

**BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES
UNESP**

RESSALVA

Alertamos para ausência de figuras e fotos, não enviadas pelo autor no arquivo original.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CÂMPUS DE RIO CLARO**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, QUÍMICA E
TECNOLÓGICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR
DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS NO SUDOESTE DO ESTADO
DE MINAS GERAIS**

Tânia Maria Gomes Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Antônio Misson Godoy

Co-Orientador: Prof. Dr. Eleno de Paula Rodrigues

**Tese de Doutorado apresentada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geociências - Área
de Concentração em Geologia Regional, para
obtenção do Título de Doutora em Geologia.**

Rio Claro (SP)

Novembro de 2002

BANCA EXAMINADORA

Rio Claro, _____ de _____ de 2002.

Resultado: _____

*"E assim escrevo, querendo sentir a natureza, nem sequer como um homem,
Mas como quem sente a Natureza, e mais nada.
Ora acertando com o que quero dizer, ora errando,
Caindo aqui, levantando-me acolá,
Mas indo sempre no meu caminho como um cego teimoso.*

*Ainda assim, sou alguém.
Sou o Descobridor da Natureza.
Sou o Argonauta das sensações verdadeiras.
Trago ao Universo um novo Universo
Porque trago ao Universo ele-próprio.*

*Isto sinto e isto escrevo
Perfeitamente sabedor e sem que não veja
Que são cinco horas do amanhecer
E que o sol, que ainda não mostrou a cabeça
Por cima do muro do horizonte,
Ainda assim já lhe vêem as pontas dos dedos
Agarrando o cimo do muro
Do horizonte cheio de montes baixos".*

(Fernando Pessoa)

Dedico este trabalho ao meu
espôso Nedson Humberto
e a minha filha Catharina.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq responsável em parte pelo financiamento da pesquisa e bolsa de doutorado (**Processo N° 5032307/1999-0**).

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Misson Godoy, gostaria de agradecer pela orientação do trabalho e, principalmente, pela amizade e compreensão prestada durante o doutorado.

Ao Prof: Dr. Eleno de Paula Rodrigues que desempenhou o papel de co-orientador, gostaria de agradecer pela sugestão do Projeto de Doutorado, nos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras e pela colaboração prestada no decorrer do trabalho.

Ao Prof: Dr. Antonio Carlos Artur e Prof: Dr. Antenor Paraguassu Braga, integrantes da banca examinadora do exame de qualificação, e que tanto contribuíram com seus conhecimentos nas discussões e sugestões diversas, meu muito obrigada.

A Empresa Sales Andrade Indústria e Comércio de Pedras Ltda, que prestou todo o suporte necessário à execução do trabalho, colocando suas instalações e pedreiras à disposição, gostaria de agradecer em nome do Sr. Alaor Sales Andrade e do administrador em comércio exterior Marcelo Del Peloso.

Ao Geólogo Cid Chiodi Filho gostaria de agradecer pela colaboração prestada durante o reconhecimento da área e pelos trabalhos cedidos referentes a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Nedson Humberto Fernandes pela ajuda prestada durante os trabalhos de campo, sugestões e discussões ao longo do desenvolvimento do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Ao Amigo e Geólogo (**DITEM - NUTEC**) Antonio Hélio Muniz Fernandes, agradeço pelas sugestões com relação a petrografia.

Ao Geólogo Fabiano Cabañas Navarro agradeço pela ajuda prestada durante a realização dos ensaios de resistência à flexão.

Aos Técnicos Nelson Pereira Lopes Júnior (Laboratório de Laminação), Adilson José Rossini (Laboratório de Rochas Ornamentais) e Wladimir Barbosa Júnior (Laboratório de Difração de Raio X) funcionários do DPM do IGCE/UNESP de Rio Claro (SP).

Aos colegas Neide, Iramaia, Paulo César, Wanilson, Rosa, Harrizon, Auxiliadora, Diana e Martin pelos momentos compartilhados durante minha estadia em Rio Claro.

SUMÁRIO

ÍNDICE

RESUMO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

CAPÍTULO 3 - PERFIL TÉCNICO E ECONÔMICO DOS CENTROS PRODUTORES DE QUARTZITOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

CAPÍTULO 4 - GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

CAPÍTULO 5 - GEOLOGIA LOCAL E ASPECTOS ESTRUTURAIS DOS QUARTZITOS NO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

CAPÍTULO 7 - GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL E QUÍMICA MINERAL DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

CAPÍTULO 8 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

CAPÍTULO 9 - UTILIZAÇÃO DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS QUANTO AO AMBIENTE

CAPÍTULO 10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS:

ANEXO I: ANÁLISES QUÍMICAS MINERAIS

ANEXO II: RESULTADOS TECNOLÓGICOS

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução

1.1 – Apresentação do Tema.....	01
1.2 – Localização da Área e Vias de Acesso.....	02
1.3 – Problemáticas.....	03
1.4 – Objetivos.....	05

Capítulo 2 - Metodologia

2.1 - Revisão Bibliográfica.....	06
2.2 – Trabalhos de Campo.....	06
2.2.1 – Levantamento Geológico – Estrutural.....	06
2.2.2 – Coleta de Amostras.....	07
2.3 – Trabalhos de Laboratório.....	08
2.3.1 – Caracterização Petrográfica.....	08
2.3.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura.....	08
2.3.3 – Análise Química Mineral – Microsonda Eletrônica.....	09
2.3.4 – Análises Químicas de Rocha Total.....	10
2.3.5 – Difractometria de Raios – X (DRX).....	11
2.3.6 - Ensaio Tecnológicos.....	11
2.3.6.1 – Caracterização Física.....	12
Índices Físicos.....	12
2.3.6.2 – Caracterização Mecânica.....	13
Resistência à Flexão – Quatro Pontos.....	13
Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas.....	14
Desgaste Amsler.....	14
Resistência ao Impacto.....	15
Microdureza Knoop.....	15
2.3.6.3 – Caracterização Química.....	16

Resistência ao Manchamento.....	16
Resistência ao Ataque Químico.....	17
2.4 – Integração dos Dados.....	17

Capítulo 3 – Perfil Técnico – Econômico dos Centros Produtores de Quartzitos do Estado de Minas Gerais

3.1 – Introdução.....	19
3.2 – Centros Produtores do Estado de Minas Gerais.....	21
3.2.1 – Localização e Contexto Geológico.....	21
3.2.1.1 – Centro Produtor São Thomé das Letras.....	21
3.2.1.2 – Centro Produtor Alpinópolis.....	21
3.2.1.3 – Centro Produtor Ouro Preto.....	21
3.2.1.4 – Centro Produtor Diamantina.....	22
3.2.2 – Características Petrográficas Gerais.....	22
3.2.2.1 – Quartzito São Thomé das Letras/Pedra São Thomé.....	22
3.2.2.2 – Quartzito Alpinópolis/Pedra Mineira.....	25
3.2.2.3 – Quartzito Ouro Preto / Pedra Ouro Preto.....	25
3.2.2.4 – Quartzito Diamantina – Pedra Diamantina.....	26
3.3 – Lavra e Beneficiamento.....	26
3.3.1 – Lavra no Centro Produtor de São Thomé das Letras.....	28
3.3.2 – Sugestões para Minimizar as Baixas Taxas de Recuperação.....	31
3.4 – Impacto Ambiental.....	31
3.5 – Produção, Custos e Preços de Venda.....	32
3.5.1 – Centro Produtor São Thomé das Letras.....	32
3.5.2 – Centro Produtor Alpinópolis.....	33
3.5.3 – Centro Produtor Ouro Preto.....	33
3.5.4 – Centro Produtor Diamantina.....	35
3.6 – Utilização.....	35
3.6.1 – Produto.....	36

Capítulo 4 - Geologia Regional e Evolução do Conhecimento Geológico da Região de São Thomé das Letras

4.1 – Situação Regional.....	37
4.2 – Grupo Andrelândia.....	37
4.2.1 – Aspectos Litoestratigráficos.....	37
4.2.2 – Evolução da Bacia Andrelândia.....	38
4.3 – Deformação e Metamorfismo.....	41

Capítulo 5 – Geologia Local e Aspectos Estruturais dos Quartzitos no Centro Produtor de São Thomé das letras

5.1 – Geologia Local.....	43
5.1.1 – Quartzitos da Região de São Thomé das Letras.....	43
5.1.2 – Quartzitos da Região de Luminárias.....	46
5.2 – Aspectos Estruturais.....	50
5.2.1 – Foliação.....	50
5.2.2 – Fraturas.....	53

Capítulo 6 – Análise Petrográfica dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras

6.1 – Quartzito da Região de São Thomé das Letras.....	57
6.1.1 - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Branco).....	57
6.1.2 - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Amarelo).....	60
6.1.3 - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Róseo).....	62
6.2 - Quartzito da Região de Luminárias.....	63
6.2.1 - Quartzito Luminárias (Muscovita Quartzito Verde).....	64
6.2.2 - Quartzito Carranquinha (Muscovita Quartzito Verde).....	67
6.2.3 – Quartzito Carrancas (Muscovita Quartzito Verde).....	71

Capítulo 7 – Geoquímica de Rocha Total e Química Mineral dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das letras

7.1 – Apresentação.....	76
7.2 – Geoquímica dos Elementos Maiores em Rocha Total.....	76
7.3 – Química Mineral.....	79
7.3.1 – Muscovita.....	82
7.3.2 – Minerais Óxidos.....	91
7.3.2.1 – Magnetita.....	91
7.3.2.2 – Rutilo.....	94
7.3.2.3 - Titano-magnetita e ilmenita.....	94
7.4 - Variação na Coloração das Rochas em Função da Composição Mineralógica.....	98

Capítulo 8 – Caracterização Tecnológica dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras

8.1 – Comentários Preliminares.....	99
8.2 – Resultados de Índices Físicos.....	102
8.3 – Resultados da Resistência à Flexão Quatro Pontos.....	103
8.4 – Resultados de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler.....	104
8.5 – Resultados da Resistência ao Impacto de Corpo Duro.....	109
8.6 – Resultados da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas.....	110
8.7 – Resultados de Microdureza Knoop.....	111
8.8 – Resultados da Resistência ao Ataque Químico.....	114
8.8.1 – Expressão dos Resultados.....	115
8.9 – Resultados da Resistência ao Manchamento.....	120
8.9.1 – Expressão dos Resultados.....	120
8.10 – Resultados e Discussões.....	121

Capítulo 9 - Utilização dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras em Relação ao Ambiente

9.1 – O Emprego da Pedra.....	124
9.2 - Aspectos Técnicos.....	124
9.3 - Produto.....	125
9.4 - Utilização.....	125
9.4.1 - Ambiente Interno.....	127
9.4.2 - Ambiente Externo.....	127

Capítulo 10 - Considerações Finais

10.1 – Conclusões.....	131
------------------------	-----

Capítulo 11 - Referências Bibliográficas

11.1 – Referências Bibliográficas.....	135
--	-----

ANEXOS

Anexo 01: Análise Química Mineral

Anexo 02: Resultados Tecnológicos

Índice das Figuras

1.1 - Mapa de localização das áreas estudadas no sudoeste do Estado de Minas Gerais.....	04
2.1 - Impressão da microdureza Knoop.....	16
3.1 - Mapa de distribuição das pedreiras cadastradas nos centros produtores de quartzitos do Estado de Minas Gerais.....	20
3.2 - Mapa de localização do Centro produtor de São Thomé das Letras.....	23
3.3 - Mapa de distribuição de centros produtores de rochas ornamentais do Estado de Minas Gerais.....	24
4.1 - Coluna tectono-estratigráfica do Grupo Andrelândia na Região de São Thomé das Letras.....	39
4.2 - Seqüências deposicionais e associações de fácies da Bacia Andrelândia..	40
4.3 - Fácies metamórficas com as paragêneses do Grupo Andrelândia.....	42
5.1 - Diagramas de foliação e fraturas dos quartzitos da região de São Thomé das Letras.....	52
5.2 - Diagramas de fraturas dos quartzitos da Região de Luminárias.....	56
7.1 - Diagramas de freqüência das análises químicas de rocha total (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$).....	80
7.2 - Diagramas de freqüência das análises químicas de rocha total (K_2O , Cr_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , P_2O_5 e LOI).....	81
7.3 - Difrátogramas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras...83	
7.4 - Difrátogramas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras...84	
7.5 - Diagramas de freqüência das análises químicas mineral em muscovita (FeO , TiO_2 , MgO Na_2O).....	85
7.6 - Diagramas binários discriminantes do Al_2O_3 versus FeO nas muscovitas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	87
7.7 - Diagramas binários discriminantes do Al_2O_3 versus TiO_2 nas muscovitas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	88
7.8 - Diagramas binários discriminantes do Al_2O_3 versus MgO nas muscovitas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	89

7.9 - Diagramas binários discriminantes do K_2O <i>versus</i> Na_2O nas muscovitas dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	90
7.10 - Diagramas classificatórios dos espinélios (TiO_2 - FeO - Fe_2O_3) para a magnetita dos quartzitos no Centro Produtor São Thomé das Letras.....	92
7.11 - <i>Zoom</i> dos diagramas classificatórios dos espinélios (TiO_2 - FeO - Fe_2O_3) para a magnetita dos quartzitos no Centro Produtor São Thomé das Letras.....	93
7.12 - Diagramas de freqüência das análises químicas mineral em magnetita (TiO_2 , FeO e Fe_2O_3).....	95
7.13 - Diagramas binários discriminantes do TiO_2 <i>versus</i> Fe_2O_3 nas magnetita dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	96
7.14 - Diagramas binários discriminantes do FeO <i>versus</i> TiO_2 no rutilo dos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	97
8.1 - Valores médios de massa específica aparente.....	105
8.2 - Valores médios de porosidade aparente.....	105
8.3 - Valores médios de absorção d'água.....	106
8.4 - Relação entre porosidade aparente e absorção d'água.....	106
8.5 - Valores médios da flexão dos quatro pontos.....	107
8.6 - Relação entre a flexão dos quatro pontos e a porosidade aparente.....	107
8.7 - Valores médios do desgaste abrasivo amsler.....	108
8.8 - Relação entre o desgaste abrasivo amsler e o índice de quartzo.....	108
8.9 - Valores médios da resistência ao impacto de corpo duro.....	112
8.10 - Valores médios da velocidade do pulso ultrassônico.....	112
8.11 - Relação entre a velocidade do pulso e a porosidade aparente.....	113
8.12 - Relação entre a resistência a flexão e a velocidade do pulso.....	113
8.13 - Diagrama de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Branco).....	116
8.14 - Diagrama de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Amarelo).....	116
8.15 - Diagrama de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Róseo).....	117
8.16 - Diagrama de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Carrancas).....	117
8.17 - Diagrama de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Luminárias).....	118

8.18 - Diagramas de distribuição da microdureza <i>knoop</i> (Variedade Carranquinha).....	118
8.19 - Valores médios da microdureza <i>knoop</i>	119
8.20 - Relação entre a microdureza <i>knoop</i> e o índice de quartzo.....	119

Índice das Fotografias

3.1 - Desacoplamento das placas de quartzitos a partir dos planos de foliação.....	27
3.2 - Desacoplamento segundo os planos de partição.....	27
3.3 - Recorte manual de lajotas através de talhadeira e esquadros metálicos.....	27
3.4 - Desmonte utilizando explosivos para desacoplamento das placas.....	30
3.5 - Lavras a céu aberto em bancadas.....	30
3.6 - Lavra a céu aberto gerando grandes quantidades de rejeitos.....	30
5.1 - Visão panorâmica das lavras de quartzito na região de São Thomé das Letras.....	44
5.2 - Bandamento metamórfico paralelizado a uma possível estrutura sedimentar S_0	44
5.3 - Dobras isoclinais recumbentes repetindo as camadas de quartzitos.....	44
5.4 - Visão panorâmica de uma lavra de quartzito em São Thomé das Letras.....	45
5.5 - Aspectos da coloração dos quartzitos da região de Luminárias.....	48
5.6 - Figuras arborescente de óxido ou hidróxido de manganês no quartzito Luminárias.....	48
5.7 - Bandamento metamórfico paralelizado a um possível acamamento sedimentar S_0	48
5.8 - Textura com granulação média no quartzito Carrancas.....	49
5.9 - Textura com granulação fina no quartzito Luminárias.....	49
5.10 - Textura com granulação muito fina no quartzito Carranquinha.....	49
5.11 - Planos preferenciais de partição (foliação metamórfica).....	51
5.12 - Lineação de estiramento de quartzo no plano da foliação metamórfica.....	51
5.13 - Padrões de fraturamentos com espaçamentos variáveis.....	51
5.14 - Espaçamento métrico entre fraturas em São Thomé das Letras.....	55

5.15 - Famílias de fraturas 1 e 2 nos quartzitos de São Thomé das Letras.....	55
5.16 - Família de fratura 3 dos quartzitos em São Thomé das Letras.....	55
6.1 - Estrutura foliada/laminada paralela a sub-paralela a um possível acamamento sedimentar.....	59
6.2 - Textura granoblástica fina na variedade Branco.....	59
6.3 - Textura de exsolução entre a magnetita e a titano-magnetita e a titano-magnetita e o rutilo.....	59
6.4 - Níveis superiores de quartzitos Amarelos na região de São Thomé das Letras.....	61
6.5 - Textura granoblástica fina no quartzito Amarelo.....	61
6.6 - Textura de exsolução entre a magnetita e o rutilo.....	61
6.7 - Estrutura foliada/laminada paralelizada a um possível acamamento sedimentar.....	65
6.8 - Textura granoblástica muito fina no quartzito Róseo.....	65
6.9 - Textura de exsolução entre a magnetita e o rutilo.....	65
6.10 - Quantidades elevadas de muscovita influenciando na coloração nos quartzitos da região de Luminárias.....	66
6.11 - Textura granoblástica muito fina a granolepidoblástica nos quartzitos Luminárias.....	66
6.12 - Substituição parcial da granada por minerais opacos.....	66
6.13 - Substituição da muscovita por minerais opacos.....	68
6.14 - Textura de exsolução entre a magnetita e a titano-magnetita e titano-magnetita e o rutilo.....	68
6.15 - Textura de exsolução entre a magnetita e flames de ilmenitas.....	68
6.16 - Coloração cinza-esverdeada marcada pela quantidade de muscovita.....	70
6.17 - Textura granolepidoblástica nos quartzitos Carranquina.....	70
6.18 - Alongamento do grão de magnetita segundo a foliação.....	70
6.19 - Coloração cinza-esverdeada marcada pela presença de muscovita.....	72
6.20 - Textura granolepidoblástica no quartzito Carrancas.....	72
6.21 - Cristais de granada com caráter sin- a tardi-tectônico.....	72
6.22 - Substituição da muscovita por minerais opacos.....	73

6.23 - Níveis enriquecidos em minerais opacos.....	73
6.24 - Textura de exsolução entre a magnetita e a titano-magnetita e a titano-magnetita e o rutilo.....	73
9.1 - Placas retangulares das variedades de quartzitos comercializados.....	126
9.2 - Degraus utilizados em revestimentos de escadas.....	126
9.3 - Cacos que não são aproveitados no esquadrejamento.....	126
9.4 - Placas de quartzito Amarelo utilizada em revestimento interno.....	128
9.5 - Placas de quartzito Amarelo utilizada em revestimento interno.....	128
9.6 - Placas de quartzito Amarelo utilizada em revestimento interno.....	128
9.7 - Placas de quartzito utilizadas em ambientes exteriores.....	129
9.8 - Placas de quartzitos utilizadas em bordas de piscinas.....	129
9.9 - Palitos de quartzitos utilizados em revestimento vertical.....	129

Índice das Tabelas

3.1 - Dados de produção, custos e preços de vendas dos quartzitos dos Centros Produtores do estado de Minas Gerais.....	34
6.1 - Características petrográficas das variedades de quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	75
7.1 - Análises químicas de rocha total nos quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	78
8.1 - Valores especificados pela Norma ASTM C 616 (1989).....	100
8.2 – Valores médios dos ensaios de caracterização física e mecânica.....	101
8.3 - Resultados da microdureza knoop para os quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	111
8.4 - Resultados obtidos da resistência ao ataque químico para os quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	115
8.4 - Resultados obtidos da resistência ao manchamento para os quartzitos do Centro Produtor São Thomé das Letras.....	120

ABSTRACT

The productive center of São Thomé das Letras there are two tests areas, called area I (São Thomé das Letras) and area II (Luminárias). In these areas were selected six different types of quartzites (White, Yellow, Pink, Carrancas, Carranquinha and Luminárias). With the purpose of a better and value way to use these rocks in exterior and interior construction work, it was necessary a nice study of geological and technological characterization. The petrographic studies found out significant differences in their mineral and texture composition, specially related in their quartzites quantity, muscovite and dull minerals. The MEV analyses, total chemical and mineral of the rock, they confirm that the variety of colors from the quartzites researched, are determined from dull minerals alterations and variation of quantity of the iron and titanium in the muscovite. The structural research made in area I, in São Thomé das Letras, and area II, Luminárias region, define respectively four and five main families of cutting fracture rocky structure, giving spacious areas differently and heterogeneous between families. In the areas where fracture is very intense, occur a low recuperation tax in the grub, around 10 to 15%, resulting a high quantity of reject components. The technological quality of the quartzites studied, include many physic analisys, mechanics and chemicals. The results of physics degree when compared with specifics limits from ASTM C 616 - 89 norms ($> 95\%$ de SiO_2 and $\text{Ab} < 1,0\%$), shows satisfactory results. The flexibility resistance results agree about the quality of ornamental rocks for revestments. The chemical attack resistance of the variety tested, showed good results to the acids used. The results of stain resistance were very satisfactory, observing from the most analisys some stain presence.

Key-Words: Quartzites, Technological, Ornamental, Physical and Revestments.

RESUMO

O Centro Produtor de São Thomé das Letras abrange duas áreas testes, denominadas respectivamente de área I (São Thomé das Letras) e área II (Luminárias). Nas respectivas áreas foram selecionadas para estudo seis variedades de quartzitos (Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Carranquinha e Luminárias). Com os propósitos de otimizar e valorizar o uso dessas rochas em revestimento externo e interno nas obras civis se fez necessário, um estudo de caracterização geológica e tecnológica. Os estudos petrográficos revelaram diferenças significativas em suas composições mineralógicas e texturais, principalmente com relação às quantidades de quartzo, muscovita e minerais opacos. As análises do MEV, químicas de rocha total e mineral, confirmaram que as variações nas cores dos quartzitos estudados são determinadas pelas alterações dos minerais opacos e pela variação da quantidade de ferro e titânio nas moscovitas. O levantamento estrutural realizado na Área I, em São Thomé das Letras, e Área II, região de Luminárias, definiram respectivamente quatro e cinco famílias principais de fraturas cortando os corpos rochosos, gerando áreas com espaçamentos variáveis e heterogêneos entre as famílias. No local onde o fraturamento é mais intenso, ocorre uma taxa de recuperação muito baixa na lavra, em torno de 10 a 15%, gerando uma maior quantidade de rejeito. A qualificação tecnológica dos quartzitos estudados incluiu uma série de ensaios físicos, mecânicos e químicos. Os resultados dos índices físicos, quando comparados aos valores de limites especificados pela norma ASTM C 616 - 89 ($> 95\%$ de SiO_2 e $\text{Ab} < 01\%$), apresentaram desempenho satisfatório. Os valores obtidos para resistência à flexão atestam a qualidade dessas rochas na ornamentação. A resistência ao ataque químico nas variedades testadas, mostrou bons resultados para os ácidos utilizados. Os resultados da resistência ao manchamento não foram satisfatórios, observando-se na maioria das variedades ensaiadas presença de manchas.

Palavras-Chaves: Quartzito; Tecnológico; Ornamental; Físicos e Revestimento.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação do Tema

A extração de quartzitos em São Thomé das Letras é uma atividade tão antiga que se confunde com a própria história da localidade. Sua importância pode ser avaliada pela aplicação genérica do termo “Pedra São Thomé”, utilizado para designar quartzitos plaqueados comercializados no Brasil.

Por ser uma atividade muito anterior a qualquer legislação ambiental vigente no Brasil, seu desenvolvimento ocorreu na ausência de critérios técnicos mais adequados, que levassem em conta a preservação de recursos naturais.

A “Pedra São Thomé”, quartzito encontrado nas cores branca, amarela e rósea, é conhecida como um dos cartões postais do místico município de São Thomé das Letras. Sua mineração constitui a principal atividade econômica da região, gerando empregos não só para a maior parte da população local como, também, para centenas de moradores das cidades vizinhas. A atividade mineiro-industrial gera aproximadamente 5.500 empregos diretos, alocados em pelo menos 140 empresas atuantes na lavra e beneficiamento.

Os quartzitos extraídos em São Thomé das Letras, além de utilizados em construções, como piso, revestimento de paredes, alvenaria estrutural e até como telha, são também utilizados na confecção do artesanato local, sendo considerados uma das principais fontes de renda da cidade.

A produção de quartzitos foliados São Thomé gira em torno de 140 mil t / ano, das quais são aproveitados para utilização e comercialização cerca de 2,4 milhões de toneladas/ano. Isso corresponde a quase três milhões de m²/ano em lajotas quadradas e retangulares, cacos (cavacos) e filetes (palitos), outros produtos como placas polidas e pedra pavê e, ainda, uma pequena quantidade em lajões geralmente utilizados em projetos paisagísticos.

O potencial econômico do quartzito foi descoberto no início dos anos 50 e a exploração das jazidas na Serra de São Thomé das Letras se intensificou na década de 70. Estima-se que a maior parte das exportações de quartzitos foliados

do Estado de Minas Gerais seja proveniente do Centro produtor de São Thomé das Letras, que os exporta para a América do Sul, América do Norte, Ásia e Europa seu principal mercado consumidor.

O fator beleza é apenas um dos atrativos da “Pedra São Thomé” que possui características próprias, tais como, planos com superfícies antiderrapantes e homeotermos (não esquenta sob o sol). Essas características próprias atraem principalmente o cliente europeu, já que neste continente a temperatura varia muito e o quartzito é adequado às intempéries.

No presente trabalho foram estudadas seis variedades de quartzitos, selecionadas em duas áreas testes. Na área I (município de São Thomé das Letras), foram identificadas as variedades designadas comercialmente de Pedra São Thomé Branco, Amarelo e Róseo, enquanto na área II (município de Luminárias), foram individualizadas as variedades denominadas comercialmente de Quartzito Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

Neste trabalho são apresentados dados que qualificam essas variedades de quartzitos, a partir do levantamento geológico-estrutural das áreas estudadas, estudo petrográfico, análises químicas minerais e de rocha total e caracterização tecnológica a partir de ensaios físicos, mecânicos e químicos.

A caracterização petrográfica, química e tecnológica das variedades estudadas, é de grande importância para a qualificação dessas rochas quanto ao ambiente a serem utilizadas, valorizando o uso das mesmas em revestimento de ambientes internos e externos.

1.2- Localização da Área e Vias de Acesso

As áreas escolhidas para pesquisa situam-se na porção sudeste do Estado de Minas Gerais, mais precisamente no Centro Produtor de São Thomé das Letras, geograficamente balizado pelos municípios de São Thomé das Letras, Três Corações, São Bento Abade, Luminárias, Carrancas, Mindurí, Cruzília, Baependí e Conceição do Rio Verde (**Figura 1.1**). Em termos cartográficos abrange parte das folhas topográficas de Varginha (SF-23-V-D) e Barbacena (SF – 23 – X - C), na escala 1:250.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

O acesso à área pode ser feito partindo-se de Belo Horizonte pela Rodovia BR - 381 (Fernão Dias) em direção ao trevo de Três Corações, passando-se pelas cidades de Betim, Igarapé, Itaguara, Carmópolis de Minas, Santo Antonio do Amparo e Perdões. A partir do Trevo de Três Corações, segue-se por estrada secundária pavimentada, aproximadamente por 56 Km, até a cidade de São Thomé das Letras, onde se localizam algumas das frentes de lavras.

1.3- Problemática

A maior problemática do Centro Produtor de São Thomé das Letras vem sendo detectada ao longo do crescimento da atividade extrativa, pois, a ausência de critérios técnicos adequados, acabou gerando problemas ambientais na lavra. O trabalho desordenado da extração do quartzito fez com que manchas brancas se espalhassem pelo verde das montanhas, geradas pelas pilhas gigantescas de rejeitos que são deixados nas lavras.

Os principais fatores condicionantes dessa limitação referem-se à incidência de fraturamento no maciço rochoso, à fragmentação causada por técnicas impactantes de desmonte e à intercalação de níveis puramente quartzosos que não sofrem delaminação. Os efeitos do fraturamento e das técnicas inadequadas de lavra, determinam a geração de cacos com dimensões inferiores às dos principais produtos comercializados, enquanto os níveis não delamináveis, geram placas com espessura superior à dos produtos convencionais.

Como consequência desses fatores os quartzitos extraídos apresentam baixos índices de recuperação na lavra, nunca superiores a 10 – 15% de aproveitamento, gerando a deposição de grandes quantidades de rejeitos, em locais e condições inadequadas, ocasionando, portanto, problemas ambientais.

1.4- Objetivos

O objetivo principal do trabalho é caracterizar e qualificar como rocha de ornamentação e revestimento seis variedades de quartzitos pertencentes ao Centro Produtor de São Thomé das Letras, visando alcançar as seguintes propostas:

- Levantamento Geológico-Estrutural das áreas testes;
- Caracterização Petrográfica;
- Caracterização Química;
- Caracterização Tecnológica;
- Qualificação e utilização dos quartzitos estudados como rocha de ornamentação em ambientes tanto internos quanto externos.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

A finalidade deste capítulo é apresentar uma resenha dos procedimentos empregados e correspondentes técnicas e/ou metodologias adotadas nas diversas etapas de desenvolvimento do presente estudo.

2.1 - Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica constou de uma pesquisa sistemática envolvendo trabalhos enfocando os aspectos geológicos da área de estudo e, principalmente, aqueles relacionados à problemática e caracterização tecnológica de materiais pétreos para fins ornamentais e de revestimento em obras civis.

2.2. - Trabalhos de Campo

2.2.1 - Levantamento Geológico-Estrutural

Nesta etapa foi realizado o levantamento geológico-estrutural dos pacotes quartzíticos localizados nas áreas testes (Serra da Boa Vista, município de São Thomé das Letras e Serra Grande, município de Luminárias).

O levantamento geológico constou da realização de perfis verticais, acompanhado de descrição macroscópica detalhada, objetivando caracterizar os diferentes tipos de quartzitos, principalmente no tocante a:

- Heterogeneidade dos leitos/estratos, tanto na vertical quanto na horizontal;
- Variação das espessuras dos níveis, destacando as variedades predominantes;
- Variações composicionais (níveis mais quartzosos e mais micáceos), texturais (variação na granularidade) e estruturais (mais foliados, fraturados) entre os diferentes níveis;

- Como estes níveis se inter-relacionam e quais as relações de contatos (brusco, gradacional) entre eles;
- Diversidade de coloração (ocorre verticalmente, horizontalmente), através de contato (brusco e gradacional).

Através do levantamento estrutural procurou-se identificar e caracterizar nos pacotes quartzíticos as estruturas existentes, tais como, planos de falhas, famílias de fraturas, foliação metamórfica e lineações minerais. A finalidade do levantamento destas estruturas é de contribuir para o planejamento dos processos de extração.

Estas estruturas foram levantadas a partir das tomadas de medidas realizadas no corpo rochoso e das observações efetuadas, principalmente, com relação ao fraturamento (comportamento e distribuição em todo o pacote quartzítico, quantidade de famílias identificadas, variação no padrão de fraturamento entre estratos centimétricos e métricos) e foliação metamórfica (caracterização e comportamento no contexto regional e local).

As medidas levantadas referentes às fraturas e foliação metamórfica foram tratadas no programa Stereonet (*Geological Software* - versão 3.03).

2.2.2. - Coleta de Amostras

A amostragem dos seis tipos de quartzitos representativos do Centro Produtor de São Thomé das Letras foi realizada nas frentes de lavra das duas áreas selecionadas para a pesquisa (Áreas I e II). Na região de São Thomé das Letras (Serra da Boa Vista), localizam-se as frentes de lavra da Empresa Sales Andrade Indústria e Comércio de Pedras Ltda, onde ocorrem as variedades de quartzitos branco (textura fina), amarelo (textura fina) e róseo (textura muito fina).

No Município de Luminárias, precisamente na Serra Grande, afloram os quartzitos verdes designados comercialmente por Quartzito Carrancas (textura média-fina), Quartzito Luminárias (textura fina) e Quartzito Carranquinha (textura muito fina).

Na marmoraria da Empresa Sales Andrade (em Três Corações) foram selecionadas placas esquadrejadas (brutas), utilizadas para confecção dos corpos-de-prova de todos os ensaios tecnológicos realizados neste trabalho.

2.3 - Trabalhos de Laboratório

2.3.1 - Caracterização Petrográfica

A caracterização petrográfica foi efetuada a partir de amostras representativas das seis variedades de quartzitos estudados, tendo sido selecionadas uma média de cinco amostras para cada tipo, totalizando 30 amostras.

Para a descrição petrográfica dos diferentes tipos de quartzitos seguiu-se a orientação da norma NBR 12768 da ABNT (1992 g) e as sugestões propostas por RODRIGUES et al; (1996; 1997).

Esta etapa constou do estudo macro e microscópico (luz transmitida) nos diferentes tipos de quartzitos explorados no Centro Produtor de São Thomé das Letras, objetivando identificar a mineralogia (essencial e acessória), aspectos texturais (dimensão, forma, relação de contatos e arranjo dos grãos minerais), aspectos estruturais (microfissuras) e grau de alteração dos minerais, com o intuito da classificação petrográfica das variedades de quartzitos, segundo, classificação proposta por WINKLER (1976), e principalmente como parâmetros balizadores na avaliação do comportamento tecnológico exibido por estas rochas.

O estudo microscópico foi realizado também sob luz refletida, visando identificar os minerais metálicos ou minerais opacos que pudessem estar interferindo, através dos processos de alteração mineral, na coloração das variedades de quartzitos estudados.

2.3.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Por meio do estudo microscópico de luz transmitida dos diferentes tipos de quartzitos explorados no Centro Produtor de São Thomé das Letras, observou-se que a variação nas cores é determinada pelas alterações e/ou

transformações dos minerais principais e acessórios contidos na composição modal das rochas.

A principal transformação identificada é a alteração dos minerais opacos, principalmente os óxidos (magnetita, titano-magnetita, ilmenita e rutilo). Objetivando caracterizar melhor estas reações, se fez necessário, a análise química mineral através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microsonda eletrônica.

As análises do MEV tiveram como objetivo a identificação qualitativa dos elementos presentes nos minerais óxidos (magnetita, titano-magnetita, rutilo e ilmenita), bem como, nas muscovitas, para posterior quantificação em microsonda eletrônica. No **SLA-IG-UNICAMP** foram estudadas 06 (seis) lâminas polidas representativas de cada variedade de quartzito.

2.3.3 - Análise Química Mineral Através de Microsonda Eletrônica

As análises químicas minerais quantitativas foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Brasília (**UnB**). O equipamento utilizado foi uma Microsonda Eletrônica CAMECA, modelo SX - 50, com quatro espectômetros e, para análises qualitativas, com EDS (*Energy Dispersive System*) acoplado.

Para análises quantitativas WDS (*Wavelength Dispersive System*), foi utilizado o sistema de análise automatizada *Tractor-Northern* (Noran Instruments 1990) nas seguintes condições de rotina: voltagem de alteração 15kv, corrente de feixe 20 nA, diâmetro do feixe 5 μm . Correções quantitativas ZAF para efeitos de matriz (Z - N^o atômico, A - absorção, F - Fluorescência) foram executadas através do programa Flextran PRZ (Noran Instruments 1990). O erro analítico máximo estimado é de $\pm 3 \%$ para os elementos maiores analisados.

O material analisado foi preparado em lâminas delgadas polidas e posteriormente metalizadas com uma fina película de carbono no Laboratório de Microsonda Eletrônica da **UnB**. O acervo analisado compreende 06 amostras representando as variedades Carrancas, Luminárias, Carranquinha, Róseo,

Amarelo e Branco totalizando 240 pontos, sendo 148 análises de muscovita, 65 de magnetita, 25 de rutilo e 02 de ilmenita.

2.3.4 - Análises Químicas de Rocha Total

As amostras selecionadas para análises químicas de rocha total foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras Geológicas e Pedológicas (LAGEP) do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP/Rio Claro (SP). Para isso foram selecionadas amostras dos seis diferentes tipos de quartzitos estudados totalizando 18 análises químicas de rocha total.

Durante a preparação das mesmas, as partes inalteradas foram desagregadas e cominuídas através de britagem primária e secundária (britadores de mandíbulas, ambos do Tipo *Blake* com Biela apresentando uma granulometria média final entre 2 e 3 mm, atingindo um grau de redução ($R = \text{Granulometria Inicial/Granulometria Final}$) de ± 10 . A pulverização final foi executada em moinhos oscilantes com painelas e anéis revestidos de ágata atingindo uma granulometria média final de 200 # (*mesh*). Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e lacrados, para evitar contaminações.

A análise dos elementos maiores foi realizada por FRX - Fluorescência de Raios-X, na GEOSOL LAKERFIELD (Belo Horizonte - MG). Os elementos maiores analisados foram SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , com determinação da perda ao fogo ($\text{LOI} = \text{H}_2\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}^- + \text{S} + \text{F} + \text{Cl} + \text{C} + \text{outros voláteis}$) e com os resultados apresentados em % em peso de óxidos.

Na determinação destes elementos por FRX são preparadas pérolas fundidas com tetraborato de lítio e em seguida analisadas. As faixas ótimas de determinação destes elementos na amostra são: SiO_2 (20 - 100 %), TiO_2 (0,1 - 05 %), Al_2O_3 (05 - 30 %), Fe_2O_3 (01 - 40 %), MnO (0,1 - 02 %), MgO (0,5 - 30%), CaO (01 - 30%), Na_2O (01 - 20%), K_2O (0,5 - 20%), P_2O_5 (0,1 - 05%).

2.3.5 - Difractometria de Raios X (DRX)

Para as análises por Difractometria de Raios X, foram analisadas seis amostras, referentes aos seis diferentes tipos de quartzitos selecionados para pesquisa, com o objetivo de identificar as fases minerais. As análises foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios X do Departamento de Petrologia e Metalogenia da UNESP/Rio Claro (SP).

O equipamento utilizado foi um difratômetro SIEMENS D5000, operando com tubo de cobre, nas seguintes condições: 40 kv e 20 mA, com varredura em passos com uma velocidade de 3,9º/minuto e intervalo compreendido entre 04º e 66º. O material analisado apresentava granulometria de 200# (*mesh*) e foi acondicionado em porta-amostras de material plástico.

2.3.6 - Ensaio Tecnológicos

As rochas ornamentais, quando utilizadas, são submetidas às mais variadas solicitações, tais como atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataque por produtos de limpeza, líquidos agressivos etc.. Portanto, uma caracterização tecnológica precisa dos quartzitos amostrados é fundamental para sua utilização correta, segura e econômica como rocha ornamental e de revestimento.

Essas características tecnológicas são obtidas através de análises e ensaios executados, segundo procedimentos normatizados por entidades nacionais - Associação Brasileira de Normas Técnicas (**ABNT**) e também estrangeiras: *American Society for Testing and Material (ASTM)*, *Deustches Institut für Normung (DIN)*, *Association Française de Normalization (AFNOR)* entre outras. Para a caracterização tecnológica das rochas designadas comercialmente por Quartzitos São Thomé, foram realizados os seguintes ensaios: caracterização física (índices físicos), caracterização mecânica (resistência à flexão – quatro pontos, determinação da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, desgaste amsler, resistência ao impacto de corpo duro, microdureza knoop), caracterização química (resistência ao manchamento, resistência ao ataque químico).

2.3.6.1 - Caracterização Física

Índices Físicos

Os ensaios dos Índices físicos foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP em Rio Claro (SP).

São denominados índices físicos da rocha as propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada, porosidade aparente e absorção de água. A presença de manchas, ferrugens, perda de brilho e redução de resistência mecânica que ocorrem nos materiais lapídeos após sua aplicação, podem ser conseqüências de seus índices de porosidade e absorção d'água. O conhecimento desses índices permite uma correta avaliação das rochas possibilitando, com isso, indicar o seu uso mais adequado.

Os índices físicos fornecem uma indicação da incidência de micro-descontinuidades nas rochas. Os valores de absorção de água e porosidade são bem correlacionados com os de resistência mecânica da rocha.

Para a determinação dos valores dessas propriedades, são utilizados ± 10 corpos-de-prova com 5 a 7 cm de diâmetro, que são pesados: ao ar, após a secagem em estufa a $110 \pm 05^{\circ}$ C (peso A); depois da saturação em água por 48 horas (peso B) e, na condição submersa, após saturação (peso C), segundo as diretrizes da Norma **NBR 12766** da **ABNT (1992b)**. Os valores são obtidos através da utilização das seguintes expressões:

Massa Específica Aparente Seca: $A/B-C$ (Kg/m^3);

Massa Específica Aparente Saturada: $B/B-C$ (Kg/m^3);

Porosidade Aparente: $B-A/B-C \times 100$ (%);

Absorção d'água: $B-A/A \times 100$ (%).

Onde:

A = peso do corpo-de-prova após a secagem em estufa a 100-110° C durante 24 horas;

B = peso do corpo-de-prova saturado, seco com pano absorvente após imersão em água destilada durante 24 horas;

C = peso do corpo-de-prova submerso em água.

2.3.6.2 - Caracterização Mecânica

Resistência à Flexão - Quatro Pontos

Os ensaios de flexão visam determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP em Rio Claro (SP), segundo a norma **ASTM C 880 (1980)**.

Para este ensaio são necessários 10 corpos-de-prova com dimensões de 30 cm de comprimento e a largura igual 1,5 x a espessura da rocha, no estado seco. O passo seguinte deve ser o rompimento dos corpos, os quais devem ser colocados em suportes (cutelos) paralelos entre si e perpendiculares ao eixo maior do corpo-de-prova, então é abaixado o cutelo de compressão da prensa que deve ficar a meia distância dos suportes de apoio e paralelos a estes. Depois do rompimento do corpo-de-prova utiliza-se a seguinte fórmula para cálculo da máxima tensão de flexão suportada pela amostra antes da ruptura:

$$R = (3PL) / (4bd^2)$$

Onde:

R = tensão de ruptura na flexão (**Mpa**);

P = carga de ruptura (**KN**);

L = distância entre os cutelos da base;

b = largura;

d = espessura.

Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas

Este ensaio tem como objetivo medir a velocidade de vibração das ondas de compressão e de cisalhamento na rocha, ou seja, a velocidade (V) de propagação de uma onda longitudinal, em um percurso (D), que é efetivamente infinito (x) na extensão lateral. Pode-se, desta forma, estimar as condições físicas em que se encontra o referido corpo-de-prova, através de alterações observadas nas velocidades de vibração das ondas. O ensaio foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP em Rio Claro (SP), segundo a norma americana **ASTM D2845 (1990)**.

Para este ensaio foram utilizados 10 corpos-de-prova com dimensões de 30 cm de comprimento e a largura igual 1,5 x a espessura da rocha, no estado seco.

Desgaste Amsler

Este ensaio é importante para a utilização de material pétreo em revestimento de pisos (interiores e exteriores) e degraus de escadas. Foi executado no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/UNESP em Rio Claro (SP), de acordo com as diretrizes da norma **ABNT - NBR 12.042 (1992a)**, que prescreve o método para determinação do desgaste por abrasão de materiais inorgânicos.

Tem como objetivo o desgaste do corpo-de-prova, que se dá através do atrito entre sua superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é

continuamente abastecido com um material abrasivo (areia quartzosa bem selecionada).

A realização do ensaio visa verificar a redução de espessura (em mm) que duas placas de rocha com dimensões 7,0 cm x 7,0 cm x 3,0 cm apresentam após um percurso abrasivo de 1000 m na Máquina de Desgaste Abrasivo Amsler.

Resistência ao Impacto

Este ensaio foi executado de acordo com as diretrizes da norma **ABNT - NBR - 12.764 (1992c)** no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da UNESP em Rio Claro (SP). A determinação da Resistência ao Impacto, é utilizada em materiais próprios para revestimento de interiores como pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. A realização do ensaio se dá através da determinação da altura de queda de um sólido (esfera de aço) que provoca ruptura do corpo de prova, determinando assim a resistência da rocha ao impacto.

O ensaio foi executado em corpos-de-prova na forma de placas quadradas de dimensões 20 cm x 20 cm x 02 cm, tendo sido utilizadas 05 (cinco placas) para cada variedade de quartzitos ensaiados. As placas foram apoiadas em um colchão de areia de 10 cm de espessura e submetidas ao impacto pela queda de uma esfera de aço com peso de 1 Kg. A altura inicial da queda é de 20 cm, a partir daí, as alturas são aumentadas de 05 cm em 05 cm, até ocorrer o fraturamento e/ou o rompimento total da placa.

Microdureza Knoop

O ensaio de Dureza *Knoop* foi realizado no Laboratório de Ensaio Cerâmicos e Ornamentais do SENAI de São Bernardo do Campo (SP). Consiste em comprimir lentamente um penetrador de diamante (ponteira de diamante), sobre a superfície plana, polida do corpo através de uma carga de 200 gramas durante 15 segundos. Essa compressão provoca uma impressão permanente no corpo com o formato do penetrador (losango alongado), tendo o comprimento da diagonal

impresso maior ou menor, dependendo da resistência oferecida pelo material, que pode ser lido no próprio microscópio (**Figura 2.1A**).

Para efeito da norma são realizadas 40 medidas (indentações) ao longo de uma linha perpendicular à orientação da rocha, para que possam ser obtidos valores médios condizentes com a heterogeneidade mineralógica e textural apresentada pela rocha ensaiada (**Figura 2.1B**). Para isso os corpos de prova foram preparados com dimensões de 5 cm x 5 cm x 1,5 cm, e submetidos a processo de polimento, para se adequarem às necessidades do ensaio (observação ao microscópio de luz refletida).

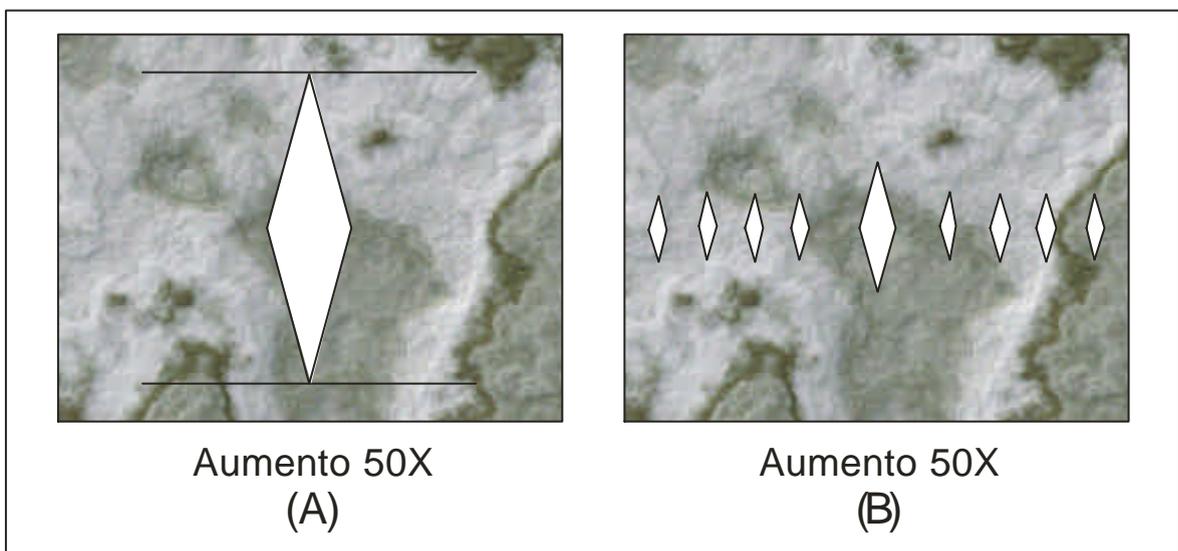


FIGURA 2.1: Representação da ponta *Knoop* nos corpos-de-prova das rochas. **(A)** formato da indentação deixada na rocha ensaiada; **(B)** perfil realizado nos corpos-de-prova pela ponteira de diamante.

2.3.6.3 - Caracterização Química

Resistência ao Manchamento

A determinação da resistência ao manchamento é baseada nas diretrizes da Norma **NBR 13.818 (Anexo G) da ABNT (1997a)**, e tem como objetivo testar as amostras com vários agentes manchantes, tais como: agente de ação penetrante (Cromo/ferro), agente de ação oxidante (lodo) e agente com formação de película (azeite de oliva).

Os testes foram realizados no Laboratório de Ensaio Cerâmicos e Ornamentais do SENAI de São Bernardo do Campo (SP). Para isso foram

utilizados corpos-de-prova na forma de placas de rocha, com dimensões de 10 cm x 10 cm x 2,0 cm, sendo necessárias 5 placas no mínimo para cada solução utilizada no teste.

Resistência ao Ataque Químico

Este ensaio segue a norma **NBR 13.818 (Anexo H) da ABNT (1997b)**, e tem como objetivo observar a resistência das amostras de quartzitos ao ataque de produtos químicos tais como: HCl (solução de ácido clorídrico 3 %) que simula produtos de limpeza com ácidos (ácido muriático); KOH (solução de hidróxido de potássio 30 g/l) o qual simula produtos de limpeza alcalinos (sabões); NaClO (solução de hipoclorito de sódio 20 mg/l) o qual simula produtos de limpeza a base de cloro ativo (cândida e produtos para tratamentos de limpeza); NH₄Cl (solução de cloreto de amônia 100 g/l) o qual simula produtos de limpeza à base de amoníaco; Ácido Cítrico (solução a 100 g/l) o qual simula ácidos presentes em frutas cítricas (limão, laranja), refrigerantes, etc..

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio Cerâmicos e Ornamentais do SENAI de São Bernardo do Campo (SP). Deste modo, foram utilizados corpos-de-prova na forma de placas de rocha, com dimensões 10 x 10 x 2,0 cm, isentos de defeitos, fazendo-se necessários no mínimo 5 corpos-de-prova, para cada solução.

2.4 – Tratamento e Integração dos Dados

Concluídas as etapas mencionadas anteriormente realizou-se a fase de tratamento estatístico e suas respectivas interpretações, fundamentada nos dados obtidos em campo e laboratório.

O tratamento e integração dos dados estruturais foram realizados no programa Stereonet (*Geological Software-versão 3.03*). Os dados obtidos das análises químicas das fases minerais foram processados e estudados com o auxílio do programa para Sistema de Processamentos de Dados Mineralógicos e Petrológicos - *Minpet for Windows (Versão 2.0, Minpet Geological Software, Linda*

R. Richard 1988-1995). O processamento inclui organização dos arquivos, digitação dos dados, correções e cálculos de formas estruturais, razões entre constituintes e normas, entre outros, e lançamentos.

Os difratogramas resultantes foram tratados com posterior identificação das fases minerais nos *softwares* DIFRACT - AT via ambiente DOS e EVA via ambiente *Windows*.

As etapas seguintes constaram principalmente da execução dos desenhos, organização das tabelas, quadros e diagramas, assim como a elaboração do texto da presente tese.

CAPÍTULO 3 - PERFIL TÉCNICO E ECONÔMICO DOS CENTROS PRODUTORES DE QUARTZITOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

3.1 – Introdução

O potencial econômico do quartzito foi descoberto no início dos anos 50 e a exploração das jazidas na Serra de São Thomé se intensificou na década de 70. O quadro atual de situação do setor de rochas ornamentais e de revestimento em Minas Gerais pode ser esboçado a partir de dados relativos aos segmentos de lavra (produção), beneficiamento, infra-estrutura e comercialização.

Segundo CHIODI FILHO 1997 é provável que o Estado de Minas Gerais responda pela quase totalidade da produção brasileira de quartzitos. No Estado são registrados quatro centros de lavras de quartzitos, utilizados como rochas de ornamentação e revestimento, sendo o mais expressivo o de São Thomé das Letras, seguindo-se Alpinópolis, Ouro Preto e Diamantina (**Figura 3.1**).

Estima-se que a produção estadual de quartzitos seja de aproximadamente 220 mil t/ano, desdobrando cerca de 3,85 milhões de m² em chapas com espessura média de 02 cm. Estima-se também que as diversas empresas produtoras de quartzitos no estado de Minas Gerais já tenham investido o montante de US\$ 20.000.000,00 nas diversas operações que incluem as etapas de lavra e beneficiamento (CHIODI FILHO 1997)

Para os quartzitos foliados as exportações de 2001 somaram US\$ 11,02 milhões representando crescimento de 32,6%, o mais expressivo entre todas as rochas ornamentais brasileiras, no mesmo período. Os quartzitos compõem, portanto, 15,66% em valor, das exportações totais de rochas ornamentais do Estado de Minas Gerais e 90,3% do total de quartzitos exportados pelo Brasil (CHIODI FILHO 2001).

3.2 - Centros Produtores do Estado de Minas Gerais

3.2.1 – Localização e Contexto Geológico

3.2.1.1 – Centro Produtor São Thomé das Letras

O Centro Produtor São Thomé das Letras localiza-se na porção sul do Estado de Minas Gerais, estando geograficamente balizado pelos municípios de São Thomé das Letras, Três Corações, São Bento Abade, Luminárias, Carrancas, Minduri, Cruzília, Baependi e Conceição do Rio Verde (**Figura 3.2**).

Do ponto de vista geológico esses quartzitos situam-se na denominada Faixa Alto Rio Grande (ALMEIDA & HASUI 1984), a qual é representada por um pacote de rochas supracrustais que compreende os grupos Andrelândia, a sul e São João Del Rei, a norte, atribuídos geocronologicamente idades do Meso e Neoproterozóico (**Figura 3.3**). Os quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras compreendem as rochas supracrustais inseridas no Grupo Andrelândia.

3.2.1.2 – Centro Produtor Alpinópolis

O Centro Produtor Alpinópolis localiza-se na porção sudoeste do Estado de Minas Gerais, na região da Represa de Furnas, e está geograficamente balizado pelos municípios de Alpinópolis, São José da Barra, São João Batista do Glória e Capitólio.

Esses quartzitos situam-se geologicamente na denominada Bacia Uruaçu, a qual é representada por um pacote de rochas metassedimentares do Mesoproterozóico, atribuídas ao Grupo Canastra (**Figura 3.3**).

3.2.1.3 – Centro Produtor Ouro Preto

O Centro Produtor Ouro Preto localiza-se na porção centro-sul do Estado de Minas Gerais, com as lavras de quartzitos dessa região, ocorrendo na Serra de Ouro Preto. As lavras formam um *trend E - W* a norte da cidade de Ouro Preto, estando geograficamente condicionadas aos municípios de Ouro Preto, entre

as localidades de São Bartolomeu e Taquaral, e de Mariana, na localidade de Passagem de Mariana.

Geologicamente estes quartzitos situam-se como coberturas do Cráton São Francisco, mais especificamente na Província Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero. Estratigraficamente a maioria dos autores posicionam os quartzitos da Serra de Ouro Preto na Formação Moeda (Grupo Caraça), na base do Supergrupo Minas, com idade relacionada atribuída ao Paleoproterozóico (**Figura 3.3**).

3.2.1.4 – Centro Produtor de Diamantina

O Centro Produtor Diamantina que é o menos expressivo dos quatro centros produtores de quartzitos de Minas Gerais, localiza-se na região central do estado, com várias frentes de lavras distribuídas pelos municípios de Diamantina, Gouveias e Datas, ao longo das cristas da Serra do Espinhaço Meridional.

Esses quartzitos situam-se, geologicamente, na denominada Faixa Araçuaí, mais especificamente na Bacia do espinhaço. Estratigraficamente, os quartzitos lavrados na Serra do espinhaço, região de Diamantina, são posicionados na Formação Sopa-Brumadinho do Grupo Diamantina (base), e na Formação Galho do Miguel, do Grupo Conselheiro Mata (topo). Essas formações são integradas ao Supergrupo Espinhaço, de idade Mesoproterozóica (**Figura 3.3**).

3.2.2 – Características Petrográficas Gerais

3.2.2.1 – Quartzito São Thomé das Letras/Pedra São Tomé

Os quartzitos desse centro produtor apresentam normalmente coloração esbranquiçada tendo-se variações para amarelado, esverdeado, rosado/amarronzado, acinzentado etc., variações estas determinadas pelos minerais acessórios presentes e pelos diferentes graus de oxidação e transformação dos mesmos.

A Pedra São Thomé caracteriza-se pela coloração esbranquiçada, amarelada ou *champagne*, enquanto que a Pedra Rio Verde é esverdeada a verde

acinzentada. Os quartzitos de Luminárias são também esverdeados (em vários tons), porém mais claros que os de Rio Verde e com maior incidência das pedras ramadas, que apresentam, nas superfícies de foliação, figuras arborescentes desenhadas por dendritos de óxidos e/ou hidróxidos de manganês.

Ao microscópio, identificam-se texturas do tipo sacaróide com caráter granoblástico, variando para granolepidoblástico, quando é maior a quantidade de micas, principalmente moscovitas.

3.2.2.2 – Quartzito Alpinópolis/Pedra Mineira

Os quartzitos da região de Alpinópolis são, de maneira geral relativamente friáveis, de granulometria fina a muito fina, e apresentam como mineralogia básica, quartzo, sericita, zircão, magnetita/ilmenita e hidróxidos de ferro e manganês.

A coloração destes quartzitos é esbranquiçada a acinzentada. As chapas extraídas podem, no entanto, ser multicores, com tonalidades de cinza, amarelo, marrom e vermelho, conforme a quantidade do grau de oxidação e transformação dos minerais acessórios. *Pedras ramadas*, com dendritos de manganês, são raras.

3.2.2.3 – Quartzito Ouro Preto/Pedra Ouro Preto

O quartzito designado como Pedra Ouro Preto, por sua vez, são esbranquiçados, resistentes e coesos, com desenhos nas cores amarelas e rosadas, conferidos pela oxidação dos minerais de ferro, constituindo os chamados *Halos de Eliazer*, sendo estes desenhos, portanto, uma feição típica das rochas aflorantes ou próximas à superfície. Uma característica importante desses quartzitos é a ausência de planos de partição, sendo, portanto, extraídos em blocos.

3.2.2.4 – Quartzito Diamantina - Pedra Diamantina

Os quartzitos da região de Diamantina são, de maneira geral relativamente coesos, de granulometria fina, apresentando como minerais acessórios mais comuns a sericita (mica branca fina), zircão, magnetita/ilmenita e hidróxidos de ferro e de manganês. Também possui uma foliação metamórfica plano-paralela, coincidente com as superfícies de aleitamento sedimentar (estrutura primária S_0), que constituem os planos de desdobramento das placas extraídas nas pedreiras.

A coloração dos Quartzitos Diamantina é normalmente esbranquiçada, quando se trata de granulometria fina, podendo ser acinzentados, amarelados, amarronzados e multicores quando a pedreira é impura e é mais enriquecida em minerais micáceos. A ocorrência de discretas zonas de cisalhamento com veios e venulações de quartzo, e a presença de estratificações cruzadas de médio à grande porte, são importantes entraves para as operações de lavra da Pedra Diamantina.

3.3 – Lavra e Beneficiamento

Nas lavras de quartzitos, as condições operacionais e as técnicas de corte são de maneira gerais ainda muito rudimentares (**Fotos 3.1 a 3.3 – Prancha 1**), os desmontes são manuais ou através de explosivos granulados (adubo + óleo diesel). Mas estão sendo agora submetidas a um contínuo processo de modernização, sobretudo quanto a técnicas de corte a frio (massas expansivas e cunhas).

As lavras de quartzitos fazem uso de explosivos para facilitar o desmonte e o deslocamento do corpo rochoso. Essa prática, aliada as próprias condições de lavra manual, produz taxas de recuperação muito baixas, não superiores a 10 - 15 %. Com o tempo, a deposição das grandes quantidades de rejeitos, quase sempre em locais e em condições inadequadas, gera problemas ambientais.

O perfil tecnológico do beneficiamento é bastante simples, envolvendo basicamente o recorte de lajotas. Essa operação é efetuada manualmente, através de talhadeira e esquadros metálicos ainda na pedreira, ou por intermédio de pequenas serras com discos diamantados. Registra-se, contudo, a disseminação de novas tecnologias de processo e diversificação dos produtos comerciais.

Os principais produtos de quartzitos foliados atualmente ofertados nos mercados interno e externo referem-se a lajotas quadradas e retangulares, de corte manual ou serrado, além de cavacos (grandes, médios e pequenos) e palitos (filetes), todos não calibrados e com faces naturais. A mais recente e promissora iniciativa dos mineradores e beneficiadores dos quartzitos São Thomé, já com resultados palpáveis, refere-se à diversificação de produtos comerciais, inclusive viabilizados através do desenvolvimento tecnológico de máquinas nacionais.

Os novos produtos de quartzitos foliados, para os mercados interno e externo, referem-se a peças calibradas polidas e calibradas naturais, que têm significativamente maior valor agregado. Os maiores problemas detectados para obtenção desses novos produtos, referem-se a alteração do padrão cromático da rocha no polimento, e ao alto custo de processo para calibração da espessura de chapas e lajotas. O que se coloca como novidade é o desenvolvimento de uma tecnologia própria de obtenção de pedra pavê, através de prensas mecânicas nacionais.

3.3.1 - Lavra no Centro Produtor de São Thomé das Letras

A extração de quartzitos no Centro Produtor de São Thomé das Letras caracteriza-se por uma lavra a céu aberto. As lavras de quartzitos da região alinham-se segundo a direção **SW - NE** constituindo as porções mais elevadas com altitudes médias em torno de 1.235 m, ao longo dos municípios de Conceição do Rio Verde, São Thomé das Letras e Luminárias. A região exhibe terrenos acidentados com desníveis de ± 250 m, afetados por sistemas complexos de fraturamento.

Como a região apresenta terrenos com gradiente topográfico elevado e a rocha apresenta fraturamento em várias direções, o maciço rochoso pode ser

lavrado pelo método de desabamento, aproveitando-se dos planos de fraqueza preexistentes. Segundo CARUSO (1996) esse tipo de lavra é mais bem empregado quando se possuem grandes reservas de minério. O método é caracterizado por produzir uma baixa recuperação com geração de grandes quantidades de rejeitos, causando alto impacto ambiental, condições críticas de segurança e difícil recuperação das áreas lavradas **(Fotos 3.4 a 3.6 – Prancha 2)**.

CHIODI FILHO (1995), cita os componentes funcionais da operação de lavra de maciços rochosos incluindo degraus, praça principal, praças secundárias, pistas, rampas e frentes. Os degraus representam a figura elementar da exploração, definida pela altura e o topo da bancada que sofrerá desmonte. A praça principal é o espaço onde se efetua o esquadreamento final dos blocos e as operações necessárias para seu transporte, localizando-se normalmente na base da pedreira.

As praças secundárias destinam-se às operações funcionais de apoio ao desmonte. As pistas e as rampas constituem as vias de ligação entre as praças, sendo as pistas trafegadas por veículos de rodas pneumáticas e as rampas apenas por veículos de esteiras. A frente geral é definida como o limite amplo da lavra, enquanto à frente de exploração é aquela atacada num determinado momento.

CHIODI FILHO (1997) coloca que, assim como, a maior parte das lavras de rochas ornamentais e de revestimento, a extração de quartzitos foliados é convencionalmente praticada através de explosivos **(Foto 3.4 – Prancha 2)**. As detonações são efetuadas nas frentes de desmonte, visando o desacoplamento/deslocamento primário dos lajões, o que provoca um grande índice de perda de material. Com a baixa taxa de recuperação da lavra em torno de (10 - 15%), geram-se conseqüentemente grandes volumes de rejeitos entulhados próximos à bancada principal de lavra do quartzito. Desta forma, inicia-se o ciclo de comprometimento ambiental e econômico da atividade produtiva, cada vez mais sensível nos centros mineiros - industriais de quartzitos no estado de Minas Gerais **(Fotos 3.5 e 3.6 – Prancha 2)**.

À frente de lavra objeto do levantamento estrutural, pertence à Empresa Sales Andrade Indústria e Comércio de Pedras Ltda, estando a mesma

localizada na Serra da Boa Vista, distando cerca de 4 km do Município de São Thomé das Letras.

3.3.2 - Sugestões para Minimizar as Baixas Taxas de Recuperação

Segundo RODRIGUES et al. (1999), a utilização de técnicas mais adequadas de corte a frio, no desmonte de rocha somada a critérios de mapeamento geológico e sondagens, constituem base para planejamento de lavra e fixação de procedimentos de controle ambiental, visando à regularização mais efetiva quanto aos direitos minerários e licenciamentos ambientais. Com base para diluição do problema, o uso de cortes a frio foi sugerido como alternativa ao desmonte por explosivos, recomendando-se furação coplanar preenchida com massas expansivas, bem como testes com cunhas hidráulicas para a mesma finalidade.

As novas tecnologias propostas serão factíveis, desde que se aproveitem corretamente os planos preferenciais de partição da rocha. Outros sistemas aproveitáveis para desacoplamento preferencial da rocha, são definidos por zonas de fraturamento também reconhecidas no campo. Foi também indicada a utilização de cortes com jatos d'água sob alta pressão (*Water Jet*), que constitui uma tecnologia ainda inédita de lavra no Brasil, porém já utilizada para extração de arenitos e granitos em outros países. O corte por jato d'água é exercido pela escarificação (arranque) dos grãos minerais, o que deverá ser eficaz em rochas de textura sacaróide granoblástica como os quartzitos.

3.4 - Impacto Ambiental

SOUZA et al. (1999) identificaram como os principais geradores de impactos ao longo da Serra de São Thomé das Letras, a disposição de estéril (26%), carga de minério estéril (24%) e beneficiados (15%).

Como ação de diluição esses autores sugerem um maior controle na disposição do minério estéril através de um planejamento de avanço da lavra, e um

direcionamento adequado dos rejeitos, utilizando-os para obliterar cavas abandonadas, recuperando a vegetação com a flora natural da região.

Os mineradores de São Thomé das Letras trabalham atualmente dentro de uma postura pró-ativa, prevenindo e minimizando o impacto ambiental gerado pela atividade extrativa. A lavra é desenvolvida de maneira cada vez mais sistemática e programada, já sob orientação de empresas especializadas. As pilhas de rejeitos estão sendo executadas segundo exigências das normas técnicas, observando-se critérios de altura, declividade, drenagem e estruturas de contenção dos finos.

Outras iniciativas importantes, também dependentes de parcerias e apoio institucional, referem-se a estudos de viabilidade técnica e econômica para aproveitamento dos rejeitos de lavra. Algumas sugestões de utilização do rejeito na produção de areia de alta pureza para vidraria, construção civil, refratários e abrasivos vêm sendo discutidas. A adaptação de prensas mecânicas nacionais para a elaboração da pedra pavê e outros produtos comerciais representa uma forma concreta de aproveitamento parcial dos rejeitos.

3.5 – Produção, Custos e Preços de Venda

3.5.1 – Centro Produtor São Thomé das Letras

No Centro Produtor São Thomé das Letras, foram cadastradas 25 pedreiras, sendo 15 no município de São Thomé das Letras e 10 no município de Luminárias. As lavras de quartzitos da região se alinham grosseiramente de SW para NE, ao longo dos municípios de Conceição do Rio Verde, São Thomé das Letras e Luminárias (**Figura 3.2**).

Estima-se que neste centro produtor se produzam cerca de 2.4 milhões de m²/ano de placas de quartzitos, o que representa cerca de 140 mil t/ano envolvendo cerca de 1.000 empregados diretamente com as operações de extração na região (**Tabela 3.1**). Os custos de produção fornecidos pelas empresas extratoras oscilam entre R\$ 4,00 e R\$ 7,20 o m². As Pedras São Thomé, de melhor qualidade, são ofertadas pela mesma base de preços nos mercados interno e externo. Lajotas padronizadas com faces naturais, não calibradas,

possuem preços de vendas entre US\$ 25 e US\$ 35 o m² (base Belo Horizonte). Materiais inferiores, mais escamáveis e friáveis, também oferecidos como Pedra São Thomé no mercado interno, possuem preços oscilando entre R\$ 12,00 e R\$ 16,00 o m² (**Tabela 3.1**).

O metro linear de degraus do Quartzito São Thomé em peças com 32 a 45 cm de largura é comercializado pela mesma base de preços que o metro quadrado de lajotas. Os Quartzitos Rio Verde, de boa qualidade, alcançam preços 10 a 15 % menores que os Quartzitos São Thomé.

3.5.2 – Centro Produtor Alpinópolis

No Centro Produtor Alpinópolis, foram cadastradas 15 pedreiras, sendo 07 no município de Alpinópolis, 03 no município de Capitólio, 03 no município de São João Batista do Glória e 02 no município de São José da Barra. Outras lavras em início de operação foram registradas no município de São João do Glória. O valor estimado para este centro, é que se produzam em média 850 mil m²/ano de placas de quartzito, representando cerca de 50 mil t/ano, envolvendo cerca de 500 empregados com as operações de extração.

Os custos de produção, fornecidos pelas empresas extratoras deste centro produtor, oscilam entre R\$ 2,80 e R\$ 4,80 o m². Os Quartzitos de Alpinópolis são genericamente designados como Pedra Mineira, possuindo preços de vendas mais baixos do mercado entre todos os similares, sendo comercializados com valores *FOB-mina* variando entre R\$ 3,00 e R\$ 5,50 o m² para as lajotas brutas e entre R\$ 8,00 e R\$ 10,00 o m² para as placas esquadrejadas (**Tabela 3.1**).

3.5.3 – Centro Produtor Ouro Preto

Estima-se que o Centro Produtor Ouro Preto seja responsável por uma produção total por volta de 480 mil m²/ano de placas de quartzito, representando cerca de 27,5 mil t/ano, envolvendo cerca de 350 empregados nas operações de extração.

A Empresa Passagem Mineração S.A. possui um talha blocos, produzindo placas calibradas, as quais são montadas e polidas no local de assentamento, dando um acabamento pouco inferior às placas que são produzidas em teares e polidas com politrizes multi-cabeças. A produção destes tipos na empresa alcança uma média de 12.000 m²/ano.

Centro Produtor	Produção (m ² /Ano)	Custos (R\$/m ²)	Preços de Venda (US\$/m ²)
São Thomé das Letras	2,4 milhões de m ² /ano	R\$ 4,00 a R\$ 7,20 o m ²	US\$ 25 a US\$ 35 o m ² de Lajota
Alpinópolis	850 mil m ² /ano	R\$ 2,80 e R\$ 4,80 o m ²	R\$ 3,00 a R\$ 5,50 o m ² de Lajota bruta e R\$ 8,00 a R\$ 10,00 o m ² de Placas
Ouro Preto	480 mil m ² /ano	R\$ 3,80 a R\$ 8,00 o m ²	R\$ 7,00 a R\$ 9,00 o m ² de Lajota e R\$ 14,00 a R\$ 17,00 o m ² de Placas
Diamantina	120 mil m ² /ano	R\$ 2,00 a R\$ 4,00 o m ²	R\$ 4,00 a R\$ 6,00 o m ² de Lajotas brutas e R\$ 9,00 a R\$ 12,00 o m ² de Placas

TABELA 3.1: Dados de Produção, Custos e Preços de Venda para os quatro Centros Produtores do Estado de Minas Gerais. Fonte: CHOID FILHO (1997).

A Empresa Quartzito Ouro Preto Ltda., é a única do ramo que produz blocos para serem desdobrados em teares. A pequena produção deste tipo não ultrapassa 240 m³/ano, o que equivale a produção de 6.000 m²/ano. Segundo informações da empresa, o custo de produção gira em torno de R\$ 50,00 o m², com preço de venda atingindo patamares entre R\$ 70,00 e R\$ 120,00 o m².

Para as chapas extraídas diretamente nas pedreiras, os custos de produção fornecidos pelos mineradores, oscilam entre R\$ 3,80 e R\$ 8,00 o m². Os preços de venda *FOB-mina* fornecidos variam de R\$ 7,00 a R\$ 9,00 o m² para lajão, e de R\$ 14,00 a R\$ 17,00 o m² para as placas esquadrejadas com faces naturais (Tabela 3.1).

Os quartzitos de boa qualidade, sem polimento, deste centro de produção conhecido comercialmente como Pedra Ouro Preto, alcançam preços 10 a 15 % inferiores aos produzidos na região de São Thomé das Letras, ou seja, variando entre US\$ 20,00 e US\$ 30,00 o m² (base Belo Horizonte).

3.5.4 – Centro Produtor Diamantina

O valor estimado para o Centro Produtor Diamantina é por volta de 120 mil m²/ano de placas de quartzito, representando cerca de 07 mil t/ano, envolvendo cerca de 60 empregados diretamente nas operações de extração. Os custos de produção fornecidos pelas empresas extratoras oscilam entre R\$ 2,00 e R\$ 4,00 o m² (**Tabela 3.1**).

Os quartzitos deste centro de produção, conhecidos como Pedra Diamantina, são comercializados no local com preços variando entre R\$ 4,00 e R\$ 6,00 o m² para as lajotas brutas, e entre R\$ 9,00 e R\$ 12,00 o m² para as placas esquadrejadas. O esquadrejamento das placas é efetuado manualmente, com talhadeiras e esquadros metálicos ainda na pedreira, ou através de serras com discos diamantados nas pequenas unidades de beneficiamento existentes na região.

3.6 – Utilização

Como rochas que possuem superfícies naturais antiderrapantes, homeotermas e resistentes à abrasão, os Quartzitos São Thomé, são muito utilizados para pisos externos, sobretudo de áreas do entorno de piscinas, fontes, espelhos d'água, tanques, etc., onde suas propriedades drenantes são bastante valorizadas.

As placas extraídas são naturais e geralmente o acabamento escolhido é o polimento, que dá brilho e impermeabiliza a rocha. As placas polidas são largamente usadas em fachadas, pisos internos, bancadas, pias e mesas, revestimentos verticais externos e internos fixados por argamassa, enquanto que, as placas naturais, são utilizadas tanto para pavimentos (pisos) externos e internos.

3.6.1 - Produto

As placas extraídas nas frentes de lavras em São Thomé das Letras, e Luminárias, todas pertencentes ao Centro produtor de São Thomé das Letras, são beneficiadas nas marmorarias em Três Corações da Empresa Sales Andrade Indústria e Comércio de Pedras Ltda., apresentando como resultado os seguintes produtos:

- ◆ Lajotas padronizadas com faces naturais;
- ◆ Placas esquadrejadas com faces naturais;
- ◆ Placas esquadrejadas com acabamento;
- ◆ Degraus;
- ◆ Cavacos;
- ◆ Palitos;
- ◆ Pedra pavê.

CAPÍTULO 4 - GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

4.1 – Situação Regional

Dentro do contexto geológico regional o Centro Produtor de São Thomé das Letras encontra-se inserido na denominada Faixa Alto Rio Grande (ALMEIDA & HASUI 1984), a qual é representada por um pacote de rochas supracrustais que compreende os grupos Andrelândia, a sul, e São João Del Rei, a norte, atribuídos geocronologicamente ao Meso e Neoproterozóico respectivamente.

4.2 - Grupo Andrelândia

4.2.1 - Aspectos Litoestratigráficos

Inicialmente, devido a sua complexidade lito-estrutural, EBERT na década de 50, definiu para os metassedimentos da região de Andrelândia uma estratigrafia baseada no empilhamento das unidades litológicas, sem definir formações. Sendo assim, denominou o conjunto litológico de Série (EBERT 1956 a) e, posteriormente, Grupo Andrelândia (EBERT 1968).

O Grupo Andrelândia (EBERT 1968) é constituído do topo para a base por: (1) micaxistos claros com muscovita, granada, cianita, estauroлита e rutilo; (2) micaxistos escuros, ricos em biotita, plagioclásio e, geralmente, com granada; (3) quartzitos puros ou com moscovita, cianita e granada; e (4) metarcóseos listrados com camadas de biotita.

Posteriormente vários trabalhos de cunho regional foram desenvolvidos na Bacia Andrelândia, dentre os quais, podemos destacar os da CPRM na década de 70; FONSECA et al. (1979); MACHADO FILHO et al. (1983);

TROW et al. (1980; 1982; 1983; 1984 e 1986); ANDREIS et al. (1987); RIBEIRO et al. (1990) e ALMEIDA (1992).

TROW et al. (1980; 1982; 1983 e 1984), iniciaram os trabalhos de mapeamento geológico sistemático em escala 1:25.000 e 1:50.000. Esses autores definiram um novo grupo, o qual denominaram de Grupo Carrancas, que contém duas formações: a Formação São Thomé das Letras e a Formação Campestre. Segundo os autores acima citados, estes metassedimentos mostram características intermediárias entre os do Grupo São João Del Rei e os do Grupo Andrelândia, ambos descritos por EBERT (1956a). Posteriormente, TROW et al. (1986) abandonaram o termo Grupo Carrancas e apresentam uma coluna litoestratigráfica mais detalhada para o Grupo Andrelândia, com cinco unidades expostas a seguir, da base para o topo:

Unidade A: Biotita gnaisse fino bandado com metaultramáficas;

Unidade B: Biotita gnaisse fino bandado com quartzitos e xistos;

Unidade C: Xistos grosseiros ricos em biotita e moscovita, com quartzito e anfibolito subordinado;

Unidade D: Biotita gnaisse, homogêneo, com quartzitos, quartzo-xistos e anfibolitos associados;

Unidade E: Xistos grosseiros, ricos em plagioclásio e rutilo, com intercalações freqüentes de gnaisses, anfibolitos, quartzo-xisto, quartzitos, biotita gnaisse homogêneo, rochas cálcio-silicáticas, gondito, e lentes de rochas metaultramáficas.

Posteriormente TROW et al. (1987) propuseram para a área de São Tomé das Letras uma coluna tectono-estratigráfica mais detalhada descrevendo nove ciclos deposicionais, conforme mostrado na **Figura 4.1**.

4.2..2 - Evolução da Bacia Andrelândia

A evolução desta bacia foi estudada em detalhe por PACIULLO et al. (1993); RIBEIRO et al. (1995); PACIULLO (1997). Os metassedimentos da Bacia

Andrelândia podem chegar até cerca de 1.500 m de espessura. A associação de litofácies basal é composta por uma sucessão de paragneisses com intercalações de anfibolitos, interpretados como representante de depósitos continentais relacionados com o estágio inicial de rifiteamento (Unidade 01, **Figura 4.2**).

Estes depósitos são sobrepostos por uma sucessão de paragneisses e intercalações de quartzitos interpretados como representantes de estágios de para-seqüências retrogradacionais (Unidade 02, **Figura 4.2**). A para-seqüência foi produzida por um retrabalhamento parcial dos depósitos sotopostos durante as oscilações do nível do mar associado com uma superficial mais presente transgressão marinha rasa. Esta segunda unidade grada para o topo para uma sucessão plataformal quartzítica (Unidade 03, **Figura 4.2**).

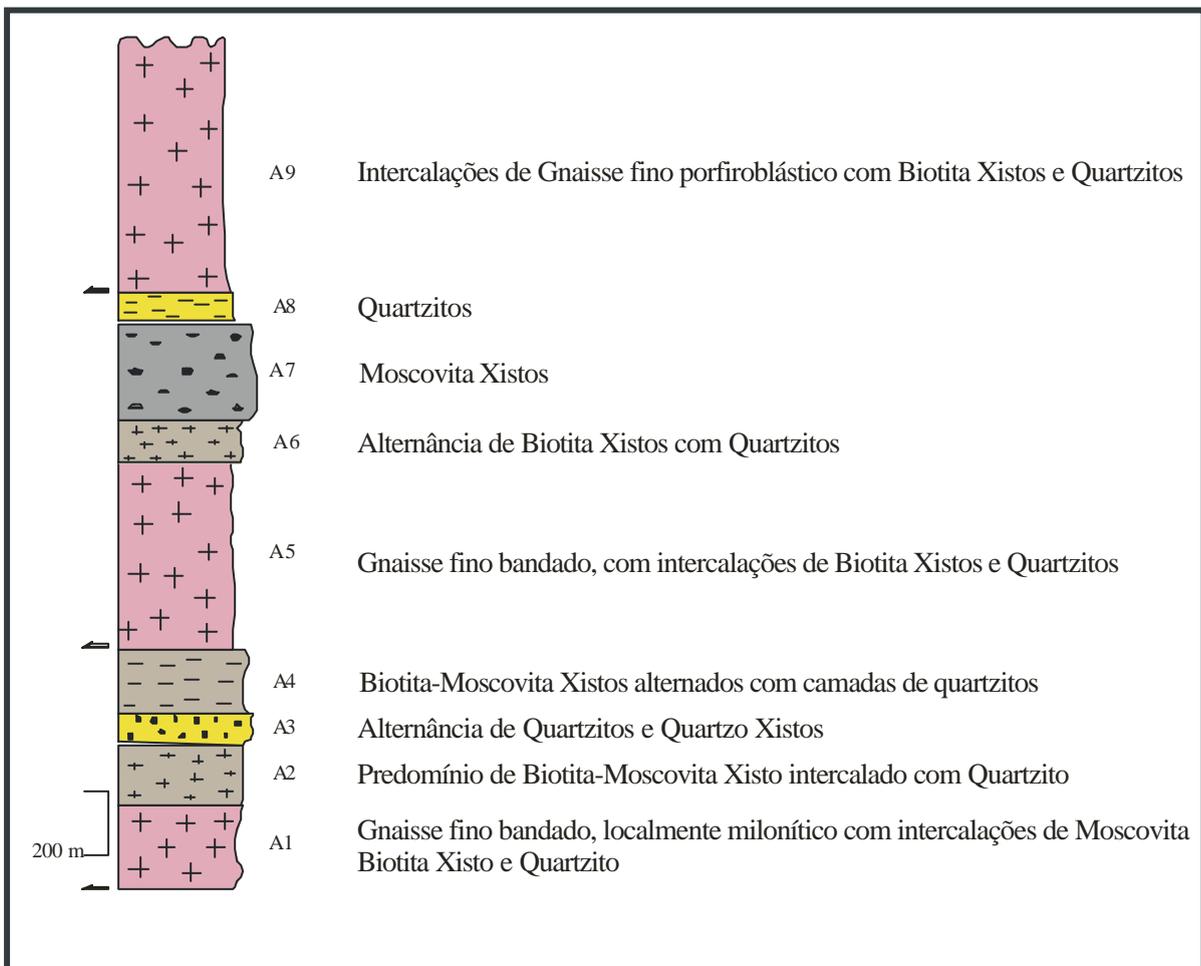


Figura 4.1: Coluna tectono-estratigráfica para a região de São Thomé das Letras. Fonte: TROW et al. (1987).

Um contato brusco no topo desta unidade quartzítica separa a mesma de uma sucessão de camadas metapelíticas cinzas (Unidade 04, **Figura 4.2**), que representa uma rápida ascensão relativa do nível do mar. Para o norte, essas camadas de pelitos parcialmente cobrem áreas do embasamento e também sucessões da Bacia Carandaí, enquanto para o sudoeste, elas gradam para associações de litofácies profundas (Unidade 06, **Figura 4.2**).

Embora camadas de pelitos continuassem a se depositar em partes profundas da bacia, finíssimos níveis de turbiditos e pelitos foram depositados em áreas desenvolvidas próximas a borda da plataforma. Eles são representados por biotita xistos com escassos conglomerados e intercalações de fluxos de colapso, contendo clastos de rochas do embasamento (Unidade 05, **Figura 4.2**).

		Associações de Litofácies/Unidades	Páleo-Ambiente Interpretado	Estágios Evolutivos da Bacia
		(6) Biotita xistos/gnaisses, com intercalações de rochas cálcio-silicáticas e anfíbolitos (5) Biotita xistos, escassos diamictitos e conglomerados	Marinho Profundo (Offshore), Deltas Submarinos e Planícies de Bacias	Fase de Avanço
		(4) Metapelitos esverdeados (filitos/xistos) com quartzitos subordinados	Marinho Raso (Shoreface) A Marinho Profundo (Offshore)	
		(3) Quartzitos com mica verde, xistos e conglomerados subordinados	Marinho Raso (Shoreface)	
		(2) Paragneisses com intercalações de quartzitos, xistos e anfíbolitos	Misturado Planície Costeira Magmatismo Toleítico (enriquecido - Tipo MORB)	Fase Proto-Oceânica
	B A - Alto B - Baixo	A (1) Paragneisses com intercalações de anfíbolitos	Continental Planície Costeira (Sistema de Rios Entrelaçados com Areias Feldspáticas) Magmatismo Toleítico (Basaltos Continentais)	Fase Rift ?
		Embasamento Cristalino		

Figura 4.2: Seqüências deposicionais e associações de litofácies da Bacia Andrelândia: Fonte: PACIULLO & RIBEIRO (1997).

Para o topo, esta sucessão é seguida por depósitos sucessivos de pelitos (topo da Unidade 05) que cavalga o embasamento e sedimentos mais antigos da Bacia Andrelândia. Os turbiditos e depósitos associados registram um

período de descida possivelmente relacionado com a Glaciação Riphean, enquanto que as camadas de pelitos sobrepostas representam um período de ascensão provavelmente produzido pelo aumento do nível do mar glácio-eustático.

A Sexta unidade é composta de biotita xisto, gnaiss (incluindo granulitos de alta pressão) com silicatos cálcicos, cherts manganésíferos e intercalações de anfibolitos (Unidade 06, **Figura 4.2**). Esta unidade representa a deposição contínua sobre o talude e áreas do assoalho oceânico, durante a evolução inteira da Bacia Andrelândia.

As unidades anfibolíticas são interpretadas como sendo derivadas de basaltos do Tipo MORB (Middle Oceanic Ridge Basalt) até transicionais (GONÇALVES & FIGUEIREDO 1992; PACIULLO 1997). Eles registram uma idade modelo T_{DM} Sm/Nd de cerca de 1,2 a 1.5 Ga, e ϵNd (1.0 Ga valores de + 4.8 e + 3.1), suportando sua derivação de um reservatório de manto empobrecido com um pequeno tempo de residência crustal (HEILBRON et al. 1990).

4.3 - Deformação e Metamorfismo

EBERT (1955, 1956, 1967 e 1971), com base no reconhecimento da trama estrutural, caracterizada por uma tectônica de imbricamento com falhas de empurrão e *nappes*, estabeleceu correlações regionais com outros metassedimentos alóctones. Concluiu que o metamorfismo aumentava de norte (região de São João Del Rei) para o sul (região de Andrelândia), evidenciando vergência estrutural para norte em direção a área cratônica.

FONSECA et al. (1979) definem uma tectônica de escamamento, em regime plástico, típica para cobertura. Quanto ao metamorfismo atestam zoneamento metamórfico que evolui desde a fácies xisto verde até a fácies anfibolito.

MACHADO FILHO et al. (1983) colocam o Grupo Andrelândia como pertencente ao Domínio III, com empurrões e presença de dobras abertas tardias. Com relação ao metamorfismo definem um zoneamento progressivo para sul do tipo Barroviano, atingindo a migmatização nas porções meridionais.

CAPÍTULO 5 - GEOLOGIA LOCAL E ASPECTOS ESTRUTURAIS DOS QUARTZITOS NO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

5.1 - Geologia Local

5.1.1 - Quartzitos da Região de São Thomé das Letras

No município de São Thomé das Letras (MG) afloram rochas quartzíticas que constituem as cristas das principais serras da região com direção predominantemente **NE - SW**. Seus mergulhos suaves a subhorizontais exibem feições geomorfológicas de mesas e cuestras, com escarpas íngremes no lado oposto ao mergulho das camadas. Nas encostas suaves das serras se instalam as frentes de lavras para exploração dos quartzitos como pedra ornamental (**Foto 5.1 – Prancha 3**). Esses quartzitos são de coloração predominantemente esbranquiçada, amarelada e rosada, designados comercialmente de Pedra São Thomé Branco, Amarelo e Róseo.

Macroscopicamente as três variedades (branco, amarelo e róseo), possuem características petrográficas semelhantes. São rochas de coloração clara, que apresentam uma estrutura foliada/laminada bem marcada, paralela a subparalela à uma possível estrutura primária sedimentar (S_0), caracterizada pela alternância de níveis quartzosos e níveis micáceos, com espessuras variando de milímetros a centímetros (**Foto 5.2 – Prancha 3**). Os níveis estão comumente repetidos afetados por dobras isoclinais apertadas recumbentes (**Foto 5.3 – Prancha 3**).

A diversidade de coloração nessas rochas é marcante, apresentando como cores dominantes quartzitos branco, amarelo e róseo. Esta variação na coloração ocorre verticalmente e lateralmente através de contato brusco, inviabilizando uma padronização na obtenção de um único tipo (**Foto 5.4 – Prancha 4**).

A passagem de um nível para outro é marcada por contato brusco, onde se observam níveis irregulares e descontínuos que se intercalam exibindo níveis com espessuras variadas centimétrica a métrica (**Foto 5.4 – Prancha 4**).

A variação na coloração se dá devido à alteração dos minerais opacos presentes (tais como: rutilo, magnetita e ilmenita) e à presença da foliação, a qual permite a percolação de fluídos ocasionando também a alteração dos níveis micáceos (**Foto 5.4 – Prancha 4**).

Os níveis de coloração esbranquiçados são predominantes e ocorrem intercalados aos níveis amarelados e também rosados. Apresentam espessuras que variam de centimétrica a métrica, predominando os níveis centimétricos. Os quartzitos amarelos constituem níveis mais superiores, geralmente ocorrendo sotoposto ao capeamento do solo (porção superior), sendo, porém, mais susceptível, aos processos de alteração devido à percolação de águas meteóricas (**Foto 5.4 – Prancha 4**). Os níveis de coloração rosada são observados nas extremidades da frente de lavra, ocorrendo também em quantidades menores em relação aos níveis esbranquiçados (**Foto 5.4 – Prancha 4**). Nesta variedade observa-se um intenso fraturamento caracterizado por um espaçamento centimétrico que aliado a sua localização na frente de lavra e a ação intempérica, caracteriza esta variedade como bastante friável.

Composicionalmente essas variedades de quartzitos são mais puras, mostrando uma composição predominantemente quartzosa que se alterna a delgados níveis enriquecidos em muscovita, responsáveis pela partição das placas. Na variedade de quartzito branco, observaram-se níveis de composição predominantemente quartzosa, com espessuras centimétrica a métrica e estrutura com aspecto maciça, os quais não são aproveitados na produção de placas, por não desenvolverem planos de partição.

5.1.2 - Quartzitos da Região de Luminárias

Os quartzitos da região de Luminárias também afloram em porções de relevo elevado, constituindo as cristas das serras na região. Geomorfologicamente exibem também feições de mesas e cuevas com escarpas (*front*) íngremes no lado

oposto ao mergulho das camadas (reverso da cuesta). Esses quartzitos são de coloração predominantemente esverdeada e designados comercialmente como pedras Luminárias, Carrancas e Carranquinha.

Esses quartzitos diferem dos da região de São Thomé das Letras, principalmente pela coloração esverdeada em tons fortes caracterizada pela grande quantidade de muscovita (geralmente entre 15 e 30 %) na sua composição (**Foto 5.5 – Prancha 5**).

Os quartzitos Luminárias, Carrancas e Carranquinha afloram na localidade da Serra Grande, e normalmente apresentam coloração esverdeada em tons fortes, com presença de manchas avermelhadas ao longo do plano de foliação, evidenciada pela grande quantidade de muscovita e por cristais de granada. Apresentam no plano da foliação principal da rocha, figuras arborescentes desenhadas por dendritos de óxidos e/ou hidróxidos de manganês (**Foto 5.6 – Prancha 5**).

Esses quartzitos caracterizam-se também pela estrutura bandada/foliada bem desenvolvida, paralela a subparalela à uma possível estrutura primária (S_0). A estrutura bandada é evidenciada através da alternância de níveis muscovíticos, quartzosos e níveis enriquecidos em minerais opacos, que normalmente apresentam espessuras da ordem de milímetros a centímetros (**Foto 5.7 – Prancha 5**).

Apresentam granulação média (Quartzito Carrancas - **Foto 5.8 – Prancha 6**), fina (Quartzito Luminárias - **Foto 5.9 – Prancha 6**) e muito fina (Quartzito Carranquinha - **Foto 5.10 – Prancha 6**). Essa variação granulométrica nas variedades de quartzitos da região de Luminárias possivelmente está condicionada a zonas de maior e menor deformação, bem como de diferentes níveis composicionais na época da sedimentação. Os contatos são bruscos ocorrendo verticalmente dentro de todo o maciço rochoso.

O Quartzito Carrancas ocorre como camadas muito finas em porções intermediárias no pacote quartzítico, condicionado possivelmente às zonas de maior deformação e recristalização metamórfica. Por outro lado, o Quartzito Carranquinha ocorre nas porções superficiais das pedreiras, relacionando-os às zonas de maior deformação. Por último, o Quartzito Luminárias de maior dominância, ocorre

predominantemente nas pedreiras da região, constituindo zonas de deformação intermediária aos Quartzitos Carrancas e Carranquinha.

5.2 - Aspectos Estruturais

Durante o processo da lavra das rochas ornamentais do Centro Produtor de São Thomé das Letras na região de São Thomé das Letras e Luminárias, observa-se o aparecimento de trincas e fissuras com espaçamentos e direções variadas, causadas pelas detonações com explosivos, resultando numa baixa recuperação da lavra.

Em geral os corpos rochosos são marcados por uma foliação metamórfica com baixo mergulho paralelizado a subparalelizado possivelmente ao acamamento sedimentar S_0 . Essa foliação encontra-se eventualmente dobrada isoclinalmente com repetição de camadas e cortada por várias gerações de fraturas com direções distintas e com espaçamentos heterogêneos.

5.2.1 - Foliação

Os Quartzitos São Thomé na região de São Thomé das Letras apresentam planos de foliação bem desenvolvidos de direção **NE - SW** (N30°E a N40°E) e mergulhos baixos (entre 10 e 20°) para **NW** (290 a 310°). Esses planos são condicionados por minerais micáceos, resultando na ocorrência de planos preferenciais de partição, aproveitados para a abertura de chapas e desacoplamento direto no corpo rochoso (**Foto 5.11 – Prancha 7**). Esses valores são coincidentes com as medidas de foliação registrados em diversos trabalhos geológicos a nível regional.

A medida dos planos de foliação tomadas em São Thomé das Letras apresenta a seguinte atitude (N34°E) mergulhando 17° para **NW**, representando a média de todas as foliações (**Figura 5.1A**).

Uma lineação de estiramento (Lx) de quartzo encontra-se bem marcada no plano da foliação metamórfica. Essa lineação possui um caimento em torno de 20°, geralmente para **NW** (N56°W), caracterizando um transporte tectônico

de baixo ângulo de **NW** para **SE** (**Foto 5.12 – Prancha 7**), colocando os quartzitos em contato com os gnaisses finos na região de São Thomé das Letras através de uma falha de empurrão.

Os quartzitos de Luminárias (Serra Grande) apresentam planos de foliação com direção geral **NNW - SSE** (N05°W a S05°E) e mergulhos muito suaves (entre 03 e 05°) para **SW** (260 a 265°). Esses planos também são condicionados por minerais micáceos, semelhantes aos encontrados em São Thomé das Letras, resultando na ocorrência de planos aproveitados para a abertura de chapas e desacoplamento direto do material no corpo rochoso.

A foliação dos quartzitos em Luminárias apresenta a seguinte atitude (N05°W) com mergulhos de 04° para **SW**, representando a média de todas as foliações medidas na área estudada (**Figura 5.1B**).

5.2.2 - Fraturas

As fraturas são observadas em toda a extensão da região de São Thomé das Letras e Luminárias, com espaçamentos variáveis e heterogêneos entre as famílias, desde centímetros (**Foto 5.13 – Prancha 7**) até metros (**Foto 5.14 – Prancha 8**). Nos locais onde os fraturamentos são intensos ocorrem uma taxa de recuperação muito baixa, em torno de 10 a 15 % e, conseqüentemente uma maior quantidade de rejeito.

Com base nas medidas tomadas em campo para os planos de fraturas na região de São Thomé das Letras, foram identificadas no corpo rochoso quatro famílias principais de acordo com a sua direção. A primeira família possui direção preferencial variando entre N00°E a N10°E (**Figura 5.1C**), enquanto que a segunda família, está compreendida entre N00°W a N10°W (**Figura 5.1D**). Estas fraturas na verdade possui direção similar as da primeira família, porém com sentidos de mergulhos distintos (**Foto 5.15 – Prancha 8**). A terceira família de fraturamento é ortogonal à primeira e à segunda (**Foto 5.16 – Prancha 8**), com direções compreendidas entre S20°W a S10°W (**Figura 5.1E**). A quarta família de fraturas está compreendida entre a primeira e terceira famílias, com direções entre N30°W e N40°W (**Figura 5.1F**).

Para a região de Luminárias foram identificadas cinco famílias principais de juntas de acordo com sua direção e sentido de mergulho. A primeira família possui direção preferencial variando entre N80°W a N90°W (**Figura 5.2A**), enquanto que a segunda família possui também direção preferencial variando entre N70°W a N80°W, porém com mergulhos contrários (**Figura 5.2B**). A terceira família de fraturamento é ortogonal a primeira e a segunda, com direção variando entre N20°E a N30°E (**Figura 5.2C**). A quarta e quinta famílias de fraturamento faz um ângulo agudo entre as três primeiras famílias acima citadas. A quarta família possui direção preferencial N50°W a N40°W (**Figura 5.2D**), enquanto que a quinta possui direção variando entre N90°E a N80°E (**Figura 5.2E**).

O arranjo geométrico dos fraturamentos aliados ao uso dos explosivos utilizados na lavra dos quartzitos em São Thomé das Letras e Luminárias, ativa os planos de fraqueza preexistentes na rocha, levando a uma fragmentação intensa, gerando uma quantidade enorme de rejeitos (em torno de 80 a 85%).

Esses padrões de fraturamento encontrados nos quartzitos de São Thomé das Letras e Luminárias fazem com que as pedreiras não consigam a exploração de placas de grandes dimensões. Os principais fatores condicionantes dessa limitação referem-se à incidência de fraturamento com espaçamento heterogêneo variando de centimétrico a métrico, à fragmentação causada por técnicas impactantes de desmontes e a intercalação de níveis puramente quartzosos que não sofrem partição.

Comumente o material lavrado está condicionado principalmente a placas com dimensões pequenas utilizados principalmente para revestimentos externos e internos (pisos). A grande quantidade de famílias de fraturamento e as várias direções existentes condicionam a essa característica, gerando quantidades enormes de perdas ou rejeitos. Os efeitos do fraturamento e das técnicas inadequadas de lavra, determinam a geração de cacos com dimensões inferiores às dos principais produtos comercializados, enquanto os níveis não delamináveis (puramente quartzosos), geram placas com espessura superior à dos produtos mais convencionais.

Nos locais do corpo rochoso lavrado onde o fraturamento caracteriza-se pela presença de um espaçamento com dimensões de vários metros, são

retirados placas e lajões dos principais produtos comercializados em São Thomé das Letras.

6 - ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

6.1 - Quartzitos da Região de São Thomé das Letras

Os quartzitos desta região são denominados comercialmente de pedra São Thomé Branca, Amarela e Rósea. Nas frentes de lavra observa-se a ocorrência dos três tipos, com predominância da variedade branca sobre as demais. A identificação dos diferentes tipos se dá através da variação de coloração evidenciada por contato brusco horizontal, vertical e lateral. Os níveis são descontínuos e irregulares com espessuras que variam de centímetros a metros, inviabilizando uma padronização de um único tipo.

Esses quartzitos possuem características macroscópicas semelhantes, com foliação pronunciada de direção **NE - SW**, mergulhos baixos e uma lineação mineral definida pela orientação da muscovita. Microscopicamente são rochas constituídas essencialmente por quartzo e muscovita, possuindo textura granoblástica fina com grãos minerais variando entre (0,1 e 0,6 mm).

6.1.1 - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Branco)

Esta variedade de quartzito ocorre principalmente no Município de São Thomé das Letras e predomina sobre as demais variedades. Nas frentes de lavra ocorrem intercalados aos quartzitos amarelos, sendo a passagem de um nível para outro marcado por contato brusco.

A rocha, tanto no estado seco como no estado úmido, possui coloração esbranquiçada levemente acinzentada marcada pela presença de manchas de óxido de manganês na superfície da foliação. Possui uma estrutura foliada/laminada bem proeminente paralela a subparalela a uma possível estrutura primária sedimentar (S_0), caracterizada pela alternância de níveis micáceos e quartzosos, com espessuras milimétrica a centimétrica, respectivamente (**Foto 6.1 – Prancha 9**).

Microscopicamente a rocha é composta essencialmente por quartzo (90-95%) e muscovita (05-10%) e, acessoriamente plagioclásio (Tr), turmalina (Tr), zircão (Tr), magnetita (Tr) e rutilo (Tr). Exibe textura granoblástica fina (**Foto 6.2 – Prancha 9**) caracterizada pela predominância de grãos de quartzo, com tamanho variando entre 0,1 e 0,5 mm. Observa-se de forma bastante discreta, mas o suficiente para provocar a partição das placas, leitos enriquecidos em muscovita, gerados por delgadas lamelas, os quais encontram-se alinhados iso-orientados e descontínuos entre si (**Foto 6.2 Prancha 9**).

Quanto ao grau de alteração, a rocha encontra-se bem preservada, não tendo sido observada nenhuma transformação mineralógica nos minerais silicáticos. Constatou-se apenas uma textura de exsolução entre as fases opacas, principalmente entre a magnetita e a titano-magnetita, e a titano-magnetita e o rutilo (**Foto 6.3 – Prancha 9**).

No que se refere ao estado microfissural, os grãos dos minerais constituintes da rocha, apresentam grau de fraturamento incipiente, tendo sido observado apenas em alguns poucos grãos de quartzo e de minerais opacos microfraturamento intergranular. A deformação é caracterizada pela forte orientação das palhetas de muscovita, *ribbons*, extinção ondulante e contatos poligonizados dos grãos de quartzos.

O quartzo é o mineral predominante e apresenta-se sob a forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos, com tamanho variando entre 0,1 e 0,5 mm. Exibe extinção ondulante e observam-se alguns grãos alongados e outros fraturados. Os contatos entre os grãos são dos tipos serrilhado, misto, reto, e lobulares, sendo que predominam os contatos mistos.

A muscovita encontra-se sob a forma de delgadas lamelas hipidiomórficas com tamanhos entre 0,1 e 0,3 mm, iso-orientadas e descontínuas entre si.

Os acessórios são representados pela turmalina que se apresentam sob a forma de grãos hipidiomórficos a idiomórficos zonados, com tamanhos em torno de 0,1 mm e, minerais opacos como magnetita e rutilo, que ocorrem sob a forma de delgados cristais alongados e orientados, normalmente observados nos contatos dos grãos de quartzo e também inclusos nos mesmos.

6.1.2 - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Amarelo)

Os quartzitos amarelos, assim como os tipos brancos, afloram no município de São Thomé das Letras. Nas frentes de lavra essas rochas constituem níveis mais superiores, portanto, mais susceptíveis aos processos de alteração devido à percolação de águas meteóricas (**Foto 6.4 – Prancha 10**).

A rocha, tanto no seu estado seco como no estado úmido, possui coloração amarelada a levemente avermelhada, marcada pela presença da alteração/oxidação dos minerais opacos. Exibe uma estrutura foliada/laminada bem proeminente paralela a subparalela a um possível acamamento sedimentar **S₀** (**Foto 6.4 – Prancha 10**). As placas de rochas desta variedade apresentam pequenos desníveis dos leitos, caracterizando uma estratificação cruzada com mergulhos suaves.

A rocha é constituída essencialmente por quartzo (90-95%) e muscovita (5-10%) e como acessórios ocorrem biotita (Tr), turmalina (Tr), zircão (Tr), magnetita (Tr) e rutilo (Tr). Microscopicamente a rocha apresenta textura granoblástica fina com tamanhos dos grãos variando entre 0,1 e 0,6 mm (**Foto 6.5 – Prancha 10**).

Observa-se a presença de alteração intempérica durante a percolação de fluidos principalmente de água meteórica nos planos de foliação da rocha (**Foto 6.4 – Prancha 10**). Essa percolação resulta na oxidação do Fe⁺², presente nos minerais opacos (magnetita + rutilo) imprimindo uma coloração amarelada a avermelhada no plano de foliação da rocha. Outros tipos de transformações mineralógicas evidentes são a substituição parcial das palhetas de muscovita por biotita (biotitização), e uma textura de exsolução entre a magnetita e o rutilo (**Foto 6.6 – Prancha 10**).

A deformação é marcada pela presença da orientação proeminente das palhetas de muscovita, extinção ondulante e contornos poligonizados dos grãos de quartzo e alongamento dos grãos dos minerais opacos (**Foto 6.5 – Prancha 10**). No que se refere ao estado microfissural, os minerais apresentam-se bem coesos, sem fraturamentos expressivos. Apenas poucos grãos de quartzo apresentam fraturamento intragranular.

O quartzo é xenomórfico a hipidiomórfico com contatos serrilhados, mistos, lobulares e retos, predominando os mistos. Alguns grãos encontram-se fraturados e alongados com extinção ondulante em chama e tamanhos entre 0,1 e 0,6 mm.

A muscovita apresenta-se sob a forma de palhetas hipidiomórficas que podem variar de 0,1 mm até 0,4 mm de comprimento. Localmente observa-se transformação das mesmas para biotita (processo de biotitização).

A mineralogia acessória é representada pelo zircão idiomórfico incluso em grãos de quartzo. A turmalina ocorre sob a forma de cristal idiomórfico zonado, com tamanho em torno de 0,1 mm. Os minerais opacos representados pela magnetita e rutilo ocorrem sob a forma de pequenos grãos hipidiomórficos, alongados e isorientados, com tamanho em torno de 0,1 mm.

6.1.3. - Quartzito São Thomé (Muscovita Quartzito Róseo)

Os quartzitos róseos também afloram no município de São Thomé das Letras, e suas ocorrências são observados nas extremidades das frentes de lavra em quantidades inferiores em relação aos níveis esbranquiçados e amarelados. Normalmente encontram-se intercalados aos níveis amarelados, sendo esta alternância marcada pela mudança de coloração, que se dá por contato brusco vertical, horizontal e lateral. Os níveis apresentam-se irregulares e descontínuos, inviabilizando uma padronização quanto às dimensões dos mesmos.

A rocha apresenta coloração róseo-clara no seu estado sêco enquanto que no estado úmido a coloração acentua-se ficando com tons mais fortes. Exibe estrutura foliada/laminada marcada pelo bandamento metamórfico paralelizada a uma possível estruturação primária sedimentar S_0 . **(Foto 6.7 – Prancha 11)**. A espessura do bandamento é da ordem milimétrica a subcentimétrica, caracterizada pela alternância de níveis quartzosos e delgados níveis micáceos **(Foto 6.7 – Prancha 11)**.

Microscopicamente a rocha é composta essencialmente por quartzo (90-95%) e muscovita (5-10%) e como mineralogia acessória zircão (Tr), rutilo (Tr) e magnetita (Tr). Apresenta textura granoblástica muito fina, caracterizada pela

predominância dos grãos de quartzo que variam entre 0,1 e 0,3 mm de comprimento **(Foto 6.8 – Prancha 11)**.

A mineralogia silicática não apresenta alteração, principalmente pela condição da predominância de quartzo em sua composição **(Foto 6.8 – Prancha 11)**. Uma textura de exsolução entre a magnetita e o rutilo está presente na rocha **(Foto 6.9 – Prancha 11)**. A deformação é caracterizada pelo alinhamento das palhetas de muscovita, extinção ondulante e contornos poligonizados dos grãos de quartzo e alongamento e orientação dos minerais opacos. No que se refere ao estado microfissural da rocha foram observados alguns poucos planos de fraqueza do tipo fraturamento dos grãos minerais.

O quartzo é o mineral predominante e apresenta-se sob a forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos, com tamanho variando entre 0,1 e 0,3 mm. Exibe comumente extinção ondulante em chama e contatos do tipo reto, serrilhados, mistos e lobulares. O quartzo com contornos serrilhados predominam sobre os demais.

A muscovita encontra-se sob a forma de delgadas palhetas hipidiomórficas iso-orientadas, com tamanho variando entre 0,1 e 0,5 mm. Estão dispersas por toda rocha entre os grãos de quartzo desenvolvendo uma orientação proeminente que define um plano de foliação, responsável pela partição das placas.

Os acessórios estão representados por cristais de zircão idiomórficos com tamanhos em torno de 0,1 mm. Os minerais opacos representados pela magnetita e rutilo encontram-se sob a forma de cristais idiomórficos a hipidiomórficos, às vezes alongados e orientados segundo a foliação principal da rocha.

6.2 - Quartzitos da Região de Luminárias

Os quartzitos da região de Luminárias afloram na localidade da Serra Grande constituindo um dos pontos culminantes da região. São caracterizados principalmente por apresentarem coloração esverdeada em tons variados. Essas rochas na região são denominadas comercialmente como pedras Luminárias, Carrancas e Carranquinha. Os quartzitos descritos mostram uma variação textural

significativa, provavelmente, condicionada a níveis de sedimentação e zonas de deformação distintas.

6.2.1 - Quartzito Luminárias (Muscovita Quartzito Verde)

Esta variedade de quartzito verde é predominante nas pedreiras da região de Luminárias, destacando-se no volume em relação as demais variedades (Carrancas e Carranquinha).

Macroscopicamente a rocha tanto no estado seco como no estado úmido possui coloração esverdeada em tons fortes com manchas avermelhadas ao longo do plano de foliação, caracterizado respectivamente pela grande quantidade de muscovita na sua composição e por cristais de granada (**Foto 6.10 – Prancha 12**). Apresenta estrutura bandada/foliada bem proeminente, paralelizada a sub-paralelizada a uma possível estrutura primaria (**S₀**). A estrutura bandada é marcada pela alternância de níveis micáceos, principalmente de muscovita e quartzosos, que normalmente apresentam espessuras milimétricas a sub-centimétricas.

Microscopicamente a rocha é composta essencialmente por quartzo (65-70%) e muscovita (25-30%), apresentando como mineralogia acessória magnetita (2%), rutilo (1%), microclínio (Tr), turmalina (Tr), ilmenita (Tr), granada (Tr), zircão (Tr), e plagioclásio (Tr). Exibem textura granoblástica fina marcada pela predominância de quartzo com tamanho dos grãos variando entre 0,1 e 0,8 mm (**Foto 6.11 – Prancha 12**). Uma discreta textura granolepidoblástica é observada localmente, caracterizada por níveis enriquecidos em muscovita e minerais opacos estirados principalmente magnetita + rutilo em uma direção preferencial (**Foto 6.11 – prancha 12**).

Quanto a alteração, observa-se uma transformação marcada pela substituição parcial e completa respectivamente de granada (**Foto 6.12 – Prancha 12**) e de muscovita (**Foto 6.13 – Prancha 13**) por minerais opacos (magnetita + rutilo). Essa substituição é mais bem caracterizada nos níveis enriquecidos em minerais opacos.

Outra substituição bem marcada é a textura de exsolução entre magnetita e a titano-magnetita, magnetita e o rutilo (**Foto 6.14 – Prancha 13**) e, de magnetita com flakes de ilmenita (**Foto 6.15 – Prancha 13**).

A deformação na rocha é marcada pelo alinhamento das palhetas de muscovita em uma direção, às vezes com desenvolvimento de mica-*fish*, alongamento dos grãos de minerais opacos, extinção ondulante e textura poligonizada dos grãos de quartzo. O estado microfissural é caracterizado por planos de fraquezas com conseqüente planos de fraturamento resultantes de grandes esforços a que essas rochas foram submetidas, são observados em grau incipiente em alguns grãos de quartzo. No geral os grãos dos minerais na rocha apresenta-se quase que completamente sem fraturamento.

O quartzo apresenta-se como cristais xenomórficos a hipidiomórficos com tamanho variando entre 0,1 e 0,3 mm, contatos retos, mistos, lobulares e serrilhados, predominando os mistos. Exibe extinção ondulante em chama, grãos alongados e outros fraturados.

A muscovita, à luz natural apresenta cor verde-clara e encontra-se sob a forma de palhetas hipidiomórficas com tamanho variando entre 0,1 e 0,8 mm. Localmente as palhetas maiores tendem a formar mica-*fish* e observa-se ainda substituição de muscovita por minerais opacos.

A mineralogia acessória é representada por minerais opacos (magnetita + rutilo + ilmenita) sob a forma de cristais xenomórficos a hipidiomórficos (tamanho entre 0,1 e 0,2 mm), normalmente associados a níveis bem marcados de muscovitas e ocorrem tanto dispersos como também, em níveis orientados segundo a foliação principal. Ocorrem ainda granadas esqueléticas (tamanho 0,1mm) com caráter tardi-tectônica a foliação principal com formas ameboídes principalmente associadas aos minerais opacos (magnetita + rutilo).

6.2.2 - Quartzito Carranquinha (Muscovita Quartzito Verde)

O quartzito Carranquinha aflora nas porções mais superficiais das frentes de lavra na região de Luminárias, relacionado possivelmente às zonas de

maior deformação, constituindo camadas com espessura nunca superior a 3 metros.

Macroscopicamente a rocha apresenta tanto no estado seco como no estado úmido uma coloração cinza a cinza-esverdeada clara (**Foto 6.16 – Prancha 14**). Apresenta estrutura foliada/laminada marcada por um bandamento metamórfico paralela a subparalela a uma possível estruturação primária sedimentar S_0 . A estruturação foliada é marcada por vários e delgados níveis com espessura milimétrica de muscovita + quartzo.

Microscopicamente a rocha é composta essencialmente por quartzo (75-80%) e muscovita (20-25%), apresentando como mineralogia acessória turmalina (Tr), zircão (Tr) e magnetita (< 01%). Apresenta textura granolepidoblástica muito fina com tamanho dos grãos variando entre 0,1 e 0,3 mm, evidenciada por níveis enriquecidos em muscovita alternados de níveis quartzosos (**Foto 6.17 – Prancha 14**).

A rocha não apresenta nenhuma transformação mineralógica evidente. A deformação é caracterizada pela orientação proeminente em uma direção das palhetas de muscovita, extinção ondulante em chama e contornos poligonizados dos grãos de quartzo e alongamento de grãos de magnetita segundo a direção das muscovitas (**Foto 6.18 – Prancha 14**).

A rocha apresenta-se bastante coesa com os grãos minerais evidenciando um padrão de fraturamento significativo, marcado pela presença de fraturas intragranular principalmente nos grãos de quartzo e de magnetita.

O quartzo encontra-se sob a forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos com tamanho entre 0,1 e 0,3 mm, exibindo extinção ondulante em chama e contornos retos, serrilhados, lobulares e mistos. Os contatos lobulares e retos predominam sobre os demais. Poucos grãos encontram-se fraturados e recristalizados/recuperados.

A muscovita está disposta em palhetas hipidiomórficas de até 0,3 mm, dispersa na rocha entre os grãos de quartzo e formando delgados níveis milimétricos.

A mineralogia acessória é representada por minerais opacos (magnetita) que se apresenta como grãos xenomórficos a hipidiomórficos,

alongados e iso-orientados, com tamanho em torno de 0,1 mm. O zircão é hipidiomórfico a idiomórfico com tamanho em torno de 0,1 mm, dispersos na matriz da rocha.

6.2.3 - Quartzito Carrancas (Muscovita Quartzito Verde)

O quartzito Carrancas ocorre como camadas muito finas dentro do pacote quartzítico da região de Luminárias, talvez condicionado, às zonas de maior recristalização metamórfica e níveis sedimentares diferenciados.

Macroscopicamente a rocha tanto no seu estado seco como no estado úmido possui coloração esverdeada a cinza-esverdeada caracterizada pela grande quantidade de muscovita (**Foto 6.19 – Prancha 15**). Pequenas manchas avermelhadas no plano da foliação evidencia a presença de pequenos grãos de granada. A rocha apresenta uma estrutura foliada/laminada com espessura milimétrica, caracterizando um bandamento metamórfico paralelo a sub-paralelo a uma possível estratificação primária sedimentar S_0 .

Microscopicamente a rocha é essencialmente composta por quartzo (80-85%) e muscovita (15-20%) apresentando como mineralogia acessória magnetita (01%), rutilo (< 01%), turmalina (Tr), zircão (Tr), granada (Tr) e plagioclásio (Tr). Exibe textura média-fina, às vezes granolepidoblástica marcada pela predominância de quartzo (**Foto 6.20 – Prancha 15**) à lepidogranoblástica caracterizada pela predominância de muscovita (**Foto 6.20 – Prancha 15**). Cristais de granada com caráter sin- a tardi-tectônico desvia a foliação principal representada principalmente por muscovita (**Foto 6.21 – Prancha 15**).

A rocha apresenta um grau de transformação mineralógica bem proeminente. A principal transformação é a substituição parcial e completa de granada (**Foto 6.21 – Prancha 15**) e de muscovita (**Foto 6.22 – Prancha 16**) por minerais opacos (magnetita + rutilo). Essa substituição é bem melhor caracterizada nas faixas onde ocorre predominância de magnetita + rutilo (**Foto 6.23 – Prancha 16**). Outra substituição bem marcada é a exsolução entre magnetita e a titano-magnetita e o rutilo (**Foto 6.24 – Prancha 16**). A deformação na rocha é marcada pelo alinhamento das palhetas de muscovita em uma direção,

às vezes com desenvolvimento de mica-*fish* (**Foto 6.22 – Prancha 16**), estiramento dos grãos de minerais opacos, extinção ondulante e textura poligonizada dos grãos de quartzo. A rocha apresenta-se bastante coesa com os grãos minerais evidenciando um padrão de fraturamento incipiente (grãos de quartzo e opacos).

O quartzo apresenta-se sob a forma de cristais xenomórficos a hipidiomórficos com tamanhos variando entre 0,1, e 0,9 mm. Exibe extinção ondulante em chama e contornos retos, lobulares, mistos e serrilhados, predominando os retos. Poucos grãos encontram-se fraturados e recristalizados/recuperados.

A muscovita está disposta em palhetas de até 2,0 mm, com formas hipidiomórfica, dispersa na rocha entre os grãos de quartzo e, em níveis de espessura milimétrica constituindo agregados (mica-*fish*).

A granada ocorre com formas hipidiomórficas a xenomórficas (esqueletais), com tamanhos médios de 0,3 mm. Ocorre comumente desviando a foliação principal (caráter sin-a tardi-tectônico). A turmalina é idiomórfica, zonadas, com tamanhos inferiores a 0,1 mm. A magnetita e o rutilo são idiomórficos a hipidiomórficos, às vezes alongados na direção das muscovitas. Plagioclásio (grão) ocorre com a geminação polissintética preservada, disperso na matriz de quartzo.

As principais características petrográficas das variedades de quartzitos estudados no Centro Produtor de São Thomé das Letras (São Thomé das Letras e Luminárias), encontram-se sumarizadas na **Tabela 6.1**.

CAPÍTULO 7 - GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL E QUÍMICA MINERAL DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

7.1 – Apresentação

Os quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG) apresentam diferenças significativas no que diz respeito a sua composição química de rocha total e de química mineral principalmente nos elementos maiores.

O objetivo da utilização das análises químicas de rocha total e mineral nestes quartzitos, seria as suas qualificações visando suas utilizações/empregos (adequações), como materiais de revestimentos, bem como base para comportamento tecnológico.

Para isso foram utilizadas 18 amostras de quartzitos para a análise geoquímica de rocha total, representativas das seis variedades estudadas. Os elementos maiores analisados foram SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e LOI ($\text{H}_2\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}^- + \text{S} + \text{F} + \text{Cl} + \text{outros voláteis}$). Para a química mineral foi analisada principalmente a muscovita, presente em proporção variada em todos os tipos estudados, bem como os minerais óxidos (magnetita, ilmenita e rutilo) presentes em proporções significativas em algumas variedades.

Objetivando uma interpretação comparativa das análises geoquímicas de rocha total e de química mineral entre os diferentes materiais estudados (diferentes tipos de quartzitos), foram utilizadas tabelas com os valores das análises, bem como diagramas de frequência e diagramas binários com o propósito de uma melhor visualização dos dados obtidos em conjunto.

7.2 – Geoquímica dos Elementos Maiores em Rocha Total

Os elementos maiores apresentam variações significativas dentro de cada variedade de quartzito (Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Luminárias e

Carranquinha) do Centro Produtor de São Thomé das Letras (**Tabela 7.1 – Figuras 7.1A, B, C e D e Figuras 7.2A, B, C e D**).

Os valores de SiO_2 são oscilantes dentro das diferentes variedades de quartzitos (**Tabela 7.1 – Figura 7.1A**). Os valores mais elevados de SiO_2 nas variedades de quartzitos Amarelo, Róseo e Branco com relação aos quartzitos Luminárias, Carranquinha e Carrancas, estão principalmente relacionados com a presença de grandes quantidades de quartzo na composição modal desses litotipos e conseqüentemente um maior empobrecimento de muscovita (**Vide Capítulo VI**).

O Al_2O_3 também apresenta diferenças significativas entre as diferentes variedades (**Tabela 7.1 e Figura 7.1B**). Os valores elevados nas variedades Carranquinha, Luminárias e Carrancas são resultados da presença de grandes quantidades de muscovita nestes litotipos com relação às variedades Branco, Amarelo e Róseo (**Vide Capítulo VI**).

Os valores variáveis de TiO_2 são reflexos na diferença de quantidades de minerais opacos, principalmente magnetita e rutilo, presentes nos diferentes tipos de quartzitos (**Vide Capítulo VI**). As variedades Amarelo, Branco e Róseo apresentam quantidades menores de TiO_2 em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Tabela 7.1 – Figura 7.1C**).

As variedades de quartzitos Róseo, Branco e Amarelo apresentam valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ muito mais baixos quando comparados as variedades Luminárias, Carranquinha e Carrancas (**Tabela 7.1- Figura 7.1D**). Essa diferença significativa está diretamente relacionada à quantidade de muscovita e minerais opacos (magnetita e rutilo) muito mais elevada nas três últimas variedades (**Vide Capítulo VI**). Outro fator importante é o maior enriquecimento em $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ das muscovitas nas variedades de quartzitos Carrancas, Luminárias e Carranquinha em relação às variedades Branco, Amarelo e Róseo (**Vide Item 7.3.1 – Capítulo VII**).

Esse enriquecimento de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ nas muscovitas dos quartzitos de Luminárias, possivelmente é resultado de um metamorfismo mais elevado nessa região, durante a tectônica de baixo ângulo que colocou os quartzitos em contato com os gnaisses.

Com relação aos valores do K_2O presentes nas seis variedades de quartzitos estudados, observam-se também diferenças significativas (**Tabela 7.1 –**

Figura 7.2A). Essa diferença dos valores de K_2O dos quartzitos Branco, Amarelo e Róseo em relação aos quartzitos Carrancas, Luminárias e Carranquinha, deve-se a maior quantidade de muscovita nas três últimas variedades (**Vide Capítulo VI**).

Os valores de Cr_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O e P_2O_5 em todas as diferentes variedades estudadas (Róseo, Amarelo, Branco, Carrancas, Carranquinha e Luminárias) praticamente são os mesmos, sem nenhuma variação significativa (**Tabela 7.1 – Figuras 7.2B e 7.2C**).

Com relação ao LOI (perda ao fogo) os valores encontrados exibem também diferenças bastante significativas entre as seis variedades de quartzitos (**Tabela 7.1 – Figura 7.2D**). Essas diferenças nos valores do LOI, são caracterizadas pelas diferentes quantidades de muscovita presentes em cada variedade de quartzitos (**Vide Capítulo VI**). Desta forma, os quartzitos Carrancas, Carranquinha e Luminárias são mais enriquecidos em muscovita em relação aos quartzitos Róseo, Branco e Amarelo.

7.3 – Química Mineral

As análises químicas minerais tiveram por objetivo caracterizar e identificar as variações composicionais, principalmente das muscovitas e minerais opacos (magnetita e rutilo) presentes nas seis variedades de quartzitos estudados. Um outro fator importante nesse estudo, é a relação entre a composição química dos minerais com as variações das colorações, bem como fornecer subsídios para determinação do ambiente de deposição dos quartzitos na Bacia Andrelândia.

Deste modo, o acervo analisado compreendeu 06 (seis) amostras representando as variedades Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Luminárias e Carranquinha, totalizando 148 análises de muscovita, 65 de magnetita e 25 de rutilo, conforme representados nas tabelas das análises químicas de minerais (**Anexo I**).

Foi realizada também uma determinação de Difração de Raios X em cada variedade de quartzito do Centro Produtor de São Thomé das Letras, com o objetivo da identificação da composição modal de cada litologia. A identificação dos minerais através dos difratogramas serviu também para uma pré-seleção dos minerais para posterior quantificação de sua composição química em microsonda

eletrônica (**Figuras 7.3A a C e 7.4A a C**). Um outro fator importante é a caracterização de quais minerais poderiam estar contribuindo para definição da coloração nas variedades de quartzitos.

A difratometria de Raios X mostrou que as micas das diferentes variedades de quartzitos estudados são representadas por muscovitas enriquecidas em ferro e não em cromo (fuchcita), como descrito anteriormente na literatura.

7.3.1 - Muscovita

A muscovita representa juntamente com o quartzo, uma fase mineral importante nas variedades de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, principalmente, nas variedades Luminárias, Carrancas e Carranquinha. A quantidade de muscovita na composição modal de cada variedade de quartzito, bem como as suas variações químicas, influenciam diretamente na coloração dessas rochas. Deste modo elementos como FeO, TiO₂, MgO e Na₂O são extremamente variáveis na muscovita das variedades Branco, Amarelo e Róseo em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Vide Anexo I**). Os demais elementos analisados como SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, MnO, CaO, BaO, K₂O, V₂O₅ e F em todas variedades não apresentam diferenças significativas (**Vide Anexo I**).

Com relação ao FeO as muscovitas das variedades Branco, Amarelo e Róseo apresentam diferenças significativas em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Vide Anexo I – Figura 7.5A**). Os valores de TiO₂ também são diferenciados nas seis variedades estudadas, sendo, portanto, mais elevados nos tipos Carrancas, Luminárias e Carranquinha quando comparados aos tipos Róseo, Branco e Amarelo (**Vide Anexo I – Figura 7.5B**).

O MgO nas variedades Branco, Amarelo e Róseo também apresenta valores elevados quando relacionados com as variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Anexo I – Figura 7.5C**). Do mesmo modo que o MgO, o Na₂O também é mais elevado nas variedades Branco, Róseo e Amarelo quando comparados com as variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Vide Anexo I – Figura 7.5D**).

Os diagramas binários entre os elementos analisados na muscovita das variedades de quartzitos estudados, também demonstram que existem diferenças significativas com relação ao FeO, TiO₂, MgO e Na₂O. Uma característica particular no diagrama binário Al₂O₃ versus FeO, é que, as variedades de quartzitos Branco, Amarelo e Róseo quando relacionados com as variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha possuem agrupamentos com valores diferenciados, sendo menos enriquecidos em ferro em quase 3 % (**Figuras 7.6A a F**).

O diagrama binário Al₂O₃ versus TiO₂ mostra um maior enriquecimento TiO₂ das variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha em relação às variedades Branco, Amarelo e Róseo, com diferenças nos valores em torno de 0,5 % (**Figuras 7.7A a F**).

O diagrama binário Al₂O₃ versus o MgO, caracterizado por uma correlação negativa, caracterizando que quando diminui o Mg aumenta sistematicamente o Al e vice-versa (**Figuras 7.8A a F**). Outro fator importante no diagrama é o agrupamento diferenciado das variedades Branco, Amarelo e Róseo em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Figuras 7.8A a F**). Os quartzitos Branco, Amarelo e Róseo são mais enriquecidos em MgO mais de 0,5 %, em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha.

O diagrama binário K₂O versus Na₂O caracteriza agrupamentos semelhantes para todas as variedades Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Figuras 7.9A a F**). Desta forma, os valores de Na₂O e K₂O são praticamente os mesmos em todas as variedades estudadas (**Vide Anexo I**).

7.3.2 – (Minerais) Óxidos

Os minerais do grupo dos espinélios são representados predominantemente por magnetita, titano-magnetita e rutilo, ocorrendo em associações características entre si e apresentando variações composicionais significativas em função das variedades de quartzito. O conteúdo de Fe⁺³ e Fe⁺² na magnetita foram calculados diretamente do *software* da microsonda eletrônica,

seguindo o procedimento recomendado por CARMICHAEL (1967) para aferição da qualidade das análises obtidas.

A classificação utilizada para a magnetita e rutilo está baseada nas proporções relativas entre os membros finais, e apresentada em DEER et al. (1992) e HARGGETY (1976) em um prisma triangular dos espinélios ($\text{TiO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$).

7.3.2.1 – Magnetita

A magnetita representa o (mineral) óxido mais importante nos quartzitos estudados, ocorrendo em todas as variedades estudadas. As suas variações químicas e a quantidade do mineral presente na rocha também influenciam diretamente na coloração do quartzito (Ver discussão no final deste capítulo). A composição da magnetita nos quartzitos estudados é significativamente variada com relação aos valores de Fe_2O_3 e TiO_2 . No diagrama classificatório dos espinélios para todas as variedades de quartzitos, observa-se um agrupamento similar para a composição da magnetita (**Figuras 7.10A a F**). Observa-se também um aumento gradativo em TiO_2 em todas as variedades de quartzito, resultando em uma solução-sólida entre magnetita e titano-magnetita (**Figuras 7.11A a F**).

Os valores de TiO_2 na magnetita dos quartzitos Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Carranquinha e Luminárias são muito variáveis. Observa-se que a magnetita dos quartzitos Carrancas, Carranquinha, Luminárias e Róseo é mais enriquecida em TiO_2 do que a magnetita das variedades Branco e Amarelo (**Figura 7.12A**).

Com relação ao FeO e Fe_2O_3 , os valores para todas as variedades de quartzitos estudados são muito semelhantes. Os valores máximos situam-se entre 30 e 32 % para o FeO e 63 e 69 % para o Fe_2O_3 (**Figura 7.12B e C**).

O diagrama binário TiO_2 versus Fe_2O_3 é caracterizado por uma correlação negativa incipiente entre o Ti e o Fe na magnetita das seis variedades de quartzitos, evidenciando que, quando aumenta o Ti diminui o Fe e vice-versa (**Figuras 7.13A a F**). Outra característica importante no diagrama é o agrupamento diferenciado das variedades Branco, Amarelo e Róseo em relação às variedades Carrancas, Luminárias e Carranquinha (**Figuras 7.13A a F**).

7.3.2.2 – Rutilo

O rutilo ocorre somente em quatro das variedades de quartzitos estudados, representados pelo Branco, Róseo, Luminárias e Carranquinha. É uma fase mineral que também influencia diretamente na coloração das variedades de quartzitos, principalmente pela variação nos valores de TiO_2 e FeO da sua composição (ver discussão no final deste capítulo).

A sua composição química se aproxima da composição ideal dos rutilos na classificação dos espinélios no diagrama triangular $TiO_2 - FeO - Fe_2O_3$. O diagrama binário FeO versus TiO_2 sugere que Fe e Ti estão se substituindo numa correlação negativa, atestando que, quando aumenta o Ti diminui o Fe e vice-versa (**Figuras 7.14A a D**).

7.3.2.3 - Titano-Magnetita e Ilmenita

A titano-magnetita e a ilmenita ocorrem como *flames* de dimensões micrométricas a milimétricas na magnetita e no rutilo. São texturas de *exsoluções*, resultantes da desmisturação de uma fase óxido estável pelo aumento da temperatura.

Nas variedades de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, a titano-magnetita e a ilmenita ocorrem de forma subordinada na composição modal dos diferentes litotipos.

7.4 - Variação na Coloração das Rochas em Função da Composição Mineralógica

A coloração de uma rocha é impressa pelos diferentes tipos de minerais que fazem parte de sua composição. Nas rochas ígneas o índice de cor das diferentes variedades é resultado da proporção dos minerais ferro-magnesianos e álcalis. Nas rochas sedimentares e metamórficas, muitas vezes, a sua cor, é definida a partir da transformação dos minerais na presença de solventes naturais que fluíram pelos condutos dos estratos sedimentares e dos planos da

foliação. Esses solventes atuam, ao nível de, estrutura cristalina dos minerais transformando a sua composição, colocando elementos químicos em solução, imprimindo colorações em diferentes tons a partir do tipo de elemento lixiviado.

As diferentes proporções de muscovitas nos quartzitos estudados influenciam diretamente na sua cor. Desta forma os quartzitos mais enriquecidos em muscovita como Carrancas, Luminárias e Carranquinha possuem colorações esverdeadas em tons fortes ou escuros. Por outro lado, os quartzitos menos enriquecidos em muscovita como Branco, Róseo e Amarelo possuem colorações em tons mais claros. Outra característica significativa com relação a muscovita presentes nas seis variedades de quartzitos estudados, é que a mesma, nos tipos Carrancas, Luminárias e Carranquinha é mais enriquecida em FeO ($\pm 6,5\%$) enquanto que as dos tipos Branco, Róseo e Amarelo apresentam valores em torno de $\pm 3,0\%$ de FeO.

Os minerais opacos quando na presença de solventes naturais, principalmente água meteórica fluindo nos planos de foliação e fraturas da rocha, oxida o Fe, produzindo manchamentos em tons avermelhados nas superfícies das placas de quartzitos. Na região de São Thomé das Letras, as variedades Amarelo e Róseo são resultados da interação dessas águas meteóricas que percolam as camadas mais superficiais das pedreiras, interagindo com os minerais opacos (magnetita e rutilo) presentes nestes litotipos, oxidando o Fe^{+2} . Esse processo de oxidação do ferro imprime tonalidades amareladas e rosadas a esses quartzitos.

CAPÍTULO 8 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS

8.1 – Comentários Preliminares

Considerando a importância do conhecimento das características tecnológicas para qualificação e melhor utilização de rochas quartzíticas como material de ornamentação, será abordado neste capítulo o estudo das propriedades de maior interesse para aplicação dessas rochas como material de revestimento externo e interno.

Para isto, as características tecnológicas das rochas, são obtidas a partir de análises e ensaios executados, segundo procedimentos, normatizados por entidades nacionais (*Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT*), ou estrangeiras (*American Society for Testing and Material - ASTM*; - *Deustches institut für Normung - DIN*; *Association Française de Normalization - AFNOR* entre outras).

Foram selecionados para estudo seis tipos de quartzitos procedentes do Centro Produtor de São Thomé das Letras na região de São Thomé das Letras e Luminárias, representados pelas variedades Branco, Amarelo, Róseo, Luminárias, Carrancas e Carranquinha. Os mesmos foram submetidos a uma série de ensaios físicos, mecânicos e químicos com o objetivo de determinar seus parâmetros tecnológicos.

Os resultados referentes a cada ensaio encontram-se sumarizados em tabelas e representados em gráficos, objetivando facilitar a visualização em conjunto das variedades estudadas. As interpretações dos resultados dos ensaios tecnológicos, em termos da qualificação dos materiais, baseiam-se na análise comparativa dos dados contidos na literatura pertinente principalmente, aos valores

fixados pela norma ASTM C 616 (1989), para rochas quartzíticas. Esses valores encontram-se discriminados e consubstanciados na tabela abaixo (**Tabela 8.1**).

Propriedades	Valores Fixados - ASTM (C 616 - 1989)
Massa Específica Aparente (Kg/Cm³)	≥ 2.560
Porosidade Aparente (%)	n.e.
Absorção D'água (%)	≤ 1,0
Velocidade de Propagação de Ondas (m/s)	n.e.
Dilatação Térmica Linear (10³/mm.°C)	n.e.
Desgaste Amsler (mm)	n.e.
Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 137,9
Flexão 3 pontos -Módulo de Ruptura (MPa)	≥ 13,9
Módulo de Deformabilidade Estático (GPa)	n.e.
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.

Tabela 8.1: Valores especificados pela Norma ASTM C 616 (1989).

Os valores médios obtidos para os ensaios de caracterização física e mecânica referente às variedades dos quartzitos estudados no Centro Produtor de

São Thomé das Letras (Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Luminárias e Carranquinha) encontram-se consubstanciados e sumarizados na tabela a seguir **(Tabela 8.2)**.

8.2 - Resultados de Índices Físicos

Os resultados de índices físicos da rocha, correspondem as propriedades de Massa Específica Aparente Seca e Saturada (kg/m^3), Porosidade Aparente (%) e Absorção d'água (%). Os dados obtidos encontram-se sumarizados nas Tabelas 01 a 06 em anexo (Anexo II).

A análise dos dados referentes a propriedade de massa específica aparente **(Gráfico 8.1)** mostra que os valores médios obtidos para os diferentes tipos de quartzitos, indicam que todos os materiais analisados apresenta valores superiores, ao limite especificado pela norma ASTM C 616 (1989), ou seja, massa específica aparente acima de $2,560 \text{ g/cm}^3$.

A análise dos resultados, visualizados nos **Gráficos 8.2 e 8.3**, indica que o quartzito São Thomé Róseo apresenta os maiores índices de porosidade e absorção d'água, seguido de perto pelas variedades Carrancas e Luminárias. Os materiais quartzito São Thomé Branco e Amarelo e quartzito Carranquinha são os que apresentam os menores valores em relação as respectivas propriedades, sendo que a variedade Branco representa o de melhor qualidade nestes itens.

O **Gráfico 8.4** mostra a correlação direta que existe entre as propriedades de porosidade aparente versus absorção d'água, onde temos que quanto mais poroso for o material maior será sua capacidade de absorção d'água.

Os valores referentes às propriedades de índices físicos mostram boa correlação com as observações exibidas pelos referidos materiais. Portanto, o quartzito São Thomé Róseo apresenta os maiores valores para porosidade e absorção d'água, o que estaria relacionado ao seu aspecto bastante friável, explicado pelas observações feitas em campo. Esta variedade aflora nas extremidades das frentes de lavra onde ocorre um intenso fraturamento com espaçamento centimétrico, aliado a uma maior ação intempérica nessas rochas, originando um quartzito pouco coeso e friável.

As variedades Branco, Amarelo e Carranquinha apresentam valores de porosidade e absorção d'água menores. De acordo com as categorias (porosidade para rochas ornamentais) propostas por SPRAY 1989, as três variedades mencionadas classificariam na categoria (muito pouco porosa; porosidade no intervalo de 0,2 e 1,0 %). Estes resultados estão diretamente relacionados com os aspectos texturais apresentados por essas rochas, que exibem como características granulação fina e muito fina respectivamente.

Sendo assim, os tipos Luminárias e Carrancas apresentam valores mais altos para porosidade e absorção d'água, mostrando que existe uma direta correlação com a composição mineralógica (ambos apresentam teores significativos de muscovita), a granulação média-fina apresentada pela variedade Carrancas e a porcentagem significativa de contatos retos nas duas variedades. Segundo a classificação de SPRAY 1989, essas variedades se enquadrariam entre pouco porosa e semiporosa (porosidade no intervalo de 0,2 e 2,0 %).

Com relação a propriedade de Absorção d'água as seis variedades estudadas encontram-se dentro do limite especificado pela norma ASTM C616 (1989), que é de Absorção d'água $\leq 1,0$.

8.3 – Resultados da Resistência à Flexão 4 Pontos

Os resultados das determinações de resistência à flexão 4 pontos encontram-se listados nas **Tabelas 07 a 12** em anexo (**Anexo II**). Os valores médios dos resultados obtidos podem ser visualizados no **Gráfico 8.5**.

Portanto, os resultados físicos-mecânicos fornecidos pelos diferentes tipos de quartzitos mostram-se diretamente dependentes das relações texturais e estruturais exibidas pelos materiais rochosos. Assim, o quartzito Luminárias representando um material de granulação fina e bom entrelaçamento mineral, corresponde ao tipo mais resistente (18,4 MPa).

Os quartzitos São Thomé Amarelo e Branco apresentam valores de resistência à flexão dos quatro pontos intermediários, entre os demais quartzitos, atribuídos provavelmente a granulação fina e os contatos entre os grãos de quartzo. Por outro lado, os quartzitos São Thomé Róseo e Carranquinha, mostraram as

menores resistências (8,3 e 7,5 MPa. respectivamente). Esses resultados mostram-se diretamente relacionados com os aspectos texturais e estruturais. A variedade São Thomé Róseo apesar de exibir uma granulação muito fina, apresenta elevados valores com relação a porosidade aparente (%), conseqüentemente menor resistência a esforços mecânicos (**Gráfico 8.6**). Com relação a variedade Carranquinha, a baixa resistência mecânica, pode ser explicada pela porcentagem de contatos retos e microfraturas intergranulares que esta variedade apresenta. Não exibindo um bom entrelaçamento mineral (**Gráfico 8.6**).

8.4 – Resultados de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler

Os resultados dos ensaios de determinação da resistência ao desgaste abrasivo amsler encontram-se relacionados nas **Tabelas 13 a 18** em anexo. Os valores médios apresentados pelos demais quartzitos analisados encontram-se representados no (**Gráfico 8.7**).

O **Gráfico 8.8** mostra claramente a influência do teor de quartzo presente na rocha e a resistência ao desgaste abrasivo. Assim, os quartzitos de coloração esverdeada que apresentam teores mais elevados de muscovita em sua composição mineralógica e conseqüentemente teores mais baixos de quartzo, apresentam os mais elevados valores de desgaste abrasivo entre os quartzitos ensaiados. Ainda, associando-se à observação da relação quartzo/desgaste com os demais aspectos petrográficos dos litotipos, conclui-se que as dimensões dos grãos de quartzo, a granulação da rocha e o teor de minerais opacos também podem ser considerados fatores determinantes na resistência ao desgaste abrasivo.

Dentre os quartzitos estudados, os tipos São Thomé Branco e Amarelo são os que apresentam maior resistência ao desgaste abrasivo (1,1 mm e 1,2 respectivamente), aqui interpretado pelo teor de quartzo elevado (em torno de 95%) e granulação fina dessas rochas. Entretanto, o tipo Róseo, apesar de apresentar uma granulação muito fina e teor elevado de quartzo, apresentou uma menor resistência ao desgaste abrasivo (2,0 mm), o que poderia ser explicado pelo seu aspecto friável e pela maior quantidade de minerais opacos neste litotipo, quando comparado às variedades Branco e Amarelo.

Por outro lado, os quartzitos de coloração esverdeada apresentaram menor resistência ao desgaste abrasivo amsler, neste caso, atribuído aos elevados teores de muscovita na composição mineralógica dessas variedades, assim como, granulação média-fina no tipo Carrancas e elevada porcentagem de contatos retos nas três variedades aliados a teores significativos de minerais opacos.

8.5 - Resultados da Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Os dados obtidos referentes às determinações da resistência ao impacto, encontram-se sumarizados nas **Tabelas 19 a 24** em anexo (**Anexo II**). A análise do **Gráfico 8.9** leva a considerar que os fatores determinantes na resistência ao fraturamento por impacto estão relacionados, principalmente, à granulação da rocha, microfissuramento mineral, teor de muscovita e presença de estrutura planar (foliação metamórfica). Outro fator que deve ser levado em consideração é a espessura das placas utilizadas no ensaio. Como esses litotipos apresentam níveis com espessuras variadas, tornou-se inviável a obtenção de placas com espessuras constantes representativas dos quartzitos estudados.

Com base nesses fatores, o quartzito Carrancas caracterizado por uma granulação média-fina em relação às outras variedades, corresponde ao material mais resistente ao fraturamento por impacto (95 cm), explicado neste caso, pela espessura das placas (em torno de 3,0 a 3,5 cm) utilizadas no ensaio. Os tipos Branco, Amarelo, Róseo e Luminárias mostram valores intermediários de resistência de ruptura ao impacto (72, 67, 70 e 69 cm respectivamente). Esses resultados estão correlacionados a granulação fina da rocha, grau de microfissuramento mineral e bom entrelaçamento entre os grãos. O quartzito Carranquinha caracterizado pela estrutura bem foliada e espessuras muito finas das placas, em torno de 1,0 cm, aliado ao elevado grau de microfissuramento da rocha, representa dentre as demais variedades de quartzitos estudados, o tipo petrográfico menos resistente ao impacto de corpo duro (aparecimento das primeiras fissuras com cerca de 46 cm de altura).

8.6 - Resultados da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas

O teste de Pulso Ultrassônico permite calcular o valor da Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais (VPO). Os valores da velocidade de caminhamento das ondas para os diferentes tipos de quartzitos ensaiados encontram-se relacionados na **Tabela 25** em anexo (**Anexo II**).

Os valores médios das velocidades obtidas encontram-se registradas no **Gráfico 8.10**. Essas velocidades estão diretamente relacionadas com as características petrográficas exibidas pelos diferentes litotipos. Assim, a velocidade do caminhamento das ondas mostra relação direta com a granulação da rocha, entrelaçamento mineral e com o grau de anisotropia do material rochoso.

O quartzito Carrancas que corresponde a um material com granulação média, é o que fornece a maior velocidade de propagação das ondas (4,763 m/s), seguido de perto pelo quartzito Luminárias (4,725 m/s). Esses valores são explicados pelo fato desses litotipos mostrarem um bom entrelaçamento mineral. As variedades São Thomé Amarelo e quartzito Carranquinha apresentam valores intermediários (3,272 m/s e 3,059 m/s respectivamente). Esses valores são interpretados como reflexo da granulação muito fina (quartzito Carranquinha) e fina (quartzito Amarelo), assim como, um bom entrelaçamento mineral dessas rochas. O tipo São Thomé Branco apesar de exibir granulação fina e bom entrelaçamento mineral entre os grãos de quartzo, apresenta velocidade de propagação menor (2,753 m/s) menor que o São Thomé Amarelo, interpretado aqui, como reflexo do seu grau de microfissuramento elevado ($0,8/\text{mm}^2$).

O **Gráfico 8.11** apresenta os dados de velocidade do pulso ultrassônico *versus* a porosidade aparente. A análise do gráfico mostra que quanto mais poroso for o material analisado menor será a sua velocidade de propagação de ondas ultrassônicas através desse corpo. Desta forma, as variedades de quartzitos São Thomé Róseo e Carranquinha, respectivamente, com porosidade aparente de 2,5 % e 2,2 %, exemplificam claramente esta relação.

Os valores referentes a resistência à flexão quatro pontos *versus* velocidade do pulso ultrassônico encontram-se expressos no **Gráfico 8.12**. A correlação entre essas duas propriedades determina que quanto mais resistente for

o material aos esforços fletores, maior serão os valores de velocidade de propagação de ondas. Esses resultados mostram-se perfeitamente coerentes em relação à resistência físico-mecânica e as respectivas características petrográficas apresentadas pelos litotipos.

No caso dos quartzitos Carrancas e Carranquinha, os elevados valores da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, são contrastantes quando comparados aos de menor resistência para essas rochas. Deste modo, isto pode ser explicado pela granulação média-fina exibida pela variedade Carrancas e pelo seu elevado grau de microfissuramento registrados nos grãos de quartzo da variedade de quartzito Carranquinha.

8.7 – Resultados de Microdureza Knoop

Os resultados obtidos para Microdureza *Knoop* referentes as seis variedades de quartzitos estudados, encontram-se discriminados e sumarizados na **Tabela 8.3**.

Dureza (MPa) Amostras	Branco	Amarelo	Róseo	Luminárias	Carrancas	Carranquinha
HK25	4861	5802	3508	2901	5145	2087
HK50	6262	7820	6978	5870	6654	3175
HK75	7487	8761	8761	8987	8036	8546
HKm	6014	7012	6440	5799	6598	5138
HK75/HK25	1,54	1,51	2,50	3,10	1,56	4,09

Tabela 8.3: Resultados obtidos para Microdureza *Knoop* referentes as seis variedades de quartzito do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

Nos Diagramas de distribuição da microdureza (**Figuras 8.13; 8.14; 8.15; 8.16; 8.17 e 8.18**), observou-se que as variedades de quartzitos estudados (Amarelo, Branco, Róseo, Carrancas, Carranquinha e Luminárias) apresentam

variações significativas na Microdureza *Knoop* média (HKm). As diferenças na Microdureza *Knoop* encontradas estão relacionadas diretamente com a composição mineralógica e a petrografia das variedades estudadas. Desta forma, as variedades que apresentam uma quantidade maior de minerais micáceos (muscovita) na sua composição modal (Luminárias, Carranquinha e Carrancas) possuiriam uma Microdureza *Knoop* inferior as variedades mais enriquecidas em quartzo e quase que totalmente desprovidas de muscovitas (Amarelo, Róseo e Branco).

Isso é corroborado pelos valores da Microdureza *Knoop* média (**Tabela 8.3 - Gráfico 8.19**) encontrados nos quartzitos Luminárias (5.799 MPa) e Carranquinha (5.138 MPa), quando comparados aos valores encontrados para o quartzito Branco (6.014 MPa), Amarelo (7.012) e Róseo (6.440). No entanto quando se observa o quartzito Carrancas com cerca de 15 a 20% de muscovita na sua composição, o HKm, de 6.598 MPa, está acima dos valores encontrados para os quartzitos Branco e Róseo que são mais empobrecidos em muscovitas (**Vide Capítulo VI**).

Quando relacionamos a Microdureza *Knoop* versus o índice de quartzo nas diferentes variedades de quartzitos, observamos que, os valores mais elevados da microdureza são coincidentes com os tipos mais enriquecidos em quartzo (Amarelo, Carrancas, Róseo e o Branco) na sua composição modal (**Gráfico 8.20**). Isso é corroborado pelo fato de que o quartzo é um mineral que possui uma dureza elevada ($D = 7$), refletindo essa característica também em rochas que possuam grandes quantidades desse mineral.

8.8 - Resultados da Resistência ao Ataque Químico

Foram realizados testes de resistência ao ataque químico em cinco variedades de quartzitos (Branco, Amarelo, Carrancas, Carranquinha e Luminárias), com utilização dos seguintes agentes agressivos (HCl - solução de ácido clorídrico a 3%; KOH - solução de hidróxido de potássio 30 g/l; NaClO - solução de hipoclorito de sódio 20 m/l; NH₄Cl - solução de cloreto de amônia 100 g/l e Ácido Cítrico - solução a 100 g/l).

Os resultados são obtidos a partir de uma avaliação visual, onde se examina o corpo-de-prova a olho nu, procurando identificar qualquer tipo de alteração na superfície do lado cortado, assim como, nas arestas que estavam submersas durante o ensaio. Os resultados desta avaliação, referentes as cinco amostras de quartzitos estudados no Centro Produtor de São Thomé das Letras encontram-se expressos e consubstanciados na **Tabela 8.4**.

8.8.1 – Expressão dos Resultados

Os testes de Resistência ao Ataque Químico utilizados para todas as variedades de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras são os mesmos empregados para todas as rochas ornamentais de revestimentos não esmaltados (Classe U).

Ácidos	Branco	Amarelo	Luminárias	Carrancas	Carranquinha
HCl	ULA	ULA	ULA	ULA	ULA
KOH	ULA	ULA	ULA	ULA	ULB
NaClO	UA	UA	UA	UA	UA
NH ₄ Cl	UA	UA	UA	UA	UA
Cítrico	ULA	ULA	ULB	ULA	ULA

Tabela 8.4 - Resultados obtidos para Resistência ao Ataque Químico referente as cinco amostras dos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG), segundo as diretrizes da norma NBR 13.818/97 (Anexo H) da ABNT. 1 - (UA) efeitos não visíveis; (UB) efeitos no lado do corte; (UC) efeitos visíveis no lado do corte, no lado sem corte e na superfície utilizados para testes com os ácidos NaClO e NH₄Cl; 2 - (ULA) efeitos não visíveis; (ULB) efeitos no lado do corte; (ULC) efeitos visíveis no lado do corte, no lado sem corte e na superfície efeitos utilizados para testes com os ácidos HCl, KOH e Cítrico.

8.9 - Resultados da Resistência ao Manchamento

No ensaio de Resistência ao Manchamento foram utilizados os agentes manchantes, tais como: agente de ação penetrante (cromo/ferro), agente de ação oxidante (iodo) e agente com formação de película (azeite de oliva). Também foram usados produtos de limpeza, representados por produtos de limpeza com concentração baixa (detergentes) e produtos de limpeza com concentração forte (sapólio - material abrasivo). Os resultados observados para as cinco variedades testadas encontram-se listados na **Tabela 8.5**.

8.9.1 – Expressão dos Resultados

Os resultados da Resistência ao Manchamento são expressos em cinco classes, desde os mais brandos com possibilidades de remoção, até o mais forte com impossibilidade alguma da retirada da mancha. Desta forma têm-se a seguinte classificação para as variedades de quartzitos Branco, Amarelo, Róseo, Carrancas, Luminárias e Carranquinha:

Agente Manchante	Branco	Amarelo	Luminárias	Carrancas	Carranquinha
Iodo	(1)	(1)	(1)	(5)	(1)
Cr/Fe	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
Azeite	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

Tabela 8.5 - Resultados observados para a Resistência ao Manchamento referentes as cinco amostras de quartzitos analisados do Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG), segundo a norma NBR 13818/97 (Anexo G) da ABNT. (Classe 1) impossibilidade de remoção da mancha; (Classes 2, 3 e 4) possibilidade de remoção de manchas, conforme o agente aplicado e o produto de limpeza utilizado e; (Classe 5) maior facilidade de remoção da mancha.

O processo de tentativa de remoção da mancha é feito através de lavagem das placas com água quente por 5min seguido de secagem. No caso das manchas serem provocadas por agentes manchantes de ação penetrante, se a

mancha for removida, registrar a classe de resistência às manchas seguindo-se o processo sistemático segundo a norma NBR 13818 (1997). Caso as manchas não sejam removidas, passar para o processo de limpeza seguinte na mesma seqüência.

8.10 – Resultados e Discussões

A caracterização tecnológica dos diferentes tipos de quartzitos analisados no Centro produtor de São Thomé das Letras está condicionada às suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. Os resultados obtidos foram relacionados com as características petrográficas observadas nesses litotipos. As relações estabelecidas entre as características petrográficas e os correspondentes valores dos parâmetros físicos-mecânicos apresentados, demonstram claramente que o comportamento desses últimos está diretamente controlados pela conjugação dos aspectos composicionais, estruturais e texturais exibidos por essas rochas. Os fatores petrográficos reconhecidos como principais condicionadores das propriedades físicos-mecânicas relacionam-se à composição mineralógica, granulação da rocha, porcentagem e tipo de contatos entre os grãos, entrelaçamento mineral, grau de microfissuramento mineral e anisotropia do material, em termos da foliação. Os valores dos parâmetros tecnológicos dos materiais analisados obedecem satisfatoriamente (com relação a três propriedades) aos valores limites estabelecidos pela norma ASTM C 616 (1989) para rochas quartzíticas.

No que se refere a caracterização física (índices físicos) os resultados fornecidos, apresentam valores de massa específica aparente seca variando de 2,570 a 2,660 g/cm³, com uma concentração maior dos valores no intervalo de 2,650 g/cm³. A norma ASTM C 616 (1989) para rochas quartzíticas estabelece que os quartzitos para serem utilizados como revestimentos exteriores, devem apresentar Densidade ou Massa Específica Aparente mínima de 2,560 g/cm³. Deste modo, verifica-se, que todas as amostras de quartzitos ensaiadas atendem as especificações estabelecidas nesta norma.

Com relação à propriedade de porosidade aparente, os quartzitos analisados apresentam valores variando de 0,5 a 2,5 %, com uma concentração maior no intervalo de 0,8 a 1,0 %. Estes resultados estão condicionados a granulação desses quartzitos e ao tipo de contato entre os grãos minerais.

Quanto as características físico-mecânicas (resistência à flexão quatro pontos, desgaste abrasivo e impacto de corpo duro) as variedades Branco e Amarelo apresentam as melhores qualidades físico-mecânicas, fornecendo excelentes índices no tocante a resistência à flexão (11,29 e 14,61 MPa), impacto (72 e 67 cm) e desgaste abrasivo (1,1 e 1,2 mm). Por outro lado, as variedades Luminárias e Carrancas, apesar de exibirem excelentes resistências à flexão (18,4 e 10,5 MPa) e ao impacto (69 e 95 cm), apresentam menores resistências ao desgaste (2,3 e 3,0 mm), condicionado pela maior quantidade de muscovita em sua composição mineralógica, granulação da rocha, teor de minerais opacos e grau de microfissuramento. Por outro lado, os quartzitos são Thomé Róseo e Carranquinha fornecem as menores resistências, reflexo de suas características petrográficas.

A distribuição dos valores de resistência ao desgaste abrasivo mostram valores variando entre 1,1mm e 3,0 mm. Esses valores quando comparados a de outros quartzitos existentes na literatura, como por exemplo, o Quartzito Azul Macaúbas e o *Black Diamond* que apresentam os seguintes valores 0,54 mm e 0,40 mm, respectivamente, registram valores elevados para esta propriedade, limitando assim a utilização desses quartzitos em áreas de trânsito mais intenso.

Os valores obtidos para resistência ao impacto de corpo duro apresentaram valores variando no intervalo de 46 cm a 95 cm. Com exceção do tipo Carranquinha os altos valores apresentados atestam que esses quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras possuem uma boa resistência ao impacto.

Os valores fornecidos de velocidade de propagação das ondas mostram boa coerência com as características petrográficas dos diferentes tipos de quartzitos analisados. Assim, os tipos Carrancas (4,763 m/s) e Luminárias (4,725 m/s) que correspondem a materiais com bom entrelaçamento mineral e maior resistência à flexão, apresentam os maiores valores de velocidade de propagação

das ondas. Os resultados desta propriedade permitem avaliar as condições de sanidade e anisotropia da rocha.

Com relação a Microdureza *Knoop* os resultados obtidos mostraram valores médios (HKm) variando entre (5138 MPa e 7012 MPa). As diferenças aqui apresentadas estão relacionadas principalmente, com a composição mineralógica dessas rochas. Com exceção do tipo Carrancas, os quartzitos da região de São Thomé, enriquecidos em quartzo apresentam os maiores valores para esta propriedade.

Quanto a caracterização química os resultados apresentados para resistência ao ataque químico (**Tabela 8.4**), mostram que as cinco variedades ensaiadas (Branco, Amarelo, Luminárias, Carrancas e Carranquinha), fornecem desempenho satisfatório com efeitos não visíveis para quase todos os ácidos utilizados. Esses resultados estão condicionados, principalmente, a composição mineralógica dessas rochas (quartzo > 80 %) e bom entrelaçamento dos grãos de quartzo, refletindo em altos valores de Microdureza *Knoop* e maior resistência à flexão quatro pontos.

No que se refere à resistência ao manchamento foram aplicados em superfícies naturais de cinco variedades de quartzitos, agentes manchantes do tipo óxido de cromo (verde), óxido de cromo (vermelho), iodo e azeite de oliva. Os resultados mostrados na **Tabela 8.5** não revelaram um desempenho satisfatório, já que foram observadas presenças de manchas na superfície das placas das cinco variedades. Com relação aos agentes manchantes iodo e azeite todas as variedades ensaiadas enquadram-se na classe 1 (impossibilidade de remoção de mancha), enquanto para o agente Cr/Fe as variedades enquadram-se na classe 4 (possibilidade de remoção de manchas, conforme o agente aplicado e o produto de limpeza utilizado). Esses resultados estão relacionados, principalmente, aos elevados valores de porosidade dessas rochas, a coloração clara que realça o contraste produzido por diferentes formas de manchamento e a presença de minerais opacos que em presença de fluidos oxidam provocando manchas amareladas.

CAPÍTULO 9 - UTILIZAÇÃO DOS QUARTZITOS DO CENTRO PRODUTOR DE SÃO THOMÉ DAS LETRAS EM RELAÇÃO AO AMBIENTE

9.1 – O Emprego da Pedra

Durante muitos séculos, a rocha seja cortada, polida, esculpida ou nas mais variadas formas de tratamento foi utilizada como material nobre de acabamento, estando presente em diversos ambientes. Nas últimas décadas sua utilização passou a ter uma conotação mais rústica e propícia ao uso externo, principalmente com finalidades estruturais.

No caso dos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, sua utilização se restringiu a pisos e bordas de piscinas e áreas externas. Recentemente, sua utilização voltou a ser apreciada por arquitetos e decoradores no tocante a decoração de ambientes internos.

9.2 - Aspectos técnicos

As rochas ornamentais, de um modo geral, segundo LOLATO et al. (1998), são submetidas às mais variadas solicitações, dentre as quais destacam-se os desgastes físicos por atrito, impactos, intempéries químicas e físicas, ataque químico por produtos de limpeza e líquidos agressivos como ácidos diversos e chuvas ácidas.

A caracterização petrográfica e tecnológica dos tipos rochosos conhecidos comercialmente como "Pedra São Thomé" permite qualificar esses quartzitos quanto ao ambiente a serem utilizados. Portanto, pode-se dizer que melhor será a qualidade desses quartzitos, quanto menores forem: a presença e teores de minerais alterados/transformados, friáveis ou solúveis (que possam comprometer seu uso e durabilidade); a absorção d'água; a porosidade e o desgaste abrasivo *Amsler*. Por outro lado, melhor será seu desempenho, quanto

maiores forem: a resistência à flexão dos quatro pontos e a resistência ao impacto de corpo duro.

9.3 - Produto

A foliação metamórfica, condicionada por minerais micáceos, determina a ocorrência de planos preferenciais de partição, aproveitados para a abertura de chapas e desacoplamento direto no maciço rochoso. As placas extraídas são pré-beneficiadas (esquadrejadas), nas lavras em São Thomé das Letras e beneficiadas nas marmorarias em Três Corações e região, fornecendo como resultado os seguintes produtos para comercialização (**Fotografias 9.1; 9.2 e 9.3 – Prancha 17**):

- ⇒ Lajotas padronizadas com faces naturais;
- ⇒ Placas esquadrejadas com faces naturais;
- ⇒ Placas esquadrejadas com acabamento;
- ⇒ Degraus;
- ⇒ Cavacos
- ⇒ Palitos;
- ⇒ Pedra Pavê.

9.4 - Utilização

As placas de quartzitos extraídas podem ser polidas ou utilizadas naturalmente. As placas polidas geram brilho intenso e impermeabilizam as rochas. São largamente usados em fachadas, pisos internos de ambientes sociais, bancadas, revestimentos verticais fixados por argamassa, enquanto que, as placas naturais são utilizadas tanto para pavimentos (pisos) externos e internos de ambientes sociais e em revestimentos verticais fixados por argamassa. O principal uso da pedra pavê são os pavimentos externos, que têm grande efeito paisagístico pela possibilidade de combinação de cores e formação de mosaicos.

9.4.1 - Ambiente Interno

Ultimamente os quartzitos vem sendo utilizados como acabamento interno por arquitetos e decoradores, que viram em sua durabilidade, versatilidade, tonalidade e textura agradável uma excelente opção para decoração de ambientes. Normalmente são utilizados cacos, placas de diversos tamanhos e também compondo com outros acabamentos como régua de madeira ou seixos rolados; como revestimento de paredes, desde sua colocação em lâmina (aproveitando as sobras dos cortes), como em placas polidas, flameadas e até mesmo bruta e também compondo mobiliário em tampos de mesas e bancadas de pias.

As propriedades físico-mecânicas das rochas ornamentais influenciam diretamente com relação a sua utilização em ambientes exteriores e interiores. Deste modo, com relação à resistência à flexão e ao impacto, os resultados fornecidos para as seis variedades qualificam os quartzitos Branco, Amarelo, Luminárias e Carrancas, como os mais resistentes à esforços fletores e ao impacto, sendo portanto, recomendado o uso desses litotipos (principalmente as variedades Branco e Amarelo) em ambientes interiores como pisos, soleiras, degraus, mesas e balcões **(Fotografias 9.4; 9.5 e 9.6 – Prancha 18)**.

Por outro lado às variedades Luminárias e Carrancas, apesar de apresentarem boa resistência à esforços fletores e ao impacto, fica limitado seu uso em ambientes interiores, devido ao seu elevado índice de absorção d'água e baixa resistência ao desgaste abrasivo *Amsler*.

9.4.2 - Ambiente Externo

Como rochas que apresentam algumas características próprias, tais como, planos com superfícies antiderrapantes e *homeotermos*, os quartzitos estudados, são muito utilizados como revestimentos externos, sobretudo de “solarium” devido a cor e textura, áreas do entorno de piscinas, fontes, espelhos d'água, tanques, onde suas propriedades drenantes são bastante valorizadas **(Fotografias 9.7; 9.8 e 9.9 – Prancha 19)**.

Assim, o maior grau de absorção proporcionado pela textura e granulação da rocha, evita o acúmulo de água facilitando a drenagem de pisos externos. Outra característica importante quanto ao uso dessas rochas em ambientes externos, está relacionada com a coloração clara desses quartzitos que refletem a luz solar, funcionando como refratário térmico evitando o aquecimento dos revestimentos. Outro aspecto importante é a sua durabilidade, por ser material natural e geralmente com espessura aproximadamente de 2 cm, se torna um piso de longa duração e podendo ser removido com uma simples lavagem manual.

As seis variedades de quartzitos estudadas apresentam os seguintes valores para as propriedades de porosidade aparente e absorção d'água respectivamente: Branco (0,5 e 0,2 %), Amarelo (0,9 e 0,4 %), Róseo (2,5 e 1,0 %), Luminárias (1,2 e 0,5 %), Carrancas (1,9 e 0,7 %) e Carranquinha (2,2 e 0,7 %). Os resultados apresentados para essas propriedades recomendam o uso desses quartzitos como pisos em ambientes sociais externos (**Fotografia 9.7 – Prancha 19**).

Os resultados fornecidos para o desgaste abrasivo *Amsler* e pela Microdureza *Knoop*, mostram que algumas variedades de quartzitos não apresentam boa qualidade para estas propriedades. Assim, como descrito no **Capítulo VIII**, apenas os tipos Branco e Amarelo possuem valores indicativos de sua utilização em locais de tráfego intenso (pisos e degraus).

CAPÍTULO 10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

10.1 – Conclusões

A caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos no Centro Produtor de São Thomé das Letras, serviu para avaliar as propriedades e o comportamento dessas rochas nas duas áreas testes, respectivamente na região de São Thomé das Letras e região de Luminárias.

▷ A Geologia mostrou que os quartzitos da região de São Thomé das Letras apresentam características petrográficas semelhantes. São rochas de coloração clara que possuem cores variando em tons de branco, amarelo e róseo, exibem estrutura foliada/laminada bem marcada, paralela a subparalela à uma possível estrutura primária S_0 . Por outro lado, os quartzitos da região de Luminárias caracterizam-se por apresentarem coloração esverdeada com presença de manchas avermelhadas e figuras arborescentes desenhadas por dendritos de óxidos/hidróxidos de manganês no plano da foliação, e uma estrutura foliada/laminada também proeminente.

▷ A caracterização petrográfica mostrou que existem diferenças macroscópicas e microscópicas, principalmente relacionadas a coloração, composição mineralógica e textural que diferenciam os quartzitos da região de São Thomé das Letras em relação aos da região de Luminárias.

⇒ Os quartzitos da região de São Thomé das Letras apresentam colorações claras, texturas finas ocorrendo apenas as variedades Branco, Amarelo e Róseo. Esses quartzitos são muito enriquecidos em quartzo, cerca de 90 a 95 %, 5 a 10 % de muscovita, possuindo ainda como minerais traços magnetita, rutilo, zircão e turmalina.

▷ Por outro lado, os quartzitos da região de Luminárias, possuem coloração verde escura com manchas avermelhadas no plano da foliação, resultado da grande quantidade de muscovita (20 a 25 %) e granada respectivamente na sua composição. Esses litotipos apresentam variação significativa quanto à textura,

quartzito Carrancas (média-fina), Luminárias (fina) e Carranquinha (muito fina). Isso possivelmente é reflexo de uma variação faciológica refletindo heterogeneidade dos sedimentos pretéritos (sedimentação), com diferentes respostas durante a deformação/metamorfismo e, por conseguinte, na recristalização dos minerais.

↳ O levantamento estrutural realizado nas duas áreas testes identificou para a região de São Thomé das Letras quatro famílias de fraturas de acordo com a sua direção, enquanto que para a região de Luminárias foram identificadas cinco famílias. Em ambas as áreas os espaçamentos são variáveis e heterogêneos, variando de centímetricos a métricos. O arranjo geométrico dos fraturamentos aliados ao uso de explosivos na lavra de quartzitos, ativa os planos de fraqueza preexistentes na rocha levando a uma fragmentação intensa, gerando grandes quantidades de rejeitos (em torno de 80 a 85%).

↳ A química de rocha total mostrou que os quartzitos da região de Luminárias (Carrancas, Carranquinha e Luminárias) são mais enriquecidos em $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , MgO e LOI em relação aos quartzitos da região de São Thomé das Letras (Branco, Amarelo e Róseo). Por outro lado, os quartzitos Branco, Amarelo e Róseo são mais enriquecidos em SiO_2 do que as variedades Carrancas, Carranquinha e Luminárias. Esses valores mais elevados de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , MgO e LOI estão condicionados principalmente à grande quantidade de muscovita. Os valores elevados de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ também estão condicionados à presença de minerais opacos como magnetita e rutilo em maior quantidade nos quartzitos da região de Luminárias em relação aos da região de São Thomé das Letras.

↳ A química mineral realizada em muscovita, magnetita e rutilo também mostraram diferenças significativas das duas regiões de exploração de quartzitos no Centro Produtor de São Thomé das Letras. A muscovita dos quartzitos Branco, Amarelo e Róseo em relação ao FeOT e TiO_2 , é mais empobrecida do que as das variedades Carrancas, Carranquinha e Luminárias. Por outro lado, a muscovita das variedades Branco, Amarelo e Róseo em relação ao MgO e K_2O , é mais enriquecida do que as dos quartzitos Carrancas, Carranquinha e Luminárias. A diferença da quantidade de muscovita na composição modal dos quartzitos, aliados à diferença na sua composição química nas diferentes variedades é o fator principal

da variação de coloração em cada tipo de Quartzito. Desta forma, as variedades Carrancas, Carranquinha e Luminárias possuem coloração escura em tons de verde, devido à grande quantidade de muscovita. Além do mais, essas muscovitas são mais enriquecidas em FeOT e TiO₂ do que as das variedades Branco, Amarelo e Luminárias.

Ⓕ A magnetita das variedades Róseo, Carrancas, Carranquinha e Luminárias são mais enriquecidas em TiO₂ do que a magnetita dos quartzitos branco e Amarelo. Essa variação nos valores de TiO₂ na composição da magnetita nas diferentes variedades de quartzitos, possivelmente influencia na coloração da rocha ornamental. O rutilo que é uma fonte natural de TiO₂ também influencia diretamente na coloração dos minerais e, por conseguinte, da rocha. Desta forma, as variedades Carrancas e Luminárias, detentoras de grandes quantidades de rutilo na sua composição modal, possuem as cores mais escuras em tons de verde.

Ⓕ Quanto à caracterização física os quartzitos estudados apresentaram bons resultados para a propriedade de massa específica aparente com valores acima do limite especificado pela norma ASTM C 616 (1989) que é de 2.560 g/cm³. Com relação a propriedades de absorção d'água os litotipos estudados apresentaram valores dentro do limite especificado pela norma ASTM C 616 (1989) que é absorção ≤ 1,0.

Ⓕ Os testes de Resistência ao Desgaste Abrasivo *Amsler* demonstraram valores muito elevados, por isso não é recomendada a aplicação desses quartzitos em áreas de tráfego mais intenso.

Ⓕ Os valores obtidos para a Resistência ao Impacto de Corpo Duro mostraram valores significativos, indicando que, esses quartzitos possuem boa resistência ao impacto.

Ⓕ Com relação à Resistência ao Ataque Químico os resultados mostraram desempenho satisfatório com efeitos não visíveis para quase todos os ácidos utilizados. No que se refere à Resistência ao Manchamento os resultados não revelaram um desempenho satisfatório. Essas rochas podem absorver líquidos impuros ou reativos que podem manchar a sua superfície.

Ⓕ Os altos valores apresentados por esses litotipos para as propriedades de porosidade aparente e a absorção d'água limitam o uso dessas rochas em

ambientes internos, com exceção das variedades de quartzitos São Thomé Branco e Amarelo que apresentam valores dentro dos limites especificados, são recomendadas quanto a utilização em ambientes internos e externos.

↳ Como rochas que apresentam algumas características próprias, tais como planos com superfície antiderrapantes e *homeotermos*, os quartzitos estudados são muito utilizados como revestimento externo, já que o maior grau de porosidade e absorção d'água evita a acumulação de água facilitando a drenagem de pisos externos.

↳ Quanto às características físico-mecânicas (resistência à flexão e resistência ao impacto) a maioria das variedades de quartzitos apresentaram boa resistência, com exceção das variedades Róseo e Carranquinha. Por outro lado os elevados valores fornecidos para a resistência ao desgaste limitam o uso dessas rochas a ambientes com tráfego leve.

↳ As características físico-mecânicas apresentados para os diferentes tipos de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras, permitem avaliar às variedades Branco e Amarelo como apresentando as melhores qualidades sendo, portanto, recomendado o uso desses litotipos tanto em ambientes externos como internos. Os tipos São Thomé Róseo e Carranquinha não apresentam bom desempenho, principalmente, com relação às propriedades de porosidade, resistência à flexão e desgaste abrasivo, limitando o seu uso apenas em ambientes externos de pouco tráfego. Por outro lado às variedades Luminárias e Carrancas, apesar de apresentarem boa resistência à esforços fletores e ao impacto, fica limitado seu uso em ambientes interiores, devido ao seu elevado índice de absorção d'água e baixa resistência ao desgaste abrasivo *Amsler*.

CAPÍTULO 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11.1 - Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992 a). Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3p. (norma ABNT - NBR 12.042).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992 b). Rochas para revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2 p. (norma ABNT - NBR 12.766).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992 b). Rochas para revestimento. Análise petrográfica. 2p. (norma ABNT – NBR 12.768).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992 g). Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 2p. (norma ABNT – NBR 12.764).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997 a). Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao Manchamento. 3 p. (norma ABNT - NBR 13.818, Anexo G).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997 b). Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao ataque químico. 3 p. (norma ABNT - NBR 13.818, Anexo H).

ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. - 1984 - O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blücher Ltda, 338 p.

ALMEIDA, J. C. H. - 1992 - Mapeamento geológico da Folha Luminárias - MG (1:50.000), com ênfase na análise estrutural dos metassedimentos do Ciclo Depositional Andrelândia. Dissertação de Mestrado, IGEO - UFRJ, Rio de Janeiro (RJ), 102p.

ANDREIS, R. R.; PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A. - 1989b - Caracterização preliminar de ciclos deposicionais proterozóicos do sudeste de Minas Gerais (Folhas Barbacena e Divinópolis, 1:250.000). In: I Simp. de Geol. do Sudeste, Rio de Janeiro, 1989. Resumos...Rio de Janeiro, SBG, p101-102.

ANDREIS, R. R.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. - 1987 - Observações preliminares em seqüências siliciclásticas da Formação Tiradentes (Grupo São João Del Rei) nas áreas das Serras do Lenheiro e São José, MG. In: SIMP. GEOL. DE MINAS GERAIS, 4, Belo-Horizonte, 1987. Anais..., Belo-Horizonte, SBG, Bol. 7, p.214-225.

ANDREIS, R. R.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. - 1989a - Ciclos deposicionais no proterozóico das Folhas Barbacena e Divinópolis (Setor Sul), 1:250.000. In: I Simp. Geol. Sudeste, Rio de Janeiro, 1989. Resumos..., Rio de Janeiro, SBG, p97-98.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1980) C 880 - Standard Test Method for Flexural Strength of Dimensional Stone.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1989) C 616. Standard Specification for Dimension Quartzite for $\text{SiO}_2 > 95\%$: Ab < 01%.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1990) D 2845. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. Philadelphia, USA.

- CARMICHAEL, I.S E. – 1967 – The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 14:36-64
- CARUSO, L. G. - 1996 - Pedras Naturais - Extração, Beneficiamentos e Aplicação. Comunicação Técnica, IPT, São Paulo-SP, 1996. P. 18.
- CHIODI FILHO, C. - 1995 - Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995. 75p. (Série de estudos e documentos, 28).
- CHIODI FILHO, C. - 1997 - Perfil técnico-econômico do setor de rochas ornamentais e de revestimento no Estado de Minas Gerais. Relatório Técnico apresentado ao sistema FIEMG, Belo Horizonte, 1997. 20 p.
- CHIODI FILHO, C. – 2001. A Exploração da Pedra São Thomé conquista grande destaque econômico. *Rochas de Qualidade*. **165** (7/8): 162-168. EMC – Editores Associados Ltda., São Paulo, SP.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. – 1992 – An introduction to the rock-forming minerals – 2nd Edition, Longman Group Limited, Londres, 688 p.
- EBERT, H. - 1955 - Pesquisas na parte Sudeste de Minas Gerais e no Nordeste. In: Relatório Anual do Diretor, ano 1954, DGM, Rio de Janeiro: p. 78-89.
- EBERT, H. - 1956a - Relatório sobre a atividade durante o ano de 1956. Tectônica do Pré-Cambriano (São João del Rei). In: Relatório Anual do Diretor ano 1955, DGM, Rio de Janeiro: p. 69-81.
- EBERT, H. - 1967 - A estrutura pré-cambriana do Sudeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. *Boletim Paranaense de Geociências*, 26: 42-45.

EBERT, H. - 1968 - Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica; hipóteses sobre sua origem. *An. Acad. Bras. Ciências*, 40, suplemento, p. 215-229.

EBERT, H. - 1971 - Os Paraíbides e Araxáides entre São João Del Rei e Itapira, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. Resumo..., São Paulo, SBG, p. 177-178.

FONSECA, M. J. G. - 1979 - Folhas Rio de Janeiro (SF-23), Vitória (SG-24) e Iguape (SG-23). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Brasília, DNPM, 240 p.

GONÇALVES, M. L. & FIGUEIREDO, M. C. H. - 1992 - Geoquímica dos anfibolitos de Santana do Garambeú (MG): implicação sobre a evolução do Grupo andrelândia. *Geochimica Brasiliensis*, 6 (2):127-140.

GONZALEZ, C.; RODRIGUES, E. P.; CHIODI FILHO, C.; ARTUR, A. C.; GIL, H. A. C. - 1999 - Utilização de Produtos Químicos Hidro-Óleo-Repelentes como fator de proteção ao manchamento de rochas ornamentais. IV SIMP. GEOL. SUDESTE, São Pedro, 1999. Anais..., São Pedro (SP), SBG, p. 143.

HAGGERTY, S.E. - 1976 - Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: Rumble, T. III (Edicion) - Oxide Minerals. MSA Reviews in Mineralogy 3: Cap. 4 (Hg-1-H-100).

HEILBRON, M.; GONÇALVES, M. L.; TEIXEIRA, W.; TROW, R. A. J.; KAWASHITA, K.; PADILHA, A. V. - 1990 - Geocronologia da área entre lavras, São João Del Rei, Lima Duarte e Caxambu. *An. Acad. Bras. Ciências...*, 61 (2): 177-199.

LOLATO, F. C. F.; SATO, J. C.; PARRO, J.; LOPES, B.G.; SPERDUTI, F. - 1998 - Técnicas de Aplicação de Placas Rochosas no Revestimento de Pisos e

Fachadas em Edificações. Trabalho de Graduação Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do sul.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M. W.; GONZALES, S. R.; SCHENINI, C. A.; NETO, A S.; PALMEIRA, R. C. B.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H. E. F. - 1983 - Geologia. IN: Brasil - DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF-23 Rio de Janeiro e SF-24 Vitória, Rio de Janeiro, RJ, (Levantamento de Recursos Naturais), vol.32, 773p.

PACIULLO, F. V. P. - 1997 - A Seqüência Depositional Andrelândia. Tese de Doutorado, IG - UFRJ, Rio de Janeiro (RJ). 245p.

PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R. - 1993 - Reconstrução de uma bacia fragmentada: o caso do Ciclo Depositional Andrelândia. In: SIMP. DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. Anais..., Salvador, p.224-226.

RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R.; TROW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. G. - 1995 - Evolução das bacias proterozóicas e o termo - tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. REV. BRAS. DE GEOL., 25 (4):235-248.

RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; ANDREIS, R. R.; TROW, R. A. J.; HEILBRON, M. - 1990 - Evolução policíclica proterozóica no sul do Cráton São Francisco: análise da região de São João Del Rei e Andrelândia, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36; Natal, 1990. Anais..., SBG, 6:2605-2614.

RODRIGUES, E. P. - 1999 - Assessoria Tecnológica para Extração, Qualificação e Produção de Quartzito São Tomé para Uso em Revestimento. Projeto PATME (Código 5972), FUDUNESP, 13 pg.

- SOUZA, G. G.; SANTOS, M. R. C.; COSTA, A. G. - 1999 - Quartzitos da região de São Tomé das Letras: Caracterização Tecnológica e Análise Ambiental. IV SIMP. GEOL. SUDESTE, São Pedro, 1999. Anais..., São Pedro (SP), SBG, p.155.
- SPRAY, A. – 1989. Stone Testing : general. In: Stone in Modern Building : State of the Art; Seminar for the building industry; Sidney, p.45-57.
- TROW, R. A J.; RIBEIRO, A ; PACIULLO, F. V. P. - 1986 - Contribuição a geologia da Folha Barbacena - 1:250.000. In: CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. Anais...,SBG, v.2, p. 974-984.
- TROW, R. A J.; RIBEIRO, A. ; PACIULLO, F. V. P.; HEILBRON, M. - 1984 - Os Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia interpretados como continuação dos Grupos Araxá e Canastra. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais..., vol.2, p. 3227-3240.
- TROW, R. A. J.; PACIULLO, F. V. P.; CHRISPIN, S. J.; DAYAN, H. - 1982 - Análise de deformação numa área a SE de Lavras, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL.,32, Salvador, 1982. Anais..., Salvador, SBG, vol. 1, p.187-198.
- TROW, R. A. J.; RIBEIRO, A. ; PACIULLO, F. V. P. - 1983 - Geologia estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. Acad. Bras. Ciênc., 55 (1), p. 71-85.
- TROW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. - 1980 - Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balneário de Camboriú, SC, 1980. Anais...,vol. 5, Balneário Camboriú, p. 2773.
- WINKLER, H. G. - 1976 - Petrogênese das rochas metamórficas. São Paulo. Edgard Bucher, 257p.

ANEXOS

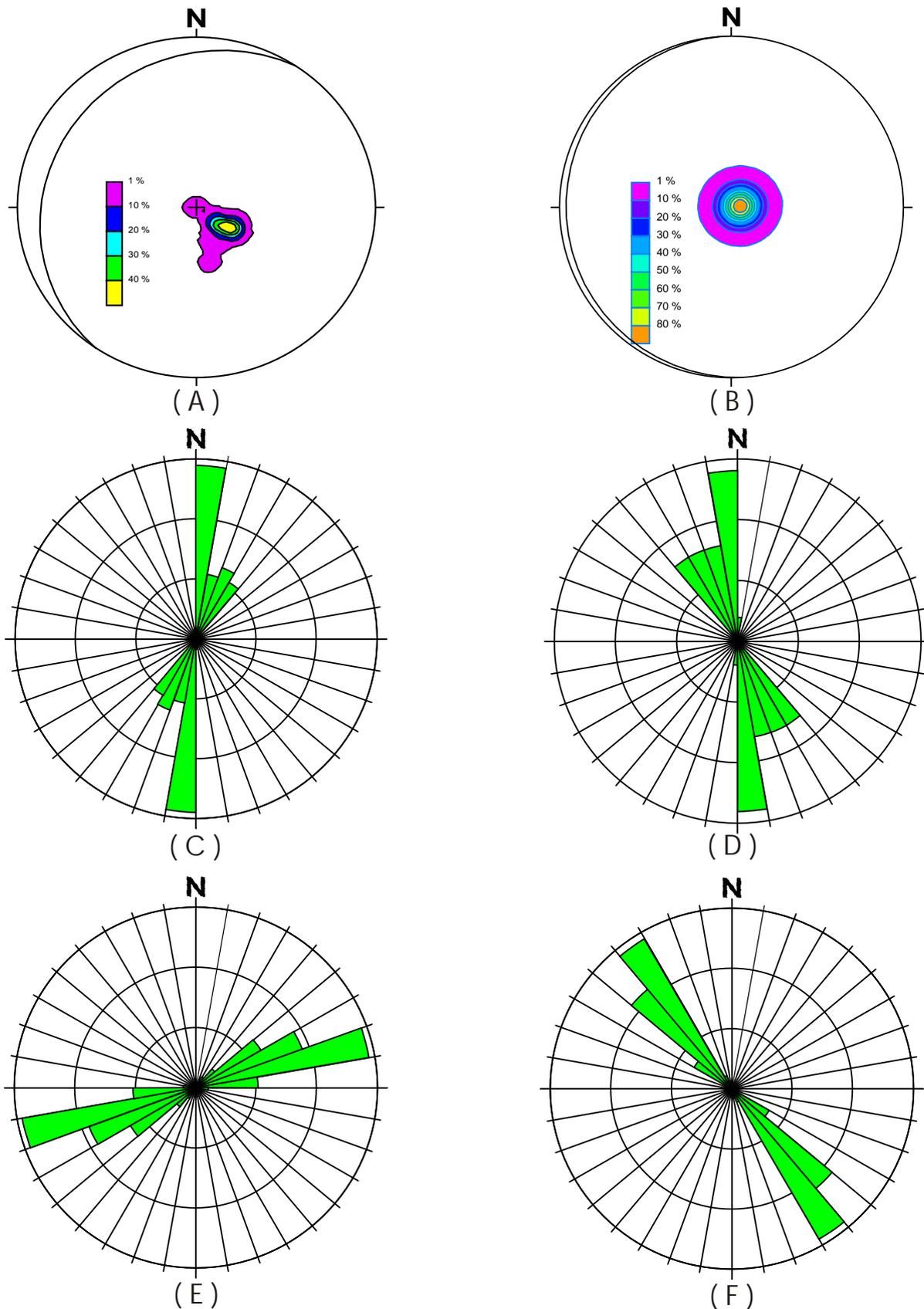
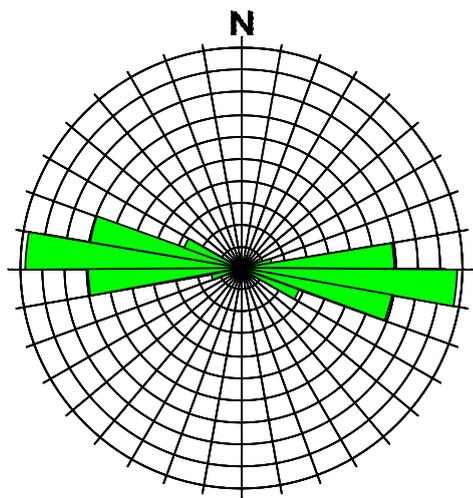
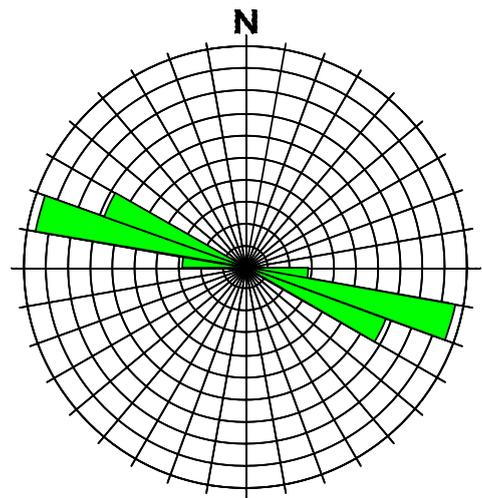


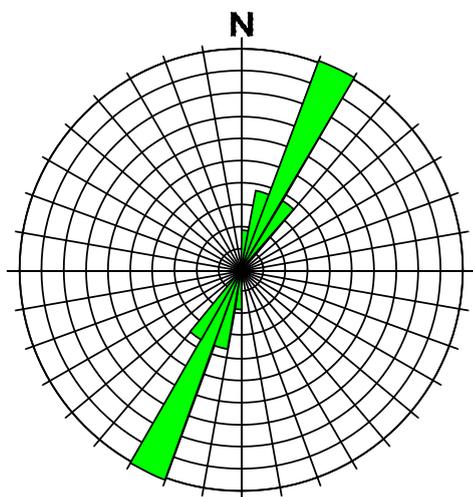
Figura 5.1: Diagramas de foliação e fraturas nos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras. (A) Foliação na Região de São Thomé das Letras; (B) Foliação na Região de Luminárias; (C) Família de Fraturas 01; (D) Família de Fraturas 02; (E) Família de Fraturas 03 e; (F) Família de Fraturas 04. Todas as medidas de fraturas são da Região de São Thomé das Letras.



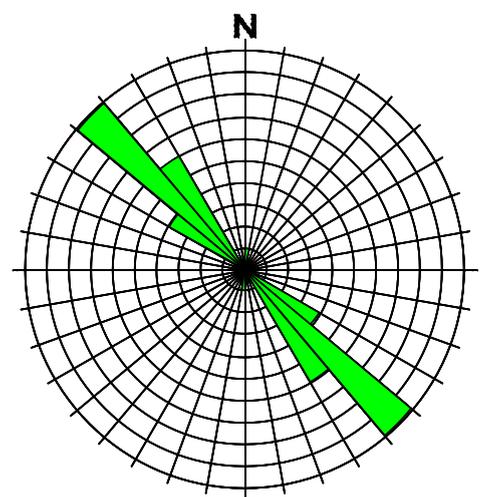
(A)



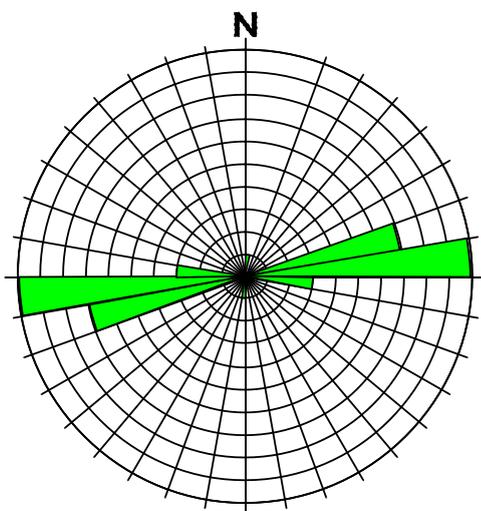
(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 5.2: Diagramas de fraturas nos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras na Região de Luminárias. (A) Família de Fraturas 01; (B) Família de Fraturas 02; (C) Família de Fraturas 03; (D) Família de Fraturas 04 e; (E) Família de Fraturas 05.

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	147,92	237,58	237,14	2,6449	2,6498	0,4907	0,1855
2	165,67	266,16	265,68	2,6438	2,6486	0,4777	0,1807
3	153,51	246,62	246,12	2,6433	2,6487	0,5370	0,2032
4	153,97	247,41	246,90	2,6423	2,6478	0,5458	0,2066
5	163,54	262,83	262,29	2,6417	2,6471	0,5439	0,2059
6	171,28	275,24	274,82	2,6435	2,6476	0,4040	0,1528
7	159,62	256,54	255,98	2,6411	2,6469	0,5778	0,2188
8	153,50	246,63	246,23	2,6439	2,6482	0,4295	0,1624
9	148,10	237,93	237,52	2,6441	2,6487	0,4564	0,1726
10	149,14	239,64	239,23	2,6434	2,6480	0,4530	0,1714
Valores Médios:				2,6432	2,6481	0,4916	0,1860
Desvio Padrão:				0,0012	0,0009	0,0574	0,0218

Tabela 01: Resultados da determinação dos Índices Físicos (ABNT, Norma NBR 12.766) para amostras do Quartzito Branco.

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	125,99	203,10	202,33	2,6239	2,6339	0,9986	0,3806
2	125,42	202,10	201,37	2,6261	2,6356	0,9520	0,3625
3	128,42	206,93	206,13	2,6255	2,6357	1,0190	0,3881
4	136,69	220,23	219,40	2,6263	2,6362	0,9935	0,3783
5	129,85	209,21	208,48	2,6270	2,6362	0,9199	0,3502
6	131,59	212,04	211,23	2,6256	2,6357	1,0068	0,3835
7	126,06	203,16	202,40	2,6252	2,6350	0,9857	0,3755
8	130,66	210,53	209,80	2,6268	2,6359	0,9140	0,3480
9	123,05	198,04	197,57	2,6346	2,6409	0,6268	0,2379
10	130,29	209,94	209,17	2,6261	2,6358	0,9667	0,3681
Valores Médios:				2,6267	2,6361	0,9383	0,3573
Desvio Padrão:				0,0029	0,0018	0,1151	0,0441

Tabela 02: Resultados da determinação dos Índices Físicos (ABNT, Norma NBR 12.766) para amostras do Quartzito Amarelo.

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	166,92	271,12	268,40	2,5758	2,6019	2,6104	1,0134
2	168,32	273,53	270,56	2,5716	2,5998	2,8229	1,0977
3	168,00	272,79	270,24	2,5789	2,6032	2,4334	0,9436
4	169,22	274,78	272,16	2,5782	2,6031	2,4820	0,9627
5	152,11	246,91	244,47	2,5788	2,6045	2,5738	0,9981
6	169,35	274,85	272,23	2,5804	2,6052	2,4834	0,9624
7	165,64	268,95	266,37	2,5784	2,6033	2,4973	0,9686
8	167,77	272,41	269,75	2,5779	2,6033	2,5420	0,9861
9	165,37	268,59	265,77	2,5748	2,6021	2,7320	1,0611
10	153,85	249,65	247,30	2,5814	2,6059	2,4530	0,9503
Valores Médios:				2,5776	2,6032	2,5630	0,9944
Desvio Padrão:				0,0029	0,0017	0,1269	0,0503

Tabela 03: Resultados da determinação dos Índices Físicos (ABNT, Norma NBR 12.766) para amostras do Quartzito Róseo.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3
1	20,86	21,72	26,90	25,91	23,85	34,24	41,41	39,81	39,94	38,85	240	1232	10,037
2	25,39	28,50	24,85	25,55	26,07	42,34	42,53	42,21	42,26	42,34	240	1884	11,784
3	27,11	27,51	22,38	22,69	24,92	41,74	42,33	41,58	42,08	41,93	240	1452	10,035
4	27,25	26,57	25,05	25,64	26,13	41,81	42,12	41,60	42,36	41,97	240	1346	8,456
5	27,27	27,24	27,04	26,79	27,09	41,80	41,53	41,35	41,10	41,45	240	2730	16,162
Média:					25,61					41,31		1728,80	11,29
Desvio Padrão:					1,25					1,41		611,65	2,96

Tabela 07: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Branco.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3
1	20,29	20,66	20,85	20,82	20,66	33,56	33,29	33,03	33,45	33,33	180	1838	17,449
2	20,45	20,50	20,51	20,69	20,54	32,94	32,61	31,41	33,56	32,63	180	1516	14,870
3	20,10	20,60	21,23	21,18	20,78	33,33	33,44	32,73	32,68	33,05	180	1964	18,586
4	22,44	22,38	21,82	21,91	22,14	30,35	30,60	31,00	31,09	30,76	180	1262	11,302
5	21,30	21,40	22,07	22,19	21,74	30,93	31,04	31,33	31,60	31,23	180	1188	10,867
Média:					21,17					32,20		1553,60	14,61
Desvio Padrão:					0,72					1,14		342,57	3,50

Tabela 08: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Amarelo.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3
1	20,62	20,59	20,17	20,64	20,51	32,26	32,95	32,40	33,10	32,68	180	1132	11,123
2	20,00	19,97	20,78	20,49	20,31	30,45	30,38	29,29	30,45	30,14	180	892	9,685
3	20,65	20,71	20,14	20,19	20,42	30,14	30,68	30,36	30,37	30,39	180	864	9,203
4	20,10	19,90	20,42	20,66	20,27	31,06	31,65	31,63	31,40	31,44	180	692	7,233
5	30,61	29,92	30,38	30,36	30,318	47,59	49,17	47,44	48,75	48,238	280	974	4,613
Média:					22,37					34,58		910,80	8,37
Desvio Padrão:					4,45					7,70		160,73	2,52

Tabela 09: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Róseo.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b				
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
1	22,93	21,65	22,60	22,20	22,35	29,84	28,80	30,24	29,01	29,47	180	1332	12,220	
2	20,31	22,09	20,57	22,83	21,45	29,39	29,95	29,38	30,17	29,72	180	838	8,273	
3	23,24	21,93	23,61	20,67	22,36	29,56	28,90	29,86	29,16	29,37	180	1062	9,761	
4	21,77	18,51	21,71	19,44	20,36	29,92	29,04	29,93	29,30	29,55	180	1210	13,340	
5	18,23	17,08	19,49	17,01	17,95	21,51	21,92	21,55	22,17	21,79	180	470	9,036	
Média:					20,89						27,98	982,40	10,53	
Desvio Padrão:					1,84						3,46	340,50	2,16	

Tabela 10: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Carrancas.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b				
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
1	20,31	20,30	20,21	20,29	20,28	36,55	37,68	36,81	37,49	37,13	180	2160	19,099	
2	20,18	20,39	20,41	20,34	20,33	36,23	36,78	36,58	36,58	36,54	180	2362	21,113	
3	20,53	20,41	20,49	20,54	20,49	35,87	35,02	35,28	35,08	35,31	180	2202	20,046	
4	21,26	21,43	21,66	21,99	21,59	39,24	39,61	39,49	39,51	39,46	180	2982	21,895	
5	26,54	26,34	26,80	26,33	26,50	40,72	41,33	39,80	40,60	40,61	230	1664	10,063	
Média:					21,84						37,81	2274	18,44	
Desvio Padrão:					2,66						2,17	474,15	4,80	

Tabela 11: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Luminárias.

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b				
num	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
1	10,36	10,51	10,35	10,58	10,45	16,54	17,62	16,14	16,92	16,81	180	104	7,651	
2	10,16	10,04	9,87	10,33	10,10	16,37	15,92	16,48	16,05	16,21	180	96	7,840	
3	10,09	10,31	10,17	10,50	10,27	16,92	16,37	16,95	16,37	16,65	180	98	7,536	
4	10,55	10,17	10,40	10,06	10,30	15,20	15,08	15,41	15,24	15,23	180	62	5,184	
5	1,44	9,95	10,26	10,39	8,01	16,00	16,15	16,07	16,19	16,10	180	72	9,408	
Média:					9,82						16,20	86,4	7,52	
Desvio Padrão:					1,02						0,62	18,30	1,51	

Tabela 12: Resultados da determinação de Resistência à Flexão dos Quatro Pontos (Norma ASTM C880) para amostras do Quartzito Carranquinha.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	4,80	1	4,10	1	3,17	0,70	1,63	0,72	1,50
	2	4,98	2	4,24	2	3,45	0,74	1,53		
	3	5,09	3	4,35	3	3,70	0,74	1,39		
	4	4,79	4	4,08	4	3,35	0,71	1,44		
2	1	4,30	1	4,14	1	3,52	0,16	0,78	0,32	0,71
	2	3,69	2	3,15	2	2,98	0,54	0,71		
	3	4,53	3	4,28	3	4,00	0,25	0,53		
	4	4,82	4	4,51	4	4,01	0,31	0,81		
média entre os corpos de prova									0,52	1,10
desvio padrão									0,29	0,56

Tabela 13: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Branco.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	6,52	1	5,85	1	5,30	0,67	1,22	0,72	1,37
	2	6,49	2	5,90	2	5,08	0,59	1,41		
	3	7,03	3	6,30	3	5,54	0,73	1,49		
	4	6,91	4	6,01	4	5,56	0,90	1,35		
2	1	6,41	1	5,79	1	5,10	0,62	1,31	0,57	1,03
	2	6,49	2	5,74	2	5,56	0,75	0,93		
	3	6,06	3	5,76	3	5,48	0,30	0,58		
	4	6,65	4	6,06	4	5,36	0,59	1,29		
média entre os corpos de prova									0,64	1,20
desvio padrão									0,11	0,24

Tabela 14: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Amarelo.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	4,00	1	2,46	1	1,68	1,54	2,32	1,33	2,20
	2	4,08	2	2,76	2	1,71	1,32	2,37		
	3	3,72	3	2,65	3	1,66	1,07	2,06		
	4	3,85	4	2,48	4	1,81	1,37	2,04		
2	1	3,67	1	2,56	1	1,55	1,11	2,12	1,11	1,96
	2	3,51	2	2,39	2	1,62	1,12	1,89		
	3	3,50	3	2,38	3	1,76	1,12	1,74		
	4	3,87	4	2,80	4	1,77	1,07	2,10		
média entre os corpos de prova									1,22	2,08
desvio padrão									0,16	0,17

Tabela 15: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Róseo.

altura das quedas (cm)	Corpo de prova 1				Corpo de prova 2				Corpo de prova 3				Corpo de prova 4				Corpo de prova 5			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x				x				x				x				x			
45	x				x				x				x				x			
50	x					x			x				x				x			
55	x						x			x			x				x			
60	x							x				x					x			
65	x										x						x			
70	x																x			
75	x																		x	
80			x														x			
85				x																x
90																				
95																				
100																				

espessura	e1		e2		e3		e4		
	20,11	19,80	20,54	21,78	20,82				
	20,03	19,28	19,41	21,95	22,17				
	20,12	19,44	19,48	21,26	22,62				
	20,21	19,61	21,30	21,49	20,66				

Tabela 19: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Branco.

altura das quedas (cm)	Corpo de prova 1				Corpo de prova 2				Corpo de prova 3				Corpo de prova 4				Corpo de prova 5			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x				x				x				x				x			
45	x				x				x				x				x			
50	x				x				x				x				x			
55	x				x				x				x				x			
60	x				x				x				x				x			x
65			x				x		x											
70				x				x				x								
75																				x
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				

espessura	e1		e2		e3		e4		
	18,24	19,72	19,79	18,95	20,58				
	17,61	19,38	18,89	19,43	21,94				
	18,45	18,17	19,24	19,20	22,25				
	18,96	18,55	21,72	18,97	20,53				

Tabela 20: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Amarelo.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	8,06	1	6,37	1	5,00	1,69	3,06	1,83	3,48
	2	8,52	2	6,41	2	4,48	2,11	4,04		
	3	8,68	3	6,68	3	4,75	2,00	3,93		
	4	8,02	4	6,52	4	5,15	1,50	2,87		
2	1	8,01	1	6,22	1	5,10	1,79	2,91	1,41	2,56
	2	8,42	2	6,45	2	5,40	1,97	3,02		
	3	8,06	3	6,74	3	5,59	1,32	2,47		
	4	7,10	4	6,54	4	5,26	0,56	1,84		
média entre os corpos de prova									1,62	3,02
desvio padrão									0,29	0,65

Tabela 16: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Carrancas.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	7,15	1	6,71	1	5,09	0,44	2,06	1,01	2,00
	2	6,67	2	6,16	2	5,21	0,51	1,46		
	3	6,94	3	6,11	3	5,28	0,83	1,66		
	4	8,36	4	6,12	4	5,53	2,24	2,83		
2	1	9,02	1	7,83	1	6,20	1,19	2,82	1,22	2,64
	2	8,80	2	7,42	2	6,13	1,38	2,67		
	3	9,03	3	7,66	3	6,50	1,37	2,53		
	4	8,66	4	7,74	4	6,11	0,92	2,55		
média entre os corpos de prova									1,11	2,32
desvio padrão									0,15	0,45

Tabela 17: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Luminárias.

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L _{500m}) (mm)	(Li - L _{1000m}) (mm)		
1	1	5,63	1	4,47	1	3,68	1,16	1,95	1,04	1,97
	2	5,75	2	4,70	2	3,90	1,05	1,85		
	3	5,60	3	4,84	3	3,79	0,76	1,81		
	4	5,86	4	4,66	4	3,59	1,20	2,27		
2	1	5,42	1	4,39	1	3,47	1,03	1,95	1,26	2,11
	2	5,58	2	4,08	2	3,70	1,50	1,88		
	3	5,66	3	4,26	3	3,44	1,40	2,22		
	4	5,52	4	4,42	4	3,13	1,10	2,39		
média entre os corpos de prova									1,15	2,04
desvio padrão									0,15	0,10

Tabela 18: Resultados da determinação de Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler (ABNT, Norma NBR 12.042) para amostras do Quartzito Carranquinha.

altura das quebras (cm)	Corpo de prova																			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	rachado	lascamento	fissura	ruptura																
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x				x				x				x				x			
45	x				x				x				x				x			
50	x				x				x				x				x			
55	x								x				x							
60			x				x		x				x						x	
65				x			x					x								
70										x			x							
75											x				x					
80												x								
85													x							
90																				
95																				
100																				

espessura	e1		e2		e3		e4	
	19,59	19,55	19,09	19,71	20,50	20,02	21,51	20,25
	19,94	19,11	19,34	19,93	20,37	20,96	21,53	21,53
	19,34	19,93	21,29	21,78	22,35			

Tabela 21: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Róseo.

altura das quebras (cm)	Corpo de prova																			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	rachado	lascamento	fissura	ruptura																
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x				x				x				x				x			
45	x				x				x				x				x			
50	x				x				x				x				x			
55	x				x				x				x				x			
60	x				x				x				x				x			
65	x						x		x				x				x			
70		x					x		x				x				x			
75				x			x		x				x				x			
80									x				x				x			
85									x				x				x			
90									x				x				x			
95									x				x						x	
100									x											x
105									x					x						
110									x						x					
115										x										
120											x									

espessura	e1		e2		e3		e4	
	24,06	21,34	21,30	20,72	33,11	34,97	37,11	35,62
	19,80	20,54	22,73	19,39	37,13	32,89	29,53	29,53
	22,73	19,39	35,81	36,43	36,43	29,76		

Tabela 22: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Carrancas.

altura das quedas (cm)	Corpo de prova																			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x				x				x				x				x			
45	x				x				x				x				x			
50	x				x					x			x				x			
55	x				x					x			x				x			
60	x				x						x			x			x			
65					x									x				x		
70			x												x					x
75				x		x														
80						x														
85							x													
90																				
95																				
100																				

espessura	e1	23,24	e1	26,07	e1	24,45	e1	19,09	e1	22,19
	e2	25,54	e2	22,77	e2	21,80	e2	20,16	e2	22,45
	e3	26,84	e3	23,23	e3	20,75	e3	21,68	e3	22,01
	e4	22,96	e4	26,26	e4	21,37	e4	21,45	e4	21,98

Tabela 23: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Luminárias.

altura das quedas (cm)	Corpo de prova																			
	num. 1				num. 2				num. 3				num. 4				num. 5			
	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura
20	x				x				x				x				x			
25	x				x				x				x				x			
30	x				x				x				x				x			
35	x				x				x				x				x			
40	x						x		x				x						x	
45	x								x				x							x
50			x						x											
55				x						x										
60										x										
65											x									
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				

espessura	e1	12,71	e1	11,06	e1	16,57	e1	9,48	e1	11,15
	e2	11,45	e2	10,85	e2	15,76	e2	10,83	e2	9,98
	e3	11,45	e3	10,82	e3	16,03	e3	11,2	e3	10,08
	e4	12,87	e4	10,81	e4	16,96	e4	11,02	e4	11,00

Tabela 24: Resultados da determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro (ABNT, Norma NBR 12.764) para amostras do Quartzito Carranquinha.

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	97,7	260,00	2661,21
2	92,7	260,00	2804,75
3	97,7	260,00	2661,21
4	94,5	260,00	2751,32
5	90,0	260,00	2888,89
Média:			2753,47
Desvio Padrão:			97,46

(A)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	59,6	210,00	3523,49
2	66,1	210,00	3177,00
3	57,5	210,00	3652,17
4	70,4	210,00	2982,95
5	69,4	210,00	3025,94
Média:			3272,31
Desvio Padrão:			300,37

(B)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo(s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	74,8	200,00	2673,80
2	77,7	200,00	2574,00
3	64,0	200,00	3125,00
4	74,8	200,00	2673,80
5	210,0	300,00	1428,57
Média:			2495,03
Desvio Padrão:			633,31

(C)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo(s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	40,0	200,00	5000,00
2	40,6	200,00	4926,11
3	42,5	200,00	4705,88
4	39,0	200,00	5128,21
5	49,3	200,00	4056,80
Média:			4763,40
Desvio Padrão:			423,71

(D)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo(s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	44,4	200,00	4504,50
2	42,0	200,00	4761,90
3	40,7	200,00	4914,00
4	38,3	200,00	5221,93
5	59,2	250,00	4222,97
Média:			4725,06
Desvio Padrão:			382,32

(E)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	65,5	200,00	3053,44
2	65,0	200,00	3076,92
3	61,2	200,00	3267,97
4	68,5	200,00	2919,71
5	67,1	200,00	2980,63
Média:			3059,73
Desvio Padrão:			131,88

(F)

Tabela 25: Resultados da Velocidade do Pulso Ultra-Sônico (Norma ASTM D 2.845) para amostras dos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras. (A) Quartzito Branco; (B) Quartzito Amarelo; (C) Quartzito Róseo; (D) Quartzito Carrancas; (E) Quartzito Luminárias e, (F) Quartzito Carranquinha.

ANEXO II

Tabela 01: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Branco do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	V ₂ O ₅	F	H ₂ O	TOTAL
45,97	0,41	32,74	0,05	0,00	3,41	1,45	0,00	0,20	0,30	11,03	0,00	0,00	4,44	100,0
46,96	0,37	33,54	0,07	0,00	3,22	1,37	0,00	0,00	0,25	9,72	0,00	0,00	4,50	100,0
46,36	0,24	32,78	0,00	0,01	3,30	1,59	0,01	0,31	0,24	10,72	0,00	0,01	4,45	100,0
45,61	0,41	33,07	0,04	0,00	3,42	1,47	0,00	0,12	0,25	11,14	0,03	0,01	4,43	100,0
46,30	0,69	32,97	0,04	0,01	3,33	1,36	0,00	0,03	0,18	10,62	0,00	0,00	4,46	100,0
45,81	0,41	33,02	0,00	0,01	3,32	1,56	0,00	0,08	0,25	11,09	0,00	0,01	4,44	100,0
47,12	0,53	33,07	0,05	0,00	3,41	1,43	0,02	0,00	0,21	9,63	0,03	0,01	4,49	100,0
46,14	0,55	33,25	0,07	0,01	3,32	1,41	0,00	0,00	0,24	10,55	0,00	0,01	4,46	100,0
46,06	0,48	32,71	0,00	0,00	3,19	1,40	0,03	0,31	0,37	10,98	0,02	0,01	4,43	100,0
46,76	0,41	33,34	0,00	0,00	3,13	1,41	0,00	0,07	0,25	10,13	0,00	0,01	4,48	100,0
46,29	0,48	32,50	0,01	0,05	3,31	1,60	0,00	0,05	0,26	10,99	0,00	0,01	4,44	100,0
46,54	0,36	32,49	0,00	0,00	3,22	1,54	0,00	0,19	0,23	10,97	0,00	0,00	4,45	100,0
46,19	0,42	32,81	0,03	0,02	3,21	1,53	0,00	0,12	0,27	10,96	0,00	0,00	4,45	100,0
47,16	0,57	32,73	0,01	0,00	3,23	1,63	0,01	0,13	0,19	9,86	0,00	0,00	4,49	100,0
46,32	0,53	32,83	0,03	0,01	3,42	1,44	0,00	0,00	0,23	10,72	0,02	0,00	4,46	100,0
46,67	0,46	32,07	0,03	0,00	3,28	1,64	0,00	0,11	0,24	11,06	0,00	0,00	4,45	100,0
46,00	0,65	32,89	0,00	0,06	3,29	1,44	0,00	0,00	0,34	10,84	0,03	0,01	4,45	100,0
46,36	0,51	32,87	0,04	0,01	3,28	1,39	0,01	0,02	0,26	10,79	0,00	0,01	4,45	100,0
45,85	0,57	33,00	0,00	0,03	3,36	1,41	0,00	0,09	0,24	10,96	0,02	0,02	4,44	100,0
46,19	0,54	33,09	0,09	0,05	3,19	1,56	0,00	0,01	0,24	10,58	0,00	0,00	4,46	100,0
46,26	0,47	33,91	0,01	0,00	3,22	1,34	0,02	0,00	0,33	9,95	0,00	0,00	4,49	100,0
46,80	0,47	34,92	0,00	0,01	2,96	1,20	0,04	0,00	0,21	8,86	0,01	0,00	4,53	100,0
46,11	0,52	32,82	0,02	0,00	3,30	1,46	0,00	0,00	0,24	11,09	0,00	0,00	4,45	100,0
46,18	0,55	32,71	0,00	0,00	3,29	1,61	0,00	0,03	0,26	10,92	0,00	0,01	4,44	100,0
46,39	0,61	32,51	0,04	0,00	3,31	1,41	0,00	0,19	0,25	10,80	0,03	0,00	4,45	100,0
46,71	0,53	33,22	0,00	0,00	2,93	1,43	0,00	0,14	0,18	10,37	0,00	0,00	4,48	100,0
46,47	0,44	33,25	0,00	0,00	3,14	1,49	0,00	0,00	0,24	10,50	0,00	0,00	4,47	100,0
46,37	0,47	33,28	0,07	0,00	3,20	1,44	0,00	0,02	0,23	10,43	0,04	0,00	4,47	100,0
46,16	0,45	32,69	0,03	0,03	3,53	1,42	0,02	0,00	0,24	10,98	0,00	0,00	4,45	100,0
45,65	0,46	33,02	0,00	0,02	3,35	1,64	0,02	0,05	0,22	11,11	0,01	0,00	4,44	100,0

Tabela 02: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Amarelo do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na₂O	K₂O	V₂O₅	F	H₂O	TOTAL
45,63	0,47	33,47	0,00	0,06	3,20	1,31	0,00	0,30	0,46	10,62	0,01	0,02	4,44	100,0
46,47	0,36	34,55	0,00	0,00	2,93	0,83	0,00	0,05	0,39	9,91	0,00	0,01	4,49	100,0
46,10	0,39	33,63	0,05	0,00	3,15	1,20	0,00	0,36	0,40	10,26	0,00	0,00	4,46	100,0
45,86	0,48	33,68	0,00	0,00	3,50	1,02	0,00	0,15	0,50	10,31	0,03	0,01	4,46	100,0
46,18	0,43	33,54	0,00	0,00	2,98	1,12	0,01	0,37	0,44	10,47	0,00	0,00	4,46	100,0
45,41	0,38	34,15	0,00	0,06	3,12	1,01	0,00	0,34	0,51	10,56	0,00	0,00	4,45	100,0
46,05	0,23	34,12	0,00	0,00	2,81	1,09	0,00	0,38	0,42	10,28	0,05	0,01	4,57	100,0
45,59	0,41	35,68	0,01	0,00	2,81	0,64	0,01	0,18	0,45	9,73	0,00	0,01	4,49	100,0
46,34	0,35	34,40	0,00	0,02	3,51	0,94	0,00	0,17	0,36	9,41	0,00	0,02	4,48	100,0
46,06	0,44	33,21	0,03	0,06	3,22	1,35	0,00	0,08	0,44	10,66	0,00	0,00	4,46	100,0
45,74	0,42	33,72	0,00	0,00	3,04	1,28	0,00	0,34	0,44	10,56	0,02	0,00	4,46	100,0
46,70	0,41	34,65	0,06	0,00	2,74	0,60	0,00	0,15	0,47	9,72	0,00	0,00	4,50	100,0
45,94	0,50	33,84	0,00	0,00	3,25	1,19	0,00	0,28	0,42	10,08	0,03	0,02	4,46	100,0
46,84	0,44	33,53	0,00	0,00	2,92	1,09	0,02	0,13	0,38	10,16	0,01	0,01	4,48	100,0
45,46	0,34	34,77	0,01	0,00	3,14	0,98	0,02	0,38	0,38	10,07	0,00	0,00	4,47	100,0
45,87	0,43	34,05	0,01	0,00	3,09	1,05	0,01	0,27	0,36	10,40	0,00	0,00	4,47	100,0
46,32	0,33	34,63	0,00	0,05	2,94	0,93	0,02	0,29	0,40	9,61	0,00	0,00	4,49	100,0
46,49	0,35	33,91	0,09	0,01	3,17	0,85	0,00	0,21	0,36	10,08	0,00	0,01	4,48	100,0
45,65	0,41	33,79	0,03	0,00	3,47	0,95	0,00	0,50	0,39	10,36	0,00	0,00	4,45	100,0
45,95	0,47	33,59	0,01	0,03	3,19	1,14	0,00	0,32	0,44	10,36	0,02	0,03	4,45	100,0
45,58	0,51	34,23	0,01	0,00	3,27	1,05	0,00	0,32	0,43	10,13	0,00	0,00	4,46	100,0
47,27	0,36	33,55	0,00	0,00	2,93	1,13	0,06	0,25	0,35	9,57	0,04	0,01	4,50	100,0

Tabela 03: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Róseo do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na₂O	K₂O	V₂O₅	F	H₂O	TOTAL
46,39	0,50	32,38	0,00	0,04	3,32	1,69	0,00	0,02	0,25	10,95	0,02	0,00	4,45	100,0
46,12	0,52	33,62	0,00	0,00	3,15	1,42	0,00	0,02	0,25	10,44	0,00	0,00	4,47	100,0
46,40	0,59	33,61	0,02	0,02	3,04	1,41	0,03	0,00	0,24	10,15	0,00	0,00	4,49	100,0
45,15	0,53	33,61	0,00	0,05	3,41	1,45	0,00	0,00	0,33	11,01	0,01	0,00	4,44	100,0
46,20	0,44	32,73	0,04	0,00	3,31	1,58	0,00	0,03	0,31	10,90	0,00	0,00	4,45	100,0
46,21	0,51	32,52	0,03	0,00	3,36	1,49	0,00	0,05	0,31	11,07	0,00	0,00	4,45	100,0
45,82	0,32	33,13	0,02	0,01	3,35	1,58	0,00	0,00	0,31	11,02	0,00	0,00	4,45	100,0
46,34	0,45	32,73	0,01	0,00	3,26	1,59	0,01	0,03	0,29	10,84	0,00	0,00	4,46	100,0
46,89	0,43	34,64	0,00	0,03	2,92	1,04	0,01	0,06	0,23	9,19	0,03	0,00	4,52	100,0
46,77	0,43	32,87	0,01	0,00	3,26	1,48	0,00	0,00	0,30	10,41	0,00	0,00	4,47	100,0
46,47	0,45	33,61	0,06	0,00	3,12	1,22	0,00	0,00	0,32	10,24	0,03	0,00	4,48	100,0
46,15	0,51	32,92	0,00	0,03	3,19	1,45	0,00	0,00	0,32	10,88	0,09	0,02	4,45	100,0
46,22	0,45	32,48	0,00	0,03	3,70	1,52	0,00	0,00	0,27	10,88	0,00	0,01	4,44	100,0
46,01	0,47	32,60	0,00	0,07	3,53	1,51	0,00	0,03	0,29	10,99	0,05	0,00	4,44	100,0
46,70	0,35	32,47	0,00	0,01	3,39	1,59	0,01	0,14	0,30	10,57	0,01	0,00	4,47	100,0
46,15	0,56	32,85	0,03	0,01	3,16	1,39	0,00	0,15	0,28	10,96	0,00	0,00	4,45	100,0
46,54	0,54	32,04	0,03	0,00	3,32	1,60	0,00	0,00	0,29	11,17	0,01	0,02	4,43	100,0
46,23	0,47	32,30	0,00	0,00	3,41	1,46	0,00	0,08	0,28	11,33	0,00	0,00	4,44	100,0
46,36	0,44	32,72	0,00	0,00	3,02	1,58	0,01	0,02	0,26	11,02	0,11	0,01	4,46	100,0
46,53	0,46	32,67	0,03	0,00	3,33	1,34	0,01	0,00	0,30	10,87	0,00	0,00	4,46	100,0
45,90	0,55	32,97	0,04	0,00	3,54	1,35	0,00	0,00	0,29	10,91	0,00	0,01	4,44	100,0
47,17	0,27	32,57	0,02	0,00	3,21	1,49	0,00	0,00	0,23	10,57	0,00	0,00	4,48	100,0
46,20	0,50	33,83	0,02	0,03	3,25	1,23	0,00	0,00	0,28	10,12	0,06	0,00	4,48	100,0
50,62	0,46	29,88	0,07	0,00	2,82	1,56	0,00	0,00	0,26	9,75	0,05	0,01	4,52	100,0
46,24	0,49	32,59	0,01	0,00	3,41	1,53	0,00	0,11	0,24	10,93	0,00	0,01	4,44	100,0
46,28	0,51	32,67	0,00	0,00	3,35	1,57	0,00	0,00	0,26	10,84	0,05	0,01	4,45	100,0
46,03	0,62	32,71	0,00	0,01	3,20	1,54	0,00	0,06	0,28	10,86	0,08	0,01	4,60	100,0
45,98	0,54	33,24	0,02	0,00	3,20	1,48	0,00	0,00	0,36	10,73	0,00	0,00	4,46	100,0

Tabela 04: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Carrancas do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na₂O	K₂O	V₂O₅	F	H₂O	TOTAL
45,09	0,93	32,29	0,02	0,06	6,10	0,42	0,03	0,00	0,19	10,47	0,00	0,00	4,40	100,0
45,10	0,94	31,85	0,02	0,00	6,01	0,50	0,00	0,03	0,21	10,94	0,00	0,00	4,39	100,0
44,57	0,72	31,84	0,00	0,07	6,30	0,53	0,00	0,18	0,17	11,25	0,00	0,00	4,36	100,0
44,58	0,85	31,76	0,03	0,10	6,53	0,50	0,00	0,10	0,20	10,97	0,00	0,02	4,36	100,0
45,14	0,75	32,01	0,03	0,06	6,05	0,46	0,02	0,03	0,20	10,86	0,00	0,00	4,39	100,0
44,99	0,81	31,38	0,00	0,09	6,62	0,50	0,03	0,05	0,23	10,90	0,02	0,02	4,36	100,0
45,05	0,61	31,68	0,05	0,04	6,30	0,55	0,04	0,10	0,24	10,96	0,00	0,00	4,38	100,0
44,84	0,67	32,80	0,00	0,00	6,03	0,47	0,01	0,00	0,21	10,56	0,00	0,01	4,39	100,0
45,36	0,56	31,62	0,02	0,09	6,34	0,51	0,00	0,01	0,19	10,91	0,00	0,00	4,38	100,0
45,37	0,66	32,57	0,00	0,06	5,67	0,48	0,00	0,21	0,20	10,39	0,00	0,00	4,40	100,0
44,75	0,69	31,95	0,02	0,10	6,41	0,45	0,00	0,00	0,20	11,04	0,01	0,01	4,37	100,0
45,28	0,75	31,68	0,07	0,07	6,26	0,55	0,03	0,14	0,19	10,61	0,00	0,00	4,39	100,0
44,58	0,83	32,43	0,04	0,06	6,03	0,45	0,00	0,08	0,20	10,92	0,00	0,01	4,37	100,0
44,96	1,05	31,44	0,02	0,09	6,39	0,58	0,06	0,03	0,22	10,78	0,00	0,01	4,37	100,0
44,73	1,15	31,52	0,00	0,06	6,16	0,52	0,00	0,37	0,20	10,89	0,03	0,01	4,36	100,0
44,52	0,93	31,82	0,02	0,06	6,42	0,50	0,00	0,05	0,19	11,11	0,00	0,00	4,37	100,0
45,34	1,11	32,11	0,02	0,04	5,99	0,53	0,04	0,05	0,16	10,22	0,00	0,01	4,40	100,0
44,99	1,14	31,45	0,00	0,10	6,18	0,70	0,03	0,02	0,19	10,83	0,00	0,00	4,38	100,0
44,75	1,35	31,94	0,02	0,00	5,97	0,51	0,00	0,03	0,20	10,82	0,00	0,02	4,38	100,0
45,21	0,86	31,86	0,03	0,04	6,25	0,55	0,00	0,17	0,15	10,46	0,02	0,01	4,39	100,0
44,96	0,95	31,29	0,04	0,00	6,23	0,68	0,01	0,02	0,15	11,29	0,00	0,01	4,36	100,0

Tabela 05: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Luminárias do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na₂O	K₂O	V₂O₅	F	H₂O	TOTAL
46,12	1,01	30,69	0,03	0,00	6,61	0,70	0,00	0,05	0,12	10,28	0,00	0,01	4,39	100,0
45,89	1,18	30,22	0,00	0,03	6,20	0,72	0,01	0,00	0,10	11,27	0,00	0,00	4,38	100,0
45,58	0,62	30,81	0,03	0,00	6,38	0,57	0,00	0,24	0,17	11,19	0,05	0,00	4,37	100,0
45,74	0,71	30,83	0,00	0,02	6,28	0,57	0,00	0,02	0,14	11,31	0,00	0,00	4,38	100,0
46,08	0,75	30,23	0,00	0,04	6,56	0,68	0,03	0,13	0,19	10,93	0,01	0,00	4,38	100,0
45,68	0,72	30,67	0,02	0,01	6,46	0,66	0,00	0,00	0,17	11,20	0,04	0,01	4,37	100,0
45,51	0,69	31,06	0,03	0,00	6,37	0,54	0,00	0,07	0,18	11,18	0,01	0,00	4,37	100,0
45,26	1,33	30,74	0,00	0,02	6,42	0,63	0,00	0,00	0,17	11,03	0,04	0,00	4,37	100,0
45,69	0,74	30,90	0,03	0,00	6,51	0,59	0,03	0,03	0,18	10,92	0,00	0,00	4,38	100,0
45,96	0,72	30,27	0,01	0,03	6,26	0,76	0,03	0,17	0,17	11,24	0,02	0,00	4,37	100,0
45,82	0,67	30,41	0,00	0,00	6,62	0,76	0,00	0,00	0,14	11,20	0,00	0,02	4,36	100,0
45,14	0,78	30,88	0,05	0,05	6,56	0,64	0,01	0,19	0,20	11,15	0,00	0,00	4,36	100,0
46,85	0,47	32,48	0,01	0,01	5,23	0,55	0,11	0,00	0,14	9,62	0,07	0,01	4,45	100,0
45,99	0,98	30,55	0,00	0,01	6,04	0,65	0,00	0,00	0,11	11,21	0,06	0,00	4,39	100,0
45,79	0,80	30,60	0,00	0,00	6,50	0,67	0,00	0,02	0,11	11,13	0,00	0,00	4,38	100,0
45,50	0,87	30,63	0,04	0,03	6,56	0,57	0,00	0,00	0,15	11,29	0,00	0,01	4,36	100,0
46,06	0,80	29,96	0,00	0,03	6,66	0,74	0,00	0,11	0,14	11,10	0,01	0,00	4,37	100,0
46,04	0,86	30,26	0,00	0,00	6,62	0,65	0,02	0,00	0,18	10,96	0,03	0,00	4,38	100,0
45,72	0,77	30,59	0,00	0,02	6,60	0,70	0,00	0,00	0,13	11,10	0,00	0,00	4,37	100,0
45,34	0,77	31,28	0,03	0,00	6,36	0,56	0,00	0,03	0,14	11,12	0,00	0,00	4,38	100,0
45,51	0,97	30,88	0,01	0,04	6,21	0,70	0,00	0,00	0,17	11,12	0,00	0,00	4,38	100,0
46,01	0,77	30,37	0,00	0,01	6,44	0,63	0,04	0,15	0,21	10,99	0,00	0,00	4,37	100,0

Tabela 06: Análises químicas de muscovitas do Quartzito Carranquinha do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	BaO	Na₂O	K₂O	V₂O₅	F	H₂O	TOTAL
45,51	0,74	31,08	0,00	0,03	6,30	0,61	0,00	0,16	0,20	11,00	0,00	0,00	4,38	100,0
44,71	0,69	31,59	0,08	0,07	6,66	0,48	0,00	0,00	0,21	11,15	0,00	0,00	4,36	100,0
44,47	0,80	32,07	0,02	0,07	6,24	0,47	0,00	0,18	0,21	11,11	0,00	0,00	4,37	100,0
44,92	0,77	31,73	0,03	0,04	6,31	0,46	0,00	0,08	0,24	11,05	0,00	0,01	4,37	100,0
44,97	0,82	32,10	0,01	0,03	5,99	0,52	0,00	0,00	0,20	10,97	0,00	0,01	4,38	100,0
45,19	0,76	31,63	0,00	0,05	6,27	0,47	0,01	0,06	0,22	10,97	0,00	0,00	4,38	100,0
45,19	0,77	31,47	0,04	0,04	6,28	0,38	0,00	0,05	0,16	11,24	0,00	0,01	4,37	100,0
44,43	0,62	32,02	0,01	0,05	6,54	0,42	0,00	0,17	0,20	11,15	0,02	0,01	4,35	100,0
45,27	0,69	31,11	0,06	0,11	6,44	0,62	0,00	0,08	0,23	11,04	0,00	0,00	4,37	100,0
45,44	0,81	30,98	0,01	0,06	6,40	0,54	0,00	0,26	0,27	10,86	0,00	0,01	4,37	100,0
45,63	0,83	31,29	0,00	0,06	6,14	0,45	0,00	0,16	0,22	10,83	0,00	0,00	4,38	100,0
45,90	0,82	30,85	0,01	0,04	6,09	0,64	0,00	0,00	0,16	11,10	0,00	0,00	4,39	100,0
44,80	0,78	31,87	0,06	0,02	6,20	0,45	0,00	0,20	0,26	10,91	0,05	0,01	4,37	100,0
45,13	0,51	31,96	0,00	0,06	6,41	0,43	0,01	0,02	0,19	10,90	0,00	0,00	4,38	100,0
45,00	0,59	31,65	0,00	0,03	6,50	0,46	0,00	0,00	0,25	11,15	0,00	0,00	4,38	100,0
44,96	0,61	31,99	0,00	0,04	6,25	0,42	0,01	0,08	0,27	10,99	0,00	0,00	4,38	100,0
44,78	0,63	31,83	0,00	0,00	6,51	0,48	0,00	0,03	0,22	11,14	0,00	0,00	4,37	100,0
44,98	0,54	31,70	0,00	0,05	6,49	0,40	0,02	0,30	0,26	10,90	0,00	0,00	4,37	100,0
45,01	0,54	31,83	0,01	0,05	6,40	0,40	0,00	0,05	0,20	11,15	0,00	0,00	4,37	100,0
45,13	0,95	30,98	0,00	0,07	6,45	0,49	0,00	0,31	0,17	11,09	0,00	0,00	4,36	100,0
45,15	0,69	31,24	0,00	0,07	6,32	0,53	0,00	0,19	0,20	11,25	0,00	0,00	4,36	100,0
45,34	0,82	30,98	0,02	0,08	6,29	0,58	0,01	0,18	0,19	11,13	0,00	0,00	4,37	100,0
44,84	0,76	31,23	0,00	0,06	6,44	0,54	0,00	0,20	0,23	11,35	0,00	0,00	4,36	100,0
45,00	0,57	32,05	0,02	0,06	6,08	0,43	0,00	0,11	0,23	11,03	0,02	0,02	4,37	100,0
44,76	0,55	31,34	0,00	0,08	6,72	0,58	0,00	0,24	0,17	11,20	0,01	0,00	4,35	100,0

Tabela 07: Análises químicas de magnetitas do Quartzito Branco do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,04	2,30	0,03	0,06	0,00	30,99	66,42	0,01	0,02	0,00	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	100,0
0,05	2,36	0,05	0,10	0,09	30,94	66,28	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,02	0,01	100,0
0,08	2,32	0,04	0,09	0,02	30,97	66,23	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05	0,18	0,00	0,00	100,0
0,13	2,63	0,01	0,07	0,04	30,97	66,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	100,0
0,07	2,77	0,00	0,13	0,05	30,95	65,98	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,18	2,52	0,05	0,11	0,06	30,93	66,02	0,00	0,02	0,03	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	100,0
0,02	2,54	0,04	0,07	0,12	30,86	66,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,23	0,00	0,00	100,0
0,09	4,13	0,03	0,10	0,00	30,97	64,56	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	100,0
0,13	2,43	0,01	0,05	0,02	30,89	66,03	0,01	0,01	0,05	0,05	0,15	0,17	0,00	0,00	100,0
0,12	2,12	0,00	0,09	0,02	30,94	66,44	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,13	0,03	0,00	100,0
0,09	2,81	0,03	0,06	0,06	30,90	65,68	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,29	0,00	0,00	100,0

Tabela 08: Análise química de magnetita do Quartzito Amarelo do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,15	1,18	0,00	0,12	0,05	30,98	67,40	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	100,0

Tabela 09: Análises químicas de magnetitas do Quartzito Róseo do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,07	2,04	0,07	0,07	0,09	30,81	66,59	0,02	0,01	0,09	0,04	0,06	0,00	0,04	0,00	100,0
0,08	4,76	0,06	0,09	0,02	30,93	63,79	0,01	0,00	0,08	0,04	0,12	0,00	0,03	0,00	100,0
0,05	2,54	0,00	0,09	0,04	30,99	66,26	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	100,0
0,04	2,08	0,02	0,10	0,02	30,95	66,65	0,01	0,00	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	100,0
0,08	2,10	0,05	0,11	0,02	30,97	66,50	0,02	0,01	0,00	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	100,0
0,11	2,09	0,00	0,08	0,03	30,97	66,59	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	100,0
0,03	2,39	0,06	0,07	0,04	30,97	66,24	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,08	0,04	0,00	100,0
0,13	1,82	0,01	0,07	0,00	30,95	66,80	0,00	0,02	0,06	0,01	0,00	0,10	0,00	0,02	100,0
0,14	8,03	0,01	0,06	0,04	30,92	60,58	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,18	0,00	0,00	100,0
0,14	1,82	0,00	0,09	0,03	30,87	66,65	0,03	0,01	0,04	0,05	0,02	0,25	0,00	0,00	100,0

Tabela 10: Análises químicas de titano-magnetitas do Quartzito Carrancas do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,08	5,44	0,00	0,08	0,15	30,80	63,08	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,29	0,00	0,00	100,0
0,01	5,41	0,00	0,03	0,11	30,90	63,29	0,02	0,00	0,02	0,00	0,13	0,06	0,02	0,00	100,0
0,05	5,38	0,02	0,05	0,13	30,91	63,44	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,00	6,09	0,00	0,03	0,22	30,70	62,81	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	100,0
0,02	6,05	0,01	0,05	0,14	30,86	62,81	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,05	4,97	0,00	0,01	0,04	30,84	63,68	0,00	0,01	0,09	0,03	0,04	0,21	0,02	0,00	100,0
0,04	6,46	0,02	0,02	0,06	30,96	62,34	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,00	6,22	0,07	0,04	0,16	30,81	62,48	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,14	0,00	0,00	100,0
0,02	5,96	0,00	0,04	0,14	30,84	62,79	0,00	0,02	0,00	0,14	0,00	0,04	0,00	0,00	100,0
0,05	6,39	0,02	0,03	0,16	30,86	62,47	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,00	6,46	0,02	0,02	0,17	30,79	62,29	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,19	0,02	0,00	100,0
0,05	6,20	0,00	0,06	0,18	30,83	62,58	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	100,0

Tabela 11: Análises químicas de titano-magnetitas do Quartzito Luminárias do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,03	14,87	0,09	0,05	0,04	30,72	54,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,03	0,00	100,0
0,05	12,16	0,00	0,01	0,22	30,80	56,67	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	100,0
0,04	11,54	0,01	0,04	0,21	30,75	57,26	0,01	0,03	0,02	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	100,0
0,05	9,92	0,03	0,04	0,14	30,89	58,91	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,09	11,72	0,00	0,02	0,07	30,88	56,91	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,21	0,04	0,00	100,0
0,06	9,99	0,00	0,03	0,05	30,93	58,87	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,11	10,67	0,03	0,04	0,09	31,24	57,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,07	9,91	0,06	0,06	0,04	30,98	58,86	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,01	12,29	0,01	0,03	0,19	30,75	56,46	0,01	0,00	0,04	0,00	0,03	0,15	0,03	0,00	100,0
0,06	11,84	0,00	0,06	0,20	30,83	56,99	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	100,0
0,02	9,90	0,00	0,06	0,08	30,86	58,88	0,02	0,02	0,03	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,02	10,62	0,00	0,01	0,04	30,93	58,24	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	100,0
0,02	13,70	0,05	0,05	0,20	30,77	55,08	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,01	13,96	0,02	0,04	0,27	30,73	54,91	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	100,0
0,03	11,78	0,00	0,03	0,12	30,80	56,82	0,01	0,01	0,01	0,08	0,04	0,27	0,00	0,00	100,0
0,03	12,05	0,01	0,04	0,04	30,88	56,86	0,03	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,01	11,88	0,00	0,03	0,02	30,92	56,97	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,09	0,01	0,00	100,0
0,02	10,26	0,04	0,01	0,04	30,88	58,58	0,02	0,00	0,07	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	100,0
0,00	10,85	0,05	0,02	0,06	30,87	58,00	0,00	0,01	0,09	0,01	0,05	0,00	0,01	0,00	100,0

Tabela 12: Análises químicas de titano-magnetitas do Quartzito Carranquinha do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Cr₂O₃	Al₂O₃	MnO	FeO	Fe₂O₃	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,09	4,79	0,00	0,01	0,13	30,75	63,89	0,01	0,01	0,10	0,00	0,00	0,20	0,03	0,00	100,0
0,06	5,36	0,04	0,03	0,11	30,82	63,36	0,02	0,00	0,06	0,04	0,08	0,00	0,01	0,00	100,0
0,10	5,33	0,01	0,02	0,20	30,82	63,47	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	100,0
0,09	5,34	0,00	0,05	0,09	30,87	63,37	0,03	0,02	0,00	0,00	0,08	0,05	0,00	0,00	100,0
0,09	5,47	0,00	0,04	0,20	30,76	62,99	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,39	0,01	0,00	100,0
0,05	5,49	0,04	0,03	0,18	30,82	63,25	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,07	0,00	100,0
0,01	5,55	0,05	0,07	0,11	30,81	63,29	0,01	0,01	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	100,0
0,08	5,69	0,03	0,06	0,12	30,83	62,89	0,00	0,00	0,05	0,09	0,00	0,16	0,00	0,00	100,0
0,07	5,81	0,00	0,02	0,14	30,89	62,98	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	100,0
0,03	6,04	0,07	0,07	0,13	30,85	62,73	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	100,0

Tabela 13: Análise química de ilmenita e rutilo do Quartzito Branco do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
1,39	5,89	0,02	0,14	0,08	92,12	0,00	0,24	0,00	0,02	0,06	0,04	0,00	0,00	100,0
1,52	91,93	0,00	1,62	0,02	4,80	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	100,0

Tabela 14: Análises químicas de rutilos do Quartzito Róseo do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,07	82,74	0,05	0,03	0,00	17,07	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
0,31	94,94	0,04	0,02	0,00	4,52	0,00	0,02	0,00	0,02	0,14	0,00	0,01	0,00	100,0

Tabela 15: Análises químicas de rutilos do Quartzito Carrancas do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,02	88,54	0,02	0,00	0,00	4,56	0,00	0,00	0,00	0,05	6,75	0,05	0,00	0,00	100,0
0,03	88,55	0,03	0,01	0,00	4,75	0,00	0,02	0,00	0,00	6,04	0,57	0,00	0,00	100,0
0,00	91,01	0,04	0,05	0,04	3,78	0,00	0,00	0,00	0,03	4,40	0,65	0,00	0,00	100,0
0,02	90,28	0,00	0,00	0,01	4,19	0,01	0,01	0,00	0,05	4,04	1,39	0,00	0,00	100,0
0,02	96,49	0,05	0,02	0,01	1,61	0,01	0,01	0,00	0,04	1,59	0,15	0,00	0,00	100,0
0,03	96,33	0,01	0,00	0,01	1,81	0,00	0,00	0,01	0,02	1,67	0,10	0,00	0,00	100,0
0,06	96,13	0,01	0,01	0,01	1,70	0,00	0,02	0,03	0,00	1,98	0,05	0,00	0,00	100,0
0,06	96,62	0,01	0,05	0,00	1,48	0,00	0,01	0,00	0,04	1,73	0,00	0,00	0,00	100,0
0,07	96,53	0,02	0,03	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	0,06	0,00	0,00	100,0

Tabela 16: Análises químicas de rutilos do Quartzito Luminárias do Centro Produtor de São Thomé das Letras.

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO	FeO	MgO	CaO	NiO	SnO₂	Nb₂O₅	Ta₂O₅	P₂O₅	V₂O₅	TOTAL
0,08	85,18	0,03	0,00	0,03	14,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,02	0,00	100,0
0,09	96,71	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,03	0,01	0,07	0,85	0,20	0,86	0,00	100,0
0,05	97,90	0,02	0,00	0,00	1,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,72	0,24	0,00	0,00	100,0
0,10	98,20	0,01	0,00	0,00	0,93	0,01	0,01	0,02	0,00	0,71	0,00	0,03	0,00	100,0
0,01	98,43	0,05	0,02	0,00	0,78	0,00	0,00	0,05	0,05	0,42	0,17	0,02	0,00	100,0
0,07	98,61	0,02	0,04	0,00	0,76	0,00	0,01	0,00	0,03	0,35	0,11	0,00	0,00	100,0
0,10	98,27	0,00	0,04	0,00	0,83	0,01	0,00	0,00	0,00	0,54	0,20	0,00	0,00	100,0
0,10	98,00	0,02	0,08	0,02	0,85	0,00	0,01	0,02	0,08	0,76	0,04	0,01	0,00	100,0
0,25	97,81	0,12	0,03	0,00	0,98	0,00	0,02	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	100,0
0,05	77,10	0,00	0,00	0,01	22,34	0,00	0,02	0,00	0,04	0,41	0,02	0,00	0,00	100,0
0,07	98,32	0,00	0,01	0,00	0,89	0,00	0,03	0,00	0,00	0,67	0,00	0,01	0,00	100,0
0,11	98,75	0,00	0,01	0,01	0,76	0,00	0,00	0,00	0,05	0,31	0,00	0,00	0,00	100,0

Tabela 7.1: Dados de análises químicas de rocha total para as variedades de quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG).

Óxidos	Branco				Amarelo				Róseo				Carrancas				Luminárias				Carranquinha			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
SiO ₂	98,40	97,50	98,30	98,07	98,00	97,00	98,60	97,87	97,50	97,70	98,60	97,93	89,90	89,60	89,10	89,53	90,50	89,90	90,20	90,20	90,60	89,90	90,10	90,20
Al ₂ O ₃	0,83	0,82	0,86	0,84	0,89	0,80	0,85	0,85	0,72	0,68	0,77	0,72	5,40	5,50	5,70	5,53	5,20	5,00	5,30	5,17	5,10	5,10	5,30	5,17
TiO ₂	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,18	0,18	0,17	0,18	0,21	0,20	0,21	0,21	0,25	0,27	0,24	0,25
Fe ₂ O ₃ T	0,11	0,12	0,15	0,13	0,18	0,18	0,19	0,18	0,06	0,06	0,08	0,07	1,70	1,70	1,70	1,70	1,10	1,20	1,20	1,17	1,20	1,20	1,20	1,20
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
MgO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,11	0,10	0,12	0,10	0,01	0,10	0,07	0,13	0,16	0,13	0,14	0,15	0,13	0,10	0,13	0,17	0,13	0,13	0,14
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
K ₂ O	0,24	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21	0,22	0,22	0,19	0,19	0,18	0,19	1,90	2,00	1,90	1,93	2,10	2,10	2,10	2,10	2,00	1,90	2,00	1,97
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02
LOI	0,22	0,22	0,23	0,22	0,27	0,25	0,25	0,26	0,19	0,18	0,15	0,17	0,92	0,94	0,86	0,91	0,77	0,77	0,78	0,77	0,83	0,86	0,85	0,85
Total	100,10	99,17	100,04	99,77	99,90	98,73	100,39	99,67	98,96	98,99	100,07	99,34	100,30	100,24	99,74	100,09	100,21	99,44	100,08	99,91	100,30	99,53	99,96	99,93

Tabela 8.2: Valores Médios dos Ensaio de Caracterização Tecnológica dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras. **MEASE** - Massa Específica Aparente Seca (**ABNT - NBR 12.766/92**); **MEASA** – Massa Específica Aparente Saturada (**ABNT - NBR 12.766/92**); **PA** - Porosidade Aparente (**ABNT - NBR 12.766/92**); **ABA** - Absorção D'água (**ABNT - NBR 12.766/92**); **EFQP** - Ensaio de Flexão dos Quatro Pontos (**ASTM - C 880**); **VPO** - Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (**ASTM - D 2845**); **DA** - Desgaste Amsler (**ABNT - NBR 12.042/92**); **ICD** – Impacto de Corpo Duro (**ABNT - NBR 12.764**); **MK** – Microdureza *Knoop*.

Ensaio Físicos e Mecânicos		Variedades de Quartzitos					
		Branco	Amarelo	Róseo	Carrancas	Carranquinha	Luminárias
MEASE	(Kg/m³)	2,64	2,62	2,57	2,63	2,65	2,63
MEASA	(Kg/m³)	2,64	2,63	2,60	2,65	2,66	2,65
PA	(%)	0,5	0,9	2,5	1,9	0,8	1,2
ABA	(%)	0,2	0,4	1,0	0,7	0,3	0,5
EFQP	(MPa)	11,29	14,61	8,37	10,53	7,52	18,44
VPO	(m/s)	2.753	3.272	2.495	4.763	3.059	4.725
DA	mm	1,10	1,20	2,08	3,01	2,04	2,32
ICD	m	0,72	0,67	0,70	0,95	0,46	0,69
MK	HKM	6.014	7.012	6.440	6.598	5.138	5.799