NAHASS e SEVERINO, 2003).

Os romanos misturavam areia com finas camadas de terra e cinza vulcânica de Pozzouli, para produzir um forte e resistente composto de cimento e água salgada para uso na construção de edificações e blocos de concreto. Algumas dessas estruturas, tais como aquedutos, ainda continuam preservadas na Itália, Inglaterra, França e Espanha, entre outros países (MONT' ALVERNE, 1981).

Os aquedutos da cidade de Cairo, Egito, os anfiteatros, casas de banho e sanitários das cidades de Sabrat e Leptus Magnus, ambas na Líbia, dentre outros, além de permanecerem quase que totalmente preservados, são patrimônios históricos e conseqüentemente atrativos turísticos. (RESENDE, 2001)

Em 1824 foi inventado e patenteado o cimento Portland, usado até os dias de hoje, cujo nome deriva do cimento oriundo da pedra Portland, que é um calcário proveniente da Ilha britânica de Portland.

Ressalta-se que o calcário é a uma das rochas mais versáteis, possui amplo leque de disponibilidade e apresenta um custo relativamente baixo, quando é empregado como agregado da construção civil, como corretivo de solo ou como fertilizante. Entretanto, um puro e micro granulado material do grau de um “fíler” pode custar mais de US\$ 200,00/t (NAHASS e SEVERINO, 2003).

2.3 Rochas carbonáticas

Calcários e dolomitos são rochas carbonáticas, que ocupam área significativa da crosta terrestre, e seu aproveitamento exige numerosas pesquisas, estudo e trabalho de natureza mineral.

A calcita (carbonato de cálcio – CaCO_3) é o mineral mais importante e característico dessas rochas. Sua origem é atribuída á precipitação de soluções contidas nos carbonatos por mudanças físico-químicas e, também, por processos orgânicos. A dolomita (carbonato de cálcio e de magnésio – $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$) geralmente surge por processo metassomático ou por troca iônica durante a diagenese (GUIMARÃES, 2002).

São muitas as aplicações dos calcários e estas são direcionadas pela sua composição física e química. Destacam-se as utilizações como agregado, pedra ornamental, pedra de construção, fíler, meio filtrante, pó de mineração, corretivo de acidez do solo, nas indústrias de vidro, cerâmica, cimento Portland, cimento de alvenaria e cal.

No Brasil, as reservas de rochas calcárias, de dolomitos e de conchas calcárias são superiores a 40 bilhões de toneladas, distribuídas pelos 26 estados e Distrito Federal. Os maiores produtores estão na região Sudeste e no Paraná, porque ali se instalaram os maiores centros consumidores de cimento Portland e cal. O consumo brasileiro de calcário é mostrado na Figura 2.3 (GUIMARÃES, 2002).

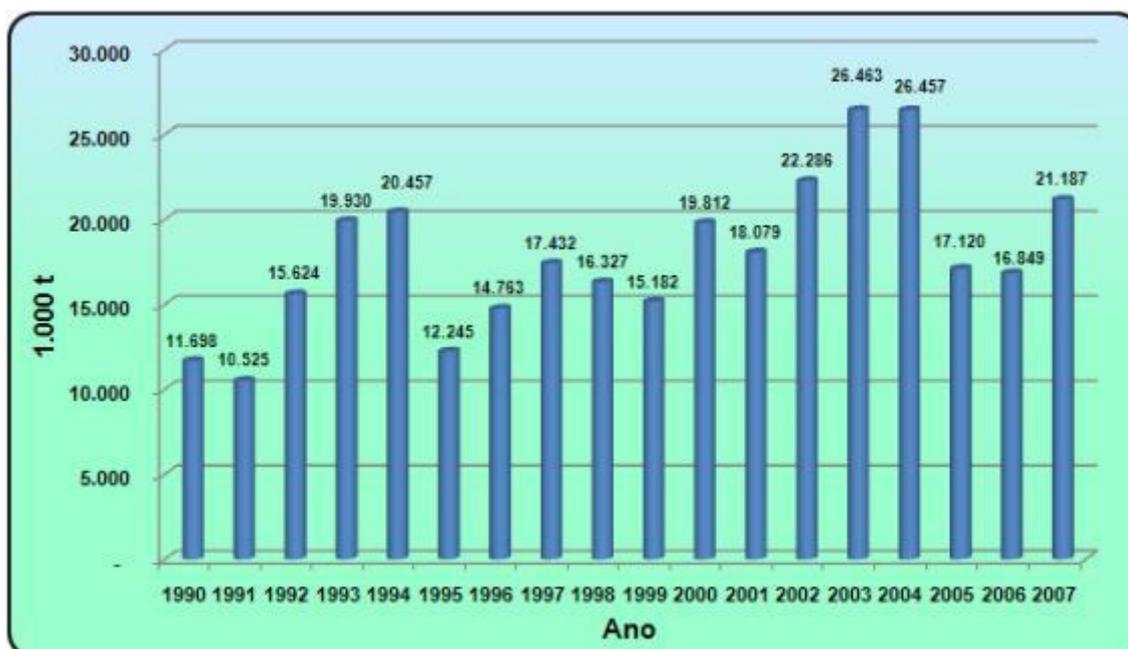


Figura 2.3 - Consumo de calcário no Brasil

FONTE: ABRACAL (2008) disponível no site: <http://www.potafos.org/>

As rochas carbonatadas mais comercializadas, em todo mundo, são calcário e dolomito. Os calcários são rochas sedimentares compostas, basicamente, por calcita (CaCO_3), enquanto os dolomitos são também rochas sedimentares compostas, basicamente, pelo mineral dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). De longe, a calcita apresenta maior valor econômico, comparada às demais, dolomita, mármore e greda ou giz (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

Segundo o mesmo autor, a similaridade entre as propriedades físicas dos minerais carbonatados resulta numa dificuldade na identificação. Em decorrência disso, são utilizados recursos adicionais de identificação, além do uso convencional das propriedades físicas desses minerais ou rochas. Desta forma, os recursos de análises química, difração de raios X, microscopia eletrônica, são os mais utilizados.

Em de 2008, a produção brasileira de calcário, foi de milhões de toneladas, sendo 74 milhões de toneladas destinadas à indústria cimenteira, 23 milhões de toneladas destinados à produção de calcário agrícola, 12 milhões de toneladas destinadas à produção de cal e o restante aos demais setores da indústria, conforme pode ser visto na Figura 2.4.

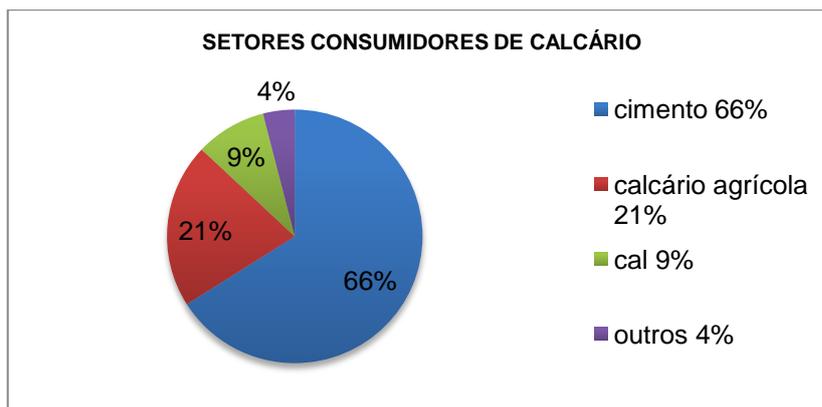


Figura 2.4 - Reservas brasileiras de calcário

Fonte: DIDEM/DNPM (2008)

2.4 Utilização de resíduos do beneficiamento de rochas

Apesar de o pó de pedra (PPRC) utilizado nesta pesquisa não ser propriamente um resíduo, pois o mesmo já é 100% aproveitado e vendido pela empresa exploradora como liga para argamassa, este também é um material resultante do processo de beneficiamento de rochas. Sendo assim, revisão bibliográfica sobre tal tema foi realizada, na qual verificou-se vários trabalhos propondo a aplicação de resíduo do beneficiamento de rochas em segmentos da construção civil.

2.4.1 Utilização do resíduo em concretos

Lisboa (2004) produziu concretos auto-adensáveis com o resíduo do beneficiamento de mármore e granito, e seus estudos mostraram resultados satisfatórios quanto à viabilidade de utilização.

Lameiras (2004) utilizou resíduo do beneficiamento de chapas de granito para a produção de concretos. Para a substituição do cimento de 10% em massa pelo resíduo houve perda de resistência. Porém, substituindo parte do agregado miúdo pelo resíduo, houve um aumento de 26% na resistência à compressão, em concretos com relação a/c de 0.65 e 30% de resíduo em substituição ao agregado.

Rocha (2008) estudou a viabilidade de utilização de resíduos do corte de rochas como adições minerais na fabricação de concretos. Os resultados indicaram que é possível a produção de concretos de resistência convencional (25 MPa) a partir dos resíduos.

2.4.2 Utilização do resíduo em argamassas

Calmon *et al.* (1997a) utilizaram o resíduo do beneficiamento das rochas ornamentais para produção de argamassas de assentamento com dosagens em volume 1:2:8 e 1:1:6 (cimento:cal:areia). Substituindo-se a cal por 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo em massa. Os resultados indicaram a viabilidade do uso do resíduo, substituindo a cal em 100%.

Silva (1998) avaliou a potencialidade da utilização do resíduo da serragem de blocos de granito na fabricação de argamassas. Tomando por base as propriedades físicas, mecânicas, etc., os resultados indicam que é viável a utilização do resíduo para fabricação de argamassas de assentamento.

Bahiense (2007) utilizou o planejamento experimental com rede simplex para avaliar o comportamento de argamassas em função dos teores de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em diferentes teores de incorporação. O modelo matemático que mais se ajustou aos experimentos foi o Modelo Cúbico Completo, com resultados bastante satisfatórios para as propriedades analisadas, capacidade de retenção de água e resistência à compressão.

2.4.3 Utilização do resíduo em tijolos de solo-cimento

Calmon *et al.* (1998) e Silva (1998) estudaram a incorporação do resíduo de corte de granito na produção de tijolos de solo-cimento. A proporção utilizada foi 1:14 (cimento:solo), em volume, realizando substituições de 10%, 30%, 50% e 70% de resíduo em relação à massa de solo. A resistência à compressão dos tijolos diminuiu com o aumento do teor de resíduo, porém, atenderam aos valores exigidos por norma. Os resultados mostraram que a adição de 50% atende a todas as propriedades analisadas.

Miranda *et al.* (2007) estudaram a aplicação do resíduo do beneficiamento de mármore e granitos em tijolos de solo-cimento produzidos por prensagem manual. O resíduo foi adicionado nos teores de 0%, 10%, 15% e 30% e o cimento, nos teores 5%, 10% e 15%. Verificou-se que o resíduo pode diminuir o consumo de cimento nestes tijolos.

2.4.4 Utilização do resíduo na indústria cimenteira

Gobbo *et. al.* (2004) utilizaram o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimentos para a fabricação de cimento Portland. Concluiu-se que a granulometria do resíduo é favorável ao seu uso em cimento, e representa redução no consumo de energia na fabricação do clínquer.

2.5 Aditivos Minerais

A ABNT 11172 (1990) define que o termo adições refere-se a produtos de origem mineral adicionados aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características e aditivos à produtos químicos adicionados em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou endurecido.

As adições minerais são usadas na construção civil desde a Antiguidade. Na Grécia, em 1500 a.C., adotava-se um material de origem vulcânica para execução de várias obras. Mais tarde, surgiram outros materiais usados como adição, como argila calcinada. Nos dias atuais, as adições minerais normalmente usadas são resíduos provenientes de outras indústrias (DAL MOLIN, 2005),

O efeito fíler (Figura 2.5) é consequência da maior compactidade conferida à mistura pela inclusão de partículas finas e ultrafinas do aditivo mineral (OLIVEIRA, 2000).

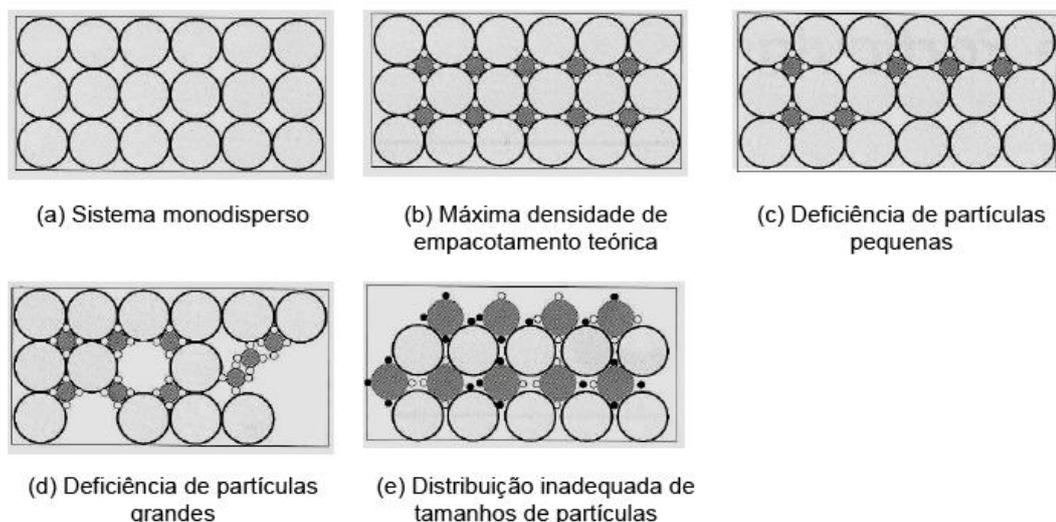


Figura 2.5 - Sistema de partículas

Fonte: (OLIVEIRA, 2000)

As mudanças nas propriedades de produtos cimentícios confeccionados com aditivos minerais, de modo geral, podem ser atribuídas aos efeitos físicos e químicos, sendo que, os efeitos físicos podem ser divididos em três: diluição do cimento Portland, efeito fíler e nucleação.

- diluição do cimento: que é um efeito adverso proporcionado pela substituição de uma parcela do cimento pelo aditivo mineral, aumentando a relação água-cimento, e, conseqüentemente, proporcionando uma diminuição dos produtos formados pelas reações de hidratação (LAWRENCE *et al.* 2003).
- Efeito de nucleação: ocorre devido ao aumento da superfície efetiva de contato com o meio aquoso, promovido pelo preenchimento dos intertícios dos cristais de clínquer por partículas extremamente pequenas adicionadas ao cimento Portland, já que a atividade cimentícia dos constituintes do clínquer é determinada por reações de superfície e está diretamente ligada com a área específica efetiva de contato com o meio aquoso, promovendo a aceleração das reações de hidratação dos compostos (CORDEIRO, 2006).
- Efeito fíler: O fíler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, ou seja, sua ação se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação, ativando a hidratação dos grãos de cimento. Calcário, pó de quartzo e pó de pedra são materiais considerados como fíler. O efeito fíler (Figura 2.5) é consequência da maior compacidade conferida à mistura pela inclusão de partículas finas e ultrafinas do aditivo mineral (OLIVEIRA, 2000).

2.6 Blocos vazados de concreto para alvenaria

O concreto pode, de acordo com sua finalidade e comportamento esperado, ser classificado em dois grupos distintos, denominados concretos plásticos e concretos secos (LIMA, 2009).

Segundo o mesmo autor os concretos plásticos são assim denominados por formarem, depois de misturados e homogeneizados, uma massa facilmente adensável. Esta característica permite que estes concretos sejam transportados e lançados até os locais em que serão aplicados. Já a para produção de elementos através de vibro-compressão utilizam-se os concretos secos.

O concreto seco é utilizado na produção de uma série de artefatos de concreto, incluindo os blocos de alvenaria, e é assim chamado devido sua mistura possuir um teor de umidade até o limite em que os blocos comecem a perder coesão e aderir às paredes dos moldes. Isto faz com que estes concretos possuam consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone igual a zero, e há necessidade de que a retirada do ar aprisionado seja feito por máquinas que conferem compacidade a mistura (DANTAS FILHO, 2004).

Conforme Ferreira Júnior (1985) o adensamento do concreto pode ser feito por equipamentos hidráulicos, pneumáticos ou manuais. E segundo FRASSON JÚNIOR (2000) a umidade de moldagem das misturas, deve situar entre 6% a 8%, de forma a possibilitar uma moldagem sem falta ou excesso de água.

Algumas precauções devem ser tomadas ao tratar com concretos secos, pois sua consistência se assemelha ao da terra úmida, diferindo daquele concreto utilizado em estruturas, que possui consistência plástica. Neste tipo de concreto a pasta ocupa praticamente todos os espaços vazios intergranulares deixados pelos agregados, enquanto que no concreto para blocos existe a presença significativa de ar aprisionado em seu interior (TANGO, 1984).

Segundo o mesmo autor, existe uma umidade ótima na qual se consegue obter misturas com melhor compacidade, semelhante ao que ocorre na compactação de solos, porém, existe uma quantidade limite de umidade, acima da qual, não é possível a produção dos elementos, devido à dificuldade de desforma por aderência aos moldes, ou perda do formato adequado após desforma.

Estas diferenças fazem com que os métodos de dosagem sejam também distintos para os concretos plásticos e para concretos secos (LIMA, 2009).

2.6.1 Vantagens da alvenaria de blocos de concreto

Segundo Grandi (2002), existem muitas vantagens na utilização de blocos de concreto, em relação ao sistema construtivo tradicional com blocos cerâmicos. Algumas delas são:

- aumento da produtividade de pedreiros e de outros profissionais envolvidos no processo

- a obra, caso utilize blocos para alvenaria estrutural, dispensa o uso de vigas e pilares de concreto armado.
- redução do custo da obra;
- a obra é mais limpa devido a redução na geração de entulhos:
- redução do custo de limpeza e retirada de entulhos da obra;
- maior qualidade sem a necessidade de equipamentos caros;
- maior velocidade na conclusão da obra;
- padronização e nivelamentos perfeitos;
- menor custo para instalações elétricas e hidráulicas, uma vez que não há necessidade de quebrar as paredes.

Os agregados usualmente utilizados para a produção de blocos pré-fabricados de concreto são: pedrisco, areia natural (ou artificial), ou a mistura desses materiais, sendo que, estes devem estar de acordo com as especificações da ABNT 7211 (2005). Os agregados leves como, argila expandida, escória de alto forno ou outros agregados, devem estar de acordo com as especificações próprias a cada um conforme ABNT 6136 (2008).

Prudêncio Júnior (2002) indica o uso do CPV ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), por conferirem resistências mecânicas maiores nas primeiras idades, o que possibilita o uso dos blocos mais rapidamente.

Os aditivos mais utilizados na fabricação de blocos de concretos são os redutores de água, pois, possibilitam para uma mesma relação água/cimento, menor de cimento ou redução da quantidade de água sem alteração da trabalhabilidade. (MEDEIROS, 1993).

2.6.2 Materiais empregados na produção de blocos de concreto

Normalmente os materiais utilizados na produção de blocos de concreto são: agregados graúdos e miúdos, aglomerante, água, e eventualmente aditivos e corantes (LIMA, 2009).

2.6.3 Dosagem e Cura

Dosagem é o estudo realizado para fixar as quantidades dos materiais constituintes, visando obter um concreto e conseqüentemente, os blocos pré-fabricados, com as características desejadas, que conforme Ferreira Júnior (1985) são:

- coesão no estado fresco, de forma que possam ser desmoldados e transportados sem que seu formato seja alterado;
- máxima compacidade, para que a absorção de água seja mínima;
- resistência compatível com aplicação a que se destina; e,
- aspecto da superfície que deve ser lisa, em blocos que irão ficar aparentes e áspera quando forem recobertos, evitando assim, a necessidade de aplicação de chapisco.

Segundo Souza (2001), a utilização de blocos é de grande interesse, pois possuem custo relativamente baixo, e apresentam um baixo teor energético incorporado à sua produção por não passarem por processo de queima, como os blocos cerâmicos.

Os métodos de dosagem de blocos de concretos mais conhecidos são:

- Método Besser (*Besser Company*): baseado no ajuste de traço pela granulometria final das misturas;
- Método do *American Concrete Institute – ACI*: que se baseia no módulo de finura (MF) da mistura de agregados utilizados, que deve ficar em torno de 3,70 e,
- Método da Associação Brasileira de cimento Portlando- ABCP: que se baseia no proporcionamento entre agregados que resultem na maior compacidade possível.

Segundo Medeiros (1993), a maioria dos fabricantes de blocos no Brasil não aplica qualquer método racional na dosagem do concreto. Geralmente adota-se um método empírico de proporcionamento de materiais baseado em séries de tentativa e erro.

Já o processo de cura corresponde a um conjunto de operações que visa proporcionar aos blocos durante certo tempo, condições de umidade, temperatura e pressão, necessários a uma adequada reação de hidratação de cimento. Qualquer alteração nessas condições pode refletir diretamente nas características finais dos blocos de concreto (TANGO, 1984).

Segundo Souza (2001), os três tipos de cura, mais utilizados na produção de blocos de concreto são:

- Cura através de autoclaves;
- Cura natural ou ao ar livre e
- Cura em câmara de vapor.

Mehta e Monteiro (2008) consideram sete dias como um período mínimo de cura ao ar livre para concretos contendo cimento Portland comum sendo desejável, porém, períodos mais longos para concretos contendo cimento compostos ou com adições, de modo a garantir a contribuição das reações pozolânicas na resistência do material.

2.6.4 Classificação dos blocos de concreto

Conforme a norma ABNT 6136 (2008) os blocos de concreto devem atender, quanto ao uso, às seguintes classes:

- Classe A – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe D – sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

As exigências da norma ABNT 6136 (2008) são mostradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Propriedades e limites (ABNT 6136, 2008)

Classe	Resistência (MPa)	Absorção Média		Retração por Secagem (%)
		Agregado Normal (%)	Agregado Leve (%)	
A	$\geq 6,0$	≤ 10	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
B	$\geq 4,0$		(média)	
C	$\geq 3,0$		$\leq 16,0$	
D	$\geq 2,0$		(individual)	

2.6.5 Requisitos físicos e mecânicos: resistência à compressão; absorção de água e índice de vazios

A resistência à compressão da unidade (bloco) é o principal parâmetro de projeto da parede de alvenaria. Por este motivo, esta propriedade torna-se a principal variável de controle do processo produtivo do bloco de concreto (MEDEIROS, 1993).

A capacidade de absorção de água pelo bloco é uma propriedade relacionada à porosidade do material e tem influência direta na aderência dos blocos com a argamassa (TANGO, 1984 *apud* LIMA, 2009).

Os componentes de alvenaria de concreto devem apresentar um valor mínimo de absorção de água, abaixo do qual não haverá penetração adequada de nata de aglomerante em seus poros, e um valor máximo, para que não ocorra intensa retirada de água da argamassa, prejudicando a hidratação do aglomerante. Para mesmas condições assentamento, quanto maior a área de contato argamassa/bloco, maior a aderência, a penetração de argamassa nas ranhuras e furos dos blocos (THOMAZ e HELENE, 2000).

A ABNT 6136 (2008) especifica em 10% o limite para absorção média de água para blocos de concreto produzidos com agregados convencionais e 13% para valor médio e 16% como limite para valor individual, caso os blocos sejam produzidos com agregado leve.

2.7 Alvenaria intertravada

O intertravamento entre blocos é uma alternativa que dispensa o uso de argamassa de assentamento, com intuito de aumentar a produtividade na execução das alvenarias em relação à alvenaria convencional, como descrevem (ANAND e RAMAMUTHY, 2003 apud KANNING,2008).

Os sistemas construtivos baseados em blocos de concreto assentados a seco oferecem a possibilidade de usar mão-de-obra sem treinamento e elevações mais rápidas. Porém, a argamassa utilizada nas alvenarias convencionais assume várias funções importantes, tais como compensar tolerâncias dimensionais do bloco, selar as juntas e absorver esforços de flexão, uniformizar a distribuição dos esforços através da parede, e propiciar estabilidade durante a elevação. Sem estes quesitos, a alvenaria assentada a seco pode acarretar mais problemas do que soluções (SALVADOR FILHO, 2007).

Alguns testes mostram que a resistência deste tipo de alvenaria alcança resultados de até 80% da resistência de alvenaria assentadas com argamassa. O mecanismo de ruptura se altera devido à falta de material nas juntas, resultando num comportamento de contato progressivo entre as juntas secas (MARZAHN, 1997).

A maioria dos sistemas de alvenaria assentada a seco consiste em blocos com formatos especiais, de modo que durante a elevação estes blocos se encaixem uns nos outros formando uma parede intertravada e mais estável. Segundo Salvador Filho (2007), este tipo de alvenaria pode variar de acordo com sua finalidade, tipo de encaixe utilizado e material constituinte. Estes tipos de alvenaria podem ser classificados de acordo com os quesitos apresentados no diagrama da Figura 2.6.

Os blocos produzidos nesta pesquisa podem ser classificados também como alvenaria intertravada.

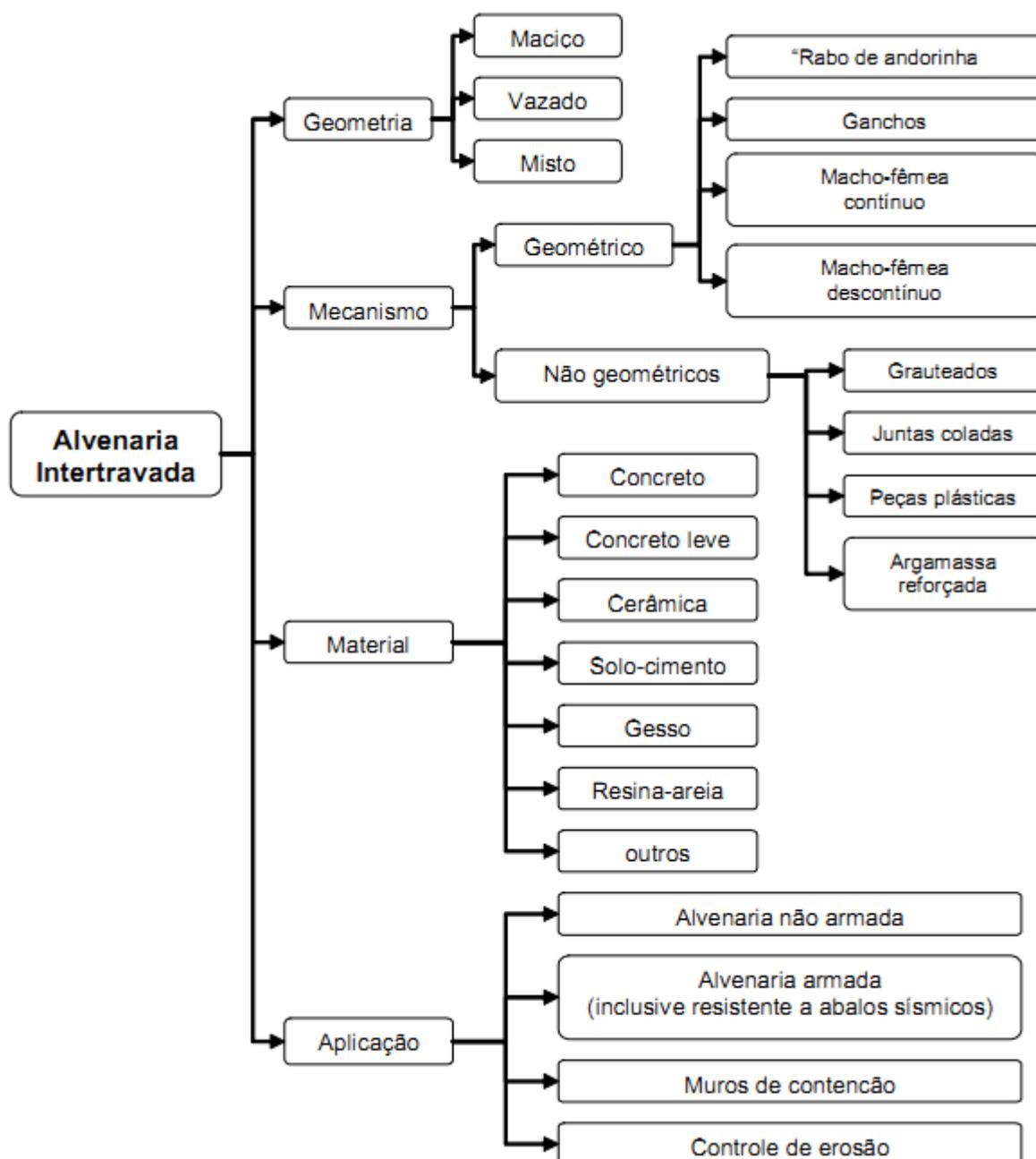


Figura 2.6 - Classificação dos sistemas de alvenaria intertravada

Fonte: (SALVADOR FILHO, 2007)

2.8 Solo-cimento

Embora nesta pesquisa não se faça uso de solos para produção dos blocos, uma revisão bibliográfica sobre o tema se fez necessária devido ao fato de muitos fatores que afetam a resistência dos blocos de solo-cimento também afetarem a resistência dos blocos com PPRC.

2.8.1 Aspectos conceituais

Segundo a ABCP (1999), o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento Portland e água, que, compactados numa umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.

De acordo com GRANDE (2003), os tijolos de solo-cimento representam uma alternativa em plena sintonia com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois requerem baixo consumo de energia na extração de matéria-prima, dispensam o processo de queima e reduzem a necessidade de transporte, uma vez que os tijolos podem ser produzidos com o solo do próprio local da obra.

Outro aspecto é a possibilidade de racionalização do processo construtivo, por meio do uso de tijolos modulares, que possibilitam o uso das técnicas empregadas na alvenaria estrutural, proporcionando redução de desperdícios e diminuição no volume de entulho gerado. Deste modo, propiciam maior rapidez no processo construtivo; economia de materiais e mão-de-obra; eliminam os rasgos nas paredes para a passagem de tubulações, visto que os tijolos possuem furos que ficam sobrepostos no assentamento e formam dutos por onde são passados os fios e as tubulações hidráulicas; reduzem o consumo de argamassas de assentamento e de regularização (SOUZA, 2006).

O solo-cimento na construção de habitações populares, usado adequadamente, permite uma grande economia, com reduções de custo que podem atingir até 40% do valor da alvenaria. Contribui para esse barateamento o baixo custo do solo que, nesse caso, é o material empregado em maior quantidade de acordo com a ABCP (1987).

O uso do solo-cimento é visto como benefício às famílias de baixa renda, que sonham com a casa própria, melhorando a qualidade da moradia com efetiva redução dos custos. Entretanto, a história e as obras atuais nos mostram que sua utilização é aplicada em todas as classes sociais (LIMA, 2006).

2.8.2 Materiais e características dos tijolos de solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento constituem uma das alternativas para a construção de alvenaria em habitações e outras edificações. Na sua produção são utilizados os seguintes materiais: solo, cimento e água. As vantagens da utilização dos tijolos de solo-cimento vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras. Os equipamentos são simples e de baixo custo. A mão de obras para operar a máquina de fabricação não precisa ser especializada, permitindo sua operação no próprio canteiro, reduzindo os custos com transporte. Sua resistência à compressão é semelhante à do tijolo convencional, mas a qualidade final é superior, possuindo dimensões regulares e faces planas (FERRAZ, 2000).

A técnica de assentar os tijolos por encaixe propicia maior rapidez e qualidade na execução da alvenaria. Os furos coincidentes possibilitam a passagem de tubulações (Figura 2.7-a), diferentemente da alvenaria tradicional que normalmente é rasgada para posterior instalação dos tubos (Figura 2.7-b). Há também a possibilidade de execução de colunas grauteadas como pode ser visto na Figura 2.8.

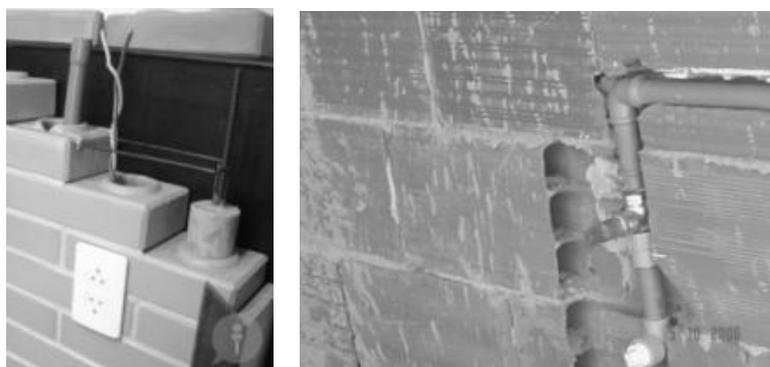


Figura 2.7 - Comparação entre alvenarias: (a) alvenaria em solo-cimento; (b) alvenaria convencional



Figura 2.8 – Execução de coluna grauteada com alvenaria de solo-cimento

Fonte: (DESTEFANI, 2009)

Não existe norma para blocos de solo-cimento com função estrutural. Já para os blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural são tratados pela norma ABNT 10834 (1994), cujas exigências são mostradas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Propriedades e limites (ABNT 10836, 1994)

<i>Propriedades</i>	<i>Norma</i>	<i>Limites</i>
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	ABNT10836 (1994)	$\geq 2,0$
Absorção de água (%)	ABNT10836 (1994)	≤ 20

2.9 Fatores que afetam a qualidade do solo cimento

A importância de se mencionar o procedimento de produção de blocos de solo-cimento se deve ao fato de, o pó de calcário também ser um material muito fino e ocasionar os mesmos problemas de moldagem, cura e interação com o cimento.

Além disso, o equipamento utilizado nesta pesquisa, para fabricação dos blocos, é o mesmo utilizado na produção de blocos de solo-cimento.

2.9.1 Tipo de solo

SEGANTINI (2002) diz que quanto à granulometria, os solos arenosos são considerados os mais adequados. A existência de grãos de areia grossa e pedregulhos são benéficos, já que são materiais inertes e têm apenas a função de enchimento. Isso favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerarem os grãos menores. Os solos devem ter, porém, um teor mínimo de fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento deve-se à coesão da fração fina compactada.

Os solos granulares estabilizam-se pela cimentação nos pontos de contato entre os agregados que os compõem (areia pedregulho ou pedras). A estrutura cimentada do solo-cimento forma-se por um processo similar ao do concreto; nesta estrutura, a pasta não ocupa todos os vazios pela pequena quantidade de cimento e água empregada, como descreveu Pitta (1995), dando a ela uma menor resistência quando comparada ao concreto, por ter um maior número de vazios e menor densidade.

De acordo com a ABCP (1985), os solos mais arenosos são os que se estabilizam com menores quantidades de cimento, sendo necessária a presença de argila na sua composição, visando dar à sua mistura, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada das formas.

As experiências têm demonstrado que, quando os solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, não possuem uma resistência inicial que propicie a sua compactação, relata Segantini (2000). A Tabela 2.3 mostra os critérios sugeridos por diversos autores para a seleção de solos para a fabricação de blocos.

Tabela 2.3 - Critérios para seleção de solos

Autores	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)
CINVA (1963)	45 - 80	--	--	20 - 25
ICPA (1973)	60 - 80	10 - 20	5 - 10	--
Merril (1949)	> 50	--	--	--
MAC (1975)	40 - 70	< 30	20 - 30	--
CEPED (1984)	45 - 90	--	< 20	10 - 50
PCA (1969)	65	--	--	--

Fonte: SEGANTINI (2000)

A PCA (1969) considerou para efeito de execução os solos arenosos pedregulhosos contendo cerca de 65% de areia e um teor de silte mais argila variando de 10 a 35% constituem excelentes materiais para obtenção de um solo-cimento econômico e de boa qualidade. Solos arenosos deficientes em finos proporcionam, também, bons resultados, embora exigindo maior quantidade de cimento do que os anteriores.

Senço (2001) relata que a estabilização de solos pode ser obtida simplesmente pela adequada distribuição das diversas porções de diâmetros dos grãos (estabilização granulométrica). A distribuição das porções de tamanhos diferentes é tal, que os vazios dos grãos maiores são preenchidos pelos grãos médios, e os vazios destes, pelos miúdos.

Os solos siltosos e argilosos prestam-se satisfatoriamente à execução do solo-cimento, necessitando, entretanto, de teores elevados de cimento para se estabilizarem (LOPES, 2002).

2.9.2 Umidade de moldagem

O teor de umidade interfere na coesão entre as partículas (BELTRAME *et. al*, 1981). A umidade de moldagem mais conveniente também é função do tipo de solo. Para se obter tijolos prensados de qualidade com um determinado solo, é necessário estabelecer qual a percentagem ideal de água e quantidade de material a ser posta no molde da prensa, através de um processo de otimização.

Segundo Barbosa (2003), normalmente essa umidade não é exatamente aquela obtida no ensaio de compactação (Proctor). Nele obtém-se a densidade máxima aplicando-se uma compressão dinâmica. No entanto, na prensa, tem-se uma compactação praticamente estática, daí uma certa diferença.

2.9.3 Tipo de prensa de moldagem

A confecção dos tijolos de solo-cimento pode ser feita em prensas manuais, mecânicas ou hidráulicas. Geralmente trabalha-se (as principais prensas manuais) com um equipamento que tem a vantagem de aplicar ao bloco uma dupla compressão. Um sistema de molas engenhosamente colocado para isto torna o tijolo mais compacto e resistente.

Normalmente essas prensas manuais comprimem o solo com pressões da ordem de 2 MPa. O tipo de prensa é importante, pois quanto maior a compactação imposta ao solo, melhor será o produto final. No mercado encontram-se já diversos tipos.

Comparando-se com o tijolo cerâmico convencional, na fabricação do solo-cimento, não existe o processo de queima, reduzindo consumo de energia.

No mercado já existem também prensas hidráulicas que aplicam pressões muito maiores, resultando em produtos muito resistentes. O inconveniente é que se tratam de equipamentos pesados e de custo elevado (BARBOSA, 2003).

A produtividade das de algumas prensas para componentes solo-cimento é mostrada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Produtividade das prensas para componentes de solo-cimento

TIPO DE PRENSA		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO (MPa)	PRODUÇÃO (blocos/dia)
Manual	Mecânica	1,5 -- 2,0	300 a 1200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	2000 a 2800
Motorizada	Mecânica	4,0 – 24,0	1600 a 12000
	Hidráulica	>20,0	--

Fonte: FERRAZ JÚNIOR *apud* GRANDE (2003)

2.9.4 Tipo e percentagem de estabilizante

Estabilizar um solo significa a ele misturar produtos que melhorem suas propriedades, inclusive sob a ação da água. Um dos melhores e mais difundidos estabilizantes é o cimento. Este trabalha reagindo quimicamente não só com a água, formando agentes cimentícios, mas também com as partículas finas do solo. Teores de 4 a 6 % de cimento são capazes de produzir tijolos prensados de excelente qualidade (BARBOSA, 2003).

A escolha do teor de cimento mínimo, capaz de assegurar a estabilidade necessária e de garantir à mistura a permanência de suas características, é, antes de tudo, uma imposição do critério de economia relata (LOPES, 2002).

Segundo Grande (2003), o teor de umidade é tão significativo quanto a porcentagem de cimento, pois exerce forte influência nas características de resistência e de absorção de água. Porém, quando a compactação não é realizada apenas em um material, e sim em uma mistura de diferentes materiais, ocorre variação do teor de umidade ótima de acordo com a porcentagem de cada material utilizado na mistura.

2.9.5 Cura

A cura envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, consistindo no controle do tempo, temperatura e condições de umidade. É recomendado um período de cura úmida de, no mínimo, sete dias para concretos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A estrutura cimentada do solo-cimento forma-se por um processo similar ao do concreto; nesta estrutura, a pasta não ocupa todos os vazios pela pequena quantidade de cimento e água empregada, como descreveu Pitta (1995), dando a ela uma menor resistência quando comparada ao concreto, por ter um maior número de vazios e menor densidade.

O bloco de solo-cimento também precisa ser curado para evitar a saída rápida da água da mistura. Se ocorrer a evaporação, não vai haver tempo para ela reagir com todos os grãos de cimento e a resistência do bloco diminui. Um método muito eficaz consiste em se cobrir os tijolos com uma lona plástica tão logo eles sejam fabricados. Assim impede-se a evaporação da água. Também se usa ficar molhando periodicamente os tijolos novos, porém a proteção com a lona plástica é mais eficaz (BARBOSA, 2008).

2.10 Fator Eficiência

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), dentre os fatores que exercem influência na resistência à compressão dos painéis de parede, a resistência dos blocos tem caráter predominante. Em geral o valor da resistência da alvenaria é diretamente proporcional à resistência do bloco. É um conceito muito importante quando se trata da influência da resistência dos blocos, prismas ou paredes e a eficiência, que é definida como a relação entre as resistências da parede e do bloco que compõe, ou entre o bloco e prisma, ou ainda, entre prisma e parede. A relação parede-bloco é mostrada na equação 1:

$$\eta = \frac{f_p}{f_b} \quad (1)$$

onde:

f_p – resistência da parede ou prisma;

f_b – resistência do bloco.

A eficiência pode variar bastante dependendo do formato, resistência do bloco, da argamassa, etc. Normalmente, quanto mais resistente o bloco menor será o valor da eficiência e vice-versa. Nos casos mais comuns para paredes executadas

com blocos cerâmicos, não grauteados e com argamassa usuais, pode-se estimar a eficiência bloco-parede variando dentro dos limites de 0,20 a 0,50.

Estão descritos na Tabela 2.5, valores de eficiência para blocos cerâmicos e de concreto, com resistência entre 4,5 MPa e 20 MPa, não grauteados e com argamassas usuais, e, na Tabela 2.6, os valores entre prismas e blocos.

Tabela 2.5 - Valores de eficiência parede-bloco

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

Tabela 2.6 - Valores de eficiência prisma-bloco

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,50	0,90
Cerâmico	0,30	0,60

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentadas as sequências dos ensaios realizados neste trabalho, como também a análise do procedimento de fabricação dos blocos prensados com o pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC).

Este trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios de Engenharia Civil (LECIV) e de Materiais Avançados (LAMAV), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e na Escola Técnica João Barcelos Martins.

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento Portland

O aglomerante utilizado para a confecção dos blocos foi o cimento Portland composto com escória de alto-forno, CP II E 32 da marca Votoram. Sua escolha deveu-se a fácil disponibilidade no mercado local e por ser um dos cimentos mais utilizados na região.

3.1.2 Agregado Miúdo

Foi utilizado como agregado miúdo, a areia natural do Rio Paraíba do Sul. O material foi seco em estufa por 24h à temperatura de 110°C e peneirado em peneira ABNT nº 8, de abertura de malha 2,34 mm.

3.1.3 Água

Utilizou-se a água proveniente da rede de abastecimento do município de Campos dos Goytacazes-RJ.

3.1.4 Pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC)

O pó de pedra utilizado nesta pesquisa provém do beneficiamento de rochas calcárias realizado pela empresa Calpar localizada no interior Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente no Município de Italva. As Figuras 3.1 (a) e 3.1 (b)

mostram imagens da extração e beneficiamento das rochas respectivamente. A Figura 3.1 (c) mostra o PPRC da forma em que foi utilizado neste trabalho.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.1 - Imagens da extração e beneficiamento de rochas calcárias: (a) extração da rocha; (b) etapa do beneficiamento da rocha; (c) PPRC pronto para utilização

O PPRC foi caracterizado através de ensaios físico-químicos, mineralógicos e morfológicos.

3.2 Caracterização das matérias-primas

3.2.1 Cimento Portland

Para a caracterização foram realizados ensaios com os quais obteve-se:

- Sua área específica superficial, que foi determinada através do permeabilímetro de Blaine (Figura 3.2) de acordo com a ABNT NM 76 (1998);



Figura 3.2 - Permeabilímetro de Blaine

- Sua massa específica, obtida utilizando o método normalizado por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier (ABNT NM 23, 2001);
- A resistência à compressão em diferentes idades, através da confecção de argamassas que foram rompidas nas idades de 3, 7 e 28 dias, obedecendo a ABNT 7215 (1996);

Sua composição química do cimento foi obtida por espectroscopia por fluorescência de raios X (EDX).

3.2.2 Agregado Miúdo

Os ensaios realizados para a caracterização física do agregado miúdo e suas respectivas normas técnicas são mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Ensaio de caracterização do agregado

Ensaio Físico	Norma Técnica
Massa específica aparente no estado solto	ABNT 7251 (1982)
Análise granulométrica	ABNT 7181 (1984)
Módulo de finura	ABNT 7211 (2005)
Massa específica	ABNT 6508 (1980)
Teor de materiais pulverulentos	ABNT NM 46 (2003)

3.2.3 PPRC

Para a caracterização física do PPRC foram realizados ensaios com os quais se obteve a massa específica dos grãos, a massa unitária no estado solto e granulometria.

Os ensaios realizados para caracterização física do PPRC estão listados na Tabela 3.2, juntamente com as normas respectivas.

A determinação da curva granulométrica do PPRC foi obtida através do peneiramento e sedimentação (ABNT NM 248, 2003). Foram obtidos também o módulo de finura e a dimensão máxima característica do respectivo agregado.

Tabela 3.2 - Ensaios de caracterização física do PPRC

Ensaio	Norma Técnica
Massa unitária no estado solto	ABNT NM 45 (2006)
Massa específica	ABNT NM 23 (2001)
Granulometria	ABNT 7181 (1984)

A composição química do PPRC foi obtida, por espectroscopia por fluorescência de raios X, em um equipamento Shimadzu EDX-700. Instrumento este que determina semi-quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra.

A análise morfológica foi realizada no LAMAV por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras, para serem analisadas, foram secas em estufa por 24h a temperatura de 110°, metalizadas com ouro, e colocadas no MEV para observação.

A caracterização mineralógica foi obtida por difração de raios X. Ensaio este realizado no LAMAV utilizando o modelo URD-65, SEIFERT, anodo de Co, 40 KV / 30mA, com ângulo de varredura de 2θ (6,5 a 60°).

3.3 Produção dos blocos prensados de encaixe

3.3.1 Determinação da umidade de compactação

Após a escolha dos teores de cimento a serem utilizados nesta pesquisa, que foram limitados a 15% devido ao fator custo, foi definido o primeiro traço a ser trabalhado.

Em seguida procedeu-se o ensaio de compactação, visando obter o valor de umidade ótima para moldagem dos blocos.

A análise de compactação de partículas foi realizada através do ensaio de compactação, seguindo os procedimentos da norma ABNT 12023 (1992) – Solo-cimento – Método A, para um traço com 10% de cimento, 50% de areia e 40 % de PPRC.

Os valores obtidos para umidade ótima e densidade aparente seca máxima foram 9,71% e 1,95 g/cm³ respectivamente.

Com o valor de umidade encontrado não foi possível à moldagem dos blocos, pois era excessivamente alto, conforme mostra a Figura 3.3. Este valor serviu como ponto de referência para encontrar a umidade necessária, esta a qual foi obtida empiricamente.



Figura 3.3 - Tentativa de moldagem dos blocos com 9,7% de umidade para o traço (10:40:50)

Sendo assim, foram realizadas diversas tentativas de moldagem com umidades diferentes que variaram de 5 à 15%. Através de procedimento empírico decidiu-se pela umidade de 7%.

Com a umidade de 7% foi possível a moldagem dos blocos e este procedimento serviu de parâmetro para fabricação dos demais blocos.

Para o restante dos blocos a umidade de prensagem foi obtida partindo sempre de 7% de umidade e aumentando-a, caso necessário, com acréscimos de 0,5%. A cada aumento de 0,5% na umidade a mistura era checada, através do tato, até que fosse considerada apta para prensagem.

Após diversas tentativas de moldagem com diversos traços observou-se que misturas com teores de areia acima de 50% apresentam grande dificuldade de serem moldadas, independentemente da quantidade de cimento, PPRC ou da umidade. Isto se deve, principalmente, a ausência de coesão das partículas de areia, o que impossibilita a retirada do bloco da forma sem que “esfarele”.

Após a constatação da dificuldade de moldagem de blocos com teores de areia superiores a 50%, este valor foi fixado como o teor máximo a ser utilizado na fabricação dos outros traços.

3.2.1 Traços produzidos

Foram produzidos 12 traços diferentes denominados de T1 a T12 e com teores de cimento de que variaram de 5, 10 e 15% (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Traços produzidos (CIMENTO:PPRC:AREIA)

TRAÇOS COM 5% DE CIMENTO		TRAÇOS COM 10% DE CIMENTO		TRAÇOS COM 15% DE CIMENTO	
Nº	Massa	Nº	Massa	Nº	Massa
	%		%		%
T1	(1:9:10)	T4	(1:4:5)	T8	(1:2,33:3,33)
	(5:45:50)		(10:40:50)		(15:35:50)
T2	(1:10:9)	T5	(1:4,5:4,5)	T9	(1:2,667:3)
	(5:50:45)		(10:45:45)		(15:40:45)
T3	(1:11:8)	T6	(1:5:4)	T10	(1:3:2,667)
	(5:55:40)		(10:50:40)		(15:45:40)
		T7	(1:5,5:3,5)	T11	(1:3,33:2,33)
			(10:55:35)		(15:50:35)
				T12	(1:3,667:2)
					(15:55:30)

Como pode ser observado na Tabela 3.3, o teor de cimento foi um fator limitante para moldagem dos blocos, pois, quanto menor o teor de aglomerante, menor a possibilidade de fabricação de traços moldáveis.

Sendo assim, o teor de 5% de cimento, por exemplo, possibilitou a fabricação de três traços (T1, T2 e T3) alterando os teores de PPRC e areia e umidade, e a medida que se aumentava o teor de PPRC, mais difícil era a moldagem. Já para os traços com maiores teores de cimento foi possível a fabricação de um número maior de traços como pode ser observado.

A limitação a 3 (três) traços, e 4 (traços) para os teores de cimento de 5 e 10% respectivamente, deve-se também ao fato de haver uma certa dificuldade de definição, através do tato, da umidade de compactação conforme o aumentava-se do teor de PPRC.

3.2.2 Processo de mistura

Após escolha do traço, os materiais foram pesados e colocados em um misturador de eixo vertical (Figura 3.4(a)). Primeiramente colocou-se a areia e, logo em seguida, o pó de pedra. Após a homogeneização dos componentes da mistura, acrescentou-se a água, com uso de um borrifador de uso comercial (Figura 3.4 (b)). Este procedimento é sugerido por LIMA (2006), por proporcionar melhor homogeneização do material, minimizando a formação de grumos de cimento.



(a)



(b)

Figura 3.4 – Equipamentos no processo de mistura: (a) misturador de eixo vertical; (b) borrifador de água

A mistura foi então retirada do misturador, colocada num carrinho de mão, e coberto por um pano umedecido, para evitar a perda de umidade para o meio, durante o transporte do material até a prensa e na espera para ser prensado.

3.2.3 Moldagem dos blocos

Para a moldagem dos blocos empregou-se a prensa manual da marca Permaq, modelo MTS-010 (Figura 3.5). Foram confeccionados blocos vazados no formato 19,5x10x5 cm, com dois furos de 5 cm de diâmetro, com área útil de 80%, seguindo as normas da ABNT 8491 (1984).

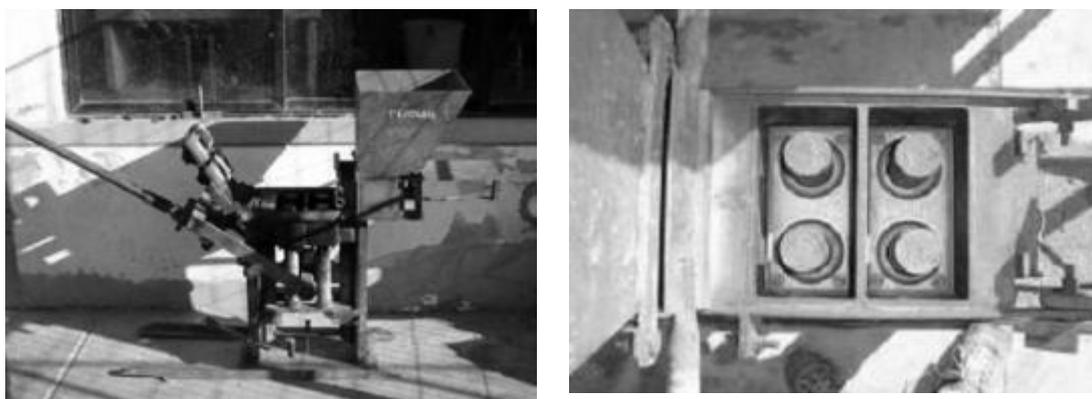


Figura 3.5 – Prensa: (a) Vista lateral da prensa Permaq MTS-010; (b) detalhe da forma onde são moldados os blocos

Para a moldagem dos blocos, o material a ser compactado foi colocado na cuba da prensa e levado até a fôrma através de um mecanismo “vai e vem” tipo gaveta (Figuras 3.7 (a) e 3.7 (b)).

Devido à formação de grumos, que podem ocorrer durante o processo de mistura, faz-se necessário o peneiramento da massa (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Lançamento da mistura na cuba da prensa passando antes por peneiramento para destorroar os grumos

Foi constatada a ocorrência de grumos, principalmente, para misturas com os maiores teores de cimento, quando o tempo de mistura era excessivo. Sendo assim, foram utilizados dois borrifadores de água ao mesmo tempo para reduzir-se o tempo de mistura.

Comparado com blocos de solo-cimento, os blocos produzidos com PPRC são mais difíceis de compactar, devido principalmente ao seu baixo teor de fração argila, e uma variação pequena de material que entra na forma poderá resultar em não moldagem. Sendo assim, a qualidade dos blocos poderá ser afetada dependendo do operador do equipamento.

Os blocos produzidos com PPRC são relativamente frágeis e precisam ser retirados com bastante cuidado da fôrma para este não “quebrar”.

A Figura 3.7 ilustra o processo de moldagem dos blocos utilizando a prensa manual. Este processo, que apesar de parecer simples e corriqueiro, exige muito cuidado e alguma experiência do operador com o material e com o equipamento.



(a)



(b)

Após encher a cuba da prensa, através de um mecanismo tipo “gaveta”, o material é levado até a fôrma para compactação (Figuras 3.7 (a) e 3.7 (b)).



(c)



(d)

Logo em seguida o material é então prensado sendo para isso necessário que a alavanca seja levada totalmente até a posição horizontal (Figura 3.7-d), obtendo assim, blocos com altura constante.

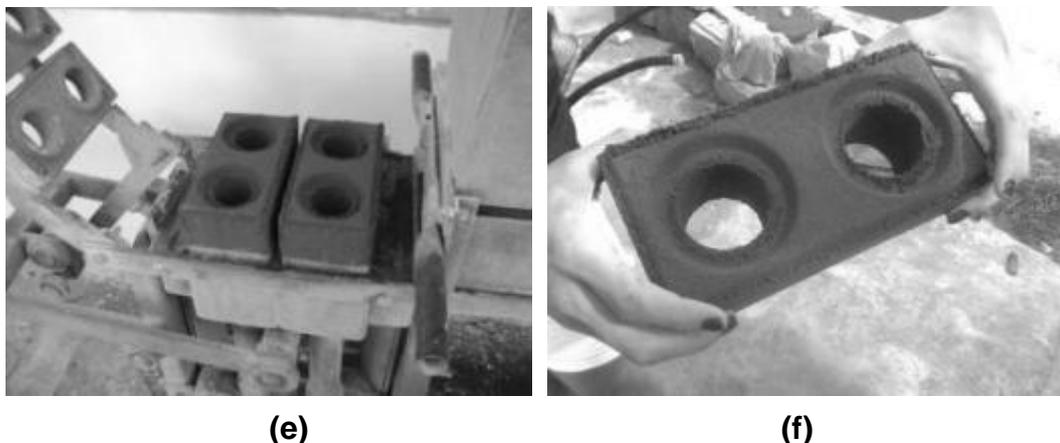


Figura 3.7 - Procedimento para moldagem dos blocos. (a) e (b) sequencia de utilização do mecanismo tipo “gaveta” da prensa para enchimento da fôrma; (c) e (d) prensagem do material; (e) e (f) blocos moldados

3.2.4 Cura dos blocos

Após prensagem, os blocos foram envolvidos em filme plástico por um período de 24 horas (Figura 3.8) com o objetivo de evitar a perda excessiva de umidade do material, o que causaria que perda de resistência. Em seguida os blocos foram mergulhados em um tanque com água por 28 dias para a realização dos ensaios (Figura 3.9).

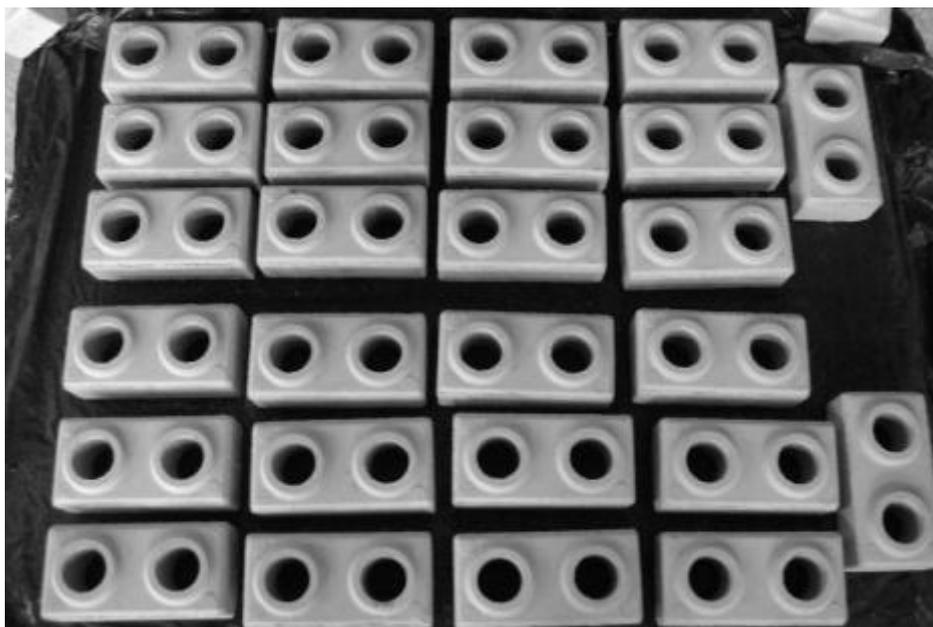


Figura 3.8 - Blocos de PPRC recém moldados com a lona plástica com a qual foram cobertos



Figura 3.9 - Detalhe dos blocos em cura úmida

Segundo CEBRACE (1981), blocos de solo-cimento apresentam redução da resistência à compressão uniaxial da ordem de 40%, quando não se utiliza qualquer processo que evite a secagem rápida do material. Na Figura 3.10 veem-se os blocos prensados e de encaixe após 28 dias de cura úmida.

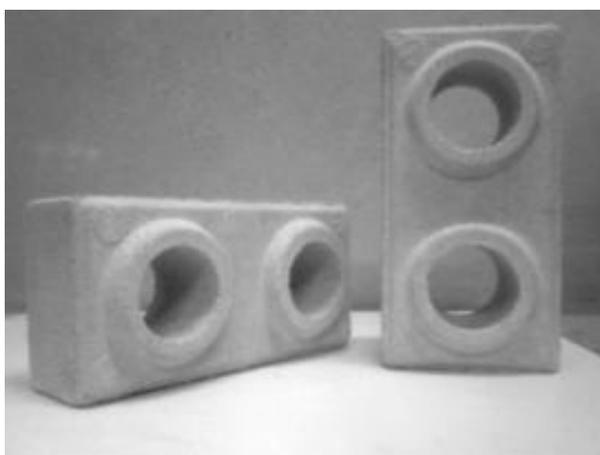


Figura 3.10 - Blocos após 28 dias de cura úmida

3.3 Verificação das propriedades dos blocos

3.3.1 Ensaios de resistência à compressão dos blocos

Para a obtenção da resistência a compressão deste tipo de bloco, utilizou-se a norma para tijolos de solo-cimento, por terem o mesmo formato e mesmas

dimensões. Sendo assim, para este bloco, é necessária a serragem ao meio, serragem do encaixe superior de uma das metades do bloco, assentamento das metades com pasta de cimento formando um prisma, e o capeamento deste prisma com a pasta de cimento formando corpos de prova (CPs).

Para o capeamento, foi preparada uma pasta de cimento, deixando-a repousando por 30 minutos antes de seu uso. Após o corte dos blocos ao meio, utilizando uma serra circular com disco diamantado $\varnothing 110$ mm para corte a seco (ABNT 8492, 1984), os blocos foram colocados sobre placas de mármore que receberam desmoldante para facilitar a retirada dos corpos de prova (CPs).

Depois do final do descanso da nata, ela é colocada sobre as placas de mármore com as metades dos blocos para serem capeados (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Preparação dos blocos para o capeamento (a) Blocos serrados, (b) Bloco serrado formando prisma

Após a cura inicial da nata, os CPs foram retirados das placas e colados suas metades uma sobre a outra, utilizando-se a pasta de cimento, formando um prisma (Figura 3.12). Após a cura inicial da nata, que uniu as metades, eles foram submersos em água onde permaneceram por um período de 24 horas e, após este período, foram levados a uma prensa hidráulica para realização do ensaio de resistência à compressão.

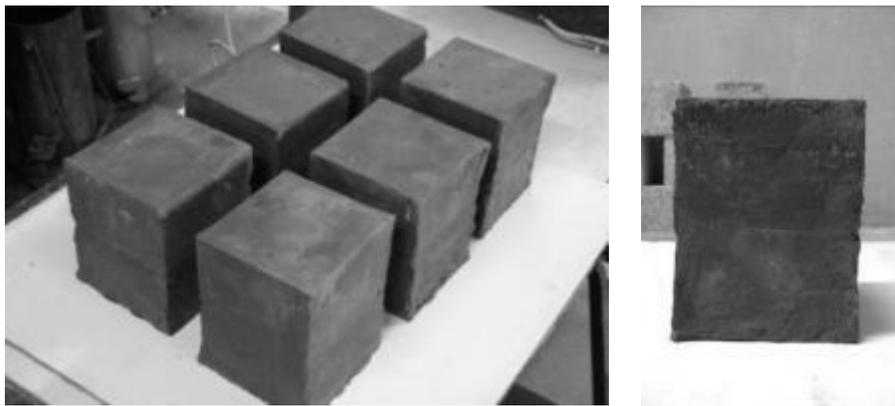


Figura 3.12 - Blocos capeados prontos para ensaio de Resistência à Compressão

No ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram rompidos, na idade de 28 dias, numa prensa da marca EMIC (Figura 3.13), da Escola Técnica João Barcelos Martins, com velocidade de carregamento 1mm/min, obedecendo às especificações da norma ABNT 10836 (1994).

Foram ensaiados 5 corpos de prova para cada traço, totalizando 60 CPs.



Figura 3.13 - Ensaio de Resistência à Compressão

3.3.2 Ensaio de resistência à compressão dos prismas

O prisma aqui descrito trata-se de um corpo de prova formado por três blocos inteiros, assentados e capeados com pasta de cimento. Sua finalidade é relacionar a

resistência à compressão com a resistência do bloco, obtendo o fator eficiência (fp/fb).

Foram realizados ensaios de resistência à compressão em três prismas para cada traço, cada prisma contendo 3 blocos, de acordo com a ABNT 8215 (1983), totalizando 15 corpos de prova.

Os ensaios de resistência à compressão (Figura 3.14) para os blocos foram realizados de acordo com os procedimentos da ABNT 10836 (1994).

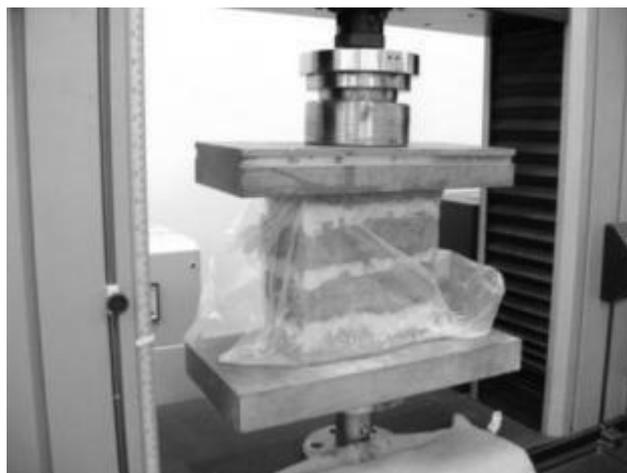


Figura 3.14 - Ensaio de resistência à compressão em prismas

Tanto para os blocos serrados quanto para os prismas de três blocos, deve-se tomar bastante cuidado para, durante o capeamento, deixar suas faces perfeitamente planas e paralelas, pois, caso contrário, devido à concentração de tensões, os valores de resistência cairão drasticamente.

3.3.3 Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água, regido pela norma ABNT 10836 (1994), os CPs foram secos em estufas por 24 h, pesados e logo após mergulhados em um tanque com água pelo período de 24h. Depois disso foram retirados da imersão, e com pano úmido, enxugadas suas superfícies, e então pesados. Este procedimento de retirada da caixa até a pesagem não deve demorar mais que 3 minutos, para evitar perdas de água para o meio. Utilizou uma estufa (110°C), e uma balança eletrônica de precisão 0,5g. Os valores de absorção foram calculados pela seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (1)$$

onde:

$U(\%)$ – umidade em porcentagem

mu – massa úmida

ms – massa seca

3.3.4 Ensaio de desgaste: Slake Durability

Para avaliar a durabilidade pela perda de massa devido ao desgaste por atrito foram realizados testes com o aparelho Slake Durability, descrito pela ASTM D 4644-04. Esse ensaio é tradicionalmente utilizado para avaliação da durabilidade de materiais rochosos de baixa resistência. Xavier (2006) mostra que esse ensaio pode ser utilizado para materiais cerâmicos.

São executados 5 ciclos e os níveis de desgaste. Maia (2001) toma como resultado para prévia de desgaste, o 5º ciclo de ensaio.

Nesse ensaio, o corpo-de-prova é submetido a uma baixa energia de desgaste superficial. Durante o ensaio, o material é lavado, enquanto sofre desgaste por abrasão entre as próprias partículas e a malha metálica que envolve o cilindro (Figura 3.15). O cilindro fica parcialmente submerso e gira em torno do seu eixo. O conjunto é submetido a 200 revoluções durante 10 minutos, o que leva a um ciclo de ensaio, após 24 horas, à medida da massa final.



Figura 3.15 - Cilindro do aparelho Slake Durability

O corpo-de-prova é constituído de 10 partículas (Figura 3.16) com massa variando entre 40 e 60 g cada.



Figura 3.16 - Peças de um traço de bloco preparadas para o ensaio

Após a realização dos ciclos de desgaste, o material é avaliado segundo a Tabela 3.4, a qual avaliará o nível de desgaste esse material.

Tabela 3.4 - Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio

Classificação da Durabilidade	Perda de massa (%)		
	1º ciclo	2º ciclo	5º ciclo
Muito alta	< 1	< 2	< 5
Alta	1 - 2	2 - 5	5 - 15
Medianamente alta	2 - 5	5 - 15	15 - 40
Média	5 - 15	15 - 40	40 - 70
Baixa	15 - 40	40 - 70	70 - 80
Muito baixa	> 40	> 70	> 80

Fonte: (GAMBLE, 1971; MAIA, 2001)

Os ensaios Slake Durability foram realizados para os seguintes traços: T1 (5:45:50), T2 (5:50:45), T6 (10:50:40), T7 (10:55:35), T9 (15:40:45) e T11 (15:50:35).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cimento

Os resultados de caracterização do cimento Portland CP II E 32 utilizado neste trabalho são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Características do Cimento Portland

CaO (%)	71,98
SiO ₂ (%)	15,92
Al ₂ O ₃ (%)	5,65
SO ₃ (%)	3,07
Fe ₂ O ₃ (%)	2,15
K ₂ O (%)	0,56
TiO ₂ (%)	0,38
Outros (%)	0,29
Área específica Blaine (m ² /kg)	402,37
Massa específica (g/cm ³)	2,901
Resistência à compressão axial (MPa)	3 dias – 12,7 7 dias – 21,1 28 dias – 35,9

Os resultados indicam que o aglomerante está em conformidade com a ABNT11578 (1991) para o CP II.

Utilizando este cimento para a produção de blocos prensados com PPRC, nesta pesquisa notou-se que os blocos são relativamente frágeis quando comparados com blocos de solo-cimento recém moldados e requerem bastante cuidado com manuseio nos primeiros minutos pós-moldagem. A utilização do CP V ARI poderia minimizar este problema, pois possibilita que o bloco seja manuseável em um menor tempo.

4.2 Agregado miúdo

4.2.1 Caracterização física

A Figura 4.1 apresenta o resultado do ensaio granulométrico, obtido por peneiramento, do agregado miúdo utilizado.

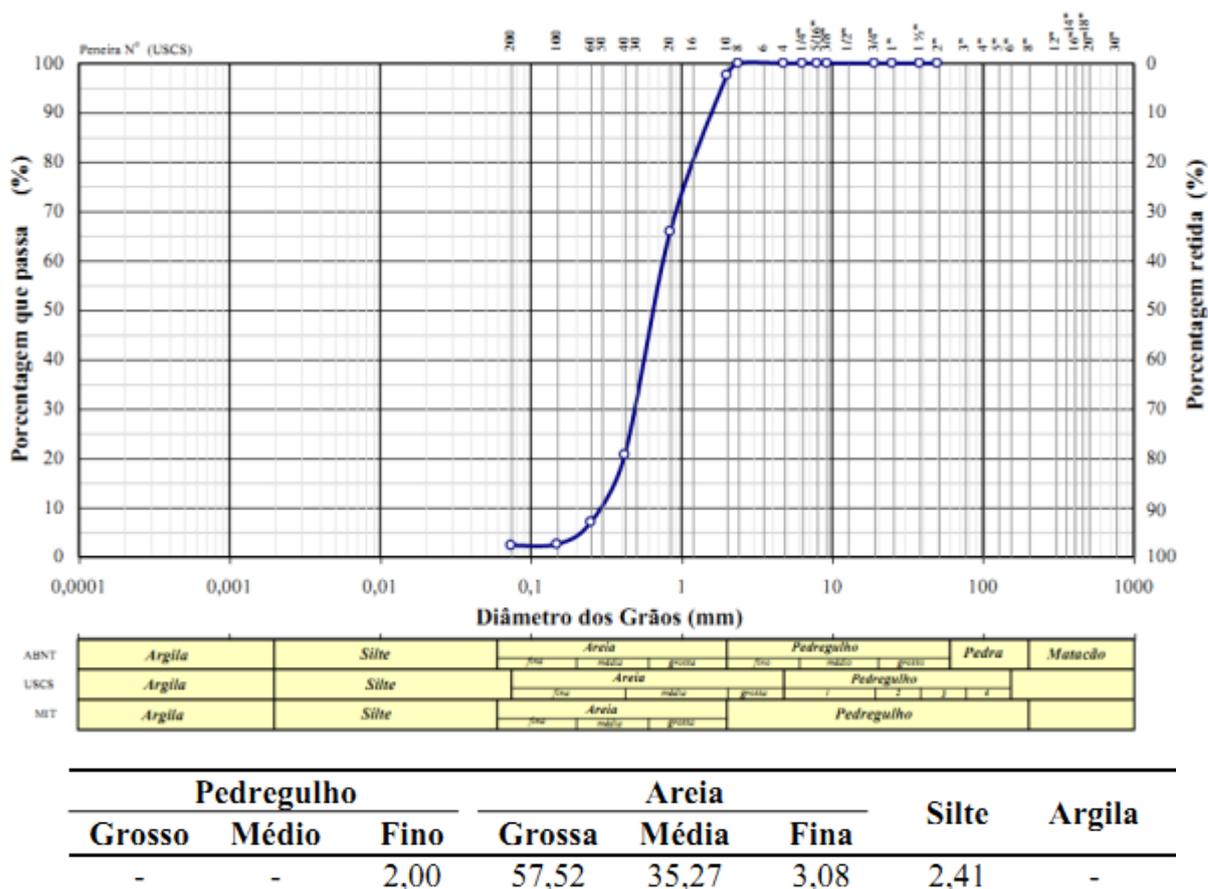


Figura 4.1 - Distribuição granulométrica da areia

Verifica-se que o agregado é composto principalmente por areia grossa (57%) e areia média (35%). Nota-se também uma pequena quantidade de fração pedregulho (2%) e fração silte (2,4%).

A dimensão máxima característica do agregado (DMC) foi de 2,4mm e o módulo de finura (MF), que é calculado somando-se as porcentagens acumuladas de agregado retido em cada uma da série de peneiras utilizadas e dividindo-se a soma por 100, foi de 2,65.

Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento.

Segundo a ABNT 7211 (1993) a granulometria da areia atende aos requisitos para utilização em concreto.

A Tabela 4.2 apresenta o resultado dos ensaios realizados para a caracterização do agregado.

Tabela 4.2 - Caracterização física do agregado miúdo

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica	ABNT NM 52 (2003)	2,65 g/cm ³
Teor de materiais pulverulentos	ABNT NM 46 (2003)	0,85 %
Massa unitária no estado solto	ABNT NM 45 (2006) – método C	1,39 g/cm ³

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), a massa unitária no estado solto, que é a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, do agregado miúdo está dentro da faixa de valores comumente utilizados concreto de peso normal, que varia de 1,30 a 1,75 g/m³.

4.3 Pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias (PPRC)

4.3.1 Caracterização física

A Figura 4.2 apresenta o resultado da distribuição granulométrica do PPRC, obtida por sedimentação e peneiramento, segundo ABNT NM 248 (2003).

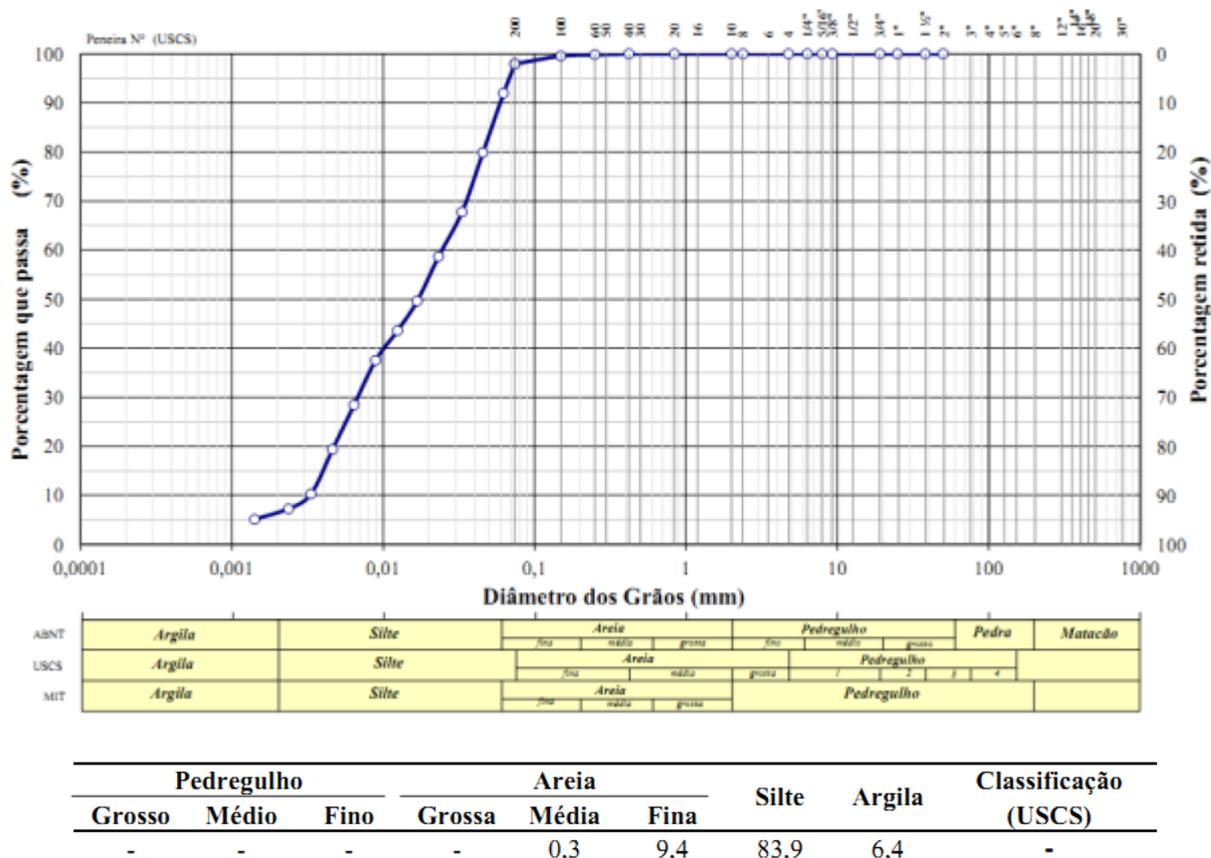


Figura 4.2 - Distribuição granulométrica do PPRC

Verifica-se que o PPRC analisado possui 84% de partículas menores que 0,075mm, tratando-se de um material pulverulento, podendo atuar como fíler, preenchendo os vazios existentes nos blocos e aumentando sua compacidade.

Fazendo uma analogia com os blocos de solo-cimento, verifica-se que a fração argila do material é muito baixa (6,4% do PPRC), sendo que, a maioria dos autores (Tabela 2.3) recomenda pelo menos 5% de argila por esta ser a principal responsável pela coesão inicial que permite a retirada dos blocos da forma da prensa. E levando-se em conta que o bloco tratado nesta pesquisa é composto ainda pelo elemento areia, nota-se que apesar de o teor de fração argila ser muito baixo ainda assim foi possível a moldagem de diversos traços para blocos.

A Tabela 4.3 - Massa específica e massa unitária no estado solto do PPRC

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	ABNT NM 52 (2003)	2,75 g/cm ³
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	ABNT NM 45 (2006) – método C	1,25 g/cm ³

4.3.2 Caracterização química

A caracterização química semiquantitativa do PPRC foi obtida através da espectroscopia de raios X por dispersão de energia. A composição química obtida está apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Composição Química do PPRC em forma de óxidos

Composição Química do PPRC	
Óxido	Teor (%)
CaO	92,341
SiO ₂	4,709
K ₂ O	1,263
Fe ₂ O ₃	0,918
SO ₃	0,744
SrO	0,026

Observa-se que o CaO é o principal elemento, e seu teor é superior 92%. Como segundo elemento mais significativo nota-se a Sílica (SiO₂) com 4,7%.

4.3.3 Caracterização morfológica

Foram marcados na amostra quatro pontos nos quais foi identificada a composição química por meio da energia dispersiva de Raios-X (Figura 4.3), equipamento acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura.

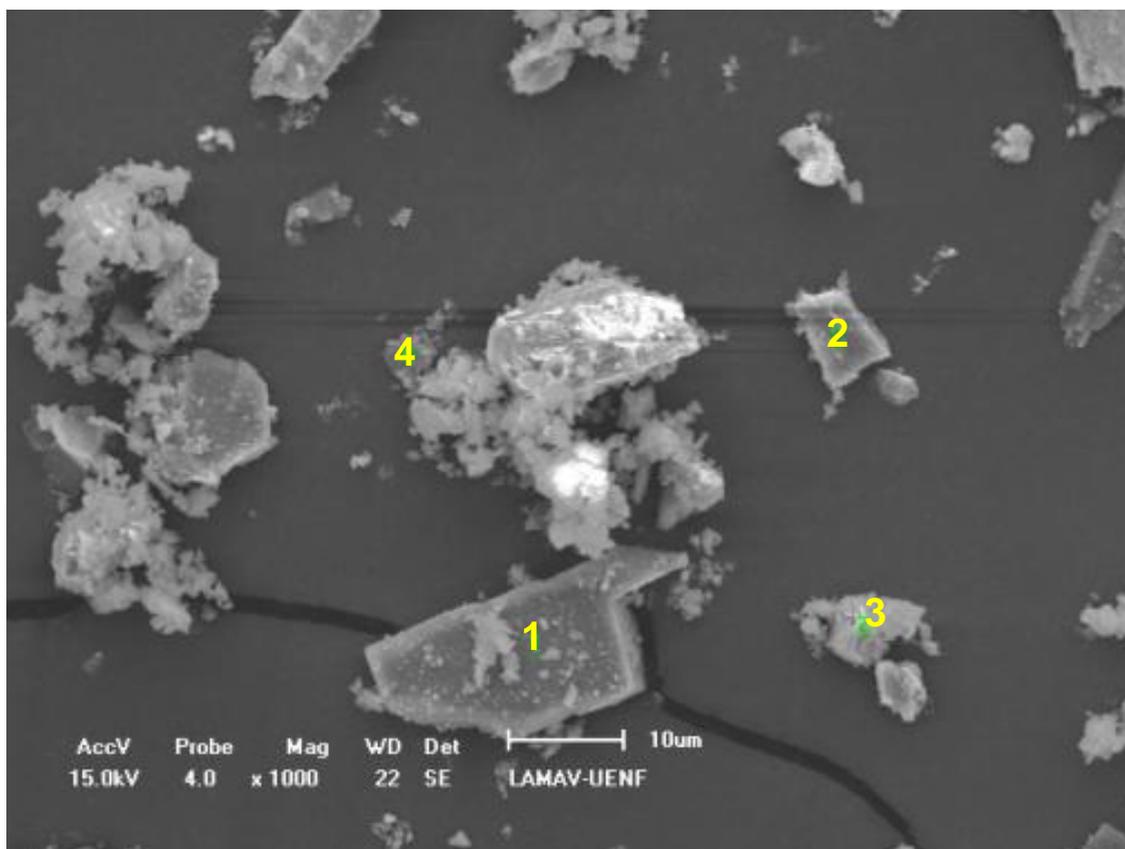


Figura 4.3 - Micrografia do PPRC

Como se pode observar nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.7, a caracterização morfológica revelou a existência magnésio (Mg) no PPRC. Sendo que, este elemento não foi encontrado na análise química.

Os demais elementos também foram encontrados na análise química, com exceção do ouro, cuja presença se deve ao procedimento de ensaio para o MEV.

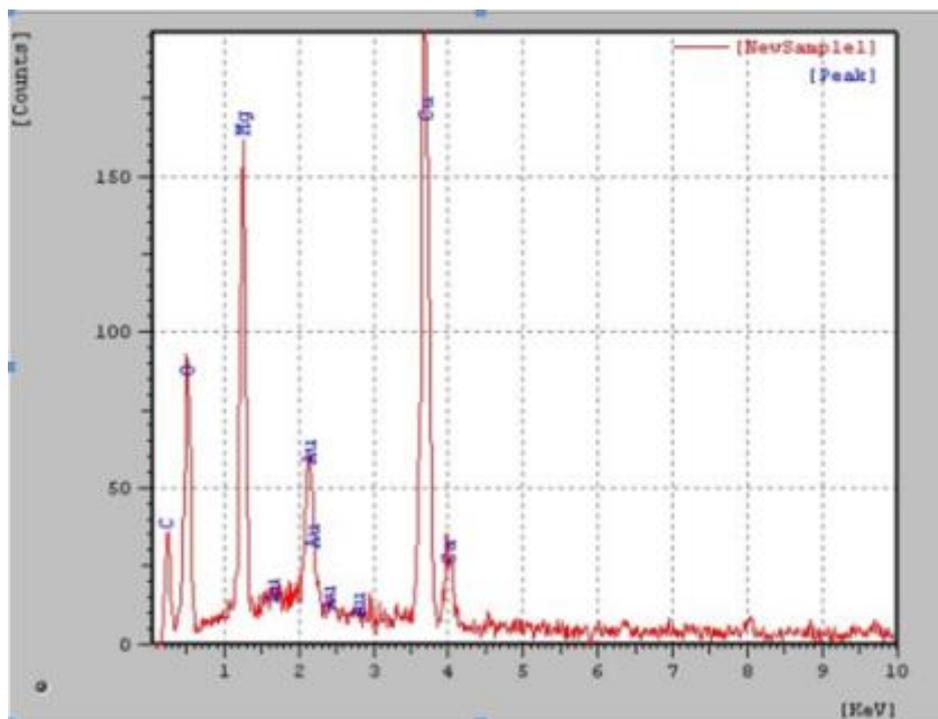


Figura 4.4 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 1

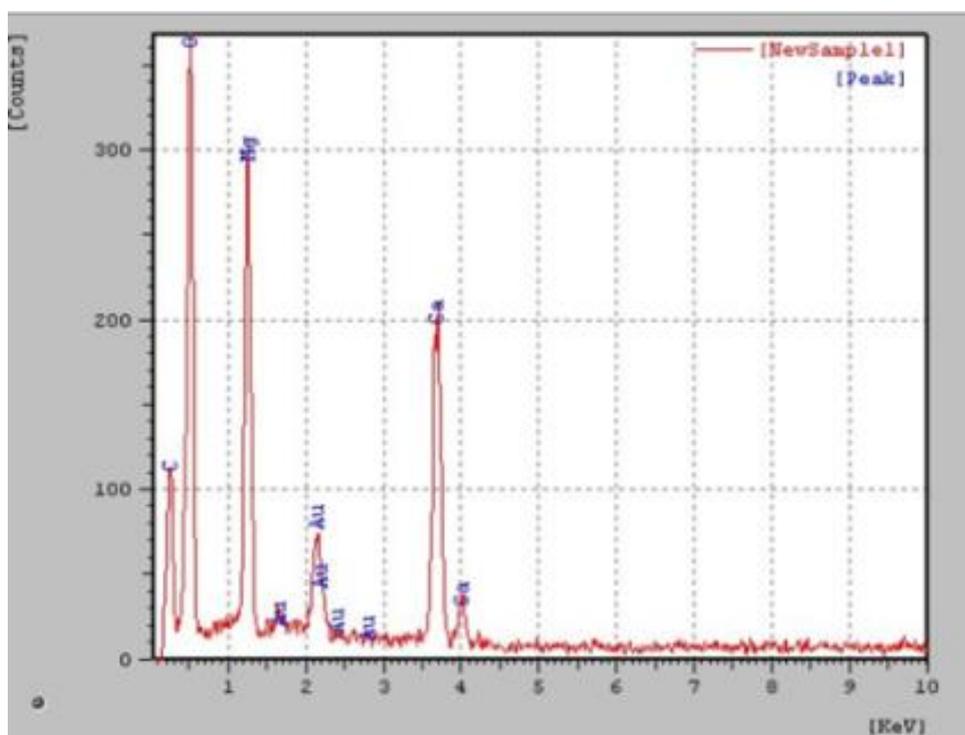


Figura 4.5 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 2

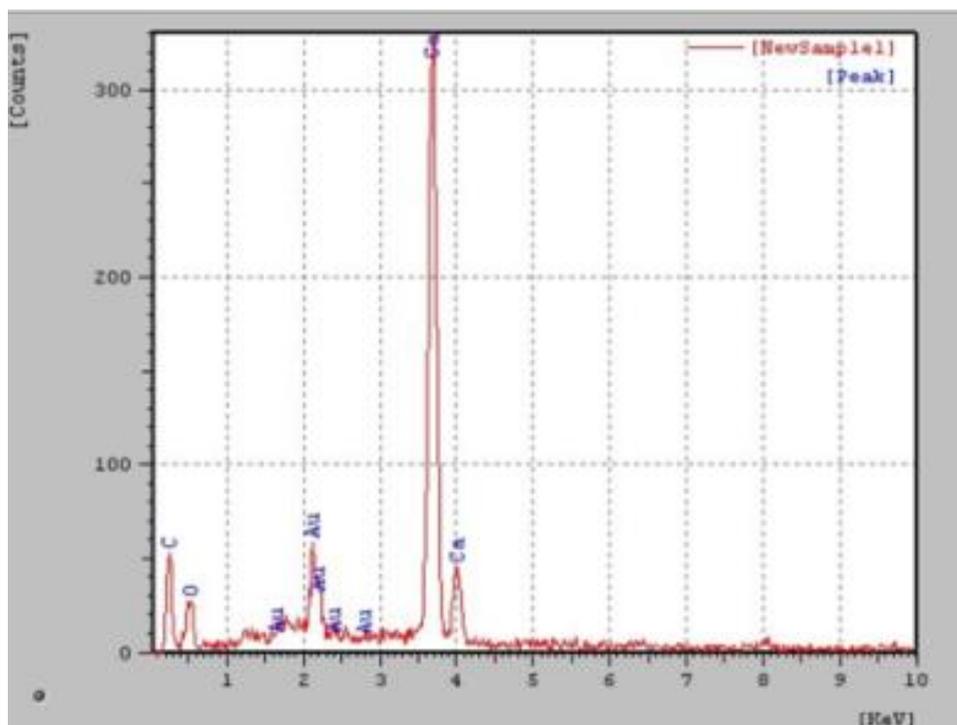


Figura 4.6 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 3

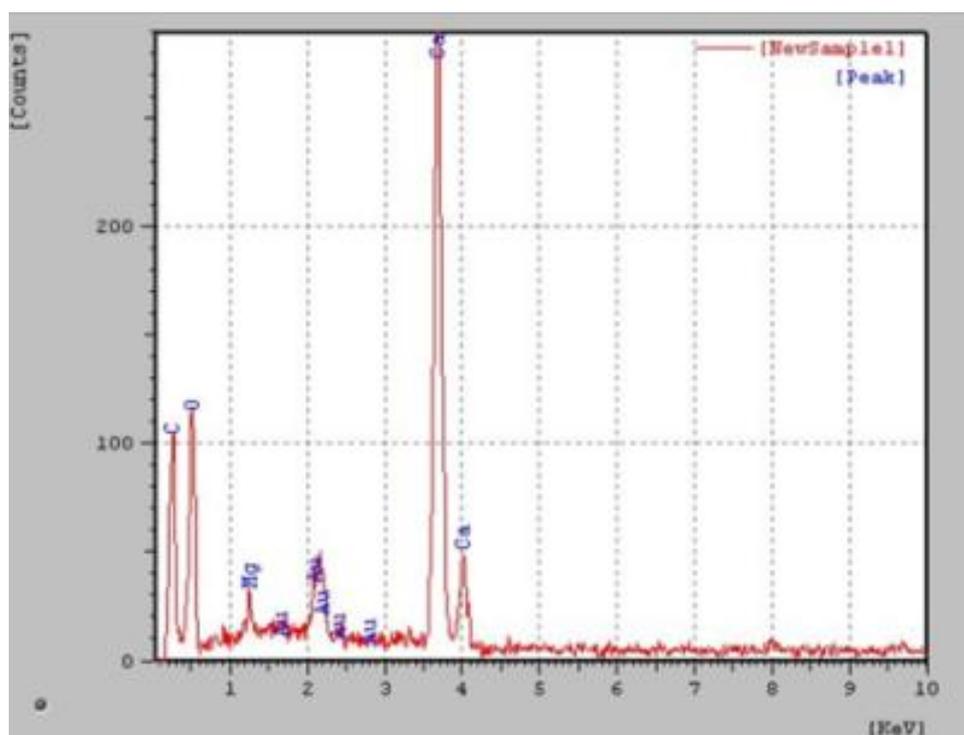


Figura 4.7 - Espectro de difração de Raios X para a micro região 4

4.3.4 Caracterização mineralógica do PPRC

O ensaio de difração de raios X (DRX) tem sua importância para análise das características mineralógicas do material, sendo a estrutura do material caracterizada em cristalina ou amorfa.

Quanto mais amorfa a estrutura do material melhor é o grau de amorficidade e, conseqüentemente, mais reativa será. Porém a amostra se mostrou essencialmente cristalina e constituída de carbonato de cálcio (CaCO_3 – calcita) na Figura 4.8. Também foi encontrado Ca_2SiO_4 (belita).

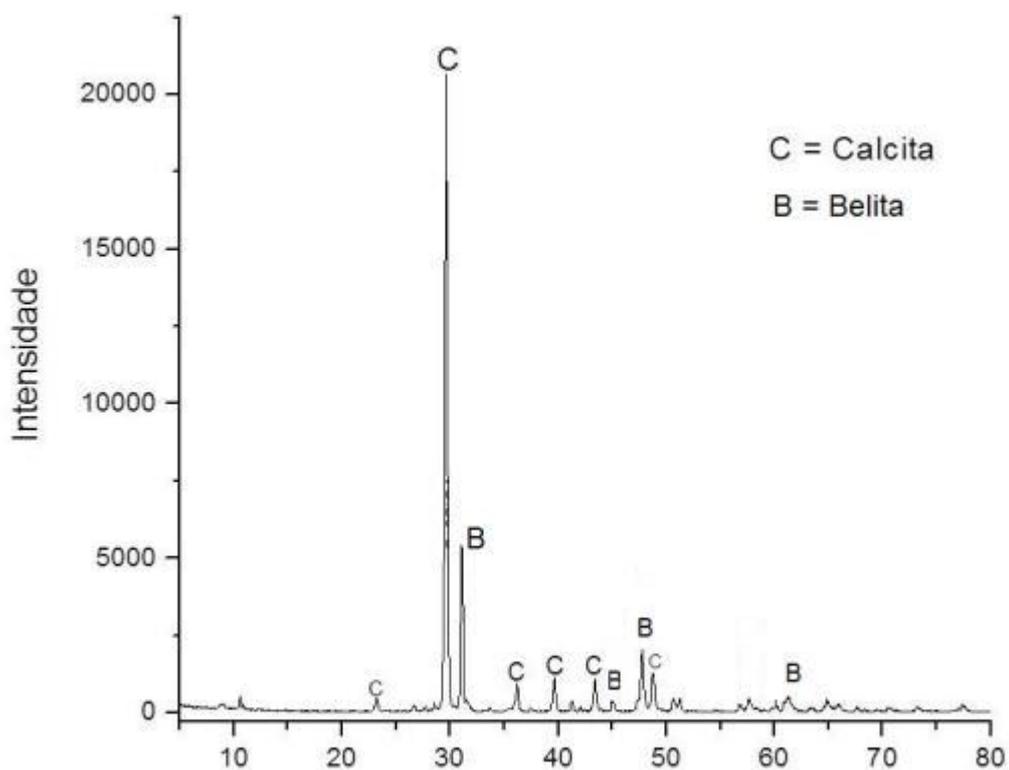


Figura 4.8 - Difratograma de Raios X do PPRC

4.4 Verificação das propriedades físico-mecânicas dos blocos

4.4.1 Traços com 5% de teor de cimento (T1, T2 e T3)

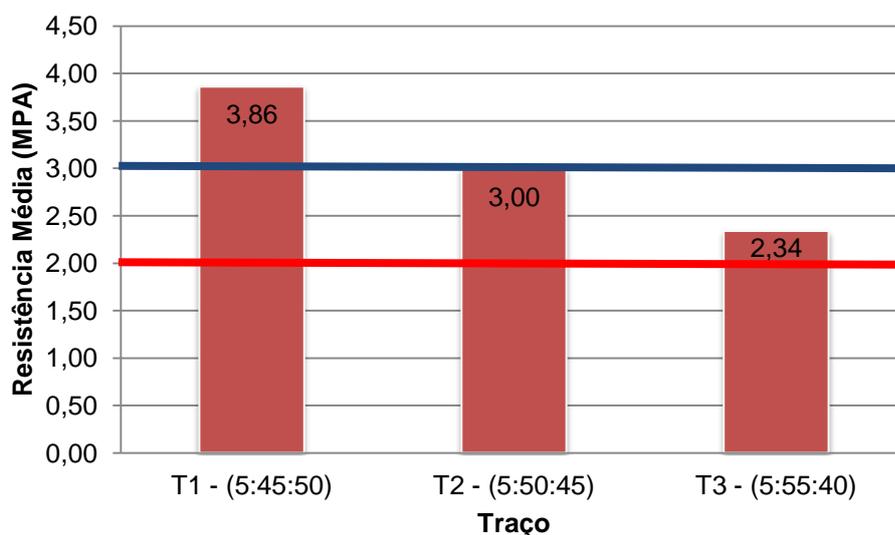
Para o teor de cimento de 5% foram fabricados três traços, nomeados T1, T2 e T3, e o resumo dos resultados é apresentado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resumo dos resultados para blocos com 5% de teor de cimento

Nº	Traço		Resistência do bloco (MPa)	Resistência do Prisma (MPa)	(fp/fb)	Absorção de água (%)	Umidade de prensagem (%)
	(Massa)	(%)					
T1	(1:9:10)	(5:45:50)	3,86	2,18	0,56	12,44	7
T2	(1:10:9)	(5:50:45)	3,00	1,46	0,48	13,35	8
T3	(1:11:8)	(5:55:40)	2,34	1,22	0,52	13,50	8

- Resistência à Compressão dos blocos

A Figura 4.9 mostra a resistência média dos Traços T1, T2 e T3 e a exigência mínima de resistência à compressão segundo as normas ABNT 6136 (2008) e ABNT 10834 (1994).



Valor Mínimo ABNT 10836 (1994) (2,0 MPa)	
Valor Mínimo ABNT 6136 (2008) (3,0 MPa)	

Figura 4.9 - Resistências comparadas com 5% de teor de cimento

Nota-se que traço T1 e T2, apresentaram resistência à compressão suficiente para serem considerados alvenaria estrutural, segundo a ABNT 6136 (2008), atingindo 3,86 e 3 MPa de resistência média respectivamente. Já o Traço T3, obteve média de 2,34 MPa, sendo esta resistência insuficiente para função estrutural mas podendo ser utilizado como bloco de vedação.

Observa-se também o decréscimo da resistência à compressão dos blocos com aumento do teor de PPRC e consequente diminuição do teor de areia.

Isto se deve principalmente ao fato de o PPRC ser mais fino que a areia possuindo maior área específica e necessitando de maiores quantidades de cimento para se estabilizar.

- Resistência á compressão dos prismas

Os resultados dos ensaios de resistência dos prismas (Figura 4.10) mostraram comportamento semelhante ao visto na Figura 4.9, com uma diminuição da resistência à compressão conforme o aumento do teor de PPRC e diminuição do teor de areia.

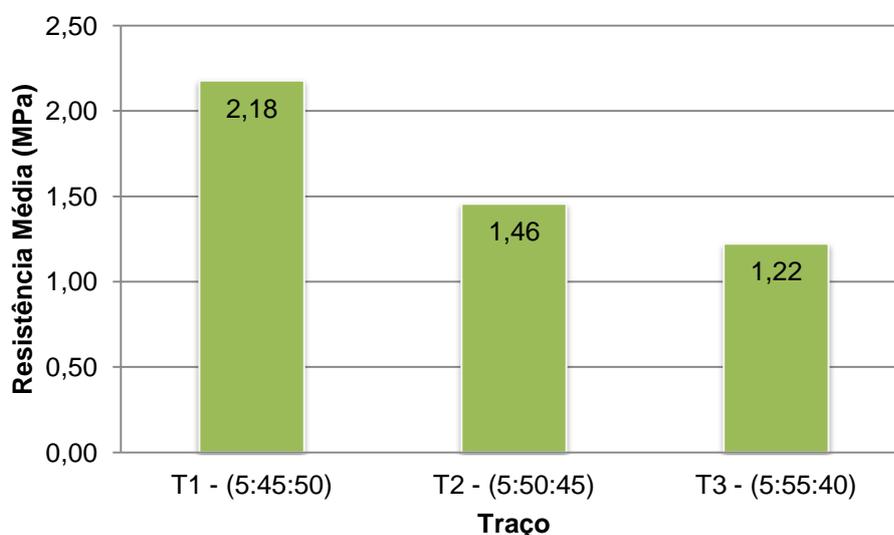


Figura 4.10 - Resistências comparadas com teor de 5% de cimento

Os valores obtidos para eficiência prisma/bloco para os traços T1, T2 e T3 foram 0,56, 0,48 e 0,59, respectivamente. Com exceção do valor eficiência prisma/bloco obtido para o traço T2, os demais estão dentro dos limites recomendados na Tabela 2.4 por Ramalho e Correia (2003).

- Absorção de água.

A absorção de água para os traços T1, T2 e T3 é mostrada na Figura 4.11. Observa-se a tendência de aumento na absorção, para os traços com maiores teores de PPRC. A ABNT 10836 (1994) estabelece que os valores médios de absorção de água devem ser inferiores a 20%. Sendo assim, todos os blocos apresentaram desempenho satisfatório quanto a esta norma. Porém, segundo a norma 6136 (2008), a absorção média máxima deve ser menor ou igual a 10%.

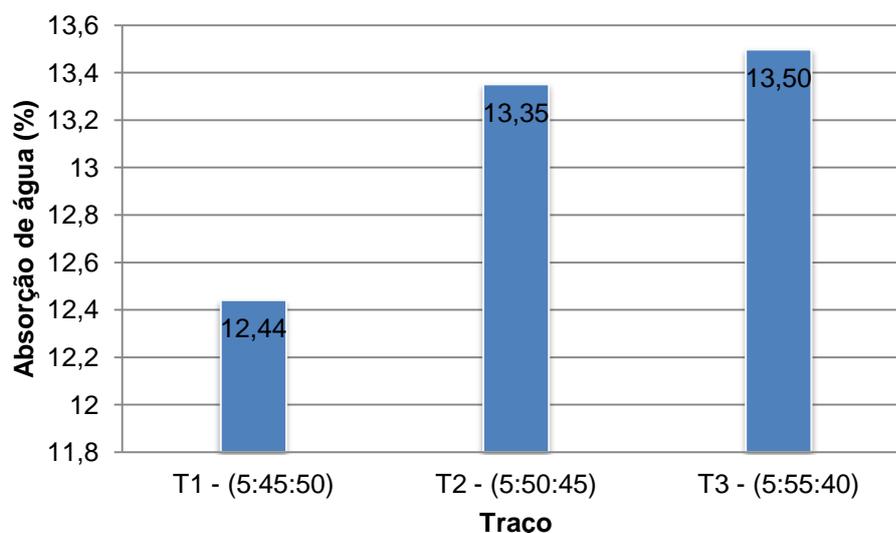


Figura 4.11 - Comparação da absorção de água dos traços com 5% de teor de cimento

4.4.2 Traços com 10% de teor de cimento (T4,T5,T6 E T7)

Foram produzidos quatro traços com 10% de cimento. A Tabela 4.6 mostra o resumo dos resultados para os blocos com 10% de cimento.

Tabela 4.6 - Resumo dos resultados para blocos com 10% de teor de cimento

Traço			Resistência do bloco (MPa)	Resistência do Prisma (MPa)	(fp/fb)	Absorção de água (%)	Umidade de prensagem (%)
Nº	Massa	%					
T4	(1:4:5)	(10:40:50)	3,42	2,30	0,53	13,48	7
T5	(1:4,5:4,5)	(10:45:45)	4,71	3,26	0,55	14,38	8
T6	(1:5:4)	(10:50:40)	4,37	2,78	0,50	14,09	8
T7	(1:5,5:3,5)	(10:55:35)	3,40	2,25	0,53	16,83	8

- Resistência á compressão dos blocos

As resistências médias obtidas para os traços T4, T5, T6 e T7 são mostradas na Figura 4.12. Com exceção do traço T4, os demais blocos foram moldados com 8% de umidade.

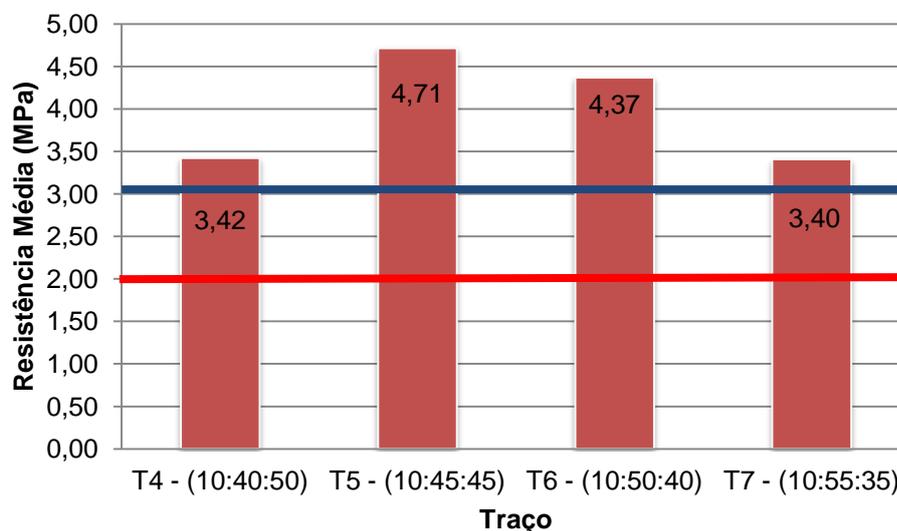


Figura 4.12 - Comparação entre as resistências à compressão dos blocos em função do traço

Todos os traços apresentaram resistência média superior à exigida pela ABNT 6136 para blocos com função estrutural. O aumento geral da resistência á compressão, em comparação com os traços com 5% de cimento, se deve, principalmente, ao aumento do teor de aglomerante.

Pode-se observar ainda que a resistência média para os Traços T4 e T7 obtiveram valores bem próximos. Sendo que, o Traço T4 foi moldado com 7% de umidade. Já o restante foi fabricado com 8% de umidade.

O traço T4, apesar de apresentar maior teor de areia e menor teor de PPRC que os outros blocos fabricados com 10% de cimento obteve resistência a compressão baixa quando comparada com o traço T5, isto se deve provavelmente a umidade de prensagem (7%). Talvez a utilização de uma umidade de prensagem um pouco superior possibilite ganhos de resistência à compressão.

- Resistência á compressão dos prismas

Os ensaios nos prismas apresentaram resultados semelhantes aos blocos, de modo que, para um teor fixo de umidade de moldagem, os blocos apresentaram aumento da resistência à compressão com o aumento do teor de areia e consequente diminuição do teor de PPRC.

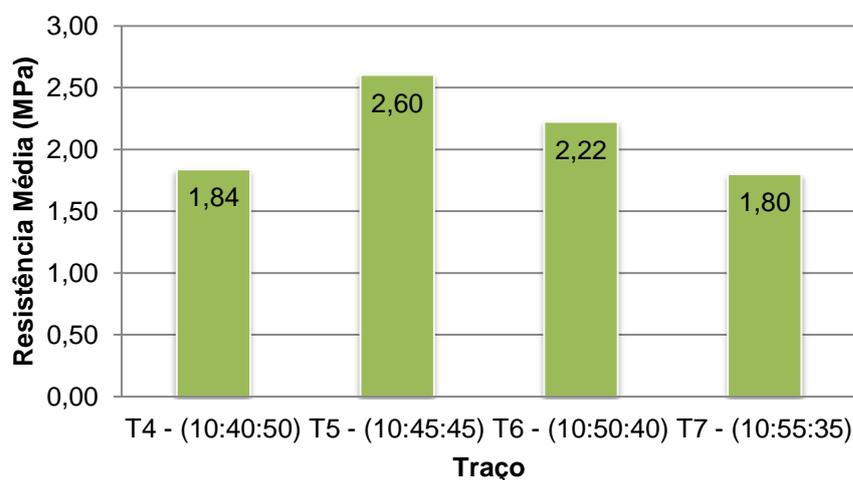


Figura 4.13 - Resistências comparadas com teor de 10% de cimento

- Absorção de água.

Novamente os ensaios de absorção de água revelaram tendência à maior absorção de água dos blocos com maiores teores de PPRC com exceção do Traço T6, que obteve absorção média de 14,09%, ou seja, um pouco abaixo da absorção média do traço T5 (14,38%) como mostra a Figura 4.14.

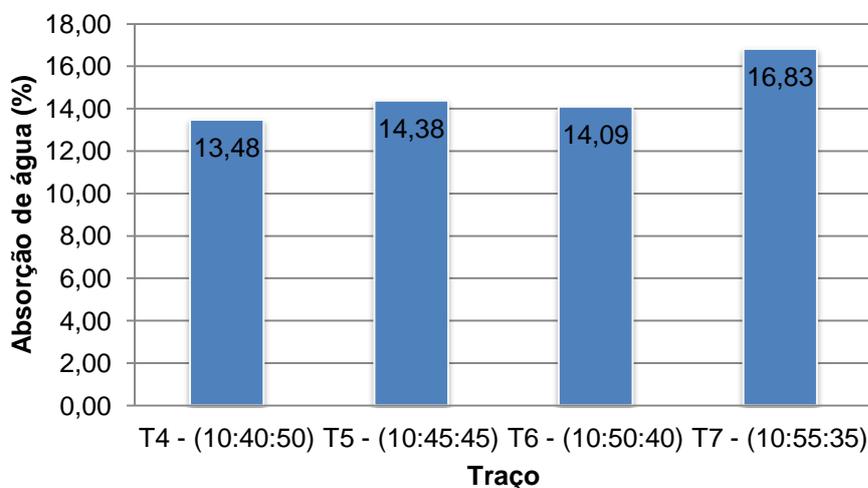


Figura 4.14 - Comparação da absorção de água dos traços com 10% de teor de cimento

4.4.3 Traços com 15% de teor de cimento (T9, T10, T11 E T12)

Foram produzidos cinco traços com 15% de cimento. A Tabela 4.7 mostra o resumo dos resultados.

Tabela 4.7 - Resumo dos resultados para blocos com 15% de teor de cimento

Traço			Resistência do bloco (MPa)	Resistência do Prisma (MPa)	fp/fb	Absorção de água (%)	Umidade de Prensagem (%)
Nº	Massa	%					
T8	(1:2,33:3,33)	(15:35:50)	4,86	2,85	0,59	13,49	7
T9	(1:2,667:3)	(15:40:45)	6,12	3,79	0,62	13,01	8
T10	(1:3:2,667)	(15:45:40)	5,33	3,48	0,63	14,57	8
T11	(1:3,33:2,33)	(15:50:35)	5,28	3,31	0,62	17,12	8
T12	(1:3,667:2)	(15:55:30)	4,93	2,99	0,60	16,54	9

- Resistência á compressão dos blocos

Os traços efetuados com 15% de cimento (Figura 4.15) apresentaram resultados bastante satisfatórios de resistência à compressão. Em todos os casos a resistência média foi superior a dos traços efetuados com 5 e 10% de cimento em função, principalmente, do aumento deste aglomerante.

O traço T8 foi moldado com 7% de umidade, os traços de T9 a T11 com 8% de umidade e o traço T12 foi produzido com 9% de umidade. Além disso, todos os traços atenderam a resistência mínima de 3 MPa (ABNT 6136) para blocos de concreto com função estrutural.

Da mesma forma que o traço T4 no item anterior, o traço T8, apesar de maior porcentagem de areia, e conseqüentemente, menor porcentagem de PPRC, sua resistência parece ter sido prejudicada por um teor de umidade inferior ao necessário para sua moldagem.

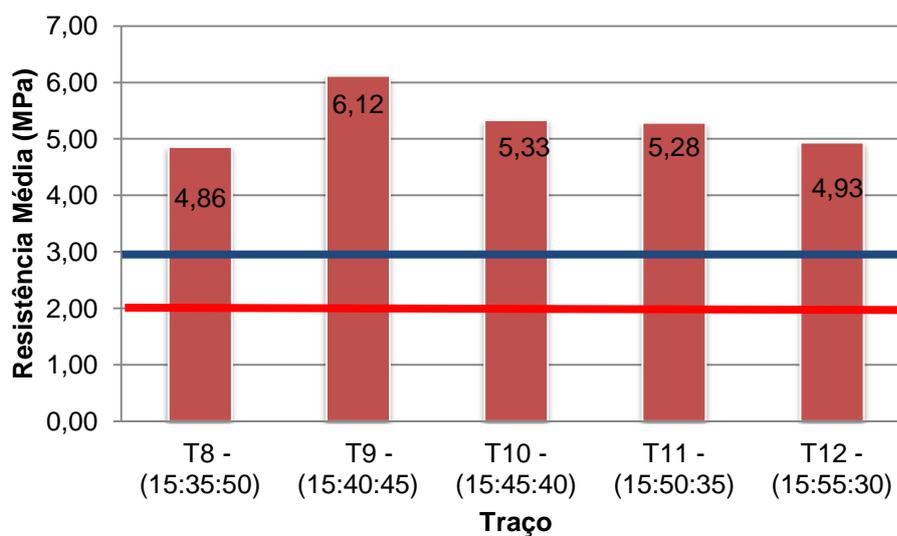


Figura 4.15 - Resistências comparadas com 15% de teor de cimento

- Ensaio de resistência á compressão dos prismas

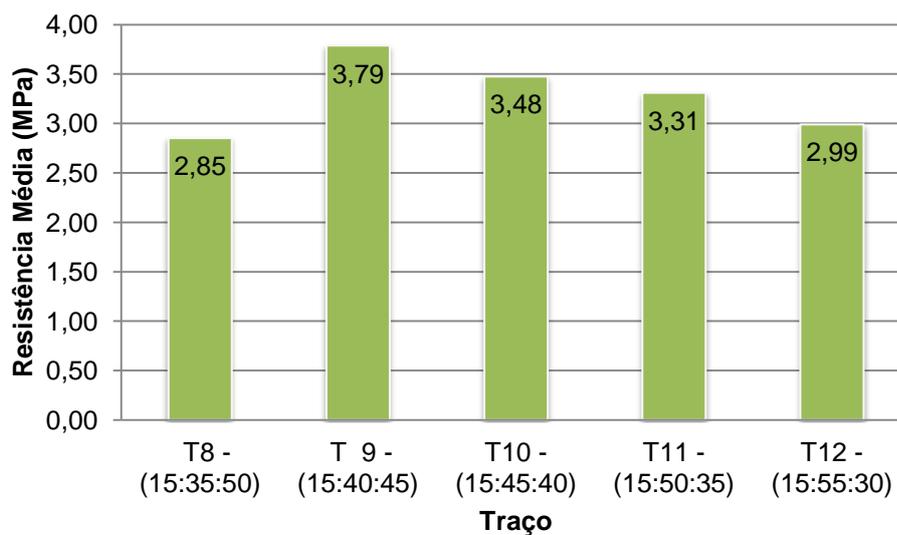


Figura 4.16 - Resistências comparadas com teor de 15% de cimento

- Absorção de água.

Os resultados para absorção de água, embora não tenha apresentado aumento para todos os blocos com maiores teores de PPRC, observa-se uma tendência geral para o aumento da absorção com o aumento deste.

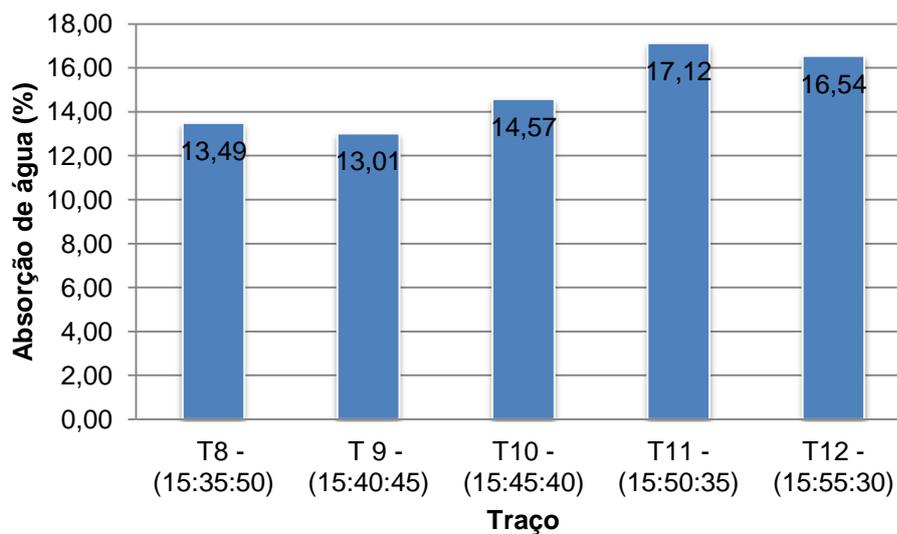


Figura 4.17 - Comparação da absorção de água dos traços com 15% de teor de cimento

4.4.4 Slake Durability

- Traço T1 (5:45:50)

A Figura 4.18 apresenta o desgaste sofrido pelo Traço T1 do 1º ao 5º ciclo do Slake Durability. Nota-se que, no quinto ciclo, a perda de massa foi de 71,62%, quando comparado com o seu estado inicial.

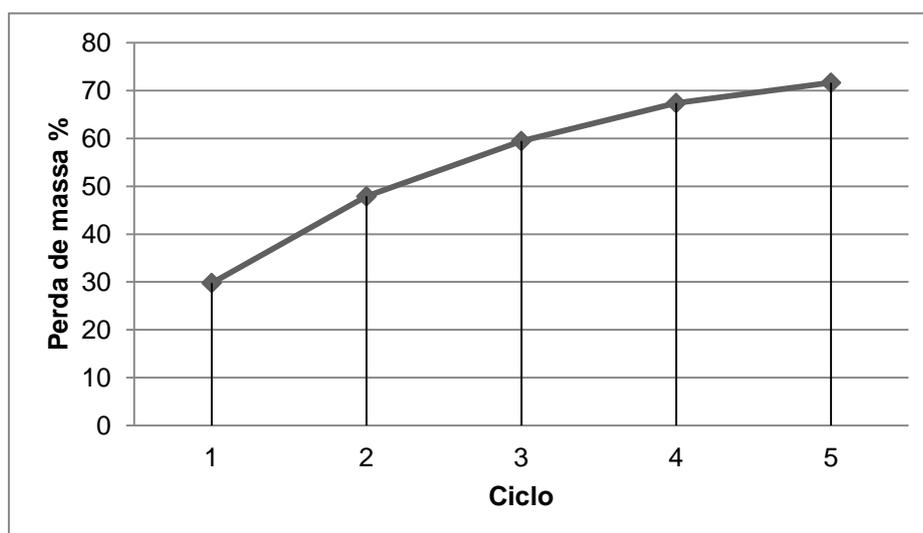


Figura 4.18 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T1

- Traço T2 (5:50:45)

A Figura 4.19 revela um maior desgaste para o Traço T2, em relação ao T1. A perda de massa foi de aproximadamente 80% para o quinto ciclo.

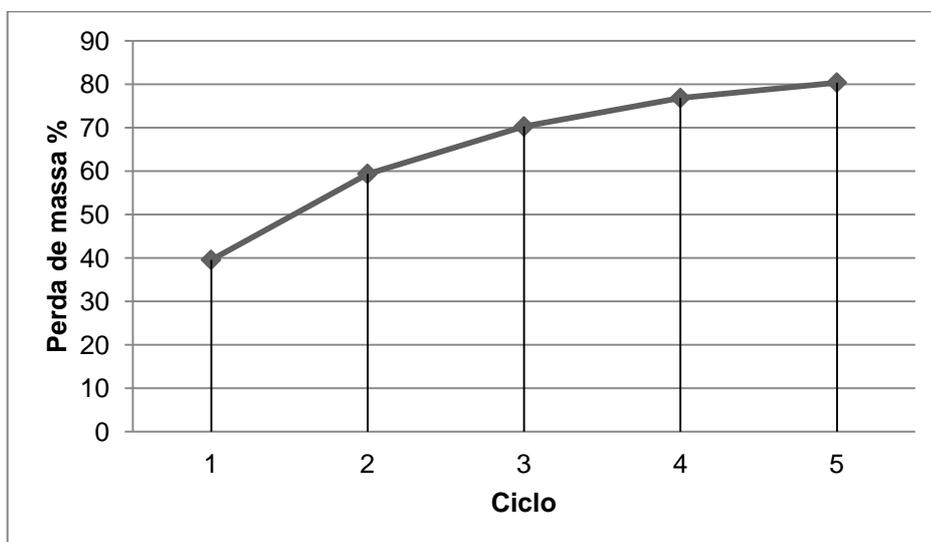


Figura 4.19 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T2

Segundo a Tabela 3.4, apresentada no capítulo 3, a durabilidade, tanto do Traço T1 quanto do Traço T2 é classificada como baixa.

- Traço T6 (10:50:40)

A perda de massa para o Traço T6 foi 41,1% no quinto ciclo (Figura 4.20). Já sua durabilidade é classificada como média.

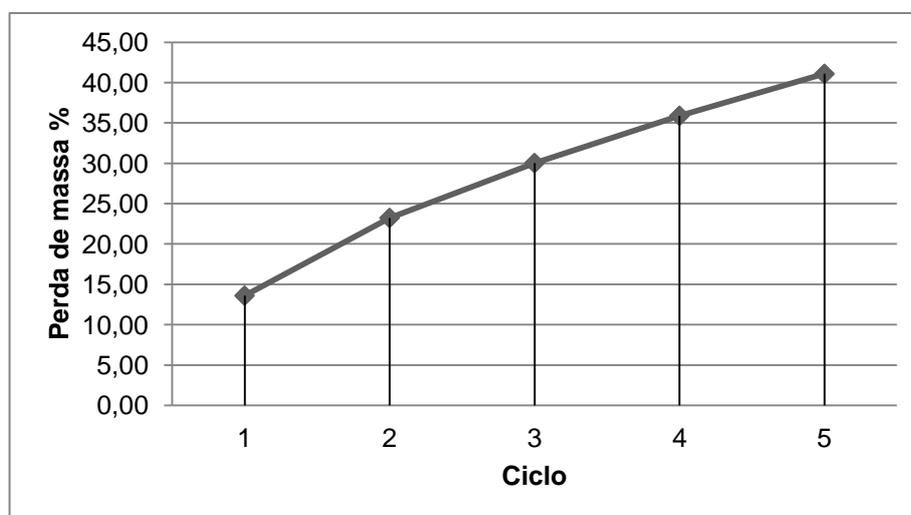


Figura 4.20 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T6

-Traço T7 (10:55:35)

A perda de massa para o Traço T7 foi 51,6% no quinto ciclo. E sua durabilidade classificada como média.

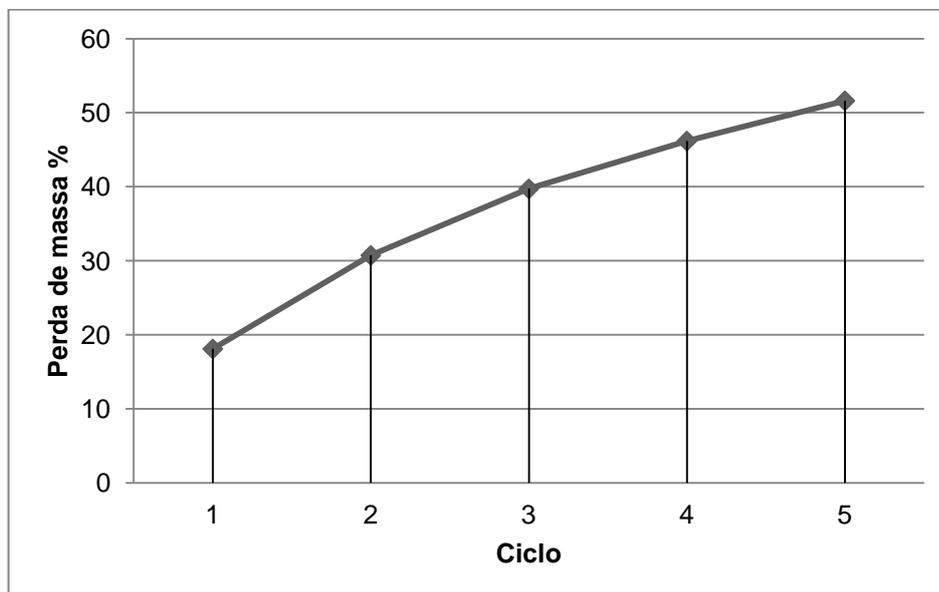


Figura 4.21 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T7

- Traço T9 (15:40:45)

A perda de massa para o Traço T9 foi 29,25% no quinto ciclo. E sua durabilidade é classificada como medianamente alta.

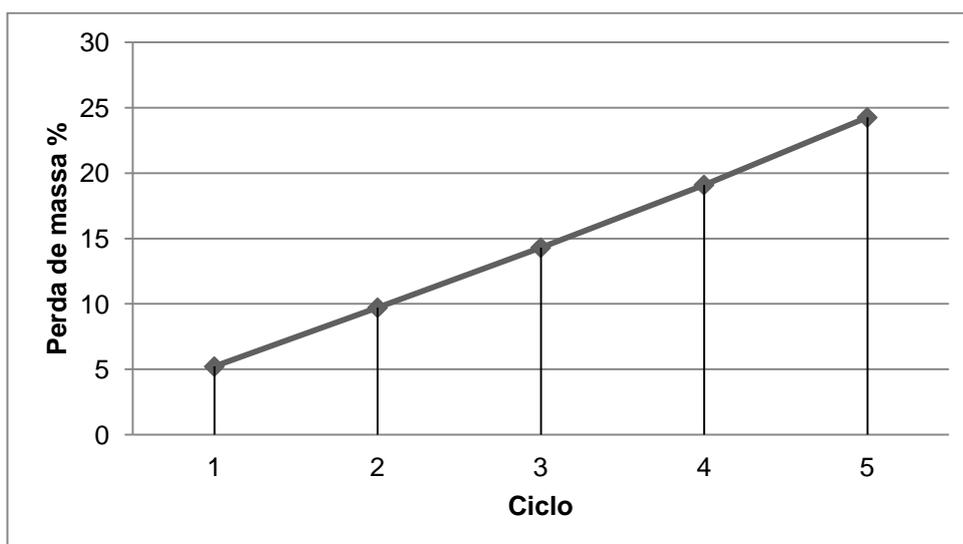


Figura 4.22 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T9

- Traço T11 (15:50:35)

A perda de massa para o Traço T11 foi de 24,7% no quinto ciclo, Já a durabilidade do Traço T11 é classificada como média (Tabela 3.4).

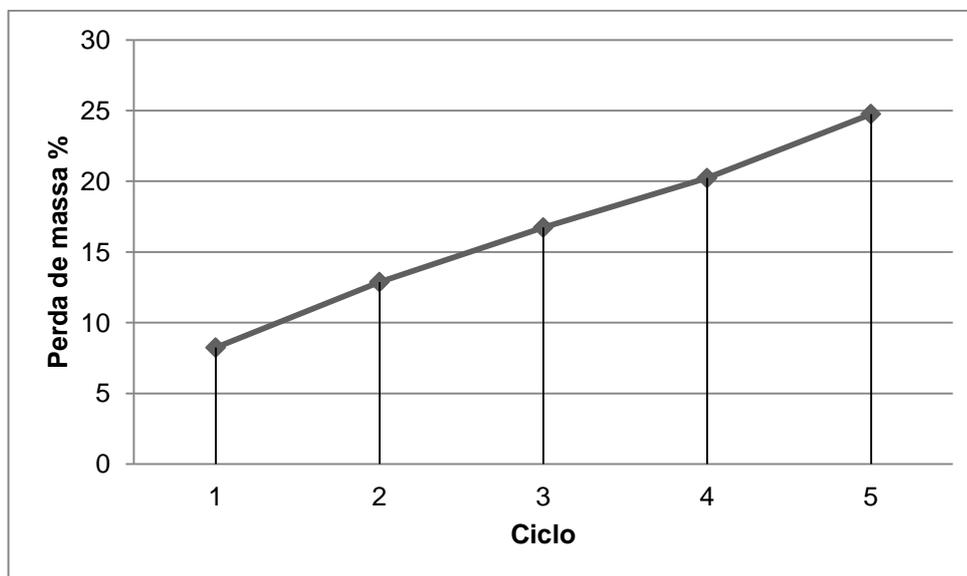


Figura 4.23 - Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability para o Traço T11

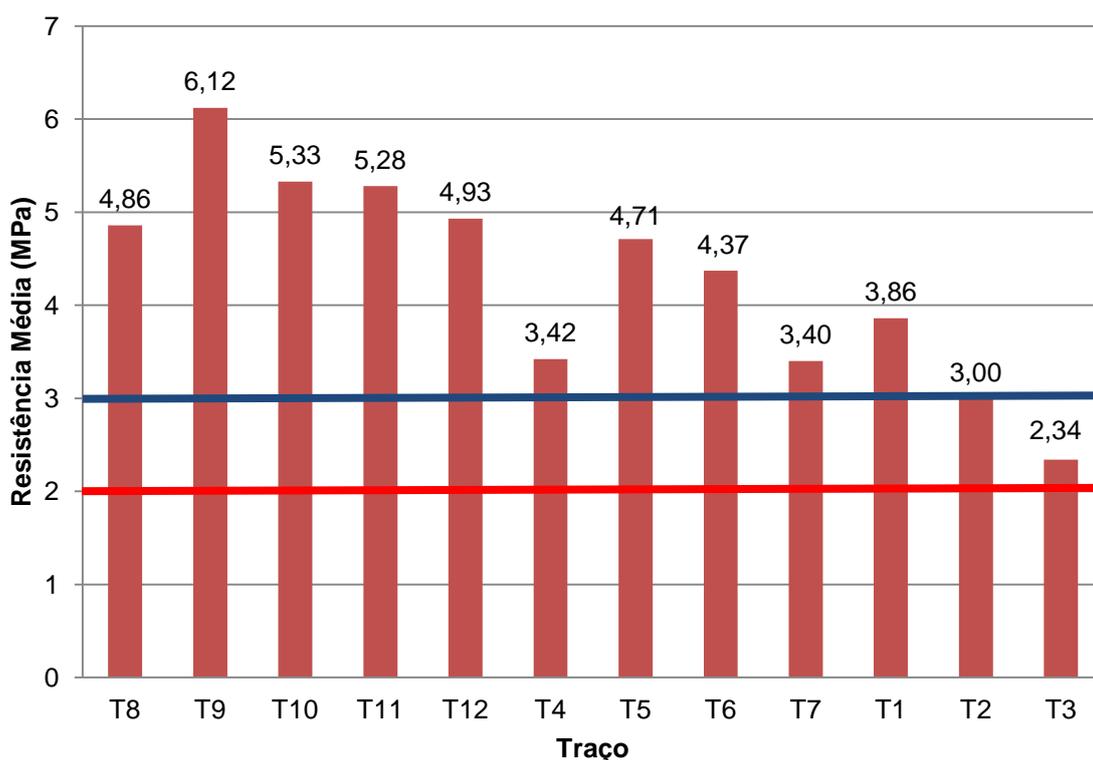
Nota-se que, de modo geral, os traços classificados como mais duráveis são também os que obtiveram maiores valores de resistência à compressão. Desta forma, pode-se afirmar que, quanto maior for à resistência a compressão do Bloco, maior será sua durabilidade, segundo o ensaio de desgaste Slake Durability.

Outra observação relevante é que os gráficos dos traços de menor durabilidade tendem a serem côncavos. Já os traços de maior durabilidade apresentaram gráficos aproximadamente lineares.

4.4.5 Comparativo entre as resistências dos blocos

A Figura 4.24 mostra a resistência média de todos os traços produzidos nesta pesquisa.

Como descrito anteriormente, os traços T4 e T8 foram moldados com umidades inferiores a ideal, e um pequeno aumento na mesma tenderia a aumentar a resistência.



Nº	T1	T2	T3	T4	T5	T6
%	(5:45:50)	(5:50:45)	(5:55:40)	(10:40:50)	(10:45:45)	(10:50:40)
Massa	(1:9:10)	(1:10:9)	(1:11:8)	(1:4:5)	(1:4,5:4,5)	(1:5:4)
Nº	T7	T8	T9	T10	T11	T12
%	(10:55:35)	(15:35:50)	(15:40:45)	(15:45:40)	(15:45:40)	(15:55:30)
Massa	(1:5,5:3,5)	(1:2,33:3,33)	(1:2,667:3)	(1:3:2,667)	(1:3,33:2,33)	(1:3,667:2)

Figura 4.24 - Resistência Média de todos os traços fabricados

Nota-se que, excetuando-se os traços efetuados com umidades diferentes de 8%, há uma tendência geral de diminuição da resistência à compressão (Figura

4.25) com a diminuição do teor de cimento, devido aos fatores já descritos comentados.

Pode-se observar também que, para o traço T1, efetuado com apenas 5% de cimento, a resistência à compressão foi superior a obtida para os traços T4 e T7, apesar de ter metade do teor aglomerante deles. Isto ressalta a grande importância da umidade de prensagem na resistência final dos blocos. Além disso, confirma que, a resistência a compressão nem sempre aumentará com acréscimo no teor de aglomerante.

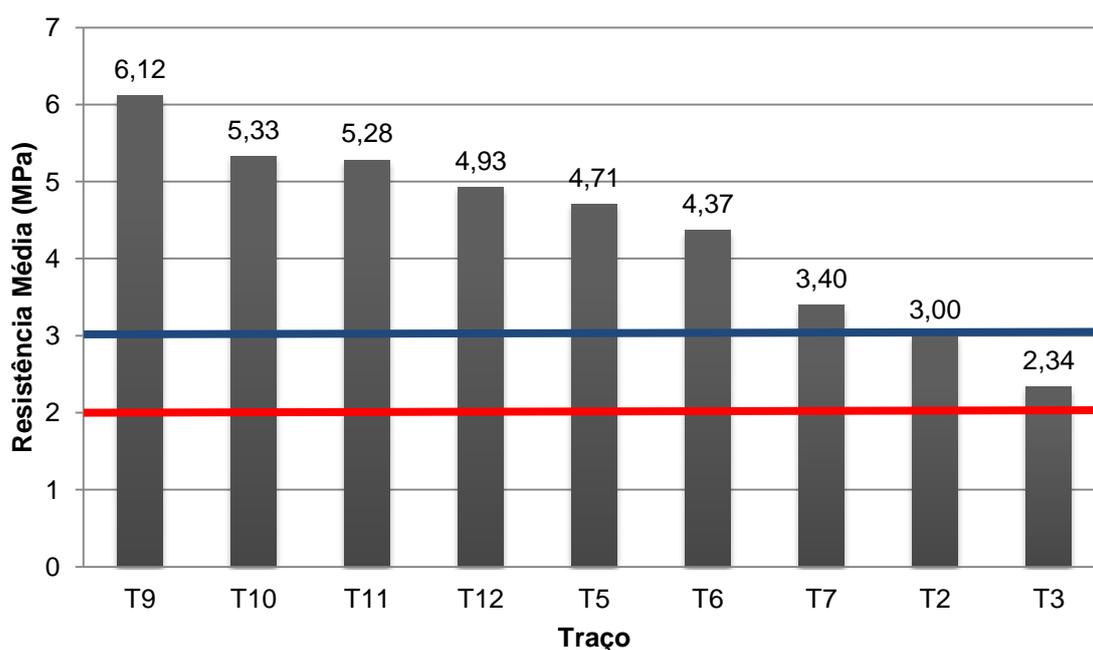


Figura 4.25 - Resistência Média dos blocos fabricados com 8% de umidade

Pode-se dizer que o aumento do teor de cimento tende a aumentar a resistência à compressão dos blocos prensados, porém, outros fatores deverão ser considerados, como a umidade e proporção dos materiais.

4.4.6 Comparativo de custo para os traços

A Tabela 4.8 mostra o custo, em função do traço, dos blocos utilizados nesta pesquisa e o custo de 1 m² de parede construída.

Nota-se que apesar do elemento mais caro ser do cimento, o acréscimo deste insumo aos blocos não necessariamente leva a um aumento do custo dos blocos.

O custo unitário do bloco para o traço T9, por exemplo, é de R\$ 0,32. Ou seja, além de possuir resistência superior a todos os outros traços com 5 e 10% de cimento, ainda é mais barato que alguns deles.

Tabela 4.8 - Custo de produção dos blocos

Traço (cimento:PPRC:areia) % em massa	Custo Unitário (Bloco)	Custo de 1 m² (100 blocos)
<i>Traço T1 (5:45:50)</i>	R\$ 0,28	R\$ 28,00
<i>Traço T2 (5:50:45)</i>	R\$ 0,30	R\$ 30,00
<i>Traço T3 (5:55:40)</i>	R\$ 0,33	R\$ 33,00
<i>Traço T4 (10:40:50)</i>	R\$ 0,29	R\$ 29,00
<i>Traço T5 (10:45:45)</i>	R\$ 0,31	R\$ 31,00
<i>Traço T6 (10:50:40)</i>	R\$ 0,34	R\$ 34,00
<i>Traço T7 (10:55:35)</i>	R\$ 0,36	R\$ 36,00
<i>Traço T8 (15:35:50)</i>	R\$ 0,29	R\$ 29,00
<i>Traço T9 (15:40:45)</i>	R\$ 0,32	R\$ 32,00
<i>Traço T10 (15:45:40)</i>	R\$ 0,35	R\$ 35,00
<i>Traço T11 (15:50:35)</i>	R\$ 0,37	R\$ 37,00
<i>Traço T12 (15:55:30)</i>	R\$ 0,40	R\$ 40,00

Obs.: Para estes cálculos só foi levado em consideração o preço três componentes do bloco (PPRC, AREIA E CIMENTO)

- **CIMENTO – R\$ 18,70 (50 Kg)**
- **Areia – R\$ 10,00 (1 m³=1800 Kg)**
- **PPRC – R\$ 5,50 (20 Kg)**

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Pó de Calcário (PPRC)

De acordo com as caracterizações física, química e morfológica realizadas no PPRC estudado, verificou-se que o mesmo tem como principal elemento o CaO (92,34%); o principal mineral presente é a calcita (CaCO_3); a distribuição granulométrica mostrou tratar-se de um material fino, constituído principalmente de fração silte (menores que 0,075 mm) e possui baixa quantidade de fração argila (6,4%).

Apesar do baixo teor de fração argila foi possível a moldagem de diversos traços com o PPRC utilizando prensa manual.

Com isso, conclui-se que, o pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias estudado, apresenta características satisfatórias para sua utilização como fíler, na produção de blocos.

Blocos com adição do pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias

O aumento do teor de cimento não necessariamente aumentará a resistência dos blocos, pois, esta depende de outros fatores importantes, como a proporção adequada dos materiais que os compõem e umidade de moldagem.

A maioria dos traços efetuados apresentou resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão, atingindo os valores exigidos pelas normas técnicas consultadas.

De modo geral, a resistência à compressão diminui com o aumento do teor de PPRC quando os blocos são fabricados com a mesma umidade de compactação. O teor máximo de areia recomendado para a moldagem, utilizando prensa manual com as características aqui descritas, situa-se em torno de 50%, pois, com teores de acima deste há uma grande dificuldade de moldagem dos blocos devido a falta de coesão inicial logo após a moldagem.

Absorção de água, embora atenda aos requisitos da norma ABNT10834/1994 (Blocos de solo-cimento), nenhum traço atingiu a absorção exigida pela norma ABNT 613/2008 (Blocos vazados de concreto simples), o que poderá ser tratado com uso de aditivos impermeabilizantes.

O ensaio Slake Durability mostrou que a resistência dos blocos está relacionada com a sua durabilidade e que blocos de maior resistência à compressão tendem a ser mais duráveis.

Analisando os valores de resistência encontrados, durabilidade e também o custo, recomenda-se a utilização do traço T9, que apresentou a maior média de resistência à compressão (6,12 MPa) e maior durabilidade (medianamente alta).

Vale ressaltar que os blocos foram moldados em prensa manual e que, mesmo assim, seus valores foram satisfatórios para emprego em alvenaria estrutural, sendo que, com uso de equipamento hidráulico esse resultado seria bem mais satisfatório.

– Sugestões para futuros trabalhos

Algumas sugestões de estudos são apresentadas, visando contribuir cientificamente para o desenvolvimento do produto, tais como:

Diminuição da absorção de água através da utilização de aditivos impermeabilizantes;

Fabricação dos blocos prensados e de encaixe com CP V ARI.

Estudos de durabilidade para os blocos com pó de pedra de rochas calcárias.

Influência da energia de prensagem na densidade dos blocos e consequentemente na resistência à compressão.

Estudo da influência do tipo de capeamento na resistência à compressão dos blocos.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1985). Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Publicações ABCP, São Paulo.

Associação Brasileira De Cimento Portland – ABCP (1985). Fabricação de tijolos de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1987). Solo-cimento na habitação popular. São Paulo, SP. ABCP, 2ª edição, EC-4, 14p.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1999). Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, SP. ABCP, 2ª Edição, ET-35, 51p.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002). Boletim técnico 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, SP. ABCP.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2004). Concreto: Uma receita de bolo; http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/concreto.shtml.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT - Análise Granulométrica - NBR 7181, Solo, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Determinação da Massa Específica dos Grãos – NBR 6508. (1980). Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Rochas e Solos – NBR 6502 (1995). Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1994. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio – NBR 10836.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1982. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária - Método de ensaio - NBR 7251. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1983. Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão – NBR 8215. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1985. Paredes de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão simples – NBR 8249. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1987. Solubilização de Resíduo – Procedimento – NBR 10006. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1990. Aglomerantes de origem mineral – NBR 11172. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1991. Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200) – NBR 11579. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1991. Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier – NBR 11582. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1991. Cimento Portland – NBR 11578. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992. Solo-cimento – Ensaio de compactação – NBR 12023. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1994. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – NBR 10834. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1994. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões - Método de ensaio - NBR 10835. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1994. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio - NBR 10836. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1994. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões – Método de ensaio – NBR 10835. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1996. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão - NBR 7215. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1998. Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) – NM 76. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2001. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica – NM 23. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente – NM 52. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrômetros, por lavagem – NM 46. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal – NM 43. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega – NM 65. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2005. Agregados para concreto – Especificação - NBR 7211. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2006. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios – NM 45. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2008. Bloco Vazado de Concreto Simples para Alvenaria - NBR 6136. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1984. Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água - Método de ensaio. NBR 8492. Rio de Janeiro.

ASTM D 4644-44: Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks.

Bahiense, A. V. (2007) *Incorporação de Resíduo de Rocha Ornamental em Argamassa Utilizando Planejamento de Experimentos em Rede Simplex*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 159p.

Barbosa, C. S. (2008) *Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes*. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, 262p.

Barbosa, N. P. (2003). *Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional / Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes* Inovação – Cap.16. Porto alegre – RS.

Beltrame, L. F. S.; Godim, L. A. P.; Taylor, J. C. (1981) *Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas-SP, v.5, p.145-149.

Bueno, B. S.; Villar, O. M. (1980) *Mecânica dos Solos*. Apostila nº69, Imprensa Universitária, UFV, Viçosa-MG, 131p.

CINVA - Centro Interamericano de Vivienda e Planejamento (1963). *Suelo-cemento: su aplicación em la edificación*. Bogotá, Colômbia.

Calmon, J. L.; da Silva, S. A. C. (1998) Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo-cimento. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998. Florianópolis: ANTAC.

CEBRACE (1981) Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares. Solo-cimento na construção de escolas – SC-01 (Sistema Construtivo 02). 2ª Edição, Rio de Janeiro, MEC/CEBRACE, 39p.

CEPED - Centro de pesquisas e desenvolvimento da Bahia (1984). *Manual de construção com solo-cimento*. Camaçari, BA. Convênio CEPED/BNH/ABCP, 147p.

Cordeiro, G. C. (2006) *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca do arroz como aditivos minerais em concreto*. (Tese de Doutorado) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 485p.

Dal Molin, D. C. C. (2005) Adições minerais para concreto estrutural concreto fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella. COCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 345-379, 1600p.

Dantas Filho, F. P. (2004) *Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural*. Campinas, 2004. 117p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.

Destefani, A. Z. (2009) *Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para a produção de blocos prensados de encaixe*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 136p.

Ferraz, R. L.; Belicanta, A.; Guitierrez, N. H. M. (2000) *Estudo comparativo de alguns métodos de dosagens de misturas solo-cimento*. Editora EDUEM, UEM, Maringá, PR, 6p.

Ferreira Júnior, S. (1985) *Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria; Prática Recomendada*. São Paulo, Boletim Técnico, nº 107, ABCP, 12p.

Freire, A. S.; Motta, J. F. M. (1995) *Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito*. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. Ano XXV. Edição 123, p.98-108.

Frasson Júnior, A. (2000) *Metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural*. Florianópolis, 146 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

Gamble, J. C. (1971) *Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rock*. Ph. D. Thesis University of Illinois.

Grande, F. M (2003). *Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, 165p.

Grandi, L. A. C. (2002) *Alvenaria estrutural: a memória de um sistema construtivo*. Prisma soluções com blocos de concreto, nº 5, dezembro, Ed. Mandarim, São Paulo, dezembro/2002, p.21-23.

Gobbo, L. de A.; Mello, I. S. De C.; Queiroz, F. C. de; Frasca, M. H. B. de O. (2004) Aproveitamento de Resíduos Industriais. In: MELLO, Ivan Sérgio de Cavalcanti. A cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimentos no Estado de São Paulo. IPT, São Paulo, Publicação 2995, p. 129-152.

Guimarães, J. E. P. A. (2002) *A Cal: Fundamentos e Aplicação na Engenharia Civil*. 2ª Ed. São Paulo: Pini, 341p.

ICPA - Instituto Del Cemento Portland Argentino (1973). *Boletín. Buenos Aires*, mar./abr., 32p.

Isaia, G. C. (2005) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. 2v. 1600 p. IBRACON, São Paulo.

ISRM - International Society For Rock Mechanics (1981). *Rock Characterization Testing And Monitoring - ISRM Suggested Methods*. Oxford, pp.1-212.

Izquierdo, I. S. (2011) *Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, 128p.

Juste, A. E. (2001) *Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, 236p.

Lameiras, R. M. (2004) *Estudo do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) como material de construção: aplicação em concreto*. Monografia (Engenharia Civil) – Alagoas – AL, Universidade Federal de Alagoas – UFA, 97p.

Lawrence, P., Cyr, M., Ringot, E. (2003) “*Mineral admixtures in mortars – Determinação do tempo de pega – NM 65. Rio de Janeiro. Effect of inert materials on short-term hydration*”, *Cement and Concrete Research*, v. 33, n. 12, pp. 1939-1947.

Lima, A. J. M. (2009) *Utilização de Resíduo de Pinus spp e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural*. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 282p.

Lima, T. V. (2006) *Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 107p.

Liu, S., Yan P. (2009) *Effect of Limestone Powder on Microstructure of Concrete*. Journal of Wuhan University of Technology. Materials Science Edition. Vol. 25, N 2. Jun, pp 328-331.

Lira, C; Alcarcon, O. E.; Silveira, M. D. M; Bianchi, J. A. A; Honorato, E. L e Costa, L (1997). Efeitos da composição e da temperatura de queima na expansão por umidade dos corpos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, n.1., vol.2, p. 27-30.

Lins, F. A. F. (2007). Cimento. Anuário Estatístico, 2007, Setor de Transformação de Não-Metálicos. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – DTTM/MME – Ministério de Minas e Energia – MME, p. 25-33.

Lisboa, E. M.; Gomes, P. C. C.; Lima, F. B. de; Barboza, A. da S. R.; Lameiras, R. de M (2004) *Obtenção de pastas e argamassas altamente fluidas com resíduo da serragem dos blocos de granito para utilização em concreto auto-adensável*. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais.São Paulo: ANTAC.

Lopes, W. G. R. (2002) *Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas*. Dissertação de Doutorado, Campinas, SP, UNICAMP, 158p.

Lourenço, P. B. (1999) Dimensionamento de Alvenarias Estruturais. Relatório 99-DEC/E-7. Dezembro.

MAC – Ministère des Affaires Culturelles (1975). *Minimôme dé couvre la terre*. Unité Pédagogique d'Architecture de Genobre. 359p.

Maia, J. L. (2008) *Uso de resíduos em sistemas cimentícios – Aplicação do método físico-químico para otimização de formulações*. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE), 236p.

Marzahn, G. (1997) *Dry-stacked masonry in comparlson with mortar jointed masonry*. Leipzig. Annual Civil Engineering Report. Vol 2.

Medeiros, J. S. (1993) *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto*. São Paulo, 449 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Medeiros, J. S. (1994) *Blocos de concreto para alvenaria estrutural: Avaliação de parâmetros básicos para a produção*. In: 5th International Seminar on Structural Mansonry for Developing Countries, Anais, Florianópolis.

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M., 2008, *Concreto: estrutura, propriedades*, 3ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 674p.

Merril, A. F. (1949) *Casas de tierra apisionada y suelo-cemento*. Buenos Aires, Windsor.

Mesa Valenciano. M. C. (1999) *Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Campinas – SP, Universidade de Campinas – UNICAMP, 115p.

Milani, A. P. S. (2005) *Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 131p.

Miller, C. P. (2008) *Determinação de parâmetros mecânicos e modelagem numérica em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos da indústria de Campos dos Goytacazes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 161p.

Nahass, S.; Severino, J. (2003) *Calcário agrícola no Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003.

Mont'alverne, A. A, F. 1981. *Calcários: Considerações Gerais e Aplicações Tecnológicas*, Recife, Universidade Federal de Pernambuco.

Oliveira, I. R. de; Studart, A. R.; Pileggi, R. G., Pandolfelli, V. C. *Dispersão empacotamento de partículas*. São Paulo: Fazendo arte, 195p., 2000.

PCA - Portland Cement Association – (1969). *Soil-cement construction handbook*. Illinois, PCA, 42p.

Pedroti, L. G. (2007) *Estudo de conformidade em relação à ABNT de blocos cerâmicos prensados e queimados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 106p.

Pinheiro, W. M. G. (2003) *Utilização do resíduo da extração da pedra mineira como agregado no concreto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 202p.

Pissato, E. Soares, L. (2006) *Utilização de finos de pedreira em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso*. *Exacta*, São Paulo, v.4, n.1, p.143-148.

Pitta, M. R. (1995) *Estabilização com solo-cimento*. *Revista Techne*, Editora Pini, São Paulo-SP, nº 17, Julho/Agosto.

Prudêncio Júnior, L. R.; Oliveira, A. L.; Bedin, C. A. (2002) Alvenaria estrutural de blocos de concreto. 1ª Ed. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Ramalho, M. A.; Corrêa, M. R. S. (2003) Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo: Editora Pini, 169p.

Resende, N. G. A. M. (2001). Insumos Minerais para Agricultura e áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá, Superintendência Regional de Belém, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belém.

Rocha, C. A. A (2008). *Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 107p.

Salvador Filho, J. A. A. (2007). *Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, 246p.

Silva, S. A. C (1998). *Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo-cimento*. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Vitória – ES, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 159p.

Sampaio, J. A.; Almeida, S. L. M. (2005). Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2ª Ed. Cap. 16: Calcário e Dolomito. CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro.

Santos, M. P. (2009) *Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes construção civil*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola de Engenharia da UFMG. 108p.

Segantini, A. A. S. (1994). *Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte*. Campinas, SP. Dissertação de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, 96p.

Segantini, A. A. S. (2002). *Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP*, Tese de Doutorado, Campinas, SP, FEAGRI, UNICAMP, 176p.

Senço, W. (2001) Manual de Técnicas de Pavimentação, capítulo 4, Volume II, 1ª Edição, Editora Pini, São Paulo.

Souza, M. I. B. (2006) *Análise da adição de resíduos de concretos em tijolos prensados de solo-cimento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Ilha Solteira - SP, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 116p.

Souza, J. G. G. (2001) *Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado*. Brasília. 120p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.

Tango, C. E. S. (1984) Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade. 1ª. Ed. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Tauil, C. A.; Nesse, F. J. M. (2010) Alvenaria Estrutural, São Paulo: Editora Pini, 183p.

Venkatarama Reddy, B. V., Gupta, A. (2005) *Characteristics of soil-cement blocks using highly sand soils*. Rilem. Materials and Structures. 651-658.

Xavier, G. C. (2006) *Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.

APÊNDICE

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T1

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	97,45	77,85	41027	4,21
2	95,84	76,24	35021	3,65
3	98,02	78,42	37283	3,80
4	97,12	77,52	35032	3,61
5	95,76	76,16	38573	4,03
Resistência Média				3,86
Desvio Padrão				0,26

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	47234,94	2,42
2	195	155,8	43384,45	2,22
3	195	155,8	36813,96	1,89
Resistência Média				2,18
Desvio Padrão				0,27

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,56

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,795	2,017	12,37
2	1,800	2,024	12,44
3	1,784	2,007	12,50
Absorção Média			12,44
Desvio Padrão			0,07

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T2

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	96,34	76,74	28022	2,91
2	97,77	78,17	28631	2,93
3	96,09	76,49	33943	3,53
4	98,83	79,23	28252	2,86
5	95,55	75,95	26302	2,75
Resistência Média				3,00
Desvio Padrão				0,31

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	26816,55	1,38
2	195	155,8	29626,16	1,52
3	195	155,8	28784,16	1,48
Resistência Média				1,46
Desvio Padrão				0,07

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,48

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,826	2,047	12,10
2	1,712	1,935	13,03
3	1,752	1,993	13,76
Absorção Média			12,96
Desvio Padrão			0,83

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T3

Ensaio de resistência à compressão axial aos (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	97,35	77,75	23218	2,39
2	94,81	75,21	22177	2,34
3	95,68	76,08	25127	2,63
4	99,83	80,23	20198	2,02
5	95,37	75,77	22052	2,31
Resistência Média				2,34
Desvio Padrão				0,22

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	23649,56	1,21
2	195	155,8	25797,75	1,32
3	195	155,8	31074,54	1,13
Resistência Média				1,22
Desvio Padrão				0,10

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,52

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,879	2,15	14,42
2	1,839	2,09	13,54
3	1,804	2,03	12,53
Absorção Média			13,50
Desvio Padrão			0,95

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T4

Ensaio de resistência à compressão axial aos (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	96,16	76,56	32827	3,41
2	92,28	72,68	33307	3,61
3	95,25	75,65	31591	3,32
4	97,43	77,83	34445	3,54
5	99,84	80,24	32294	3,23
Resistência Média				3,42
Desvio Padrão				0,15

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	36947	1,89
2	195	155,8	36021	1,85
3	195	155,8	34554	1,77
Resistência Média				1,84
Desvio Padrão				0,06

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,53

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (g)	Peso úmido (g)	Umidade Absorvida (%)
1	1,775	2,016	13,58
2	1,796	2,039	13,53
3	1,799	2,039	13,34
Absorção Média			13,48
Desvio Padrão			0,13

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T5

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	98,57	78,97	49845	5,06
2	96,91	77,31	45707	4,72
3	94,23	74,63	47338	5,02
4	95,75	76,15	43473	4,54
5	97,42	77,82	41283	4,24
Resistência Média				4,71
Desvio Padrão				0,34

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	49815,09	2,55
2	195	155,8	51522,79	2,64
3	195	155,8	50963,62	2,61
Resistência Média				2,60
Desvio Padrão				0,04

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p/f_b	0,55

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,729	1,972	14,05
2	1,703	1,954	14,74
3	1,73	1,978	14,34
Absorção Média			14,38
Desvio Padrão			0,34

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T6

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	96,93	77,33	42734	4,41
2	98,88	79,28	44279	4,48
3	95,72	76,12	42374	4,43
4	96,65	77,05	40086	4,15
5	94,93	75,33	41492	4,37
Resistência Média				4,37
Desvio Padrão				0,13

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	42035,99	2,16
2	195	155,8	45756,77	2,35
3	195	155,8	42355,25	2,17
Resistência Média				2,22
Desvio Padrão				0,11

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p/f_b	0,50

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,737	1,988	14,45
2	1,719	1,969	14,54
3	1,756	1,989	13,27
Absorção Média			14,09
Desvio Padrão			0,71

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T7

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	94,28	74,68	31097	3,30
2	96,33	76,73	35100	3,64
3	97,43	77,83	32428	3,33
4	95,84	76,24	34745	3,63
5	99,73	80,13	31193	3,13
Resistência Média				3,40
Desvio Padrão				0,22

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	37393,73	1,92
2	195	155,8	32224,82	1,65
3	195	155,8	35752,32	1,83
Resistência Média				1,80
Desvio Padrão				0,14

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,53

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,666	1,937	16,27
2	1,64	1,919	17,01
3	1,634	1,915	17,20
Absorção Média			16,83
Desvio Padrão			0,49

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T8

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	98,11	78,51	53442	5,45
2	96,79	77,19	41478	4,29
3	99,05	79,45	46743	4,92
4	97,62	78,02	42109	4,31
5	95,33	75,73	50733	5,32
Resistência Média				4,86
Desvio Padrão				0,55

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	56665	2,91
2	195	155,8	49937	2,56
3	195	155,8	60327	3,09
Resistência Média				2,85
Desvio Padrão				0,27

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,59

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,814	2,05	13,01
2	1,740	1,981	13,86
3	1,778	2,02	13,61
Absorção Média			13,49
Desvio Padrão			0,44

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T9

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	97,83	78,23	58588	5,99
2	95,69	76,09	58679	6,13
3	99,13	79,53	61918	6,58
4	96,52	76,92	55832	5,78
5	94,35	74,75	57556	6,10
Resistência Média				6,12
Desvio Padrão				0,29

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	72562,06	3,72
2	195	155,8	74284,57	3,81
3	195	155,8	74764,2	3,83
Resistência Média				3,79
Desvio Padrão				0,06

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,62

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,805	2,0298	12,45
2	1,816	2,0451	12,62
3	1,804	2,0557	13,95
Absorção Média			13,01
Desvio Padrão			0,82

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T10

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	96,32	76,72	57208	5,12
2	98,97	79,37	50654	5,23
3	95,51	75,91	52701	5,36
4	99,14	79,54	61463	5,17
5	97,07	77,47	55448	5,77
Resistência Média				5,33
Desvio Padrão				0,26

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	68182	3,50
2	195	155,8	65351	3,35
3	195	155,8	69844	3,58
Resistência Média				3,48
Desvio Padrão				0,12

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,63

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,729	1,972	14,05
2	1,703	1,964	15,33
3	1,737	1,986	14,34
Absorção Média			14,57
Desvio Padrão			0,67

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T11

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	96,27	76,67	49275	5,01
2	97,85	78,25	54224	5,23
3	99,66	80,06	54215	5,14
4	95,12	75,52	50719	5,33
5	96,21	76,61	55876	5,70
Resistência Média				5,28
Desvio Padrão				0,26

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	64520,08	3,31
2	195	155,8	66437,46	3,41
3	195	155,8	62702,94	3,22
Resistência Média				3,31
Desvio Padrão				0,10

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,62

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,695	1,978	16,70
2	1,645	1,932	17,45
3	1,655	1,940	17,22
Absorção Média			17,12
Desvio Padrão			0,39

DADOS REFERENTES AO TRAÇO T12

Ensaio de resistência à compressão axial (Blocos).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	95,27	75,67	45446	4,77
2	98,61	79,01	49272	5,00
3	96,19	76,59	54783	5,70
4	97,22	77,62	42324	4,35
5	93,43	73,83	45279	4,85
Resistência Média				4,93
Desvio Padrão				0,49

Ensaio de resistência à compressão axial (Prismas).

CP	Área Total (cm ²)	Área Efetiva (cm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência Final (MPa)
1	195	155,8	57142,95	2,93
2	195	155,8	56451,23	2,89
3	195	155,8	61403,47	3,15
Resistência Média				2,99
Desvio Padrão				0,14

Eficiência bloco-prisma

Parâmetro	Valor
f_p / f_b	0,60

Ensaio de absorção de água.

CP	Peso Seco (kg)	Peso úmido (kg)	Umidade Absorvida (%)
1	1,633	1,912	17,09
2	1,672	1,946	16,39
3	1,697	1,971	16,15
Absorção Média			16,54
Desvio Padrão			0,49