

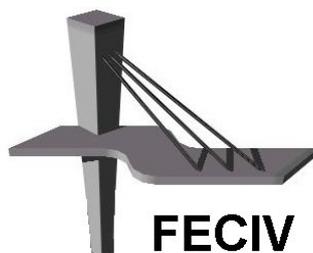
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 066

**ESTUDO TECNOLÓGICO EM REJEITOS DE
QUARTZITOS DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS
PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO
NO CONCRETO**

IVAN FRANCKLIN JUNIOR

UBERLÂNDIA, 22 de Setembro de 2009



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Ivan Francklin Junior

**ESTUDO TECNOLÓGICO EM REJEITOS DE QUARTZITOS DO
SUDOESTE DE MINAS GERAIS PARA UTILIZAÇÃO COMO
AGREGADO GRAÚDO NO CONCRETO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Leila Aparecida de Castro Motta

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares

Uberlândia, 22 de setembro de 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F824e Francklin Junior, Ivan, 1979-
Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto / Ivan Francklin Junior. - 2009.
132 f. : il.

Orientadora: Leila Aparecida de Castro Motta.
Co-orientador: Eduardo Goulart Collares.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Resíduos industriais - Teses. 2. Quartzito - Minas Gerais - Teses. I. Motta, Leila Aparecida de Castro. II. Collares, Eduardo Goulart. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU: 628.54



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 066/2009

CANDIDATO: Ivan Francklin Junior

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Leila Aparecida de Castro Motta

TÍTULO: "Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

DATA DA DEFESA: 22 de setembro de 2009

LOCAL: Sala de Apoio I da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 9h 10 min - 11h 55 min

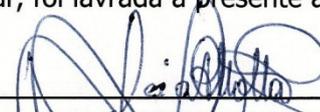
Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

APROVADO

REPROVADO

OBS:

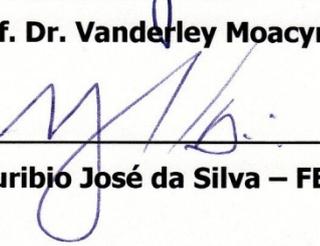
Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:



Professora Orientadora: **Prof.ª Dr.ª Leila Aparecida de Castro Motta – FECIV/UFU**



Membro externo: **Prof. Dr. Vanderley Moacyr John – USP**



Membro: **Prof. Dr. Turibio José da Silva – FECIV/UFU**

Uberlândia, 22 de SETEMBRO de 2009.

Dedico este trabalho a minha filha Ivana e a minha esposa Fabiane pelo apoio, paciência e amor neste período importante de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por ter permitido concluir este importante trabalho.

Aos meus pais pela educação fornecida durante minha vida e pelo incentivo e carinho durante a realização deste trabalho.

A minha orientadora Professora Leila A. de Castro Motta pelo companheirismo, carisma e pela competência em conduzir a orientação deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Eduardo Goulart Collares por ser o idealizador deste trabalho, pela competência profissional e por ter se mostrado amigo durante o período em que nos conhecemos.

Ao meu amigo Professor Manoel Reginaldo Ferreira por ter sempre acreditado e incentivado a realização deste trabalho.

Ao Professor Turíbio José da Silva pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas no Curso de Mestrado.

À FESP - Fundação de Ensino Superior de Passos representada pelo Presidente do Conselho Curador Professor Fábio Pimenta Esper Kallas, que forneceu toda estrutura e apoio para realização das pesquisas de campo e laboratório.

Aos engenheiros Daniel Pamplona e Rodrigo Ramirio e aos alunos de graduação Morrâmulo Ítalo, Guilherme Cândido, Matheus Teixeira e Cássio Maia, pelas colaborações para realização deste trabalho.

À secretária do Programa de Pós Graduação da FECIV Sueli Maria Vidal da Silva pelo apoio e colaboração.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio à realização da pesquisa.

A Empresa ConcreAlp em Alpinópolis MG que disponibilizou britador para processamento das amostras.

Enfim todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

FRANCKLIN JUNIOR, I. Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto. 142 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

RESUMO

O Sudoeste Mineiro é conhecido no Brasil pela produção de quartzitos utilizados em revestimentos na construção civil, a chamada “pedra mineira”. Durante a exploração dos quartzitos nas minerações da região são gerados grandes volumes de resíduos, podendo ultrapassar 90% do material extraído. Todo o rejeito gerado no processo de lavra e beneficiamento da “pedra mineira” transforma-se em um grande problema para os empreendedores, uma vez que, devido ao grande volume de material, passa a produzir impactos ambientais negativos. O objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo tecnológico em materiais depositados como rejeito nos bota-foras de minerações de quartzito do Sudoeste Mineiro em concretos confeccionados com agregados obtidos deste material e, com isto, verificar a possibilidade deste material, que atualmente vem degradando o meio ambiente, ser aproveitado na indústria da construção civil. A pesquisa realizada envolveu as seguintes etapas: definição dos locais e coleta das amostras; amostragem e apreciação petrográfica das amostras; produção dos agregados; caracterização tecnológica das amostras; confecção de concreto em laboratório e caracterização tecnológica do concreto. Os resultados de caracterização tecnológica tanto nas amostras de quartzitos como nos concretos foram satisfatórios, com ressalvas na formas lamelares das partículas processadas em britador tipo mandíbula e da potencialidade deletéria dos quartzitos verificados nos ensaios acelerados álcali-agregado utilizando cimento CP II-Z-32 e CP V-ARI.

Palavras-chave: Rejeito de Quartzito - Agregado para concreto - Reação álcali-agregado

FRANCKLIN JUNIOR, I. Study of quartzite waste from southwest of the Minas Gerais as concrete coarse aggregates. 142 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2009.

ABSTRACT

The Southwest of the Brazilian State of Minas Gerais is nationally known by the production of quartzite used as floor and wall covering. The extraction of the quartzite in the region, even when obey the determinations of the ambient agencies, generates a great amount of waste. The waste generated in the extraction and processing of the slates is an enormous problem for the society. The objective of this research is to characterize the quartzite waste to verify the possibility of its use as concrete coarse aggregate. The work concerned the definition of the places and the collect of the samples, samples petrographic appreciation, production of aggregates, samples technological characterization and confection of the concrete in laboratory. The results obtained in the technological characterization of the quartzite samples and of the concrete had been satisfactory, with exceptions in the elongated and flaky fragments by use of the jaw crusher for processing and of the potential deleterious reactivity of the quartzite with the alkalies in the cement CP II-Z-32 and CP V.

Keywords: Quartzite - Aggregate - Alkali-aggregate reaction – Waste

SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

a/c	- Relação água/cimento
f_{ck}	- Resistência característica do concreto
f_{ct}	- Resistência à tração na flexão
I_v	- Índice de vazios
γ	- Massa específica
<i>GLO 2</i>	- Amostra de quartzito 2 proveniente do município de S. João Batista Glória-MG
<i>CAP 3</i>	- Amostra de quartzito 3 proveniente do município de Capitólio-MG
<i>SJB 2</i>	- Amostra de quartzito 2 proveniente do município de São José da Barra-MG
<i>ALP 2</i>	- Amostra de quartzito 2 proveniente do município de Alpinópolis-MG
<i>T-A1-GLO 2</i>	- Traço de concreto correspondente a amostra GLO 2
<i>T-A2-CAP 3</i>	- Traço de concreto correspondente a amostra CAP 3
<i>T-A3-SJB 2</i>	- Traço de concreto correspondente a amostra SJB 2
<i>T-A4-ALP 2</i>	- Traço de concreto correspondente a amostra ALP 2

SIGLAS

<i>ABIROCHAS</i>	- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
<i>ABNT</i>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>DCT-Furnas</i>	- Departamento de Controle Tecnológico de Furnas Centrais Elétricas.
<i>FECIV</i>	- Faculdade de Engenharia Civil
<i>FESP</i>	- Fundação de Ensino Superior de Passos
<i>RAA</i>	- reação álcali-agregado
<i>UFU</i>	- Universidade Federal de Uberlândia
<i>UNESP</i>	- Universidade do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 RESÍDUOS DE QUARTZITOS, MEIO AMBIENTE E A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	1
1.2 OBJETIVOS	4
2 AGREGADOS PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	5
2.1 GNAISSES E QUARTZITOS E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL	5
2.1.1 Características mineralógicas, texturais e estruturais.....	6
2.1.2 Ocorrências no Brasil e Sudoeste de Minas	9
2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DAS ROCHAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	11
2.2.1 Uso de materiais rochosos como agregado no concreto	12
2.2.2 Ensaios de caracterização.....	13
2.2.3 Especificações para uso de agregado na construção civil.....	16
2.3 MANIFESTAÇÕES DELETÉRIAS AO CONCRETO PROVOCADAS POR AGREGADOS REATIVOS	19
2.3.1 Reação álcali-agregado	20
2.3.2 Agregados potencialmente reativos	21
2.3.3 Ensaios para determinação da reatividade potencial álcali-agregado	23
2.4 INFLUÊNCIAS DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	25
2.4.1 Relações entre a zona de transição e as propriedades do concreto	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA	40

3.2 SELEÇÃO DE AMOSTRAS DE QUARTZITOS PARA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS TECNOLÓGICOS	44
3.2.1 Apreciação petrográfica	45
3.2.2 Resistência a carga pontual	46
3.2.3 Estudo microscópico das amostras selecionadas	47
3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AMOSTRAS DE QUARTZITO.....	47
3.3.1 Caracterização física das amostras de quartzito.....	49
3.3.1.1 Índice de forma	49
3.3.1.2 Granulometria	50
3.3.1.3 Massa específica, massa específica na condição saturada superfície seca, absorção e porosidade	51
3.3.1.4 Massa unitária	51
3.3.1.5 Teor de materiais pulverulentos	51
3.3.1.6 Ensaio de ciclagem artificial água-estufa.....	52
3.3.2 Caracterização mecânica das amostras de quartzitos.....	52
3.3.2.1 Ensaio de compressão uniaxial	52
3.3.2.2 Abrasão “Los Angeles”	53
3.3.2.3 Esmagamento	53
3.3.3 Reatividade potencial álcali-agregado	54
3.4 ESTUDO EM CONCRETO	56
3.4.1 Materiais para produção dos concretos	56
3.4.2 Escolha do traço referência (TR)	59
3.4.3 Caracterização dos materiais componentes do concreto referência.....	60
3.4.4 Produção dos diferentes tipos de concreto em laboratório.....	61
3.4.5 Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco.....	62
3.4.6 Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido.....	63
4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO.....	65

4.1 AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ESTUDO TECNOLÓGICO.....	65
4.1.1 Apreciação petrográfica	66
4.1.2 Resistência a carga pontual	66
4.1.3 Análise microscópica das amostras de quartzitos	68
4.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS AGREGADOS DE QUARTZITOS.....	70
4.2.1 Caracterização física das amostras de quartzitos	70
4.2.1.1 Índice de forma	70
4.2.1.2 Análise Granulométrica	73
4.2.1.3 Massa específica seca, massa específica na condição saturada superfície seca, absorção e porosidade	76
4.2.1.4 Massa unitária	78
4.2.1.5 Teor de Materiais Pulverulentos	80
4.2.1.6 Ensaio de ciclagem artificial água-estufa.....	81
4.2.2 Caracterização mecânica das amostras	82
4.2.2.1 Ensaio de compressão axial	82
4.2.2.2 Abrasão “Los Ángeles”	83
4.2.2.3 Esmagamento	84
4.2.3 Reatividade potencial álcali-agregado	85
4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCRETOS	91
4.3.1 Caracterização dos materiais componentes do concreto referência.....	91
4.3.1.1 Resultados do índice de forma e granulometria do agregado graúdo gnáissico	92
4.3.2 Correções e ajustes dos traços de concretos.....	93
4.3.3 Avaliação no estado fresco.....	93
4.3.4 Avaliação no estado endurecido.....	97
4.3.4.1 Resistência à compressão	97
4.3.4.2 Resistência a tração por compressão diametral.....	101

5 CONCLUSÕES.....	105
REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICE A.....	113
APÊNDICE B.....	115
APÊNDICE C.....	119
ANEXO A.....	120
ANEXO B.....	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de resíduos nas minerações de quartzitos do Sudoeste Mineiro.....	2
Figura 2 – Imagens de diferentes tipos de quartzitos de Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Norte, respectivamente (ABIROCHAS, 2009).....	7
Figura 3 – Imagens de diferentes tipos de gnaiss do estado do Rio de Janeiro (ABIROCHAS, 2009).	8
Figura 4 – Perfil Geológico do Brasil (POPP, 1998).....	10
Figura 5 - Detalhe do gel exsudado na superfície da estrutura de concreto da UHE-Furnas (HASPARYK, 2005).....	22
Figura 6 - Diagrama da influência dos agregados nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido (MEHTA E MONTEIRO, 2008).	25
Figura 7 - Condições de teor de umidade e absorção de água dos agregados (FARIAS E PALMEIRA, 2007).	27
Figura 8 – Exemplos de curvas granulométricas (FARIAS E PALMEIRA, 2007).....	28
Figura 9 – Diferentes métodos para classificação da forma dos grãos (FARIAS E PALMEIRA, 2007).	29
Figura 10 - Forma e textura superficial de agregados graúdos (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	31
Figura 11 - Relação entre resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral de concretos produzidos com diferentes agregados (NEVILLE,1997).	32
Figura 12 - Influência da dimensão do agregado e da mineralogia sobre a resistência à compressão do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	33
Figura 13 - (a) Micrografia por Microscópio eletrônico de varredura dos cristais de CH na zona de transição. (b) Representação da zona de transição e da matriz da pasta de cimento no concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).....	35

Figura 14 - (a) Representação esquemática da exsudação no concreto fresco; (b) falha de aderência por cisalhamento em um corpo-de-prova ensaiado à compressão uniaxial (MEHTA E MONTEIRO, 2008).	36
Figura 15 -Influência da dimensão do agregado e relação água/cimento na resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).	36
Figura 16 - Micrografias da zona de transição de um concreto convencional. (G) = agregado, (P) e (C) = pasta de cimento (MORANVILLE-REGOURD, 1992).	38
Figura 17 - Resumo dos efeitos da textura superficial dos agregados na resistência de ligação na interface (TASONG et al, 1998 a).	39
Figura 18 - Mapa de Minas Gerais, em destaque a região Sul e Sudoeste (modificado de IBGE, 2008).	40
Figura 19 - Mapa de Minas Gerais, em destaque a microrregião de Passos (modificado de IBGE, 2008).	41
Figura 20 – Imagem das minerações ALP 1 e ALP 2, e a cidade de Alpinópolis (modificado de GoogleEarth, 2008).	42
Figura 21 – Imagem das minerações SJB 1 e SJB 2, e a cidade de São José da Barra (modificado de GoogleEarth, 2008).	43
Figura 22 – Imagem das minerações CAP 1, CAP 2, CAP 3, CAP 4 e CAP 5 (modificado de GoogleEarth, 2008).	43
Figura 23 – Imagem das minerações GLO 1 e GLO 2 (modificado de GoogleEarth, 2008). .	44
Figura 24 – Prensa hidráulica adaptada para ensaio de carga pontual.	46
Figura 25 – Britador 1 da empresa Maxibrita – Passos.	48
Figura 26 – Britador 2 da empresa Concrealp – Alpinópolis.	48
Figura 27 – Paquímetro utilizado nas medições do ensaio de índice de forma.	49
Figura 28 – Realização do ensaio de composição granulométrica.	50
Figura 29 – Testemunhos de quartzitos extraídos para realização do ensaio de resistência à compressão.	52
Figura 30 – Máquina Los Angeles.	53
Figura 31 – Material passante na malha 1,7mm.	53

Figura 32 – Equipamentos utilizados para ensaio de resistência ao esmagamento.	54
Figura 33 – Ensaio de resistência ao esmagamento.	54
Figura 34 – Barras de argamassa em solução de NaOH	55
Figura 35 – Medidas de expansão das barras de argamassa.	55
Figura 36 - Localização da jazida de gnaiss no município de Passos MG (modificado de GoogleEarth, 2009).	57
Figura 37 – Agregado graúdo de gnaiss classificado	58
Figura 38 – Agregado graúdo de quartzito GLO2	58
Figura 39 – Agregado graúdo de quartzito CAP3.....	58
Figura 40 – Agregado graúdo de quartzito SJB2	58
Figura 41 – Agregado graúdo de quartzito ALP2.....	58
Figura 42 – Moldagem dos corpos-de-prova	62
Figura 43 – Corpos-de-prova cilindricos 15cmx30cm.....	62
Figura 44 – Corpos-de-prova submetidos a cura saturada	63
Figura 45 – Máquina de ensaio classe I	64
Figura 46 – Quartzito Tipo 1.....	66
Figura 47 – Quartzito Tipo 2.....	66
Figura 48 – Gráfico das cargas de ruptura e áreas das amostras do tipo 1.....	67
Figura 49 – Gráfico das cargas de ruptura e áreas das amostras do tipo 2.....	67
Figura 50 – Micrografia da amostra Tipo 1	70
Figura 51 – Micrografia da amostra Tipo 2	70
Figura 52 – Observações realizadas na forma dos grãos após processamento em Britador 2 (Tipo Mandíbula).	73
Figura 53 – Análises granulométricas das amostras de Quartzito processadas no Britador 1 de zona granulométrica $d/D=9,5/25$	74
Figura 54 – Análises granulométricas das amostras de Quartzito processadas no Britador 2 de zona granulométrica $d/D=9,5/25$	75

Figura 55 – Massa específica seca das amostras de quartzito.....	76
Figura 56 – Massa específica na condição saturada superfície seca das amostras de quartzito.	77
Figura 57 – Índice de absorção das amostras de quartzito.....	77
Figura 58 – Índice de porosidade das amostras de quartzito.	78
Figura 59 – Percentual de materiais pulverulentos das amostras.....	80
Figura 60 – Amostra submetida ao ensaio de ciclagem.....	81
Figura 61 – Testemunhos de quartzitos submetidos ao ensaio de resistência a compressão... 83	
Figura 62 – Resultados dos índices de abrasão “Los Angeles”.	84
Figura 63 – Resultado dos índices de esmagamento.....	85
Figura 64 – Expansão das barras de argamassas produzidas com as quatro amostras de agregados de quartzitos e cimento CP II-Z-32.....	87
Figura 65 – Expansão das barras de argamassas produzidas com as quatro amostras de agregados quartzitos e cimento CP V-ARI.	88
Figura 66 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo gnáissico	92
Figura 67 – Abatimento dos concretos.....	95
Figura 68 – Verificação de: a) coesão, b) exsudação e c) segregação dos concretos.	96
Figura 69 - Resistências à compressão dos concretos aos 28 dias de idade	97
Figura 70 – Relação entre os valores de índice de forma dos agregados e resistência à compressão dos concretos.	98
Figura 71 – Seções de ruptura à compressão dos concretos produzidos.....	101
Figura 72 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias de idade	102
Figura 73 – Seções de ruptura dos corpos-de-prova correspondente aos cinco traços estudados	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características mineralógicas, texturais e estruturais (FRASCÁ E SARTORI, 1998).....	6
Tabela 2 – Composição mineralógica e descrição macroscópica de quartzitos (ABIROCHAS, 2009).	7
Tabela 3 – Composição mineralógica e descrição macroscópica de gnaisses (ABIROCHAS, 2009).....	8
Tabela 4 – Algumas propriedades dos gnaisses e quartzitos (SENÇO, 1997).....	11
Tabela 5 – Guia para avaliação da qualidade do agregado baseado em resultados de ensaios laboratoriais (VERHOEF e VAN DE WALL, 1998 apud GOMES, 2001).....	16
Tabela 6 – Hierarquização dos diferentes graus de importância do conhecimento das propriedades das rochas, conforme o tipo de aplicação destas (FRAZÃO, 2002).....	17
Tabela 7 – Resistência a compressão em testemunhos de quartzitos (ANDRADE et al, 1997).	18
Tabela 8 – Massa específica e absorção do agregado graúdo de quartzitos (ANDRADE et al, 1997).....	18
Tabela 9 – Algumas propriedades típicas dos gnaisses e quartzitos para uso como agregado no concreto (SBRIGHI NETO, 2005).....	19
Tabela 10 – Fase mineralógica reativa de agregados de gnaisses e quartzitos (HASPARYK, 1999).....	21
Tabela 11 - Exemplo de textura superficial dos agregados (NEVILLE, 1997).....	30
Tabela 12 – Localização das minerações visitadas.	45
Tabela 13 – Especificações dos britadores utilizados neste trabalho.....	48
Tabela 14 – Materiais utilizados para produção do concreto referência.....	60

Tabela 15 – Identificação dos concretos estudados com referência ao agregado graúdo.....	61
Tabela 16 – Síntese dos resultados das amostras analisadas pela UNESP - Campus Rio Claro-SP.	68
Tabela 17 – Resultado dos ensaios de índice de forma dos agregados de quartzitos processados pelo Britador 1 (Tipo Hidrocone).	71
Tabela 18 – Resultado dos ensaios de índice de forma dos agregados de quartzitos processados pelo Britador 2 (Tipo Mandíbula).....	72
Tabela 19 - Resultados das massas unitárias dos agregados no estado solto obtidos nos Britadores 1 e 2.	79
Tabela 20 - Resultados das massas unitárias dos agregados no estado compacto obtidos nos Britadores 1 e 2.	79
Tabela 21 – Verificação da perda de massa dos agregados após ensaio de ciclagem artificial água-estufa.	81
Tabela 22 – Resultados da resistência à compressão axial nos testemunhos de quartzitos.	82
Tabela 23 - Teores alcalinos dos cimentos CP II Z 32 e CP V ARI.	86
Tabela 24 – Expansão das barras de argamassa preparadas com amostras de quartzitos e cimentos CP II-Z-32 e CP V-ARI, aos 16 e 30 dias de idade.	88
Tabela 25 – Síntese dos resultados dos ensaios nos agregados de quartzitos e gnaïsse.	90
Tabela 26 – Resultados de caracterização dos materiais componentes do concreto TR.	91
Tabela 27 - Resultado do ensaio de índice de forma do agregado de gnaïsse processado no Britador 2.....	92
Tabela 28 - Correções dos traços em função da massa específica dos agregados.	93
Tabela 29 – Massa específica, teor de argamassa e abatimento para os traços produzidos.....	94
Tabela 30 – Resultados da avaliação do concreto no estado fresco.....	94

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 RESÍDUOS DE QUARTZITOS, MEIO AMBIENTE E A CONSTRUÇÃO CIVIL

O Sudoeste do Estado de Minas Gerais é conhecido nacionalmente pela produção de quartzitos utilizados em revestimentos na construção civil, a chamada “pedra mineira”. A extração do quartzito na região, entretanto, ocorre, muitas vezes, de forma clandestina ou não cumprindo os requisitos de controle ambiental da atividade. Exemplos desta situação foram as ocorrências recentes do fechamento de diversas minerações na região, pelo órgão ambiental competente, por irregularidades nos empreendimentos.

Mesmo nas minerações que exercem a sua atividade legalmente, obedecendo às determinações dos órgãos ambientais, a quantidade de resíduo gerado no processo de extração é muito grande. Segundo informações da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, no ano de 2002, os rejeitos nas minerações poderiam chegar a 92% do material extraído. Neste mesmo ano a produção de placas de quartzitos (pedra mineira) em Minas Gerais, segundo Chiodi (2003), foi da ordem de 300 mil toneladas, neste caso a geração de resíduos atingiria 3,5 milhões de toneladas nas minerações do Estado. Isto acontece porque o quartzito é utilizado, fundamentalmente, como pedra de revestimento e, desta forma, deve ser extraído em placas, obedecendo a padrões de espessura e comprimento. Todo o material extraído que não obedece este padrão, passa a constituir rejeito nos “bota-foras”.

O resíduo gerado no processo de extração e de processamento da “pedra mineira” é um grande problema para os empreendedores, uma vez que, devido ao grande volume de material, passa a produzir impactos ambientais negativos, tais como: desconfiguração da paisagem; alterações na conformação natural do relevo; assoreamento dos corpos de água; impedimento ao desenvolvimento da vegetação nativa; instabilidades nos taludes; dentre outros. A Figura 1 (a), (b) e (c) mostra imagens do processo de extração de placas de quartzitos, da geração de rejeitos no interior de minerações e da formação de grandes volumes destes rejeitos no entorno das minerações, respectivamente.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 – Geração de resíduos nas minerações de quartzitos do Sudoeste Mineiro.

Por outro lado, os rejeitos de quartzitos, caso obedecem aos padrões normativos estabelecidos para o uso de materiais rochosos nas diferentes possibilidades de aplicação na construção civil, podem configurar-se como materiais viáveis para outros fins, oferecendo, desta forma, alternativas ao seu uso exclusivo, até então, como pedra de revestimento.

Uma destas alternativas poderia ser o uso como agregado na construção civil, como material componente do concreto, lastro de ferrovias ou de obras viárias. Francklin Junior (2006), em um estudo preliminar sobre os materiais rochosos utilizados como agregado no Sudoeste Mineiro, incluiu na pesquisa uma amostra de quartzito e, em avaliação, este tipo litológico apresentou resultados similares aos outros que são utilizados comercialmente na região (diabásio, gnaiss e calcário). Pinheiro (2003) realizou um estudo com rejeitos de quartzitos provenientes da mesma região para utilização como agregado no concreto, uma das principais verificações foram a necessidade de adequação do processo de produção (britagem), classificação granulométrica e levantamento dos tipos de quartzitos em diferentes localidades do Sudoeste Mineiro.

Os resultados obtidos por Pinheiro (2003) e Francklin Junior (2006), motivaram a realização desta pesquisa. Um estudo mais aprofundado no quartzito, envolvendo minerações de vários municípios, poderia dar sustentação à hipótese de que o rejeito do quartzito do Sudoeste Mineiro pode ser reaproveitado na construção civil, em especial na produção de concreto.

A necessidade da reciclagem e minimização da geração de resíduos sólidos devem ser constantemente incentivadas, principalmente pelo fato do setor da construção civil ser grande consumidor de recursos naturais, segundo John (2000). Entretanto, a implantação para a efetiva utilização na construção civil deve ser realizada somente após estudos amplos no novo material e integrando conhecimentos de diferentes áreas.

Desta forma, pretende-se, nesta pesquisa, estudar a produção do agregado (britagem) e caracterizar várias amostras para análise da possibilidade de uso dos rejeitos como agregado para concreto.

Dentre os benefícios advindos com o reaproveitamento do resíduo de quartzito podem-se citar aspectos ambientais e econômicos: dentre os aspectos ambientais, o uso alternativo do quartzito estaria contribuindo para a diminuição do material destinado ao bota-fora e,

consequentemente, reduzindo os impactos ambientais negativos já citados anteriormente; com relação ao aspecto econômico, o mercado passaria a disponibilizar um novo tipo rochoso para uso na construção civil, com custo mais baixo, uma vez que não demandaria dos encargos necessários para a abertura de uma nova jazida.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo tecnológico em resíduos da mineração de quartzito do Sudoeste Mineiro para verificação da possibilidade de reciclagem destes resíduos como agregado graúdo no concreto de cimento Portland.

Como objetivos específicos citam-se:

- Realizar um levantamento das principais variedades de quartzito que estão sendo explorados comercialmente no Sudoeste Mineiro como pedra de revestimento;
- Avaliar propriedades físicas e mecânicas de agregados de quartzitos com a finalidade de averiguar a sua adequação como agregado graúdo no concreto;
- Avaliar a potencialidade reativa de diferentes amostras de quartzitos com os álcalis do cimento (CP II Z-32 e CP V-ARI);
- Avaliar propriedades físicas e mecânicas do concreto confeccionado com o agregado produzido.

CAPÍTULO 2

AGREGADOS PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Serão apresentados neste capítulo uma revisão bibliográfica sobre as propriedades físicas, mecânicas, químicas, mineralógicas e petrográfica dos gnaisses e principalmente dos quartzitos (objetos da presente pesquisa) direcionados ao uso na construção civil, em especial como agregado graúdo no concreto.

2.1 GNAISSES E QUARTZITOS E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Gnaisses são rochas metamórficas de granulação mais grosseiras e duras. De acordo com Popp (1998), apresentam uma orientação muito nítida dos minerais presentes, que se agrupam formando bandas ou faixas alternadas em tons claros e escuros. Para Frazão (2002), suas resistências mecânicas variam de acordo com a direção de aplicação dos esforços em relação à sua estrutura.

Frasca e Sartori (1998) afirmam que os gnaisses são rochas resistentes e apropriadas para a maioria das aplicações na engenharia, desde que não alteradas e não apresentem planos de foliação (em geral, ricos em minerais micáceos, como a biotita) em quantidade e dimensões que possam configurar descontinuidades ou planos propícios a escorregamento.

Podem ser usadas como pedra de revestimento apresentando durabilidade parecida às dos granitos e como pedra britada. Segundo Frazão (2002), o gnaisse possui como característica indesejável fragmentos achatados e alongados, minimizável por rebitagem.

Quartzitos são rochas metamórficas provenientes do metamorfismo dos arenitos e, por isso, podem ser confundidas com eles. A principal diferença é a presença de minerais micáceos. Segundo Popp (1998), os quartzitos são duros e quando quebrados os minerais de quartzo são seccionados ao meio, enquanto nos arenitos eles apenas se deslocam, permanecendo inteiros.

Os quartzitos apresentam grande variedade de cor e aspectos, pois nem sempre a rocha original era um arenito puro. Frazão (2002) ressalta que a resistência mecânica do quartzito depende também da posição da estrutura em relação a linha de aplicação das cargas.

Os quartzitos são utilizados como pedra de revestimento por ser, segundo Frazão (2002), facilmente transformadas em placas com baixa alterabilidade, por serem porosos e a resistência mecânica ser dependente da posição da estrutura em relação a linha de aplicação de cargas. Mesmo apresentando elevada dureza, não manifestam boas propriedades dimensionais e morfométricas como pedra britada.

2.1.1 Características mineralógicas, texturais e estruturais

O conhecimento da mineralogia, textura e estrutura das rochas gnaisses e quartzitos são de suma importância para os estudos e direcionamento de usos e aplicações destes materiais na construção civil, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Características mineralógicas, texturais e estruturais (FRASCÁ E SARTORI, 1998).

	Mineralogia	Textura	Estrutura
Gnaisse	consiste essencialmente de feldspatos, quartzo, biotita e/ou hornblenda.	Granolepido / nematoblástica.	Gnáissica, fornecida pela orientação de minerais placóides ou de hábito prismático
Quartzito	são formadas quase que exclusivamente de quartzo recristalizados em arranjos granoblástico e sericita.	Granoblástica / granolepidoblástica	Maciça ou foliada.

A Figura 2 mostra imagens de uma diversidade de quartzitos oriundos de diferentes regiões do Brasil. Na Figura 2 (a) o quartzito branco é originado da região de São Tomé das Letras em Minas Gerais, na Figura 2 (b) o quartzito azul é originado da Bahia e na Figura 2 (c) o quartzito verde do estado do Rio Grande do Norte. Cada qual com suas características mineralógicas e descrição macroscópica, especificadas na Tabela 2.

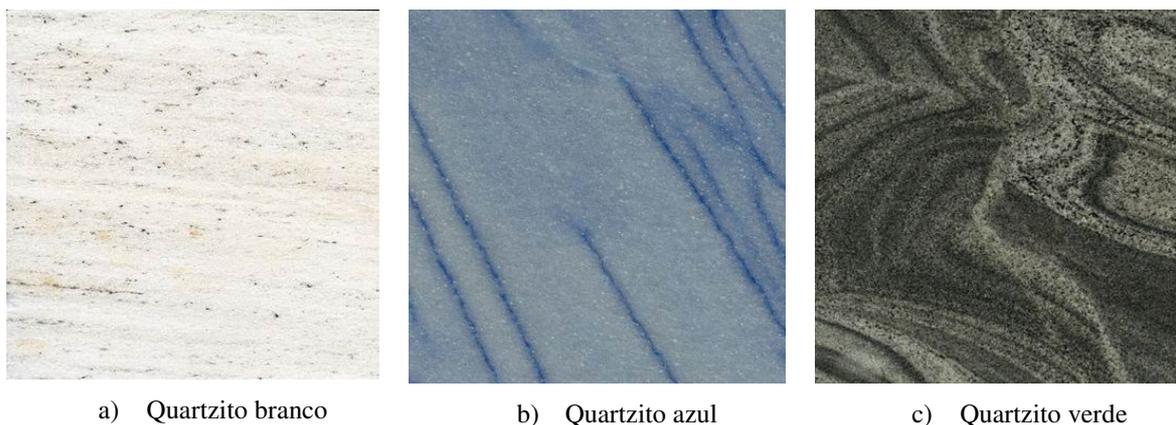


Figura 2 – Imagens de diferentes tipos de quartzitos de Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Norte, respectivamente (ABIROCHAS, 2009).

Tabela 2 – Composição mineralógica e descrição macroscópica de quartzitos (ABIROCHAS, 2009).

Tipo	Composição Mineralógica	Descrição Macroscópica
Quartzito branco	1% de Opacos, 9% de Muscovita, 90% de Quartzo	Granulação fina, com orientação pronunciada de finas palhetas de mica (muscovita), com distribuição homogênea, sem a presença de planos de foliação bem definidos. Foram observadas finas bandas constituídas por grãos de quartzo de granulação mais desenvolvida.
Quartzito azul	3% de Cianita, 5% de Dumortierita, 7% de Muscovita, 85% de Quartzo	Quartzito azul claro, com pontuações brancas disseminadas, fino, homogêneo, levemente foliado, cortado por dois sets transversais de segregações milimétricas de dumortierita azul-anil, que lhes dá aspecto listrado.
Quartzito verde	4% de Granada, 5% de Acessórios, 10% de Microclina, 16% de Epidoto, 30% de Quartzo, 35% de Plagioclásio	Coloração rosa esverdeado, granulometria variando de milimétrica a subcentimétrica, com as partes esverdeadas preenchendo fraturas e ocupando porções destacadas do conjunto da rocha.

Imagens de diferentes tipos de gnaisses também são mostradas na Figura 3 (a) e (b), originadas do estado do Rio de Janeiro e as características mineralógicas estão relacionadas na Tabela 3.

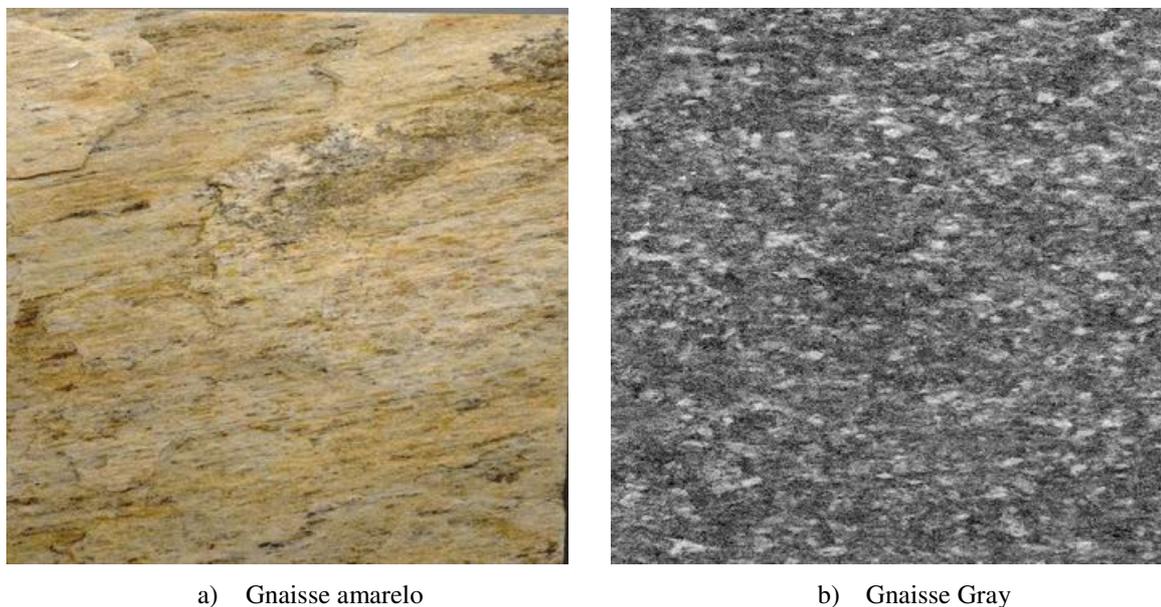


Figura 3 – Imagens de diferentes tipos de gnaiss do estado do Rio de Janeiro (ABIROCHAS, 2009).

Tabela 3 – Composição mineralógica e descrição macroscópica de gnaisses (ABIROCHAS, 2009).

Tipo	Composição Mineralógica	Descrição Macroscópica
Gnaiss amarelo	45% de Microclina, 10% de Quartzo, 7% de Opacos (óxidos de ferro), 5% de Pagioclásio, 3% de Biotita.	Rocha de granulação fina, fortemente orientada e de cor rosa amarelado claro com filetes escuros (minerais opacos).
Gnaiss Gray	35% de Pogioclásio, 20% de Microclina micropertítico, 17% de Quartzo, 12% de Hornblenda, 12% de Biotita, 4% de Acessórios.	Rocha milonítica, de granulação fina e cor cinza escuro com ponto brancos (feldspatos).

2.1.2 Ocorrências no Brasil e Sudoeste de Minas

No Brasil as formações rochosas podem se agrupar em três grandes porções, segundo Popp (1998), ao Norte, constituindo o Escudo das Guianas, no Centro formando o Escudo Brasileiro, e ao Sul, constituindo o Escudo Uruguaio ou Rio-Grandense. A grande estrutura conhecida do Escudo Brasileiro é o geossinclínio do Espinhaço, que se estende desde Ouro Preto, Minas Gerais, até a Bacia do Maranhão. Ocorrem ainda áreas de rochas pré-cambrianas no Pará, Maranhão e ao longo da orla atlântica. O Escudo das Guianas abrange o norte do Amazonas, Pará, Roraima e Amapá. É constituído por gnaisses, quartzitos e granitos.

No Espinhaço, as rochas mais antigas atingem a idade de 3 bilhões de anos. São do Grupo Pré-Rio das Velhas e constituem-se de anatexitos, gnaisses, granodioritos e migmatitos.

O Grupo Minas, na mesma região, é constituído principalmente de quartzitos, filitos e conglomerados. Na Bacia do São Francisco, que se estende desde Minas Gerais até a Bahia, ocorrem calcários, dolomitos e tilitos.

Conforme Bartorelli e Haralyi (1998), a bacia sedimentar do Paraná, que abrange no Brasil os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, sendo estes dois últimos atingidos em apenas uma pequena parte, ocorrem, predominantemente, as rochas basálticas.

Ao longo da costa brasileira, desde o sul da Bahia até o Uruguai, ocorrem rochas pré-cambrianas e eo-paleozóicas (POPP, 1998). São rochas pertencentes ao embasamento, como os migmatitos e rochas dos grupos Açungui, Brusque e Porongos na região sul do Brasil, representadas por xistos, filitos, quartzitos e mármore, entre outras. Granito intrusivos de várias idades cortam a seqüência.

De acordo com a COMIG (1994), através do mapa geológico do estado de Minas Gerais as formações geológicas na cidade de Passos no Sudoeste de Minas Gerais e proximidades, são as seguintes:

- Grupo Araxá: micaxitos, anfíbolitos, quartzitos, gnaisses e formação ferrífera;
- Grupo São Bento (Formação Serra Geral): basaltos e diabásios;
- Grupo Canastra: quartzitos, filitos; Cax: domínio de xistos e filitos;

- Grupo Carmo do Rio Claro: filitos carbonosos ou não e quartzitos;
- Grupo Complexo Campos Gerais: gnaisses bandados, migmatitos, granito-gnaisses, anfibolitos, quartzitos, xistos, metaultramáficas.

A Figura 4 apresenta um perfil geológico do Brasil, indicando as formações rochosas ígneas, metamórficas e sedimentares (POPP, 1998).

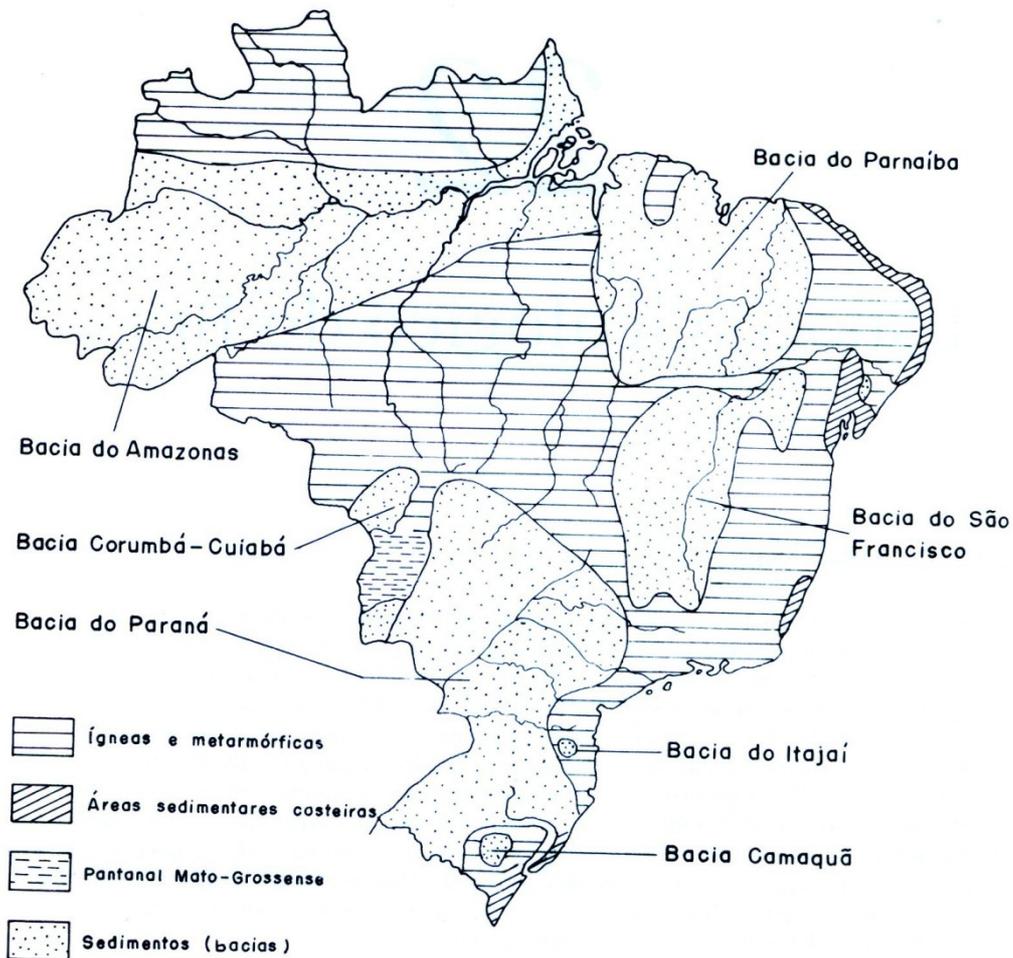


Figura 4 – Perfil Geológico do Brasil (POPP, 1998).

2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DAS ROCHAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Senço (1997) apresenta na Tabela 4 alguns aspectos e propriedades básicas dos gnaisses e dos quartzitos para uso como agregado na construção civil.

Tabela 4 – Algumas propriedades dos gnaisses e quartzitos (SENÇO, 1997).

Rochas	Aspectos	Algumas propriedades			
		Massa específica média (g/cm ³)	Absorção de água média	Resistência a compressão média (MPa)	Resistência ao intemperismo
Gnaisse	Minerais orientados, leucocrático	2,65	Muito variável	120	Boa
Quartzito	Ligeiramente brilhante, áspero ou liso, branco	2,50	<1,0%	200	Ótima

As propriedades das rochas que interessam à construção civil, segundo Frazão (2002), podem ser classificadas em geológicas, físicas e físico-mecânicas.

Propriedades Geológicas:

São, na verdade, conforme Shestoperov (1983 apud FRAZÃO, 2002), propriedades químico-mineralógico-petrográficas e estão estreitamente ligadas à natureza da rocha, ou do material pétreo em foco, que está refletida na composição mineralógica, textura, estrutura, bem como no grau (estado) e tipo de alteração mineralógica, além de propriedades daí decorrentes, como solubilidade, cristalinidade, alterabilidade, forma das partículas na fragmentação, coerência etc.

Propriedades Físicas

A caracterização destas propriedades, de acordo com Serra Junior e Ojima (1998), é realizada essencialmente por ensaios de laboratório que serão abordados posteriormente.

As propriedades físicas são altamente influenciadas pelas propriedades geológicas. Segundo Frazão (2002), podem ser resumidas em densidade, massa específica, porosidade, permeabilidade, capacidade de absorção de água, dureza, calor específico, condutibilidade térmica, dilatação térmica, expansibilidade (e contratibilidade), adesividade etc.

Propriedades Físico-Mecânicas

As propriedades físico-mecânicas também influenciadas pelas propriedades geológicas podem ser resumidas, segundo Frazão (2002), em resistência à compressão, à tração (direta ou indireta), ao cisalhamento, ao impacto, à deformabilidade (ou elasticidade), à britabilidade, à abrasividade etc.

Serra Junior e Ojima (1998) ressaltam que estas propriedades podem ser determinadas através de ensaios no local, inclusive em furos de sondagens e em laboratório, destacando os principais ensaios:

- Ensaio de compressão uniaxial;
- Ensaio de compressão puntiforme;
- Ensaio de compressão triaxial;
- Ensaio de cisalhamento direto;
- Ensaio de deformabilidade;
- Ensaio para determinação de estado de tensões.

2.2.1 Uso de materiais rochosos como agregado no concreto

Os materiais rochosos na forma granular são denominados de agregados. Estes materiais devem possuir dimensões e propriedades adequadas e são classificados da seguinte maneira:

- quanto à origem - são denominados naturais aqueles que são extraídos da natureza na forma de fragmentos como areia e pedregulho. Os artificiais são os materiais que passam por processos de fragmentação e calcinação.

- quanto à densidade tem-se: agregados leves (pedra pomes, vermiculita, argila expandida etc.), agregados pesados (barita, magnetita, limonita etc.) e agregados normais (areia, pedregulhos e pedra britada).
- quanto ao tamanho dos fragmentos - Agregados graúdo (diâmetro mínimo superior a 4,8mm) e Agregados miúdo (diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm).

Responsáveis por 60% a 80% do volume do concreto, os agregados podem exercer influência sobre a resistência mecânica, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto. Neville (1997) ressalta que muitas propriedades do agregado dependem inteiramente das propriedades da rocha-mãe, por exemplo, composição química e mineralógica, características petrográficas, densidade de massa, dureza, resistência, estabilidade química e física, estrutura de poros e cor. Por outro lado, algumas propriedades dos agregados não estão presentes na rocha-mãe: forma e tamanho de partículas, textura superficial e absorção. Todas estas propriedades podem ter considerável influência na qualidade do concreto, tanto fresco como endurecido.

2.2.2 Ensaios de caracterização

Segundo Frazão (2002), a caracterização tecnológica de rochas para uso como material de construção é feita por meio de técnicas apropriadas que permitem conhecer as propriedades das rochas isoladamente ou em conjunto e de forma direta ou indireta.

Relacionam-se a seguir, os principais ensaios tecnológicos para a caracterização das rochas de acordo com as normas brasileiras (FRAZÃO E PARAGUASSU, 1998).

Petrografia: feita por dois tipos de análises, a macroscópica para identificação da estrutura, coloração e estado geral de sanidade, e por microscopia óptica, para identificação dos tipos de minerais, seus estados de alteração, suas granulações, suas quantidades e para avaliação do estado microfissural da rocha.

Granulometria: feita através de peneiramento em malhas de aberturas padronizadas, propicia obter a distribuição dos tamanhos das partículas. Com objetivos de direcionar a aplicação dos agregados.

Massa específica: é importante conhecê-la para uso no cálculo da dosagem do concreto, na avaliação do peso morto do agregado.

Porosidade: interfere na resistência do agregado, na quantidade de água para confecção do concreto e podendo ocorrer ataque através da água ou outros agentes químicos aos minerais das rochas altamente porosas.

Massa unitária: a determinação da massa unitária fornecerá informações para a produção do concreto hidráulico diminuindo os índices de vazios e, conseqüentemente, melhorando a sua resistência.

Forma dos fragmentos: consiste em determinar as dimensões dos grãos, podendo ser feita de diversas maneiras, sendo a mais comum a técnica de medir o comprimento (A), a largura (B) e a espessura (C) do fragmento. Estas três dimensões, quando relacionadas duas a duas, ou seja, largura/comprimento e espessura/largura, são usadas para a classificação dos fragmentos em quatro grupos distintos com respeito à forma: cúbica (ou esférica), lamelar (ou achatada), alongada (ou prismática) e alongada-lamelar.

Reatividade: poderá ser feito por dois principais procedimentos em laboratório:

- **Método químico:** o agregado é moído, é submetido à dissolução em solução de NaOH 1N. A quantidade de sílica dissolvida e a conseqüente redução de alcalinidade permitem classificar o agregado em inócuo, deletério ou potencialmente deletério.
- **Método das barras:** corpos de prova de argamassa, nos quais a areia proveniente da moagem do agregado é combinada com cimento de alcalinidade conhecida, são colocados em ambiente de umidade controlada e as eventuais expansões, devido às reações, são medidas periodicamente a partir de 14 dias até 12 meses.

Resistência à abrasão: consiste em determinar a resistência do agregado ao desgaste e ao impacto, desde a fase de preparação dos concretos, socagem do lastro de ferrovias, além das solicitações do tráfego nas estradas. Para esta verificação o ensaio comumente utilizado é o de abrasão Los Angeles. Neste ensaio, uma amostra com granulometria e massa pré fixada é introduzida em um tambor de aço juntamente com esferas também de aço. O resultado é expresso em porcentagem de material menor que a malha de abertura 1,68 mm. Quanto maior a porcentagem, menor será a resistência do agregado.

Esmagamento: este ensaio simula os carregamentos a que os agregados estarão submetidos, do tipo compressional em pavimentos ou lastro de ferrovias, pela ação do peso dos veículos. O ensaio é feito em um cilindro rígido de aço, onde o agregado nas dimensões entre 12,5 e 9,5 mm, é compactado de maneira padronizada e submetido a carregamento até alcançar 40 t. O resultado é apresentado pela média de dois ensaios e expresso pela porcentagem de material desagregado com dimensões menores que a abertura da malha de 2,4 mm.

Compressão uniaxial: determina a resistência dos materiais rochosos a compressão, é importante para qualificar as rochas para todos os tipos de uso. O ensaio é executado em corpos de prova regulares (cúbicos ou cilíndricos) extraídos de um bloco ou maciço rochoso, que são submetidos a cargas lentas e progressivas até que ocorra a sua ruptura. O resultado é expresso pela relação entre a força que provoca a ruptura e a área de carregamento dos corpos de prova.

Alterabilidade: a alterabilidade de uma rocha pode ser avaliada pela análise petrográfica, macro e microscópica, quando pode ser prevista sua potencialidade tanto à desagregação, quanto a apresentar baixas resistências, pela presença ou não de certos minerais. Os principais ensaios de alterabilidade são:

- Ciclos de saturação em solução de sulfato de sódio ou magnésio e secagem em estufa;
- Ciclos de saturação em água e secagem em estufa;
- Imersão em etileno-glicol, que objetiva caracterizar a suscetibilidade de argilominerais;
- Ensaio nas condições naturais.

Estas alterações influenciam na resistência inicial destes materiais mesmo quando usados com ligantes, como em concretos de cimento Portland e betuminosos, afetando negativamente as suas resistências.

2.2.3 Especificações para uso de agregado na construção civil

Os agregados para uso na construção devem seguir limites e especificações para determinado uso, estes limites são definidos por ensaios tecnológicos e estão descritos na Tabela 5 e Tabela 6.

No estudo e avaliação de materiais rochosos para uso como agregado na construção civil, Verhoef e Van De Wall (1998 apud GOMES, 2001), utilizaram parâmetros comparativos indicados na Tabela 5, os quais estabelecem níveis de qualidade do agregado baseado em resultados em laboratório.

Tabela 5 – Guia para avaliação da qualidade do agregado baseado em resultados de ensaios laboratoriais (VERHOEF e VAN DE WALL, 1998 apud GOMES, 2001).

ENSAIO (ÍNDICE)	EXCELENTE	BOM	RAZOÁVEL	RUIM
Massa específica seca (g/cm ³)	> 2,9	2,6 – 2,9	2,3 – 2,6	< 2,3
Absorção d'água (%)	< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 6,0	> 6,0
Porosidade (%)	< 2	2 – 3	3 – 4	> 4
Resistência a compressão simples (MPa)	> 200	100 – 200	50 – 100	< 50
Resistência a carga pontual (MPa)	> 8,0	4,0 – 8,0	1,5 – 4,0	< 1,5
Resistência ao esmagamento (%)	< 20	20 – 25	25 – 30	> 30
Resistência a abrasão Los Angeles (%)	< 40	40 – 45	45 – 50	> 50

Na Tabela 6 estão relacionadas descrições hierárquicas das propriedades e da aplicação dos tipos rochosos em diferentes seguimentos na construção civil, segundo Frazão (2002).

Tabela 6 – Hierarquização dos diferentes graus de importância do conhecimento das propriedades das rochas, conforme o tipo de aplicação destas (FRAZÃO, 2002).

Propriedades e Aplicações	Concretos Hidráulicos	Concretos Betuminosos	Lastros Ferroviários	Revestimentos de edificações
Características petrográficas	1	1	1	1
Índices físicos	1	1	1	1
Velocidade de propagação de ondas longitudinais	3	3	3	3
Coefficiente de dilatação térmica	2	3	1	1
Distribuição granulométrica	1	1	1	Na
Forma do agregado	1	1	1	Na
Reatividade potencial	1	Na	Na	Na
Adesividade	Na	1	Na	Na
Alterabilidade	2	2	1	1
Resistência ao desgaste	1	1	1	1
Resistência ao impacto	2	2	1	1
Resistência ao esmagamento	1	2	1	Na
Resistência à compressão	2	2	1	3
Resistência flexão	3	3	3	1
Módulo de deformabilidade	2	3	3	3

3 = muito importante; 2 = importante; 1 = pouco importante; Na = não aplicável

A Equipe de FURNAS (ANDRADE et al, 1997) estudou diversos tipos de quartzitos de procedências diferentes com finalidades de aplicação na construção civil. Os resultados

apresentados na Tabela 7 correspondem aos ensaios de resistência à compressão realizados em testemunhos.

Tabela 7 – Resistência a compressão em testemunhos de quartzitos (ANDRADE et al, 1997).

Procedência	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Nº de ensaios
Paulista	237,1	64,6	3
Salto Caiabís	97,8	42,9	5
Salto Apiacás	104,4	16,1	7
Serra da Mesa	54,3	44,1	11
Corumbá I	367,3	-	1
Bocaina	112,5	12,7	2
Serra da Mesa	68,1	20,0	2

A mesma equipe também realizou outros ensaios. Na Tabela 8 destacam-se os valores de massas específicas e absorção de água, realizados em quartzitos de diferentes procedências. Os valores de massa específica encontrados por Andrade et al (1997) foram pouco superiores ao referenciado por Senço (1997) na Tabela 4, enquanto que a absorção de água dos quartzitos foram na grande maioria inferiores à 1%.

Tabela 8 – Massa específica e absorção do agregado graúdo de quartzitos (ANDRADE et al, 1997).

Procedência	Massa específica (Kg/dm ³)	Absorção
Estreito	2,65	0,60
Serra da Mesa	2,80	0,75
Corumbá I	2,64	0,76
Foz da Bezerra	2,64	0,70
Paulista	2,49	1,67

Sbrighi Neto (2005) apresenta, na Tabela 9, algumas especificações de propriedades típicas de gnaisses e quartzitos utilizados na produção de agregado para concreto. Nota-se a grande variabilidade da resistência à compressão das rochas, estes valores comparados ao especificado na Tabela 7 por Andrade et al (1997) verifica-se que das 7 amostras de quartzitos analisadas 5 delas obteve valores inferiores ao mínimo especificado na Tabela 9, que é de 130 MPa. Já os valores de massa específica e absorção de água (Tabela 8) enquadram na grande maioria no intervalo especificado na Tabela 9.

Tabela 9 – Algumas propriedades típicas dos gnaisses e quartzitos para uso como agregado no concreto (SBRIGHI NETO, 2005).

Rocha	Resistência à compressão (MPa)			Absorção (%)	Massa específica (g/cm ³)	Módulo Deformação (GPa)
	Média	Máximo	Mínimo			
Gnaisse	150	240	100	0,2 a 0,8	2,55 a 2,70	40 a 70
Quartzito	260	400	130	0,1 a 0,8	2,55 a 2,70	50 a 100

2.3 MANIFESTAÇÕES DELETÉRIAS AO CONCRETO PROVOCADAS POR AGREGADOS REATIVOS

Em relação às manifestações químicas deletérias ao concreto, provocadas principalmente em combinações cimento/agregado, Gomes (2005) descreve:

Reação Álcali-sílica - Os álcalis do cimento, em presença de água, podem reagir com agregados que contenham certos minerais de sílica, formando um gel em volta da partícula do agregado. Este gel umedecido causa expansão do agregado e conseqüentemente a do concreto.

Reação Álcali-carbonato - Esta reação é similar a Álcali-sílica, entretanto, nenhum gel visível é formado. Rochas susceptíveis a reação Álcali-carbonato são os calcários dolomíticos.

Presença de minerais metálicos - Alguns componentes metálicos, tal como o óxido de zinco, pode afetar seriamente o concreto. Algumas piritas ao se oxidarem podem causar problemas relacionados a expansão mineral.

Presença de sulfetos - Pirita, Marcassita e Pirofilita são minerais acessórios frequentes em rochas que são utilizadas como agregados. Se há oxigênio livre no ambiente, provavelmente haverá a oxidação destes minerais provocando a perda de resistência do concreto. A oxidação produz sulfatos solúveis que reagem com a matriz do cimento causando aumento de volume associado a fissuras.

Presença de sulfatos - Quando presente em quantidades suficientes, ou quando em ambientes saturados e úmidos, sulfatos podem reagir com componentes do cimento resultando em uma expansão excessiva, culminando com a ruptura do concreto.

2.3.1 Reação álcali-agregado

A Reação Álcali-Agregado (RAA) segundo Hasparyk (2005), pode ser definida como a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes, principalmente, do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultado da reação são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto.

Mehta e Monteiro (2008) comentam que a reação álcali-agregado pode causar expansões e fissurações, levando à perda de resistência, elasticidade e durabilidade do concreto.

Os maiores índices de ocorrência da reação álcali-agregado estão localizados, de acordo com Tiecher (2006), em estruturas expostas a ambientes úmidos e saturados, como estruturas de barragens, canais e pontes.

A reação álcali-agregado (RAA), segundo Tiecher (2006), é a reação química entre os hidróxidos alcalinos (provenientes do cimento, da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros) e alguns tipos de minerais presentes nos agregados, sendo que, de acordo com os minerais envolvidos, a RAA subdivide-se em reação álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

O produto da reação álcali-sílica e álcali-silicato constitui-se num gel sílico-alcálico capaz de expandir em contato com a água. Essa expansão leva ao aparecimento de fissuração mapeada e, algumas vezes, ao deslocamento de peças estruturais. Outra manifestação comum a esse tipo de reação é a exsudação do gel na superfície do concreto. Na reação álcali-carbonato não há formação do gel alcalino, entretanto, a fissuração mapeada e o deslocamento de elementos da estrutura também são as principais evidências da reação.

A possibilidade de ocorrência da RAA está condicionada, de acordo com Tiecher (2006), à interação entre a quantidade de álcalis disponíveis, a potencialidade reativa dos agregados e a presença de umidade junto à estrutura, sendo que, a partir da constatação dessa manifestação patológica no concreto, somente medidas paliativas podem ser tomadas para minimizar os danos resultantes, já que não se conhece uma forma de eliminá-la. Além disso, uma vez desencadeada a reação, ainda não é possível prever quanto tempo será necessário para que ela cesse.

2.3.2 Agregados potencialmente reativos

Hasparyk (1999) afirma que com o auxílio dos métodos petrográficos torna-se possível investigar uma rocha com o objetivo de verificar sua potencialidade reativa. Isto é feito através da sua correlação com diversos parâmetros observados, macro e microscopicamente, tais como: características mineralógicas; granulação; estrutura; textura; alterações e deformações da rocha. Com isto, pode-se verificar se a rocha é suscetível ou não a reações químicas.

A Tabela 10 apresenta uma correlação entre os agregados de gnaisses e quartzitos e as fases mineralógicas presentes.

Tabela 10 – Fase mineralógica reativa de agregados de gnaisses e quartzitos (HASPARYK, 1999).

Tipo de Agregado	Fase mineralógica reativa
Gnaisse e quartzito	> 30 % de quartzo tensionado, com ângulo de extinção ondulante $\geq 25^\circ$, feldspato deformado e quartzo de granulação fina

Hasparyk (2005) analisou concretos de uma estrutura da barragem da UHE-Furnas em São José da Barra MG, produzidos com agregados de quartzitos (provenientes da mesma região desta pesquisa). Esta barragem construída entre 1950 e 1963 já manifestou patologias provenientes da RAA. O estudo consistiu em realização de estudos com testemunhos de concreto verificando as propriedades no estado endurecido, análise microestrutural do concreto e dos agregados de quartzitos para investigação das reações deletérias. Na Figura 5 é mostrado um gel exsudado na superfície do concreto da UHE.



Figura 5 - Detalhe do gel exsudado na superfície da estrutura de concreto da UHE-Furnas (HASPARYK, 2005).

Tiecher (2006) ao estudar agregados do Sul do Brasil combinados com diferentes tipos de cimentos, verificou que todos os 40 agregados utilizados possuíam minerais reativos, e de todos os cimentos, o único capaz de inibir as reações foi o CP IV, justamente por conter alto teor de pozolana e baixo teor de álcali.

Valduga et al. (2005) verificaram a influência da forma dos grãos nos resultados de ensaio acelerado, quando as argamassas são moldadas com grãos mais angulosos têm-se expansões menores do que quando os agregados possuem os grãos arredondados, justamente devido aos vazios presentes nessas argamassas, onde o gel se acomoda. Os autores analisaram a influência de três fatores no ensaio da ASTM C-1260:2007, a forma do agregado, a relação água/cimento e a consistência da argamassa. Foi utilizado um

agregado basáltico comprovadamente reativo e então repetido o ensaio para cada uma das variáveis. Foi observado que, para as condições de ensaio da ASTM C-1260:2007, a variação na forma do grão de agregado e, conseqüentemente, nas consistências das argamassas tem influência significativa na classificação do agregado pelo ensaio.

2.3.3 Ensaio para determinação da reatividade potencial álcali-agregado

Existem diferentes métodos laboratoriais para determinação da potencialidade deletéria dos agregados combinados com os álcalis dos cimentos, segundo Hasparyk (1999) os mais comuns são:

- Análise petrográfica: identificação dos minerais deletérios, textural e estrutural;
- Método Osipov: método térmico, desenvolvido pelo engenheiro Albert Osipov do Institute Hydrosproject de Moscou;
- Método químico: ABNT NBR 9774:1987 e ASTM C-289:1994;
- Método das barras: ABNT NBR 9773:1987 e ASTM C-227:1990;
- Método acelerado: ASTM C-1260:2007;
- Método das rochas carbonáticas: ABNT NBR 10340:1988 e ASTM C-586:1992;
- Método dos prismas de concreto: ASTM C-1293:1995 (álcali-silica) e ASTM C-1105:1995 (álcali-carbonato);
- Microscopia Eletrônica de Varredura: investigação da reação;

Um dos ensaios mais comuns realizados em laboratório para verificação da potencialidade deletéria dos agregados é pelo método acelerado utilizando barras de argamassa em solução alcalina, e será detalhado a seguir:

Método acelerado: Este método, segundo Hasparyk (1999), permite uma avaliação rápida do comportamento de um agregado face a uma reação álcali-silica. Sua metodologia é baseada no método Acelerado Sul Africano NRRI - National Building Research Institute, desenvolvido por Oerholster e Davies no ano de 1986 e normalizada como ASTM C-1260.

Possuindo o mesmo princípio do método das barras (NBR 9773 e ASTM C-227), o ensaio da ASTM C-1260:2007 torna-se acelerado quando, após 24 horas de imersão em água, a 80 °C, as barras são imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1N a uma temperatura de 80 °C por 16 dias. Entretanto, é de praxe levar o ensaio até a idade de 30 dias uma vez que certos agregados manifestam um comportamento reativo mais lento.

Devem ser confeccionadas no mínimo três barras de argamassa, cuja preparação é similar à do método das barras, porém a água é fixada por uma relação água/cimento de 0,47 (em massa). As barras são medidas diariamente e os resultados expressos em porcentagem de expansão, correspondendo à média das três amostras.

A ASTM C-1260:2007 interpreta os resultados deste ensaio através dos limites de expansão como segue:

- expansões inferiores a 0,10 % aos 16 dias indicam um comportamento inócuo na maioria dos casos;
- expansões superiores a 0,20 % aos 16 dias são indicativas de expansão potencialmente deletéria;
- expansões entre 0,10 % e 0,20 % aos 16 dias indicam a possibilidade de agregados tanto com comportamento inócuo como deletério.

Nesta situação, sugere-se de acordo com Hasparyk (1999) a realização de investigações adicionais para confirmar se a expansão é devida à reação álcali-sílica. Estas informações incluem tanto a análise petrográfica do agregado, análise das amostras após ensaio para identificação de produtos provenientes da RAA como também um acompanhamento de campo, quando possível.

2.4 INFLUÊNCIAS DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Nesta seção serão abordados diferentes assuntos relacionados às influências dos agregados nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), as propriedades dos agregados afetam não apenas as características de dosagem do concreto, mas também o comportamento do concreto nos estados fresco e endurecido. Na Figura 6 é apresentada, através de fluxograma, que as características do agregado que são importantes para as propriedades do concreto decorrem da microestrutura da rocha matriz, condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação do agregado.

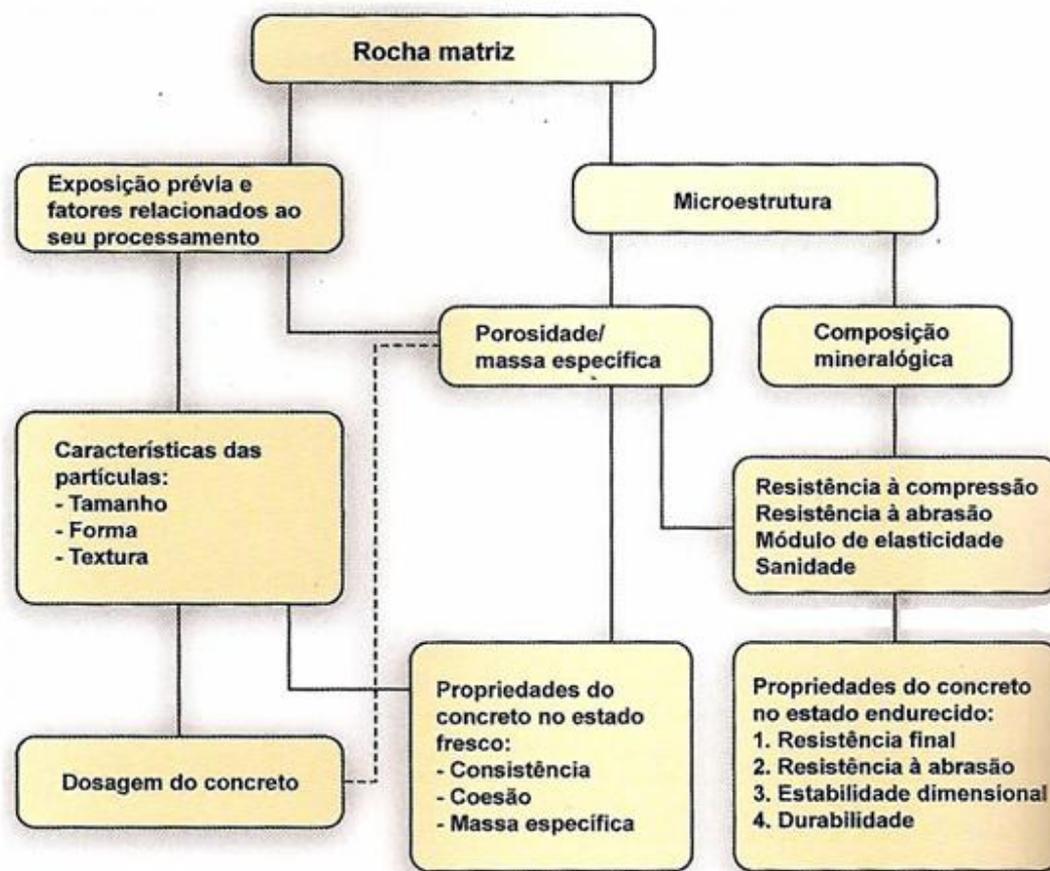


Figura 6 - Diagrama da influência dos agregados nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Petrucci (1978) destaca a importância dos agregados em argamassas e concretos, contribuindo, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, principalmente influenciando na melhoria de algumas características importantes, como: retração e aumento da resistência ao desgaste, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante.

Para um bom desempenho das funções dos agregados no concreto, devem os agregados apresentar, segundo Frazão e Paraguassu (1998), boa distribuição granulométrica, forma adequada das partículas, boa textura superficial (rugosidade), resistência mecânica satisfatória, composição mineralógica e petrografia adequadas.

As principais influências causadas pelos agregados nas propriedades do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido são:

Massa específica e massa unitária: Para efeitos de dosagem, é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. A massa específica é definida como a massa do material, incluindo os poros internos, por unidade de volume. Para a definição das dosagens de concreto, além da massa específica, também deve-se determinar a massa unitária, que é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. A grandeza da massa unitária surge porque não é possível empacotar as partículas do agregado juntas de forma a não deixar espaços vazios entre elas. Assim, o termo massa unitária é utilizado uma vez que o volume é ocupado tanto pelos agregados quanto pelos vazios.

Absorção e umidade superficial: Os dados relativos à capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são invariavelmente necessários para corrigir as proporções de água e de agregado em misturas de concreto produzidas com materiais estocados, segundo Mehta e Monteiro (2008). A absorção do agregado está diretamente relacionada com a quantidade de vazios comunicantes ou porosidade aparente dos grãos sólidos, de acordo com Farias e Palmeira (2007). Os valores de absorção das rochas ígneas e metamórficas geralmente são inferiores a 0,5% e raramente excedem 1,0%. Alguns tipos de basalto são exceções e podem ter alta absorção. Na Figura 7 são apresentadas as condições de teor de umidade e absorção de água dos agregados.

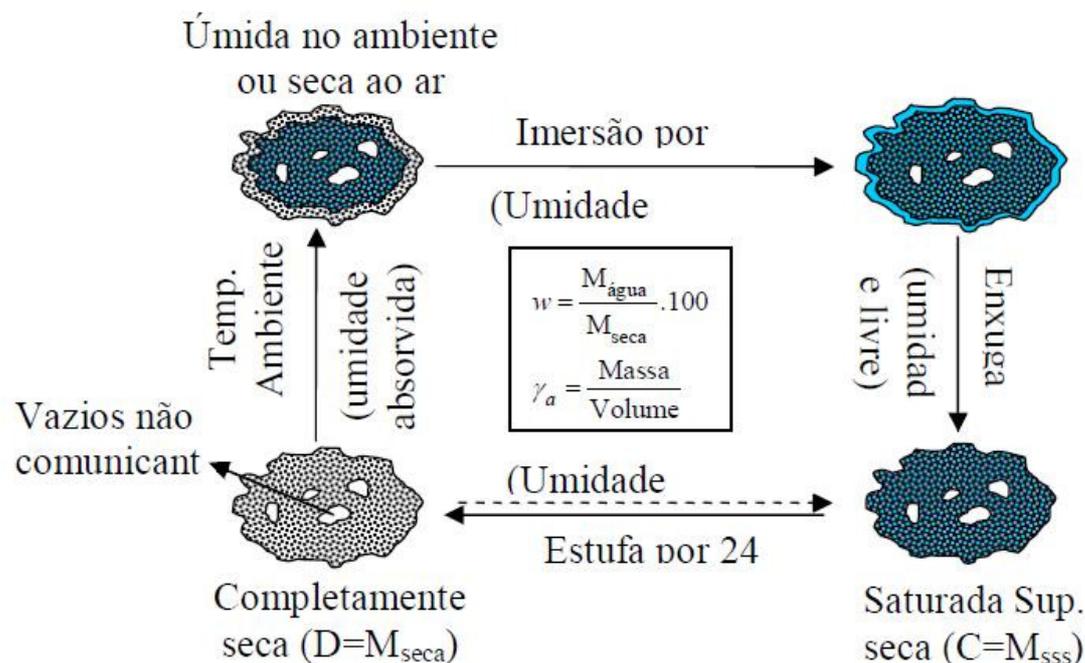


Figura 7 - Condições de teor de umidade e absorção de água dos agregados (FARIAS E PALMEIRA, 2007).

Distribuição granulométrica: deve ser adequada para obter maior compacidade do concreto, resultando em menor índice de vazios, permitindo maior economia de cimento e ganho de resistência. Segundo Farias e Palmeira (2007) o resultado da análise granulométrica é mais facilmente interpretado graficamente com o auxílio de curvas granulométricas, nas quais as ordenadas representam as porcentagens acumuladas passantes e a abscissa mostra a abertura das peneiras ou o diâmetro dos grãos em escala logarítmica, denominando a forma das curvas no gráfico como contínua, descontínua e uniforme (Figura 8).

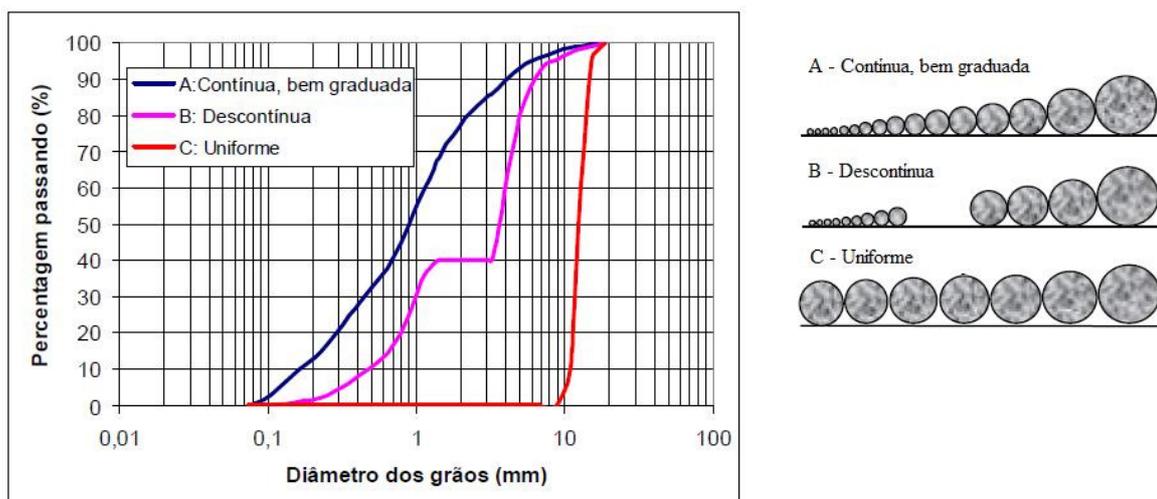


Figura 8 – Exemplos de curvas granulométricas (FARIAS E PALMEIRA, 2007).

Agregados de granulometria contínua, ou seja, que não apresentam grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas, segundo Farias e Palmeira (2007). Quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento. Segundo Mehta e Monteiro (2008), uma vez que o preço do cimento pode ser de 10 a 15 vezes maior do que o preço do agregado, qualquer ação que economize cimento sem reduzir a resistência e a trabalhabilidade do concreto pode resultar em um significativo benefício econômico.

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), como as partículas grandes tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, para misturas de concreto de alta resistência, a dimensão máxima do agregado geralmente fica limitada a 19 mm.

Forma das partículas: deve ser a mais equidimensional possível, para garantir a facilidade de manuseio e operação, aumentar a compacidade e promover maior resistência do concreto. Para Mehta e Monteiro (2008), a forma e a textura superficial das partículas do agregado influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que as do estado endurecido. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas necessitam de mais pasta de cimento para produzir misturas de concreto trabalháveis e, portanto, o custo aumenta.

A rocha submetida à fragmentação mecânica produz fragmentos com diferentes tamanhos e formas. A forma dos agregados é bastante influenciada pela estrutura e textura da rocha mãe. Rochas de estrutura maciça como os basaltos compactos, produzem britas de forma cúbica (adequadas para concreto). Por outro lado, com estrutura xistosa, como é típico em rochas sedimentares e alguns tipos de rochas metamórficas formadas a partir destas, com frequência produzem fragmentos de formas alongadas e lamelares (inadequadas para concreto). O processo de britagem também influencia no formato dos agregados segundo Farias e Palmeira (2007). Na Figura 9 são apresentados diferentes métodos para classificação da forma dos grãos.

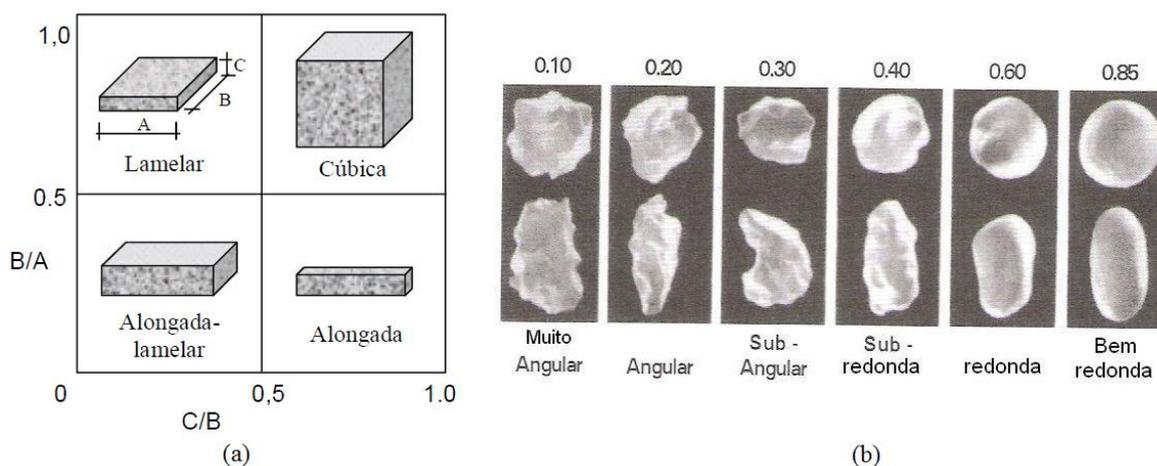


Figura 9 – Diferentes métodos para classificação da forma dos grãos (FARIAS E PALMEIRA, 2007).

Textura superficial: deve ter rugosidade adequada para melhorar a aderência entre o agregado e pasta de aglomerante.

Para Farias e Palmeira (2007), a textura superficial do agregado tem influência sobre a aderência com a pasta de cimento Portland. A classificação da textura superficial é verificada na apreciação petrográfica e se baseia no grau em que a superfície das partículas se apresentam polidas, opacas, lisas ou ásperas, na Tabela 11 é apresentado por Neville (1997) exemplos de texturas superficiais dos agregados.

Tabela 11 - Exemplo de textura superficial dos agregados (NEVILLE, 1997).

Textura	Característica	Exemplos
Vítrea	Fratura conchoidal	Calcedônia, escória vitrificada
Lisa	Erodido por água, ou devido a fratura de cristais finos ou laminares	Seixo, ardósia, mármore, alguns riólitos
Granulosa	Fratura mostrando grãos uniformes mais ou menos arredondados	Arenito, oolito
Áspera	Fratura áspera de rochas fina ou grosseiramente granuladas com cristais não facilmente visíveis	Basalto, felsito, calcário
Cristalina	Com constituintes cristalinos facilmente visíveis	Granito, gabro, gnaisse
Alveolar	Com poros e cavidades visíveis	Tijolo, pedra pomes, espuma de escória, clínquer, argila expandida

Segundo Neville (1997), uma superfície mais áspera, como a de partículas britadas, moles, porosas e mineralogicamente heterogêneas resulta melhor aderência devida ao intertravamento mecânico. Além disso, aderência é influenciada por outras propriedades físicas e químicas do agregado, relacionadas com a sua composição química e mineralógica, bem como com a condição eletrostática da superfície. Por exemplo, pode existir algum tipo de aderência química no caso de agregados silicosos.

Para Mehta e Monteiro (2008), há evidências de que, nas primeiras idades a resistência do concreto, principalmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado; uma textura mais áspera parece propiciar a formação de uma aderência física mais forte entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades mais avançadas com o desenvolvimento de uma aderência química mais forte entre a pasta e o agregado, esse efeito pode não ser

tão importante. Na figura 10 são apresentados alguns agregados graúdos com formas e texturas diferentes.

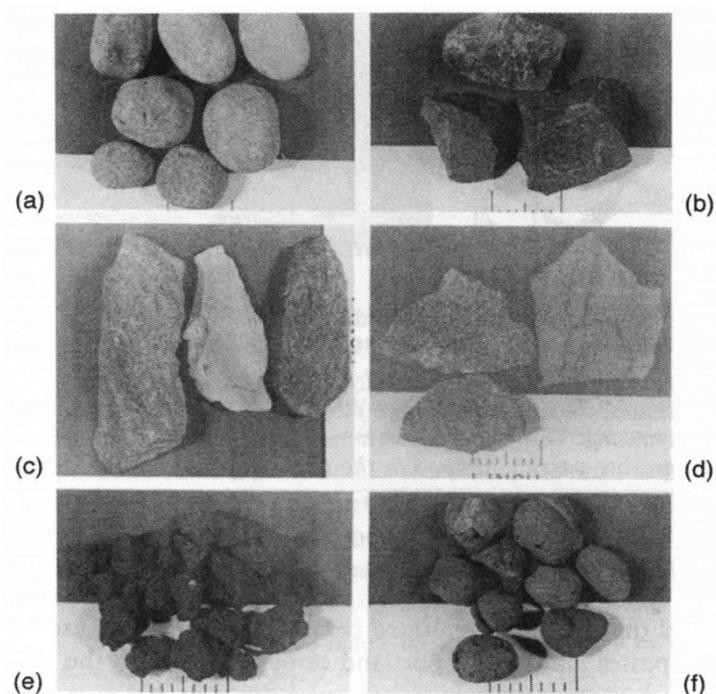


Figura 10 - Forma e textura superficial de agregados graúdos: (a) cascalho, arredondado e liso ; (b) brita, equidimensional e áspera; (c) brita, alongada e áspera; (d) brita achatada e áspera; (e) agregado leve; angularo e áspero; (f) agregado leve, arredondado e liso (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Para concretos convencionais de média resistência, a aderência do agregado à pasta é satisfatória e um corpo de prova rompido deve ter algumas partículas de agregado rompidas, além de outras, mais numerosas, arrancadas de seus alojamentos na pasta (NEVILLE, 1997). No entanto, um excesso de partículas rompidas pode significar que o agregado é muito fraco. Como depende da resistência da pasta hidratada endurecida, a aderência aumenta com a idade do concreto; aparentemente, a relação entre a resistência de aderência e a resistência da pasta de cimento aumenta com a idade. Assim, mesmo que adequada, a resistência de aderência por si mesma pode não ser um fator que controle a resistência de um concreto comum.

Segundo Neville (1997), a relação entre as resistências à compressão e à tração por compressão diametral depende do tipo de agregado graúdo usado, pois as propriedades do agregado, especialmente a forma e a textura superficial, têm muito menos influência sobre

a resistência última à compressão do que sobre a resistência à tração ou sobre a carga de fissuração à compressão. Na Figura 11, Neville (1997) apresenta a resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral de concretos produzidos com diferentes agregados. Os resultados mostraram que para concretos com agregados completamente lisos a resistência foi 10 % menor em relação aos concretos com agregados ásperos.

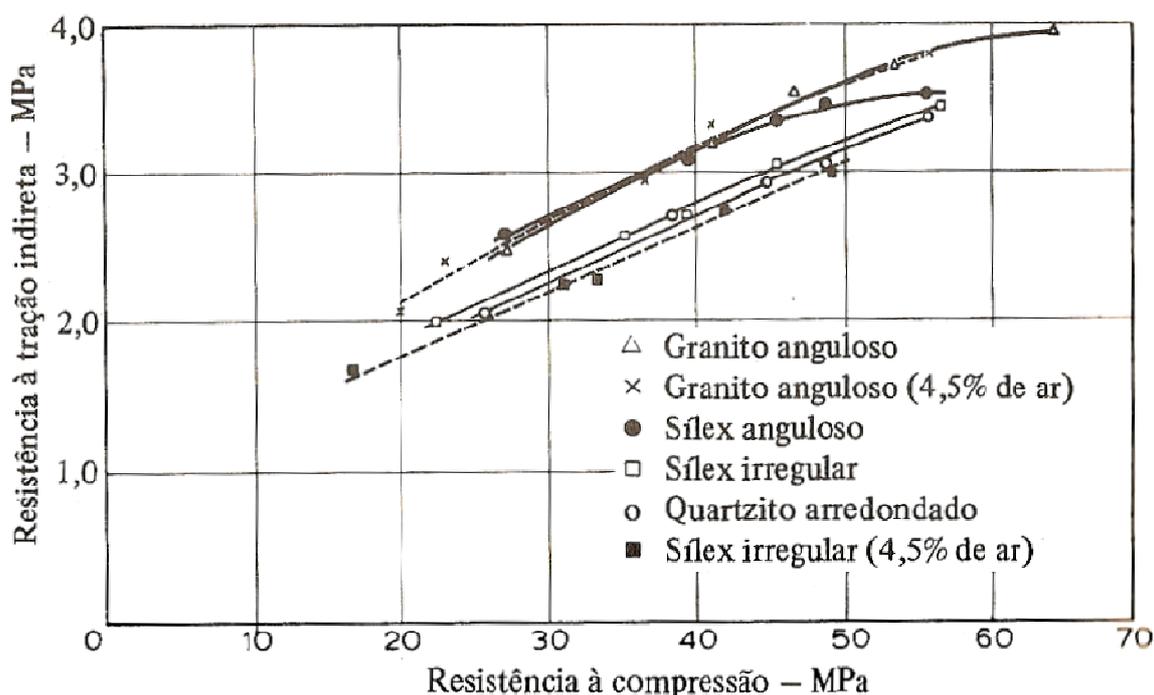


Figura 11 - Relação entre resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral (tração indireta) de concretos produzidos com diferentes agregados (NEVILLE,1997).

Resistência à compressão, resistência à abrasão e módulo de elasticidade: devem ser satisfatórios para suportar as solicitações físico-mecânicas tanto durante a preparação do concreto, como aquelas advindas dos esforços estruturais.

A resistência à compressão, a resistência à abrasão e o módulo de elasticidade do agregado são propriedades inter-relacionadas que são muito influenciadas pela porosidade. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), agregados de origem natural comumente utilizados para a produção de concreto de densidade normal geralmente são densos e resistentes; portanto, raramente são fator limitante da resistência e das propriedades elásticas do concreto. Valores típicos de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico

para a maioria dos agregados de granito, basalto, rochas plutônicas (tipo trap rock), flint, arenito quartzítico e calcários densos variam de 210 a 310 MPa e de 70 a 90 GPa, respectivamente.

Sbrighi Neto (2005) descreve que a escolha de agregado derivado de rochas densas e com alta resistência mecânica é aconselhável para compor os concretos. Isto porque, de acordo com Farias e Palmeira (2007) os agregados são sujeitos a esforços mecânicos de compressão, tração e flexão, transmitidos pelos carregamentos externos atuantes na estrutura na qual serão utilizados.

Composição mineralógica: deve ser adequada para garantir a durabilidade do concreto e evitar reações químicas indesejáveis com compostos químicos do cimento, segundo Frascá (2007). Uma das formas de diagnosticar a mineralogia dos agregados é efetuar o estudo petrográfico microscópico, onde permite, também, verificar a textura e granulação.

Mehta e Monteiro (2008) alertam que as diferenças na composição mineralógica dos agregados afetam a resistência do concreto. Estudos mostram que, com idênticas dosagens, a substituição de um agregado calcário por um silicoso, como o quartzito, por exemplo, pode resultar em uma melhor resistência. Por exemplo, de acordo com a Figura 12, não apenas uma diminuição na dimensão máxima do agregado graúdo (Figura 12 a), mas também, a substituição de calcário por arenito (Figura 12 b), melhoram significativamente a resistência do concreto aos 56 dias. Isso pode ser atribuído à elevação da resistência na ligação na interface com o agregado silicoso em idades mais avançadas.

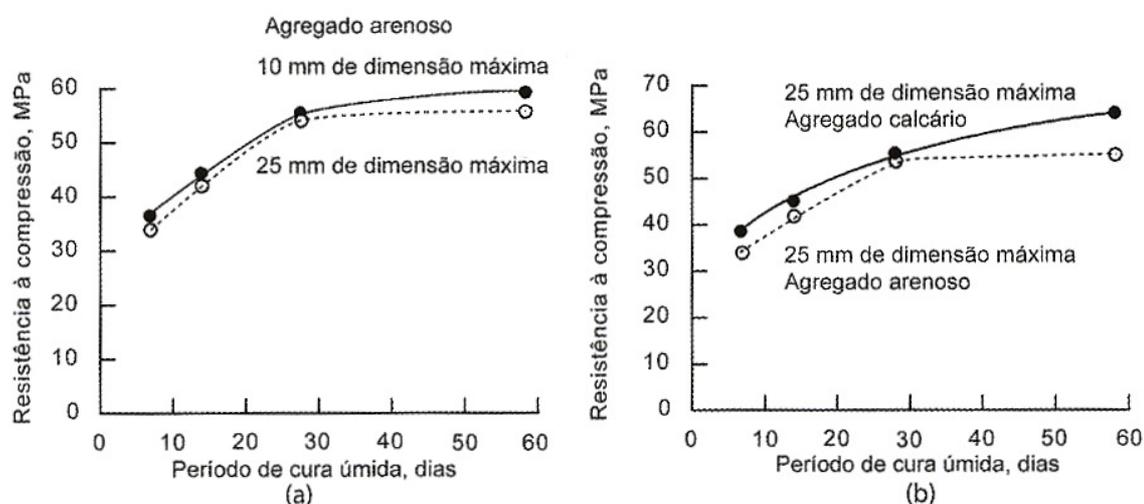


Figura 12 - Influência da dimensão do agregado e da mineralogia sobre a resistência à compressão do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Sanidade: Um agregado é considerado instável segundo Mehta e Monteiro (2008) quando variações volumétricas no agregado induzidas por intemperismo (por exemplo, ciclos alternados de molhagem e secagem, ou de congelamento e degelo) resultam na deterioração do concreto. A instabilidade está relacionada à distribuição do tamanho de poros, e não à porosidade total do agregado. Uma distribuição de tamanho dos poros que permita que as partículas do agregado fiquem saturadas na molhagem (ou no degelo, no caso de um ataque por congelamento), mas impede a drenagem fácil durante a secagem (ou no congelamento) é capaz de causar alta pressão hidráulica dentro das partículas do agregado.

2.4.1 Relações entre a zona de transição e as propriedades do concreto

Mehta e Monteiro (2008) relatam que, independentemente da relação água/cimento, a dimensão, forma, textura superficial e mineralogia das partículas de agregado influenciarão nas características da zona de transição na interface e, portanto, afetarão a resistência do concreto.

Segundo Paulon (2005), a zona de transição agregado e pasta de aglomerante é mais fraca que a matriz de cimento hidratado, isto se deve, segundo Monteiro (1993) à formação de filmes de água em torno das grandes partículas de agregado, aumentando a relação água/cimento na região, e criando uma morfologia cristalina diferente.

Na matriz da pasta, íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato produzidos pela dissolução dos compostos sulfato de cálcio e aluminato de cálcio, combinam-se para formar etringita e hidróxido de cálcio. Devido à elevada relação água/cimento, esses produtos cristalinos, nas proximidades do agregado graúdo, apresentam cristais relativamente maiores e formam, portanto, uma estrutura mais porosa do que na matriz da pasta de cimento ou da argamassa.

Com o desenvolvimento da hidratação, o C-S-H pouco cristalino e uma geração de cristais menores de etringita e hidróxido de cálcio começam a preencher o espaço vazio que existe entre a estrutura criada pelos grandes cristais de etringita e de hidróxido de cálcio. Isso ajuda a melhorar a densidade e, conseqüentemente, a resistência da zona de transição na interface.

A Figura 13 mostra uma micrografia apresentada por Mehta e Monteiro (2008), obtida por microscopia eletrônica de varredura, e uma representação diagramática da zona de transição na interface pasta-agregado no concreto.

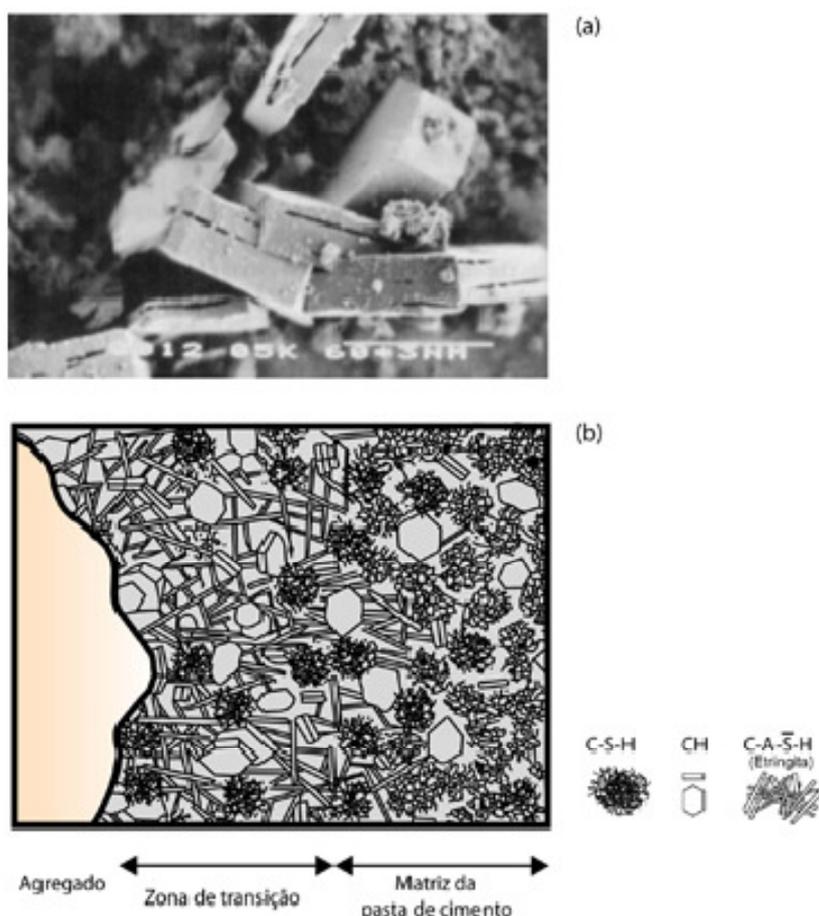


Figura 13 - (a) Micrografia por Microscópio eletrônico de varredura dos cristais de CH na zona de transição.
(b) Representação da zona de transição e da matriz da pasta de cimento no concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A dimensão e a forma do agregado graúdo podem, segundo Mehta e Monteiro (2008), afetar indiretamente a resistência do concreto. A Figura 14 mostra que, quanto maior o tamanho do agregado no concreto e quanto maior a proporção de partículas alongadas e achatadas, maior será a tendência de acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado, enfraquecendo a zona de transição na interface pasta-agregado. Este fenômeno é conhecido como exsudação interna.

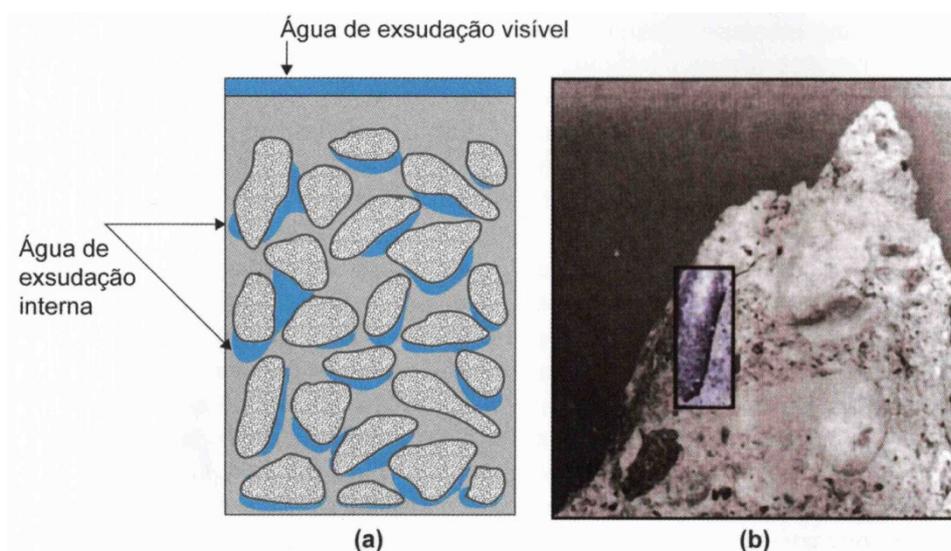


Figura 14 - (a) Representação esquemática da exsudação no concreto fresco; (b) falha de aderência por cisalhamento em um corpo-de-prova ensaiado à compressão uniaxial (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Agregados maiores, segundo Mehta e Monteiro (2008), tendem a formar uma zona de transição na interface mais fraca, contendo mais microfissuras. O efeito resultante variará com a relação água/cimento do concreto e o tipo de tensão aplicada. Isso se dá para relações água/cimento mais baixas, onde a porosidade reduzida da zona de transição começa a ter um importante papel na resistência do concreto. Na Figura 15 é apresentada a influência da dimensão do agregado e relação água/cimento na resistência do concreto.

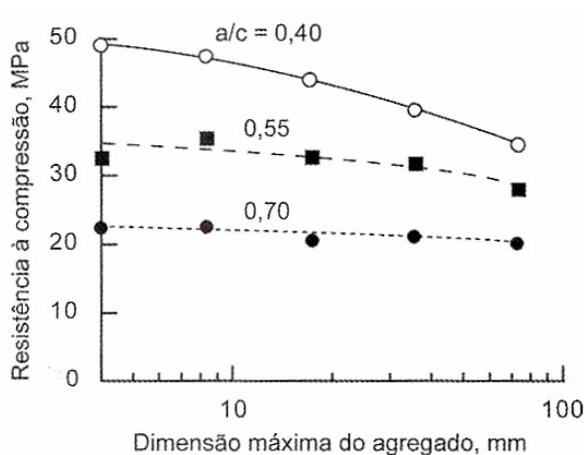


Figura 15 -Influência da dimensão do agregado e relação água/cimento na resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Mehta e Monteiro (2008) relatam que a resistência da zona de transição na interface em qualquer região depende do volume e tamanho dos vazios existentes. Mesmo para baixa relação água/cimento, nas primeiras idades, o volume e tamanho dos vazios na zona de transição serão maiores do que na matriz de argamassa; conseqüentemente, a zona de transição possui menor resistência. No entanto, com o aumento da idade, a resistência da zona de transição pode se tornar igual a resistência da matriz de argamassa. Isso pode ocorrer como resultado da cristalização de novos produtos nos vazios da zona de transição, como mencionado anteriormente, e pelas lentas reações químicas entre os constituintes da pasta de cimento e o agregado, formando silicatos de cálcio hidratados, no caso de agregados ricos em sílica, como o quartzito. Tais interações contribuem para a resistência, porque também tendem a reduzir a concentração de hidróxido de cálcio na zona de transição.

Outro fator importante responsável pela baixa resistência da zona de transição na interface no concreto e a presença de microfissuras. Nos concretos tradicionais, segundo Paulon (2005), os agregados são menos deformáveis que a matriz de cimento Portland. Sob a ação de forças externas, ocorre sempre uma concentração de tensões nos agregados e, como conseqüência, na zona de transição, a qual se torna mais tensionada, induzindo a fissuração. A quantidade de microfissuras depende de muitos parâmetros, incluindo o tamanho do agregado e a sua distribuição granulométrica, consumo de cimento, relação água/cimento, grau de adensamento do concreto no estado fresco, condições de cura, umidade ambiente e histórico térmico do concreto. Uma vez iniciada a fissuração, esta se propaga de uma zona de transição para outra, o que tem sido confirmado na observação de fraturas em concretos. Na maioria dos casos, a fratura segue o contorno dos agregados.

A fissuração é causada pela retração da pasta de cimento, Paulon (2005) relata que é preciso levar em conta que esse tipo de estudo tem sido efetuado em testes em que o concreto é submetido a tratamentos que amplificam o fenômeno da retração. Ao que tudo indica, as fissuras resultantes da retração iniciam-se na interface do agregado e tem como conseqüência a ruptura da zona de transição.

Na Figura 16, são apresentadas por Moranville-Regourd (1992) micrografias com fatores de magnificação diferentes da zona de transição de um concreto convencional. Na Figura 16(a) ampliada em 20.000 vezes, observa-se uma microfissura entre o agregado e a pasta

de cimento, e na Figura 16(b) ampliada em 60.000 vezes, observa-se grandes cristais orientados de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

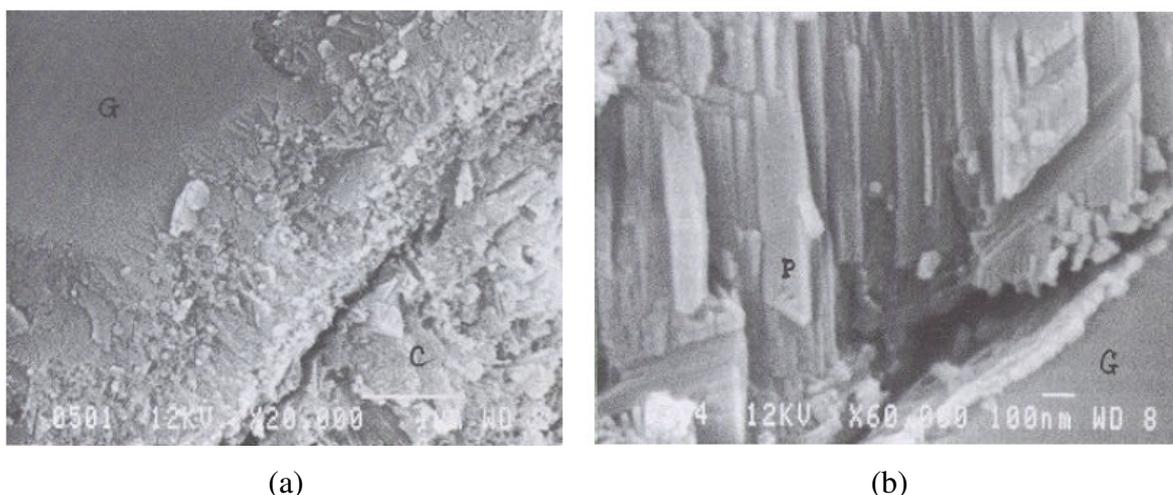


Figura 16 - Micrografias da zona de transição de um concreto convencional. (G) = agregado, (P) e (C) = pasta de cimento (MORANVILLE-REGOURD, 1992).

Uma das alternativas de redução da porosidade na zona de transição é o uso de adições e aditivos ao concreto. Estudos realizados por Rossignolo (2007) comprovaram a eficácia do uso combinado de sílica ativa e látex (SBR) na redução da espessura da zona de transição agregado-matriz e diminuição da proporção de CH nessa região, devido a presença de polímeros. Os resultados foram uma espessura de $55\mu\text{m}$ no concreto convencional, reduzida para $20\text{-}25\mu\text{m}$ no concreto com adições, representando uma redução de 36%.

Tasong et al. (1998 a) estudaram a influência das propriedades físicas e textura superficial do agregado na zona de transição em três tipos diferentes de agregados, sendo eles: basalto, calcário e quartzito. Foi desenvolvida uma técnica utilizando um profilômetro para caracterizar a textura superficial dos agregados obtidos em três diferentes formas: agregado moído, agregado serrado e agregado fraturado. Foram verificadas as formas de ruptura e medida a resistência na ligação da interface em corpos-de-prova submetidos à compressão axial. Foram constatados que a tensão provocada na ligação não depende apenas da textura do agregado, mas também da estrutura e resistência da rocha-mãe, que neste caso determinam o relevo superficial e o tipo de fratura do agregado na zona de transição. Os resultados da resistência na ligação apresentados pelo quartzito foram satisfatórios comparados ao basalto e ao calcário, segundo os autores, principalmente no caso do

quartzito com textura serrado (resistência maior), seguido do quartzito fraturado, e são apresentados na Figura 17.

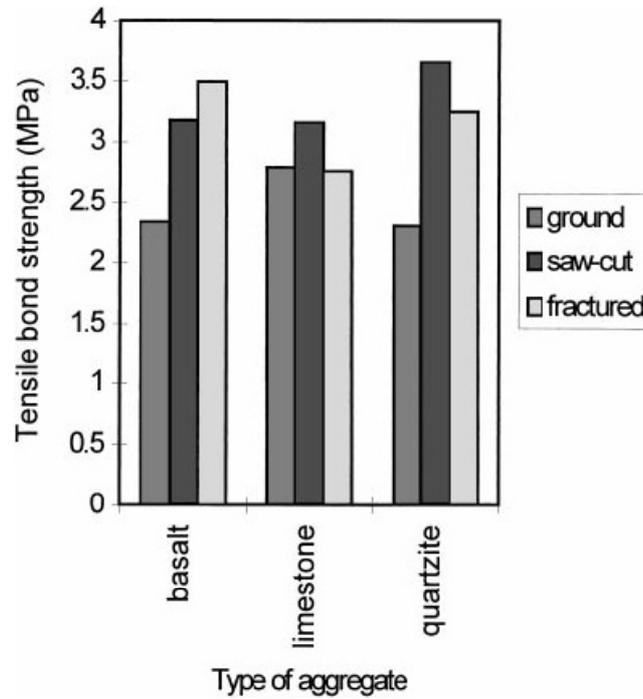


Figura 17 - Resumo dos efeitos da textura superficial dos agregados na resistência de ligação na interface (TASONG et al, 1998 a).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada na realização da pesquisa, envolvendo as principais etapas: Descrição da área de pesquisa; seleção de amostras de quartzitos para realização dos estudos tecnológicos; estudos tecnológicos das amostras de quartzito e estudo tecnológico do concreto.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, se divide em 12 mesorregiões. A mesorregião denominada como Sul e Sudoeste de Minas e codificada pelo IBGE como 3110, é formada pelo conjunto de 146 municípios agrupados em dez microrregiões, sendo elas: Alfenas, Andrelândia, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Santa Rita do Sapucaí, São Lourenço, São Sebastião do Paraíso e Varginha (Figura 18).



Figura 18 - Mapa de Minas Gerais, em destaque a região Sul e Sudoeste (modificado de IBGE, 2008).

A microrregião de Passos agrupa 14 municípios, sendo eles: Alpinópolis, Bom Jesus da Penha, Capetinga, Capitólio, Cássia, Claraval, Delfinópolis, Fortaleza de Minas, Ibiraci, Itaú de Minas, Passos, Pratápolis, São João Batista do Glória e São José da Barra (Figura 19).



Figura 19 - Mapa de Minas Gerais, em destaque a microrregião de Passos (modificado de IBGE, 2008).

Para a elaboração deste trabalho foram visitadas minerações de quartzito localizadas nas cidades de Alpinópolis, Capitólio, São João Batista do Glória e São José da Barra.

Os locais onde foram coletadas as amostras são apresentados nas Figuras 20,21,22 e 23. As minerações foram assim denominadas:

- ALP 1 e ALP 2 (município de Alpinópolis);
- SJB 1 e SJB 2 (município de São José da Barra);
- CAP 1, CAP 2, CAP 3, CAP 4 e CAP 5 (município de Capitólio);
- GLO 1 e GLO 2 (município de São João Batista do Glória).

A Figura 20 apresenta imagem de satélite de parte do município de Alpinópolis onde estão localizadas as minerações de quartzitos e onde foram coletadas as amostras ALP 1 e ALP 2. Observa-se a proximidade das minerações com a zona urbana do município.

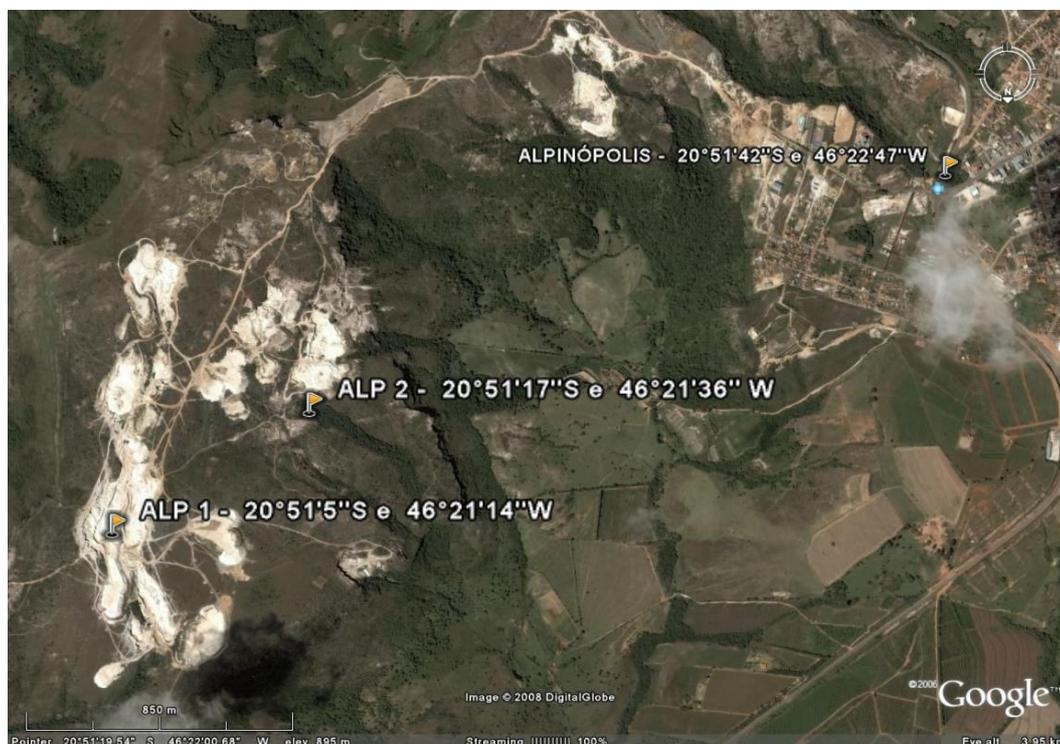


Figura 20 – Imagem das minerações ALP 1 e ALP 2, e a cidade de Alpinópolis (modificado de GoogleEarth, 2008).

Na Figura 21 é apresentada imagem de parte do município de São José da Barra mostrando a localização das minerações de quartzitos e onde foram coletadas as amostras SJB 1 e SJB 2. Observa-se a proximidade das minerações com a zona urbana do município.



Figura 21 – Imagem das minerações SJB 1 e SJB 2, e a cidade de São José da Barra (modificado de GoogleEarth, 2008).

No município de Capitólio pode ser observado, através da Figura 22, a localização de diversas jazidas de exploração do quartzitos, onde foram coletadas as amostras CAP 1, CAP 2, CAP 3, CAP 4 e CAP 5.

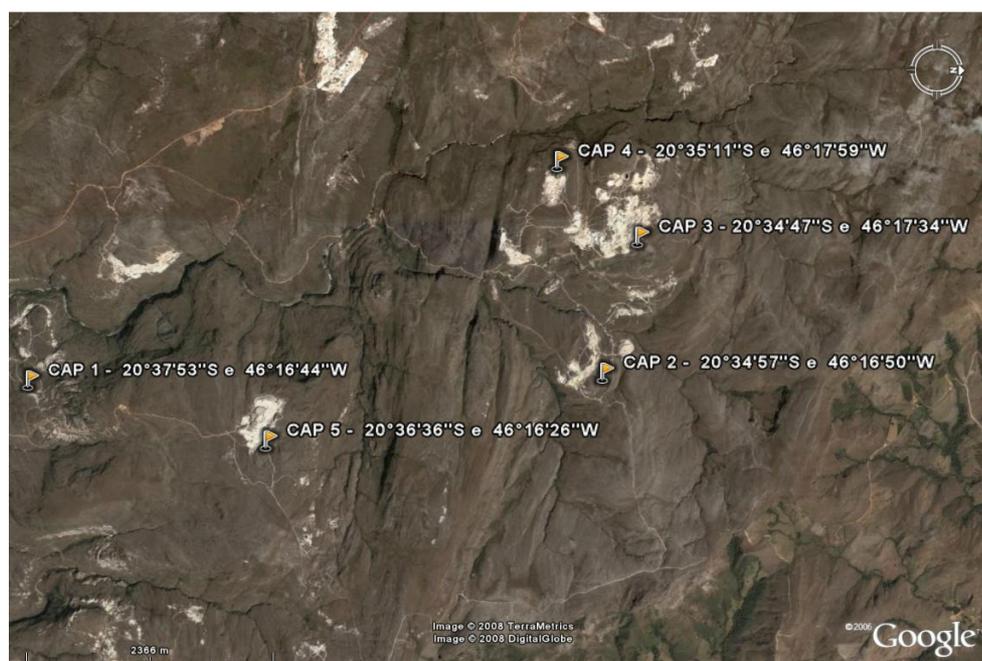


Figura 22 – Imagem das minerações CAP 1, CAP 2, CAP 3, CAP 4 e CAP 5 (modificado de GoogleEarth, 2008).

A Figura 23 mostra imagem de satélite das minerações de quartzitos do município de São João Batista do Glória, onde foram coletadas as amostras GLO 1 e GLO 2. Observa-se a proximidade da jazida GLO 1 com o curso de água a leste do local de exploração.



Figura 23 – Imagem das minerações GLO 1 e GLO 2 (modificado de GoogleEarth, 2008).

3.2 SELEÇÃO DE AMOSTRAS DE QUARTZITOS PARA REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS TECNOLÓGICOS

Após o levantamento e seleção das minerações localizadas no Sudoeste Mineiro para coleta de amostras, foi realizado, nesta etapa, um estudo preliminar com o propósito de levantar os diferentes tipos de quartzitos e selecionar amostras com características próprias de uso como agregado no concreto para a realização dos estudos tecnológicos.

Em cada mineração visitada foram coletadas aleatoriamente amostras fragmentadas de aspectos físicos diferentes e encaminhadas ao laboratório para realização de análise petrográfica, microscópica e ensaio de resistência mecânica à carga pontual. Aproximadamente 100 kg de fragmentos foram coletados em cada mineração.

A Tabela 12 apresenta os dados referentes às amostras coletadas nas minerações visitadas. No Apêndice B encontram-se imagens das amostras.

Tabela 12 – Localização das minerações visitadas.

MINERAÇÃO	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE	AMOSTRA
ALP 1	1100	20°51'05'' S	46°21'14'' W	5-A-A e 5-A-B
ALP 2	1026	20°51'17'' S	46°21'36'' W	2-A-A e 2-A-B
	1049	20°51'17'' S	46°21'36'' W	3-A-A e 3-A-B
	1106	20°51'17'' S	46°21'36'' W	1-A
	1110	20°51'17'' S	46°21'36'' W	4-A
SJB 1	919	20°42'33'' S	46°17'48'' W	7-A
SJB 2	1084	20°42'14'' S	46°17'17'' W	6-A-A e 6-A-B
GLO 1	1021	20°37'12'' S	46°17'30'' W	1-G
GLO 2	1126	20°36'17'' S	46°18'42'' W	3-G-A e 3G-B
CAP 1	1044	20°37'53'' S	46°16'44'' W	5-G
CAP 2	1216	20°34'57'' S	46°16'50'' W	4-G-A e 4-G-B
CAP 3	1324	20°34'47'' S	46°17'34'' W	2-G-A, 2-G-B e 2-G-C
CAP 4	1285	20°35'11'' S	46°17'59'' W	7-G-A e 7-G-B
CAP 5	1233	20°36'36'' S	46°16'26'' W	6-G-A e 6-G-B

3.2.1 Apreciação petrográfica

A apreciação petrográfica (análise macroscópica), conforme a ABNT NBR 7389:1992, foi realizada em cada uma das amostras com o propósito de constatar possíveis tipos diferentes de quartzitos com relação a sua estrutura, textura, mineralogia, aspectos físicos e mecânicos.

3.2.2 Resistência a carga pontual

O ensaio para determinação do índice de resistência à carga pontual (Figura 24) é um método alternativo que possibilita estimar a resistência à compressão da rocha em amostras ou testemunhos de sondagens, com dimensões regulares ou não. No caso de amostras irregulares o método ISRM:1985 indica dimensões com aproximadamente 50mm, e através de cálculos e gráficos, têm suas formas corrigidas por equivalências de diâmetros a corpos-de-prova regulares.

Este ensaio é mais utilizado nas áreas de Geologia e Geotecnia e sua principal importância é permitir estimar o valor da resistência à compressão axial em rochas intensamente fraturadas como, por exemplo, certos basaltos que não permitem a retirada de blocos para a extração de testemunhos cilíndricos com dimensões adequadas.

Foram ensaiados um fragmento de cada tipo de quartzito, medidas a largura (L) e espessura (E) de cada uma delas, e aplicada a força por meio de uma prensa hidráulica. Através da equação (1), obteve-se o De^2 (diâmetro equivalente a corpos-de-prova regulares), que foi correlacionado com o Q (carga de ruptura) em kN.

$$De^2 = \frac{4 * L * E}{\pi} \quad (1)$$



Figura 24 – Prensa hidráulica adaptada para ensaio de carga pontual.

Foram realizados testes em todas as amostras coletadas, com o objetivo de medir apenas a carga de ruptura da rocha, não foram calculados o índice de carga pontual (IS) e a estimativa da resistência a compressão axial. Nesta pesquisa utilizou-se deste procedimento como um teste preliminar para estimativa da resistência dos dois tipos de quartzitos. Para a efetiva avaliação de resistência das amostras selecionadas, optou-se pelo ensaio de compressão axial em testemunhos regulares.

3.2.3 Estudo microscópico das amostras selecionadas

Para a verificação das diferenças mineralógicas e estruturais dos quartzitos, realizou-se uma análise microscópica (em lâminas delgadas) das amostras selecionadas.

As lâminas delgadas foram confeccionadas no laboratório de rochas do Centro Tecnológico de Engenharia Civil, localizado na cidade de Aparecida de Goiânia – GO da empresa Furnas Centrais Elétricas S/A. As descrições petrográficas foram feitas pelo laboratório de rochas da UNESP – Campus de Rio Claro – SP.

Oito amostras foram analisadas mesoscopicamente através de lupa de mão e microscopicamente, através de microscópio petrográfico de marca Leitz, utilizando luz transmitida. Para a análise microscópica em função das secções delgadas não terem sido recobertas por balsamo ou outra resina e lamínula, foi necessário colocar líquido de imersão e lamínula sobre a seção, para diminuir o contraste, possibilitando a observação dos detalhes e o reconhecimento dos minerais com dimensões e quantidades menores.

3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AMOSTRAS DE QUARTZITO

Inicialmente, as amostras de quartzitos selecionadas, foram processadas em um britador hidrocone e outro britador tipo mandíbula. Este procedimento foi realizado com o objetivo de verificar a forma do fragmento após o processamento, tendo em vista a tendência de quartzitos em formar grãos lamelares.

As britagens foram realizadas em britadores com dimensões e capacidades diferentes, denominados Britador 1 da empresa Maxibrita Ltda, de Passos (Figura 25) e no Britador 2

da Concrealp Ltda, de Alpinópolis (Figura 26). As especificações dos respectivos britadores encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 – Especificações dos britadores utilizados neste trabalho.

BRITADOR	TIPO	MODELO	FABRICANTE	DIMENSÕES (cm)	PROCESSAMENTO (T/h)
1	Hidrocone	H 2000	Sandvik	216(h) x 980(Ø)	80
2	Mandíbula	02	Marumby	200(c) x 140(l) x 110(e)	10



Figura 25 – Britador 1 da empresa Maxibrita – Passos.



Figura 26 – Britador 2 da empresa Concrealp – Alpinópolis.

Conforme descrito na seção 4.2, os estudos de caracterização tecnológica foram realizados nos Quartzitos Tipo 2 das minerações: GLO 2, CAP 3, SJB 2 e ALP 2. Os ensaios de caracterização dos agregados foram os seguintes: índice de forma, granulometria, massa específica, absorção, porosidade, abrasão “Los Angeles”, esmagamento, teor de materiais pulverulentos, ciclagem, massa unitária, compressão axial e reatividade potencial álcali-agregado.

Para os ensaios de índice de forma, granulometria, massa unitária no estado solto e massa unitária no estado compacto, foram utilizadas amostras processadas no Britador 1 e no Britador 2 objetivando verificar as diferenças dos dois processos.

3.3.1 Caracterização física das amostras de quartzito

3.3.1.1 Índice de forma

Foram utilizados os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 7809:1983 e ABNT NBR 6954:1989 para realização dos ensaios de índice de forma pelo método do paquímetro (Figura 27). É importante destacar que a forma dos agregados é uma característica fundamental para o concreto, podendo interferir em diversos aspectos, como trabalhabilidade e resistência.



Figura 27 – Paquímetro utilizado nas medições do ensaio de índice de forma.

3.3.1.2 Granulometria

O agregado é formado pela mistura de grãos de uma extensa gama de dimensões e sua composição granulométrica é influenciada pelo britador e seu processamento. O seu conhecimento se torna necessário, pois este influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido.

O ensaio foi realizado em conformidade com a ABNT NBR NM 248:2003, obtendo-se a porcentagem retida e acumulada nas peneiras da série normal e intermediária (Figura 28). Os resultados foram comparados com parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005.



Figura 28 – Realização do ensaio de composição granulométrica.

3.3.1.3 Massa específica, massa específica na condição saturada superfície seca, absorção e porosidade

Para determinação da massa específica seca e saturada superfície seca, foi utilizado o procedimento estabelecido pela ABNT NBR NM 53:2003, através do método da balança hidrostática. O uso desse método também possibilita determinar a porosidade e o nível de absorção de água do agregado.

3.3.1.4 Massa unitária

Massa unitária no estado solto: A massa unitária solta, também conhecida como massa específica aparente ou massa barimétrica, é o valor da massa pela unidade de volume do agregado no estado solto, livre de compactação. O procedimento utilizado nesta pesquisa foi o da ABNT NBR 7251:1982. Uma das principais aplicações desta grandeza é no cálculo da dosagem em volume para produção de concretos e na obtenção do índice de vazios dos agregados.

Massa unitária no estado compactado: A ABNT NBR 7810:1983 define o método para a determinação da massa unitária do agregado no estado compacto e seco. O resultado obtido através deste ensaio é uma das grandezas utilizadas pelo método de dosagem ACI/ABCP para cálculo do traço do concreto.

3.3.1.5 Teor de materiais pulverulentos

Conforme ABNT NBR NM 43:2003, os materiais pulverulentos são partículas menores que 0,075mm. O ensaio consiste em determinar o teor de materiais pulverulentos presentes nos agregados. O excesso de finos leva a um aumento da água de amassamento do concreto, provocando alterações de porosidade e reduzindo a resistência a compressão e ao desgaste.

3.3.1.6 Ensaio de ciclagem artificial água-estufa

A norma ABNT NBR 12696:1992 descreve o método para a verificação do comportamento dos agregados, quando submetidos a ciclos alternados de imersão em água e secagem em estufa. As durações dos ensaios são de 120 ciclos, salvo quando determinados pela norma. No final de cada ciclo é feito o exame quantitativo que determina a perda de massa e o exame qualitativo, que consiste em examinar visualmente as partículas, registrando os tipos de ataques sofridos.

A finalidade do ensaio foi verificar a presença de minerais expansivos, responsáveis por variações volumétricas que podem levar o agregado e o concreto à desintegração.

3.3.2 Caracterização mecânica das amostras de quartzitos

3.3.2.1 Ensaio de compressão uniaxial

Para este ensaio foi utilizada a norma ABNT NBR 7680:2007, que descreve o ensaio de compressão axial em testemunhos de formato cilíndrico. Esta norma é aplicada para ensaios de concreto e foi adaptada para o ensaio nas amostras de quartzitos.

Os testemunhos extraídos dos maciços rochosos das minerações objetivaram formar dimensões correspondentes a 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura (Figura 29). Para a extração foi utilizada uma serra copo diamantada acoplada a um equipamento extrator elétrico.



Figura 29 – Testemunhos de quartzitos extraídos para realização do ensaio de resistência à compressão.

3.3.2.2 Abrasão “Los Angeles”

O método da abrasão Los Angeles segundo a ABNT NBR NM 51:2001, é usado para determinação da resistência ao desgaste e ao impacto sofrido pelo agregado componente do concreto (Figuras 30 e 31).



Figura 30 – Máquina Los Angeles.



Figura 31 – Material passante na malha 1,7mm.

3.3.2.3 Esmagamento

Para determinar a resistência dos agregados ao esmagamento, foi utilizado o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 9938:1987, com auxílio de um equipamento cilíndrico (Figura 32) com base e êmbolo de aço, onde os agregados nas dimensões entre 12,5 e 9,5 mm, são compactados e submetidos a carregamento até a marca de 400 kN (Figura 33).



Figura 32 – Equipamentos utilizados para ensaio de resistência ao esmagamento.



Figura 33 – Ensaio de resistência ao esmagamento.

A ABNT NBR 7211:2005 define o ensaio de resistência ao esmagamento, como sendo ensaio especial. Já os critérios e limites de aceitação não são definidos pela respectiva norma. Albuquerque (2000) ressalta que estas são características de agregados que não se necessita levar em conta para aplicação em concreto. Mesmo as rochas mais frágeis (como Diabásio, por exemplo) têm, neste campo, propriedades muito além das mínimas necessárias para que os grãos não se alterem durante as solicitações de esforços no concreto.

3.3.3 Reatividade potencial álcali-agregado

Ensaio de expansão em argamassas foram realizados com o objetivo de verificar a potencialidade reativa nas amostras de agregado quartzito, segundo o método acelerado prescrito pela ASTM C-1260:2007.

De acordo com o método de ensaio, três barras de argamassa foram confeccionadas nas dimensões de 25mm x 25mm x 285mm para cada uma das amostras de quartzitos. A relação cimento/agregado foi de 1: 2,25 e a relação água/cimento de 0,47 (em massa). A

fração miúda dos agregados foi obtida por meio de britador tipo mandíbula e em seguida classificada em laboratório. Os cimentos utilizados neste ensaio foram o CP II-Z-32 e CP V-ARI. O cimento CP II-Z-32, foi utilizado por ser o mais disponibilizado para consumo na região, por ter sido escolhido como componente nos estudos dos concretos e por conter adições (neste caso a pozolana) que ajuda a combater as reações deletérias de expansão, por outro lado, o cimento CP V-ARI, foi escolhido por não conter adições e por este motivo ser o mais propenso em promover as reações em argamassas e concretos. Tiecher (2006) ao estudar agregados do Sul do Brasil combinados com diferentes tipos de cimentos, comprovou a situação mais desfavorável de uso do cimento CP V-ARI em promover a formação do gel expansivo nas barras de argamassa submetidas ao ensaio acelerado.

Após moldagem, as barras foram curadas por 24 horas em câmara úmida, seguidas por 24 horas de imersão em água a 80°C; após este período as barras foram imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 N (Figura 34), e temperatura de 80 °C.

As barras foram medidas periodicamente e os resultados expressos em porcentagem de expansão, correspondendo a médias das três barras (Figura 35). As leituras foram realizadas por um período de 30 dias.



Figura 34 – Barras de argamassa em solução de NaOH



Figura 35 – Medidas de expansão das barras de argamassa.

3.4 ESTUDO EM CONCRETO

De posse dos resultados de ensaios de caracterização dos materiais, foram confeccionados concretos de acordo com a ABNT NBR 12821:1993, analisando o comportamento no estado fresco e endurecido.

O principal propósito nesta etapa do trabalho é analisar o comportamento dos agregados de quartzitos no concreto, tanto no estado fresco como endurecido. Não foram estabelecidos variações do abatimento e da resistência do concreto.

Os estudos nos concretos foram divididos nas seguintes etapas:

- Materiais para produção dos concretos;
- Escolha do traço referência (TR);
- Caracterização dos materiais componentes do concreto referência;
- Produção dos diferentes tipos de concretos em laboratório;
- Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco;
- Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido.

3.4.1 Materiais para produção dos concretos

Para produção do concreto referência foram utilizados materiais tradicionais comumente comercializados na região, são eles: cimento CP II-Z-32, areia rio e pedra britada gnáissica.

Agregados graúdos de Gnaisse e Quartzitos

O agregado graúdo convencional escolhido para constituir o concreto e servir como referência comparativa neste estudo foi o gnaisse.

A jazida de gnaisse fica localizada no município de Passos, conforme Figura 36, e sua comercialização é quase que exclusivamente como agregado para uso em concretos.



Figura 36 - Localização da jazida de gnaiss no município de Passos MG (modificado de GoogleEarth, 2009).

De forma a realizar uma análise comparativa coerente entre os resultados das propriedades dos concretos, foram utilizados os mesmos processos de britagem e classificação granulométrica para constituição dos agregados graúdos de gnaiss e quartzitos.

Amostras de gnaiss e de quartzitos foram coletadas em suas respectivas jazidas já fragmentadas em dimensões máximas próximas de 200mm, e encaminhadas para britagem.

Foi utilizado o Britador 2 para produção dos agregados em virtude das facilidades de acesso ao local, facilidade de processamento e principalmente disponibilidade de uso do equipamento.

Foram produzidos em média 200 kg de fragmentos para cada uma das 5 amostras e em seguida, encaminhadas ao laboratório para classificação granulométrica (Figuras 37, 38, 39, 40 e 41).

A classificação granulométrica foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7211:2005 utilizando peneiras da série normal e intermediária.



Figura 37 – Agregado graúdo de gnaissе classificado



Figura 38 – Agregado graúdo de quartzito GLO2



Figura 39 – Agregado graúdo de quartzito CAP3



Figura 40 – Agregado graúdo de quartzito SJB2



Figura 41 – Agregado graúdo de quartzito ALP2

Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para produção dos concretos foi adquirido pela empresa Areia Primo, que extraí e comercializa areia proveniente do Rio Grande, localizada próximo ao porto de Passos/São João Batista do Glória. O agregado miúdo adquirido é denominado comercialmente pela empresa como areia média.

Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa para produção dos concretos foi o CP II-Z-32, por ser o tipo mais comum disponibilizado para consumo na região, produzido pela empresa Votorantim Cimentos Itaú, localizada no município de Itaú de Minas.

3.4.2 Escolha do traço referência (TR)

O traço referência foi escolhido no intuito de comparar os seus resultados com os demais concretos produzidos com agregado graúdo dos quatro tipos diferentes de quartzitos.

A escolha partiu de um traço previamente estudado em laboratório, que utiliza materiais comercializados na região de Passos/MG. O estudo de dosagem deste traço foi realizado através do método ACI/ABCP que visa obter consumos mínimos ideais do teor de argamassa, partindo do princípio da análise da área específica do agregado miúdo e do menor índice de vazios do agregado graúdo, objetivando reduzir a relação a/c.

O estudo inicialmente objetivou determinar um traço de concreto referência próprio para uso em obras convencionais correntes, com teor de argamassa próximo a 50%, boa coesão e abatimento variando em 60 ± 10 mm, cumprindo os aspectos de trabalhabilidade satisfatórios para mistura em betoneira estacionária tradicional, transporte e lançamento manual e adensamento mecânico. A resistência característica à compressão aos 28 dias de idade (f_{c28}) ficou estabelecida em aproximadamente 25 MPa, sem uso de adições e/ou aditivos.

A representação do traço referência escolhido em massa para materiais secos foi de 1 : 1,95 : 2,9 : 0,57 .

Primeiramente foi produzido em laboratório o concreto referência, efetuando os ajustes dos traços devido às diferenças de massas específicas entre os agregados graúdos, fixando o abatimento e mantendo a mesma relação a/c. Em seguida foram confeccionados os concretos para cada um dos quatro tipos de agregado quartzito. Finalmente foram verificadas as propriedades dos concretos no estado fresco e moldados corpos-de-prova de acordo com a ABNT NBR 5738:2003 para verificação das propriedades mecânicas de resistência.

As proporções utilizadas para produção do concreto em laboratório foram em relação a, aproximadamente, 12.000 g de cimento, objetivando a moldagem de 7 corpos-de-prova cilíndricos 15x30cm.

3.4.3 Caracterização dos materiais componentes do concreto referência

A caracterização dos materiais componentes do concreto referência teve como propósito:

- constatar as qualidades básicas necessárias para utilização;
- possibilitar o estudo de dosagem;
- determinar os consumos de materiais.

Os materiais utilizados para produção do concreto referência e os respectivos ensaios realizados estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 – Materiais utilizados para produção do concreto referência

Composição	Materiais utilizados no concreto referência – TR	Ensaio físico realizado nos materiais
Cimento	CP II – Z - 32	Massa específica
Agregado miúdo	Natural – areia de rio	Análise granulométrica; Massa específica; Massa unitária.
Agregado graúdo	Gnaíse – pedra britada	Análise granulométrica; Massa específica; Massa unitária e Índice de Forma
Água	Potável (SAAE/Passos)	-

3.4.4 Produção dos diferentes tipos de concreto em laboratório

Os concretos (referência e com agregado graúdo de quartzitos) foram produzidos em laboratório conforme ABNT NBR 12821:1993, utilizando betoneira estacionária com capacidade para 200 dm³ e verificadas as propriedades no estado fresco e endurecido. A temperatura ambiente foi constantemente controlada variando de 22 a 24°C. A ordem de colocação dos materiais em betoneira foi: agregado graúdo, 50% do volume total da água, cimento, agregado miúdo e o restante da água. Em todas as etapas de produção, foram realizadas imprimação da betoneira antes da colocação dos materiais, e a duração máxima de mistura foi de aproximadamente 5 minutos.

Para todos os traços foram mantidos a relação a/c com o propósito de verificar possíveis interferências dos agregados de quartzitos na trabalhabilidade e consistência dos concretos. Na Tabela 15 estão discriminados as siglas, os tipos rochosos e a origem dos agregados graúdos, referente aos traços estudados.

Tabela 15 – Identificação dos concretos estudados com referência ao agregado graúdo.

Denominação traço	Agregado graúdo	Origem do agregado graúdo
TR – Gnaisse	Gnaisse	Passos/MG
T – A1 – GLO 2	Quartzito – GLO 2	S. J. B. Glória/MG
T – A2 – CAP 3	Quartzito – CAP 3	Capitólio/MG
T – A3 – SJB 2	Quartzito – SJB 2	S. J. Barra/MG
T – A4 – ALP 2	Quartzito – ALP 2	Alpinópolis/MG

3.4.5 Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco

As propriedades verificadas dos concretos no estado fresco foram: massa específica, trabalhabilidade e medida de consistência pelo abatimento do tronco de cone, de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998. Estas características foram verificadas com o propósito de avaliar aspectos de trabalhabilidade que possam variar no concreto com a mudança do tipo de agregado, como coesão, exsudação, segregação e consistência.

Após a constatação destas características, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos conforme ABNT NBR 5738:2003 com a finalidade de determinar as propriedades no estado endurecido.

O adensamento dos corpos-de-prova foi realizado por processo mecânico, utilizando vibrador de imersão com agulha de 25mm de diâmetro (Figura 42). Os aspectos superficiais de acabamento dos corpos-de-prova foram satisfatórios, conforme pode ser observado na Figura 43. A cura dos corpos-de-prova foi realizada em tanque com água saturada de cal em câmara úmida, de acordo com a ABNT NBR 5738:2003 até a idade de ruptura (Figura 44).



Figura 42 – Moldagem dos corpos-de-prova



Figura 43 – Corpos-de-prova cilíndricos
15cmx30cm



Figura 44 – Corpos-de-prova submetidos a cura saturada

3.4.6 Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido

As propriedades do concreto no estado endurecido são influenciadas pelas propriedades no estado fresco, daí, a importância de se efetuar um controle rigoroso enquanto fresco para que reflita nas qualidades adequadas estabelecidas em projeto.

Foram moldados 7 corpos-de-prova cilíndricos 15cmx30cm para cada um dos cinco traços estudados, objetivando ensaiar pelo menos 2 exemplares do mesmo concreto a idade de 28 dias para os ensaios mecânicos propostos.

As propriedades dos concretos no estado endurecido analisadas neste trabalho foram as seguintes:

- Resistência à compressão;
- Resistência à tração por compressão diametral.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 5739:2007. Após a cura dos corpos-de-prova em câmara úmida os mesmos foram retirados a idade de 28 dias, regularizados o topo e a base com enxofre para realização do ensaio, este procedimento é estabelecido pela ABNT NBR 5738:2003.

No ensaio de resistência a tração, o procedimento adotado foi o da ABNT NBR 7222:1994, que obtém os resultados de tração através da compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos de concreto.

A máquina de ensaio utilizada para os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral foi uma prensa elétrica/hidráulica, marca Forney, capacidade 125 toneladas, com controle de aplicação de força, e atende aos requisitos da classe I da ABNT NBR 6156:1994 (Figura 45).



Figura 45 – Máquina de ensaio classe I

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão comparados com os limites estabelecidos pelas normas da ABNT e ASTM, pelo guia para avaliação da qualidade do agregado (Tabela 5) baseado em resultados de ensaios laboratoriais realizados por Verhoef e Van De Wall (1998 apud Gomes, 2001) e por estudos realizados com quartzitos e outros rejeitos para uso na construção civil.

Os resultados serão apresentados, analisados e discutidos em:

- Amostras selecionadas para estudo tecnológico;
- Caracterização tecnológica dos agregados de quartzitos;
- Caracterização tecnológica dos concretos.

4.1 AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ESTUDO TECNOLÓGICO

Serão apresentados os resultados de apreciação petrográfica, resistência à carga pontual e análise microscópica das amostras coletadas nas minerações de quartzitos, com o propósito de selecionar os tipos mais adequados para estudo tecnológico e verificação do uso como agregado no concreto.

4.1.1 Apreciação petrográfica

Após uma apreciação petrográfica (análise macroscópica) em cada tipo litológico, conforme a ABNT NBR 7389:1992, verificou-se que as amostras coletadas em cada mineração apresentavam particularidades com relação à sua textura, estrutura e composição mineralógica. Foi possível agrupar os quartzitos em dois tipos distintos, definidos como: Tipo 1, de cor branca amarelada a variegada, foliado, com médio teor em micas (muscovita) e que é utilizado como “pedra de revestimento”; e Tipo 2, de cor cinza, bastante silicificado, com teor mais baixo de muscovita e com foliação menos evidente. O Tipo 2, não é utilizado como “pedra de revestimento” e constitui em rejeitos nas minerações. As Figuras 46 e 47 mostram as imagens dos quartzitos Tipo 1 e Tipo 2 respectivamente.



Figura 46 – Quartzito Tipo 1



Figura 47 – Quartzito Tipo 2

4.1.2 Resistência a carga pontual

Nas Figuras 48 e 49 são mostrados os valores de ruptura a carga pontual (Q_{50}) relacionadas com as suas respectivas dimensões equivalentes (D_e^2), é possível verificar a diferença das cargas de ruptura entre as rochas do Tipo 1 e Tipo 2. Fica clara a maior resistência das amostras do Tipo 2 (cor cinza) quando submetidas a forças de compressão aplicadas pontualmente às amostras.

As amostras que apresentaram altos valores de carga pontual, descritas como Tipo 2 na análise petrográfica são, exatamente, aquelas rejeitadas na extração das minerações e foram, portanto, objeto dos estudos deste trabalho para utilização como agregado no concreto.

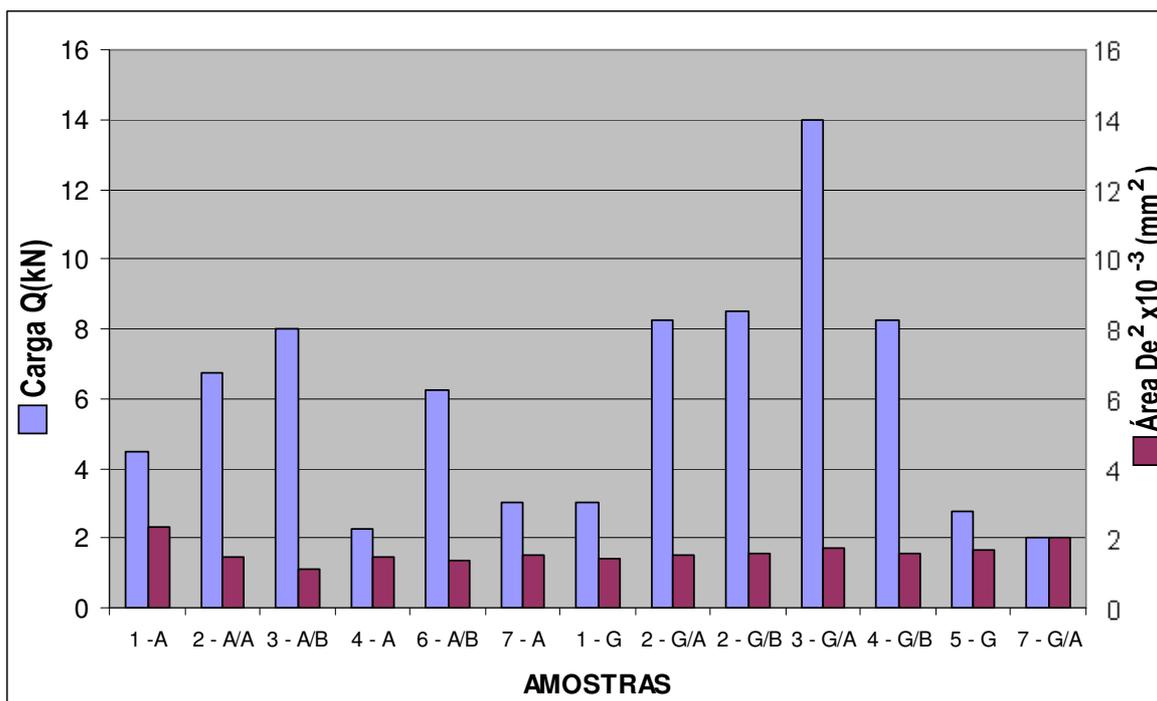


Figura 48 – Gráfico das cargas de ruptura e áreas das amostras do tipo 1.

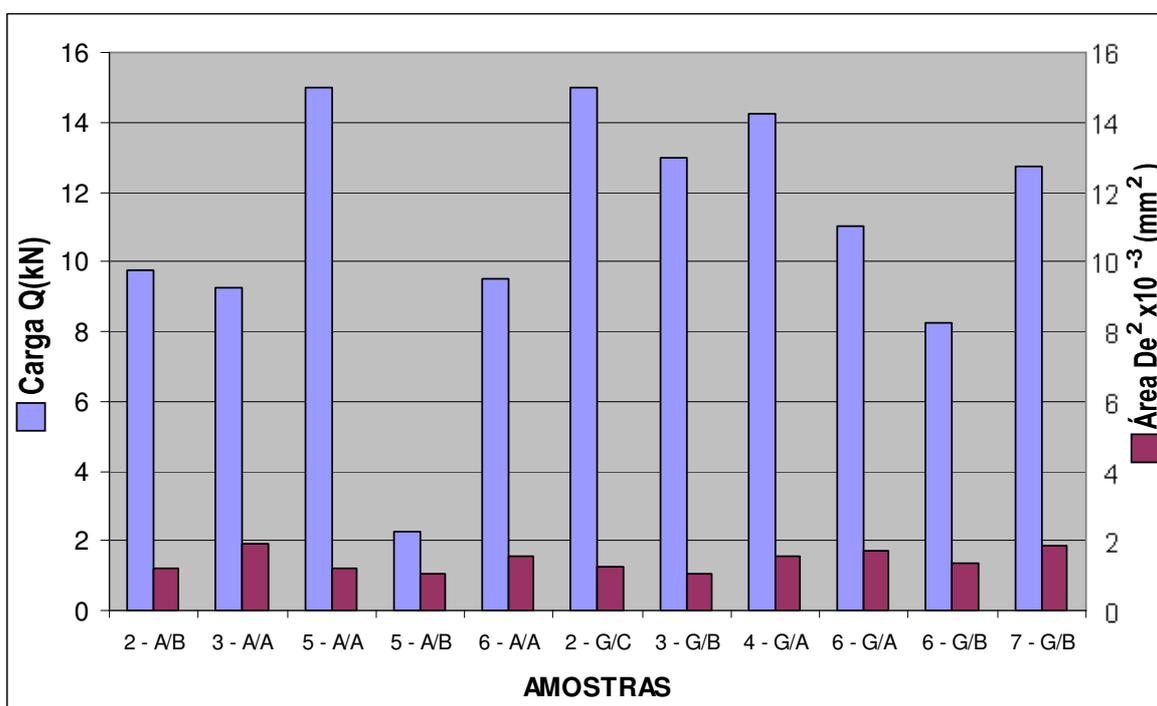


Figura 49 – Gráfico das cargas de ruptura e áreas das amostras do tipo 2.

No apêndice C encontram-se os resultados de resistência à carga pontual dos dois Tipos de quartzitos em forma de tabela.

4.1.3 Análise microscópica das amostras de quartzitos

Os resultados realizados nas amostras selecionadas dos quartzitos Tipo 1 e Tipo 2 encontram-se no Anexo A, e na Tabela 16 esses resultados estão descritos de forma sintetizada.

Tabela 16 – Síntese dos resultados das amostras analisadas pela UNESP - Campus Rio Claro-SP.

AMOSTRAS	ESTRUTURA/ TEXTURA	COMPOSIÇÃO MODAL*	CLASSIFICAÇÃO
ALP 2 (Tipo 2)	Fortemente Anisotrópica xistosa com muscovita bem orientada / Granoblástica fortemente orientada	Quartzo $\pm 97\%$ Muscovita $\pm 1\%$ Minerais opacos $\pm 1\%$ Turmalina $< 1\%$ Zircão – traços Rutilo – traços	Quartzito foliado com Muscovita fina
ALP 2 (Tipo 1)	Fortemente Anisotrópica xistosa com muscovita bem orientada / Granoblástica fortemente orientada	Quartzo $\pm 95\%$ Muscovita $\pm 4\%$ Minerais opacos $< 1\%$ Turmalina – traços Zircão – traços Rutilo – traços	Muscovita Quartzito xistoso
SJB 2 (Tipo 2)	Xistosa / Granular engrenada bem orientada a lepidoblástica	Quartzo $\pm 96\%$ Muscovita $\pm 3\%$ Turmalina – traços Zircão – traços	Quartzito foliado com Muscovita fina
SJB 2 (Tipo 1)	Xistosa / Granular engrenada bem orientada a lepidoblástica	Quartzo $\pm 96\%$ Muscovita $\pm 3\%$ Minerais opacos $< 1\%$ Biotita – traços Turmalina – traços Zircão – traços Rutilo – traços	Muscovita Quartzito foliado
CAP 3 (Tipo 2)	Anisotrópica xistosa com muscovita e quartzo bem orientados / Granoblástica bem orientada a lepidoblástica	Quartzo $\pm 95\%$ Muscovita $\pm 4\%$ Minerais op. – traços Turmalina – $\pm 1\%$ Zircão – traços Rutilo – traços	Muscovita Quartzito foliado

(Continuação Tabela 16 - Síntese dos resultados das amostras analisadas pela UNESP - Campus Rio Claro-SP.)

AMOSTRAS	ESTRUTURA/ TEXTURA	COMPOSIÇÃO MODAL*	CLASSIFICAÇÃO
CAP 3 (Tipo 1)	Anisotrópica xistosa com muscovita e quartzo bem orientados / Granoblástica bem orientada a lepidoblástica	Quartzo $\pm 95\%$ Muscovita $\pm 4\%$ Minerais op. $< 1\%$ Turmalina – traços Zircão – traços Rutilo – traços	Muscovita Quartzito foliado
GLO 2 (Tipo 2)	Anisotrópica foliada a xistosa / Granoblástica orientada	Quartzo $\pm 97\%$ Muscovita $\pm 2\%$ Minerais opacos $\pm 1\%$ Turmalina – traços Zircão – traços Rutilo – traços	Quartzito foliado
GLO 2 (Tipo 1)	Xistosa / Granoblástica fortemente orientada a lepidoblástica	Quartzo $\pm 97\%$ Muscovita $\pm 2\%$ Minerais opacos $< 1\%$ Turmalina – traços Zircão – traços Rutilo – traços Apatita – traços	Quartzito xistoso

*Estimada visualmente.

Os resultados mineralógicos das amostras aproximam-se ao quartzito branco apresentado na Tabela 2 por Abirochas (2009).

Observou-se, na análise petrográfica microscópica, que as amostras de quartzito Tipo 1 possuem uma quantidade de Muscovita superior às amostras Tipo 2 e uma foliação mais pronunciada. As Figuras 50 e 51 apresentam micrografias que ilustram as amostras Tipo 1 e Tipo 2.

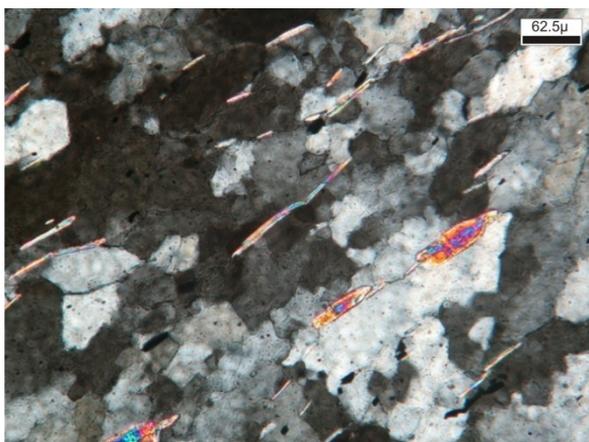


Figura 50 – Micrografia da amostra Tipo 1

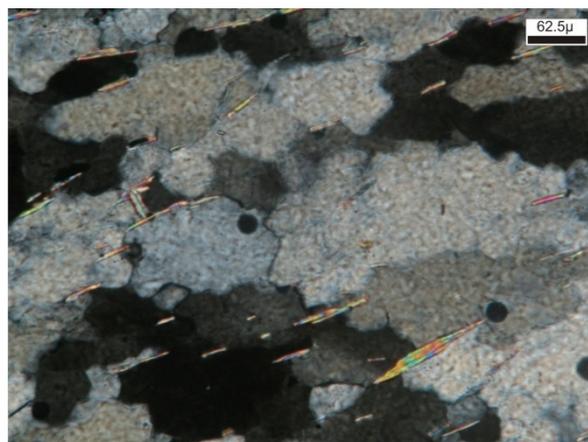


Figura 51 – Micrografia da amostra Tipo 2

A escolha pelo estudo das rochas do Tipo 2, ocorreu devido aos seguintes fatores: constituem o maior volume de materiais presentes nos bota-foras das minerações; nos testes preliminares apresentaram-se com maior resistência à carga pontual que as amostras do Tipo 1.

4.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS AGREGADOS DE QUARTZITOS

A caracterização tecnológica foi realizada por meio de ensaios físicos, mecânicos, de alteração e de reatividade álcali-sílica nas quatro amostras de agregados de quartzitos.

4.2.1 Caracterização física das amostras de quartzitos

4.2.1.1 Índice de forma

A ABNT NBR 6954:1989 classifica a forma do agregado como alongada, lamelar, alongada-lamelar e cúbica sendo esta a mais indicada para o agregado que irá compor o

concreto. Na ABNT NBR 7809:1983 é estabelecido o limite máximo de 3,0 na relação C/E (comprimento/espessura).

Pelo método ABNT NBR 6954:1989, todas as amostras processadas no Britador 1 foram classificadas como cúbicas, por outro lado, na ABNT NBR 7809:1983, todas as amostras, com exceção da amostra SJB 2, apresentaram valores inferiores a 3, enquadrando-se na condição de aceitável. Os resultados estão expressos na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultado dos ensaios de índice de forma dos agregados de quartzitos processados pelo Britador 1 (Tipo Hidrocone).

AMOSTRAS	MÉTODO NBR 6954			MÉTODO NBR 7809	
	B/A	C/B	FORMA	C/E	CONDIÇÃO
GLO 2	0,65	0,64	CÚBICA	2,79	ACEITÁVEL
CAP 3	0,7	0,61	CÚBICA	2,6	ACEITÁVEL
SJB 2	0,65	0,67	CÚBICA	3,09	REJEITADO
ALP 2	0,65	0,6	CÚBICA	2,72	ACEITÁVEL

Os resultados apresentados pelos agregados processados no Britador 2 enquadraram as amostras GLO 2, SJB 2 e ALP 2 como rejeitadas pelo método ABNT NBR 7809:1993 com valores superiores a 3, enquanto que a amostra CAP 3 resultou em condição aceitável. Todas as amostras analisadas pelo método ABNT NBR 6954:1989 foram consideradas adequadas, classificadas como cúbicas. Os resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultado dos ensaios de índice de forma dos agregados de quartzitos processados pelo Britador 2 (Tipo Mandíbula).

AMOSTRAS	MÉTODO NBR 6954			MÉTODO NBR 7809	
	B/A	C/B	FORMA	C/E	CONDIÇÃO
GLO 2	0,58	0,65	CÚBICA	3,14	REJEITADO
CAP 3	0,57	0,59	CÚBICA	2,80	ACEITÁVEL
SJB 2	0,60	0,58	CÚBICA	3,70	REJEITADO
ALP 2	0,54	0,63	CÚBICA	3,57	REJEITADO

Os resultados de índice de forma obtidos nos agregados, conforme procedimento estabelecido pela ABNT NBR 7809:1983, comprovam a tendência do quartzito em formar grãos lamelares das amostras processadas no Britador 2 (mandíbula). No Britador 1 tipo hidrocone (recomendado para produzir agregados para concretos) os resultados dos testes foram satisfatórios, porém rejeitando a amostra SJB2, por uma margem muito pequena.

Na Figura 52 são mostradas imagens de grãos regulares e irregulares de quartzitos selecionados da amostra GLO2, processados em britador tipo mandíbula.

Os percentuais de grãos irregulares (lamelares) presentes nas amostras processadas pelo Britador 2 (mandíbula) foram considerados insignificantes pelo método ABNT NBR 6954:1989 sendo classificados como cúbicos, por outro lado, a ABNT NBR 7211:2005 considera que estes percentuais foram significativos não recomendando o uso, com exceção da amostra CAP3 que obteve índices aceitáveis.

Após a realização dos ensaios foram verificados que dos 200 fragmentos analisados por amostra, o percentual máximo obtido de grãos lamelares foi de 44% na amostra ALP2 e o percentual mínimo de grãos lamelares foi obtido na amostra de Gnaisse com 30%.



Figura 52 – Observações realizadas na forma dos grãos após processamento em Britador 2 (Tipo Mandíbula).

Francklin Junior (2006) analisou diferentes tipos rochosos comercializados no Sudoeste Mineiro para utilização na construção civil, incluindo o gnaisse e o quartzito. Um detalhe observado nesta pesquisa foi a geração de proporções maiores de fragmentos lamelares dos quartzitos Tipo 1 em relação aos quartzitos Tipo 2.

Pinheiro (2003) realizou um estudo com rejeitos de quartzitos provenientes da mesma região para utilização em concretos. Foram observadas dificuldades semelhantes em formar grãos regulares de brita, entretanto, em sua pesquisa, não houve identificação e separação dos diferentes tipos de quartzitos, e a fragmentação foi realizada manualmente com auxílio de marreta.

4.2.1.2 Análise Granulométrica

As amostras processadas no Britador 1 foram classificadas pelo próprio equipamento, após a britagem secundária. Foram escolhidas as frações de dimensões entre 9,5mm e 25mm.

Os resultados dos ensaios realizados em laboratório e os limites das zonas granulométricas $d/D=9,5/25$, conforme a ABNT NBR 7211:2005, de cada uma das amostras processadas no Britador 1, estão demonstradas em gráficos na Figura 53.

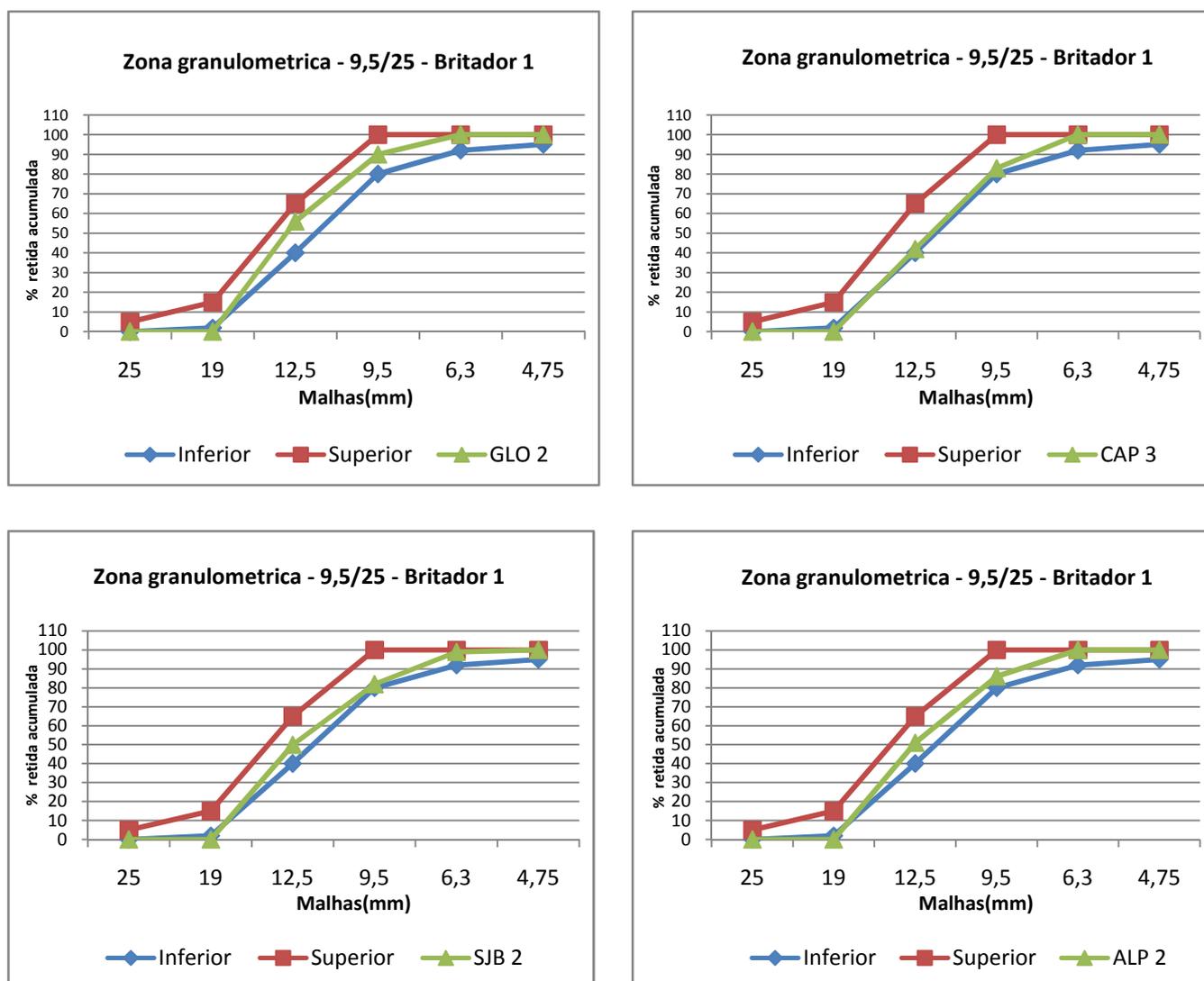


Figura 53 – Análises granulométricas das amostras de Quartzito processadas no Britador 1 de zona granulométrica $d/D=9,5/25$.

Conforme pode ser observado na Figura 53, os resultados das amostras processadas e classificadas no Britador 1 (hidrocone) enquadraram-se no intervalo dos limites (inferior e superior) estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005 para uso como agregado graúdo no concreto.

No Britador 2 foi realizada apenas a cominuição do material. As amostras foram fragmentadas em dimensões variadas e encaminhadas ao laboratório para classificação de acordo com a ABNT NBR 7211:2005, utilizando peneiras da série normal e intermediária.

Na Figura 54 encontram-se os resultados da granulometria e os limites das zonas granulométricas d/D=9,5/25 das amostras processados no Britador 2.

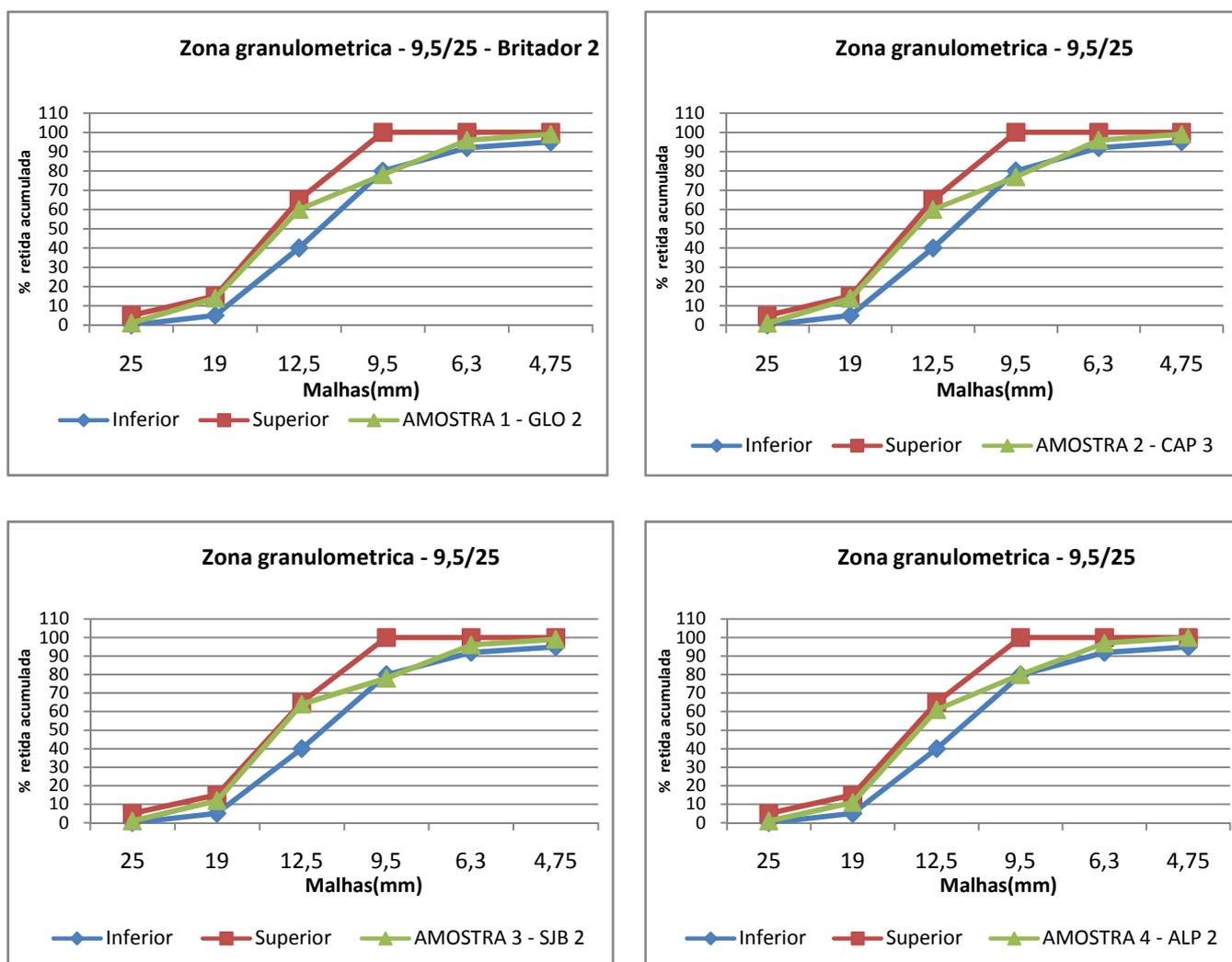


Figura 54 – Análises granulométricas das amostras de Quartzito processadas no Britador 2 de zona granulométrica d/D=9,5/25.

O Britador 2, devido sua disponibilidade, foi utilizado para fragmentar os quartzitos que foram utilizados para produção dos concretos. Como pode ser observado, todas as amostras ficaram com o mesmo perfil de classificação com uma distribuição granulométrica

contínua e próximo ao intervalo dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005. Este procedimento permite analisar de forma coerente os resultados dos concretos produzidos com estes agregados.

4.2.1.3 Massa específica seca, massa específica na condição saturada superfície seca, absorção e porosidade

Os resultados dos ensaios realizados nas amostras de quartzitos de acordo com a ABNT NBR NM 53:2003, estão apresentados nas Figuras 55, 56, 57 e 58.

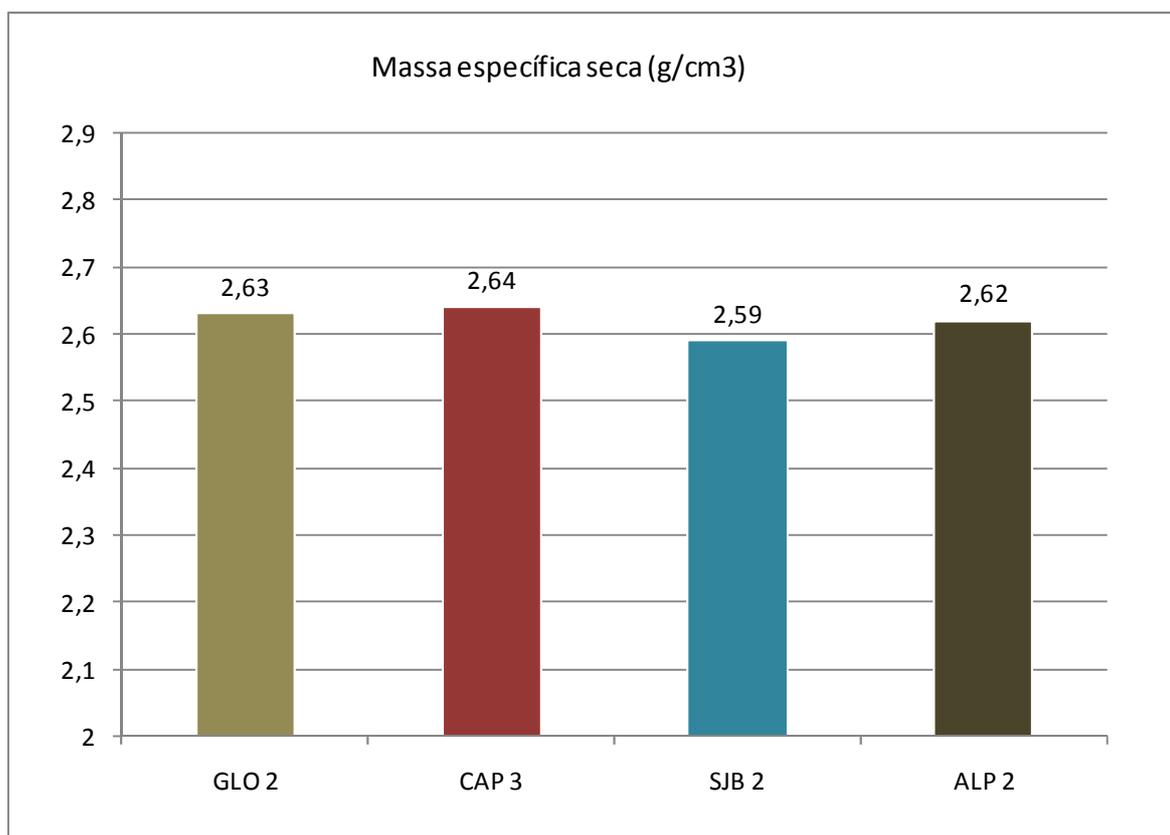


Figura 55 – Massa específica seca das amostras de quartzito.

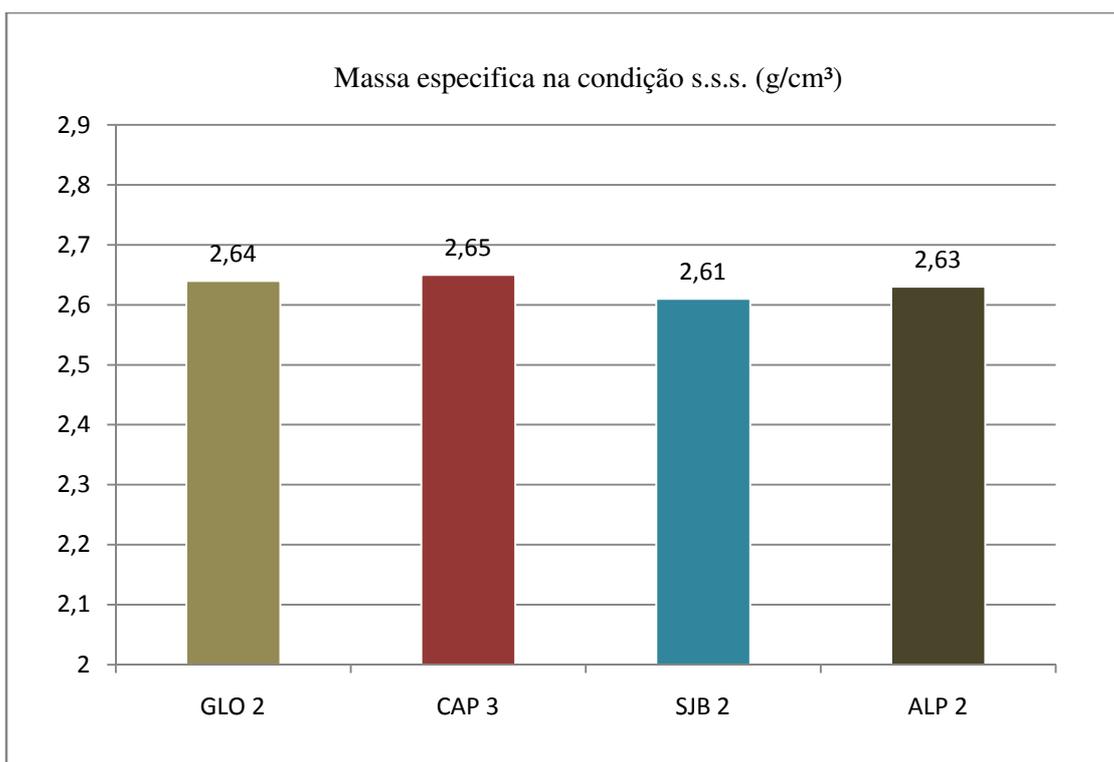


Figura 56 – Massa específica na condição saturada superfície seca das amostras de quartzito.

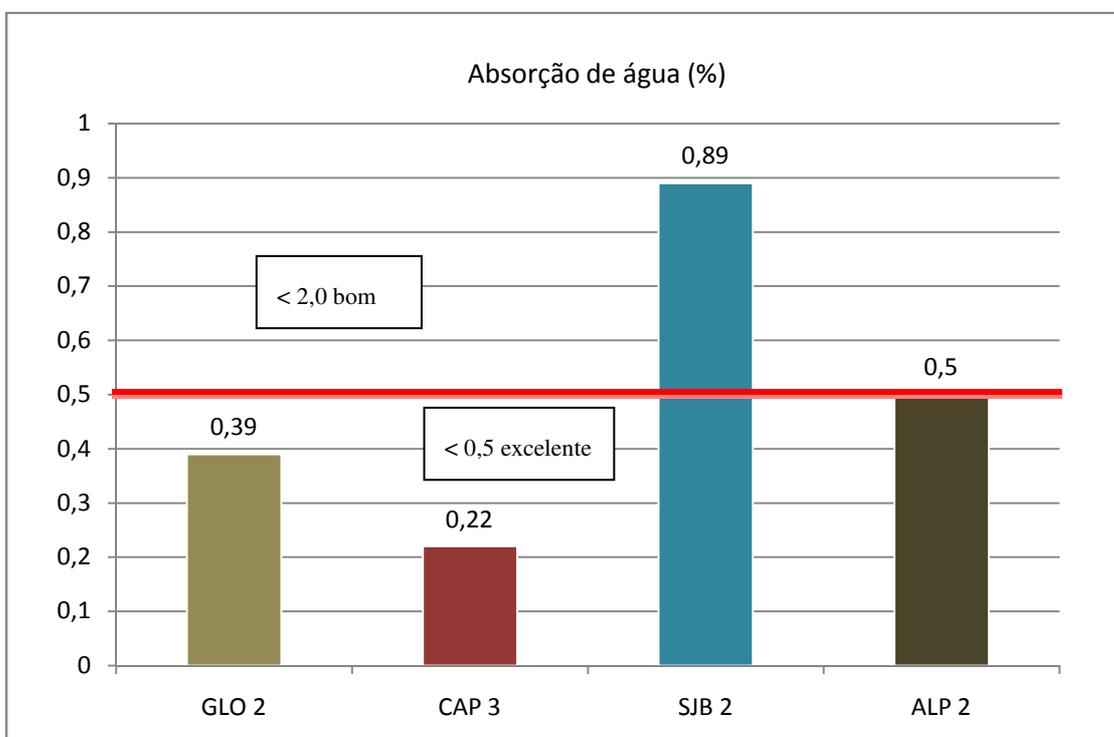


Figura 57 – Índice de absorção das amostras de quartzito.

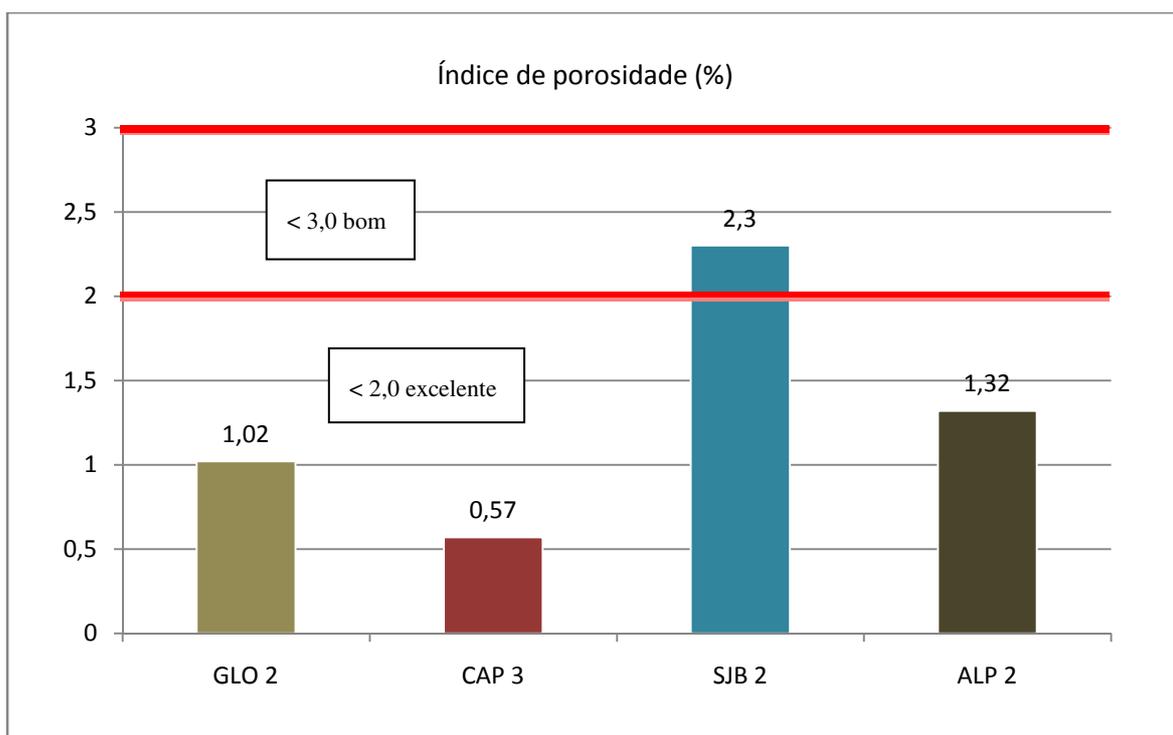


Figura 58 – Índice de porosidade das amostras de quartzito.

Os resultados das massas específicas (seca e na condição saturada superfície seca), para todas as amostras foram satisfatórios, com pequenas variações entre os valores.

Quanto à absorção de água e porosidade, a amostra SJB 2 foi classificada com a qualificação boa, enquanto que as demais amostras que obtiveram valores menores foram classificadas com a qualificação excelente.

4.2.1.4 Massa unitária

Para os resultados de massa unitária no estado solto e massa unitária no estado compactado foram utilizadas amostras processadas nos dois britadores.

- **Massa unitária no estado solto**

Na Tabela 19, são apresentados os resultados das massas unitárias dos agregados de quartzitos no estado solto processados pelos Britadores 1 e 2.

Tabela 19 - Resultados das massas unitárias dos agregados no estado solto obtidos nos Britadores 1 e 2.

AMOSTRA	Massa Unitária no estado solto (kg/dm ³)	
	Britador 1	Britador 2
GLO 2	1,374	1,363
CAP 3	1,383	1,369
SJB 2	1,395	1,361
ALP 2	1,377	1,363

Os resultados obtidos demonstram que há pouca variação dos valores de massa unitária no estado solto entre os dois processos de britagem. As amostras processadas no Britador 2 resultaram em valores ligeiramente mais baixos.

○ **Massa unitária no estado compacto**

Na Tabela 20 são apresentados os resultados das massas unitárias dos agregados de quartzitos no estado compacto processados pelos Britadores 1 e 2.

Tabela 20 - Resultados das massas unitárias dos agregados no estado compacto obtidos nos Britadores 1 e 2.

AMOSTRA	Massa Unitária no estado compacto (kg/dm ³)	
	Britador 1	Britador 2
GLO 2	1,721	1,718
CAP 3	1,716	1,720
SJB 2	1,733	1,732
ALP 2	1,712	1,714

Pode-se observar valores muito próximos de massa unitária no estado compacto entre as amostras processadas em diferentes britadores.

4.2.1.5 Teor de Materiais Pulverulentos

A ABNT NBR 7211:2005 determina que a máxima quantidade de materiais pulverulentos que pode conter o agregado graúdo seja de 1,0%. Das 4 amostras britadas, a princípio, somente a amostra SJB 2 seria desfavorável para seu uso como agregado graúdo (Figura 59). Porém a ABNT NBR 7211:2005 permite uma tolerância para as rochas com índice de absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a ANBT NBR NM 53:2003. Neste caso, o limite de material fino (pulverulentos) passa a ser de 2%. Isto se aplica à amostra SJB 2, que possui um índice de absorção de 0,89%.

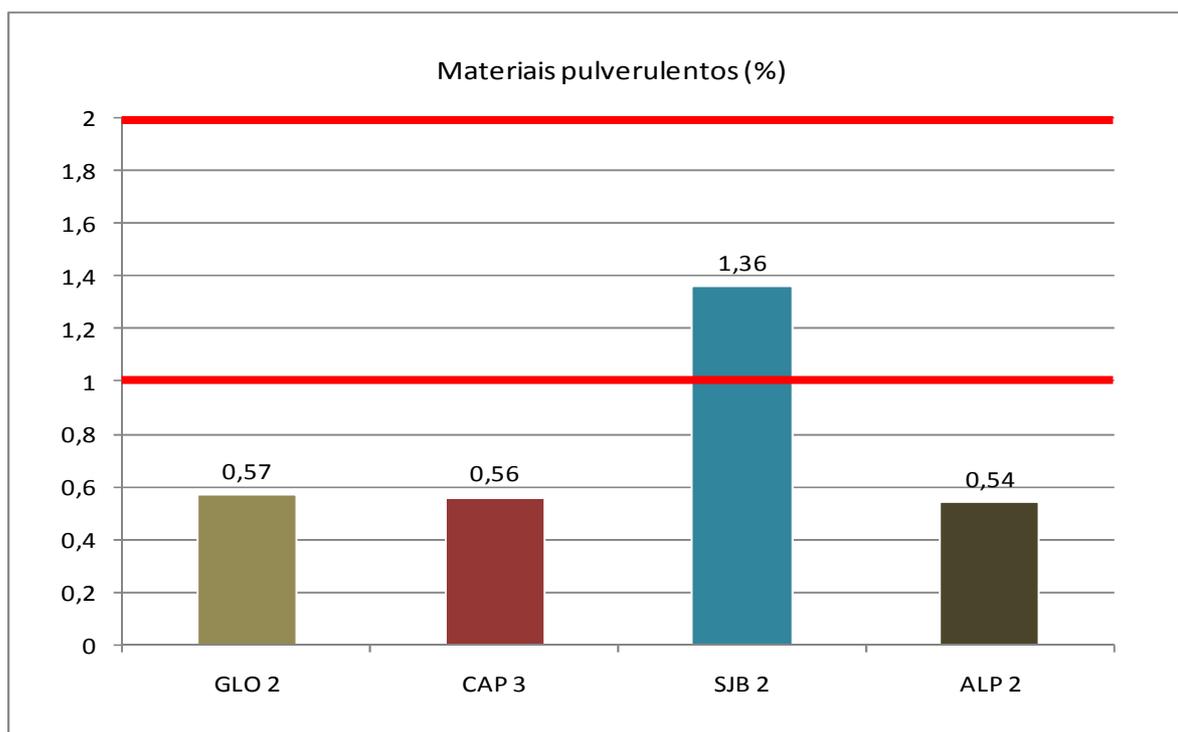


Figura 59 – Percentual de materiais pulverulentos das amostras.

4.2.1.6 Ensaio de ciclagem artificial água-estufa

Conforme determinado pela ABNT NBR 12696:1992, foram ensaiadas 50 partículas de cada tipo litológico (Figura 60).



Figura 60 – Amostra submetida ao ensaio de ciclagem.

No total foram 100 ciclos de imersão em água durante 14 horas e secagem em estufa durante 8 horas. Na Tabela 21, estão relacionadas às porcentagens de perda de massa em relação à massa inicial das amostras, determinadas durante o exame quantitativo.

Tabela 21 – Verificação da perda de massa dos agregados após ensaio de ciclagem artificial água-estufa.

	Massa Inicial (g)	Massa final (g) após 60 ciclos	Perda de Massa em %
GLO 2	317,3	315,6	0,54 %
CAP 3	350,1	348,7	0,40 %
SJB 2	501,3	497,2	0,82 %
ALP 2	419,6	417,3	0,55 %

Durante a realização de cada ciclo foram observados se os fragmentos sofreram algum tipo de ataque devido à presença de argilo-mineral expansivo, como desintegração, fissuração, rachaduras e lasqueamento. A amostra que apresentou maior perda de massa foi a SJB 2 e, conforme esperado, nenhuma delas manifestou presença de minerais expansivos não sofrendo as degradações mencionadas anteriormente.

4.2.2 Caracterização mecânica das amostras

4.2.2.1 Ensaio de compressão axial

Para determinação da resistência à compressão axial, foram rompidos três testemunhos de cada amostra (Figura 61), utilizando-se como resultado final, a média obtida. Houve a necessidade de se fazer correções em relação às dimensões h/d (altura/diâmetro) em alguns testemunhos conforme especificado pela ABNT NBR 7680:2007. Os testemunhos foram extraídos de forma a aplicar a força na direção paralela às foliações. Os resultados encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados da resistência à compressão axial nos testemunhos de quartzitos.

AMOSTRA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	1º ENSAIO	2º ENSAIO	3º ENSAIO	MÉDIA
GLO 2	132	158	137	142
CAP 3	117	147	135	133
SJB 2	91	97	92	93
ALP 2	104	115	108	109



Figura 61 – Testemunhos de quartzitos submetidos ao ensaio de resistência a compressão.

Na compressão uniaxial as amostras GLO 2, CAP 3 e ALP 2 apresentaram resistência superior a 100 MPa enquadradas em um bom índice de qualificação. A amostra SJB 2 apresentou resistência igual a 93 MPa enquadrada em um nível razoável de qualificação. Todas elas, entretanto, apresentam a resistência à compressão na mesma ordem de grandeza de outros tipos litológicos comumente utilizados como agregado e similares a valores apresentados pela literatura (Tabela 7).

4.2.2.2 Abrasão “Los Angeles”

A ABNT NBR 7211:2005 estabelece que o desgaste à abrasão sofrido pelo agregado, realizado conforme a ABNT NBR NM 51:2001, deve ser inferior a 50%, em massa, do material. Todos os valores indicados na Figura 62 representam um excelente comportamento de desgaste dos agregados à abrasão.

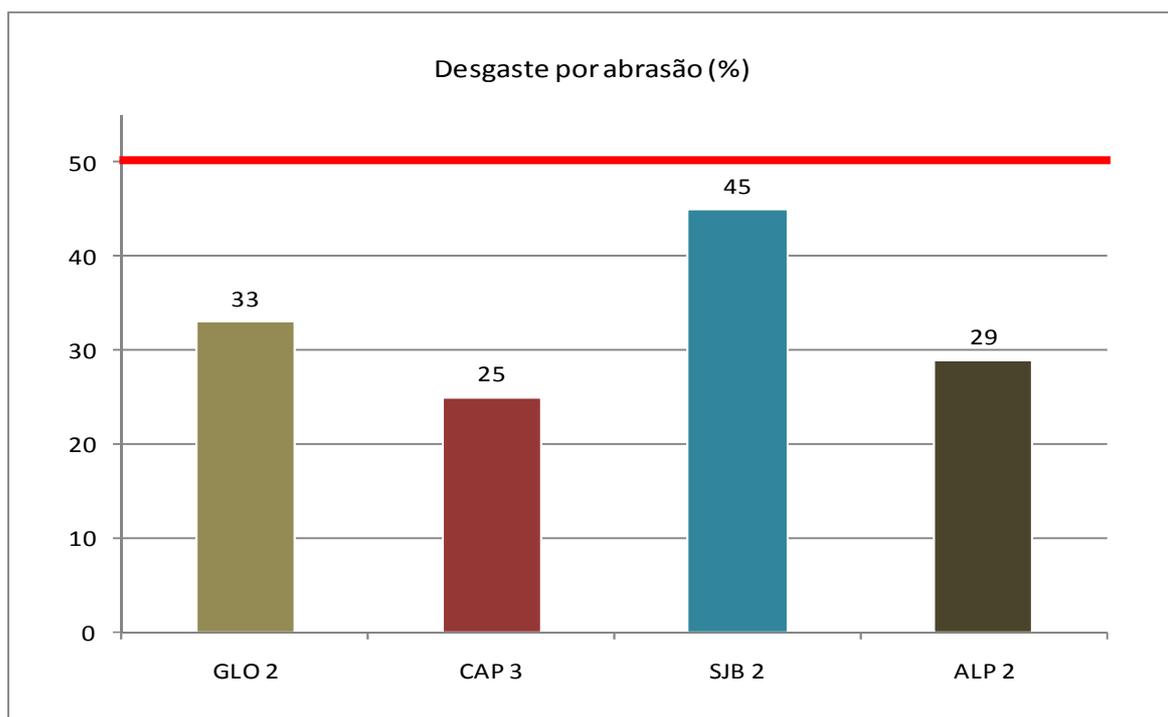


Figura 62 – Resultados dos índices de abrasão “Los Angeles”.

4.2.2.3 Esmagamento

Com relação à resistência ao esmagamento, pode-se verificar, na Figura 63, que os resultados das amostras CAP 3 e ALP 2 foram classificadas como excelente, com percentuais de perda menores que 20%. As amostras dos quartzitos GLO 2 e SJB 2 enquadraram-se no intervalo de 20 a 25%, portanto classificadas no nível bom de utilização, adequando-se para uso como agregado na construção civil, segundo Verhoef e Van De Wall (1998 apud Gomes, 2001).

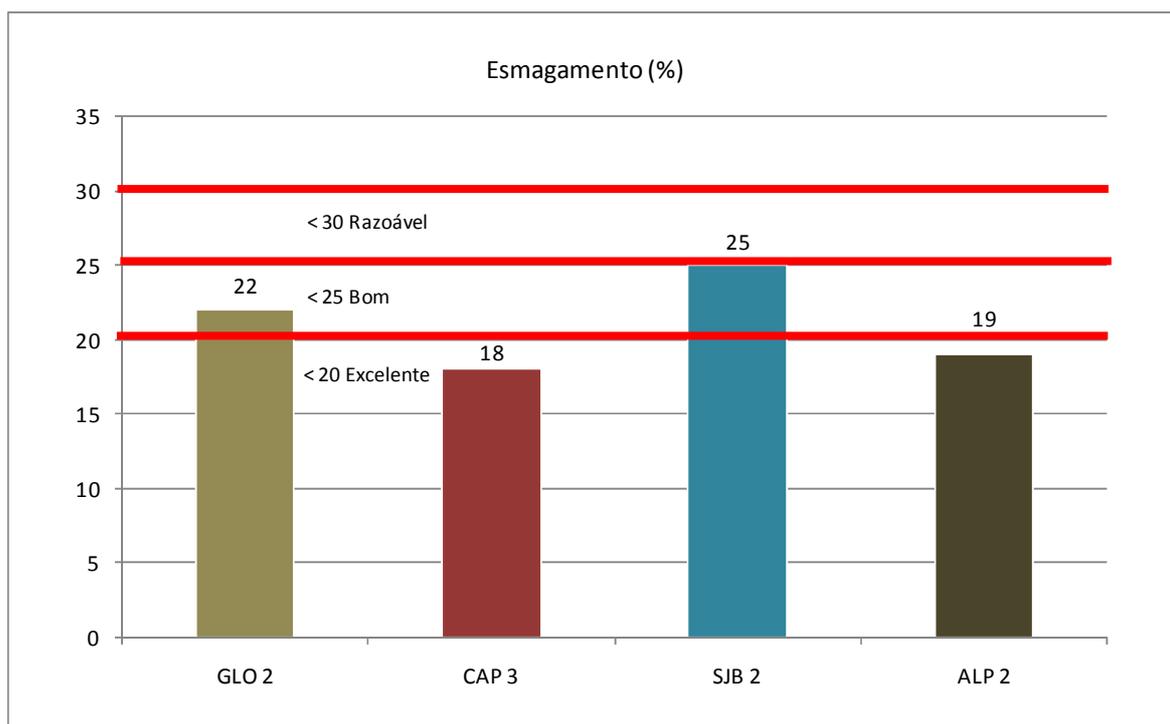


Figura 63 – Resultado dos índices de esmagamento.

4.2.3 Reatividade potencial álcali-agregado

Foram produzidos dois traços de argamassa para cada uma das quatro amostras de quartzitos. Para cada traço foram moldadas três barras de argamassa, totalizando 24 barras e medidas periodicamente a expansão, conforme ensaio acelerado da ASTM C-1260:2007. O primeiro traço foi produzido utilizando o cimento CP II-Z-32 e o segundo traço foi produzido utilizando o CP V-ARI. A análise química destes dois tipos de cimentos com ênfase ao teor de álcalis está descrita na Tabela 23. As análises físicas e químicas completas fornecidas pelos fabricantes dos cimentos encontram-se no anexo B.

Tabela 23 - Teores alcalinos dos cimentos CP II Z 32 e CP V ARI.

RESULTADOS EM %	CP II Z 32					CP V ARI				
	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Equivalente Alcalino	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Equivalente Alcalino
Amostra 1	0,8	0,13	56,53	6,28	0,66	0,76	0,18	63,44	0,73	0,68
Amostra 2	0,89	0,12	60,59	4,3	0,71	0,74	0,18	64,22	0,77	0,67
Amostra 3	0,8	0,13	57,16	6,22	0,66	-	-	-	0,69	-
Mínimo	0,8	0,12	56,53	4,3	0,66	0,74	0,18	63,44	0,69	0,67
Máximo	0,89	0,13	60,59	6,28	0,71	0,76	0,18	64,22	0,77	0,68
Média	0,83	0,13	58,09	5,6	0,68	0,75	0,18	63,83	0,73	0,67
Desvio padrão	0,05	0,0	2,1	1,1	0,0	0,01	0,00	0,55	0,06	0,00

Equivalente alcalino = Na₂O + 0,685 K₂O

Como pode ser observado os equivalentes alcalinos apresentam valores praticamente idêntico em ambos os cimentos.

As Figuras 64 e 65 mostram o comportamento crescente de expansão das barras de argamassa até a idade de 30 dias, e na Tabela 24, constam os valores da expansão a idade de 16 e 30 dias para cada tipo de cimento.

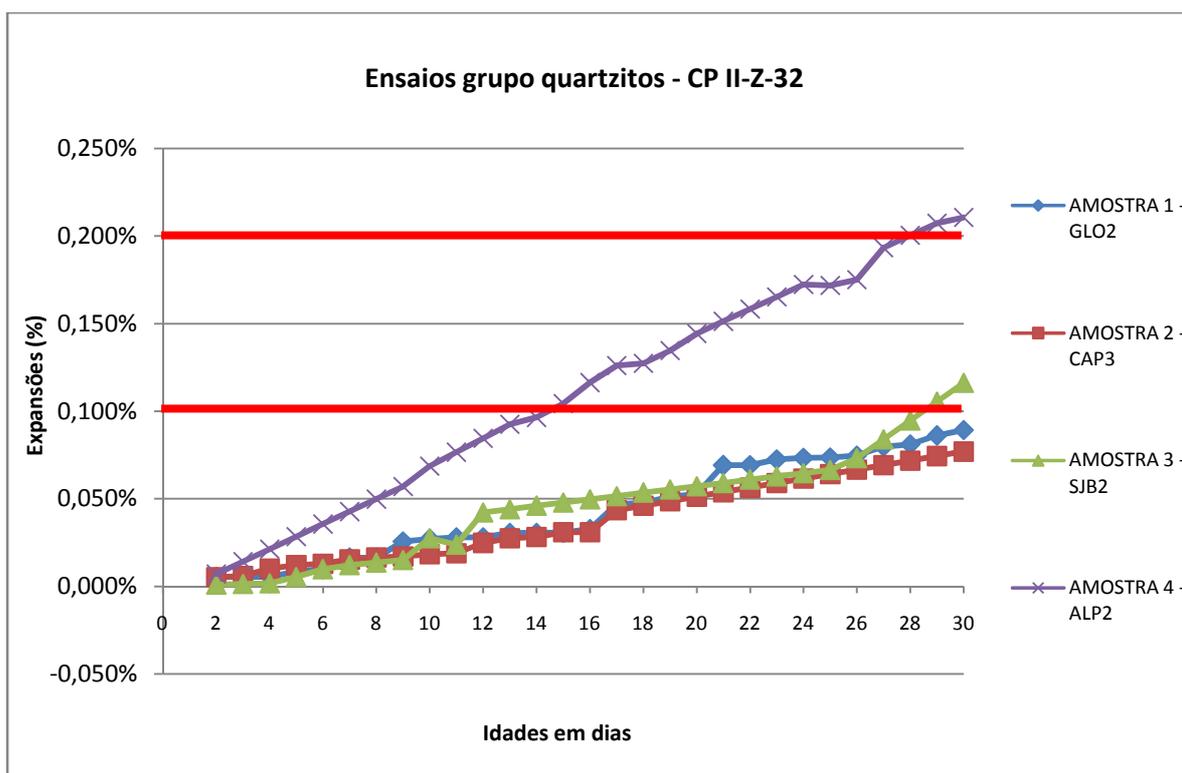


Figura 64 – Expansão das barras de argamassas produzidas com as quatro amostras de agregados de quartzitos e cimento CP II-Z-32.

De acordo com os limites da ASTM C-1260:2007, aos 16 dias, as amostras GLO 2, CAP 3 e SJB 2 produzidas com o cimento CP II-Z-32, indicaram um comportamento inócuo, com expansões abaixo 0,10%, enquanto que a amostra ALP 2 obteve expansão média de 0,116%, indicando a possibilidade da manifestação deletéria.

Aos 30 dias de ensaio, foi comprovado o comportamento potencialmente deletério na amostra ALP 2, indicando expansões superiores a 0,2%.

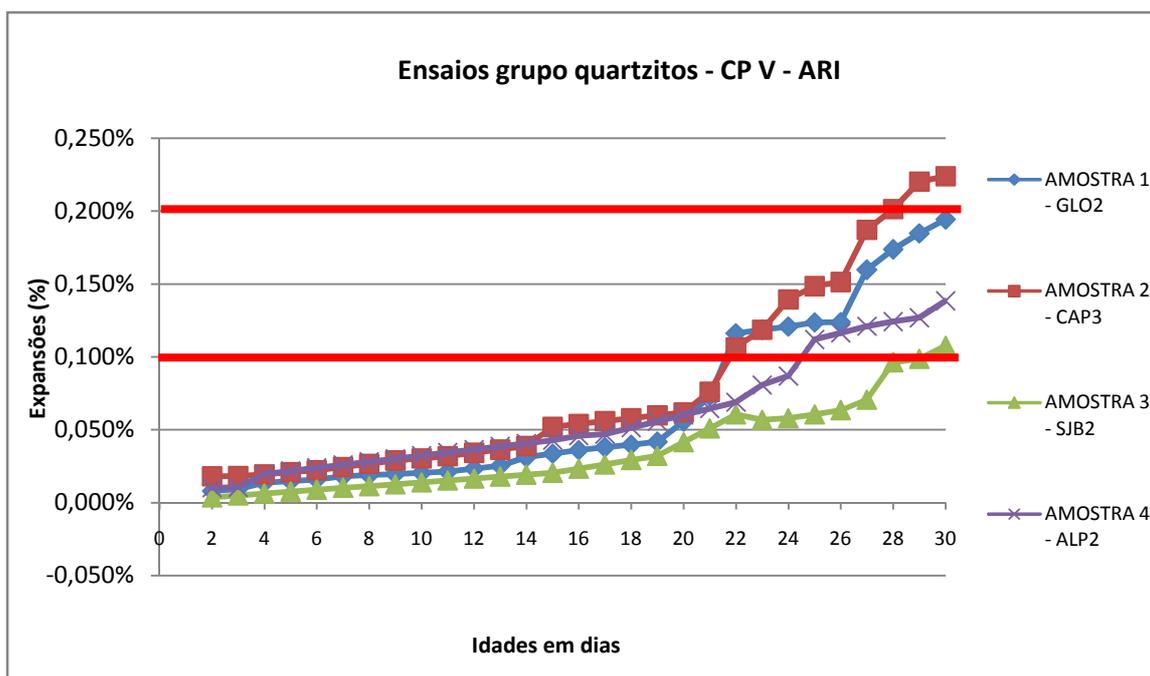


Figura 65 – Expansão das barras de argamassas produzidas com as quatro amostras de agregados quartzitos e cimento CP V-ARI.

Todas as barras de argamassa produzidas com o cimento CP V-ARI analisadas aos 16 dias, indicaram um comportamento inócuo, com expansões abaixo 0,10%, entretanto, aos 30 dias de ensaio, foi verificado um comportamento potencialmente deletério na amostra CAP 3, indicando expansões superiores a 0,2%. Nas amostras GLO2, SJB2 e ALP2 os resultados indicaram a possibilidade da presença de agregados, tanto com comportamento inócuo, como deletério. A amostra SJB2 apresentou o menor índice de expansão, porém dentro da faixa de potencialidade deletéria.

Tabela 24 – Expansão das barras de argamassa preparadas com amostras de quartzitos e cimentos CP II-Z-32 e CP V-ARI, aos 16 e 30 dias de idade.

Cimento	Idade	GLO 2	CAP 3	SJB 2	ALP 2
CP II-Z-32	16 dias	0,033%	0,031%	0,050%	0,116%
	30 dias	0,089%	0,077%	0,116%	0,211%
CP V-ARI	16 dias	0,036%	0,054%	0,023%	0,046%
	30 dias	0,194%	0,224%	0,108%	0,138%

Os resultados utilizando o CP II-Z-32 apresentaram expansões menores na grande maioria das barras de argamassa comparados aos resultados do CP V-ARI. Como os percentuais de álcalis dos cimentos foram praticamente idênticos (Tabela 23), esta diferença pode ser atribuída a adição de pozolana no CP II-Z-32 que contribui para a minimização das reações, entretanto, neste caso não foi suficiente para inibir as expansões na amostra ALP2. Nenhuma barra ensaiada sofreu ruptura ou fissuras significativas. Apenas as barras da amostra CAP 3 sofreram indícios de pequenas fissuras e tendência a envergadura.

Durante a moldagem das barras de argamassa da amostra SJB2 utilizando o cimento CP V-ARI, foram verificadas dificuldades no adensamento em virtude do índice pouco mais elevado de absorção de água dos agregados em relação às demais amostras, resultando em vazios maiores na argamassa no estado endurecido. Este fenômeno é atribuído, também, à forma irregular dos grãos de quartzitos, neste caso a lamelaridade e angulosidade que não promovem uma compacidade adequada aos concretos e argamassas. O mesmo ocorreu em outras amostras, foram observados percentuais significativos de vazios e poros nas barras de argamassa no estado endurecido.

A grande quantidade de vazios que ocorreu principalmente nos corpos-de-prova da amostra SJB2 faz com que o gel oriundo da reação tenha mais espaços vazios para se alojar, o que muitas vezes pode resultar numa classificação equivocada da potencialidade reativa da amostra.

No trabalho realizado por Valduga et al. (2005), observou-se a influência da forma dos grãos nos resultados de ensaio acelerado. Nesse estudo os autores verificaram que quando as argamassas são moldadas com grãos mais angulosos têm-se expansões menores do que quando os agregados possuem os grãos arredondados, justamente devido aos vazios presentes nessas argamassas, onde o gel se acomoda.

Na Tabela 25, apresenta-se uma síntese dos resultados de caracterização tecnológica obtidos nos agregados de quartzitos. Os dados assim apresentados contribuem para uma melhor análise comparativa entre os resultados com os níveis de qualidade, aceitação e as classificações propostas por Verhoef e Van De Wall (1998 apud Gomes, 2001) e as respectivas normas brasileiras e internacionais.

Tabela 25 – Síntese dos resultados dos ensaios nos agregados de quartzitos e gnaisse.

TIPO LITOLÓGICO	GNAISSE	QUARTZITO							
		TR	GLO 2		CAP 3		SJB 2		ALP 2
AMOSTRA	TR	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
BRITADOR	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
FORMA (NBR 6954)	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FORMA (NBR 7809)	A	A	R	A	A	R	R	A	R
GRANULOMETRIA (Dimensão Máxima)	A 19	A 19	A 19	A 19	A 19	A 19	A 19	A 19	A 19
MASSA UNITÁRIA EST. SOLTO (g/cm ³)	1,48	1,374	1,363	1,383	1,369	1,395	1,361	1,377	1,363
MASSA UNITÁRIA EST. COMP. (g/cm ³)	ND	1,721	1,718	1,716	1,720	1,733	1,732	1,712	1,714
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,74 B	2,63 B		2,64 B		2,59 B		2,62 B	
MASSA ESPECÍFICA S.S.S. (g/cm ³)	2,74 B	2,64 B		2,65 B		2,61 B		2,63 B	
ABSORÇÃO (%)	0,2 E	0,4 E		0,2 E		0,9 B		0,5 E	
POROSIDADE (%)	0,5 E	1,0 E		0,6 E		2,3 B		1,3 E	
MATERIAIS PULVERULENTOS (%)	ND	0,57 E		0,56 E		1,36 A*		0,54 E	
ENSAIO DE CICLAGEM (%)	ND	0,54		0,40		0,82		0,55	
COMPRESSÃO UNIAXIAL (MPa)	ND	142		133		93		109	
ABRASÃO (%)	26 ** E	33 E		25 E		45 B		29 E	
ESMAGAMENTO (%)	20 ** B	22 B		18 E		25 B		19 E	
REAT. ÁLC.-AGREG(%) 16 dias	ND	0,036 % I		0,054 % I		0,023 % I		0,046 % I	
30 dias	ND	0,194 % PT		0,224 % R*		0,108 % PT		0,138 % PT	

- A – Aceitável;
- R – Rejeitado;
- E – Excelente;
- B – Bom;
- A* - Aceitável conforme ressalva no item 4.2.1.5;
- Fonte: Francklin Junior (2006)

- C – Amostra classificada como cúbica;
- L – Amostra classificada como lamelar;
- B1 – Britador 1;
- B2 – Britador 2.
- I – Inócuo;
- PT – Potencialmente reativo;
- R* – Reativo.
- ND – Não determinado

4.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCRETOS

Conforme especificado na seção 3.4, foram avaliadas as propriedades no estado fresco e no estado endurecido para os concretos estudados, definidos pelas siglas TR - GNAISSE, T-A1-GLO2, T-A2-CAP3, T-A3-SJB2 e T-A4-ALP2, conforme especificado na Tabela 15.

Primeiramente foram realizados ensaios de caracterização física dos materiais que irão compor os concretos, posteriormente foram realizados os devidos ajustes e correções nos traços para produção em laboratório.

4.3.1 Caracterização dos materiais componentes do concreto referência

Foram caracterizados fisicamente os materiais componentes do concreto referência com o propósito de possibilitar a obtenção dos consumos e para análise comparativa com os demais traços produzidos com agregados de quartzitos. Os resultados estão sintetizados na Tabela 26.

Tabela 26 – Resultados de caracterização dos materiais componentes do concreto TR.

Materiais utilizados no TR	Ensaio realizado				
	Massa específica	Massa unitária	Análise Granulométrica		
			Zona	M.F.	D. Máx.
Cimento CP II – Z – 32	3,06 g/cm ³	ND	-	-	-
Agregado miúdo natural – areia rio	2,64 g/cm ³	1,41 g/cm ³	utilizável	2,22	2,36 mm
Agregado graúdo (GNAISSE)	2,74 g/cm ³	1,48 g/cm ³	9,5/25	ND	19,0 mm

- ND – Não Determinado

4.3.1.1 Resultados do índice de forma e granulometria do agregado graúdo gnáissico

Serão apresentados na Tabela 27 e na Figura 66 os resultados de índice de forma e análise granulométrica realizados no agregado graúdo de gnaisse. Foram realizados neste trabalho os mesmos processos de britagem e classificação do tamanho dos grãos tanto para os agregados de quartzitos como para os agregados de gnaisse.

Tabela 27 - Resultado do ensaio de índice de forma do agregado de gnaisse processado no Britador 2

MÉTODO NBR 6954			MÉTODO NBR 7809	
B/A	C/B	FORMA	C/E	CONDIÇÃO
0,67	0,59	CÚBICA	2,66	ACEITÁVEL

Conforme pode ser observado, os valores de índice de forma apresentados enquadram-se perfeitamente para uso como agregado graúdo no concreto, classificado como cúbica pelo método ABNT NBR 6954:1989 e na condição aceitável pela ABNT NBR 7211:2005.

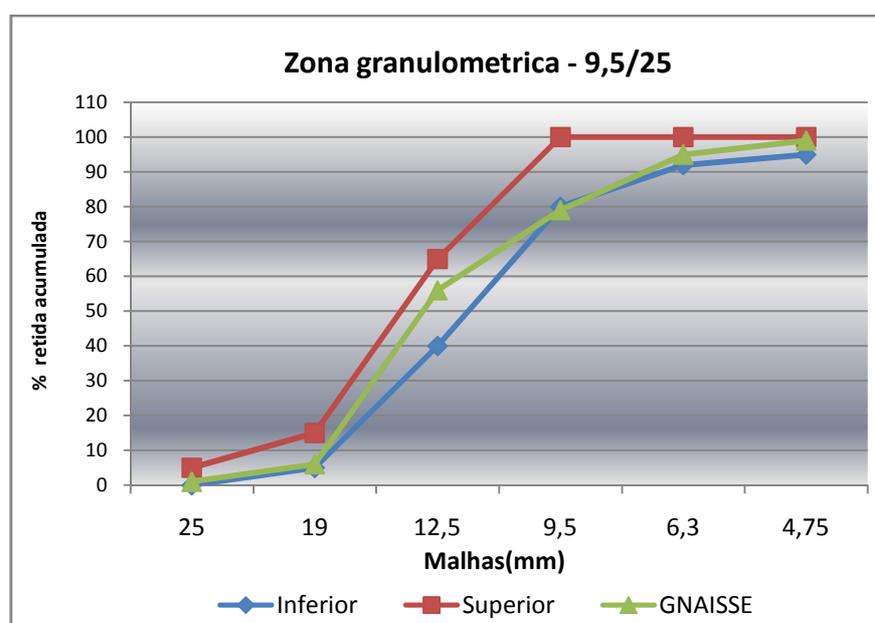


Figura 66 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo gnáissico

Conforme pode ser observado o agregado graúdo de gnaïsse apresenta uma continuidade da distribuição granulométrica e encontra-se muito próximo dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005 e também idêntico aos resultados dos agregados de quartzitos processados pelo mesmo britador.

4.3.2 Correções e ajustes dos traços de concretos

Foram realizadas as correções dos traços em função das diferenças de massas específicas entre agregados com o propósito de estabelecer o mesmo consumo de cimento por m³ de concreto, mantendo a mesma relação a/c (Tabela 28). O traço referência com uso do agregado graúdo convencional, foi de 1 : 1,95 : 2,9 : 0,57 em massa para materiais secos.

Tabela 28 - Correções dos traços em função da massa específica dos agregados.

AMOSTRA	TRAÇO	Massa específica dos agregados (kg/dm ³)	Consumo de Cimento em kg/m ³ de concreto
TR - GNAISSE	1 : 1,95 : 2,90 : 0,57	2,74	371,22
T-A1 - GLO2	1 : 1,95 : 2,78 : 0,57	2,63	371,22
T-A2 - CAP3	1 : 1,95 : 2,79 : 0,57	2,64	371,22
T-A3 - SJB2	1 : 1,95 : 2,74 : 0,57	2,59	371,22
T-A4 - ALP2	1 : 1,95 : 2,77 : 0,57	2,62	371,22

4.3.3 Avaliação no estado fresco

Foi fixado o abatimento do concreto em 60±10mm e calculados as massas específicas no estado fresco e o teor de argamassa seca para cada um dos cinco traços produzidos em laboratório, os resultados estão especificados na Tabela 29.

Tabela 29 – Massa específica, teor de argamassa e abatimento para os traços produzidos.

Traço	Massa específica (kg/m ³)	Teor de argamassa seca (%)	Abatimento (mm)
TR-GNAISSE	2390,07	50,4%	50
T-A1-GLO2	2347,52	51,5%	50
T-A2-CAP3	2340,43	51,4%	62
T-A3-SJB2	2333,33	51,8%	55
T-A4-ALP2	2340,43	51,5%	60

As diferenças entre o valor de massa específica obtidas nos traços com agregado de quartzito, em relação ao traço referência, foram pouco significativas, próximas a 50kg/m³.

A avaliação das propriedades no estado fresco foi realizada através de exame qualitativo de trabalhabilidade e consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme ABNT NBR NM 67:1998. Estes resultados estão expressos na Tabela 30 para cada um dos traços analisados.

Tabela 30 – Resultados da avaliação do concreto no estado fresco.

Traços	Abatimento (mm)	Aspectos de trabalhabilidade			
		coesão	segregação	acabamento	exsudação
TR-GNAISSE	50	M	I	B	P
T-A1-GLO2	50	M	I	B	I
T-A2-CAP3	62	M	I	B	P
T-A3-SJB2	55	B	I	B	I
T-A4-ALP2	60	B	I	B	P

Legenda:

Coesão : B (bom); M (médio); R (ruim)

Acabamento : B (bom); M (médio); R (ruim)

Segregação: I (isento); P (pouca); M (médio); A (alta)

Exsudação: I (isento); P (pouca); M (médio); A (alta)

Conforme pode ser observado, os concretos analisados manifestaram aspectos muito parecidos no estado fresco, apenas pequenas deficiências relacionadas à coesão nos traços TR-GNAISSE, T-A1-GLO2 e T-A2-CAP3, foram verificadas. Para mesmas relações a/c, os resultados de abatimento foram próximos e no intervalo de 60 ± 10 mm.

Na Figura 67 são apresentadas imagens do ensaio de determinação do abatimento dos concretos. Foram verificados também outros aspectos como coesão, conforme Figura 68 (a), segregação (Figura 68 c) e exsudação durante o ensaio de massa específica, conforme Figura 68 (b).

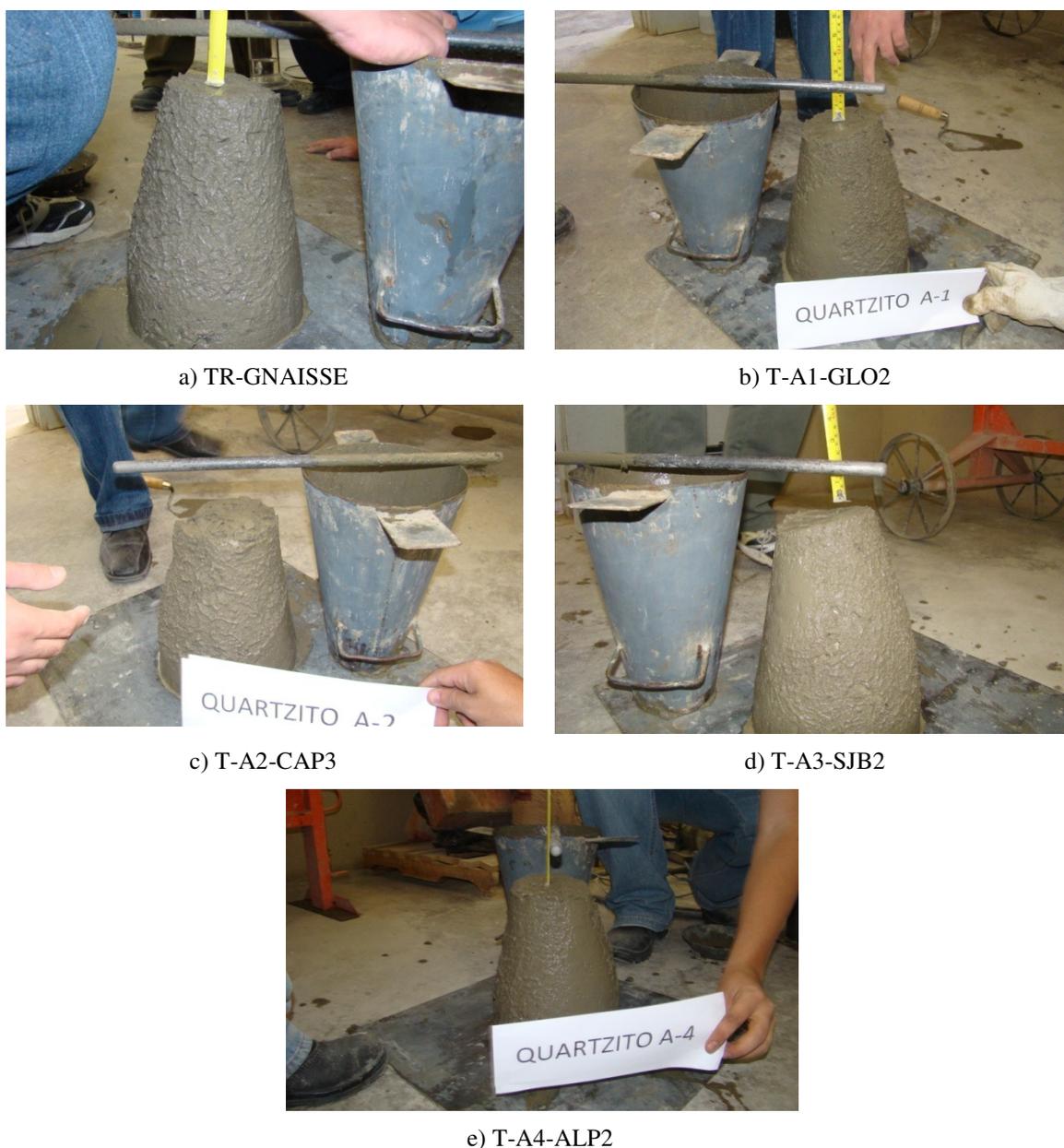


Figura 67 – Abatimento dos concretos

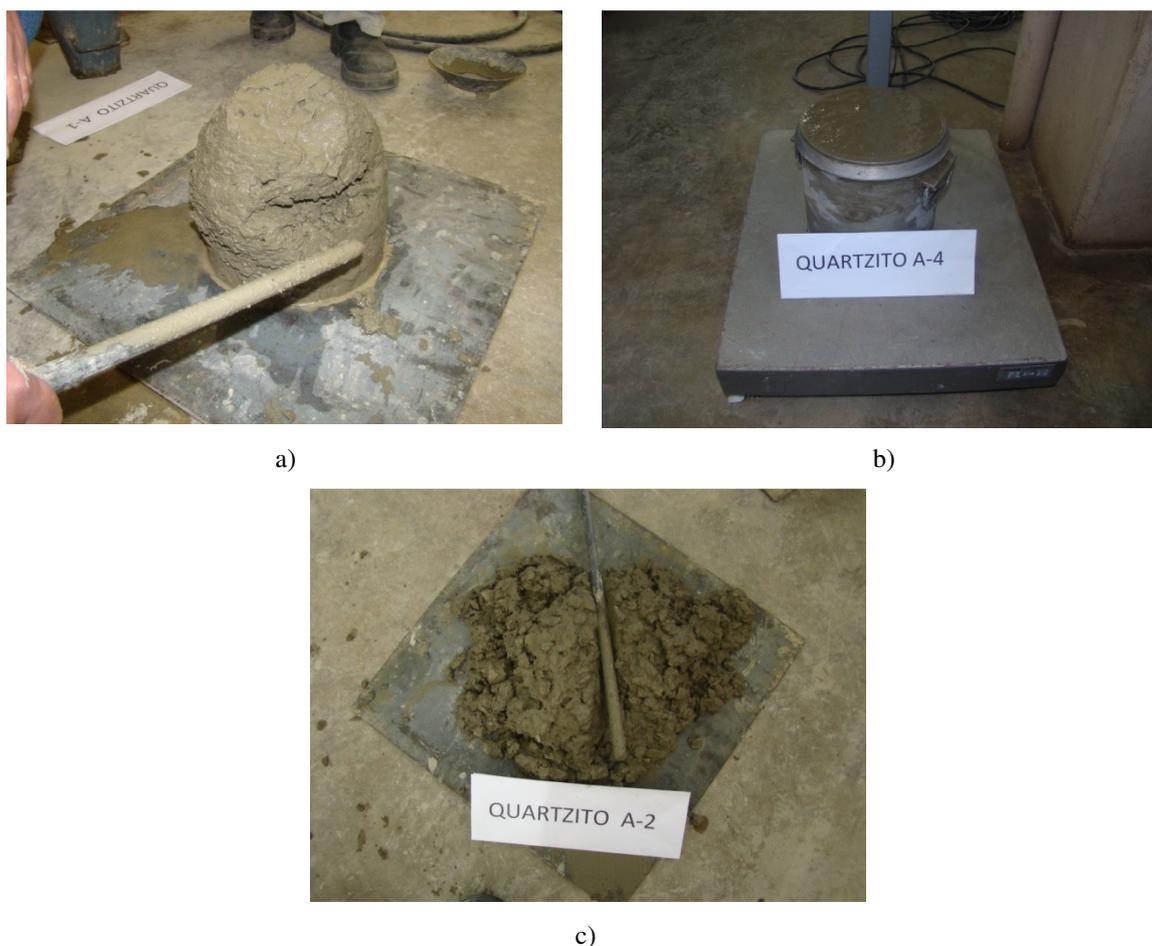


Figura 68 – Verificação de: a) coesão, b) exsudação e c) segregação dos concretos.

Foi observado que em aproximadamente um minuto de mistura todos os traços de concreto produzidos já apresentavam aspectos satisfatórios de homogeneidade. Não houve aderência de argamassa na parede da betoneira. A mistura manual utilizando colher de pedreiro também foi satisfatória manifestando boa plasticidade. Durante um determinado período a betoneira ficou desligada para verificação do fenômeno de exsudação, entretanto, foram observados nos traços TR-GNAISSE, T-A2-CAP3 e T-A4-ALP2 apenas diminutas porções de água em pontos isolados na superfície do concreto, sendo consideradas irrelevantes.

Os valores de índice de forma considerados inadequados pela ABNT NBR 7809:1983, não interferiram nos aspectos de trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Mehta e Monteiro (2008) descrevem que partículas de agregados de textura áspera, angulosas e alongadas influenciam mais as propriedades no estado fresco do que no estado endurecido

e atribuem que partículas alongadas e lamelares devem ser limitadas a no máximo 15%, em massa, do total de agregado.

4.3.4 Avaliação no estado endurecido

Foram relacionados os resultados dos concretos produzidos com os quatro tipos de amostras de quartzitos e comparados com concreto referência.

4.3.4.1 Resistência à compressão

Os resultados da resistência à compressão obtidos aos 28 dias nos corpos-de-prova cilíndricos de concreto estão apresentados na Figura 69.

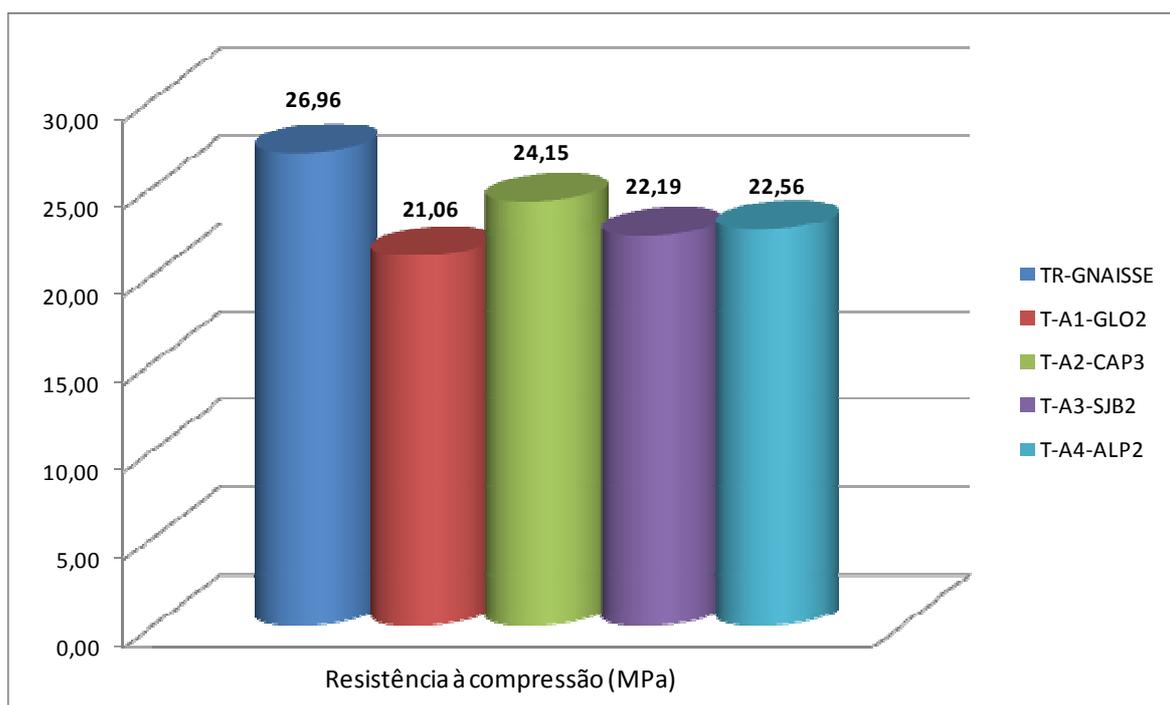


Figura 69 - Resistências à compressão dos concretos aos 28 dias de idade

Como pode ser observado, os valores de resistência à compressão dos concretos produzidos com agregado graúdo de quartzito, foram menores que o concreto referência, porém não significativos. A diferença máxima obtida foi de 21,88% no traço T-A1-GLO2

em relação ao TR-GNAISSE, e a diferença mínima foi de apenas 10,42% no traço T-A2-CAP3.

Estas diferenças podem ser atribuídas a alguns fatores como má aderência na interface pasta de aglomerante e agregado gráudo e às formas irregulares dos agregados, interferindo negativamente nas propriedades do concreto. Na Figura 70 é apresentado um comparativo entre as resistências dos concretos e os respectivos índices de forma dos agregados gráudos determinados de acordo com a ABNT NBR 7809:1983.

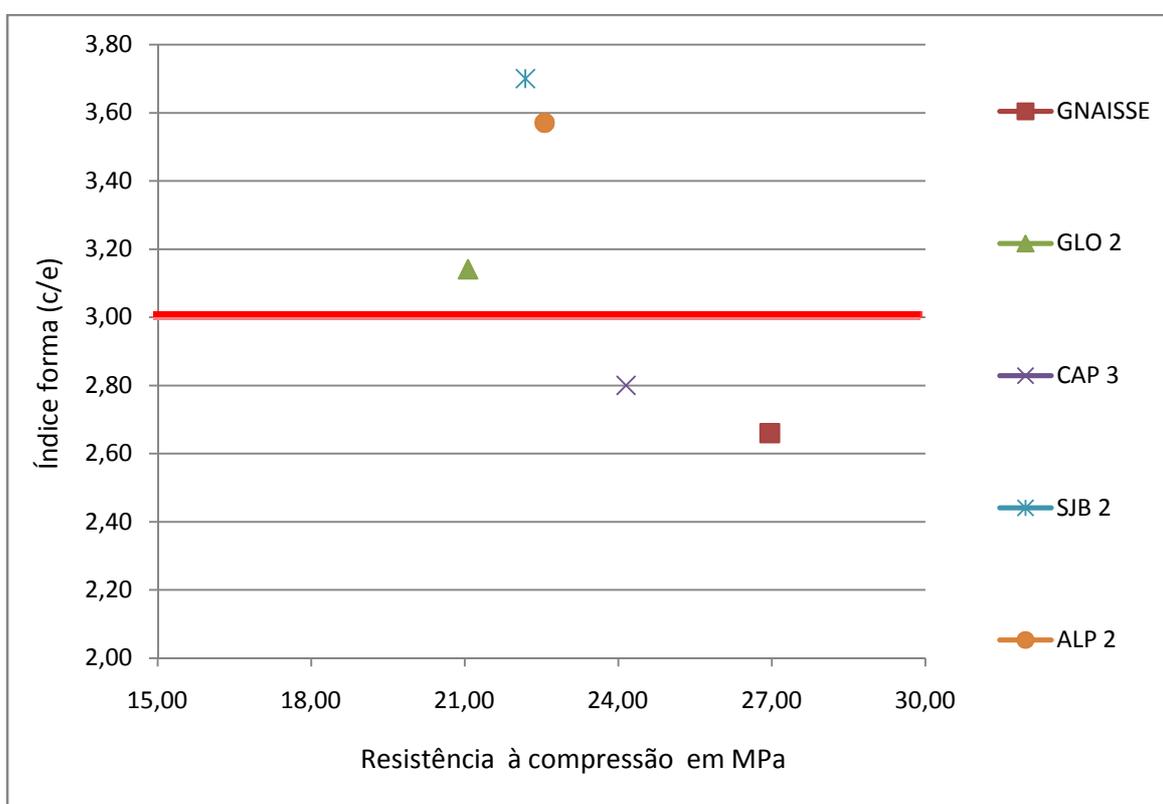


Figura 70 – Relação entre os valores de índice de forma dos agregados e resistência à compressão dos concretos.

Os resultados relacionados de índice de forma do agregado gráudo e resistência a compressão do concreto, mostram que, valores de índice de forma (relação comprimento espessura) abaixo do limite estabelecido pela ABNT NBR 7809:1983, resultaram em resistências à compressão maiores dos concretos. Por outro lado, os resultados de índice de forma considerados reprovados nos demais agregados, ou seja, valores superiores à 3,0

obtiveram resistências à compressão menores nos concretos. As condições mais favoráveis de índice de forma, aprovados nos ensaios pela ABNT NBR 7809:1983, são atribuídos aos agregados de Gnaisse e CAP3, os valores de resistência à compressão dos traços produzidos com estes dois agregados, foram justamente os maiores e ficaram próximos.

Um dos principais motivos das resistências menores dos concretos produzidos com grãos de agregados mais lamelares, podem ser atribuídos ao aumento da relação água/cimento na zona de transição e formação de grãos cristalinos maiores, refletindo em maior porosidade na interface agregado e pasta e conseqüente enfraquecimento da região.

Após os ensaios de resistência à compressão, os concretos foram levados à ruptura completa, para que a seção de ruptura fosse analisada. O intuito foi de verificar através de análise visual se a ruptura dos concretos estava ocorrendo nos agregados graúdos ou na pasta de cimento. Nas Figuras 71 (a), (b), (c), (d) e (e) são apresentadas imagens das seções de ruptura dos corpos-de-prova.



a) Traço referência com agregado de gnaisse



b) Traço T-A1-GLO2



c) Traço T-A2-CAP3



d) Traço T-A3-SJB2



e) Traço T-A4-ALP2

Figura 71 – Seções de ruptura à compressão dos concretos produzidos

Analisando os corpos-de-prova produzidos com os agregados graúdos de gnaiss e quartzitos, verificou-se que existiam na região da ruptura, agregados rompidos e também agregados arrancados da pasta (ruptura da pasta ao redor do agregado), que caracteriza a aderência adequada do agregado à pasta. Observou-se também que a quantidade de agregados rompidos foi menor ou aproximadamente igual à de agregados separados da pasta de cimento, indicando que a resistência do agregado é também aceitável. Foram observados em todos os traços de concreto que a grande maioria das partículas foram envolvidas com pasta de cimento nas seções de ruptura.

4.3.4.2 Resistência a tração por compressão diametral

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade, estão apresentados na Figura 72.

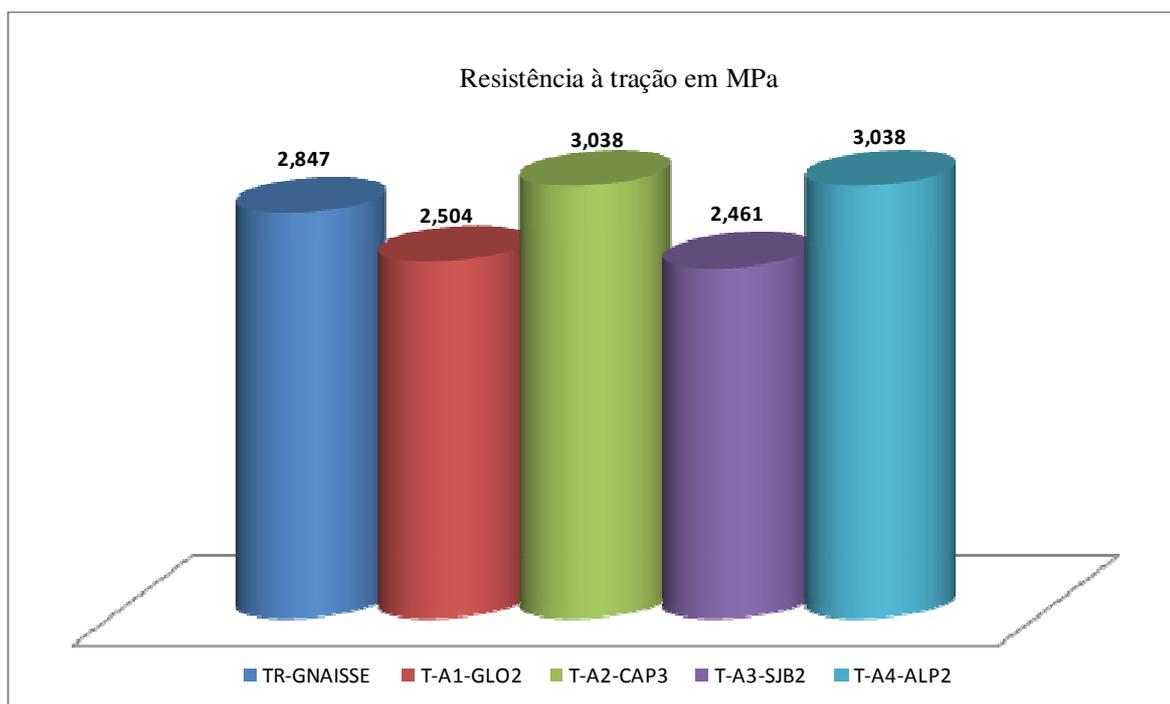


Figura 72 – Resistência à tração por compressão diametral dos concretos aos 28 dias de idade

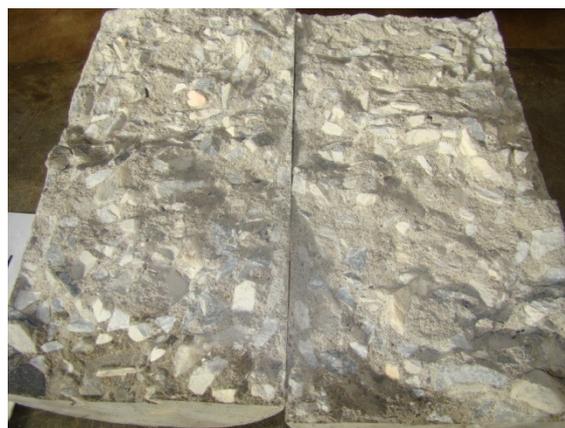
Os valores apresentados de resistência á tração mostraram-se satisfatórios não representando diferenças significativas entre as amostras. Os traços T-A1-GLO2 e T-A3-SJB2 obtiveram valores inferiores ao traço TR GNAISSE da ordem de 12,5%, enquanto que os traços T-A2-CAP3 e T-A4-ALP2 obtiveram um acréscimo na resistência à tração em relação ao traço TR GNAISSE em 6,28%.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a resistência do concreto, particularmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado. Texturas mais ásperas podem propiciar a formação de uma aderência física mais forte entre a pasta de cimento e o agregado. O índice de porosidade é uma das características que atribuem uma textura mais áspera ao agregado graúdo.

Outros fatores dependentes para a classificação da textura superficial, citados por Mehta e Monteiro (2008), podem ser atribuídos à origem petrográfica, dureza, tamanho dos grãos e exposição a forças de atritos. A figura 73 apresenta a seção de ruptura dos corpos-de-prova ensaios à tração por compressão diametral.



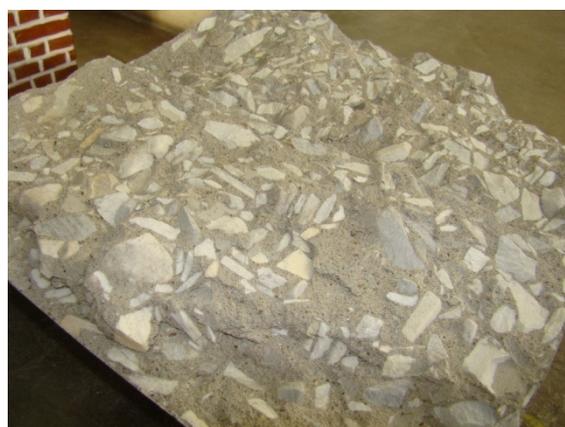
a) TR GNAISSE



b) T-A1-GLO2



c) T-A2-CAP3



d) T-A3-SJB2



e) T-A4-ALP2

Figura 73 – Seções de ruptura dos corpos-de-prova correspondente aos cinco traços estudados

Estudos realizados por Tasong et al. (1998 a) verificaram que a resistência na ligação da interface de concretos produzidos com quartzitos com superfície serrada foram mais elevados comparados a basaltos e calcários com o mesmo tipo de superfície. Os autores acreditam que reações pozolânicas entre o Si do quartzito e o CH pode ser a razão pela alta resistência na ligação. Os autores sugerem que não seja realizado apenas análises da interação entre agregado e pasta de cimento na zona de transição dos concretos, mas fundamentalmente análises do comportamento da textura superficial do agregado e o tipo de fissura ocorrido na zona de transição, sendo estes considerados fatores interventores comprovados em suas pesquisas.

Em investigações utilizando o quartzito em forma de pó em solução a base de cimento, Tasong et al. (1998 b) constataram que o quartzito mostrou-se muito mais ativo do que se esperava. Durante o ensaio o quartzito absorveu quantidades significativas de OH e Ca e liberou quantidades significativas de Si para a solução, esta observação permite indicar a formação do C-S-H na superfície do agregado.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Foram constatados dois tipos litológicos distintos de rejeitos provenientes das minerações de quartzito da região, são eles: Tipo 1, que constituem sobras do quartzito foliado, micáceo, que é efetivamente utilizado como “pedra de revestimento”; e o Tipo 2, que é um quartzito silicificado, com baixo teor em micas, não foliado que, após o desmonte, é completamente descartado. O Tipo 2, por suas características físicas, mineralógicas e mecânicas foi selecionado para a realização desta pesquisa.

Os resultados de caracterização dos agregados de quartzitos, de forma geral, foram bastantes satisfatórios comparados ao agregado convencional gnáissico, aos índices apresentados por Verhoef e Van De Wall (1998 apud Gomes, 2001) e aos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2005.

Os valores de índice de forma das amostras GLO 2, SJB 2 e ALP 2, que obtiveram índices indesejáveis segundo a ABNT NBR 7809:1983, não foram significativos, não interferindo nas propriedades do concreto no estado fresco. O percentual máximo obtido de grãos lamelares verificados nos ensaios foi de 44% na amostra ALP2 e o percentual mínimo de grãos lamelares foi obtido na amostra de Gnaisse com 30%. Vale ressaltar que estes percentuais podem ser diminuídos utilizando britador com características mais adequadas como o hidrocone, por exemplo.

Quanto à reatividade álcali-agregado pelo método acelerado da ASTM 1260:2007, verificou-se a potencialidade deletéria tanto nas amostras com o cimento CP II-Z-32 quanto com o cimento CP V-ARI. Neste caso recomenda-se a utilização de cimentos com

baixo teor de álcalis e com adições, como o CP III (cimento Portland de alto-forno) e o CP IV (cimento Portland pozolânico) e métodos preventivos da reação como a impermeabilização da estrutura, por exemplo. Entretanto, estudos mais aprofundados utilizando outros métodos devem ser realizados para conclusão final da reatividade dos quartzitos.

A trabalhabilidade de todos os traços de concreto apresentou-se satisfatória, os aspectos de coesão e consistência foram parecidos entre os traços e a homogeneidade da mistura foi excelente não apresentando segregação.

Quanto aos resultados das propriedades no estado endurecido, também foram satisfatórios.

As diferenças obtidas no ensaio de resistência à compressão (máximo de 21,88% no T-A1-GLO2 e mínimo de 10,42% no T-A2-CAP3 em relação ao TR-GNAISSE) podem ser atribuídas às formas irregulares dos grãos que podem afetar indiretamente a resistência do concreto. Quanto maior a proporção de partículas alongadas e achatadas, maior será a tendência de acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado, enfraquecendo a zona de transição na interface pasta-agregado.

Foram observados visualmente que nem todos os grãos de agregados apresentaram a formação de uma camada de pasta de cimento em sua superfície. O arranjo das partículas de agregados no interior do concreto, também pode ser um fator interventor, devido a lamelaridade de alguns grãos, que dificultam a compactação e homogeneidade do material.

Em última análise, os estudos realizados neste trabalho indicaram que os resíduos de quartzitos, provenientes de minerações do Sudoeste do Estado de Minas Gerais, apresentaram comportamento satisfatório na utilização como agregado graúdo no concreto.

Com o aprofundamento das pesquisas e posterior apoio de instituições que contribuem para a movimentação da economia regional, a comercialização deste produto pode tornar-se economicamente viável e, com isto, contribuir para solucionar problemas sociais, econômicos e ambientais que atingem o setor minerário do Sudoeste do Estado de Minas Gerais, em especial no que se refere aos quartzitos.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- Estudar concretos com diferentes consistências e resistências.

- Realizar estudos da reatividade potencial álcali-agregado, utilizando métodos alternativos, outros tipos de cimento e verificar a interferência da forma dos grãos no índice de vazios das argamassas.
- Efetuar análise da microestrutura dos concretos para verificação da interface agregado e pasta de aglomerante, principalmente em idades mais avançadas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. S. **Agregados**. In: Bauer, L.A.F. Materiais de construção, Rio de Janeiro: LTC. 2000. Cap.4, p. 63-120.

ANDRADE, W. P. – Equipe de FURNAS, Laboratório de Concreto. **Concretos Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo – Ensaio e Propriedades**. São Paulo, Pini, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-1260:2007. **Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)**. Philadelphia, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. **Catálogo Brasileiro – Rochas Ornamentais**. Disponível em: <www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=172>. Acessado em: 22 ago. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6954** – Lastro padrão - determinação da forma do material – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7222** – Concreto - Determinação da resistência a tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

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

_____. **NBR 7389** – Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7680** – Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7809** – Agregado graúdo - determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7810** – Agregado em estado compacto seco – determinação de massa unitária. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 9833** – Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9938** – Agregados – Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12696** – Agregados – Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12821** – Preparação de concreto em laboratório - procedimento. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR NM 46** – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 51** – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Ángeles”. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 53** – Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 66** – Agregados – Constituintes mineralógicos dos agregados naturais – Terminologia. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR NM 67** – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARTORELLI, A.; HARALYI, N. **Geologia do Brasil**. In: OLIVEIRA, A. M.S; BRITO, S.N.A. (Eds). Geologia de Engenharia, São Paulo, ABGE. Cap.4, p.57-67, 1998.

CHIODI, D. K. **Os quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais: principais demandas para o desenvolvimento sustentável da atividade produtiva**. São Paulo. In: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, 2003. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/noticias.php>>. Acessado em: 15 ago. 2009

COMIG. Companhia Mineradora de Minas Gerais. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte. 1 mapa color, 1994.

FARIAS, M.M; PALMEIRA, E.M. **Agregados para a construção civil**. In: ISAIA, G.C. (Ed). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência de Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 16, p. 481-524

FRANCKLIN JUNIOR, I.. **Estudo de propriedades tecnológicas de materiais rochosos do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado na construção civil**. 2006, 81p Monografia (graduação) – Faculdade de Engenharia de Passos – Universidade do Estado de Minas Gerais.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Rocha como Material de Construção**. In: ISAIA, G.C. (Ed). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência de Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 15, p. 437-480.

FRASCÁ, M. H. B. O.; SARTORI, P. L. P. **Minerais e Rochas**. In: OLIVEIRA, A. M.S; BRITO, S.N.A. (Eds). Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE, 1998. Cap.2, p.15-38.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. São Paulo, ABGE, 2002.

FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. **Geologia do Brasil**. In: OLIVEIRA, A. M.S; BRITO, S.N.A. (Eds). Geologia de Engenharia, São Paulo, ABGE. Cap.20, p.331-360, 1998.

GOMES, R. L. **Características tecnológicas e alterabilidade dos compartimentos entablamento e colunata de derrames basálticos da porção setentrional da bacia do Paraná**. Tese de doutorado, USP São Carlos, 2001

GOMES, R. L. **Propriedades químicas dos agregados**. Disponível em: <http://www.geocities.com/rlgomes_rl/quimica.htm>. Acessado em: 10 Mar. 2005.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Tese (Doutorado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

_____. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado — efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. Dissertação (Mestrado) - UFG. Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 1999. 257p.

ISRM (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS). **Suggested Method for Determining Point Load Strength**, 1985. Vol. 22 (nº2), pp. 51-60.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000. 102p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MONTEIRO, P. J. M. **Controle da microestrutura para o desenvolvimento de concretos de alto desempenho**. São Paulo: EPUSP, 1993. 22p.

MORANVILLE-REGOURD, M. **Microstructure of high performance concrete**. In: MALIER, Y. High performance concrete - from material to structure. London. E & FN Spon. 1992.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para concreto**. In: ISAIA, G.C.(Ed). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 11, p.323-344.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, 2. ed., São Paulo, PINI, 1997.

PAULON, V.A. **Microestrutura do concreto**. In: ISAIA, G.C.(Ed). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 19, p.583-604.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. Porto Alegre, Editora Globo, 1978.

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

POPP, J.H. **Geologia Geral**. 5.ed. Rio de Janeiro, LTC, 1998.

SANTOS, A. R. **Geologia de Engenharia: Conceitos, Métodos e Prática**. São Paulo, ABGE, IPT, 2002. p.74-78.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. **Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos**. In: OLIVEIRA, A. M.S; BRITO, S.N.A. (Eds). *Geologia de Engenharia*, São Paulo, ABGE, 1998. Cap.13, p.211-226.

ROSSIGNOLO, J. A. **Effect of silica fume and SBR latex on the pasteaggregate interfacial transition zone**. São Carlos: *Materials Research*, v.10, n.1, 2007. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151614392007000100018&script=sci_arttext&tlng=em>. Acessado em: 20/08/2009.

TASONG, W.A.; LYNSDALE, C.J.; CRIPPS, J.C. **Aggregate-Cement Paste Interface. Ii: Influence Of Aggregate Physical Properties**. *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 10, pp. 1453–1465, 1998 a.

TASONG, W.A.; CRIPPS, J.C.; LYNSDALE, C.J. **Aggregate-Cement Chemical Interactions**. *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 7, pp.1037–1048, 1998 b.

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do Sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2006.

VALDUGA, L.; SGARBOSSA, F.; DAL MOLIN, D.C.C.; PAULON, V.A. **Influência da forma do agregado, da relação água/cimento e da consistência da argamassa na verificação da potencialidade reativa do agregado**. In: 47 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2005, Recife. *Anais do 47 CBC*. Recife, 2005. p. 118-128.

APÊNDICE A

Resultados da resistência a compressão axial nas amostras de concreto, a idade de 28 dias.

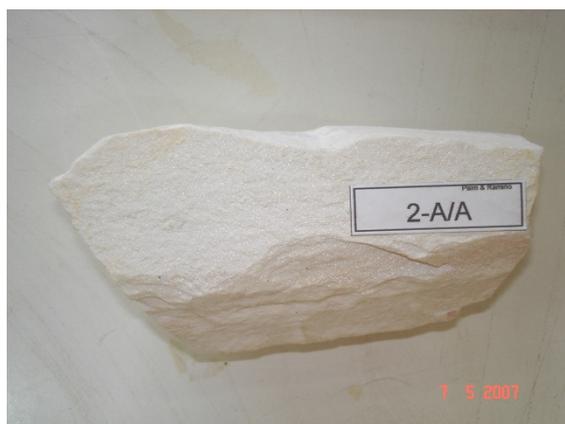
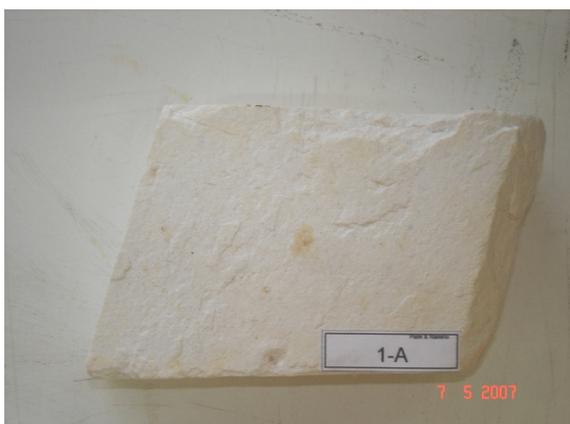
Identificação amostra	Moldagem	Idade	Rompimento	Área (cm ²)	Força (kgf)	Resistência (MPa)
TR-GNAISSE	02/06/2009	28	30/06/2009	177,29	44250	24,96
TR-GNAISSE	02/06/2009	28	30/06/2009	178,04	48000	26,96
T-A1-GLO2	02/06/2009	28	30/06/2009	178,04	37500	21,06
T-A1-GLO2	02/06/2009	28	30/06/2009	177,29	37000	20,87
T-A2-CAP3	02/06/2009	28	30/06/2009	177,29	42250	23,83
T-A2-CAP3	02/06/2009	28	30/06/2009	178,04	43000	24,15
T-A3-SJB2	03/06/2009	28	01/07/2009	178,04	38500	21,62
T-A3-SJB2	03/06/2009	28	01/07/2009	178,04	39500	22,19
T-A4-ALP2	03/06/2009	28	01/07/2009	177,29	40000	22,56
T-A4-ALP2	03/06/2009	28	01/07/2009	177,29	40000	22,56

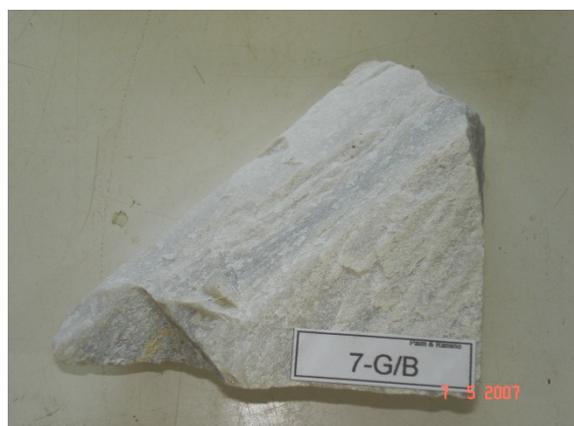
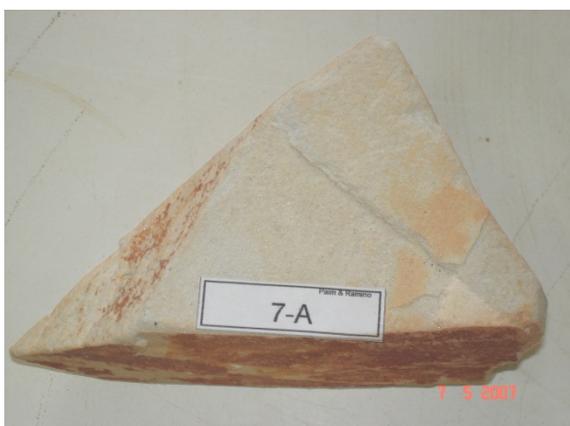
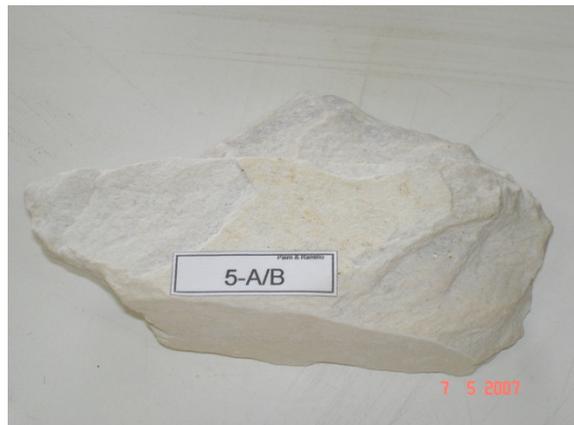
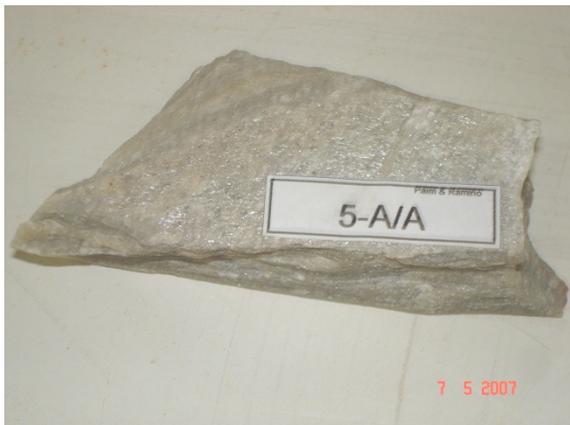
Resultados da resistência a tração por compressão diametral nas amostras de concretos, a idade de 28 dias.

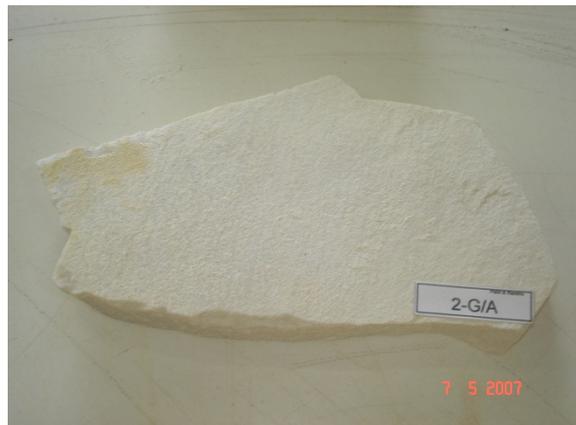
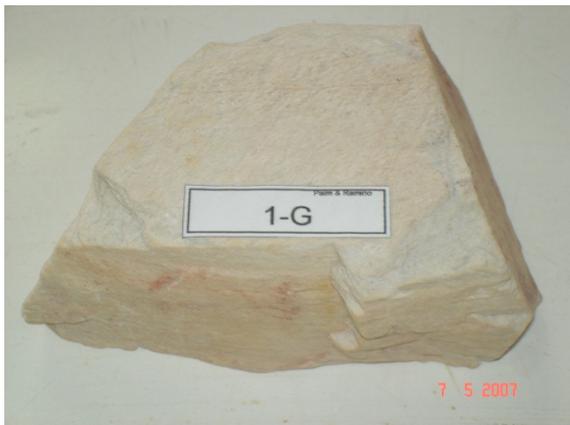
Ordem	Identificação	Moldagem	Idade	Rompimento	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Força (kN)	Resistência (MPa)
1	TR-GNAISSE	02/06/2009	28	30/06/2009	150	296,00	198584,66	2,847
2	TR-GNAISSE	02/06/2009	28	30/06/2009	150	298,00	186326,35	2,654
3	T-A1-GLO2	02/06/2009	28	30/06/2009	150	295,00	174068,04	2,504
4	T-A1-GLO2	02/06/2009	28	30/06/2009	150	295,00	164261,39	2,363
5	T-A2-CAP3	02/06/2009	28	30/06/2009	150	297,00	186326,35	2,663
6	T-A2-CAP3	02/06/2009	28	30/06/2009	150	298,00	213294,64	3,038
7	T-A3-SJB2	03/06/2009	28	01/07/2009	150	298,00	152003,08	2,165
8	T-A3-SJB2	03/06/2009	28	01/07/2009	150	296,00	171616,38	2,461
9	T-A4-ALP2	03/06/2009	28	01/07/2009	150	298,00	213294,64	3,038
10	T-A4-ALP2	03/06/2009	28	01/07/2009	150	300,00	205939,65	2,913

APÊNDICE B

Imagens das amostras de quartzitos









APÊNDICE C

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À CARGA PONTUAL							
QUARTIZITOS TIPO 1							
AMOSTRA			D (espessura)	W (largura)	Força	De2	Q (força)
Nº	L1 (mm)	L2 (mm)					
1 - A	115,25	148,8	33,55	54,57	450	2331,08	4,50
2 - A/A	115,25	134,71	19,46	58,35	675	1445,75	6,75
3 - A/B	115,25	130,86	15,61	55,84	800	1109,84	8,00
4 - A	115,25	135,16	19,91	57,23	225	1450,79	2,25
6 - A/B	115,25	133,95	18,70	57,21	625	1362,15	6,25
7 - A	115,25	136,94	21,69	54,9	300	1516,15	3,00
1 - G	115,25	136,06	20,81	53,56	300	1419,13	3,00
2 - G/A	115,25	138,08	22,83	51,32	825	1491,77	8,25
2 - G/B	115,25	137,87	22,62	53,47	850	1539,97	8,50
3 - G/A	115,25	140,85	25,60	52,71	1400	1718,08	14,00
4 - G/B	115,25	137,39	22,14	54,98	825	1549,86	8,25
5 - G	113,33	136,65	23,32	56,42	275	1675,22	2,75
7 - G/A	113,33	140,63	27,30	57,59	200	2001,80	2,00

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À CARGA PONTUAL							
QUARTIZITOS TIPO 2							
AMOSTRA			D (espessura)	W (largura)	Força	De2	Q (força)
Nº	L1 (mm)	L2 (mm)					
2 - A/B	115,25	132,04	16,79	55,96	975	1196,30	9,75
3 - A/A	115,25	145,29	30,04	50,48	925	1930,76	9,25
5 - A/A	115,25	135,66	20,41	47,43	1500	1232,55	15,00
5 - A/B	115,25	130,25	15,00	54,39	225	1038,77	2,25
6 - A/A	115,25	136,88	21,63	57,13	950	1573,37	9,50
2 - G/C	115,25	136,29	21,04	47,74	1500	1278,90	15,00
3 - G/B	115,25	131,37	16,12	51,87	1300	1064,61	13,00
4 - G/A	115,25	139,04	23,79	51,97	1425	1574,19	14,25
6 - G/A	113,33	138,04	24,71	54,82	1100	1724,73	11,00
6 - G/B	113,33	135,83	22,50	47,6	825	1363,64	8,25
7 - G/B	113,33	136,25	22,92	64,32	1275	1877,03	12,75

ANEXO A

ANÁLISES PETROGRÁFICAS MICROSCÓPICAS REALIZADAS PELA UNESP – RIO CLARO.

DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

1) Amostras e Lâminas Enviadas

Programa	Registro	Procedência	Tipo
4.889	4.0288.2007	ALP 2 (tipo 2)	Rochas
4.889	4.0289.2007	ALP 2 (tipo 1)	Rochas
4.889	4.0290.2007	SJB 2 (tipo 2)	Rochas
4.889	4.0291.2007	SJB 2 (tipo 1)	Rochas
4.889	4.0292.2007	CAP 3 (tipo 2)	Rochas
4.889	4.0293.2007	CAP 3 (tipo 1)	Rochas
4.889	4.0294.2007	GLO 2 (tipo 2)	Rochas
4.889	4.0295.2007	GLO 2 (tipo 1)	Rochas

2) Comentários Gerais

Todas as amostras apresentaram composições mineralógicas similares bem como os aspectos estruturais, texturais e evolutivos. A composição mineralógica em especial o teor de quartzo, forma dos grãos de zircão, presença de turmalina metamórfica, além de alguns grãos detríticos deste mineral, sugere que o protólito foi arenito de granulação média a fina, constituído basicamente por quartzo, com muito pouca ou sem matriz, depositado em ambiente costeiro (marinho). Já os aspectos estruturais e texturais, em associado com a evolução mineralógica,

evidenciam que o material original foi submetido a metamorfismo de fácies xisto verde, de intensidade média a alta (350 a 450°C), acompanhada de intensa deformação dúctil (plástica), responsável pela geração da laminação (foliação) bem desenvolvida em todas as amostras, bem como de lineação mineral paralela a de estiramento. Os aspectos microestruturais, em especial do quartzo, que mostra assimetria na migração dos seus limites durante o processo deformacional (tectono-metamórfico), evidencia que a intensa deformação resultou de cisalhamento simples, aspecto compatível com seqüências alóctones resultantes de colisão continental.

As maiores diferenças são relativas ao grau de alteração supérgena, que leva a dissolução, inicialmente ao longo dos planos de maior fraqueza geométrica e estrutural (planos de foliação com maior riqueza em filossilicatos) e a seguir intersticialmente, gerando poros intergranulares alongados de acordo com a foliação (laminação) da rocha, constituindo uma rede bem orientada, de forma anastomosada, de canalículos e superfícies irregulares. Estes poros dispersam a luz e geram tonalidades bem mais claras nas porções mais lixiviadas, aspecto que aparenta ser mais importante para a coloração que a presença de minerais escuros de brilho metálico (magnetita, ilmentita e/ou hematita), submetálicos a não metálico (rutilo) e não-metálico vítreo (turmalina e esporadicamente filossilicatos fortemente coloridos).

Todas as amostras podem ser chamadas de ortoquartzitos, em função da presença de 95% de quartzo ou mais. Adjetivos podem ser atribuídos de acordo com a composição mineralógica e aspectos estruturais a exemplo dos termos foliado, laminado, xistoso, maciço, etc. Os temos com foliação mais desenvolvida podem ser denominados de quartzo xistos e os mais micáceos (com cerca de 5% ou mais de mica) podem ter o prefixo muscovita ou sericita (muscovita quartzito ou sericita quartzito, muscovita-quartzito xisto ou sericita-quartzito xisto).

3) Descrições das Amostras e Lâminas e Interpretações Pertinentes

AMOSTRAS

4.889	4.0288.2007	ALP 2 Tipo 2	Rochas
4.889	4.0289.2007	ALP 2 Tipo 1	Rochas

Descrição Mesoscópica: Rochas de estrutura laminadas (foliadas) de granulação muito fina que se diferem pela coloração e grau de lixiviação, levemente superior na Tipo 1. A Tipo 2 apresenta cor cinza claro difusamente manchada de forma orientada de acordo com a laminação, com matiz mais

claro e mais escuro de limites difusos e gradacionais entre eles. O matiz mais escuro constitui difusas trilhas, lâminas e mesmo leitos com até 2 mm de espessura, alguns contínuos e outros interrompidos gerando delgadas lentes. A pigmentação escura é dada pela concentração de minúsculos cristais de minerais escuros (opacos e não opacos) que ocorrem intercrescidos com cristais de quartzo e muscovita fina ou sericita. Em uma das superfícies de rompimento da amostra, nota-se além do brilho dos minúsculos cristais de muscovita, bem orientados, e minerais de brilho metálico a presença de manchas de oxidação, com formas quadráticas que sugerem a presença pretérita de pirita, fase mineral que foi totalmente oxidada, ficando apenas as cavidades com material pulverulento de cor marrom avermelhado (goethita/hematita).

A Tipo 1 apresenta cor creme claro, quase branco, e quantidade sensivelmente menor de minerais escuros, que ocorrem formando pontuações, difusas e delgadas lentes (submilimétricas) também bem orientadas paralelamente a foliação. Na superfície de rompimento desta amostra observa-se apenas a pontuação orientada de palhetas de muscovita dispersas entre grãos de quartzo gerando nítida lineação mineral que é paralela a de estiramento, esta marcada pela alongação dos cristais de quartzo.

Em ambas as amostras observa-se que em certos planos ocorre uma maior quantidade de micas (muscovita e/ou sericita) e nestes planos nota-se maior lixiviação abrindo microcavidades (poros) e este aspecto é mais marcante na Tipo 1

Descrição Microscópica da Tipo 2:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura é fortemente anisotrópica xistosa, com planos de concentração de muscovita bem orientada (septos) separando domínios constituídos basicamente por quartzo (micrólitos) de contatos difusos. A textura é granoblástica fortemente orientada, engrenada com limites lobulados a denteados entre os cristais, granulação média entre 100 e 200 μm .

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

Quartzo	($\pm 97\%$)	Turmalina	(< 1%)
Muscovita	($\pm 1\%$)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	($\pm 1\%$)	Rutilo	(Traços)

C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A rocha exhibe forte orientação dimensional (Fotos 1 e 2) e cristalográfica e granulação fina atestando intensa deformação, eminentemente dúctil (plástica), ou seja, caráter blastomilonítico. A

deformação intensa associada à temperatura compatível com a fácies xisto verde, com temperatura entre 350 e 450°C, levou a intensa recristalização dinâmica do quartzo, gerando arranjo dimensional do quartzo oblíquo a foliação, bem como assimetria das protuberâncias dos limites dos cristais (lóbulos e dentes), evidenciando que a deformação foi do tipo não-coaxial (cisalhamento simples) (Foto 2).

O quartzo ocorre sob a forma de cristais anedrais de contorno lobulado a denteados, interpenetrados entre si (engrenados), com forte orientação dimensional e cristalográfica. O comprimento médio dos cristais é da ordem de 300 a 350 μm , enquanto que a espessura fica por volta de 50 μm (Fotos 1 e 2).

A muscovita forma fina palhetas, sempre menores que 450 μm (média entre 150 e 200 μm), bem orientada formando trilhas e lâminas mais ou menos contínuas. Apresenta cor levemente esverdeada (Fotos 1 e 2).

Os minerais opacos são representados por cristais anedrais, bem alongados e orientados de acordo com a foliação, com formas lenticulares bem achatadas a irregulares, normalmente menores que 300 μm . Aparentam serem representados por magnetita e/ou ilmenita.

Turmalina constitui cristais euedrais a anedrais menores que 40 μm , concentrados em leitos ricos em mica, embora apareça isolada e chega a formar concentração lenticular de minúsculos cristais. Exibe cor verde claro, leve pleocroísmo e quase todos os cristais são formados durante o metamorfismo.

O zircão ocorre como minúsculos grãos arredondados, normalmente menores que 30 μm .

O rutilo aparece como raros cristais alongados, com hábito semelhante aos dos opacos.

Nos leitos mais ricos em mica observa-se a dissolução da sílica e outros constituintes gerando poros alongados de acordo com o plano de orientação das micas, e intersticial nas bordas destas discontinuidades.

D) **Classificação:** Quartzito foliado com muscovita fina.

Descrição Microscópica da Tipo 1:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura e a textura são similares a da Tipo 2, diferindo por apresentar uma laminação e orientação mais forte, quartzo pouco mais achatado e mais quantidade de muscovita bem orientada gerando textura que pode ser considerada lepidoblástica (Fotos 3, 4 e 5).

B) **Composição Modal Estimada Visualmente:**

Quartzo	($\pm 95\%$)	Turmalina	(Traços)
---------	----------------	-----------	----------

Muscovita	(\pm 4 %)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	(< 1%)	Rutilo	(Traços)

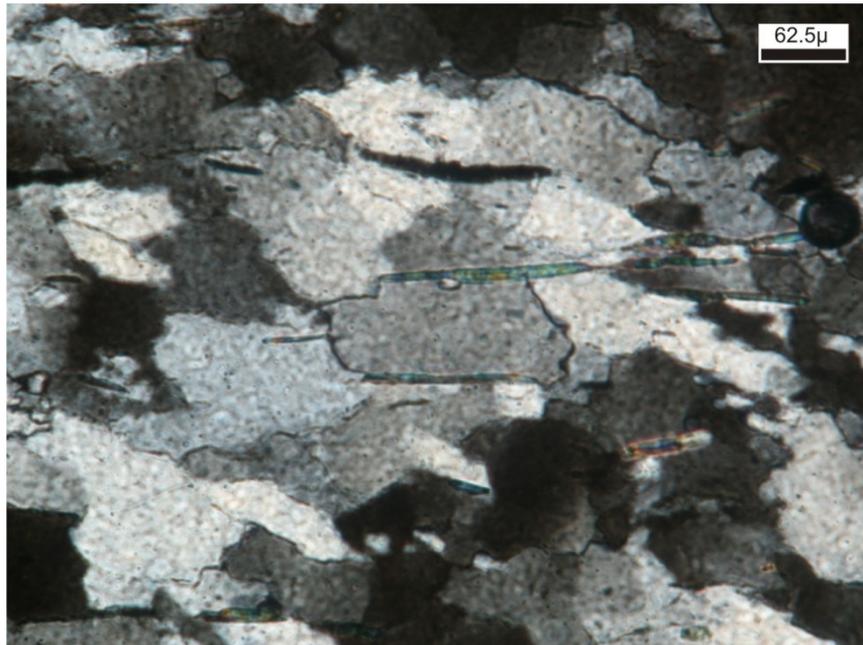
C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A Tipo 1 exhibe relações texturais e mineralógicas semelhantes a da “A” diferindo por ter maior quantidade de muscovita fina, com tamanho médio pouco superior e distribuição mais homogênea pela rochas (Fotos 3, 4 e 5). Outro aspecto marcante é a quantidade bem menor de minerais opacos, que aparecem apenas como minúsculas pontuações, quantidade bem menor de turmalina, ou seja, uma quantidade bem menor de minerais coloridos. Em contrapartida observa-se maior quantidade de microporos, resultantes de lixiviação (dissolução) dos cristais, em especial o quartzo por processo supérgeno, gerando uma rede de microcavidades intersticiais.

D) **Classificação:** Muscovita quartzito xistoso.



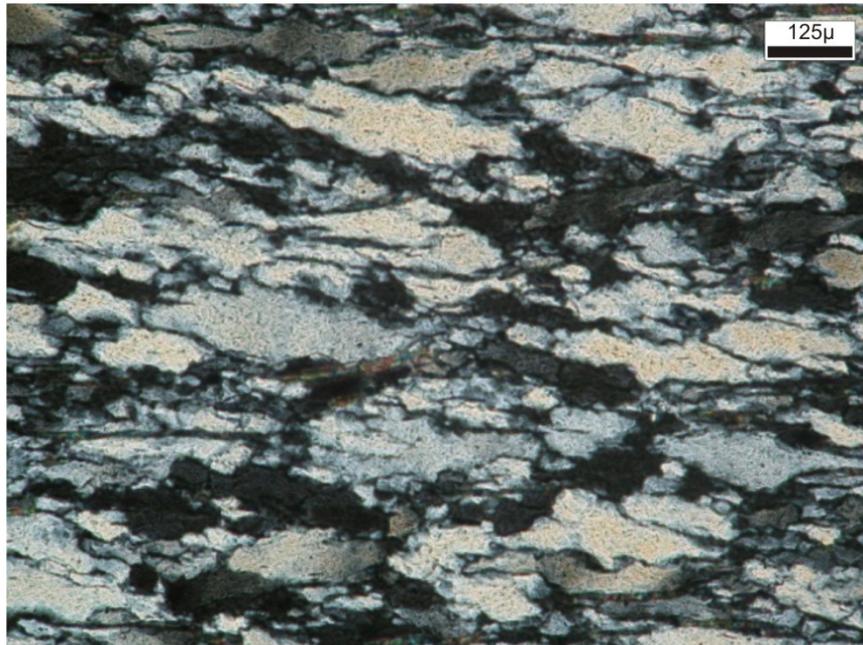
Fotomicrografia 1: Vista geral da lâmina 4.0288.2007, mostrando cristais de muscovita orientados e grãos de quartzo apresentando contato engrenado. Nicóis Paralelos. Aumento de 200 vezes.



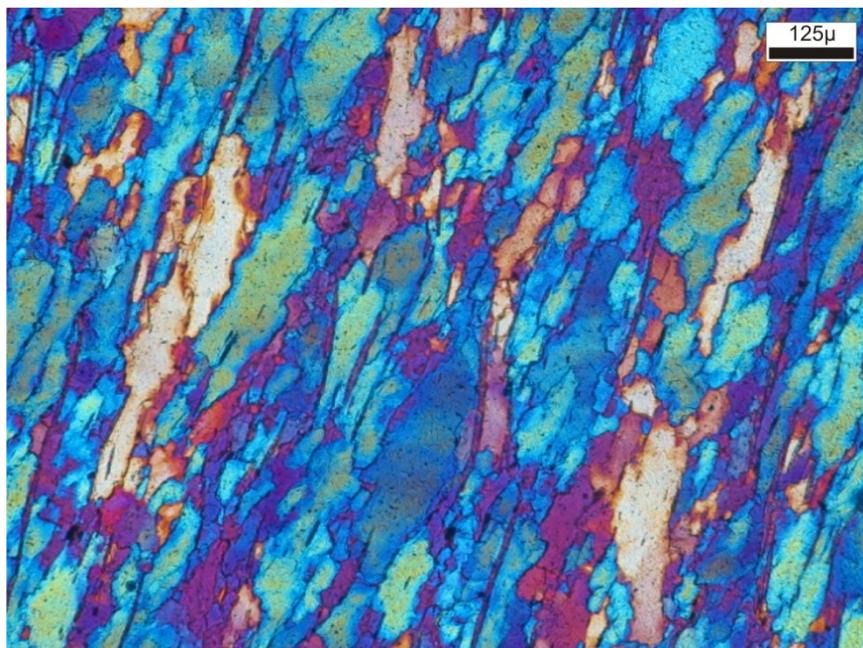
Fotomicrografia 2: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, porém a Nicóis Cruzados, destacando o contato entre grãos de quartzo e assimetria da migração dos limites, evidenciando atuação de cisalhamento simples sinistral (anti-horário).



Fotomicrografia 3: Detalhe da lâmina 4.0289.2007, mostrando cristais de muscovita orientados e cristais de quartzo fortemente achatados e orientados. Nicóis Paralelos.



Fotomicrografia 4: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, porém a Nicóis Cruzados. Notar a forte orientação dos cristais de quartzo e a assimetria das saliências e reentrâncias, indicando cisalhamento simples sinistral.



Fotomicrografia 5: Vista geral da Lâmina 4.0289.2007, a Nicóis Cruzados, com a inserção da placa de gipso (λ), destacando a forte orientação dos cristais de quartzo e excelente orientação cristalográfica do mesmo, aspecto observado pela predominância da cor azul. Esta orientação é observada também nas demais seções analisadas.

AMOSTRAS

4.889 4.0290.2007 SJB 2 Tipo 2 Rochas

4.889 4.0291.2007 SJB 2 Tipo 1 Rochas

Descrição Mesoscópicas: As duas amostras exibem estruturas laminadas, granulação muito fina e lineação mineral e de estiramento semelhante a das amostras anteriores.

A Tipo 2 apresenta cor cinza claro com matiz de tonalidade variada, mais clara a mais escuros com limites gradativos e difusos, muito bem orientados e com espessuras submilimétricas a milimétrica (chega a atingir pouco mais de 1 mm). A porção mais escura deve-se a presença de difusa concentração de cristais minúsculos, normalmente submilimétricos, de minerais escuros, a maioria de brilho metálico.

A Tipo 1 apresenta cor creme claro, com difusas máculas orientadas de matiz cinza (maior concentração de minerais escuros) e lâminas (domínios de espessuras submilimétricas) de cor marrom amarelado bem claro, onde se observa maior dissolução e presença de óxidos/hidróxidos de ferro sob a forma de películas intersticiais aos outros minerais. No plano de foliação, em que ocorreu o rompimento da amostra, observam-se pontuações dispersas de mineral opaco e palhetas de muscovita, com películas de hidróxidos de ferro apresentando cor amarelada.

A diferença de coloração entre as duas amostras aparenta residir mais na lixiviação (alteração supérgena), que é maior na Tipo 1. A quantidade um pouco maior de minerais escuros na Tipo 2 não explica a diferença de coloração entre elas.

Descrição Microscópica da Tipo 2:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura é xistosa e a textura granular engrenada bem orientada a lepidoblástica, com quartzo alongado e palhetas de muscovita e minerais opacos inequidimensionais bem orientados (Foto 6).

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

Quartzo	(± 96%)	Turmalina	(traços)
Muscovita	(± 3 %)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	(± 1%)	Rutilo	(Traços)

C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A rocha exhibe relações mineralógicas, texturais e aspectos evolutivos semelhantes à amostra descrita acima. A seção delgada aparenta ter sido feita a alto ângulo com a lineação

mineral e de estiramento, razão da orientação dimensional e cristalográfica em grau pouco inferior a observada nas lâminas anteriores. Na porção central da lâmina aparece uma banda com espessura pouco superior a 1 milímetro, discordante de textura granular mais fina, com menor orientação dimensional disposta obliquamente a alto ângulo com a foliação, aparentando ser tardia. Esta banda intersecta apenas localmente a foliação, não afetando a foliação em ambos os lados da seção delgada, evidenciando que resultou da migração e segregação de quartzo em zonas de distensão desenvolvida no estágio final de desenvolvimento da foliação.

O quartzo ocorre sob a forma de cristais anedrais, com formato subtabular e contorno lobulado a denteados, engrenado entre si, exibindo nítida orientação dimensional e cristalográfica. O comprimento médio é da ordem de 300 a 350 μm , enquanto que a espessura é da ordem de 50 a 60 μm (Foto 6).

A muscovita ocorre sob a forma de delgadas palhetas, com comprimento médio da ordem de 100 a 150 μm e máximo da ordem de 400 μm , bem orientadas dispostas na forma de trilhas, chegando a definir lâminas descontínuas. É levemente esverdeada.

Os minerais opacos estão bem alongados, formando cordões (na seção de corte) e bem orientados definindo a foliação em associação com os outros minerais. Aparenta ser representado por magnetita e/ou ilmenita.

Turmalina ocorre sob a forma de vários cristais minúsculos, euedrais a subedrais formados durante a evolução metamórfica. Estes cristais ocorrem em íntima associação com os leitos mais ricos em muscovita. Ocorre um cristal maior, porém menor que 100 μm , com característica de ser detrítico, anedral a subedral, zonado e com evidência de sobrecrescimento durante o metamorfismo.

O zircão ocorre como minúsculos grãos arredondados e dispersos, normalmente, com dimensões menores que 30 μm .

O rutilo aparece como raros cristais alongados.

Nota-se poros intersticiais alongados em certos domínios (bandas), sendo que são mais visíveis ao longo de certas lâminas de maior concentração de micas.

D) Classificação: Quartzito foliado com muscovita fina.

Descrição Microscópica da Tipo 1:

A) Estrutura/Textura: A estrutura e a textura são similares a da Tipo 2 (Fotos 7 e 8), com orientação dimensional e principalmente cristalográfica mais forte.

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

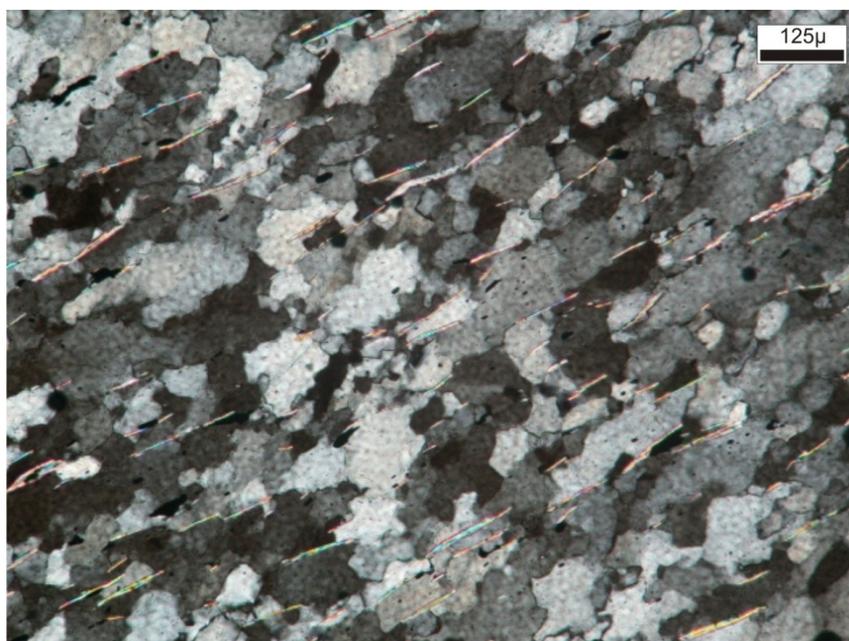
Quartzo	(± 96%)	Turmalina	(Traços)
Muscovita	(± 3 %)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	(< 1%)	Rutilo	(Traços)
Biotita e/ou estilpnomelano (Traço)			

C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A Tipo 1 exibe relações texturais e mineralógicas semelhantes a do “tipo 2” bem como das outras amostras descritas acima (Fotos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

As diferenças em relação a Tipo 2 reside na menor quantidade de minerais opacos, foliação e orientação mais evidente e maior porosidade de dissolução intersticial. Outro aspecto marcante é o aparecimento de material de cor marrom alaranjado intercrescido com muscovita ou intimamente associado com esta que aparenta ser restos de biotita parcialmente alterada para filossilicatos microcristalinos e hidróxidos de ferro (argilominerais e goethita/limonita) ou mesmo cristais de estilpnomelano desenvolvidos nos estágios finais da evolução da tectono-metamórfica e também parcialmente alterado.

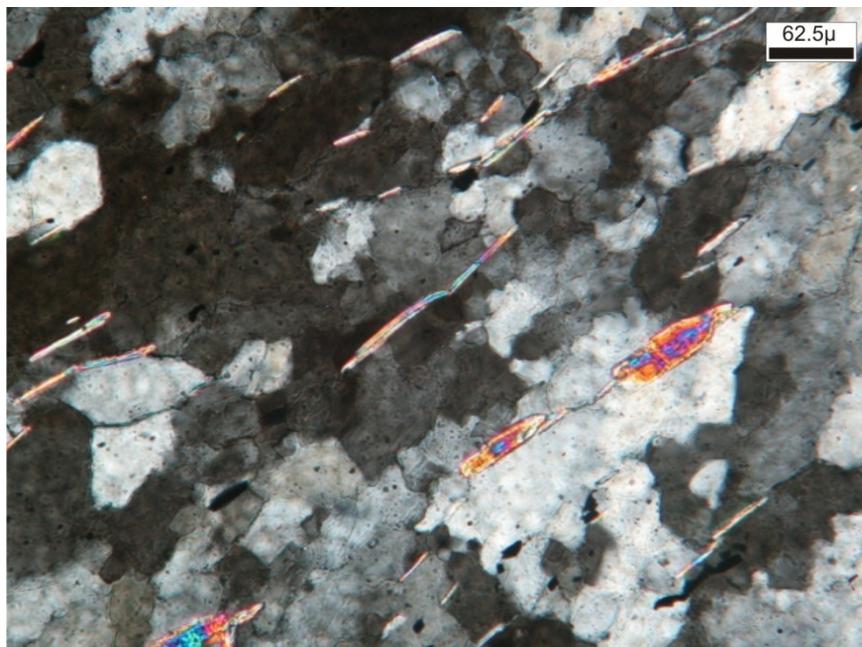
D) Classificação: Muscovita quartzito foliado.



Fotomicrografia 6: Vista geral da lâmina 4.0290.2007, a Nicóis Cruzados, destacando a forte orientação dos cristais de muscovita entre os cristais inequidimensionais e assimétricos de quartzo, também orientados evidenciando movimento de massa destral.



Fotomicrografia 7: Detalhe da lâmina 4.0291.2007, a Nicóis Paralelos, mostrando leito rico em turmalinas (relevo maior), observadas formando trilhas. Aumento de 200 vezes.



Fotomicrografia 8: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, porém a Nicóis Cruzados, destacando a presença dos cristais de turmalina (centro sudeste da imagem). Aumento de 200 vezes.

AMOSTRAS

4.889	4.0292.2007	CAP 3	Tipo 2	Rochas
4.889	4.0293.2007	CAP 3	Tipo 1	Rochas

Descrição Mesoscópicas: Ambas as amostras exibem estrutura bem foliada, laminação bem desenvolvida, granulação muito fina e constituem tectonito S-L, onde no plano da foliação (rompimento) observa-se lineação mineral paralela a de estiramento, marcada pela alongação dos cristais de quartzo.

A Tipo 2 apresenta coloração mais escura que a “B”, cinza claro com lâminas/bandas de espessuras submilimétricas a centimétrica de contatos gradacionais e difusos, com matiz variando de cinza de intensidade média a creme claro. As bandas de cor cinza claro são mais espessas e as mais escuras como também as mais claras, que são as mais raras, exibem espessuras mais finas e boa continuidade. As porções mais escuras são geradas por concentração difusa de minúsculos cristais de cor escura (metálicos e não-metálicos) e as mais claras por maior lixiviação controlada por planos de fraqueza (rompimento) da rocha. Na superfície da amostra gerada por rompimento além das palhetas de muscovita dispersa observa-se pontuações de minerais de brilho metálico e manchas orientadas e minúsculas de cor vermelha a marrom, resultante de oxidação (goethita/hematita).

A Tipo 1 apresenta estruturação semelhante a da Tipo 2, porém coloração bem mais clara (creme claro), com difusas lâminas ou bandas com matiz mais escuro. No plano de rompimento observam-se palhetas de muscovita bem orientadas, pontuações, de minerais opacos, bem dispersas e difusa matiz amarelada, gerada por delgada película de hidróxido de ferro que forma difusas e minúsculas manchas.

A diferença de coloração entre as duas amostras aparenta resultar mais da presença de maior quantidade de micro poros, resultante de lixiviação por intemperismo, maior na Tipo 1, que maior quantidade de minerais escuros na Tipo 2.

Descrição Microscópica da Tipo 2:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura é fortemente anisotrópica, xistosa com muscovita e quartzo bem orientados. A textura é granoblástica bem orientada a lepidoblástica, com limites dos cristais lobulados a denteados e engrenados (cristais interpenetrados entre si), com as protuberâncias e reentrâncias exibindo assimetria de acordo com o movimento de massa resultante da deformação

por cisalhamento simples que ocorreu no material (Fotos 9, 10, 11). A granulação média é da ordem de 200 μm .

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

Quartzo	($\pm 95\%$)	Turmalina	($\pm 1\%$)
Muscovita	($\pm 4\%$)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	(Traços)	Rutilo	(Traços)

C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A rocha exhibe relações mineralógicas texturais e evolutiva semelhante as outras descritas acima (Fotos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11).

O quartzo forma cristais anedrais alongados, com contornos lobulados a denteados, com interpenetração entre os cristais e formas com aspecto retangular/romboédrico, mostrando boa orientação dimensional e assimetria (*fabric* monoclinico), resultante de recristalização e recrescimento dinâmico durante atuação de deformação por cisalhamento simples. A orientação cristalográfica também é marcante indicando forte deformação. O comprimento médio é da ordem de 350 μm , enquanto que a espessura fica por volta de 60 a 70 μm (Fotos 9, 10, 11).

A muscovita aparece formando alguns agregados lenticulares menores que 500 μm e como delgadas palhetas bem orientadas dispostas mais ou menos homoganeamente formando trilhas e lâminas descontínuas.

A turmalina forma cristais pequenos, normalmente menores 50 μm , dispostos de forma orientada, chegando a definir laminação. Não se distribui homoganeamente é verde clara com leve pleocroísmo e alguns cristais exibem leve zoneamento definido por variação na intensidade da cor (Fotos 10 e 11).

Os minerais opacos (ilmenita e/ou magnetita) ocorrem sob a forma de alguns cristais minúsculos, inequidimensionais e orientados e como material pulverulento capeando muscovita em alguns leitos de maior concentração deste.

O zircão ocorre sob a forma de grãos pequenos, arredondados a subedrais, normalmente menores que 30 μm .

O rutilo aparece como raros cristais alongados, com hábito semelhante aos dos opacos.

Na lâmina aparece banda praticamente isenta de micas e outros minerais excetuando o quartzo, sugerindo que ocorreu mobilização da sílica durante a evolução da foliação, gerando agregado policristalino de quartzo.

A dissolução apenas foi observada ao longo de alguns planos mais ricos em mica.

D) **Classificação:** Muscovita quartzito foliado.

Descrição Microscópica da Tipo 1:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura e a textura são similares a da Tipo 2 (fotos 12 e 13).

B) **Composição Modal Estimada Visualmente:**

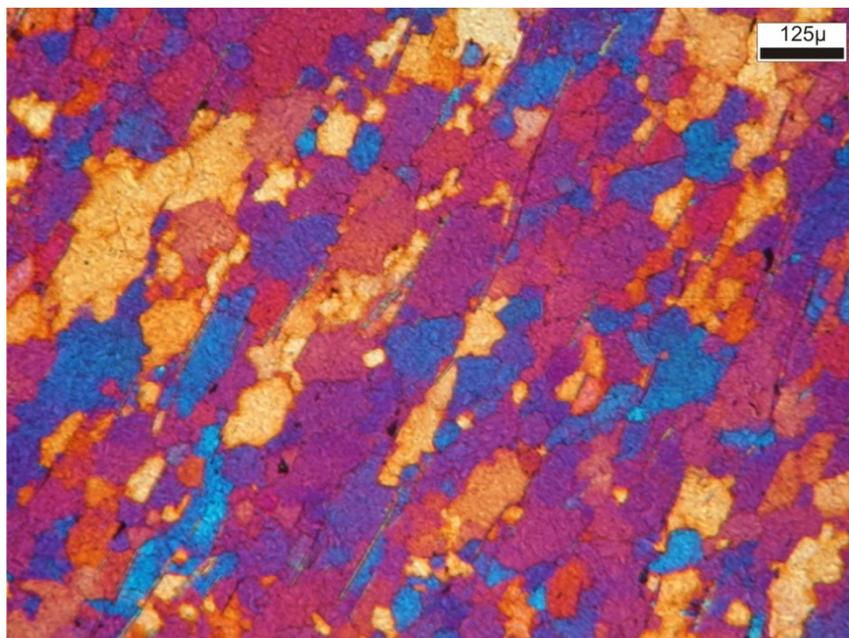
Quartzo	(± 95%)	Turmalina	(Traços)
Muscovita	(± 4 %)	Zircão	(Traços)
Minerais opacos	(< 1%)	Rutilo	(Traços)

C) **Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:**

A Tipo 1 é similar em todos os aspectos a “292A” (Fotos 12 e 13). A diferença está na maior quantidade de rutilo, que nesta chega a formar trilhas e agregados granulares difusos de forma lenticular.

Outro aspecto marcante é a porosidade visível que aparenta ser ligeiramente maior na Tipo 1. Os poros concentram-se ao longo de planos de foliação, raramente se propagando intergranularmente.

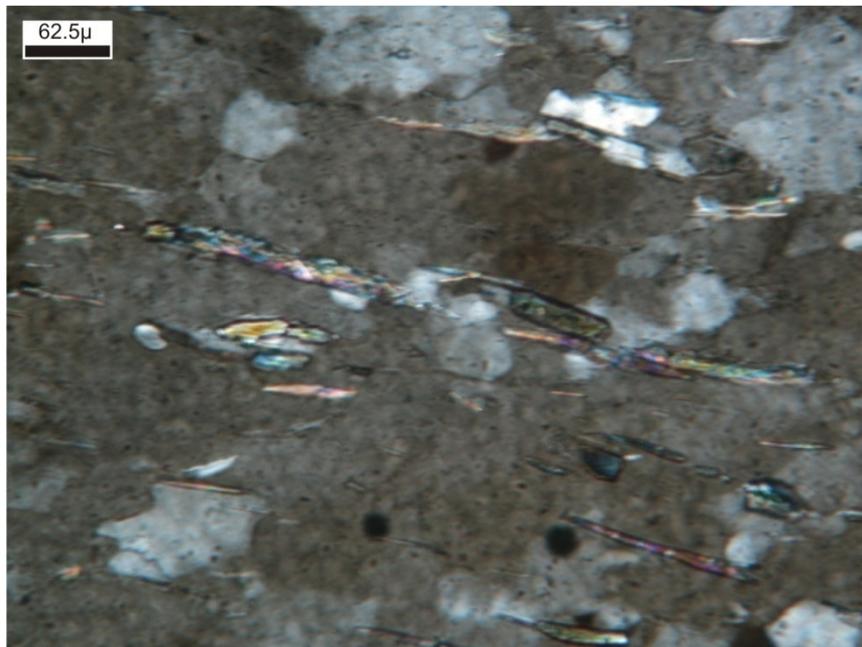
D) **Classificação:** Muscovita quartzito foliado.



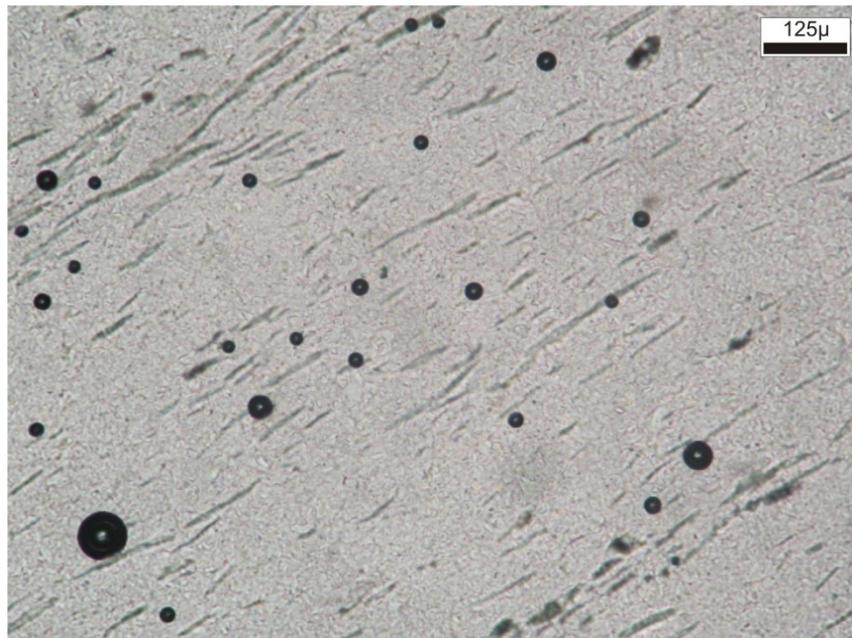
Fotomicrografia 9: Vista geral da lâmina 4.0292.2007, a nicóis cruzados, com a inserção da placa de gipso (λ), destacando a forte orientação dos cristais de quartzo.



Fotomicrografia 10: Detalhe da lâmina 4.0292.2007, a Nicóis Paralelos, mostrando trilha de grãos de turmalina (prismas de relevo mais forte) em meio à cristais de muscovita e quartzo. Aumento 200 vezes.



Fotomicrografia 11: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, porém a Nicóis Cruzados, destacando a trilha de turmalinas.



Fotomicrografia 12: Vista geral da lâmina 4.0293.2007, onde, a Nicóis Paralelos, pode-se observar a orientação dos cristais de mica e a ausência de grãos de opacos. Os círculos escuros são bolhas de ar.



Fotomicrografia 13: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, a Nicóis Cruzados, destacando a orientação dos cristais de mica (palhetas coloridas) e a orientação e assimetria dos grãos de quartzo.

AMOSTRAS

4.889	4.0294.2007	GLO 2	Tipo 2	Rochas
4.889	4.0295.2007	GLO 2	Tipo 1	Rochas

Descrição Mesoscópicas: A Tipo 2 possui cor cinza com leve matiz azul, aspecto homogêneo (maciço), com a orientação tectono-metamórfica observada com facilidade apenas no plano de rompimento (superfície da amostra), onde se observa a presença de lineação mineral paralela a de estiramento, difusas manchas de oxidação (marrom amarelado) e palhetas de muscovita bem orientadas e dispersas entre grãos de quartzo e raras pontuações pretas e bem dispersas. Observam-se também alguns planos de fraqueza (descolamento potencial) com dissolução gerando cores claras.

A Tipo 1 exibe cor cinza clara a creme, com difusas lâminas e leitos milimétricos com matiz mais escuro, resultante de difusa concentração de minúsculos cristais de minerais de cor escura (opacos e não opacos). Na superfície da amostra, correspondente ao plano de deslocamento, observa-se palhetas de muscovita bem orientada, poucas pontuações granulares dispersas de mineral opaco granular (magnetita e/ou ilmenita) e pelúcidas de hidróxidos de ferro de cor marrom amarelado, com disposição orientada em duas direções, uma paralela a lineação mineral e de estiramento, direção em que tem aspecto “fibroso” e outra perpendicular a esta direção, em que forma difusas faixas tortuosas.

A diferença entre as duas reside no fato da presença mais marcante de laminação na Tipo 1, aspecto que é ressaltado pela maior dissolução (alteração supêrgena) nesta. A diferença mineralógica aparenta não suportar a diferença de coloração entre as duas amostras.

Descrição Microscópica da Tipo 2:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura é anisotrópica foliada/xistosa e a textura granoblástica orientadas, engrenada com granulação média da ordem de 200 a 250 μm . Os cristais de quartzo apresentam contatos engrenados (lobulados a denteados), com segmentos retos resultantes de recristalização dinâmica seguida de recrescimento e formas alongadas com comprimento médio da ordem de 250 a 300 μm e largura com cerca de 100 μm (Fotos 14 e 15).

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

Quartzo	(\pm 97%)	Turmalina	(Traços)
Muscovita	(\pm 2 %)	Zircão	(Traços)

Minerais opacos	(± 1%)	Rutilo	(Traços)
-----------------	--------	--------	----------

C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

Esta rocha também apresenta aspectos texturais, mineralógicos e evolutivos semelhantes as outras descritas acima.

O quartzo ocorre sob a forma de cristais anedrais, de dimensões médias pouco superiores que nas observadas nas lâminas anteriores. Está menos alongado e a textura é mais granoblástica das oito lâminas analisadas (Foto 15).

As micas (muscovita) ocorrem sob a forma de palhetas submilimétricas, com dimensões médias ao redor de 200 µm, dispersas pela lâmina formando trilhas e esporádicas concentrações formando delgadas lâminas, mais ou menos contínuas, ao longo do qual se observa dissolução e a formação de porosidade de dissolução, sendo que poros de dissolução fora desses planos são raros (Fotos 14 e 15).

Os minerais opacos ocorrem sob a forma de pontuações, cristais minúsculos de seção retangular a irregular e raros filetes. Está bem orientado e aparenta ser representado por ilmenita e/ou magnetita.

A turmalina aparece sob a forma de poucos cristais, muito pequenos, eudrais a subedrais de cor verde de intensidade fraca.

O zircão forma pequenos cristais arredondados, raramente restando formas de cristalização (subedrais).

O rutilo ocorre sob a forma de alguns cristais anedrais.

D) **Classificação:** Quartzito foliado.

Descrição Microscópica da Tipo 1:

A) **Estrutura/Textura:** A estrutura é xistosa e a textura granoblástica fortemente orientada a lepidoblástica, dada pela orientação dos cristais de quartzo com espessura média da ordem de 70 µm e comprimento médio entre 350 e 400 µm. Os contatos são lobulados a denteados, raramente planos, ocorrendo interpenetração entre os grãos, resultando em bom engrenamento (Fotos 16, 17 e 18).

B) Composição Modal Estimada Visualmente:

Quartzo	(± 97%)	Turmalina	(Traços)
Muscovita	(± 2 %)	Zircão	(Traços)

Minerais opacos	(< 1%)	Rutilo	(Traços)
		Apatita	(Traços)

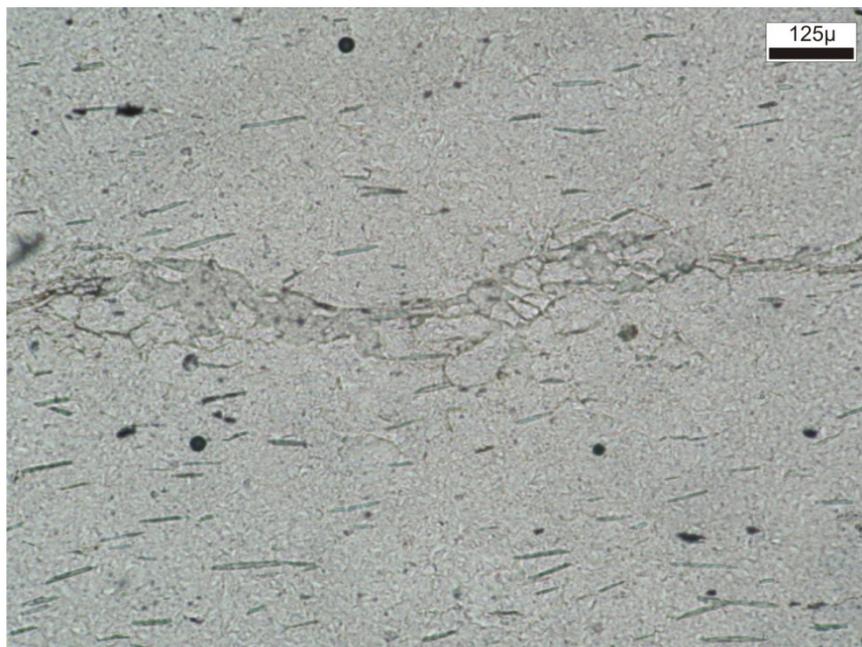
C) Relações Mineralógicas, Texturais e Interpretação:

A Tipo 1 exhibe relações texturais e mineralógicas semelhantes as da Tipo 2 diferindo desta por conter alguns grãos de apatita, estar bem mais orientada e possuir maior quantidade de poros de dissolução ao longo de planos e principalmente dispostos intersticialmente.

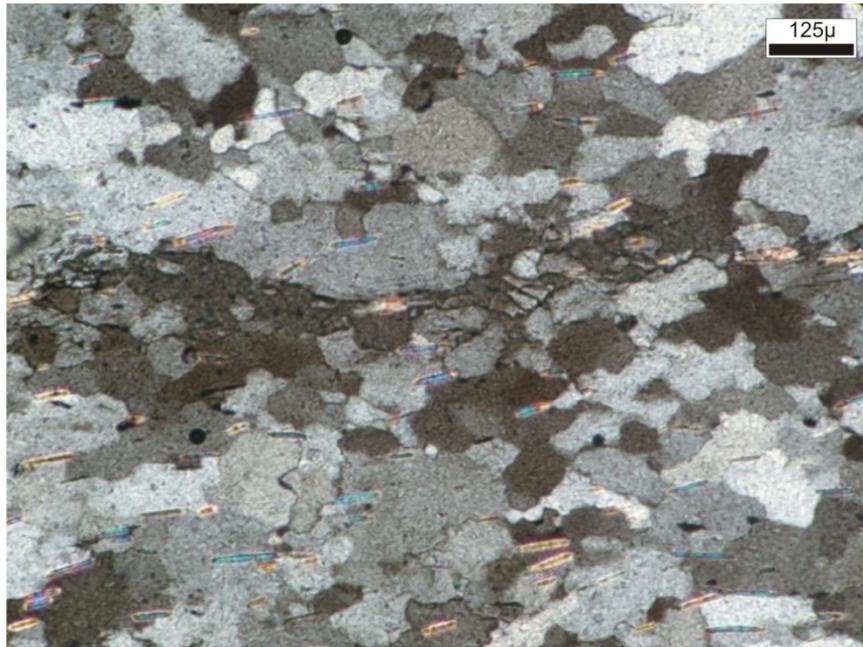
Também nesta Tipo 2 muscovita ocorre dispersa, bem orientada formando trilhas e esporadicamente concentração em planos de deformação, formando lâminas descontínuas (Fotos 16, 17 e 18).

A apatita ocorre sob a forma de cristais minúsculos, normalmente menores que 40, eudrais a anedrais, dispersos pela rochas.

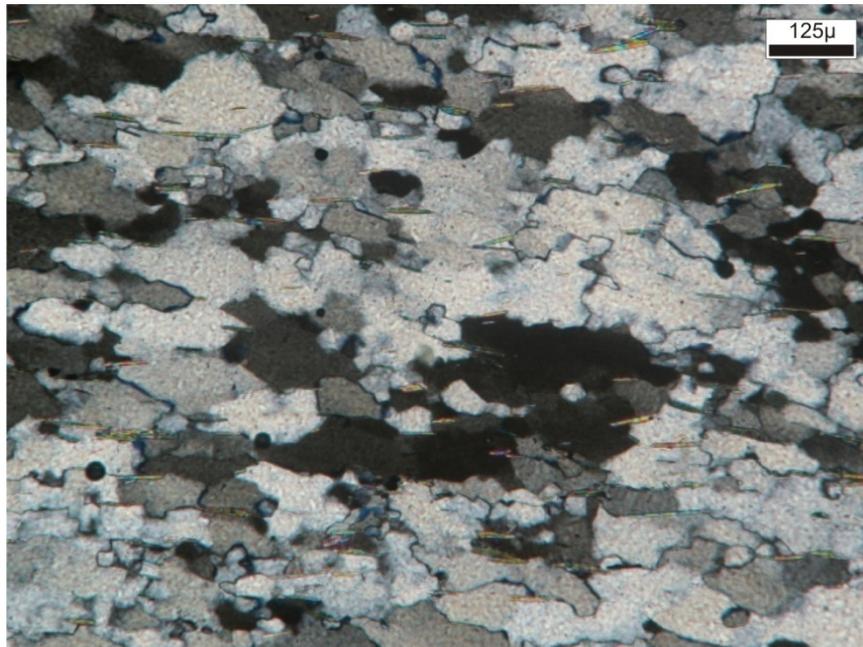
D) **Classificação:** Quartzito xistoso.



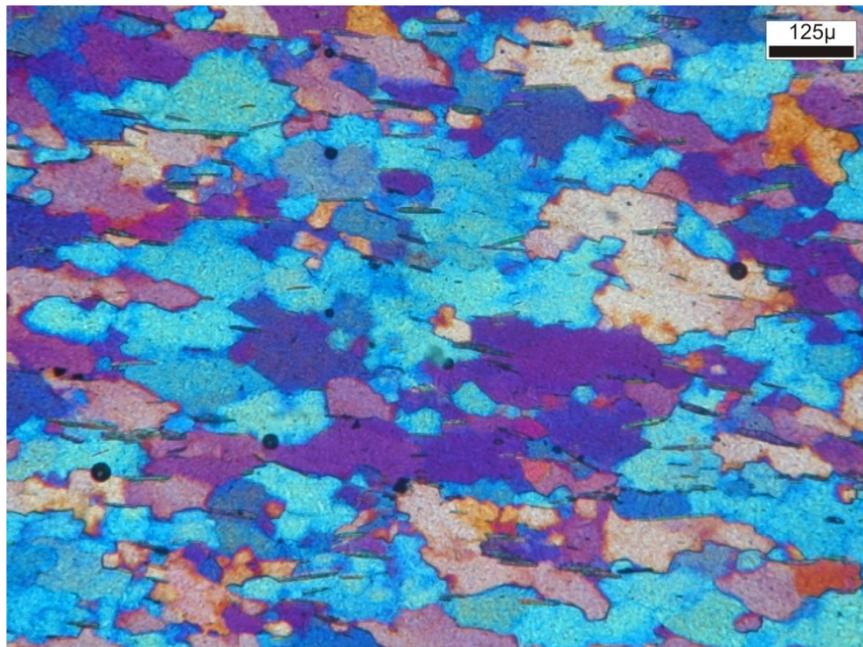
Fotomicrografia 14: Imagem da lâmina 4.0294.2007, a Nicóis Paralelos, mostrando a distribuição e orientação das palhetas de mica, opacos e a concentração de poros na porção central da foto, com orientação E-W. Aumento de 100 vezes.



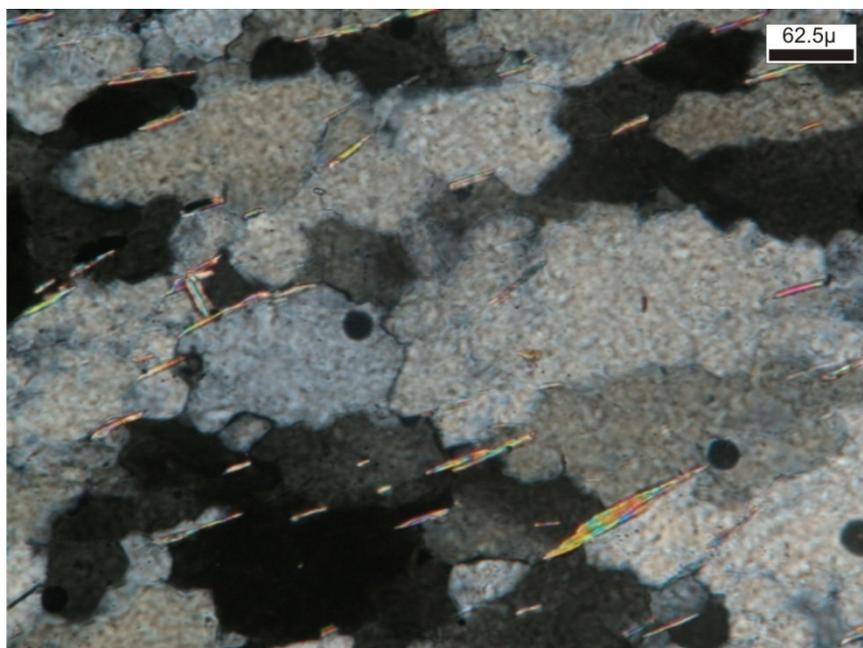
Fotomicrografia 15: Mesma imagem da fotomicrografia anterior, porém a Nicóis Cruzados.



Fotomicrografia 16: Detalhe da lâmina 4.0295.2007, a Nicóis cruzados, mostrando cristais de quartzo assimétricos, alongados, engrenados e bem orientados. Observa-se também finas palhetas de muscovita dispersa e bem orientada. Aumento de 100 vezes.



Fotomicrografia 17: Mesma imagem da foto anterior (lâmina 4.0295.2007) obtida com Nicóis cruzado e placa de gipso (atraso de λ) na direção NE). Aumento de 100 vezes.



Fotomicrografia 18: Detalhe da lâmina 4.0295.2007, a Nicóis Paralelos, mostrando detalhe do contato entre os cristais de quartzo e da orientação das palhetas de muscovita (material colorido). Nicóis cruzados e aumento aproximado de 200 vezes.

ANEXO B

RESULTADOS OBTIDOS POR VOTORANTIM CIMENTOS - UNIDADE ITAÚ DE MINAS MG ANÁLISES QUÍMICA DE CIMENTO EXPEDIDO-MÉDIA DIÁRIA - ago/2009

Data Login	Cimento	CO2	PF	RI	AL2O3	CAO	FE2O3	K2O	MGO
CP II Z 32	PA	4,62	5,53	8,66	3,85	56,53	3,09	0,8	6,28
CP II Z 32	PA	4,27	5,02	7,8	4,2	60,59	2,99	0,89	4,3
CP II F 32 -	FI	4,07	4,59	0,64	3,97	57,16	3,08	0,8	6,22
Minimo		4,07	4,59	0,64	3,85	56,53	2,99	0,8	4,3
Maximo		4,62	5,53	8,66	4,2	60,59	3,09	0,89	6,28
Media		4,32	5,05	5,7	4,01	58,09	3,05	0,83	5,6
Desvio		0,2	0,4	4,4	0,1	2,1	0	0,05	1,1

Data Login	Cimento	NA2O	P2O5	SiO2	SO3	TiO2	_FSC	_MS	_MA
CP II Z 32	PA	0,13	0,18	20,04	3,05	0,25	90,21	2,89	1,25
CP II Z 32	PA	0,12	0,19	17,98	2,91	0,26	105,85	2,5	1,4
CP II F 32 -	FI	0,13	0,18	20,61	2,94	0,25	88,77	2,92	1,29
Minimo		0,12	0,18	17,98	2,91	0,25	88,77	2,5	1,25
Maximo		0,13	0,19	20,61	3,05	0,26	105,85	2,92	1,4
Media		0,13	0,18	19,54	2,97	0,25	94,94	2,77	1,31
Desvio		0	0	1,3	0	0	9,473	0,2	0

Data Login	Cimento	_C3S	_C3A	_C4AF	_CASO4	_IC	_IQ	_FQ	EQ.Alcalino
CP II Z 32	PA	47,55	4,97	9,4	5,19	24,87	181,58	97,46	0,66
CP II Z 32	PA	77,52	6,07	9,1	4,95	19,76	197,14	114,92	0,71
CP II F 32 -	FI	44,99	5,31	9,37	5	25,87	182,41	96,55	0,66
Minimo		44,99	4,97	9,1	4,95	19,76	181,58	96,55	0,66
Maximo		77,52	6,07	9,4	5,19	25,87	197,14	114,92	0,71
Media		56,69	5,45	9,29	5,05	23,5	187,04	102,98	0,68
Desvio		18	0,5	0,16	0,1	3,2	8,754	10,353	0

		PERÍODO	02.07.2009	21.07.2009	08.08.2009	27.08.2009	OBS :
			18.07.2009	06.08.2009	25.08.2009		
	MÉDIA		3,0	2,7	2,7		
# 400 %	DP		0,31	0,33	0,44		
	n		8	8	8		
	MÉDIA						
# 325 %	DP						
	n						
	MÉDIA		4483	4520	4549		
Blaine m2/kg	DP		68	84	107		
	n		8	8	8		
	MÉDIA		145	142	139		
Início Pega min	DP		7	9	6		
	n		8	8	8		
	MÉDIA						
Expan - mm	DP						
	n						
	MÉDIA		28,6	28,4	29,1		
R 1 dia MPa	DP		0,52	0,72	1,04		
	n		8	8	8		
	MÉDIA		42,6	41,8	43,3		
R 3 dias Mpa	DP		1,08	0,99	0,98		
	n		8	8	8		
	MÉDIA		47,4	46,9	47,6		
R 7 dias MPa	DP		1,01	0,65	1,07		
	n		8	8	7		
	MÉDIA		54,7	54,6			
R 28 dias MPa	DP		0,75	0,71			
	n		8	6			
	MÉDIA		200	202	197		
Fim pega min	DP		7	10	8		
	n		8	8	8		
	P.F.		3,83	3,53	3,39		
	SiO2			19,41	19,40		
	R.I.		1,00	0,79	0,71		
	Al2O3			5,47	5,01		
	Fe2O3			2,97	2,91		
Análise Química	CaO			63,44	64,22		
	MgO		0,73	0,77	0,69		
	SO3		2,72	2,75	2,75		
	CO2		2,69	2,49	2,47		
	K2O			0,76	0,74		
	P.F. 500°C		0,93	0,87	0,72		
	C3A teórico		7,79	7,73	7,71		



Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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