

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA**

ALAN DE OLIVEIRA FEITOSA

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA SERRAGEM DE GRANITO PARA USO EM
BLOCOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

**Orientadores: Prof. PhD. João Batista Queiroz de Carvalho
Prof. D. Sc. Gelmires de Araújo Neves**

**Campina Grande - PB
Fevereiro 2004**



F311u

Feitosa, Alan de Oliveira

Utilização do Resíduo da Serragem de Granito para Uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural / Alan de Oliveira Feitosa. – Campina Grande. UFCG, 2004.

92p. il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

UFCG / CCT

Inclui bibliografia

1. Resíduo de granito 2. Blocos de concreto 3. Reciclagem

I. Título

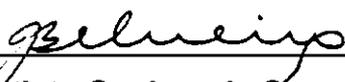
CDU: 624.13

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA SERRAGEM DE GRANITO PARA USO EM
BLOCOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

ALAN DE OLIVEIRA FEITOSA

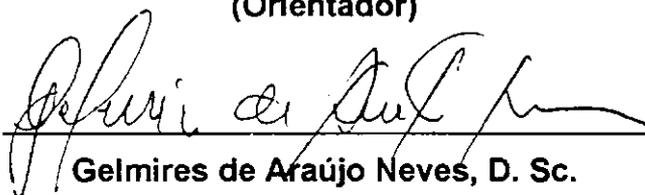
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, ÁREA DE
GEOTECNIA.

DISSERTAÇÃO APROVADA POR:



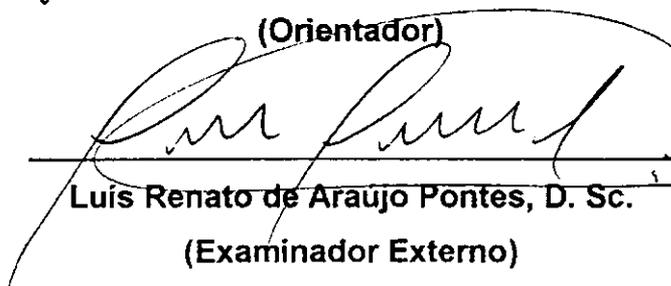
João Batista Queiroz de Carvalho, PhD.

(Orientador)



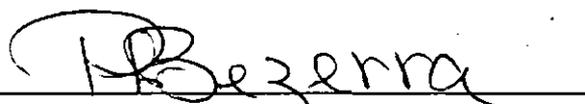
Gelmires de Araújo Neves, D. Sc.

(Orientador)



Luis Renato de Araújo Pontes, D. Sc.

(Examinador Externo)



Raimundo Leidimar Bezerra, D. Sc.

(Examinador)

Campina Grande – PB

Fevereiro / 2004

DEDICATÓRIA:

Aos meus pais **Heleno** e **Zélia**,
aos meus irmãos **Alexandre** e
Wagner e a minha amada **Rylmara**,
pelo amor, carinho e incentivo
transmitidos em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me acompanhar dando-me saúde, disposição e perseverança na superação de todos os obstáculos de minha vida.

Aos Professores João Batista Queiroz de Carvalho e Gelmires de Araújo Neves, pelas orientações e ensinamentos transmitidos, tão fundamentais à realização deste trabalho.

Aos Professores do mestrado da área de Geotecnia Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Campina Grande, pelas informações transmitidas ao longo do curso.

Aos funcionários e laboratoristas da área de Geotecnia da UFCG/PB. Em especial a Josenira, José Sobreira, Rui Pereira e Marcos, pela ajuda e amizade durante todo o curso.

Aos alunos de Iniciação Científica Valterlin da Silva Santos e Francinaldo de Oliveira Queiroz Júnior que muito contribuíram para realização deste trabalho, tanto na execução da parte prática, como também na análise dos resultados.

À Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior – ATECEL®. Em especial ao funcionário "Lelé" pela indispensável colaboração na realização dos ensaios tecnológicos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro fornecido ao longo de todo o curso de mestrado.

Aos amigos do curso de mestrado, pela colaboração técnica a este trabalho e principalmente pelos momentos de distração e lazer vividos ao longo desta jornada.

A toda minha família, que sempre me deu força e incentivo para realização deste trabalho, além do carinho e apoio incondicional, transmitidos em todos os momentos da minha vida.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS E EQUAÇÕES	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Generalidades.....	01
1.2. Objetivos.....	03
1.2.1. Objetivo Geral.....	03
1.2.2. Objetivos Específicos.....	03
1.3. Organização da Dissertação.....	03

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1. Generalidades.....	05
2.2. Aspectos Inerentes aos Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas.....	05
2.2.1. Aspectos Econômicos.....	05
2.2.2. Aspectos Ambientais.....	07

2.3. A Industrialização de Rochas Ornamentais.....	09
2.3.1. Extração e Produção de Blocos de Rochas Ornamentais..	11
2.3.2. O Processo de Desdobramento e Acabamento dos Blocos	12
2.3.3. O Rejeito Gerado no Processo de Industrialização.....	14
2.4. Alternativas e Estudos realizados para o Aproveitamento dos Resíduos.....	16
2.5. Blocos de Concreto Simples.....	17
2.5.1. Histórico.....	17
2.5.2. Materiais Utilizados na Produção dos Blocos.....	18
2.5.2.1. Aglomerante.....	19
2.5.2.2. Agregados.....	20
2.5.2.3. Aditivos.....	21
2.5.3. Etapas do Processo de Produção.....	22
2.5.3.1. Proporcionamento e Verificação das Misturas.....	22
2.5.3.2. Moldagem e Cura dos Blocos.....	23
2.5.4. Características do Concreto para Blocos.....	25
2.6. Efeito das Adições Mineraias em Concretos.....	26
2.7. Considerações Finais.....	29
CAPÍTULO 3	
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	31
3.1. Generalidades.....	31
3.2. Projeto Experimental.....	31
3.2.1. Etapas do Projeto Experimental.....	31
3.3. Obtenção e caracterização dos Materiais.....	32

3.3.1. Obtenção dos Agregados.....	32
3.3.1.1. Agregados Convencionais.....	32
3.3.1.2. Resíduo da Serragem de Granito.....	33
3.3.2. Caracterização dos Materiais.....	35
3.3.2.1. Cimento.....	35
3.3.2.2. Agregados Convencionais.....	36
3.3.2.3. Resíduo da Serragem de granito.....	37
3.4. Variáveis de Estudo.....	37
3.5. Análise dos Parâmetros da Mistura.....	39
3.6. Ensaio Tecnológicos.....	43
3.6.1. Moldagem dos Blocos de Concreto.....	43
3.6.2. Cura dos Blocos de Concreto.....	44
3.6.3. Ensaio de Resistência à Compressão dos Blocos de Concreto.....	45
3.6.4. Ensaio de Absorção por Imersão dos Blocos de Concreto.	46
CAPÍTULO 4	
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.1. Generalidades.....	47
4.2. Caracterização dos Materiais.....	47
4.2.1. Cimento.....	47
4.2.2. Agregados Convencionais.....	47
4.2.2.1. Agregado Miúdo (areia).....	47
4.2.2.2. Agregado Graúdo (brita "0").....	50
4.2.3. Agregado Alternativo.....	51

4.2.3.1. Caracterização Física.....	52
4.2.3.2. Caracterização Mineralógica.....	53
4.3. Resultados da Análise dos Parâmetros da Mistura.....	58
4.4. Resultados dos Ensaio Tecnológicos.....	71
4.4.1. Resistência à Compressão Simples.....	71
4.4.2. Absorção por Imersão.....	74
4.5. Análise da Influência da Incorporação do Resíduo nos Resultados dos Ensaio Tecnológicos.....	76
4.5.1. Análises Térmicas (ATD e ATG).....	76
4.5.1.1. Blocos Convencionais.....	76
4.5.1.2. Blocos com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito	78
4.5.2. Resistência à Compressão Simples.....	82
4.5.3. Absorção por Imersão.....	83
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSÕES	84
5.1. Generalidades.....	84
5.2. Conclusões.....	84
5.3. Sugestões para Futuras Pesquisas.....	86
CAPÍTULO 6	
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXO I – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fluxo de Materiais em um Sistema Econômico e as Possibilidades de Seu Reaproveitamento.....	06
Figura 2.2 – Algumas Operações Realizadas na Industrialização de Rochas Ornamentais.....	11
Figura 2.3 – Transformação dos Blocos de Granito Através da Polpa Abrasiva.....	13
Figura 2.4 – Exemplo de um Local de Deposição Final do Resíduo.....	15
Figura 3.1 – Agregados Convencionais Utilizados na Pesquisa.....	33
Figura 3.2 – Cimento Utilizado na Pesquisa.....	35
Figura 3.3 – Esquema Mostrando as Variáveis de Estudo.....	38
Figura 3.4 – Materiais da Mistura.....	39
Figura 3.5 – Fluxograma do Processo de Desenvolvimento de Blocos de Concreto com o Aproveitamento do Resíduo da Serragem de Granito.....	42
Figura 3.6 – Detalhe do Processo de Moldagem dos Blocos.....	44
Figura 3.7 – Detalhe da Câmara Úmida e do Tanque de Imersão.....	45
Figura 3.8 – Detalhe do Bloco Rompendo.....	46
Figura 4.1 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo (Areia) e seu Respectivo Enquadramento na Zona de Classificação Estabelecida pela NBR 7211/83.....	49
Figura 4.2 – Curva Granulométrica do Agregado Graúdo (Brita “0”).....	51
Figura 4.3 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas do Resíduo POLIGRAN.....	54
Figura 4.4 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas do Resíduo FUJI.....	55

Figura 4.5 – Difração de Raios-X dos Resíduos Utilizados.....	56
Figura 4.6 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise por Microscopia de Energia Dispersiva (EDS) do Resíduo POLIGRAN: A) Completa, B) Região A.....	57
Figura 4.7 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:4 em Relação ao Tempo de Cura.....	64
Figura 4.8 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:6 em Relação ao Tempo de Cura.....	65
Figura 4.9 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:8 em Relação ao Tempo de Cura.....	65
Figura 4.10 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:4 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.....	66
Figura 4.11 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:6 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.....	67
Figura 4.12 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:8 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.....	68
Figura 4.13 – Comparação Entre os Resultados das Médias Depuradas da Resistência à Compressão dos Blocos, nos Traços Convencional e com as Incorporações do Resíduo.....	73
Figura 4.14 – Comparação Entre os Resultados das Médias da Absorção dos Blocos, nos Traços Convencional e com as Incorporações do Resíduo.....	75
Figura 4.15 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos de Concreto Convencional.....	77

Figura 4.16 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 5% de Resíduo.....	78
Figura 4.17 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 10% de Resíduo.....	79
Figura 4.18 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 15% de Resíduo.....	79
Figura 4.19 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 20% de Resíduo.....	80

LISTA DE TABELAS E EQUAÇÕES

Tabela 2.1 – Impactos Gerados Durante o Beneficiamento das Rochas...	09
Tabela 2.2 – Composição dos Elementos Constituintes da Polpa.....	15
Tabela 2.3 – Características Recomendadas para Agregados Destinados à Produção de Blocos de Concreto.....	21
Tabela 2.4 – Propriedades do Concreto para Blocos no Estado Endurecido.....	26
Tabela 3.1 – Características Físicas do Cimento Utilizado.....	35
Tabela 3.2 – Características Químicas do Cimento Utilizado.....	36
Tabela 3.3 – Ensaios de Caracterização do Agregado Graúdo (Brita "0").	36
Tabela 3.4 – Ensaios de Caracterização do Agregado Miúdo (Areia).....	37
Equação 3.1 Absorção de Água por Imersão.....	46
Tabela 4.1 – Características Físicas do Agregado Miúdo Utilizado (Areia).....	48
Tabela 4.2 – Composição Granulométrica do Agregado Miúdo Utilizado (Areia).....	49
Tabela 4.3 – Características Físicas do Agregado Graúdo Utilizado (Brita "0").....	50
Tabela 4.4 – Composição Granulométrica do Agregado Graúdo Utilizado (Brita "0").....	50
Tabela 4.5 – Massa Específica Real dos Resíduos.....	52
Tabela 4.6 – Distribuição Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação dos Resíduos.....	52
Tabela 4.7 – Áreas Específicas (AE) dos Resíduos.....	53
Tabela 4.8 – Composição Química dos Resíduos no Estado Natural.....	53

Tabela 4.9 – Traços de Referência, Unitários em Volume, com a Relação Água/Cimento dos Blocos Convencionais de Concreto.....	60
Tabela 4.10 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura, Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:4).....	61
Tabela 4.11 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura, Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:6).....	62
Tabela 4.12 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura, Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:8).....	63
Tabela 4.13 – Resultado Final da Seleção das Composições Ideais de Mistura.....	70
Tabela 4.14 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:8.....	72
Tabela 4.15 – Resultados Individuais para Absorção por Imersão dos Blocos no Traço 1:8.....	74

ABREVIATURAS E SIGLAS

A _b	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
AE	Área específica
AG	Análise granulométrica
AQ	Análise química
ATD	Análise térmica diferencial
ATG	Análise termogravimétrica
BET	Brenauer, Emmett e Teller
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
DEMa	Departamento de Engenharia de Materiais
D _{máx}	Dimensão máxima característica do agregado
EDS	Energia dispersiva de raios-X
fc28	Resistência à compressão simples aos 28 dias
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
MER	Massa específica real
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma Brasileira
NITES	Núcleo Regional de Informação Tecnológica do Espírito Santo
POLIGRAN	Indústria de Polimento de Granito S/A
RCS	Resistência à compressão simples
RILEM	Réunion International des Laboratoires d'Essais des Matériaux et Structures
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos-SP

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA SERRAGEM DE GRANITO PARA USO EM BLOCOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

RESUMO

O setor de industrialização de rochas ornamentais do Brasil tem relevante destaque tanto no cenário nacional como no internacional. Isso acontece devido às centenas de tipos esteticamente diferentes de mármore e granitos existentes e da enorme potencialidade de vários estados brasileiros na produção destas rochas. Como consequência de todo processo industrial existe a geração de rejeitos, que no caso particular da indústria de rochas ornamentais são gerados na forma de lama, geralmente constituída de água, granalha, cal e rocha moída, formando assim um rejeito altamente poluente e nocivo ao homem, sendo na maioria das vezes depositado de maneira inadequada na natureza. Com o objetivo de minimização dos efeitos deletérios causados à natureza pela geração destes rejeitos, têm surgido nos últimos anos vários trabalhos de pesquisa que visam utilizar o rejeito proveniente das indústrias de rochas ornamentais como matéria-prima na fabricação de novos produtos, sobretudo no setor da construção civil, que por sua vez apresenta uma enorme capacidade de absorção destes produtos. Este trabalho, visando dá uma sólida contribuição a esse processo de conscientização ambiental e o desenvolvimento de materiais alternativos empregados no setor da construção civil, vislumbrou a possibilidade de utilização do resíduo da serragem de granito como uso em blocos de concreto sem função estrutural. Para isto realizou-se um estudo investigativo sobre traços de referência, incorporando o resíduo da serragem de granito ao agregado miúdo (areia) presente na mistura, nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao volume total da areia, objetivando encontrar o teor ideal que permita um maior aproveitamento do resíduo na produção de blocos que atendam às exigências requeridas por norma para blocos de concreto sem função estrutural. Então foram realizados ensaios de resistência à compressão simples e

USE OF GRANITE SAWDUST WASTE TO FABRICATE CONCRETE BLOCKS FOR NON-STRUCTURAL FUNCTION

ABSTRACT

The Brazilian industrialization of ornamental rocks has an important signification in the national scenery as well as in the international. This is due to the different types of marbles and granites and to the enormous potentiality of various Brazilian states in the production and mining of these rocks. As a consequence of the industrial process, it is generated a great amount of waste in the form of mud. The mud that is produced is usually constituted of water, iron oxide, whitewash and grounded rocks. This very polluted product is noxious to the man and normally is deposited in an inadequate way in the nature. With the objective of reducing the deleterious effects produced by these wastes, several research have been carried out in order to make an adequate use of them as well it has been studied an appropriate way for their disposal. This thesis, presents the results of an investigation that aimed to contribute to a solution for mud waste mentioned above. This solution implies a solid contribution to that process of environmental understanding and to the development of materials alternative employees in civil construction. In the latter, it was studied the possibility of introducing the mud waste of the granite sawdust in the fabrication of concrete blocks with non-structural function. In order to achieve the objectives outlined in the thesis, the mud waste from the granite sawdust was incorporated to the concrete mixture normally used to fabricate blocks in the proportions of 5%, 10%, 15% and 20% in relation to the total volume of the sand. This was done aiming to define the best amount that allows a larger use of the waste in the production of blocks. After the introduction of the waste, unconfined compressive strength (UCS) for the produced blocks was determined and the results obtained were compared with those from normal concrete mixture used to fabricate the blocks. Also the absorption of water by immersion on the blocks was measured and the obtained results were considered as technological and economical factors. It was

obtained that the proportion of 1:8 (1 cement: 8 attached - sand -, in volume) was the most interesting and advantageous for the accomplishment the objective of this thesis. The use of the mud waste from granite sawdust was shown highly viable, as the blocks produced with the incorporation of this material presented compatible results with those from standardization. Also it was obtained better (higher) values for UCS using alternative mixtures (which incorporated the mud waste from granite) compared with UCS values obtained using the blocks made with mixture in the conventional way.

Key words: granite waste; concrete blocks; recycling materials.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

No mundo de hoje, no qual os recursos naturais estão cada vez mais escassos, devido à utilização intermitente e irracional pelo homem, a grande preocupação, seja das entidades ambientalistas, científicas e empresariais, refere-se ao reaproveitamento de materiais que são utilizados nas mais diversas atividades desenvolvidas pelo homem.

O homem consegue transformar matérias-primas que encontra na natureza, de modo a torná-las úteis para si, seja como ferramentas ou máquinas, ou como quaisquer bens de consumo. Durante a produção de todos esses artigos (ferramentas, máquinas, etc), formam-se quantidades apreciáveis de resíduos que para profissionais menos preparados, parecem ser inúteis e que, com o tempo, acabam por comprometer o meio ambiente.

Segundo a bibliografia consultada, a construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver os resíduos sólidos. Sob este ponto de vista, e associando-se a ele a necessidade de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades industriais que vêm sendo impostas principalmente nas últimas três décadas pelas leis ambientais, pelos movimentos ecológicos em todo o mundo, e pelas tarifas ambientais que vêm substituindo as convencionais, o setor de industrialização de mármore e granito precisa de gerenciamento e maior conscientização da responsabilidade de se fazer um trabalho a longo prazo, com o respeito ao meio ambiente e a comunidade.

As indústrias responsáveis pelo beneficiamento de rochas ornamentais, pela falta de gerenciamento adequado e em virtude da quantidade crescente de resíduos gerados, vêm causando enormes preocupações às entidades empresariais, governamentais e ambientalistas. Estes resíduos são constituídos geralmente de água, gralha de aço ou granito, cal ou substituto e rocha moída, acumulando-se nos depósitos e sendo lançados no meio ambiente sem nenhum cuidado prévio, contaminando assim solos e/ou águas.

Sabendo-se que a Paraíba, especialmente a cidade de Campina Grande, possui um grande potencial no setor de industrialização de rochas ornamentais, e conscientes da problemática ambiental causada pela deposição inadequada do rejeito proveniente do processo de beneficiamento das rochas graníticas, a Universidade Federal de Campina Grande vem desenvolvendo vários estudos direcionados ao aproveitamento destes rejeitos de granito, seja na incorporação de argamassas de assentamento, como "filler" na produção de misturas asfálticas, na produção de tijolos de sílica-cal, dentre outros mais. É importante ressaltar que o aproveitamento destes rejeitos de granito deve ser encarado como atividade complementar, com a finalidade de contribuir para a redução de custos finais do produto, bem como auxiliar no processo de minimização dos efeitos deletérios causados ao meio ambiente, pela deposição inadequada dos resíduos.

Baseado no exposto, observa-se que existe um espaço considerável que precisa ser preenchido com estudos que permitam um aproveitamento racional do resíduo proveniente da serragem de blocos de granito. Assim sendo, esta dissertação tem como objetivo estudar com mais profundidade a potencialidade deste rejeito proveniente da serragem de blocos de granito ser utilizado como incorporação ao agregado miúdo, na produção de blocos de concreto sem função estrutural, constituídos de cimento – areia – cascalho granítico, para serem empregados na construção civil.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta dissertação de mestrado são:

1.2.1. Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo principal estudar o aproveitamento do resíduo da serragem de granito de indústrias da Paraíba como matéria-prima, incorporada ao agregado convencional (areia), na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural, para uso na construção civil.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Auxiliar o processo de minimização dos efeitos deletérios ao meio ambiente, provocados pela deposição inadequada do resíduo sólido da serragem de granito na natureza;
- fazer a caracterização física e mineralógica das matérias-primas convencionais e alternativas utilizadas na pesquisa;
- determinar os traços e os fatores de água/cimento ideais para a moldagem dos blocos de concreto;
- determinar as propriedades físico-mecânicas dos blocos de concreto produzidos.

1.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos e mais um anexo, sendo este o Capítulo 1 que introduz o tema e apresenta os objetivos geral e específicos do trabalho desenvolvido.

No Capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema, dando ênfase aos aspectos ambientais e econômicos relacionados à

industrialização de rochas ornamentais, bem como de fatores considerados importantes no processo de produção dos blocos de concreto.

A metodologia, que envolve materiais e métodos empregados na realização do trabalho, é mostrada no Capítulo 3. Neste são apresentadas as variáveis de estudo, os ensaios de caracterização e tecnológicos utilizados na avaliação das propriedades dos blocos de concreto e dos seus constituintes.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados sobre os blocos e seus constituintes, bem como discussões sobre estes resultados.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do estudo realizado, como também as sugestões para futuras pesquisas, enquanto o Capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas nesta pesquisa.

Finalizando temos o Anexo I, onde são mostrados os resultados individuais da resistência à compressão simples para os blocos de concreto desenvolvidos.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades

Este capítulo aborda as generalidades que envolvem o assunto inerente à dissertação. Foi feita uma revisão bibliográfica abordando aspectos que envolvem o processo de extração e produção de rochas ornamentais, englobando tanto os fatores ambientais (impactos ambientais decorrentes do processamento mineral), e econômicos (gerenciamento e controle tecnológico dos resíduos), como também algumas alternativas para o aproveitamento dos resíduos gerados neste processo de industrialização. Em seguida, vislumbrando-se a possibilidade de utilização do resíduo proveniente da serragem do granito na produção de blocos de concreto sem função estrutural, foi feita uma rápida abordagem sobre estes tipos de blocos, bem como dos seus materiais constituintes (cimento, areia e cascalho granítico).

2.2. Aspectos Inerentes aos Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas

2.2.1. Aspectos Econômicos

Segundo SILVA (1998), todo processo de industrialização constitui-se num dos componentes principais da poluição ambiental, podendo originar grandes conflitos, evitáveis quando tomadas providências que promovam o desenvolvimento harmônico e sustentável.

A Figura 2.1 mostra um fluxograma do processo de industrialização de materiais e a possibilidade de seu reaproveitamento, levando em conta o desenvolvimento harmônico e sustentável.

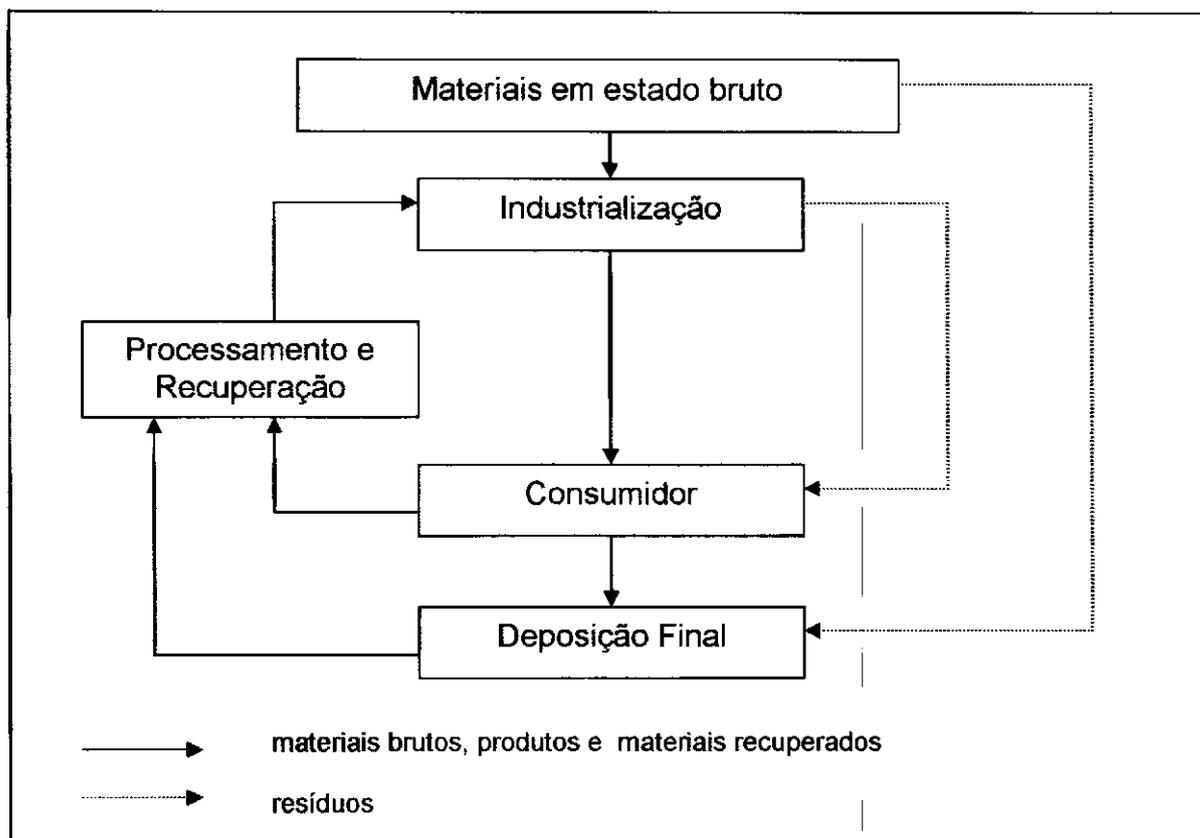


Figura 2.1 – Fluxo de Materiais em um Sistema Econômico e as Possibilidades de seu Reaproveitamento (MÖLLER e BARROS, 1988).

Nos processos que compreendem o fluxo de produção das rochas ornamentais, é possível observar-se a falta de tecnologia e também de mão-de-obra especializada. Analisando o fator mão-de-obra, refere-se à falta de uma melhor qualificação e capacitação dos operadores designados para a realização de uma determinada tarefa, além da falta de motivação e valorização pelos quais os mesmos passam. Do fator tecnologia, refere-se à segurança e baixo rendimento do equipamento (NITES, 1994).

A Tabela 2.1 apresenta os impactos mais comuns gerados sobre a qualidade das águas, durante a fase de beneficiamento de rochas ornamentais.

Tabela 2.1 – Impactos Gerados Durante o Beneficiamento das Rochas (IBRAM, 1984).

Beneficiamento		
Tipo	Causa do Impacto	Parâmetro Gerador
Serragem de blocos	Lançado de rejeitos sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água.	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer solubilização de metais pelo tempo de contato com a água.
Polimento e corte	Lançado de rejeitos sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água, podendo conter insumos químicos incorporados.	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer presença de substâncias orgânicas.

Desta forma, por tudo que foi exposto, torna-se cada vez mais necessária a utilização de um método adequado e racional de deposição final que associado a um projeto tecnológico de recuperação e reciclagem dos rejeitos de granito, permita agregar algum valor a este resíduo, bem como reduzir os impostos exigidos por órgãos ambientais, devido aos efeitos deletérios causados ao meio ambiente.

2.3. A Industrialização de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas rochas lapídeas ou rochas dimensionadas ("dimension stones"), abrangem tipos litológicos que podem ser extraídos em forma de blocos, transformados

em placas, cortadas e beneficiadas através de esquadreamento, polimento, lustro, etc.

Seus principais campos de aplicações incluem, tanto as peças isoladas usadas para moldar esculturas, mesas, balcões e arte funerária em geral, como as em edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, etc. Cabe destacar ainda, a substituição da madeira e das estruturas de concreto nas construções por essas rochas (FIEC, 1992).

A industrialização destas rochas tem alcançado um desenvolvimento jamais visto no Brasil. Centenas de tipos petrográficos, com as mais variadas características (físicas, químicas e estéticas), são comercializadas no país e no exterior.

Em linhas gerais, esta industrialização pode ser entendida pelo desenvolvimento de diferentes fases, que podem ser assim resumidas: os estudos de pesquisa e extração, necessários à obtenção dos blocos; esses serão transformados em chapas nas serrarias, constituindo o desdobramento ou serragem; posteriormente, serão submetidas aos processos de acabamento para obtenção do produto final.

A Figura 2.2 mostra, em síntese, as operações realizadas durante o processo de industrialização de rochas ornamentais.

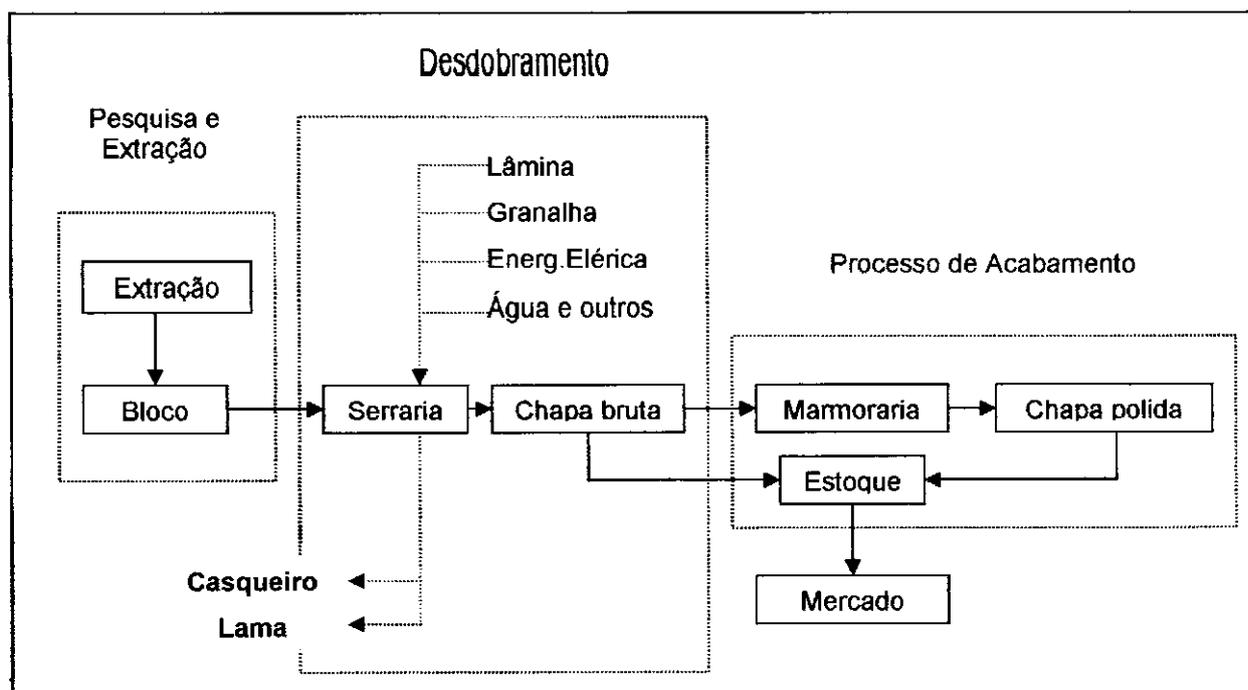


Figura 2.2 – Algumas Operações Realizadas na Industrialização de Rochas Ornamentais (NITES, 1992).

Assim sendo, para que as rochas graníticas sejam utilizadas nos mais diversos campos de aplicação (construção civil, esculturas, arte funerária, etc), é necessário que estas rochas passem por um processo de industrialização abrangendo todas as operações ilustradas na Figura 2.2. Estas operações, por sua vez, geram resíduos em abundância, especialmente a fase de desdobramento das rochas que gera o resíduo mais fino e mais poluente, e que constitui, em essência, o objeto de estudo desta dissertação.

2.3.1. Extração e Produção de Blocos de Rochas Ornamentais

O processo de pesquisa das jazidas e a extração das rochas ornamentais mostram-se muito simples e de baixo custo, em virtude dos grandes maciços aflorantes e matacões de grandes dimensões existentes, bem como do uso de uma mão-de-obra, que permita a exploração em larga escala destas rochas tanto no mercado interno como no externo.

A extração de granito não é tão homogênea como a de mármore. Nos maciços rochosos, os blocos são delineados por furos de marteletes pneumáticos e obtidos pelo uso de explosivos ou "jet flame" (maçaricos que geram chama de grande impacto para corte de granito). Nos matacões, usa-se o mesmo procedimento, porém o formato do bloco obtido, é irregular, sendo seu tamanho em função do tamanho do matacão.

2.3.2. O Processo de Desdobramento e Acabamento dos Blocos

O processo de desdobramento dos blocos, que nada mais é do que a transformação destes blocos em chapas ou placas semi-acabadas, inicia-se logo após a fase de extração e é realizado com o uso de teares. Estes teares são equipamentos robustos constituídos por quatro colunas, as quais sustentam um quadro que realiza movimento pendular, no qual são dispostas lâminas de aço no sentido longitudinal do equipamento, umas paralelas às outras.

Para SILVA (1998), os produtos desta fase da industrialização são placas serradas semi-acabadas, utilizando como principais insumos: componente abrasivo (granalha de aço, ou ferro fundido, para serragem dos blocos), água, cal ou substituto e energia elétrica.

Segundo FREIRE e MOTTA (1995), a serragem dos blocos através do uso da polpa abrasiva dá-se com o auxílio de chuveiros, que distribuem esta polpa sobre os blocos, através de bombeamento. Após infiltrar-se nos canais abertos pelas lâminas nos blocos, a polpa retorna ao tanque de bombeamento, quando novamente é bombeada.

A Figura 2.3 mostra o processo de transformação dos blocos de granito através da polpa abrasiva.



Figura 2.3 – Transformação dos Blocos de Granito Através da Polpa Abrasiva.

Todo este processo de serragem dos blocos com polpa abrasiva, que está presente na maioria das indústrias de transformação de rochas graníticas, constitui um ciclo fechado e repetitivo, fazendo com que haja acúmulo de impurezas e, conseqüentemente, o aumento de elementos nocivos na mistura. É justamente nesta fase de processamento das rochas que se tem a geração do resíduo da serragem de blocos de granito, que constitui a parcela mais fina que é descartada no controle da composição da mistura abrasiva, e que será depositada nos poços e em tanques sem qualquer cuidado do ponto de vista ambiental.

Logo após a serragem, as placas obtidas são levadas às marmorarias para receberem um polimento inicial. Em seguida, com o uso de politrizes (máquinas utilizadas para preparação de superfícies, dotadas de um disco abrasivo), as placas são desbastadas até uma fase de polimento final. Terminada a fase de polimento, inicia-se a fase de acabamento final, que engloba a operação de lustração e corte das chapas nas dimensões desejadas.

2.3.3. O Rejeito Gerado no Processo de Industrialização

Como já foi mencionado anteriormente, o rejeito da serragem de granito é a parcela mais fina que é descartada no controle da composição da mistura abrasiva utilizada na fase de desdobramento dos blocos graníticos.

Em virtude do processo de bombeamento da polpa abrasiva sobre os blocos, que constitui uma etapa de circuito fechado, esta polpa vai recebendo incrementos de fragmentos de rocha, resíduos metálicos da granalha e das lâminas, fazendo com que a mistura vá perdendo eficiência de tal forma que, se tais fragmentos não forem removidos periodicamente, a mistura ficará cada vez mais sólida, perdendo assim seu poder de corte.

Para minimizar os problemas que porventura possam ocorrer devido a esta solidificação da mistura abrasiva, é feito um controle da sua viscosidade através da adição periódica de água e descarte da parcela de menor granulometria da mistura. Esta parcela constitui o resíduo da serragem de granito propriamente dito.

Conforme PENA (1998), os principais elementos constituintes da mistura abrasiva são: a água, que confere à mistura abrasiva a fluidez necessária para o seu escoamento; o pó de pedra (detritos), que é proveniente do processo de desagregação que o material sofre quando é cortado; a cal ou similar, que atua como elementos auxiliares na obtenção da viscosidade desejada e evita a oxidação da granalha de ferro fundido na mistura; e a granalha que é o principal elemento do processo de corte do bloco em teares convencionais, pois atua como desagregador de partículas. A quantidade de ferro presente é constituída por cerca de 75% de granalha e 25% de fragmentos da lâmina.

Além disso, a mistura abrasiva utilizada no tear tem, em paralelo, a função de cortar, lubrificar e resfriar as lâminas; evitar a oxidação das chapas; servir de veículo ao abrasivo (granalha) e limpar os canais entre as chapas (STELLING, 1998). A Tabela 2.2 apresenta os constituintes da

polpa, mostrando a composição e o grau de concentração de cada elemento da polpa abrasiva.

Tabela 2.2 – Composição dos Elementos Constituintes da Polpa.

	Concentração		
		1,5	2
Densidade		1,5	2
Granalha e fragmentos da lâmina (ferro)	g/l	150	600
Cálcio ou Borra de Carbureto	g/l	10	50
Detritos	g/l	400	700
Água	g/l	500	700

A parcela descartada, que é o resíduo da serragem de granito, é transportada e depositada em poços e em seguida lançada em tanques de deposição final. Estes tanques absorvem toda a geração do resíduo do desdobramento das rochas até completar o volume total disponível. Quando o tanque atinge o seu limite de disponibilidade, o volume depositado é removido para que este fique novamente pronto para estocar o resíduo ou então é destinado um outro local de deposição final. A Figura 2.4 mostra um exemplo de um local de deposição final do resíduo de serragem de granito.



Figura 2.4 – Exemplo de um Local de Deposição Final do Resíduo.

2.4. Alternativas e Estudos Realizados para o Aproveitamento dos Resíduos

Através de dados estatísticos fornecidos pela Poligram S.A, estima-se, que o Brasil, terceiro maior produtor de rochas ornamentais, tenha uma produção de 45 milhões de toneladas, com taxa de crescimento de 6% ao ano. O volume total de resíduo, portanto, torna-se bastante significativo, quando se constata que, produzindo-se chapas de 2cm de espessura, 20 a 25% do bloco é transformado em resíduo. Isto tem motivado representantes de várias indústrias do setor a procurarem um processo que o torne um produto utilizável e que não gere danos ao meio ambiente.

Neste sentido, pode-se vislumbrar o aproveitamento dos rejeitos na forma de cacos de rocha da extração, da serraria e marmoraria de onde seriam beneficiados sobre a forma de britas ou pó de pedra, ou ainda como agregados em produtos sintéticos. Também, as granalhas e lâminas, sem utilidade para o processo de serragem, podem ser vendidas como sucata para as indústrias siderúrgicas, ao invés de serem simplesmente descartadas em lugares totalmente inadequados (SILVA, 1998).

O resíduo da industrialização do mármore é bastante solicitado para fabricação de papel, na preparação de produtos farmacêuticos (como, aspirina) e também como corantes de certos materiais da construção civil, em fundições, e como substituto ao carbonato de sódio (ROCHAS DE QUALIDADE, 1990).

Os Departamentos de Engenharia Civil, Materiais e Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande vêm desenvolvendo pesquisas desde 1997 com o rejeito da serragem de blocos de granito nas áreas de construção civil, como: argamassas, tijolos maciços sem queima, elementos de alvenaria e revestimentos cerâmicos com queima; na área de pavimentação rodoviária como "filler" na produção de misturas asfálticas. Nestas áreas têm-se os trabalhos de NEVES (2002), ARAÚJO (2002), LIMA (2003), dentre outros

mais. Na área agrícola o resíduo tem sido utilizado como corretivo de solos e, recentemente, na melhoria de solos para revestimentos primários e materiais de enchimentos em concretos asfálticos.

Por tudo o que foi exposto neste item, percebe-se que são vários os campos e alternativas existentes para o aproveitamento do resíduo da serragem de granito. É necessário apenas um maior incentivo e um maior intercâmbio entre empresas e entidades de pesquisa, para que os estudos pertinentes a este assunto caminhem de maneira progressiva.

2.5. Blocos de Concreto Simples

2.5.1. Histórico

Atribui-se o surgimento dos blocos de concreto, nos Estados Unidos, por volta de 1882 (MEDEIROS, 1993). Desde a época, o mercado consumidor de blocos de concreto já se mostrou extremamente promissor. Em todo o país, o processo de produção dos blocos de concreto foi ligeiramente disseminado, principalmente por apresentarem, enormes vantagens construtivas (MEDEIROS, 1993). No Brasil, existem registros da utilização de blocos de concreto por volta de 1940.

Os blocos de concreto para alvenaria podem ser definidos, de uma forma geral, como elementos pré-moldados de concreto, a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e miúdos, cimento e água.

Quando surgiram, os blocos eram confeccionados com a mistura de brita nº-1, a qual media de 10 a 15 mm de diâmetro médio, área de granulação média e o cimento, que é uma mistura de (silicato de cálcio, alumínio, sulfato de cálcio, "filler" carbonático e escória) (ATLÂNTICA MAQ., 2002).

A função da pedra é de preencher espaços, a da areia é de modelar e dar acabamento e por último a do cimento, que é petrificar estes materiais.

Nesta época, no entanto, a pedra, a areia, e o cimento, eram misturados manualmente e compactados em formas de madeira com pinos largos e fixados, formando assim os conhecimentos vazantes ou simplesmente os furos dos blocos (ATLÂNTICA MAQ., 2002).

Com a inovação dos tempos, foram desenvolvidas várias técnicas de fabricação de blocos, bem como máquinas vibratórias e também betoneiras. Sendo que as máquinas vibratórias para blocos têm a função de, através de vibração mecânica, acomodar os materiais previamente misturados, formando assim os blocos, e as betoneiras rotativas a função de misturar os materiais mais rapidamente, com maiores volumes de carga e melhor qualidade de mistura final, poupando o desgaste físico.

Atualmente têm-se pedreiras que fornecem todos os tipos de pedras, inclusive a brita "0", que mede de 3 a 6mm de diâmetro médio e também o pó –de –pedra ,que tem o diâmetro da areia média, o qual tem a função de melhorar a interação entre a pedra e o cimento. Estas pedreiras também fornecem estes materiais já pré-misturados, conhecidos como pedriscos mistos, havendo só a necessidade de adicionar o cimento.

As máquinas modernas de hoje fabricam todos os tamanhos e modelos de blocos, tais como: os de vedação, que tem a função de fechar vãos entre colunas; os estruturais, que além de fechar vãos também armam a construção internamente através de seus furos vazados; os meios-blocos, que além de completar a amarração da parede, quando vazados servem também para armar colunas; as canaletas e as meias canaletas servem para fazer as vigas (ATLÂNTICA MAQ., 2002).

2.5.2. Materiais Utilizados na Produção dos Blocos

Os materiais utilizados na produção dos blocos de concreto, resumem-se em:

- aglomerante;
- agregados graúdos;
- agregado miúdo;
- adições;
- água.

Também podendo ser incluídos os aditivos redutores de água e plastificantes, bem como corantes orgânicos, quando se deseja produzir componentes decorativos.

Como regra geral, a maioria dos pesquisadores indica que os materiais adequados para a produção de concreto convencional são também adequados para produção de blocos de concreto, embora considerando as peculiaridades intrínsecas de cada processo (ABCP, 1978; MEDEIROS, 1993; FERREIRA JÚNIOR, 1995, SOUSA, 2001).

O presente autor desta dissertação concorda com a indicação da maioria dos pesquisadores quanto à adequação do emprego dos mesmos materiais tanto na confecção do concreto convencional quanto na confecção de blocos de concreto. Isto se justifica, por tratar-se, em essência, do mesmo material. A grande ressalva que se faz é quanto ao processo de fabricação dos blocos, pois é exigido um controle de qualidade maior, tanto da mistura, quanto dos seus materiais constituintes, pelo fato de se tratar de produtos de fabricação seriada.

2.5.2.1. Aglomerante

A NBR 7173 (1982) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural, diz que é necessário que se obedecem às especificações das normas para o uso do tipo de cimento em concreto e

argamassas. Embora todos os tipos de cimento possam ser utilizados na produção de blocos de concreto.

Outro aspecto relevante, inerente ao processo, diz respeito à observação da compatibilidade entre o tipo de cimento e os demais materiais (agregados e aditivos principalmente), e entre o processo de cura utilizado, onde, dependendo das especificações, pode haver alterações nas propriedades dos blocos (SOUSA, 2001).

2.5.2.2. Agregados

As características dos agregados são fundamentais para a obtenção das propriedades desejadas para os blocos de concreto. As características destes materiais podem interferir na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto constituinte (MEDEIROS, 1993).

São vários os tipos de agregados que podem ser empregados na produção de blocos de concreto, podendo ser eles: areia e pedra britada, de acordo com a NBR 7211 (1983), ou agregados leves como escória de alto forno, cinzas volantes, argila expandida ou outros agregados, que satisfaçam as especificações próprias a cada um desses materiais (NBR 7173, 1982).

A Tabela 2.3 apresenta uma síntese das recomendações das principais características para os agregados destinados à produção de blocos de concreto.

Tabela 2.3 – Características Recomendadas para Agregados Destinados à Produção de Blocos de Concreto (MEDEIROS, 1993).

Características	Tolerâncias	
	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Granulometria	Atender umas das faixas granulométricas da NBR 7217	Atender à faixa granulométrica da NBR 7217, indicada para brita zero
	Módulo de finura variar mais que 0,2 para materiais de mesma origem	Dimensão máxima característica menor ou igual à metade da espessura do molde da prensa
Torrões de argila NBR 7218	1,5 %	1,0 %
Impurezas orgânicas NBR 7220	300 ppm	----
Material pulverulento NBR 7219	5,0 %	1,0 %

Muitas vezes na busca de se desenvolverem produtos (no caso blocos de concreto) de baixo custo, são utilizados materiais alternativos, incorporados aos agregados, que apresentam características bem distintas das especificadas na Tabela 2.3. Todavia, essas características distintas não contribuem de forma prejudicial na qualidade do produto final.

Neste sentido, são realizados diversos estudos, no qual o presente se insere, que buscam a utilização de materiais alternativos, geralmente poluentes e/ou sem valor econômico, na fabricação de produtos que são utilizados na construção civil, por exemplo: blocos de concreto.

2.5.2.3. Aditivos

A utilização de aditivos é regulamentada pela NBR 7173 (1982), que permite o uso destes produtos, desde que não proporcionem efeitos nocivos devidamente comprovados por ensaios.

No Brasil não existe tradição no emprego de aditivos para produção de blocos de concreto. No entanto, em outros países fabricantes destes blocos são utilizados aditivos redutores de água, que têm a função de reduzir a quantidade de água de amassamento do concreto para uma dada trabalhabilidade.

2.5.3. Etapas do Processo de Produção

2.5.3.1. Proporcionamento e Verificação das Misturas

O proporcionamento das misturas de concreto é o processo que determina a mais prática e econômica combinação dos materiais dando uma mistura que em seu estado plástico poderá ser facilmente manuseada, e que quando endurecida fornecerá a adequada resistência, durabilidade, estabilidade volumétrica e estanqueidade, para a finalidade a que se propõe (ANDRIOLO, 1984). Este procedimento pode ser em massa ou em volume dos materiais empregados na mistura. Entretanto, deve-se ressaltar que para obterem-se blocos de concreto com características pouco variáveis é preferível que os materiais sejam proporcionados em massa.

É importante ressaltar ainda que a dosagem ou proporcionamento dos materiais não pode ser encarada como uma equação matemática onde as incógnitas seriam os consumos dos materiais (ANDRIOLO, 1984). São vários os fatores que devem ser levados em conta em um processo de dosagem de concreto, dos quais os mais importantes são:

- composição da mistura sólida;
- consumo de cimento;
- dosagem de água.

Para MEDEIROS (1993), dentre esses três fatores de erros a mais comum é relacionada à dosagem de água. Nas usinas, em muitos casos, a

água é acrescentada em função da experiência dos operários, o que leva a grandes variações nas características dos blocos, principalmente devido às variações no grau de compactação durante a moldagem.

Essa opinião é compartilhada pelo autor da presente dissertação, pois a determinação e controle da relação água/cimento constitui um dos grandes entraves do processo de produção de argamassas e concretos, quer seja pelo descaso dos operários no controle da quantidade de água (buscando de toda forma uma melhor trabalhabilidade da mistura), quer seja pela própria inexistência de um estudo para determinação desta relação água/cimento.

Após ter sido feito o proporcionamento dos materiais é necessário se efetuar a sua verificação através de ensaios sobre a mistura. Para tanto é importante que a seqüência de colocação dos materiais e o tempo adequado de mistura sejam definidos em função do tipo de equipamento utilizado no processo, que no caso de blocos de concreto, não são considerados válidos os procedimentos gerais recomendados.

2.5.3.2. Moldagem e Cura dos Blocos

Após a obtenção do proporcionamento ideal faz-se a moldagem dos corpos-de-prova (para o estudo das propriedades de interesse) com várias relações água/cimento.

A cura é o processo usado para manter um teor de umidade adequado a uma temperatura favorável no concreto, durante a hidratação dos materiais aglutinantes, de modo a propiciar a adequada evolução das propriedades. A cura é essencial para a qualidade do concreto. A resistência e a durabilidade são amplamente atingidas somente se a cura for adequada, por um meio adequado.

A escolha de um processo de cura adequado pode ter como resultado, dentre outros fatores, redução no consumo de cimento e no tempo necessário de cura, o que implica em um tempo menor de permanência dos blocos na fábrica.

Basicamente existem três tipos de cura, que geralmente são utilizadas na produção dos blocos de concreto:

- cura através de autoclaves;
- cura natural ou ao ar livre;
- cura em câmara a vapor.

A cura através de autoclaves utiliza temperatura entre 150 e 205 °C e pressão de aproximadamente 1 MPa. Este método é pouco utilizado devido aos altos custos de implantação e consumo que representa.

A cura natural é ainda bastante utilizada, principalmente em situações onde as exigências de desempenho para os blocos são menores e as condições climáticas favorecem o rápido endurecimento do concreto. Neste tipo de cura, recomenda-se que os blocos permaneçam úmidos e protegidos do vento e da insolação direta, pelo menos durante os sete primeiros dias, para evitar a evaporação excessiva de água (TANGO, 1984; MEDEIROS, 1993).

A cura a vapor é normalmente empregada pelos produtores de blocos que exigem de seus componentes melhor desempenho a curtas idades. O ciclo de cura a vapor é variável, podendo chegar a 24 horas (MEDEIROS, 1993).

Desta forma, levando-se em consideração as condições climáticas da região Nordeste, bem como os fatores econômicos relacionados ao processo, a cura natural mostra-se como uma boa alternativa de utilização, devendo-se atentar, no entanto, às peculiaridades que envolvem este tipo de cura.

2.5.4. Características do Concreto para Blocos

As características do concreto, como já foi dito, são obtidas em função direta do processo de mistura dos materiais constituintes. Mistura esta que atenda não somente os critérios de economia dos materiais, mas também que proporcione ao concreto as propriedades desejáveis tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

As propriedades do concreto requeridas para blocos no estado fresco estão relacionadas com o grau de facilidade que ele proporciona ao seu manuseio durante a produção e trabalhabilidade da mistura.

A consistência necessária ao concreto para blocos está relacionada ao fato que a desmoldagem se faz com os blocos ainda no estado fresco. É necessário que o concreto, sob estas condições, apresente características que determinem a facilidade de moldagem no equipamento e o manuseio após desforma. A consistência requerida ou consistência de moldagem varia em função do equipamento utilizado.

No estado endurecido as propriedades requeridas são: resistência, durabilidade, estabilidade volumétrica e estanqueidade.

A Tabela 2.4 mostra as principais propriedades requeridas sobre o concreto para blocos no estado endurecido.

Tabela 2.4 – Propriedades do Concreto para Blocos no Estado Endurecido (TANGO, 1984).

Propriedades	Método de Ensaio	Importâncias
Resistência à compressão	NBR 7184	Relação íntima com a capacidade da parede; Ligado às quebras, transporte e manuseio.
Absorção d'água	NBR 12118	Relacionados com a permeabilidade da parede à águas de chuvas e à durabilidade dos blocos.
Umidade	NBR 12118	Relacionado à capacidade de aderência dos blocos à argamassa de revestimento no estado fresco.
Capilaridade	RILEM (Adaptação)	Relacionada com a infiltração de água por ascensão capilar.
Retração por secagem	NBR 12117	Relacionada à possibilidade de fissuração em paredes, quando do uso de traços ricos em cimento ou água, estando o concreto com idade relativamente baixa.

Normalmente, as exigências têm-se referido à resistência à compressão e à absorção d'água (NBR 7173, 1982). A busca por maior resistência, em termos gerais, implica na redução dos valores de absorção de água. Com relação às demais propriedades devem-se avaliar isoladamente as especificações requeridas para cada aplicação.

2.6. Efeito das Adições Minerais em Concretos

Ao longo dos tempos tem-se percebido grandes avanços nos estudos no que se refere ao aumento de desempenho do concreto. Isto se justifica porque o concreto é um dos materiais mais utilizados mundialmente na construção civil. Sendo assim, essa busca incansável pelo aumento de desempenho, associada à necessidade de um desenvolvimento racional e sustentável, faz com que o uso de adições no concreto venha sendo largamente utilizado e, na maioria dos casos com muito sucesso.

A utilização de adições minerais no concreto tem proporcionado ganho no seu desempenho, tanto no estado fresco como no estado endurecido, bem como nas propriedades mecânicas e durabilidade. Além do aumento do desempenho dos concretos produzidos com adições, ocorre também uma contribuição efetiva para um maior desenvolvimento sustentável (BILODEAU e MALHOTRA, 2000).

Segundo GONÇALVES (2000), dentre as adições utilizadas atualmente, encontram-se as que possuem atividade pozolânica (sílica ativa, cinza de casca de arroz, cinza volante - Classe F), as que possuem atividade cimentante (escória de alto forno, cinza volante – Classe C) e as que não possuem atividade, que são os “fillers” (material carbonático, pó de quartzo, pó de pedra, entre outros).

Segundo METHA e MONTEIRO (1994), adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, que podem ser naturais ou subprodutos industriais, podendo ter atividade pozolânica ou cimentante. Segundo NEVILLE (1997), NBR 12653 (ABNT, 1992), pozolana é um material silicoso ou sílico-aluminoso que, por si só, tem pouco ou nenhum valor cimentício, mas, quando finamente subdividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente formando compostos com propriedades cimentícias.

Para KYHARA (1981), pozolanas são materiais naturais ou artificiais, silicosos e aluminosos que por si só não possuem poder aglomerante, mas que em presença de água à temperatura ambiente, reagem com o hidróxido de cálcio, dando compostos de poder aglomerante. No Brasil, a atividade de uma pozolana é determinada pelo índice de atividade pozolânica com cimento (NBR 5752, ABNT 1992) ou com cal (NBR 5751, ABNT 1992).

Dentre as adições minerais que não possuem atividade pozolânica, encontram-se os “fillers” que possuem apenas o efeito físico dentro do concreto.

Segundo PETRUCCI (1993), os “fillers” são agregados muito finos, compreendidos entre 5 e 75 μm , que podem ser utilizados em concreto asfáltico, adição a cimentos, adição a concretos, entre outros. Para NEVILLE (1997), um “filler” é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido as suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto, como trabalhabilidade, densidade, segregação, permeabilidade, capilaridade, exsudação ou tendência à fissuração.

Em virtude da grande diversidade existente no que se refere à definição de “filler”, torna-se coerente e recomendável se fazer a distinção entre um agregado muito fino de uma adição. Esta distinção sugere uma classificação dos agregados muito finos em adição “filler” e agregado “filler”, na qual:

- adição “filler” - também chamada apenas de “filler”, são partículas muito finas ou moídas, que apresentam diâmetro médio $< 50 \mu\text{m}$, e contribuem, principalmente, para um melhoramento da matriz cimentícia, para um maior preenchimento dos vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento ou pela não hidratação do cimento;
- agregado “filler” - são partículas finas, que apresentam diâmetro médio entre 50 e 150 μm , e contribuem, principalmente, para o preenchimento dos vazios deixados pela descontinuidade da curva granulométrica do agregado miúdo, ou seja, preenchimento dos vazios deixados pelo desajuste, desarrumação dos agregados.

Segundo GONÇALVES (2000), dentre os “fillers” mais utilizados, encontram-se o material carbonático, pó de quartzo e pó de pedra.

2.7. Considerações Finais

A reciclagem pode gerar benefícios sociais adicionais, através de uma política habitacional, favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixo custo, utilizando-se produtos reciclados de desempenho comprovado.

Através da reciclagem de resíduos, como os de materiais de construção, é possível amenizar o significativo impacto gerado ao meio ambiente pelos processos industriais como um todo. Tais benefícios são evidenciados na forma da conservação de matérias primas não renováveis, redução do consumo de energia, desenvolvimento mais sustentável, melhoria da saúde e segurança da população e preservação do meio ambiente, etc.

Todavia, o emprego de materiais alternativos deve ser bem criterioso. Pois como já foi mencionado anteriormente, eles geralmente apresentam características bem distintas das especificadas nas normas que regulam a fabricação do determinado produto, cujo material alternativo está sendo incorporado.

O uso de materiais reciclados a partir de resíduos depende de diversas variáveis que envolvem aspectos como: a resistência do material quando solicitado às cargas de uso; a trabalhabilidade do material alternativo, levando em conta o seu armazenamento e manuseio; a relação custo/benefício, através da avaliação do grau de redução do impacto ambiental causado pelo material alternativo e dos custos gerados pelo seu emprego; dentre outros fatores.

Desta forma, levando-se em consideração os diversos fatores que envolvem a questão da reciclagem, foi feito um levantamento das condições atuais de toda problemática envolvendo os resíduos gerados na industrialização de rochas ornamentais, principalmente na cidade de Campina Grande, bem como de suas interações com o meio ambiente, na

busca de se explorar a potencialidade do uso do resíduo proveniente da serragem de granito, como material alternativo incorporado ao agregado miúdo (areia), na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Generalidades

Este capítulo descreve os materiais utilizados, englobando o processo de obtenção, coleta e caracterização destes materiais, como também os ensaios necessários à avaliação de parâmetros de desempenho dos blocos de concreto simples, obtidos com o aproveitamento do resíduo da serragem de granito, utilizando diferentes proporções deste resíduo.

3.2. Projeto Experimental

3.2.1. Etapas do Projeto Experimental

O projeto experimental foi dividido em:

Etapa I – Coleta, processamento e caracterização dos materiais

Esta etapa foi constituída pela coleta, processamento e caracterização dos materiais utilizados em toda a pesquisa: cimento, agregados convencionais (areia e brita "0") e o resíduo da serragem de granito.

Etapa II – Análise dos parâmetros de mistura

Nesta etapa foram feitos estudos referentes aos parâmetros de mistura utilizados na produção dos blocos. Estes estudos foram realizados, tomando-se como base os traços convencionais de referência 1:4; 1:6 e 1:8, nos quais foram analisados: umidade de moldagem e resistência à compressão, através da moldagem e análise de blocos de concreto.

Etapa III – Moldagem e análise dos blocos de concreto

Nesta última etapa foram moldados os blocos de concreto para as diversas incorporações do resíduo da serragem de granito, utilizando-se como valores de análise e comparação os valores obtidos para os blocos de concreto moldados com os traços convencionais de referência, processo que foi realizado na Etapa II.

3.3. Obtenção e Caracterização dos Materiais

3.3.1. Obtenção dos Agregados

3.3.1.1. Agregados Convencionais

Os agregados utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram adquiridos na própria região de Campina Grande, sendo fornecidas por empresas especializadas na distribuição de materiais utilizados na produção de concreto para blocos.

O agregado graúdo (brita granítica "0"), foi fornecido pela pedreira BRITEX, localizada na BR – 230 km 21, na região de Campina Grande, tendo sido adquiridos 2m^3 deste agregado.

O agregado miúdo utilizado em toda pesquisa foi uma areia de rio lavada, cujo areial se encontrava às margens do rio Paraíba, numa localidade denominada Barra de Santana, no estado da Paraíba, tendo sido adquiridos também 2m^3 deste material.

É importante ressaltar que as quantidades de agregados utilizadas foram obtidas em função de uma estimativa do número de blocos de concreto que seriam moldados, acrescentando-se um percentual para suprir eventuais desperdícios que pudessem ocorrer destes agregados.

Estes agregados foram armazenados em local reservado, próximo ao laboratório no qual foram moldados e curados os blocos de concreto, sendo devidamente cobertos por lonas plásticas para evitar incorporações de sujeira, bem como aumento de umidade pela ação de chuvas. A Figura 3.1 mostra os agregados convencionais utilizados na pesquisa em seu local de armazenamento.



Figura 3.1 – Agregados Convencionais Utilizados na Pesquisa.

3.3.1.2. Resíduo da Serragem de Granito

Foram utilizados em toda pesquisa os resíduos da serragem de granito provenientes de duas grandes empresas do estado da Paraíba, sendo elas: Empresa FUJI S.A. Mármore e Granitos, localizada na Alça Sudoeste, S/N, Distrito Industrial, Ligeiro, Campina Grande – PB e Empresa POLIGRAN, Polimento de granitos do Brasil S/A, localizada também na Alça Sudoeste, km 14, quadra 18, Distrito Industrial do Ligeiro, Campina Grande – PB.

O resíduo proveniente da Empresa FUJI é originário dos teares e geralmente é constituído de água, cal moída, granelha e pó de granito. Apresenta-se na forma de aglomerados e após secagem a 110° C é de fácil desagregação manual, sendo encontrado na cor cinza escura. Os granitos

ornamentais da FUJI são provenientes dos municípios de Taperoá e Baraúnas no estado da Paraíba e são conhecidos comercialmente como granito Preto Taperoá e granito Bege Itapocim. Apresentam-se com granulação grosseira e média de coloração branca, preta e cinza. Atualmente estão sendo comercializados somente no Brasil (NEVES, 2002).

O resíduo proveniente da Empresa POLIGRAN, denominado de lama abrasiva, também originário dos teares, é também geralmente constituído de água, cal moída, gralha e pó de granito. Apresenta-se na forma de polpa e após secagem a 110° C é de fácil desagregação manual e de cor cinza clara. Os granitos ornamentais da Indústria POLIGRAN são provenientes dos municípios de Sumé, Picuí, Serra Branca e Pocinhos no estado da Paraíba e são conhecidos comercialmente como granito Sucuru, granito Picuí e granito São Marcos, respectivamente. Apresentam-se sob forma de grandes maciços rochosos e matações. A estrutura dessas rochas apresenta-se com granulação grosseira e média com coloração cinza escura, branca e bege. Atualmente os granitos ornamentais estão sendo comercializados no Brasil e exterior, principalmente para países europeus (NEVES, 2002).

Como se percebe, além do fato dos resíduos das duas empresas FUJI e POLIGRAN serem provenientes de jazidas do estado da Paraíba, estes apresentam características e propriedades muito semelhantes. Desta forma, o resíduo utilizado em toda esta pesquisa foi obtido através da mistura dos resíduos provenientes destas empresas, de maneira a garantir um resíduo homogêneo, possibilitando a fabricação de blocos de concreto sem nenhuma restrição, ou especificação quanto à origem do resíduo utilizado.

As amostras de resíduo de serragem de granito foram coletadas na forma de polpa (pó) sendo posteriormente secas em estufa à 110° C e em seguida destorroadas para serem colocadas em sacos plásticos, devidamente lacrados e identificados através de etiquetas.

3.3.2. Caracterização dos Materiais

3.3.2.1. Cimento

Durante toda pesquisa foi utilizado o cimento do tipo CII Z – 32, por este ser o aglomerante mais utilizado nas obras da região. Nas Tabelas 3.1 e 4.2 são apresentadas as principais características físicas e químicas do cimento utilizado, fornecidas pelo fabricante, bem como uma comparação com os limites admitidos por normas sobre o assunto. A Figura 3.2 mostra o tipo de cimento utilizado durante toda a pesquisa.



Figura 3.2 – Cimento Utilizado na Pesquisa.

Tabela 3.1 – Características Físicas do Cimento Utilizado.

Características	Resultados	Especificações	Método de ensaio
Massa Específica (g/cm ³)	2,94	-	NBR NM 23/01
Finura Malha nº 200(%)	3,8	≤ 12,0	NBR 11579/91
Área Específica Blaine (cm ² /g)	3845	≥ 2600	NBR NM 76/98
Massa Unitária (g/cm ³)	1,166	-	-
Início de Pega (h:min)	2:39	≥ 1:00	NBR 11581/91
Fim de Pega (h:min)	5:10	≤ 10:00	NBR 11581/91
Expansibilidade à quente	0,1	≤ 5,0	NBR 11582/91
Resistência 1dia (MPa)	10,2	nd	NBR 7215/96
Resistência 3 dias (MPa)	22,1	≥ 10	NBR 7215/96
Resistência 7 dias (MPa)	28,7	≥ 20	NBR 7215/96
Resistência 28 dias (MPa)	35,3	≥ 32	NBR 7215/96

FONTE: CIMEPAR – Companhia Paraibana de Cimento Portland.

Tabela 3.2 – Características Químicas do Cimento Utilizado.

Características	Resultados	Especificações	Mét. Ensaio
Perda ao Fogo (%)	6,14	≤ 6,5	
Dióxido de Silício – SiO ₂ (%)	21,19	-	
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃ (%)	7,12	-	
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃ (%)	2,17	-	
Óxido de Cálcio – Cão (%)	27,30	-	
Óxido de magnésio – MgO (%)	4,69	≤ 6,5	
Anidrido Sulfúrico – SO ₃ (%)	2,35	≤ 4,0	
Anidrido Carbônico – CO ₂ (%)	-	≤ 5,0	
Óxido de Cálcio Livre – Cão Livre (%)	1,24	-	
Resíduo Insolúvel (%)	8,05	≤ 16,0	

FONTE: CIMEPAR – Companhia Paraibana de Cimento Portland.

3.3.2.2. Agregados Convencionais

Os agregados utilizados na pesquisa foram os tradicionalmente utilizados na região para a produção de blocos de concreto. Sendo estes:

- agregado Miúdo: Areia lavada de rio;
- agregado Graúdo: Brita granítica "0".

Os métodos de ensaios de caracterização física dos agregados estão apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4, cujos resultados serão mostrados no capítulo seguinte.

Tabela 3.3 – Ensaios de Caracterização do Agregado Graúdo (Brita "0").

Características	Método de ensaio
Massa Específica	NBR 9937
Massa Unitária – estado solto	NBR 7251
Massa Unitária – estado compactado	NBR 7810
Composição granulométrica	NBR 7217

Tabela 3.4 – Ensaio de Caracterização do Agregado Miúdo (Areia).

Características	Método de ensaio
Massa Específica	NBR 9776
Massa Unitária – estado solto	NBR 7251
Massa Unitária – estado compactado	NBR 7810
Teor de argila em torrões	NBR 7218
Teor de materiais pulverulentos	NBR 7219
Composição granulométrica	NBR 7217

3.3.2.3. Resíduo da Serragem de Granito

NEVES (2002) caracterizou amostras de resíduo de serragem de granito provenientes de indústrias da Paraíba, Ceará e Pernambuco. Como o resíduo da serragem de granito, objeto desta presente dissertação, se insere nestes resíduos caracterizados por NEVES (2002), e por tratar-se de um trabalho muito recente, ano 2002, toda esta etapa de caracterização do resíduo foi utilizada nesta presente dissertação.

A caracterização física foi feita através dos seguintes métodos: análise granulométrica por peneiramento e sedimentação pelo método do densímetro, sedimentação através de absorção de luz óptica e massa específica real. A caracterização mineralógica foi realizada através dos seguintes métodos: análise química; análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG) e análise dilatométrica (AD), difração de raios-x, área específica pelo método BET e microscopia eletrônica de varredura.

3.4. Variáveis de Estudo

O projeto experimental consiste na investigação das composições a serem utilizadas no estudo. De posse dos traços de referência existentes, proporção aglomerante: agregados, foram feitas incorporações do resíduo da

serragem de granito no percentual de agregado miúdo, areia, utilizada nestes traços de referência para a confecção do concreto para blocos.

Neste estudo, foram estabelecidas algumas variáveis do processo de produção dos blocos, consideradas indispensáveis ao desenvolvimento da pesquisa. Dentre estas variáveis, as mais importantes e mais analisadas na pesquisa são mostradas na Figura 3.3.

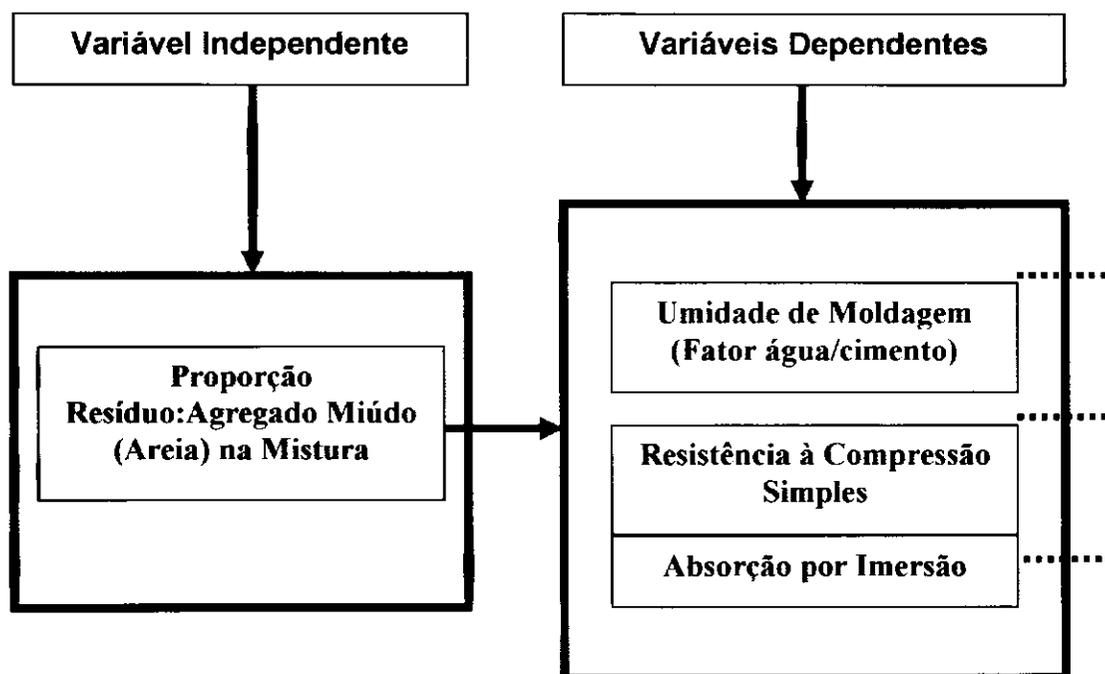


Figura 3.3 – Esquema Mostrando as Variáveis de Estudo.

O objetivo da análise da proporção resíduo:agregado miúdo (areia) na mistura, foi a investigação do comportamento desta mistura [cimento; agregado miúdo (areia); agregado graúdo (brita 0)] em relação aos resultados de umidade de moldagem, resistência à compressão e índice de absorção de água. Sendo utilizado para isto os seguintes traços de referência: 1:4; 1:6 e 1:8.

3.5. Análise dos Parâmetros da Mistura

A análise dos parâmetros de mistura foi realizada em duas fases: escolha do traço de referência e escolha da umidade ideal de moldagem. A Figura 3.4 apresenta os materiais utilizados na mistura.

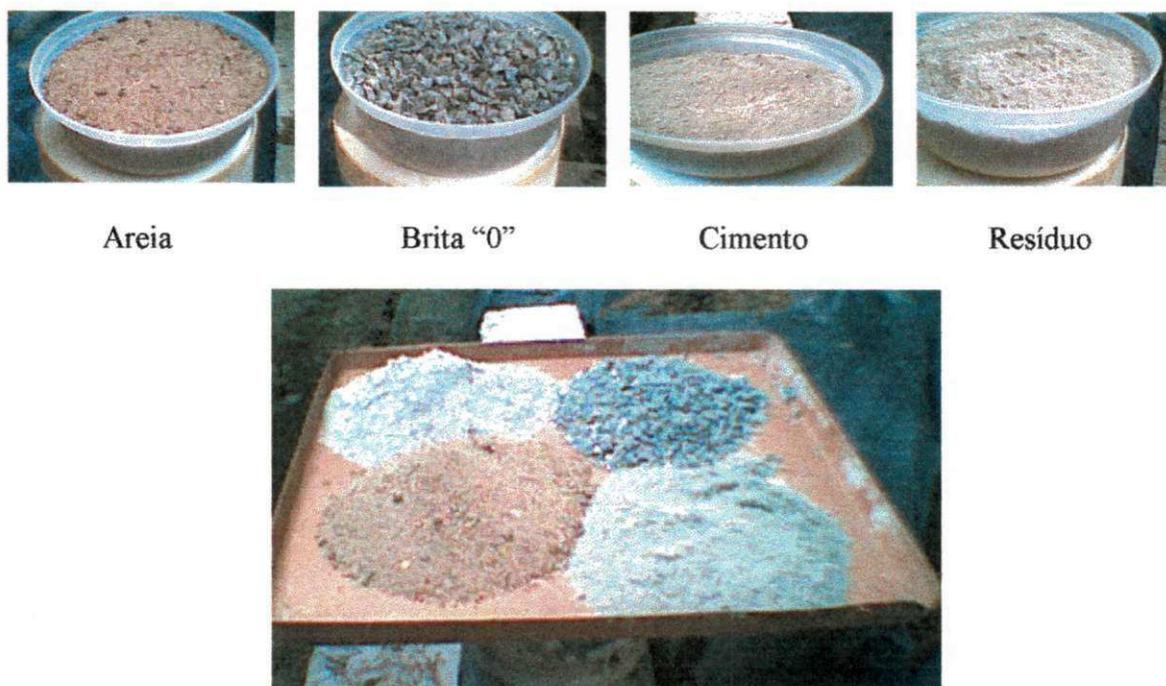


Figura 3.4 – Materiais da Mistura.

É importante ressaltar a existência de uma inter-relação entre as variáveis dependentes de estudo, pois a umidade de moldagem influi consideravelmente nas variáveis dependentes estudadas.

Na primeira fase foram moldados 18 blocos de concreto de cada traço convencional de referência estudado, isto é, 1:4; 1:6 e 1:8, sendo seis para cada tempo de cura avaliado (7, 28 e 63 dias). Os critérios de seleção utilizados para a escolha do traço convencional de referência a ser utilizado foram os seguintes: critérios de resistência e absorção de água, e fatores econômicos, isto é, menor consumo de cimento.

a) Resistência à compressão e absorção de água

Segundo as normas NBR 7184/91 e NBR 12118/91, respectivamente, resistência à compressão e absorção de água, os blocos vazados de concreto não devem apresentar a média do valor da resistência à compressão menor que 2,5 MPa nem valor individual inferior a 2,0 MPa e, ainda, a média dos valores de absorção de água não deve ser superior a 10% nem valores individuais superiores a 15%.

b) Fatores econômicos

Este critério diz respeito ao consumo de cimento em relação à massa de agregados contida no traço.

É importante ressaltar que nesta fase de análise dos parâmetros foram avaliados os tempos de 7 e 28 dias de cura para resistência à compressão simples e apenas o tempo de 28 dias de cura para absorção de água.

Na segunda fase de análise o objetivo foi mensurar a umidade ótima de moldagem para os blocos de concreto, que seria utilizada para cada composição efetuada na pesquisa.

Para a determinação do que foi considerada umidade ótima, foram realizados os seguintes procedimentos:

- através de estudos já realizados por outros pesquisadores do assunto, foi utilizado um fator água/cimento inicial;
- com o uso deste fator água/cimento inicial foram moldados 3 blocos de concreto, nas mesmas condições que serão descritas posteriormente;
- em seguida foram moldados mais 3 blocos de concreto com um fator água/cimento inferior ao inicial e mais 3 blocos com um fator água/cimento superior ao inicial;

- depois de moldados, os 9 blocos foram levados para um período de cura de 7 dias;
- após esta cura, os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão;
- com os valores obtidos traçou-se uma curva, tendo no eixo das abscissas os fatores água/cimento, e no eixo das ordenadas as respectivas resistências à compressão;
- a umidade ótima foi considerada como sendo aquela correspondente ao ponto de máximo da curva.

Todo este procedimento foi realizado para cada composição de mistura utilizada na pesquisa, tanto composições convencionais, como as com incorporações do resíduo da serragem de granito.

É importante ressaltar que também nesta fase foram utilizados os mesmos critérios da primeira fase de análise, isto é, características físicas e econômicas das composições, no entanto foi utilizado apenas a propriedade de resistência à compressão simples para o tempo de cura de 7 dias.

A Figura 3.5 mostra um fluxograma do processo de desenvolvimento dos blocos vazados de concreto com o aproveitamento do resíduo da serragem de granito, ilustrando bem toda a análise dos parâmetros de mistura efetuada.

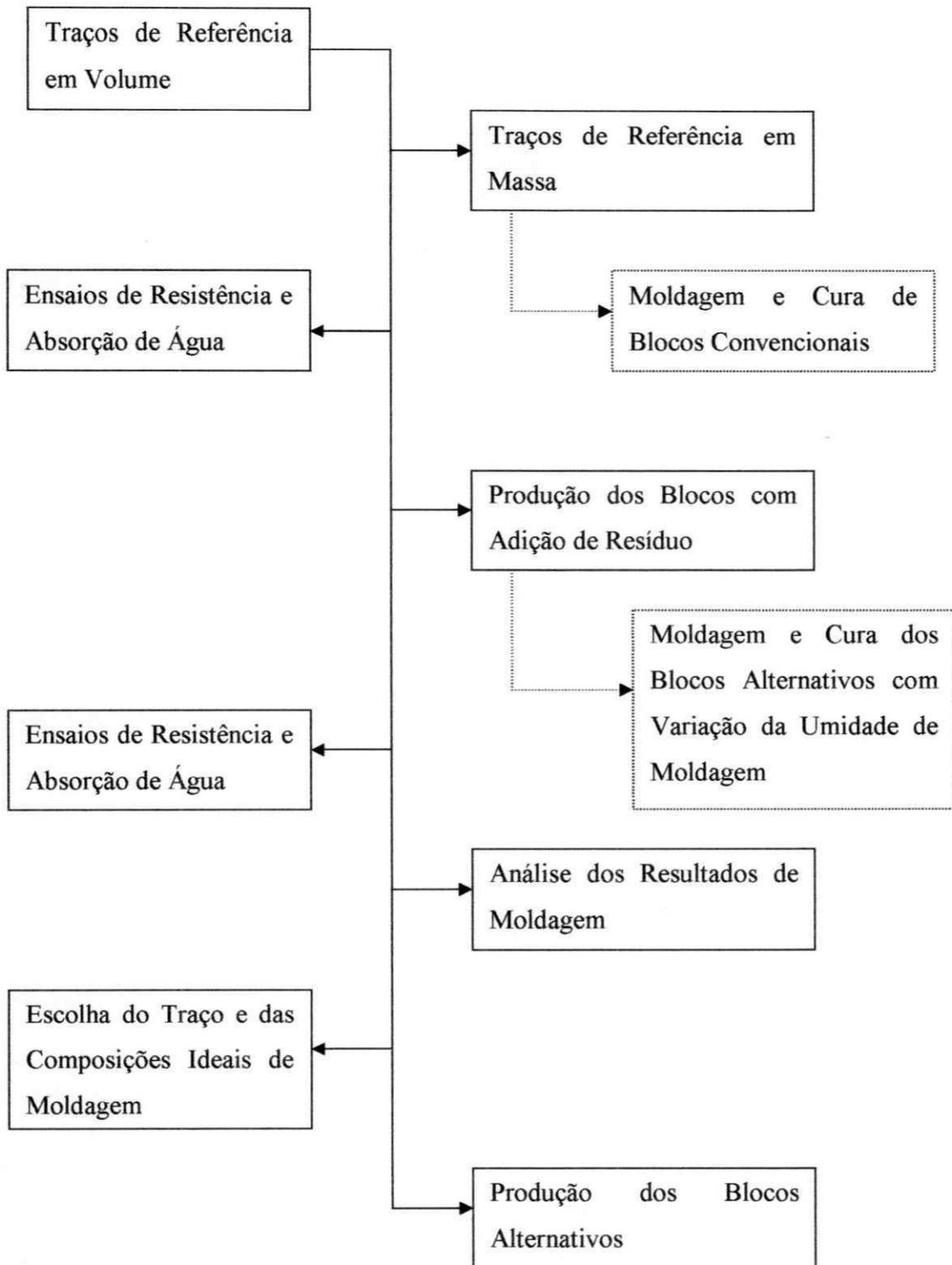


Figura 3.5 – Fluxograma do Processo de Desenvolvimento de Blocos de Concreto com o Aproveitamento do Resíduo da Serragem de Granito.

3.6. Ensaio Tecnológicos

Após a análise dos parâmetros da mistura, apresentada no item anterior, na qual se determinou o traço e o *fa/c* ideal para a confecção dos blocos, deu-se início aos ensaios tecnológicos que envolveram moldagem, cura, ensaio de resistência à compressão simples e absorção de água por imersão dos blocos de concreto.

3.6.1. Moldagem dos Blocos de Concreto

A moldagem dos blocos de concreto foi realizada com o uso de uma máquina apropriada da marca Atlântica Maq. Estes blocos foram moldados com suas dimensões básicas, que são: 19cm de altura; 9cm de largura e 39cm de comprimento.

O processo de moldagem realizado pode ser resumido nas operações descritas a seguir:

- as paredes internas do molde da máquina são untadas com óleo mineral;
- preenche-se o molde da máquina com concreto, utilizando para isto uma colher-de-pedreiro;
- liga-se a máquina, esperam-se alguns segundos para que o concreto seja adensado, e em seguida aciona-se a alavanca da máquina para permitir a saída dos blocos de dentro dos moldes da máquina;
- retiram-se os blocos da máquina, levando-se imediatamente para o processo de cura.

A Figura 3.6 apresenta os detalhes do processo de moldagem dos blocos de concreto.



Figura 3.6 – Detalhe do Processo de Moldagem dos Blocos.

3.6.2. Cura dos Blocos de Concreto

O processo de cura foi realizado em duas etapas, sendo estas:

Etapa Inicial

Esta etapa de cura foi realizada logo após a moldagem e compreendeu um período de 24 horas dentro de uma câmara úmida.

Etapa Final

Depois de permanecerem 24 horas na câmara úmida, os blocos de concreto foram removidos para o tanque de cura, para que se completasse o tempo de cura desejado nos ensaios, isto é, 7, 28 e 63 dias. A Figura 3.7 mostra o detalhe da câmara úmida e do tanque de imersão utilizados no processo de cura dos blocos de concreto.



Figura 3.7 – Detalhe da Câmara Úmida e do Tanque de Imersão.

3.6.3. Ensaio de Resistência à Compressão dos Blocos de Concreto

A análise da resistência à compressão foi realizada para os tempos de 7, 28 e 63 dias, de acordo com as necessidades do material estudado e conforme o procedimento descrito pela NBR 7184/91.

A resistência à compressão foi obtida pela divisão da carga máxima de ruptura, que é verificada no momento no qual o ponteiro de carga da prensa sofre um ligeiro recuo, pela área da secção transversal do bloco de concreto, sendo os resultados expressos com aproximação de 0,1 MPa.

A Figura 3.8 apresenta o detalhe do bloco de concreto rompendo durante o ensaio de resistência à compressão simples.



Figura 3.8 – Detalhe do Bloco Rompendo.

3.6.4. Ensaio de Absorção por Imersão dos Blocos de Concreto

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado para os blocos de concreto após 28 dias de cura, sendo utilizados para isto pedaços de blocos rompidos. Este ensaio foi realizado seguindo-se os procedimentos descritos na NBR 12118/91.

O valor da absorção de água por imersão (A_b) em porcentagem é obtido através da Equação 3.1:

$$A_b = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (3.1)$$

Sendo:

A_b = absorção de água por imersão (%);

M_s = massa da amostra seca em estufa (kg);

M_{sat} = massa da amostra saturada em água com superfície seca (kg).

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Generalidades

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização realizados sobre os materiais empregados na pesquisa, dos testes de moldagem utilizados para verificação dos melhores parâmetros de mistura, bem como dos ensaios necessários à avaliação de parâmetros de desempenho dos blocos de concreto sem função estrutural, desenvolvidos com o aproveitamento do resíduo da serragem de granito, que no caso específico desta pesquisa engloba os ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água destes blocos.

4.2. Caracterização dos Materiais

4.2.1. Cimento

O tipo de cimento utilizado em toda pesquisa foi o CP II Z – 32 cujas principais características foram fornecidas pelo fabricante, tendo sido já apresentadas no capítulo anterior no Item 3.3.2.1.

4.2.2. Agregados Convencionais

4.2.2.1. Agregado miúdo (areia)

As principais características físicas da areia utilizada na pesquisa são apresentadas na Tabela 4.1. O resultado do ensaio da composição

granulométrica é mostrado na Tabela 4.2 e a curva granulométrica na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Características Físicas do Agregado Miúdo Utilizado (Areia).

Características	Resultado
Massa Específica	2558 kg/m ³
Massa Unitária – estado solto	1512 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1645 kg/m ³
Dimensão Máxima	2,4 mm
Módulo de finura	2,02
Teor de argila em torrões	1,28%
Teor de materiais pulverulentos	2,53%

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo (areia) utilizado nesta pesquisa estão de acordo com as exigências estabelecidas pela NBR 7211/83 – Agregados para concreto, tendo em vista que todas as características mencionadas na Tabela 4.1 ficaram enquadradas dentro dos limites estabelecidos por esta norma.

Através da análise do resultado da composição granulométrica, mostrada na Tabela 4.2 e Figura 4.1, verifica-se que a areia utilizada enquadra-se nos limites da Zona 2 apresentados na NBR 7211/83, classificando-se, portanto como areia fina.

Desta forma, o agregado miúdo (areia) utilizado nesta pesquisa pode ser empregado sem nenhuma restrição na fabricação dos blocos de concreto que compõem o objeto desta pesquisa.

Tabela 4.2 – Composição Granulométrica do Agregado Miúdo Utilizado (Areia).

Abertura (mm)	Material Retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,19	0,19	99,81
6,3	0,54	0,73	99,27
4,8	0,47	1,20	98,80
2,4	2,29	3,49	96,51
1,2	5,56	9,05	90,95
0,6	18,95	28,00	72,00
0,3	38,56	66,56	33,44
0,15	26,23	92,79	7,21
Resto	7,21	100,00	0,00

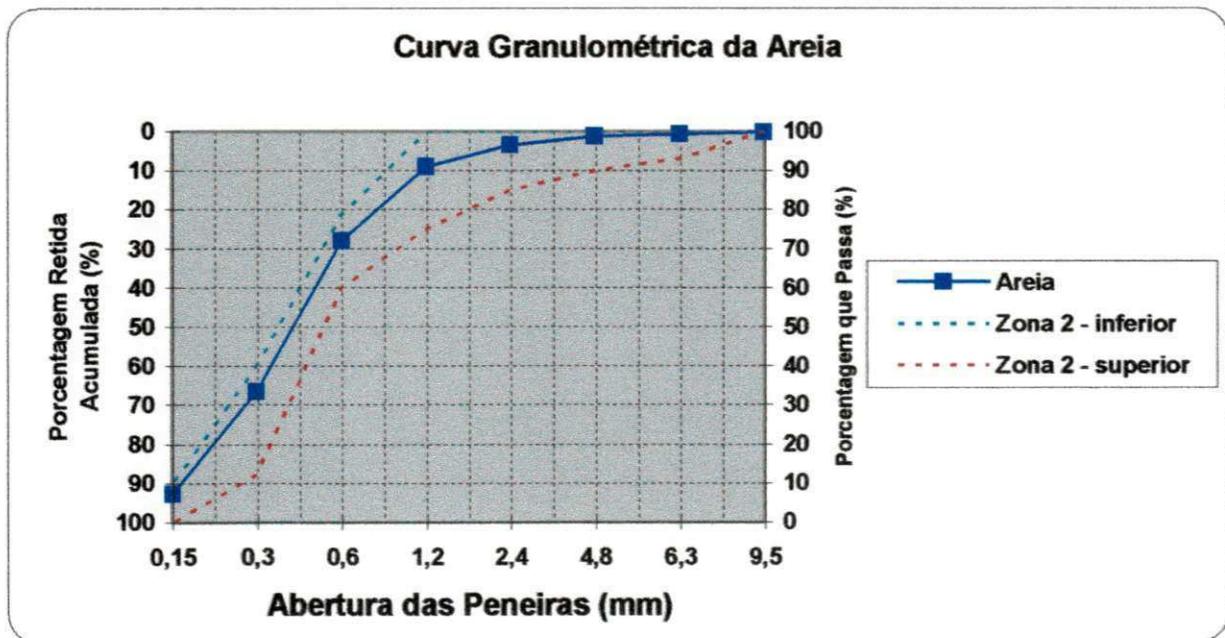


Figura 4.1 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo (Areia) e seu Respeetivo Enquadramento na Zona de Classificação Estabelecida pela NBR 7211/83.

4.2.2.2. Agregado graúdo (brita “0”)

As principais características físicas da brita “0” utilizada na pesquisa são apresentadas na Tabela 4.3. O resultado do ensaio da composição granulométrica é mostrado na Tabela 4.4 e a curva granulométrica na Figura 4.2.

Tabela 4.3 – Características Físicas do Agregado Graúdo Utilizado (Brita “0”).

Características	Resultado
Massa específica seca	2628 kg/m ³
Massa específica saturada superfície seca	2661 kg/m ³
Absorção	0,91%
Massa Unitária – estado solto	1416 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1738 kg/m ³
Dimensão Máxima	9,5 mm
Módulo de finura	5,27

Tabela 4.4 – Composição Granulométrica do Agregado Graúdo Utilizado (Brita “0”).

Abertura (mm)	Material Retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
19,0	0,00	0,00	100,00
12,5	0,50	0,50	99,50
9,5	0,51	1,01	98,99
6,3	22,62	23,63	76,37
4,8	26,55	50,18	49,82
2,4	29,93	80,11	19,89
1,2	7,20	87,31	12,69
0,6	4,48	91,79	8,21
0,3	3,22	95,02	4,98
0,15	2,66	97,68	2,32
Resto	2,32	100,00	0,00

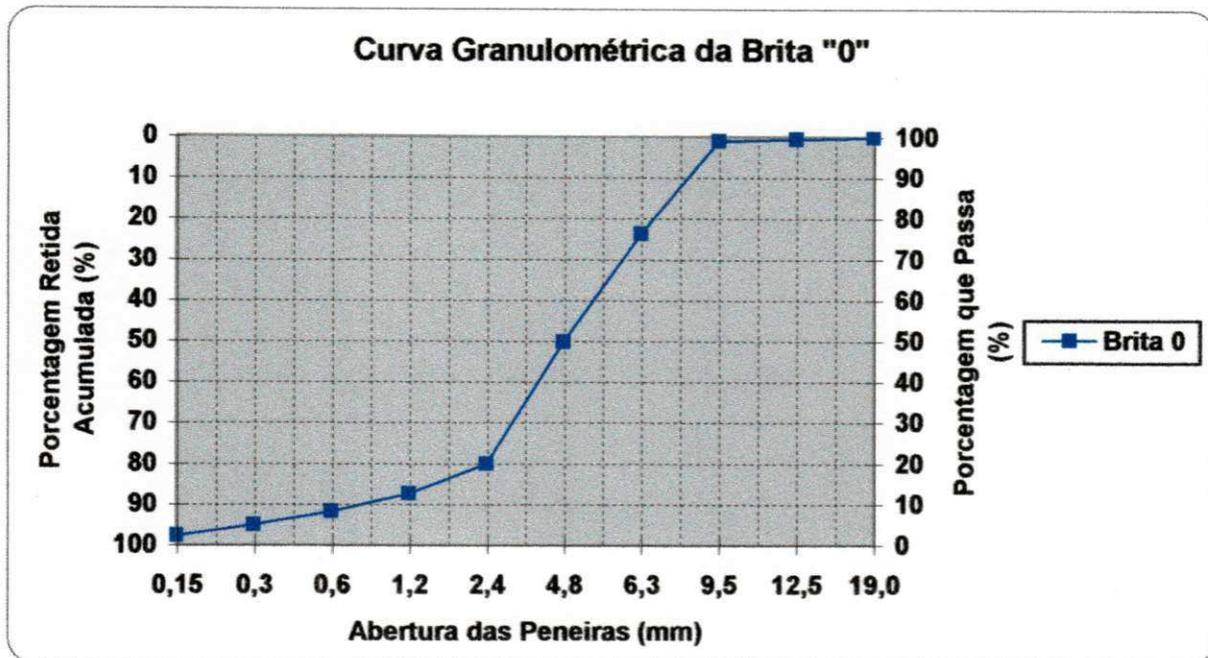


Figura 4.2 – Curva Granulométrica do Agregado Graúdo (Brita "0").

Através da análise dos resultados dos ensaios de caracterização realizados sobre o agregado graúdo utilizado, verifica-se que este atende perfeitamente a todas as características exigíveis estabelecidas na NBR 7211/83 – Agregados para concreto, podendo desta forma ser utilizado sem nenhuma restrição na produção dos blocos de concreto, objeto desta pesquisa.

4.2.3. Resíduo da Serragem de Granito

Todos os resultados dos ensaios de caracterização sobre o resíduo da serragem de granito que serão apresentados neste capítulo foram fornecidos por NEVES (2002), uma vez que os resíduos de serragem de granito utilizados nesta pesquisa estão inseridos naqueles estudados por este autor em seu trabalho de doutorado realizado no ano de 2002.

4.2.3.1. Caracterização Física

a) Massa Específica Real (MER)

A Tabela 4.5 apresenta os resultados da massa específica real dos resíduos utilizados nesta pesquisa.

Tabela 4.5 – Massa Específica Real dos Resíduos.

Resíduos	Massa Específica Real (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
FUJI	2,70	± 0,0008
POLIGRAN	2,69	± 0,0005

b) Distribuição do Tamanho das Partículas

A Tabela 4.6 apresenta valores da distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação dos resíduos utilizados nesta pesquisa.

Tabela 4.6 – Distribuição Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação dos Resíduos.

Resíduos	Massa Acumulada (%)								
	Diâmetro Médio das Partículas (µm)								
	70	60	50	40	30	20	10	5	2
FUJI	80,0	75,0	71,0	65,0	63,0	52,0	36,0	19,0	7,0
POLIGRAN	99,0	97,0	96,0	90,0	86,0	77,0	57,0	34,0	15,0

A Tabela 4.7 apresenta os resultados das áreas específicas dos resíduos estudados, determinado pelo método de sedimentação através de luz óptica e BET.

Tabela 4.7 – Áreas Específicas (AE) dos Resíduos.

Resíduos	A.E (Sedimentação) (m ² /g)	A.E (BET) (m ² /g)
FUJI	0,46	6,16
POLIGRAN	0,46	11,41

4.2.3.2. Caracterização Mineralógica

a) Análise Química (AQ)

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores da composição química dos resíduos utilizados nesta pesquisa.

Através da observação dos valores contidos na Tabela 4.8, NEVES (2002) conclui que os resíduos estudados apresentam teores de SiO₂ em torno de 60%, Al₂O₃ variando de 12% a 14% e Fe₂O₃ em torno de 6%. Resultados estes, segundo NEVES (2002), que confirmam que os resíduos são provenientes de rochas graníticas. Já a presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe₂O₃) encontrados nos resíduos é atribuída principalmente à granalha e cal utilizadas como abrasivos e lubrificantes, respectivamente, no processo de desdobramento dos blocos de rochas graníticas.

Tabela 4.8 – Composição Química dos Resíduos no Estado Natural.

Resíduos	PF (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
FUJI	2,57	60,20	6,30	13,80	6,02	traços	3,38	3,63
POLIGRAN	4,44	59,61	5,98	11,77	4,48	traços	2,70	3,63

b) Análise Térmica (ATD e ATG)

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam as curvas de análises termodiferenciais (ATD) e termogravimétricas (ATG) dos resíduos utilizados nesta pesquisa.

A análise das curvas ATD dos resíduos, das Figuras 4.3 e 4.4, mostra que estes resíduos possuem comportamento semelhante, tendo em vista que eles apresentaram: pico endotérmico de pequena intensidade a 110° C, indicando perda de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade a 556° C, correspondente à transformação de quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico de pequena intensidade, correspondente à perda de hidroxilas da mica a 740° C; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente à recristalização da mica a 780° C e pico endotérmico de pequena intensidade correspondente à decomposição do carbonato de cálcio a 980° C.

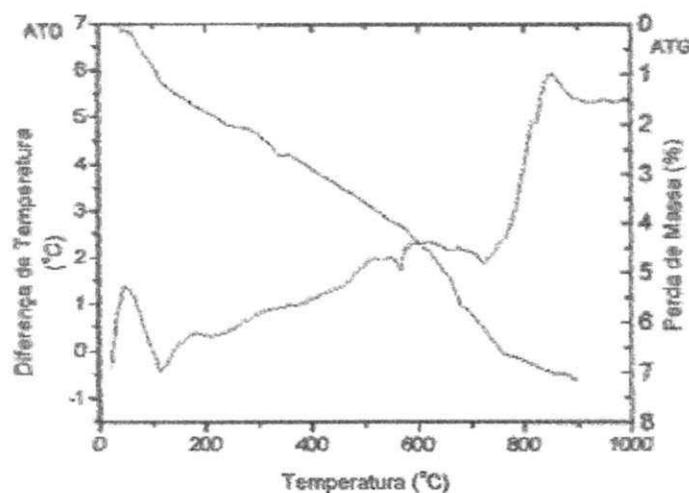


Figura 4.3 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas do Resíduo POLIGRAN.

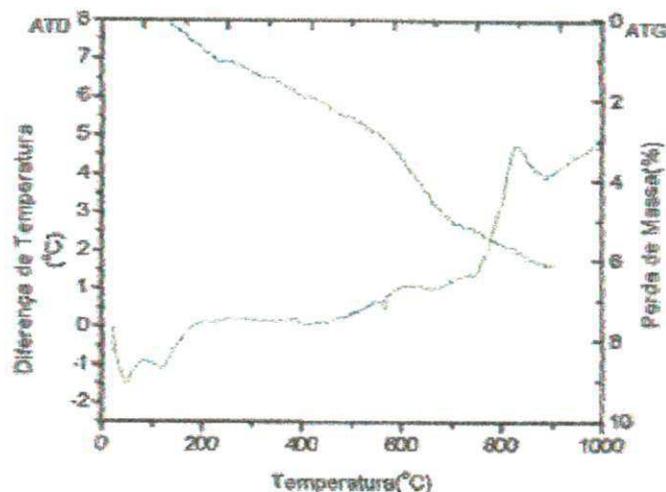


Figura 4.4 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas do Resíduo FUJI.

Analisando as curvas de ATG das Figuras 4.3 e 4.4, observa-se que o resíduo FUJI apresenta: pequena perda de massa (1,52%) entre 60° C e 328° C correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (0,98%) entre 328° C e 521° C, correspondente à perda de hidroxilas da mica; perda de massa (2,59%) entre 521° C 788° C correspondente à decomposição do carbonato de cálcio. Para o resíduo POLIGRAN verifica-se: pequena perda de massa (2,04%) entre 60° C e 262° C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (1,65%) entre 262° C e 516° C, correspondente à perda de hidroxilas da mica; perda de massa (3,17%) entre 516° C e 850° C, correspondente à decomposição do carbonato de cálcio.

c) Difração de Raios X (DRX)

A Figura 4.5 mostra as difrações de raios-X dos resíduos estudados.

Analisando os difratogramas dos resíduos observa-se, nas fases, presença de quartzo (SiO_2), caracterizado pelas distâncias interplanares de 3,34 Å; microlina (feldspato potássico – KAlSi_3O_8), caracterizado por 4,24 e

3,20 A°; albita (feldspato sódico – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizado por 4,03 A° e 3,19 A° e em menor quantidade mica moscovita, caracterizada por 10,04 A° e calcita (CaCO_3), caracterizada por 3,03 e 2,13 A°.

Desta forma, as principais fases presentes nos resíduos são: uma mistura de quartzo, feldspato, mica e calcita.

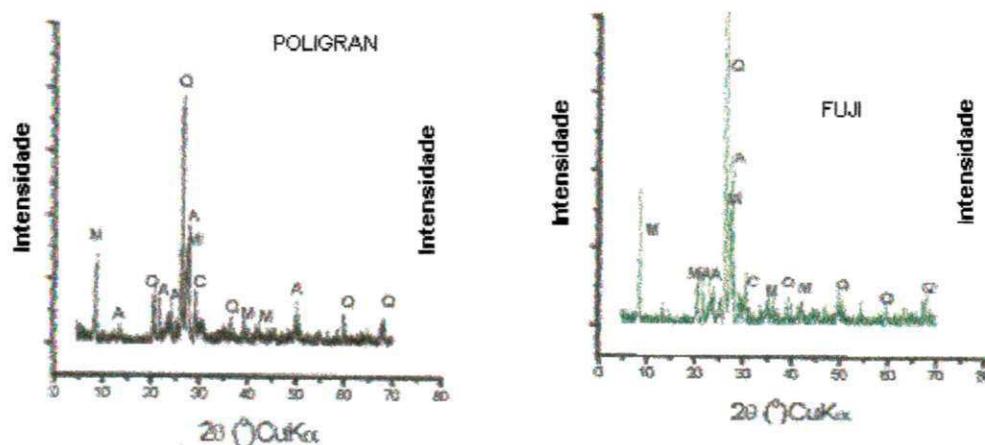


Figura 4.5 – Difração de Raios-X dos Resíduos Utilizados.

d) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 4.6 são apresentados a morfologia, dimensões e constituintes químicos dos resíduos estudados, obtidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por microscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS).

A Figura 4.6 apresenta a micrografia obtida para o resíduo POLIGRAN. A Figura 4.6 A mostra uma vista geral da morfologia e distribuição dos tamanhos das partículas, e na Figura 4.6 B é mostrado um aumento da região A da Figura 4.6 A.

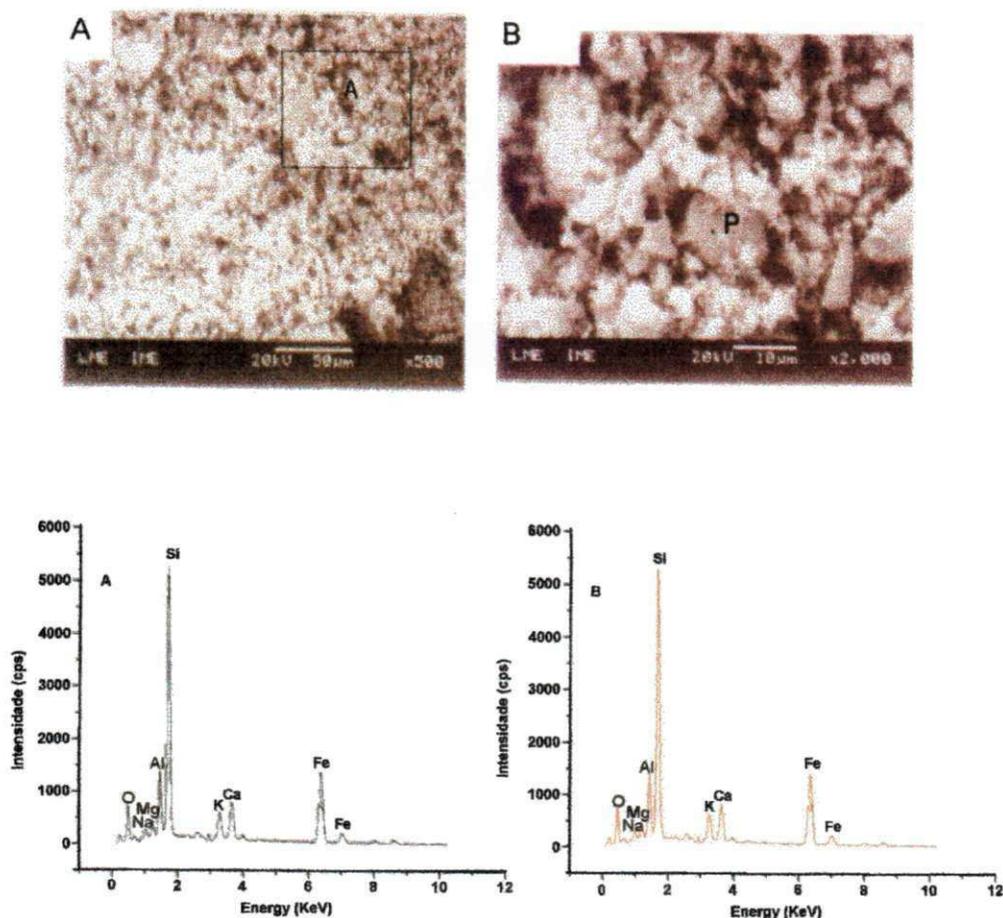


Figura 4.6 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise por Microscopia de Energia Dispersiva (EDS) do Resíduo POLIGRAN: A) Completa, B) Região A.

Através da análise das micrografias, verifica-se que o resíduo POLIGRAN apresentou partículas com morfologia irregular e superfície arredondada. Enquanto outras fases presentes apresentaram partículas com canto anguloso de 1,42µm a 12,50µm. O resíduo FUJI apresentou comportamento semelhante.

Pela análise comparativa dos resultados dos ensaios de caracterização física e mineralógica realizados sobre os resíduos da serragem de granito das indústrias POLIGRAN e FUJI utilizados nesta

pesquisa, percebe-se que estes apresentam comportamento e características muito semelhantes. Desta forma, fica justificada a iniciativa de se utilizar como material alternativo na produção de blocos de concreto sem função estrutural, um resíduo resultante da mistura homogênea dos resíduos provenientes das indústrias POLIGRAN e FUJI.

4.3. Resultados da Análise dos Parâmetros da Mistura

A análise dos resultados foi feita através da depuração dos valores obtidos nos ensaios. Depuração significa que valores discrepantes, em relação à média obtida na série de amostras, devem ser desprezados.

Para a depuração dos resultados de resistência à compressão simples (f_c), obtido para cada mistura, foi aplicado o critério de "Chauvenet". A aplicação desse critério significa que, em uma série de medidas, a probabilidade de ocorrência de um desvio de valor "x" é menor que $1/2n$, conforme a fórmula $P_x < 1/(2n)$, onde n é o número de amostras ensaiadas. Com isso são eliminados os valores discrepantes, tanto para mais como para menos, em relação à média.

Nas Tabelas 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 são apresentados os vários compósitos avaliados nesta pesquisa, como: cimento; agregados (areia, brita "0" e resíduo da serragem de granito) e a água.

A Tabela 4.9 apresenta os compósitos avaliados para a confecção dos blocos convencionais de concreto, isto é, sem adição do resíduo da serragem de granito, nos traços (1:4; 1:6 e 1:8, cimento e agregados em volume).

As Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam os compósitos avaliados para a confecção dos blocos de concreto com adição do resíduo da serragem de granito, sendo incorporados nos percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% sobre a proporção de areia empregada nos mesmos traços

convencionais de referência (1:4, 1:6 e 1:8, cimento e agregados em volume).

Tabela 4.9 – Traços de Referência Unitários em Volume com a Relação Água/Cimento dos Blocos Convencionais de Concreto.

TRAÇOS	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)				MASSA TOTAL SECA*			
MATERIAIS	Aglomerante	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	F(a/cim)	Aglomerante	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	F(a/cim)
	Cimento	Areia	Brita "0"	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Água (l)
1:4	1	2	2	0,37	12,00	24,00	24,00	4,44
1:6	1	3	3	0,49	8,60	25,80	25,80	4,21
1:8	1	4	4	0,67	6,70	26,80	26,80	4,49

*Massa total seca necessária para moldar 6 blocos de concreto.

Tabela 4.10 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:4).

TRAÇO 1:4	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	% Resíduo incorporado	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo da Serragem de Granito	F(a/cim)	Aglomer.	Agregado	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo da Serragem de Granito
	Cimento	Areia	Brita "0"		Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)		Água (l)
5%	1	1,9	2	0,1	0,34	6,00	11,40	12,00	0,600	2,04
	1	1,9	2	0,1	0,37	6,00	11,40	12,00	0,600	2,22
	1	1,9	2	0,1	0,40	6,00	11,40	12,00	0,600	2,40
10%	1	1,8	2	0,2	0,34	6,00	10,80	12,00	1,200	2,04
	1	1,8	2	0,2	0,37	6,00	10,80	12,00	1,200	2,22
	1	1,8	2	0,2	0,40	6,00	10,80	12,00	1,200	2,40
15%	1	1,7	2	0,3	0,34	6,00	10,20	12,00	1,800	2,04
	1	1,7	2	0,3	0,37	6,00	10,20	12,00	1,800	2,22
	1	1,7	2	0,3	0,40	6,00	10,20	12,00	1,800	2,40
20%	1	1,6	2	0,4	0,34	6,00	9,60	12,00	2,400	2,04
	1	1,6	2	0,4	0,37	6,00	9,60	12,00	2,400	2,22
	1	1,6	2	0,4	0,40	6,00	9,60	12,00	2,400	2,40

*Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.

Tabela 4.11 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:6).

TRAÇO 1:6	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	% Resíduo incorporado	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo da Serragem de Granito	F(a/cim)	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo Resíduo da Serragem de Granito (Kg)
	Cimento	Areia	Brita "0"		Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)		Água (l)
5%	1	2,85	3	0,15	0,44	4,30	12,255	12,90	0,645	1,90
	1	2,85	3	0,15	0,49	4,30	12,255	12,90	0,645	2,11
	1	2,85	3	0,15	0,55	4,30	12,255	12,90	0,645	2,36
10%	1	2,70	3	0,30	0,44	4,30	11,610	12,90	1,290	1,90
	1	2,70	3	0,30	0,49	4,30	11,610	12,90	1,290	2,11
	1	2,70	3	0,30	0,55	4,30	11,610	12,90	1,290	2,36
15%	1	2,55	3	0,45	0,44	4,30	10,965	12,90	1,935	1,90
	1	2,55	3	0,45	0,49	4,30	10,965	12,90	1,935	2,11
	1	2,55	3	0,45	0,55	4,30	10,965	12,90	1,935	2,36
20%	1	2,40	3	0,60	0,44	4,30	10,320	12,90	2,580	1,90
	1	2,40	3	0,60	0,49	4,30	10,320	12,90	2,580	2,11
	1	2,40	3	0,60	0,55	4,30	10,320	12,90	2,580	2,36

***Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.**

Tabela 4.12 – Traços Unitários, em Volume e em Massa, com a Relação Água/Cimento da Mistura Utilizando o Resíduo da Serragem de Granito (1:8).

TRAÇO 1:8	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*				
	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F(a/cim)	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F(a/cim)
	Cimento	Areia	Brita "0"	Resíduo da Serragem de Granito	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Resíduo da Serragem de Granito (Kg)	Água (l)
5%	1	3,8	4	0,2	0,64	3,33	12,654	13,320	0,666	2,11
	1	3,8	4	0,2	0,67	3,33	12,654	13,320	0,666	2,23
	1	3,8	4	0,2	0,70	3,33	12,654	13,320	0,666	2,31
10%	1	3,6	4	0,4	0,64	3,33	11,988	13,320	1,332	2,11
	1	3,6	4	0,4	0,67	3,33	11,988	13,320	1,332	2,23
	1	3,6	4	0,4	0,70	3,33	11,988	13,320	1,332	2,31
15%	1	3,4	4	0,6	0,64	3,33	11,322	13,320	1,998	2,11
	1	3,4	4	0,6	0,67	3,33	11,322	13,320	1,998	2,23
	1	3,4	4	0,6	0,70	3,33	11,322	13,320	1,998	2,31
20%	1	3,2	4	0,8	0,64	3,33	10,656	13,320	2,664	2,11
	1	3,2	4	0,8	0,67	3,33	10,656	13,320	2,664	2,23
	1	3,2	4	0,8	0,70	3,33	10,656	13,320	2,664	2,31

***Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.**

As Figuras 4.7 a 4.12 apresentam os resultados obtidos em cada moldagem realizada de acordo com as composições indicadas nas Tabelas 4.9 a 4.12. Os valores da resistência à compressão mostrados nestas figuras representam a média das amostras ensaiadas, cujos resultados foram devidamente depurados de acordo com o critério de “Chauvenet”, já explicado anteriormente.

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os valores da resistência à compressão simples, dos blocos convencionais de concreto, em relação aos tempos de cura estudados. Para obtenção destes resultados foram analisadas seis amostras para cada composição.

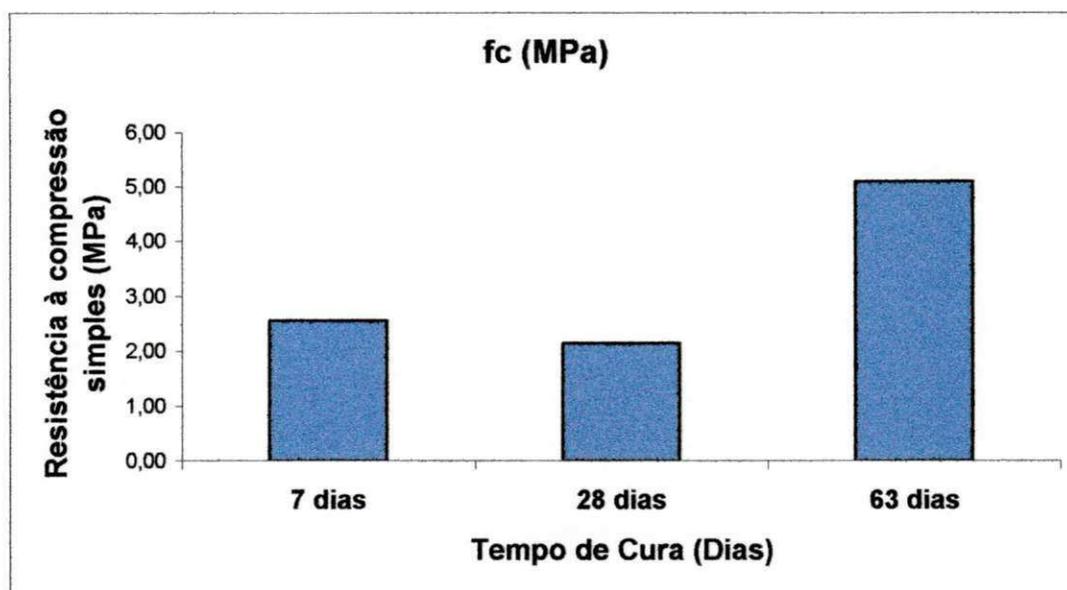


Figura 4.7 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:4 em Relação ao Tempo de Cura.

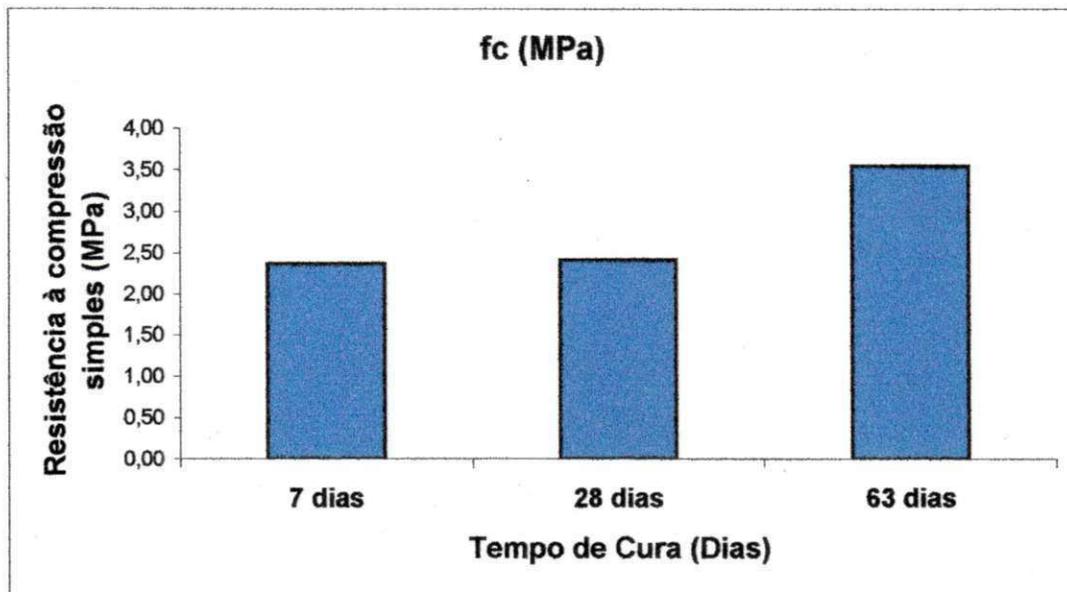


Figura 4.8 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:6 em Relação ao Tempo de Cura.

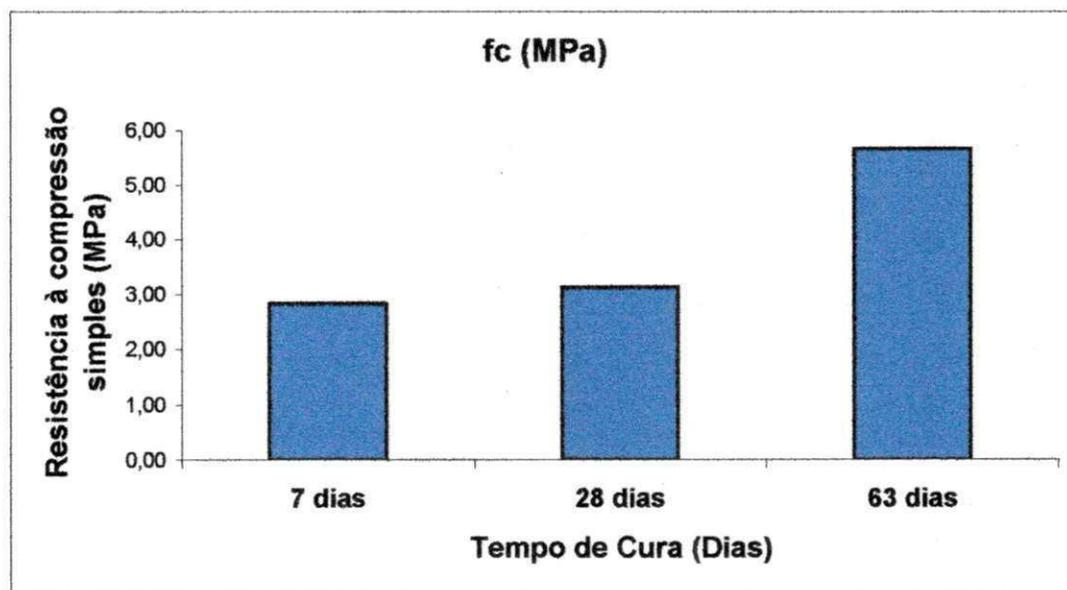


Figura 4.9 – Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço Convencional 1:8 em Relação ao Tempo de Cura.

Analisando os resultados contidos nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, verifica-se que para os três traços convencionais (1:4, 1:6 e 1:8), os valores da

resistência à compressão simples apresentaram-se dentro das especificações da NBR 7184/91, que indica ($f_c \geq 2,0$ MPa para valores individuais e $f_c \geq 2,5$ MPa para média aos 28 dias). Além disso, pode-se perceber que também houve um ganho de resistência com o aumento do tempo de cura, principalmente de 28 para 63 dias.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam os valores da resistência à compressão simples, dos blocos de concreto com incorporação do resíduo de serragem de granito, que compõem a fase de testes. Estas figuras mostram o comportamento da resistência à compressão simples em relação à variação dos fatores água/cimento estudados, para o tempo de 7 dias de cura. Para obtenção destes resultados foram analisadas três amostras para cada composição.

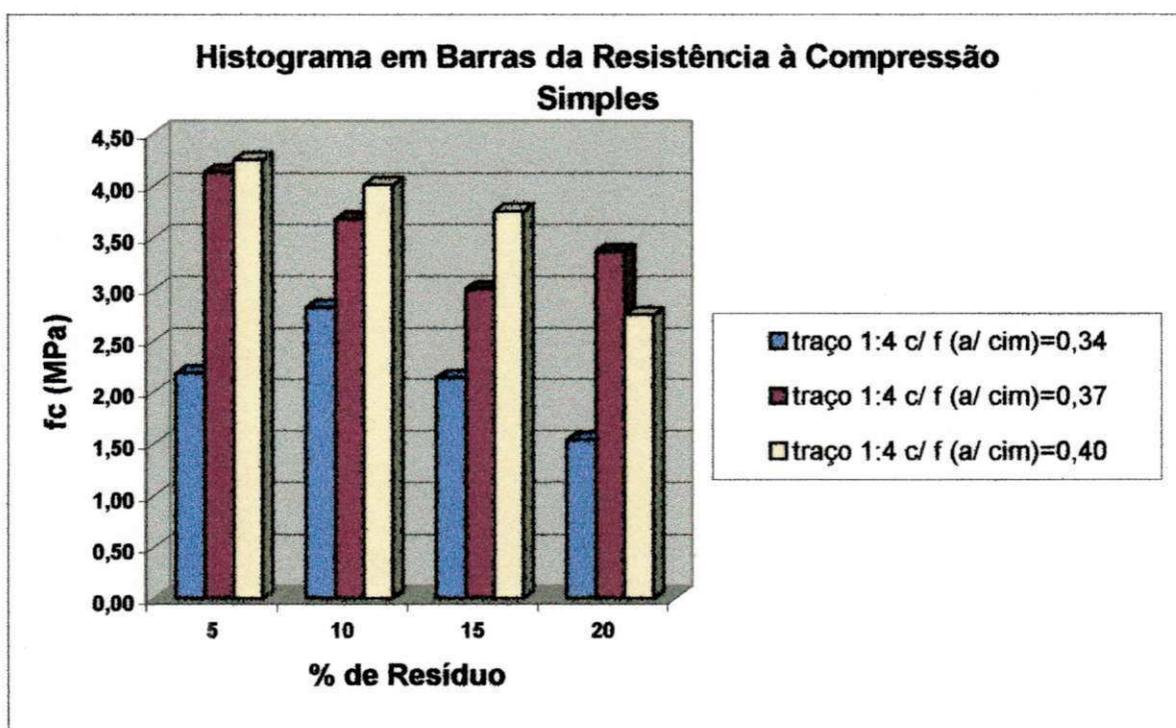


Figura 4.10 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:4 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.

Analisando a Figura 4.10, percebe-se que para o traço 1:4 com incorporação do resíduo da serragem de granito houve uma tendência de acréscimo de resistência com o aumento da relação água/cimento e uma tendência de decréscimo de resistência com o aumento do teor de incorporação do resíduo.

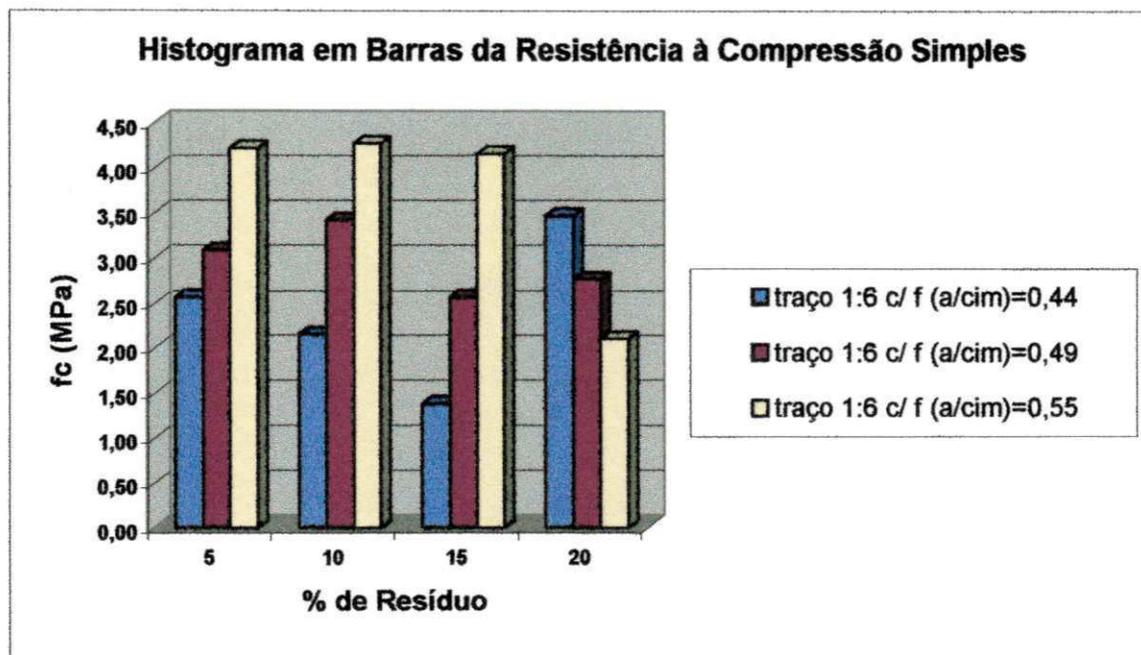


Figura 4.11 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:6 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.

Analisando a Figura 4.11, verifica-se que para o traço 1:6 com incorporação do resíduo da serragem de granito a relação água/cimento=0,55 apresentou-se melhor para quase todos os teores de incorporação do resíduo, exceto para 20%. Todavia, todos os resultados mostraram-se satisfatórios, enquadrando-se nas especificações da NBR 7184/91.

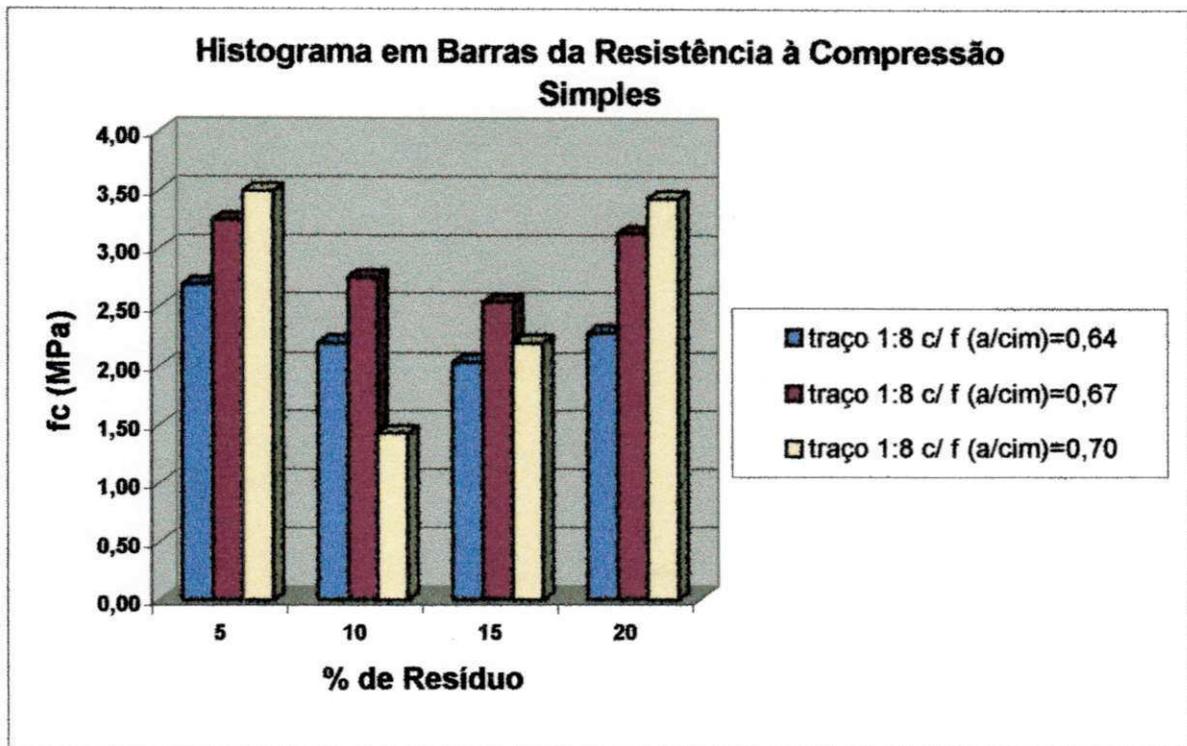


Figura 4.12 – Resistência à Compressão Simples aos 7 Dias de Cura para os Blocos no Traço 1:8 com Incorporação do Resíduo da Serragem de Granito.

A Figura 4.12 apresenta um comportamento discrepante da resistência à compressão simples quando se associa a relação água/cimento com o teor de incorporação do resíduo da serragem de granito. No entanto, praticamente todos os teores de incorporação e todas as relações água/cimento apresentaram resultados satisfatórios para resistência à compressão simples quando comparados com as especificações da NBR 7184/91.

Com base nos resultados depurados e, de acordo com os critérios estabelecidos para seleção da melhor composição, o traço escolhido para produção dos blocos foi (1:8 em volume). Tendo em vista que este apresentou valores de resistência à compressão simples e absorção de água de acordo com as exigências das respectivas normas, tanto no traço

convencional como nas incorporações do resíduo e, além disso, este é o traço que apresenta menor consumo de cimento, em relação à massa de agregados contida no traço, sendo, portanto, o mais econômico.

Após esta primeira etapa de seleção do traço de referência a ser utilizado, foi feita a seleção da umidade ótima de moldagem para cada percentual de resíduo incorporado neste traço. Sendo assim, os resultados finais da seleção são apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Resultado Final da Seleção das Composições Ideais de Mistura.

TRAÇO 1:8	TRAÇO UNITÁRIO (VOLUME)					MASSA TOTAL SECA*					
	% Resíduo incorporado	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F(a/cim)	Aglomer.	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Material Alternativo	F(a/cim)
	Cimento	Areia	Brita "0"	Resíduo da Serragem de Granito	Água	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita "0" (Kg)	Resíduo da Serragem de Granito (Kg)	Água (l)	
5%	1	3,8	4	0,2	0,70	3,33	12,654	13,32	0,666	2,31	
10%	1	3,6	4	0,4	0,67	3,33	11,988	13,32	1,332	2,11	
15%	1	3,4	4	0,6	0,67	3,33	11,322	13,32	1,988	2,11	
20%	1	3,2	4	0,8	0,70	3,33	10,656	13,32	2,664	2,31	

***Massa total seca necessária para moldar 3 blocos vazados de concreto.**

4.4. Resultados dos Ensaios Tecnológicos

Os valores apresentados neste item resultam da avaliação do comportamento dos blocos de concreto moldados a partir das composições que apresentaram melhores resultados (traço 1:8 em volume), de acordo com os critérios estabelecidos e já mencionados no Item 3.4.

No total foram moldados 90 blocos de concreto, sendo 18 blocos para cada composição, isto é, 18 para o traço convencional, e 18 para cada incorporação do resíduo (5%, 10%, 15% e 20%). Destes 18 blocos, todos foram utilizados no ensaio de resistência à compressão simples, sendo 6 blocos para cada tempo de cura (7, 28 e 63 dias). Para o ensaio de absorção por imersão foram utilizados pedaços representativos, de acordo com as especificações da NBR 12118/91, dos blocos rompidos no ensaio de resistência à compressão simples, tendo sido avaliados apenas os blocos com o tempo de 28 dias de cura.

4.4.1. Resistência à Compressão Simples

A Tabela 4.14 apresenta os resultados individuais da resistência à compressão simples, obtidos para cada composição estudada, bem como as respectivas médias destas séries de blocos. É importante ressaltar que os valores contidos nesta tabela foram os realmente obtidos no ensaio, sem que tenha sido realizada nenhuma depuração destes resultados.

Através da análise destes resultados e com base na NBR 7184/91, que especifica os limites de resistência à compressão simples ($f_c \geq 2,0$ MPa individualmente e $f_c \geq 2,5$ MPa para a média aos 28 dias), os valores obtidos para a resistência à compressão simples são bem satisfatórios, uma vez que praticamente todos atenderam a estas especificações.

Tabela 4.14 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:8.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)			
		7 dias	28 dias	63 dias	
1:8 – Convencional	B1	2,79	2,28	5,93	
	B2	2,42	5,01	5,36	
	B3	3,05	3,42	6,27	
	B4	4,02	5,98	5,13	
	B5	2,56	3,70	3,85	
	B6	2,91	1,71	3,99	
	Média	2,96	3,68	5,09	
1:8 – Com resíduo	5%	B1	1,94	3,42	2,28
		B2	2,22	3,13	3,28
		B3	2,56	2,96	2,99
		B4	2,28	2,05	3,13
		B5	1,99	2,28	2,42
		B6	2,56	3,48	3,42
		Média	2,26	2,89	2,92
	10%	B1	1,71	2,28	2,85
		B2	1,99	2,82	2,28
		B3	1,97	4,56	2,99
		B4	2,99	3,13	2,79
		B5	2,85	3,99	2,68
		B6	2,85	4,42	2,79
		Média	2,39	3,53	2,73
	15%	B1	3,19	3,13	2,28
		B2	3,36	2,79	2,14
		B3	3,08	3,42	3,33
		B4	2,96	3,16	2,99
		B5	2,62	2,11	3,02
		B6	2,79	2,11	3,28
		Média	3,00	2,79	2,84
	20%	B1	3,05	3,13	2,42
		B2	3,13	2,42	2,99
		B3	3,99	3,42	2,99
B4		2,99	3,56	3,85	
B5		3,28	2,62	3,96	
B6		2,11	4,22	3,79	
Média		3,09	3,23	3,33	

A Figura 4.13 apresenta a comparação entre a média dos resultados obtidos com o traço convencional e os traços com incorporação do resíduo. É importante ressaltar que os valores das médias mostrados nesta figura foram obtidos depois de realizada a depuração dos resultados apresentados na Tabela 4.14, de acordo com o critério de “Chauvenet”.

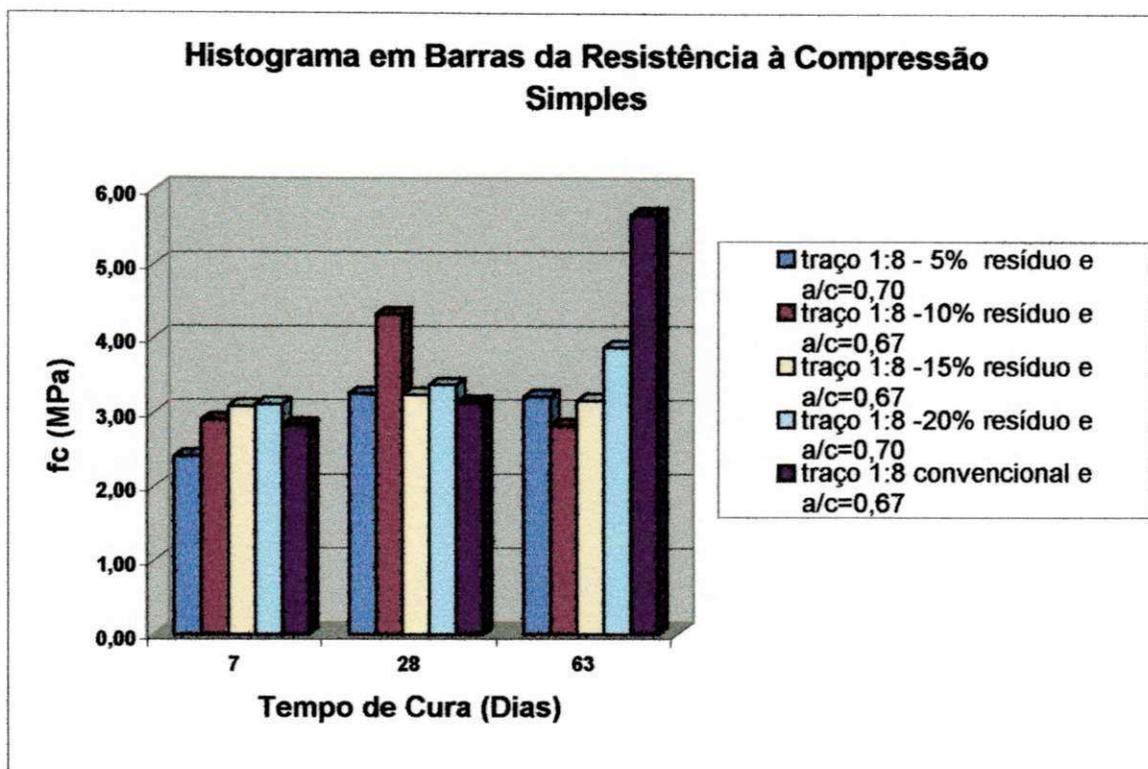


Figura 4.13 – Comparação entre os Resultados das Médias Depuradas da Resistência à Compressão dos Blocos nos Traços Convencional e com as Incorporações do Resíduo.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 4.13, que mostram os valores depurados, em relação à resistência à compressão simples, os concretos com adição do resíduo da serragem de granito apresentaram melhor desempenho.

Pela análise desta mesma Figura 4.13 verifica-se que o teor de adição do resíduo da serragem de granito, a relação a/c e a idade analisadas separadamente possuem efeito significativo sobre a resistência à compressão simples. Porém, não existe interação entre estes fatores, ou seja, não há influência significativa entre o teor de adição e a idade, entre o teor de adição e a relação a/c , entre a relação a/c e a idade.

4.4.2. Absorção por Imersão

A Tabela 4.15 apresenta os resultados individuais da absorção por imersão, obtidos para cada composição estudada, bem como as respectivas médias destas séries de blocos. É importante ressaltar que os valores contidos nesta tabela foram os realmente obtidos no ensaio, sem que tenha sido realizada nenhuma depuração destes resultados.

Através da análise destes resultados e com base na NBR 12118/91, que especifica os limites da absorção por imersão ($A_b \leq 15\%$ individualmente e $A_b \leq 10\%$ para a média), os valores obtidos para a absorção por imersão são extremamente satisfatórios, uma vez que todos atenderam, com sobra, a estas especificações.

Tabela 4.15 – Resultados Individuais para Absorção por Imersão dos Blocos no Traço 1:8.

Composições		Absorção por Imersão (%)	
1:8 – convencional	B1	5,75	
	B2	5,53	
	B3	5,57	
	Média	5,62	
1:8 – com resíduo	5%	B1	6,57
		B2	6,24
		B3	6,34
		Média	6,38
	10%	B1	6,03
		B2	6,12
		B3	5,92
		Média	6,02
	15%	B1	6,83
		B2	6,54
		B3	6,50
		Média	6,62
	20%	B1	6,35
		B2	6,27
		B3	6,17
		Média	6,26

A Figura 4.14 apresenta a comparação entre a média dos resultados obtidos com o traço convencional e os traços com incorporação do resíduo.

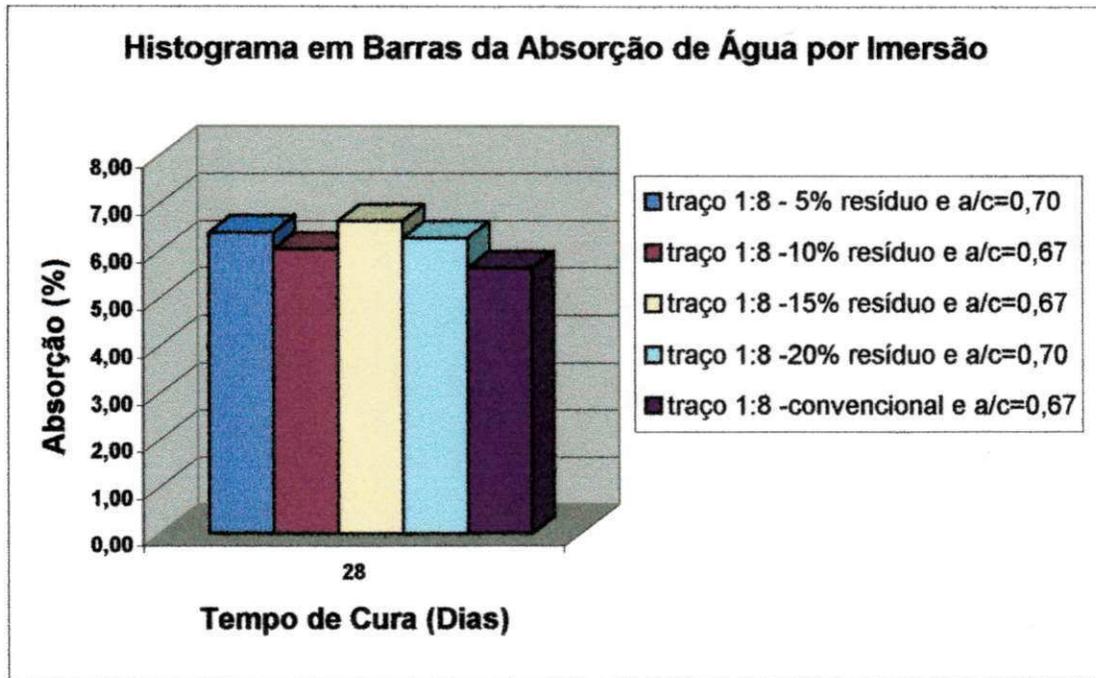


Figura 4.14 – Comparação entre os Resultados das Médias da Absorção dos Blocos nos Traços Convencional e com as Incorporações do Resíduo.

A Figura 4.14 mostra que se analisarmos o comportamento isolado dos blocos de concreto produzidos com a incorporação do resíduo, verifica-se que não é possível inferir com precisão sobre os resultados, pois houve uma variação entre os valores obtidos. No entanto, eles ficaram muito próximos um do outro, sendo o traço com 10% de resíduo de serragem de granito o que apresentou melhor desempenho.

4.5. Análise da Influência da Incorporação do Resíduo nos Resultados dos Ensaios Tecnológicos

Para um melhor entendimento sobre o comportamento, do ponto de vista mineralógico, dos blocos de concreto com e sem a incorporação do resíduo da serragem de granito, foram realizadas análises termodiferenciais e termogravimétricas, pois através da interpretação das transformações endo e exotérmicas existentes é possível chegar a um melhor diagnóstico sobre as reações que ocorrem no processo de produção dos blocos.

4.5.1. Análises Térmicas (ATD e ATG)

As análises termodiferenciais e termogravimétricas executadas neste trabalho foram realizadas sobre os blocos de concreto, convencional e com a incorporação do resíduo da serragem de granito, apenas para os tempos de cura de 7 e 63 dias, representando assim os tempos extremos de cura estudados neste trabalho. Optou-se por estes tempos porque a influência das incorporações geralmente ocorre para a idade inicial, decrescendo com o tempo.

As Figuras 4.15 a 4.19 apresentam as curvas de análises termodiferenciais e termogravimétricas dos blocos de concreto convencional e com a incorporação do resíduo da serragem de granito.

4.5.1.1. Blocos Convencionais

Analisando as curvas de ATD da Figura 4.15, verifica-se que os dois tempos de cura, 7 e 63 dias, apresentaram os seguintes resultados: pico endotérmico de pequena intensidade à 110°C, indicando perda de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade à 180°C, correspondente à perda de água adsorvida; pico endotérmico de pequena intensidade à 360°C que indica perda de hidróxido de alumínio; pico endotérmico de pequena

intensidade à 430°C, indicando perda de hidróxido de magnésio; pico endotérmico acentuado de pequena intensidade à 530°C, correspondente à perda de hidróxido de cálcio; pico endotérmico acentuado de grande intensidade à 880°C, indicando a decomposição de carbonato de cálcio.

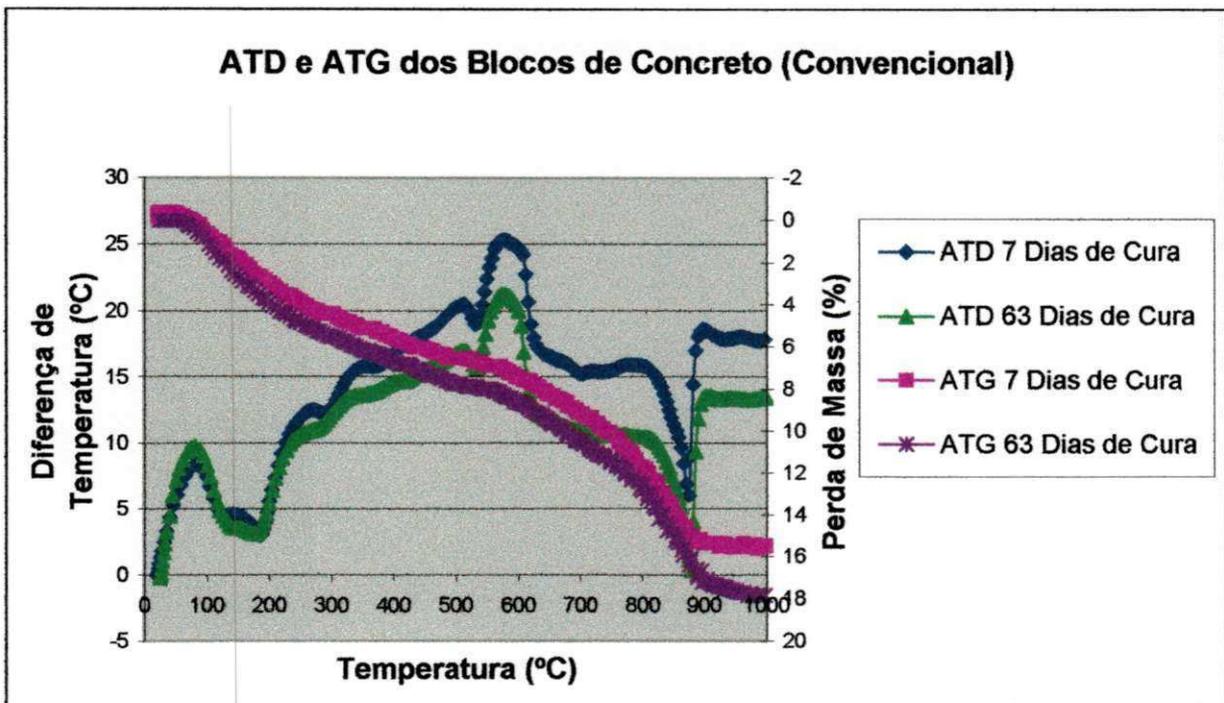


Figura 4.15 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos de Concreto Convencional.

Analisando as curvas de ATG da Figura 4.15, verifica-se que os dois tempos de cura, 7 e 63 dias, apresentaram: perda de massa (4,3%) entre 60°C e 280°C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (2,5%) entre 280°C e 530°C, correspondente à perda de hidróxidos (alumínio, magnésio e cálcio); perda de massa (8,2%), correspondente à decomposição do carbonato de cálcio.

4.5.1.2. Blocos com incorporação do Resíduo da Serragem de Granito

Analisando as curvas de ATD das Figuras 4.16 a 4.19, verifica-se que os blocos com incorporação do resíduo apresentaram o mesmo comportamento, independentemente do percentual de incorporação do resíduo e dos tempos de cura estudados, havendo apenas uma diferença na intensidade dos picos endotérmicos com relação aos tempos de cura. Assim, os blocos apresentaram o seguinte comportamento: pico endotérmico de pequena intensidade à 110°C, indicando perda de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade à 180°C, correspondente à perda de água adsorvida; pico endotérmico de pequena intensidade à 360°C, que indica perda de hidróxido de alumínio; pico endotérmico de pequena intensidade à 450°C, indicando perda de hidróxido de magnésio; pico endotérmico acentuado de pequena intensidade à 550°C, correspondente à perda de hidróxido de cálcio; pico endotérmico acentuado de grande intensidade à 900°C, indicando a decomposição do carbonato de cálcio.

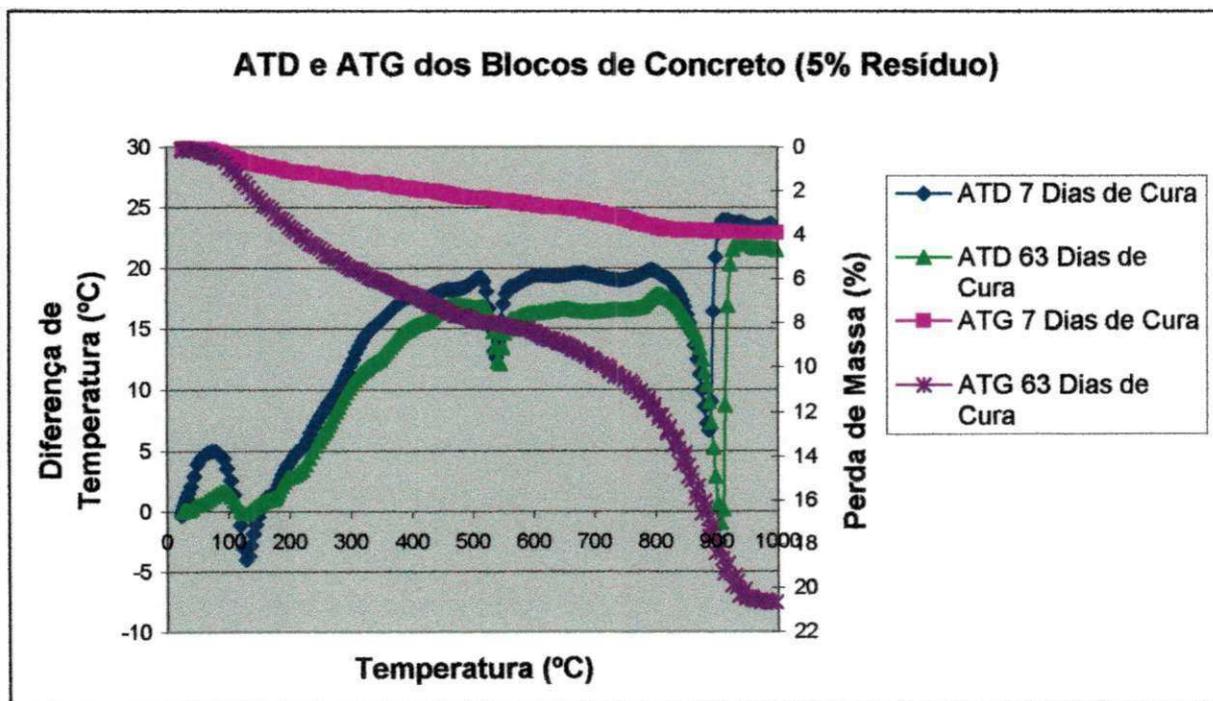


Figura 4.16 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 5% de Resíduo.

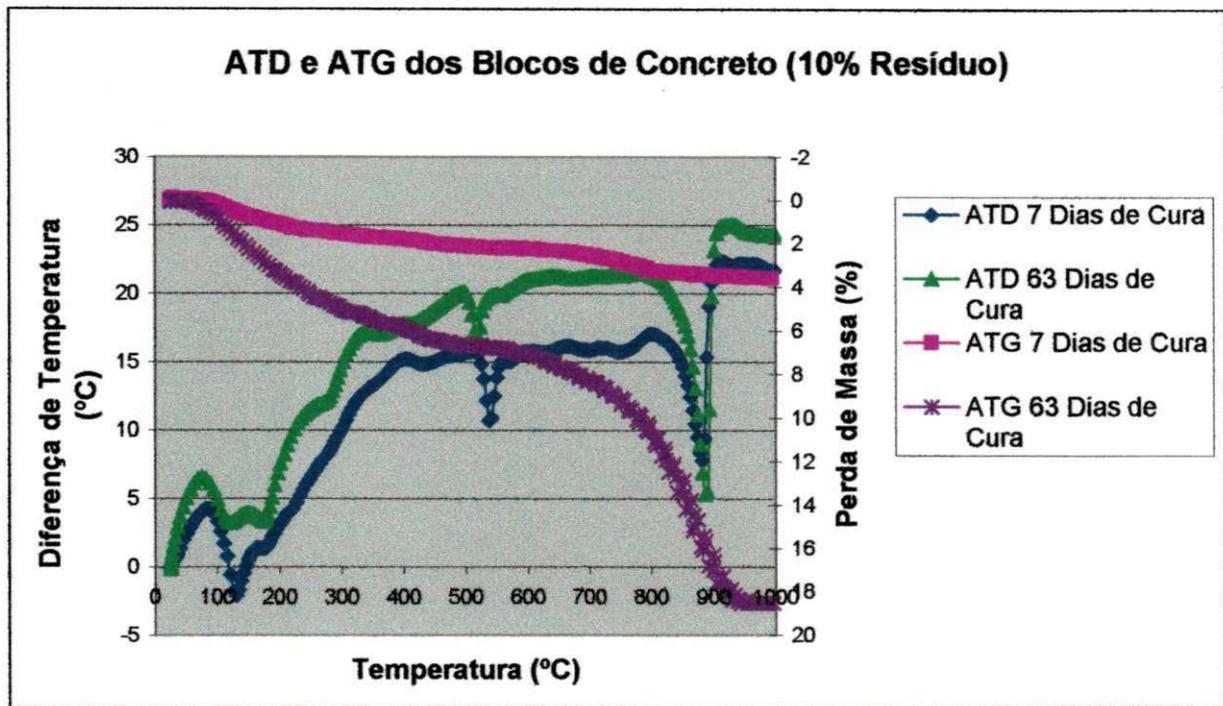


Figura 4.17 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 10% de Resíduo.

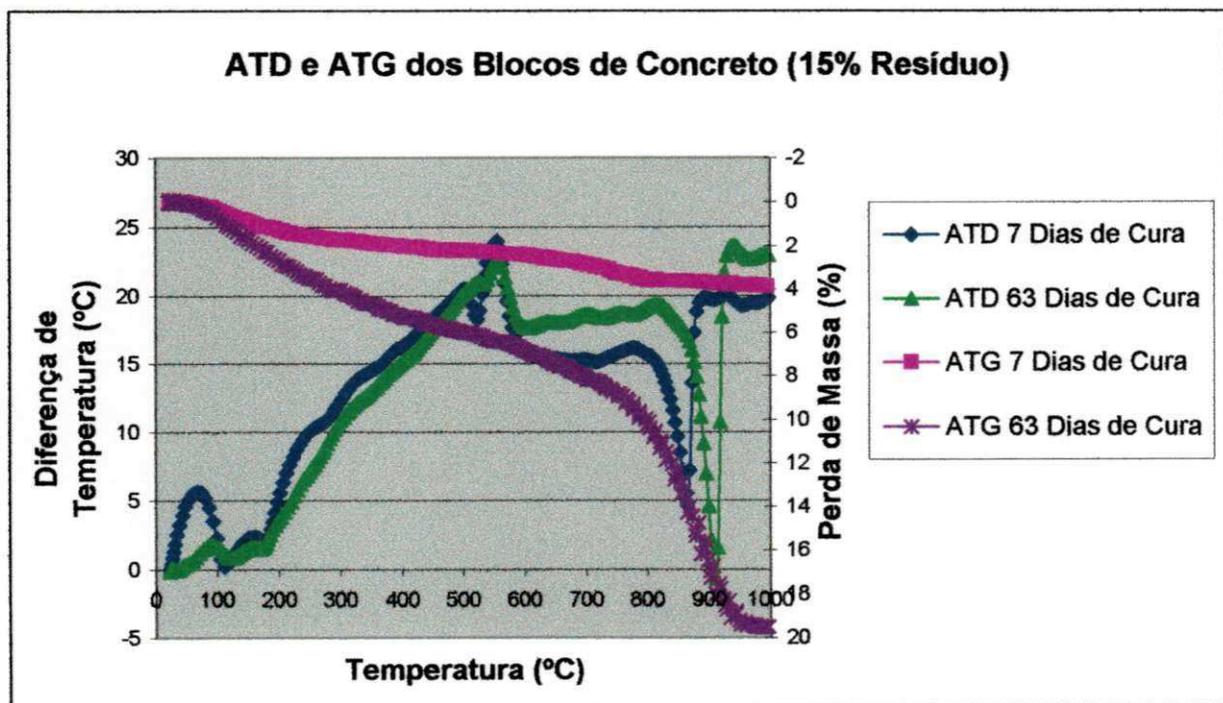


Figura 4.18 – Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 15% de Resíduo.

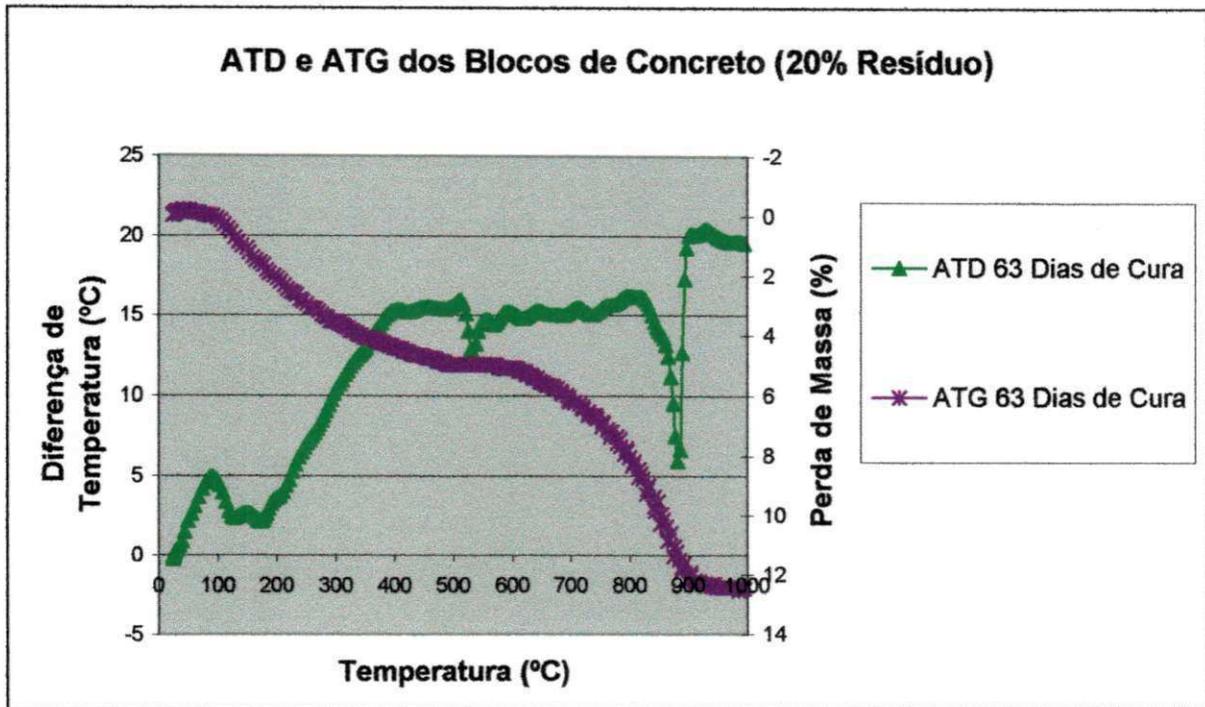


Figura 4.19 – Análises Termogravimétricas e Termogravimétricas dos Blocos com Incorporação de 20% de Resíduo.

Analisando as curvas de ATG das Figuras 4.16 a 4.19, verifica-se que os blocos com incorporação do resíduo apresentaram o mesmo comportamento, independentemente do percentual de incorporação do resíduo, entretanto, apresentaram uma diferença acentuada na perda de massa, com relação à variação do tempo de cura de 7 para 63 dias. Assim, para 7 dias de cura os blocos apresentaram uma perda de massa máxima de (4%), correspondente à perda de água livre e adsorvida, perda de hidróxidos (alumínio, magnésio e cálcio) e decomposição do carbonato de cálcio. Já para 63 dias de cura tivemos o seguinte comportamento: perda de massa (5,8%) entre 60°C e 300°C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (2,4%) entre 300°C e 580°C, correspondente à perda de hidróxidos (alumínio, magnésio e cálcio); perda de massa (12%), correspondente à decomposição do carbonato de cálcio.

Pela observação e análise das Figuras 4.15 a 4.19, pode-se verificar que não houve diferença considerável no comportamento dos blocos de concreto, nem com relação à incorporação do resíduo da serragem de granito, nem com relação à variação do tempo de cura. Assim sendo, o resíduo da serragem de granito utilizado nesta pesquisa, como incorporação à areia na produção de blocos de concreto sem função estrutural, constitui uma adição sem atividade pozolânica, pois não possui reatividade química, da combinação de seus elementos químicos com os elementos químicos presentes no concreto. Estas adições são chamadas de fillers, devido a sua alta finura. Os fillers podem influenciar tanto nas propriedades mecânicas quanto na durabilidade.

Com relação às propriedades mecânicas, as maiores influências são nas idades iniciais, por estar difundido em toda mistura, e por apresentarem elevada finura, atuando como pontos de nucleação. Desta forma tende a acelerar o processo de hidratação do cimento e aumentar a quantidade de produtos hidratados. Em idades mais avançadas não existem ganhos de resistência, já que não há atividade química.

A maior contribuição dos fillers está na diminuição da permeabilidade e no refinamento da estrutura de poros. A alta finura contribui para uma maior densificação da zona de transição e da matriz cimentícia. Esta maior densificação promoverá um ganho de resistência à compressão.

Neste trabalho, de utilização do resíduo da serragem de granito, incorporado à areia, para uso em blocos de concreto sem função estrutural, foram verificados os seguintes parâmetros relacionados ao desempenho dos blocos de concreto com relação às propriedades de resistência à compressão simples e absorção por imersão após a incorporação do resíduo.

4.5.2. Resistência à Compressão Simples

A inexistência da interação entre o teor de incorporação do resíduo da serragem de granito e idade significa dizer que a adição não provoca aumentos significativos na resistência à compressão simples ao longo do tempo. Este comportamento é esperado em adições que não possuem atividade pozolânica.

Analisando-se isoladamente a influência do teor de incorporação do resíduo, aos 28 dias de cura que é especificado pela NBR 7184/91, na resistência à compressão simples verifica-se que os blocos de concreto com 5% de incorporação do resíduo obtiveram um ganho médio de 3,83%, com 10% obtiveram 38,02%, com 15% obtiveram 3,51% e com 20% obtiveram 7,67% em relação aos blocos de concreto produzidos com o traço convencional de referência.

Pode-se explicar o aumento do desempenho dos blocos de concreto sem função estrutural com incorporação de resíduo da serragem de granito em função da ação conjunta dos seguintes fatores:

a) como o resíduo da serragem de granito não possui atividade pozolânica, seu efeito físico devido a sua alta finura promoveu um refinamento na estruturas de poros. Este efeito contribuiu para uma maior densificação da zona de transição e da matriz cimentícia, e conseqüentemente um ganho de resistência à compressão;

b) a distribuição das pequenas partículas de resíduo da serragem de granito em todo concreto, associada à densificação da interface matriz/agregado, fez com que houvesse um preenchimento dos poros existentes e diminuição dos espaços disponíveis para a água. Desta forma, aumentou o contato entre os produtos hidratados e não hidratados da matriz, produzindo o chamado “effect packing”, ou seja, um maior empacotamento da matriz;

c) a distribuição dos grãos de resíduo da serragem de granito também pode ter promovido uma maior dispersão e aceleração da formação de produtos hidratados da matriz cimentícia, por atuarem como pontos de nucleação. Segundo ISAIA (1995), a introdução de pequenas partículas na matriz cimentícia, mesmo não totalmente pozolânicas, provoca segmentação dos poros maiores e incrementa os locais de nucleação para precipitação dos produtos de hidratação, acelerando as reações e formando cristais de hidróxido de cálcio menores.

4.5.3. Absorção por Imersão

O ensaio de absorção por imersão mostra a absorção de um determinado bloco de concreto num tempo e seu índice de vazios, através da relação entre a massa seca e saturada da amostra, sem levar em consideração a velocidade de absorção.

A incorporação de adições minerais nos concretos influencia bastante no seu desempenho final, contribuindo para um maior refinamento da estrutura de poros, aumentando a dificuldade de penetração de água e/ou agentes agressivos e podendo diminuir a absorção.

No entanto, nesta pesquisa especificamente, não houve uma redução na absorção de água por imersão dos blocos de concreto produzidos com a incorporação do resíduo da serragem de granito, em relação aos blocos de concreto produzidos com o traço convencional. Todavia, estes apresentaram valores excelentes de acordo com as especificações da NBR 12118/91.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

5.1. Generalidades

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas pela análise dos resultados dos capítulos precedentes, levando-se em consideração os objetivos da pesquisa, bem como os subsídios encontrados na literatura utilizada. Posteriormente serão apresentadas sugestões para futuras pesquisas que venham a confirmar e acrescentar as informações contidas neste trabalho.

5.2. Conclusões

As conclusões apresentadas neste estudo referem-se aos resultados obtidos com os blocos de concreto sem função estrutural produzidos com os materiais, dosagens e técnicas, que embora representem a forma de execução geralmente utilizada, aqui constitui uma metodologia específica empregada na pesquisa. Sua representatividade deve ser confirmada através de novos estudos, que devem ser realizados levando em consideração aspectos que confirmarão e complementarão o comportamento do resíduo da serragem de granito em blocos de concreto sem função estrutural.

Desta forma a partir dos resultados obtidos podem-se chegar às seguintes conclusões:

➤ O resíduo da serragem de granito utilizado nesta pesquisa constitui uma adição sem atividade pozolânica, pois não possui reatividade química,

da combinação de seus elementos químicos com os elementos químicos presentes no concreto, sendo caracterizado como uma adição chamada de filler, devido a sua alta finura;

➤ O traço convencional de referência de melhor desempenho entre os três estudados (1:4, 1:6 e 1:8 – cimento; areia e brita "0", em volume) foi o 1:8, pois este além de apresentar ótimos resultados de resistência à compressão simples e absorção por imersão, também apresenta o menor consumo de cimento em relação à massa de agregados, sendo assim o mais econômico;

➤ Não existe comprovação de interação entre os fatores de adição do resíduo, relação água/cimento e idade de cura, ou seja, não há influência significativa entre o teor de adição e a idade, entre o teor de adição e a relação água/cimento, entre a relação água/cimento e a idade;

➤ Os resultados depurados obtidos para a resistência à compressão simples dos blocos de concreto sem função estrutural produzidos com incorporação do resíduo da serragem de granito, apresentaram valores ligeiramente superiores aos encontrados para os blocos produzidos com o traço convencional utilizado. Sendo um ganho médio de 3,83% para 5% de incorporação, 38,02% para 10% de incorporação, 3,51% para 15% de incorporação e 7,67% para 20% de incorporação do resíduo da serragem de granito, aos 28 dias de cura;

➤ Não houve uma redução na absorção de água por imersão dos blocos de concreto produzidos com a incorporação do resíduo da serragem de granito, em relação aos blocos de concreto produzidos com o traço convencional, mas estes apresentaram resultados muito bons de acordo com as especificações da NBR 12118/91;

➤ Por tudo o que foi analisado, a utilização do resíduo da serragem de granito como material incorporado à areia na produção de blocos de concreto sem função estrutural mostra-se altamente viável, tendo em vista

que a sua utilização não comprometeu as propriedades mecânicas e de durabilidade do produto desenvolvido, bem como não trouxe nenhum valor econômico adicional ao custo final de produção destes blocos desenvolvidos, e principalmente pelo fato da sua utilização nestes blocos representar uma contribuição sólida ao processo de preservação do meio ambiente.

5.3. Sugestões para Futuras Pesquisas

Diante dos satisfatórios resultados obtidos neste trabalho, podem-se vislumbrar algumas outras formas de utilização do resíduo da serragem de granito, seja como material incorporado a produtos de concreto, seja pela análise e aplicação de estudos complementares, como objeto de futuras pesquisas. Desta forma sugere-se:

- Fazer um estudo complementar sobre as propriedades de durabilidade através de ensaios de secagem e molhagem e sucção capilar sobre os blocos de concreto desenvolvidos;
- Estudar a possibilidade de aplicação do resíduo como incorporação à areia em blocos de concreto sem função estrutural para traços com menor consumo de cimento, como 1:10 e 1:12 de cimento e agregados em volume, bem como a produção de blocos de concreto com função estrutural;
- Estudar a possibilidade de utilização do resíduo da serragem de granito incorporado ao cimento na produção de blocos de concreto com e sem função estrutural;
- Construir protótipos de alvenarias com blocos de concreto sem função estrutural produzidos com incorporação do resíduo da serragem de granito, para posterior avaliação a longo prazo.

CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, F. R. **Construções de Concreto: manual de práticas para controle e execução**. Editora Pini, São Paulo, 1984.

ARAÚJO, E. S. **Utilização do resíduo da serragem do granito na produção de tijolos sílica-cal para uso na construção civil**. Campina Grande, 2002. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Blocos de concreto pré-moldados sem função estrutural**. 6.ed. São Paulo, ABCP, 1978. 8p. (Boletim técnico n.33).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 76 – Cimento Portland – Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5751 – Cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cal**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5752 – Cimento Portland – Materiais pozolânicos – Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

____. **NBR 7173 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural.** Rio de Janeiro, 1982.

____. **NBR 7184 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 7211 – Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, 1983.

____. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 7218 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 7219 – Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos.** Rio de Janeiro, 1983.

____. **NBR 7220 – Agregados – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregados miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 7251 – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.

____. **NBR 7810 – Agregado em estado solto compactado seco – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1983.

____. **NBR 9776 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapmam.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 9937 – Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 11579 – Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira nº200.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 11581 – Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 11582 – Cimento Portland e matérias primas – Determinação de anidrido carbônico (CO₂) por gasometria.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 12117 – Blocos vazados de concreto para alvenaria – Retração por secagem,** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 12118 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida.** Rio de Janeiro, 1991.

____. **NBR 12653 – Concreto – Materiais Pozolânicos – Especificação.** Rio de Janeiro, 1992.

ATLÂNTICA MAQ. Indústria e Comércio de Máquinas Ltda. **“Histórico sobre os Blocos de Concreto”.** Disponível em: <http://www.atlanmaq.com.br>. Acesso em novembro de 2002.

BILODEAU, A., MALHOTRA V. A., **High-Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development.** In: *ACI Materials Journal*. V.97. Nº 1, Jan/Feb, 2000, USA, pg. 41–48.

FELLENBERG, G. **“Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental”.** 2ª ed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 193p.

FERREIRA JUNIOR, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria: prática recomendada.** 3.ed. São Paulo, ABCP, 1995. 16p. (Boletim técnico 107).

- FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais – Mercado Nacional**. Ceará: Instituto Euvaldo Lodi, 1992. V. 2.
- FREIRE, A. S. e MOTTA, J. F. **Potencialidades para o aproveitamento econômico de rejeito da serragem de granito. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais**. EMC. Editores Associados Ltda. São Paulo, 1995. Ed. 123. pg.98-108.
- GONÇALVES, J. P. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como Adição para Produção de Concreto**. Porto Alegre, 2000. 120p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Mineração e Meio Ambiente**. Brasília, DF. 1984. Comissão Técnica de Meio Ambiente/ Grupo de Trabalho e Redação.
- ISAIA, G.C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo da durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. Tese (doutorado). Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995, p. 298.
- KYHARA, Y. **Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil**. In: **XXV Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. São Paulo, 1993. 449p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **CONCRETO – Estrutura, Propriedades e materiais**. São Paulo, Ed. Pini, 1994, 573 p.
- MÖLLER, L. M.; BARROS, R. T. V. **Limpeza Pública**. In: **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. 1988. pg. 183.

- NEVES, G. A. **Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria prima cerâmica**. Campina Grande, 2002. 256p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. Trad. Salvador E. Giamusso.
- NITES – Núcleo Regional de Informação Tecnológica do Espírito Santo. **Desperdício na Indústria de mármore e granito. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore e Pedras**. São Paulo, 1994. Ed. 118. pg. 27-32.
- NITES – Núcleo Regional de Informação Tecnológica do Espírito Santo. **Insumos Empregados na Indústria de Beneficiamento de Mármore e Granito. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore e Pedras**. São Paulo, 1992. Ed. 110. p. 101-107.
- PENA, J. N. **Tecnologia de Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. I Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Pernambuco, 1998.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, Ed. Globo, 12ªed., 1993, 299p.
- RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**. n.27, p.557-559, 1994.
- ROCHAS DE QUALIDADE. Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais. **“Como usar mármore e granito sem ferir a natureza”**. São Paulo. Ed. 102. 1990. pg. 82-83.
- SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito – Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassa de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento**. Vitória, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Espírito Santo.

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

STELLING, A. J. Serragem do Granito para fins Ornamentais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 1998.

TANGO, C.E.S. Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade. 1 ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1984, v.1.

ANEXO I
(Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples)

Tabela I.1 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:4 Convencional.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)		
		7 dias	28 dias	63 dias
1:4 – Convencional	B1	3,70	1,99	4,70
	B2	3,99	4,42	5,24
	B3	2,56	1,99	5,47
	B4	2,28	9,12	4,99
	B5	2,85	7,12	6,27
	B6	4,56	2,42	3,56
	Média	3,32	4,51	5,04

Tabela I.2 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:6 Convencional.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)		
		7 dias	28 dias	63 dias
1:6 – Convencional	B1	2,85	3,70	3,56
	B2	2,28	2,54	2,85
	B3	4,27	4,56	5,64
	B4	2,56	2,54	3,68
	B5	3,70	2,28	3,42
	B6	2,28	2,34	4,27
	Média	2,99	2,99	3,90

Tabela I.3 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Blocos no Traço 1:8 Convencional.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa)		
		7 dias	28 dias	63 dias
1:8 – Convencional	B1	2,79	2,28	5,93
	B2	2,42	5,01	5,36
	B3	3,05	3,42	6,27
	B4	4,02	5,98	5,13
	B5	2,56	3,70	3,85
	B6	2,91	1,71	3,99
	Média	2,96	3,68	5,09

Tabela I.4 – Resultados Individuais para Absorção por Imersão dos Blocos no Traço 1:4 Convencional.

Composições		Absorção por Imersão (%)
1:4 – convencional	B1	4,94
	B2	5,27
	B3	5,37
	Média	5,19

Tabela I.5 – Resultados Individuais para Absorção por Imersão dos Blocos no Traço 1:6 Convencional.

Composições		Absorção por Imersão (%)
1:6 – convencional	B1	5,80
	B2	6,53
	B3	5,97
	Média	6,10

Tabela I.6 – Resultados Individuais para Absorção por Imersão dos Blocos no Traço 1:8 Convencional.

Composições		Absorção por Imersão (%)
1:8 – convencional	B1	5,75
	B2	5,53
	B3	5,57
	Média	5,62

Tabela I.7 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Testes de Moldagem no Traço 1:4 com o Resíduo da Serragem de Granito.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa) 7dias		
		Fa/c=0,34	Fa/c=0,37	Fa/c=0,40
1:4 – Com 5% de resíduo	B1	1,99	5,98	2,08
	B2	2,28	4,56	4,56
	B3	2,28	3,70	3,93
	Média	2,18	4,75	3,52
1:4 – Com 10% de resíduo	B1	2,85	3,19	4,90
	B2	3,85	3,85	4,75
	B3	2,79	3,99	4,60
	Média	3,16	3,68	4,75
1:4 – Com 15% de resíduo	B1	2,28	2,51	3,93
	B2	2,14	3,13	3,42
	B3	1,99	3,36	3,90
	Média	2,14	3,00	3,75
1:4 – Com 20% de resíduo	B1	1,68	3,36	2,71
	B2	2,05	3,36	2,82
	B3	1,42	2,51	3,96
	Média	1,72	3,08	3,16

Tabela I.8 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Testes de Moldagem no Traço 1:6 com o Resíduo da Serragem de Granito.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa) 7dias		
		Fa/c=0,44	Fa/c=0,49	Fa/c=0,55
1:6 – Com 5% de resíduo	B1	2,56	3,28	4,47
	B2	2,42	3,13	3,48
	B3	2,71	2,85	4,77
	Média	2,56	3,09	4,24
1:6 – Com 10% de resíduo	B1	2,42	3,70	3,99
	B2	2,19	3,13	4,56
	B3	1,85	4,67	2,99
	Média	2,16	3,84	3,85
1:6 – Com 15% de resíduo	B1	2,28	2,71	4,20
	B2	1,48	2,85	3,76
	B3	1,28	2,14	4,36
	Média	1,68	2,56	4,11
1:6 – Com 20% de resíduo	B1	3,79	3,13	1,68
	B2	3,25	2,79	2,25
	B3	3,36	2,36	2,14
	Média	3,47	2,76	2,02

Tabela I.9 – Resultados Individuais para Resistência à Compressão Simples dos Testes de Moldagem no Traço 1:8 com o Resíduo da Serragem de Granito.

Composições		Resistência à Compressão Simples (MPa) 7 dias		
		Fa/c=0,64	Fa/c=0,67	Fa/c=0,70
1:8 – Com 5% de resíduo	B1	2,56	3,36	3,28
	B2	2,51	3,13	2,42
	B3	2,99	2,42	3,70
	Média	2,69	2,97	3,13
1:8 – Com 10% de resíduo	B1	1,68	2,54	1,48
	B2	2,25	3,70	1,37
	B3	2,14	2,96	1,97
	Média	2,02	3,07	1,60
1:8 – Com 15% de resíduo	B1	1,99	2,56	1,97
	B2	1,97	2,54	2,48
	B3	2,14	2,51	2,14
	Média	2,03	2,54	2,19
1:8 – Com 20% de resíduo	B1	1,71	3,11	3,85
	B2	2,28	3,28	3,56
	B3	2,28	2,99	2,85
	Média	2,09	3,12	3,42