



Universidade Federal do Rio de Janeiro

CCMN - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

“AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM AREIAS FLUVIAIS E COM AREIAS DERIVADAS DA BRITAGEM DE ROCHAS”

Melissa Cristina Duque Nogueira

ORIENTADORES:
EMÍLIO VELLOSO BARROSO
JANAÍNA BARRETO SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE CAMPO IV
(Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental)

RIO DE JANEIRO
MARÇO DE 2005



Universidade Federal do Rio de Janeiro

CCMN - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Melissa Cristina Duque Nogueira

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM AREIAS FLUVIAIS E COM AREIAS DERIVADAS DA BRITAGEM DE ROCHAS

Monografia

**Monografia apresentada como
requisito parcial para obtenção do
título de Geólogo pelo Departamento
de Geologia da Universidade Federal
do Rio de Janeiro.**

**Orientadores: Emílio Velloso Barroso
Janaína Barreto Santos**

Rio de Janeiro, março de 2005.



Universidade Federal do Rio de Janeiro

CCMN - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Melissa Cristina Duque Nogueira

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM AREIAS FLUVIAIS E COM AREIAS DERIVADAS DA BRITAGEM DE ROCHAS

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Geólogo pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Avaliado pela comissão examinadora abaixo assinada.

Prof. Helena Polivanov

Examinadora – Departamento de Geologia - UFRJ

Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Jr.

Examinador – Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Emílio Velloso Barroso

Orientador – Departamento de Geologia – UFRJ

Msc. Janaína Barreto Santos

Co-orientadora – Departamento de Geologia - UFRJ

Rio de Janeiro, março de 2005.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

Melissa Cristina Duque Nogueira

Ficha Catalográfica

Nogueira, Melissa Cristina Duque

Avaliação Comparativa do Desempenho de Argamassas Confeccionadas com Areias Fluviais e com Areias Derivadas da Britagem de Rochas / Melissa Cristina Duque Nogueira; orientadores: Emílio Velloso Barroso; Janaína Barreto Santos – Rio de Janeiro: UFRJ, Departamento de Geologia, 2005.

v., 166f.: il.; 29,7 cm

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia.

Inclui referências bibliográficas.

1. Geologia – monografias. 2. Aproveitamento de resíduos da mineração. 3. Produção de brita. 4. Extração de areia. 5. Agregado miúdo para argamassa. 6. Construção civil. I. Barroso, Emílio Velloso. II Santos, Janaína Barreto. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Geologia. IV. Título.

RESUMO:

Visto que a atividade de extração de areia em leitos de rios e em baixadas é causadora de graves impactos ambientais, e que a produção de agregado graúdo para a construção civil gera uma grande quantidade de resíduos, areias artificiais provenientes da britagem de rochas têm sido empregadas em argamassas em substituição às areias naturais.

Nesse sentido, as características tecnológicas destes dois tipos de areia, oriundas das Cidades de Campos dos Goytacazes, São Fidélis, Niterói, São Gonçalo e Nova Iguaçu, foram estudadas neste trabalho, cujo objetivo foi a comparação de seus desempenhos no papel de agregados miúdos em argamassas compostas apenas por cimento, areia e água.

Na caracterização das areias foram realizadas as seguintes análises: microscopia petrográfica dos litotipos das pedreiras, análise em lupa dos grãos, difração por raios-X da fração argila, determinação da composição granulométrica das areias e do material pulverulento, determinação da massa unitária, preparo da mistura e determinação do índice de consistência, determinação da resistência à compressão e dos módulos de deformabilidade.

Os resultados indicam que as argamassas confeccionadas com areias artificiais têm ótimo desempenho no que diz respeito aos valores de resistência e deformabilidade alcançados, à economia de cimento e à trabalhabilidade da mistura, entre outros aspectos também favoráveis, mostrando-se muito superiores às argamassas produzidas com areias fluviais.

PALAVRAS – CHAVE:

Aproveitamento de resíduos da mineração – Produção de brita – Extração de areia – Agregado miúdo para argamassa – Construção civil.

“Embora saibamos que à frente de todo e qualquer caminho haverá sempre uma incógnita, a fé em Deus fará com que escolhamos o caminho do coração, e não aquele repleto de flores ou mais curto... Isso porque no primeiro, cada curva, pedra ou nuvem escura tornará de maior valor o aprendizado.”

DEDICATÓRIA

Á Deus, em agradecimento por estar presente em todos os momentos desta minha vida, através de meus pais, meu irmão, e de tantos outros espíritos iluminados que cruzaram o meu caminho e, por antecipação, pelos que ainda hão de passar por mim, contribuindo de alguma forma para o meu desenvolvimento moral.

Aos meus pais, Dora e Junior, e ao meu irmão Bruno, em agradecimento por sonhar os meus sonhos, acreditar em mim, e dedicar suas vidas em tempo integral para tornar possível a concretização desses sonhos, lutando comigo sem medir esforços para a transposição de todas as barreiras.

E mais uma vez dedico essa obra à Deus, em agradecimento por sua infinita bondade e misericórdia para com a humanidade; agradeço pela grandiosidade de sempre nos dar uma nova chance.

Graças a Deus.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais, Dora e Junior, pelo incessante incentivo ao progresso.

Ao meu irmão, Bruno, por me ajudar na concretização deste e de tantos outros trabalhos da graduação.

Aos meus orientadores, Prof. Emílio e a Mestre Janaína, pela amizade e confiança, por todo suporte dado a este trabalho e pelos ensinamentos.

Ao colega de graduação Gilmar Pauli, por estar presente em todas as fases de desenvolvimento desse projeto.

À colega de graduação Simone Nabuco, por participar de muitas etapas desse trabalho.

Ao Geólogo Cláudio da Matta, por todo apoio e atenção dedicados.

À Prof. Helena, pelos conhecimentos transmitidos.

À todos os funcionários do Laboratório de Petrografia do setor de Tecnologia de Rochas e do Laboratório de Mecânica de Rochas do setor de Tecnologia de Engenharia de Reservatórios, ambos do CENPES/PETROBRAS, por disponibilizarem recursos indispensáveis a este trabalho, e em especial à Dr. Andréa Borges, por toda atenção dedicada.

Aos técnicos do Departamento de Geologia, Fátima, Osório e Roberto, por auxiliarem na execução de ensaios, e à secretária Lúcia, pela atenção e simpatia.

A todos os professores do Departamento de Geologia, pelos conhecimentos passados, e em especial ao professor Joel Valença, pelo carinho e atenção dispensados.

À FAPERJ, pelo apoio financeiro dado ao projeto “Aproveitamento de Resíduos Sólidos da Mineração” (Proc. n.º E-26/ 150.709/2003) .

Enfim, à todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso desse trabalho.

Muito obrigada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Panorama Sócio-Econômico	19
1.2. Objetivos	21
1.3. Organização do relatório	21
2. GEOLOGIA E LOCALIZAÇÃO	23
2.1. Localização das Pedreiras	23
2.2. Inserção dos Litotipos Estudados no Contexto Geológico Regional do Estado do Rio de Janeiro	23
2.3. Localização dos Areais	29
2.4. Caracterização da Frente de Lavra e do Processo Produtivo das Pedreiras	30
3. METODOLOGIA	48
3.1. Amostragem das Areias Naturais e dos Finos de Pedreira	48
3.2. Caracterização das Areias Naturais e dos Finos de Pedreira	48
3.3. Verificação do Desempenho das Argamassas	53
4. RESULTADOS	60
4.1. Ensaios de Caracterização Mineralógica dos Materiais	60
4.1.1. Análise Mineralógica Via Lupa Binocular	
4.1.2. Análise Morfológica Via Lupa Binocular	79
4.1.3. Análise Mineralógica Via Diftação por Raio- X	87
4.2. Ensaios de Caracterização Física dos Materiais	88
4.2.1. Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados	88
4.2.2. Análise da Distribuição Granulométrica do Material Pulverulento (Dimensão $\leq 0,075$ mm)	89

4.2.3. Determinação da Massa Unitária dos Agregados em Estado Solto.	90
4.3. Verificação do Desempenho das Argamassas	91
4.3.1. Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência das Argamassas	91
4.3.2. Determinação da Resistência à Compressão Simples das Argamassas	92
4.3.3. Determinação do Módulo de Deformabilidade das Argamassas	95
5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	97
6. CONCLUSÕES	102
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
8. ANEXOS	105
Anexo I: Difratoformas de Raios-X	106
Anexo II: Tabela dos resultados dos ensaios de massa unitária, preparo da mistura e determinação do índice de consistência	115
Anexo III: Curvas tensão versus deformação dos ensaios de resistência à compressão	125
Anexo IV: Tabela dos resultados dos ensaios de resistência à compressão	135
Anexo V: Curvas usadas nos cálculos dos módulos de deformabilidade	137
Anexo VI: Tabela dos resultados obtidos para os módulos de deformabilidade	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organograma de um sistema ótimo de gestão ambiental.	21
Figura 2: Mapa de unidades litológicas e geomorfologia da região ao redor do município de Campos dos Goytacazes / RJ.	24
Figura 3: Serra da Boa Vista (em destaque), município de Campos dos Goytacazes / RJ.	24
Figura 4: Mapa geológico da região de Campos dos Goytacazes e São Fidélis - RJ (extraído do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001)).	25
Figura 5: Mapa geológico da região do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo - RJ (extraído do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001)).	26
Figura 6: Pico Peito de Moça, município de São Fidélis / RJ.	27
Figura 7: Serra do Itaoca (ao fundo), município de Campos dos Goytacazes / RJ.	27
Figura 8: Mapa geológico da região de Nova Iguaçu - RJ (extraído do Mapa Geológico do Rio de Janeiro (CPRM, 2001)).	28
Figura 9: Areal1, município de Campos dos Goytacazes/RJ.	29
Figura 10: Areal2, município de Campos dos Goytacazes/RJ.	29
Figura 11: Visão geral da pedreira do Charnoquito.	31
Figura 12: Frente de lavra da pedreira do Charnoquito.	31
Figura 13: Detalhe do fraturamento irregular na frente de lavra do Charnoquito.	32
Figura 14: Detalhe do desmonte dos blocos na pedreira do Charnoquito.	32
Figura 15: Sistema de britagem e separação dos materiais na pedreira do Charnoquito.	33
Figura 16: Pilhas dos diferentes materiais produzidos na pedreira do Charnoquito.	33
Figura 17: Pilhas de pó de pedra na pedreira do Charnoquito.	34
Figura 18: Visão geral da pedreira do Gnaiss facoidal 1.	35
Figura 19: Visão geral da compartimentação / fraturamento do maciço rochoso do Gnaiss facoidal 1.	35
Figura 20: Detalhe do fraturamento do maciço rochoso do Gnaiss facoidal 1.	36
Figura 21: Dique do litotipo II cortando o litotipo I (Gnaiss facoidal 1).	36
Figura 22: Detalhe do litotipo I (Gnaiss facoidal 1).	37
Figura 23: Detalhe do esquema de desmonte do Gnaiss facoidal 1 (ver cordel detonante).	37
Figura 24: Visão geral da frente de lavra do Gnaiss facoidal 2: intenso fraturamento	39
Figura 25: Detalhe do intenso fraturamento nas bancadas da lavra do Gnaiss facoidal 2.	39
Figura 26: Detalhe do Gnaiss facoidal 2.	40
Figura 27: Sistema de britagem e separação dos materiais na pedreira do Gnaiss facoidal 2.	40
Figura 28: Pilha de pó de pedra, na pedreira do Gnaiss facoidal 2.	41
Figura 29: Visão geral da pedreira do Granada-gnaiss.	42
Figura 30: Detalhe do fraturamento irregular nas bancadas da pedreira do Granada-gnaiss.	42
Figura 31: Sistema de britagem e separação dos materiais da pedreira do Granada-gnaiss.	43
Figura 32: Pilha de pó de pedra na pedreira do Granada-gnaiss.	43
Figura 33: Visão geral da pedreira do Granito-gnaiss.	44
Figura 34: Detalhe do fraturamento irregular nas bancadas da pedreira do Granito-gnaiss.	45
Figura 35: Visão geral da frente de lavra do Nefelina-sienito.	46
Figura 36: Detalhe do esquema de bancadas na pedreira do Nefelina-sienito.	46
Figura 37: Detalhe do fraturamento do maciço na pedreira do Nefelina-sienito.	47

Figura 38: Padrão utilizado para a classificação do arredondamento e da esfericidade dos grãos (Pettijohn et al., 1973).	49
Figura 39: Colocação do agregado seco, em estado solto, dentro do recipiente para determinação da massa unitária: notar altura de despejo.	52
Figura 40: Retirada do excesso de material sobre o recipiente para determinação da massa unitária	52
Figura 41: Preparo da mistura para a determinação da trabalhabilidade.	54
Figura 42: Aplicação dos golpes para a determinação do cálculo da trabalhabilidade.	55
Figura 43: Medida da abertura da massa em milímetros para o cálculo da trabalhabilidade.	55
Figura 44: a) Moldes cilíndricos parafinados e untados; b) Golpes na argamassa colocada dentro dos moldes para melhor preenchimento; c) Moldes já cheios de argamassa sendo cobertos por placa de vidro.	57
Figura 45: a) Corpos de prova imersos em água saturada com cal; b) Capeamento; c) Corpo de prova com as duas extremidades capeadas.	57
Figura 46: Visão geral da lâmina do Charnoquito.	61
Figura 47: Superfície límpida de um grão de plagioclásio.	61
Figura 48: Grão de feldspato com microfissuras preenchidas por mineral são.	62
Figura 49: Grão de biotita com borda de alteração inicial.	62
Figura 50: Grão de ortopiroxênio com microfissuras preenchidas possivelmente por óxido de ferro	63
Figura 51: Grãos minerais se alterando para clorita.	63
Figura 52: Visão geral das lâminas do Gnaiss facoidal I.	65
Figura 53: Grão de álcali-feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro	65
Figura 54: Bordas de alteração inicial em grãos de biotita.	66
Figura 55: Grão de granada com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.	66
Figura 56: Grão de feldspato com saussuritas e microfissuras.	67
Figura 57: Orientação e recristalização mineral.	67
Figura 58: Alteração mineral: presença de carbonatos e sericita no plagioclásio e de biotita alterada para clorita.	68
Figura 59: Grão de plagioclásio alterado (à direita).	68
Figura 60: Grãos de feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro e clivagem bem marcada.	70
Figura 61: Grãos de plagioclásio microfissurados.	70
Figura 62: Bordas de alteração inicial nos grãos de biotita.	71
Figura 63: Textura mirmmerquítica e grão de feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.	71
Figura 64: Orientação mineral.	72
Figura 65: Alteração mineral: biotita se alterando à clorita.	72
Figura 66: Visão geral da lâmina do Granada-gnaiss.	74
Figura 67: Grãos de biotita com leves bordas de alteração.	74
Figura 68: Grãos de granada com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.	75
Figura 69: Visão geral da lâmina do Nefelina-sienito.	77
Figura 70: Pórfiros de feldspato e de nefelina em meio à textura traquítica da massa de feldspatos.	77
Figura 71: Grãos de piroxênio e opacos em meio a massa de feldspatos.	78
Figura 72: Detalhe de um grão de piroxênio alterado.	78
Figura 73: Grãos da amostra Areal 1 retidos na peneira #8	79
Figura 74: Grãos da amostra Areal 1 retidos na peneira #16	79
Figura 75: Grãos da amostra Areal 2 retidos na peneira #8.	80

Figura 76: Grãos da amostra Area12 retidos na peneira #16.	80
Figura 77: Grãos da amostra Charnoquito retidos na peneira #8.	81
Figura 78: Grãos da amostra Charnoquito retidos na peneira #16.	81
Figura 79: Grãos da amostra Gnaisse facoidal 1 retidos na peneira #8	82
Figura 80: Grãos da amostra Gnaisse facoidal 1 retidos na peneira # 16	82
Figura 81: Grãos da amostra Gnaisse facoidal2 retidos na peneira #16	83
Figura 82: Grãos da amostra Gnaisse facoidal2 retidos na peneira #16	83
Figura 83: Grãos da amostra Granada-gnaisse retidos na peneira #8.	84
Figura 84: Grãos da amostra Granada-gnaisse retidos na peneira #16.	84
Figura 85: Grãos da amostra Granito-gnaisse retidos na peneira #8	85
Figura 86: Grãos da amostra Granito-gnaisse retidos na peneira #16.	85
Figura 87: Grãos da amostra Nefelina-sienito retidos na peneira #8.	86
Figura 88: Grãos da amostra Nefelina-sienito retidos na peneira #16.	86
Figura 89: Curvas granulométricas das areias artificiais e naturais.	88
Figura 90: Curvas da distribuição granulométrica dos finos das areias estudadas.	89
Figura 91 : Valores médios de tensão de ruptura das argamassas quando submetidas à compressão simples, obtidos para todas os agregados, aos 7, 14 e 28 dias.	93
Figura 92: Corpos de prova remontados após a aplicação de tensão.	94
Figura 93 : Valores médios dos módulos de deformabilidade das argamassas, simples, obtidos para todos os agregados, aos 7, 14 e 28 dias.	96
Figura 94: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Areal 1.	107
Figura 95: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Areal 1.	107
Figura 96: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Areal 1.	107
Figura 97: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Areal 2.	108
Figura 98: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Areal 2.	108
Figura 99: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Areal 2.	108
Figura 100: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Charnoquito.	109
Figura 101: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Charnoquito.	109
Figura 102: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Charnoquito.	109
Figura 103: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Gnaisse facoidal 1.	110
Figura 104: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Gnaisse facoidal 1.	110
Figura 105: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Gnaisse facoidal 1.	110
Figura 106: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Gnaisse facoidal 2	111
Figura 107: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Gnaisse facoidal 2	111
Figura 108: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Gnaisse facoidal.	111
Figura 109: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Granada-gnaisse.	112
Figura 110: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Granada-gnaisse.	112
Figura 111: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Granada-gnaisse.	112
Figura 112: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Granito-gnaisse.	113

Figura 113: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Granito-gnaisse.	113
Figura 114: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Granito-gnaisse.	113
Figura 115: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Nefelina-sienito.	114
Figura 116: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Nefelina-sienito.	114
Figura 117: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Nefelina-sienito.	114
Figura 118: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Areal 1.	126
Figura 119: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Areal 2	127
Figura 120: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Charnoquito.	128
Figura 121: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Gnaisse facoidal I com finos.	129
Figura 122: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Gnaisse facoidal I sem finos.	130
Figura 123: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Gnaisse facoidal 2.	131
Figura 124: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Granada-gnaisse	132
Figura 125: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Granito-gnaisse.	133
Figura 126: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Nefelina-sienito.	134
Figura 127: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 -7 dias.	138
Figura 128: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 - 14 dias.	139
Figura 129: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 - 28 dias.	140
Figura 130: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 -7 dias.	141
Figura 131: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 - 14 dias.	142
Figura 132: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 - 28 dias.	143
Figura 133: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 7 dias.	144
Figura 134: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 14 dias.	145
Figura 135: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 28 dias.	146
Figura 136: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal I com finos - 7 dias.	147
Figura 137: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal I com finos - 14 dias.	148
Figura 138: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal I com finos - 28 dias.	149

Figura 139: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal sem finos - 7 dias.	150
Figura 140: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal sem finos - 14 dias.	151
Figura 141: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal sem finos - 28 dias.	152
Figura 142: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal 2 - 7 dias.	153
Figura 143: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal 2 - 14 dias.	154
Figura 144: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal 2 - 28 dias.	155
Figura 145: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada gnaisse - 7 dias.	156
Figura 146: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada gnaisse - 14 dias.	157
Figura 147: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada gnaisse - 28 dias.	158
Figura 148: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito gnaisse - 7 dias.	159
Figura 149: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito-gnaisse - 14 dias.	160
Figura 150: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito-gnaisse - 28 dias.	161
Figura 151: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 7 dias.	162
Figura 152: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 14 dias.	163
Figura 153: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 28 dias.	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Mapeamento expedito da frente de lavra do Gnaiss Facoidal I	38
Tabela 2: Mapeamento expedito da frente de lavra do Nefelina-sienito.	47
Tabela 3: Exemplo do cálculo de transformação do traço em volume para traço em massa.	53
Tabela 4: Exemplo do cálculo de obtenção do traço em gramas para as argamassas.	54
Tabela 5: Resultados da microscopia da amostra Charnoquito.	60
Tabela 6: Resultados da microscopia da amostra Gnaiss facoidal 1.	64
Tabela 7: Resultados da microscopia da amostra Gnaiss facoidal 2.	69
Tabela 8: Resultados da microscopia da amostra Granada-gnaiss.	73
Tabela 9: Resultados da microscopia da amostra Nefelina-sienito.	76
Tabela 10: Mineralogia da fração argila dos agregados estudados.	87
Tabela 11: Resultados finais para a massa unitária das areias estudadas.	90
Tabela 12: Traços finais e índices de consistência das argamassas.	91
Tabela 13: Valores de tensão de ruptura das argamassas.	92
Tabela 14: Módulos de deformabilidade das argamassas.	95
Tabela 15: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Areal 1.	116
Tabela 16: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Areal 2.	117
Tabela 17: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Charnoquito.	118
Tabela 18: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaiss facoidal 1 com finos.	119
Tabela 19: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaiss facoidal 1 sem finos.	120
Tabela 20: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaiss facoidal 2.	121
Tabela 21: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Granada-gnaiss.	122
Tabela 22: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Granito-gnaiss.	123
Tabela 23: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Nefelina-sienito.	124
Tabela 24: Valores de ruptura no ensaio de compressão simples para todos os corpos de prova.	136
Tabela 25: Valores obtidos para os módulos de deformabilidade para todos os corpos de prova.	166

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo da massa unitária.	51
Equação 2: Cálculo do módulo de deformabilidade.	59

LISTA DE SÍMBOLOS

E: Módulo de Deformabilidade.

ΔX : Variação de deformação axial em um determinado trecho da curva.

ΔY : Variação de tensão em um determinado trecho da curva.

MU: Massa Unitária (em kg/dm^3).

M: Massa (em kg ou em g).

V: Volume (em dm^3).

σ : Desvio padrão.

C_o : Tensão de ruptura (em MPa) ou Variância da tensão de ruptura ou do módulo de deformabilidade (em %).

X: Média aritmética simples.

1. INTRODUÇÃO

Rochas são amplamente utilizadas na construção civil, e uma de suas formas de utilização é o uso como agregado. Define-se agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para a produção de concreto e argamassa (ABNT, 1987). Os agregados podem ser empregados em pavimentos asfálticos, como lastro em ferrovias e em muitas outras aplicações na engenharia civil. Nos casos em que os agregados são usados juntamente com ligantes (cimento Portland e betume, por exemplo), as propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são fundamentais para o bom desempenho das estruturas de engenharia em que são usados. Este aspecto, que norteia o presente estudo, é muito importante e será comentado adiante.

1.1. Panorama Sócio-Econômico

A produção de agregados para a construção civil é uma das maiores indústrias do mundo. A importância desta atividade mineral é de tal ordem que o nível de consumo de agregados *per capita*, por ano, é frequentemente adotado como um dos indicadores do desenvolvimento econômico de um país. Nos EUA, por exemplo, o consumo médio de agregados (areia e brita) por cidadão americano foi de cerca de 7,5 toneladas no ano de 2000 e, na Europa chegou a atingir um total de 8 toneladas, no mesmo período (Valverde, 2001).

No Brasil o consumo médio estimado, *per capita*, de agregados pela construção civil pode ser considerado baixo, cerca de apenas 2 t/ano. No entanto, a distribuição do consumo é bastante irregular e fortemente controlada pela capacidade econômica da região considerada. Na região metropolitana da cidade de São Paulo, o consumo alcança 4,5 t/ano, enquanto que em cidades como Salvador e Fortaleza o consumo está abaixo da média nacional (Valverde, *op. cit.*). Se considerados o enorme déficit habitacional e a necessidade de investimentos em infra-estrutura urbana, de energia e de transporte, pode-se esperar um considerável crescimento do consumo de agregados tão logo o país recupere sua capacidade de investimentos, tanto no setor público como no setor privado. Em 2001, foi registrado um crescimento de 52,2% no volume de agregados consumidos no mercado nacional em relação ao ano de 2000, alcançando 399 milhões de m³ produzidos, dos quais 162,8 milhões foram de brita e 236,1 milhões de areia (Ferreira & Silva, 2003). No ano de 2000, o país havia produzido 262,6 milhões de toneladas de agregados (Valverde, 2001).

No que diz respeito à produção brasileira de areia, o Estado do Rio de Janeiro respondeu no ano de 2000 por 9,09% da produção nacional, ou seja, 23,9 milhões de m³, a um valor total de U\$ 91,1 milhões de dólares (Valverde, 2001). As areias são oriundas principalmente dos pólos produtores de areia localizados em Seropédica, Itaguaí, Barra de São João e Silva Jardim, que são considerados os mais importantes do estado (Ferreira & Silva, 2003).

Ainda segundo o DNPM, foram produzidos cerca de 12,4 milhões de m³ de brita no estado do Rio de Janeiro, com um valor agregado superior a U\$ 109 milhões de dólares, o que representa 8,73% do total produzido em valor no país, no ano de 2000. Os principais produtores de brita são os municípios do Rio de Janeiro, São Gonçalo e Nova Iguaçu (Ferreira & Silva, 2003).

Os dados apresentados reforçam que uma das principais vocações do setor mineral do Estado do Rio de Janeiro é a produção de rochas e sedimentos de uso na construção civil. Esta atividade deve apresentar consideráveis incrementos de produção nos próximos anos graças aos esforços e ao apoio da Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e Petróleo

(SEINPE) e de ações integradas de outras instituições, devendo-se destacar o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e o Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ).

Não obstante sua importância econômica e social, a atividade de produção de agregado graúdo é potencialmente geradora de rejeitos. Este fato pode ser explicado em parte pelo *modus operandi* desta indústria. Muitas vezes as empresas, de caráter familiar, empregam técnicas rudimentares e inadequadas, sobretudo na fase de obtenção do bem mineral. A alteração nos padrões de produção, com o uso de equipamentos mais modernos em plantas de beneficiamento que visem o melhor aproveitamento da matéria-prima, sem dúvida reduz as perdas. Contudo, deve ser considerado que a geração de finos (material granular menor que 4,8 mm) que ocorre nessas indústrias durante as operações de britagem para produção de brita é inevitável.

Assim como as rochas para britagem, as areias naturais são recursos minerais encontrados com abundância e por isso têm valor unitário muito baixo, o que faz com que o preço do transporte tenha grande influência sobre o preço final do produto. Esta é a razão pela qual os pólos produtores de areia costumam se concentrar próximo aos mercados consumidores. No entanto, por se desenvolver principalmente nos leitos dos rios e baixadas, a atividade é causadora de graves impactos ambientais, como desmatamentos e erosões das margens dos rios, assoreamento e inundação de planícies fluviais, formação de lagos em baixadas, etc. Por esses motivos, órgãos ambientais estaduais têm se mostrado desfavoráveis ao desenvolvimento desta atividade próximo aos grandes centros urbanos, forçando os mineradores a buscarem areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros, tornando mais caro o preço do produto, o que possivelmente terá como consequência o abandono ou a supressão desse tipo de atividade.

Atualmente os modernos sistemas de gestão de resíduos priorizam, em qualquer que seja a atividade que possa afetar o meio ambiente, a aplicação de tecnologias limpas, ou seja, adequadas ao processo produtivo de tal forma que este não produza resíduos ou, pelo menos, reduza sua geração. Nesse sentido, as ações seguintes devem visar, nesta ordem, a reutilização dos resíduos, a reciclagem, o tratamento e a disposição final (Fig. 1).



Figura 1: Organograma de um sistema ótimo de gestão ambiental.

Dois tipos de ações são, portanto, consideradas de enorme relevância e de interesse de toda a sociedade. Primeiro, aquelas ações que tem por fim a alteração dos padrões de produção, com o desenvolvimento de novas técnicas e novos equipamentos que tornem possível a redução na quantidade ou nos tipos de resíduos gerados. E em segundo, as ações que objetivam o aproveitamento daqueles resíduos que são considerados inevitáveis, através de pesquisas tecnológicas para que seja encontrada uma utilidade para o material que seria descartado na natureza. Nesse último caso, o ideal é que os materiais, antes considerados resíduos, sejam utilizados *in natura*, ou seja, sem que seja necessário nenhum tipo de processamento mecânico que envolva a transformação física do material, além daqueles que o geraram. Isso porque um novo processamento resultaria em mais custos econômicos e/ou danos ao meio-ambiente.

1.2. Objetivos

Inserido no contexto exposto acima, este trabalho tem o intuito de contribuir à sociedade através do estudo da viabilidade do aproveitamento dos resíduos sólidos e inertes da mineração de materiais geológicos destinados à construção civil como insumos básicos para a própria indústria da construção civil. Nesse sentido, foram analisados os fins da britagem de rochas (areia artificial) para a substituição do agregado miúdo explotado em leitos de rios e baixadas aluvionares (areia natural).

Visto que as propriedades da areia artificial são extremamente influenciadas pelas características mineralógicas, texturais, químicas e físicas do tipo litológico de origem (material britado), além da distribuição dos tipos litológicos na frente de lavra e do processo extrativo, o trabalho foi focado na investigação de todas as características geológicas do pó-

de-pedra (como são chamados comumente os resíduos utilizados como areia artificial), e de que forma estas são responsáveis pelo comportamento de propriedades físicas e químicas relevantes ao seu desempenho tecnológico como agregado miúdo para argamassas de cimento Portland.

Os litotipos escolhidos para esse estudo, que serão detalhados mais adiante (ver Cap. 2), podem ser classificados de forma geral como sendo um charnoquito, dois gnaisses facoidais (aqui denominados gnaiss facoidal 1 e gnaiss facoidal 2), um granada-gnaiss, um granito-gnaiss e um nefelina-sienito.

Para tanto, verificou-se neste trabalho o comportamento de areias artificiais de litotipos distintos, constituintes de cinco pedreiras do Estado do Rio de Janeiro, localizadas nas cidades de Campos dos Goytacazes, Niterói, Nova Iguaçu e São Gonçalo, comparando-os aos resultados obtidos para o desempenho de areias naturais de dois pólos de extração da cidade de Campos dos Goytacazes.

1.3. Organização do relatório

Além do presente capítulo (Capítulo 1), que trata da introdução ao tema e de que forma ele será abordado, este relatório foi compartimentado em outros seis capítulos, totalizando sete, e mais os anexos (seis ao todo).

No Capítulo 2 estão concentradas as informações sobre a localização das pedreiras e dos areias estudados e, ainda, sobre a geologia dos litotipos encontrados nas pedreiras, ou seja, de que modo eles estão inseridos no contexto geológico regional do Estado do Rio de Janeiro, e de uma caracterização das mesmas, que inclui dados do tipo de beneficiamento e peculiaridades da frente de lavra.

Já o Capítulo 3 foi reservado para a descrição completa e detalhada da metodologia empregada para o desenvolvimento desse estudo, com ilustrações.

O Capítulo 4 é onde estão expostos os resultados obtidos em todos os ensaios mencionados no Capítulo 3, seja em tabelas, gráficos ou imagens.

A interpretação desses resultados é mostrada no Capítulo 5, onde são listados comentários relevantes a cerca dos resultados de cada um dos ensaios realizados.

No Capítulo 6 são exibidas as conclusões desse estudo, e ainda sugestões para estudos futuros.

O Capítulo 7 traz as referências bibliográficas utilizadas na confecção do texto do presente relatório e no embasamento teórico sobre o tema, incluindo também as normas utilizadas em alguns dos ensaios.

Junto aos capítulos, ao fim do relatório, estão os Anexos, onde está concentrado o volume maior de gráficos e tabelas contendo alguns dos resultados do estudo.

2. GEOLOGIA E LOCALIZAÇÃO

2.1. Localização das Pedreiras

A amostragem dos finos de pedra, aqui denominados de charnoquito, gnaisse facoidal 1, gnaisse facoidal 2, granada-gnaisse, granito-gnaisse e nefelina-sienito, foi realizada em pedreiras cujas localizações são descritas abaixo:

- Charnoquito: na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ;
- Gnaisse Facoidal 1: na cidade de São Gonçalo/RJ;
- Gnaisse Facoidal 2: na cidade de Niterói/RJ.
- Granada-gnaisse: na cidade de São Fidélis/RJ;
- Granito-gnaisse: na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ;
- Nefelina-sienito: na cidade de Nova Iguaçu/RJ.

É válido informar aqui que a escolha das pedreiras foi feita de modo a permitir o estudo de rochas com características geológicas diferentes, considerando-se também a localização das pedreiras que as exploram, de forma que optou-se por aquelas instaladas em grandes pólos de mineração do Estado do Rio de Janeiro.

2.2. Inserção dos Litotipos Estudados no Contexto Geológico Regional do Estado do Rio de Janeiro

Os sub-itens a seguir tratarão do contexto geológico regional e geomorfológico dos litotipos escolhidos para o desenvolvimento deste estudo.

2.2.1. Charnoquito

Aloca-se este litotipo entre as rochas charnoquíticas da Unidade Bela Joana (bj) da Folha São Fidélis (DRM, 1978) (Ponto 2 na Fig. 2), que comercialmente são denominadas granito verde. É encontrado na Serra da Boa Vista (Fig. 3), um relevo de 250 m de altura que é constituído basicamente de charnoquito, apresentando na porção leste um espesso dique de granito creme esbranquiçado, de granulometria fina a média, denominado Granito Amarelo (Barroso et al., 2003).

Ainda segundo Barroso et al. (2003), as rochas da Unidade Bela Joana apresentam como mineralogia principal hiperstênio de cor cinza esverdeada ao marrom amarelado, hornblenda, feldspato potássico, biotita, quartzo e plagioclásio. São descritas como gnaisses de textura homogênea, apresentando neossomas leptiníticos, granulação média a grossa e textura porfiroblástica.

As rochas da suíte Bela Joana (Código Ny2b na Fig. 4), como é chamada essa Unidade, também são descritas como sendo granitos tipo-C, granada-hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito, de granulação grossa, apresentando textura magmática equigranular a porfírica preservada, isótropo a foliado, associado a enderbita e norito (CPRM, 2001).

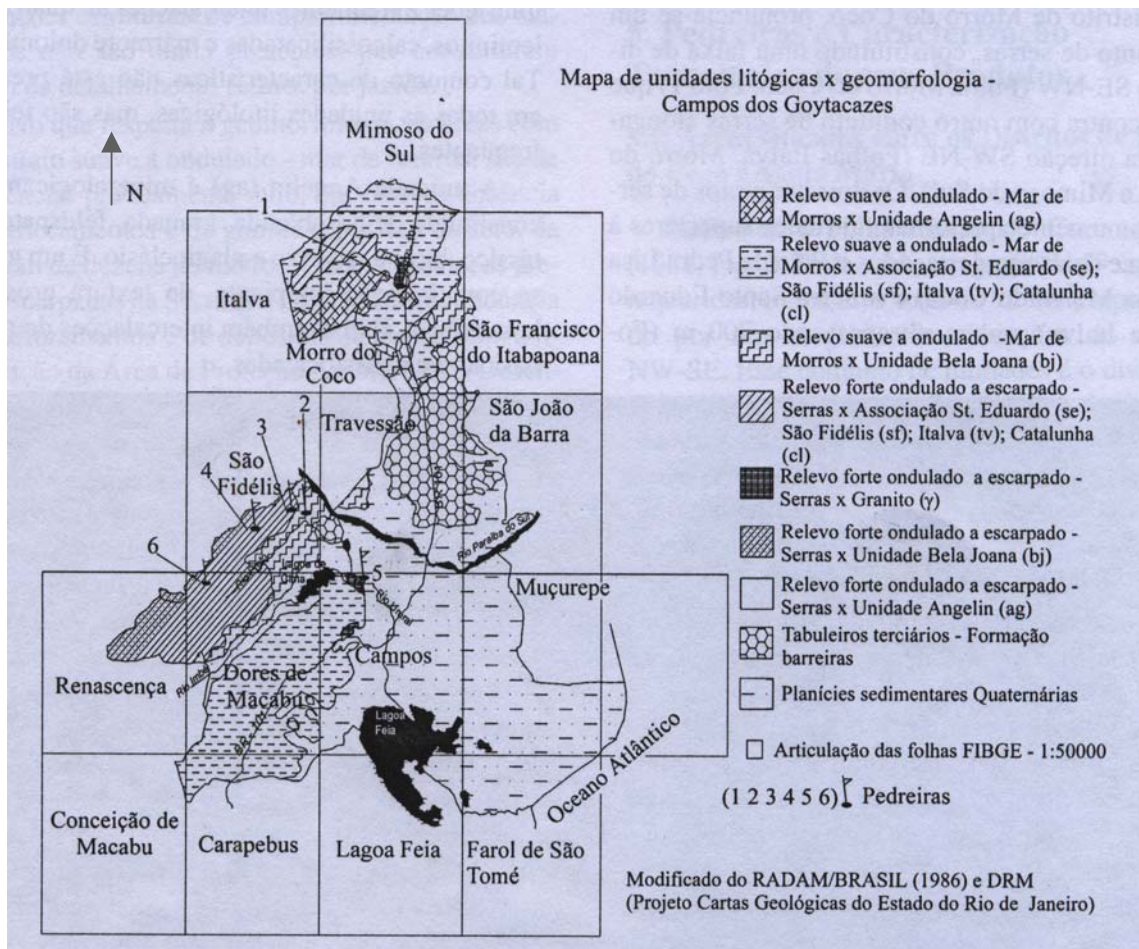


Figura 2: Mapa de unidades litológicas e geomorfologia da região ao redor do município de Campos dos Goytacazes / RJ.



Figura 3: Serra da Boa Vista (em destaque), município de Campos dos Goytacazes / RJ.

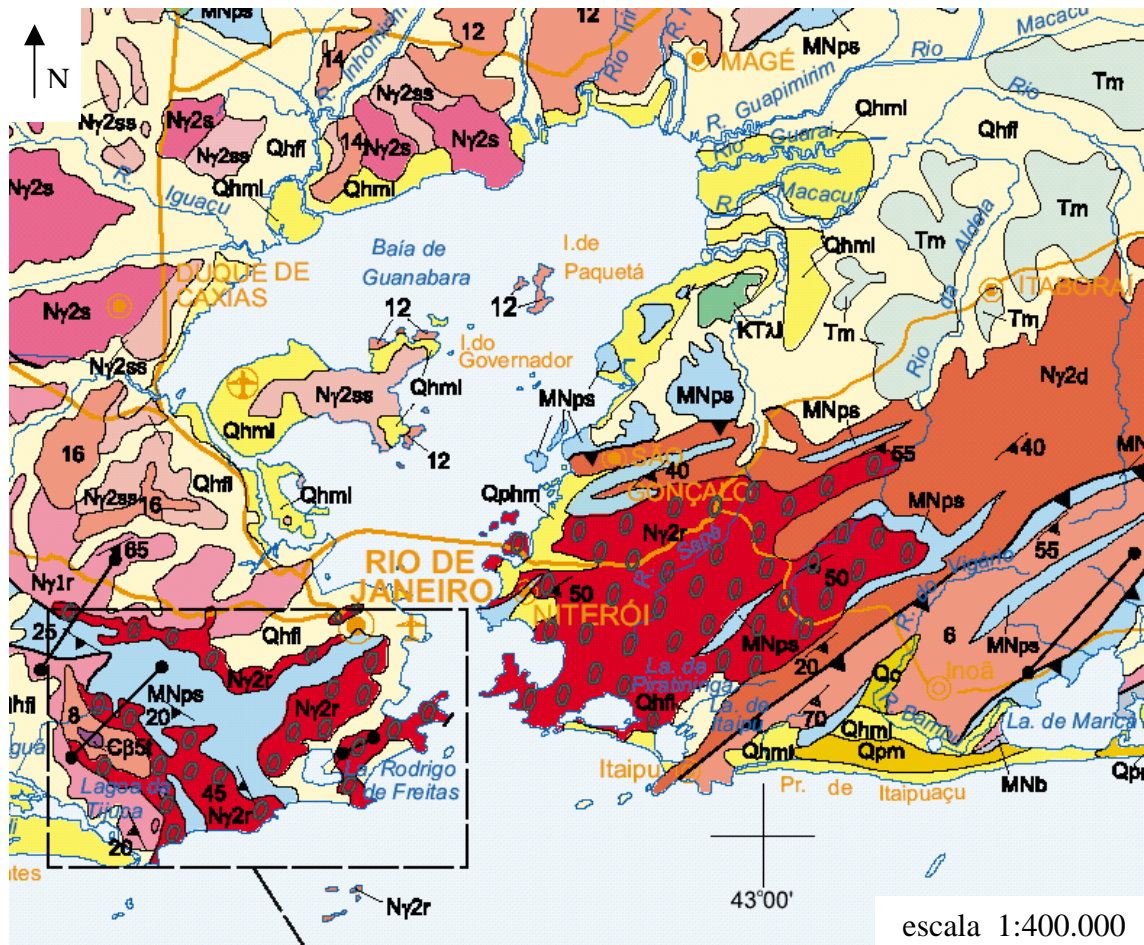


Figura 5: Mapa geológico da região do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo - RJ (extraído do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001)).

2.2.3. Gnaiss Facoidal 2

Assim como o Gnaiss facoidal 1, esse litotipo está incluído na Suíte Rio de Janeiro, descrita acima (Código Ny2b na Fig. 5). Porém, diferente do Gnaiss facoidal 1, esse litotipo apresenta, na frente de lavra da pedra onde foi amostrado, semelhanças mais significativas com o Granito Pão de Açúcar. Da mesma forma, seria necessário um mapeamento de detalhe para esclarecer a questão da alocação desses gnaisses.

2.2.4. Granada-gnaiss

Entende-se como sendo um leptinito branco (Ponto 4 da Fig. 2), que ocorre ao lado do maciço rochoso Peito de Moça (Fig. 6), e que apresenta-se mosqueado por granadas, com granulação média e foliação gnássica (Barroso et al., 2003). Refere-se à Folha São Fidélis (DRM, 1978).

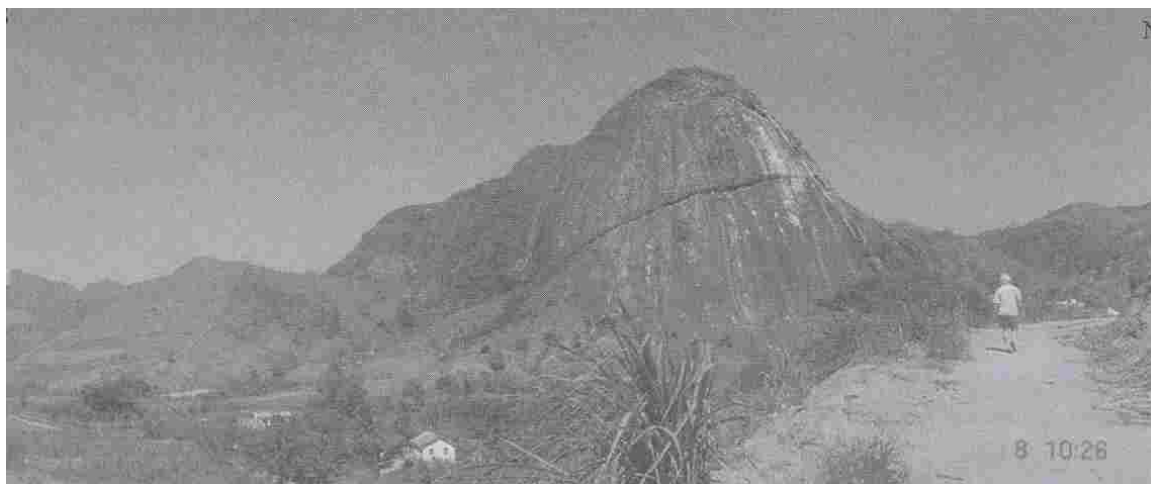


Figura 6: Pico Peito de Moça, município de São Fidélis / RJ.

Pertence a Suíte Desengano (Código Ny2d na Fig. 4), que reúne granitos tipo-S, com granada, muscovita e biotita de granulação grossa, texturas granoblástica e porfirítica (augen), com forte foliação transcorrente, e onde podem ser observados, localmente, domínios e "manchas" charnockíticas portadoras de granada e ortopiroxênio, além de xenólitos e restitos de paragneisses parcialmente fundidos (migmatitos de injeção) que ocorrem com frequência (CPRM, 2001).

2.2.5. Granito-gnaisse

Trata-se do Granito Itaoca, com o nome comercial de Granito Cinza Prata (Ponto 5 na Fig. 2), um granito cinza claro, fino a médio e de textura homogênea, que aparece na Serra do Itaoca (Fig. 7) (Barroso et al, 2003). É referido na Folha Campos (DRM, 1978).

O Granito Itaoca pertence ao grupo dos granitóides pós-tectônicos cambrianos (Código $\epsilon\gamma 5-22$ na Fig. 4), definidos como sendo (hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservada, que ocorrem como corpos tabulares, diques, e pequenos batólitos cortando as rochas regionais, ou também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidências de magma e com abundantes fases aplíticas tardias (CPRM, 2001).



Figura 7: Serra do Itaoca (ao fundo), município de Campos dos Goytacazes / RJ.

2.2.6. Nefelina sienito

O litotipo em questão aflora no Maciço Alcalino da Serra do Mendanha, que pertence ao grupo de rochas intrusivas alcalinas cretácicas/terciárias (Código KTλs na Fig. 8), que inclui sienitos, nefelina sienitos, foiaítos, fonolitos, traquitos, tinguaítos, pulaskitos, umptekitos e fenitos (CPRM, 2001).

O Maciço do Mendanha, que abrange a parte este da Serra de Madureira em Nova Iguaçu e a Serra do Mendanha no Rio de Janeiro, está referido na porção extremo-sudoeste da Folha Rio de Janeiro e é correlato ao Maciço de Marapicu, a oeste, na Folha Volta Redonda (CPRM, 2001).

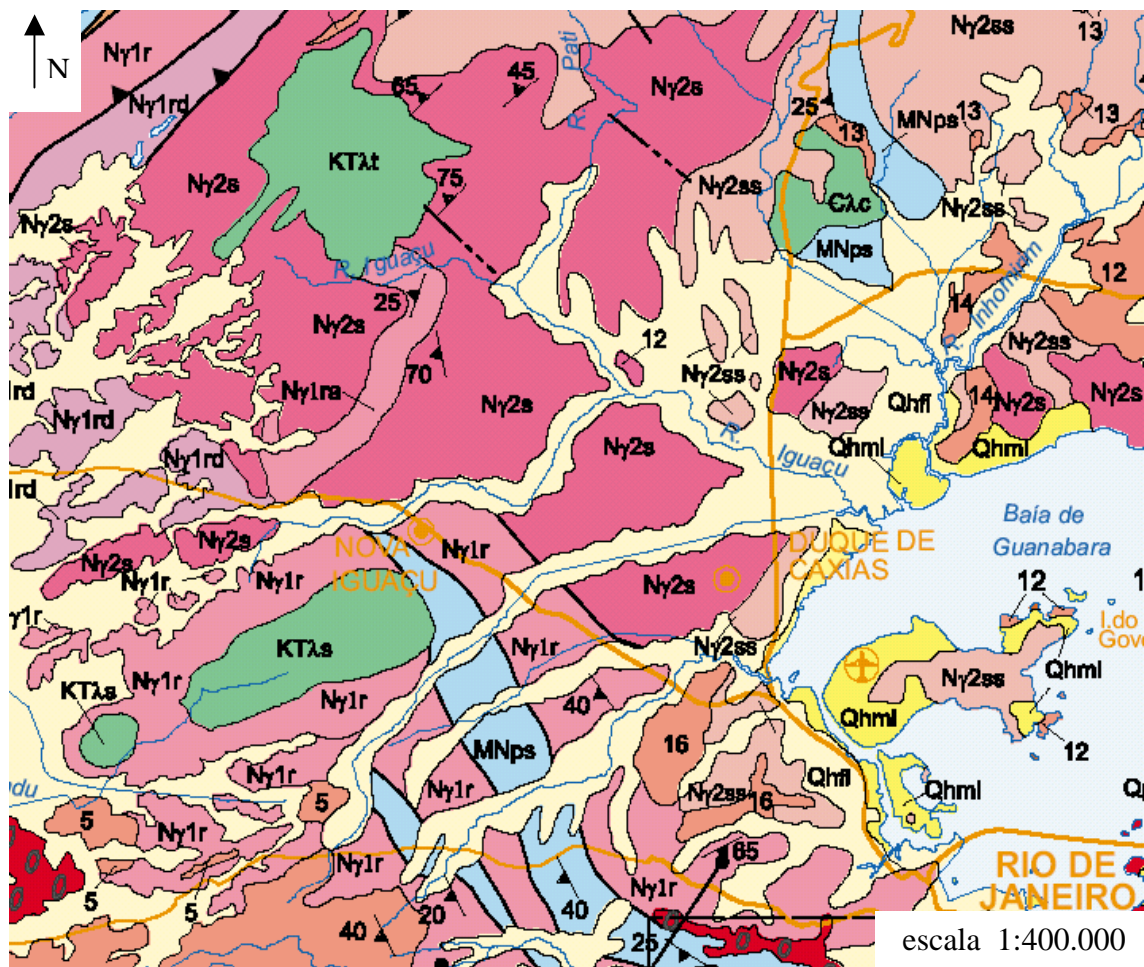


Figura 8: Mapa geológico da região de Nova Iguaçu - RJ (extraído do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001)).

2.3. Localização dos Arais

As areias naturais estudadas, ambas oriundas da calha do Rio Paraíba do Sul, foram amostradas em duas minerações comerciais distintas, aqui denominadas Areal 1 e 2, com as seguintes localizações:

- Areal 1: na cidade de Campos dos Goytacazes, na margem direita do Rio Paraíba do Sul (Fig. 9);



Figura 9: Areal 1, município de Campos dos Goytacazes/RJ.

- Areal 2: na cidade de São Fidélis, também na margem direita do Rio Paraíba do Sul (Fig. 10).



Figura 10: Areal 2, município de Campos dos Goytacazes/RJ.

2.4. Caracterização da Frente de Lavra e do Processo Produtivo das Pedreiras

Nas visitas de campo realizadas para a coleta dos materiais, procurou-se obter imagens da frente de lavra das pedreiras, a fim de analisar o estado em que as rochas se encontram nos locais onde são exploradas, como grau de fraturamento e homogeneidade geológica da frente de lavra e, ainda, adquirir dados sobre volume de produção, principais produtos e esquema de beneficiamento, através do preenchimento de um questionário formulado pelo “GT Finos de Pedreira”, um grupo de estudos da USP (Universidade de São Paulo) voltado a pesquisas sobre o tema, para o desenvolvimento de um panorama nacional do setor.

As informações sobre o processo produtivo das pedreiras serviram para analisar a viabilidade de uso dos finos de pedra em substituição as areias naturais, no que diz respeito a quantidade produzida do pó-de-pedra como resíduo da britagem, e inclusive, analisar a possibilidade de se produzir efetivamente esse material, ou seja, instalando um circuito específico para a produção da areia artificial.

A avaliação do grau de fraturamento do maciço é importante, por exemplo, para se avaliar o potencial de recuperação e de perda dos materiais a serem desmontados, analisar qual a melhor forma de desmonte, e inclusive — não para o caso dos agregados miúdos — estudar se o fraturamento pode comprometer a qualidade dos materiais a serem utilizados na construção civil, tornando-os menos resistentes fisicamente.

A verificação da homogeneidade geológica da frente de lavra é necessária para que se possa garantir uma reprodutibilidade nos resultados de desempenho técnico dos materiais, visto que se em determinada pedra há três ou mais tipos rochosos diferentes, pode ocorrer de, por exemplo, para uma obra de grande porte os materiais da primeira remessa serem diferentes dos materiais da segunda remessa entregues meses depois, ou ainda, de uma obra solicitar materiais para verificar através de testes se os mesmos são adequados aos requisitos técnicos do projeto da obra, e após algum tempo, depois de aqueles materiais serem considerados conformes, a obra adquire o material que precisa, e só mais adiante, com a obra já em andamento, descobre que o material enviado e utilizado tem características totalmente diferentes do que foi testado.

Os sub-itens seguintes tratarão dessa fase de caracterização que, vale destacar, não pode ser realizada em todas as pedreiras envolvidas no estudo, devido a não-colaboração de algumas delas, conforme explicitado adiante.

2.4.1. Charnoquito

Não foi possível fazer um mapeamento da frente de lavra da pedra que explora esse litotipo (Fig. 11). Porém, através da observação das fotografias dessa frente, pode-se notar que o maciço contém uma grande quantidade de veios, possivelmente leptiníticos, que tornam o maciço heterogêneo (Fig. 12), e ainda, muitas fraturas irregulares (Fig. 13).

O desmonte dos blocos é realizado com o auxílio de uma máquina britadora (Fig. 14), e a planta de beneficiamento é composta por britadores do tipo mandíbula e utiliza peneiramento a seco (Fig. 15).

A pedra produziu mensalmente no ano de 2003 cerca de 11000 m³ de agregados para a construção civil, dos quais 40% correspondem ao volume produzido de brita 0, brita 1 e brita 2 (Fig. 16), ou seja aproximadamente 4400 m³. Os 60% restantes da produção, equivalentes a 6600 m³, são de pó de pedra (Fig. 17), que nessa pedra já é considerado um alvo da produção, sendo beneficiado num circuito específico para a sua produção, baseado na rebitagem de parte dos materiais de dimensão maior que 5mm.



Figura 11: Visão geral da pedreira do Charnoquito.



Figura 12: Frente de lavra da pedreira do Charnoquito.



Figura 13: Detalhe do fraturamento irregular na frente de lavra do Charnoquito.



Figura 14: Detalhe do desmonte dos blocos na pedreira do Charnoquito.



Figura 15: Sistema de britagem e separação dos materiais na pedreira do Charnoquito.



Figura 16: Pilhas dos diferentes materiais produzidos na pedreira do Charnoquito.



Figura 17: Pilhas de pó de pedra na pedreira do Charnoquito.

2.4.2. Gnaisse Facoidal 1

A pedreira onde é explorado o gnaisse facoidal 1 fica localizada no município de São Gonçalo (Fig. 18), e produziu no ano de 2003 aproximadamente 3500 m³ de agregados por mês, inclusos nesse total a brita 1 (cerca de 65%), a brita 0 (10%) e o pó de pedra, com 25% do volume mensal desse ano. Vale ressaltar que a pedreira está em fase de encerramento de suas atividades, e por isso tem sua produção diminuída a cada ano (em 2001 produziu 5800 m³ de agregados e, em 2002 produziu 4100 m³).

Na frente de lavra principal da pedreira o maciço é compartimentado em duas bancadas (Fig. 19), e apresenta-se pouco fraturado (Fig. 20). Em um outro corte do maciço, lateral ao principal, um dique de um segundo litotipo (Fig. 21) aparece cortando o litotipo principal (Fig. 22), tornando essa frente de lavra menos homogênea que a principal.

Assim como a pedreira que explora o charnoquito, essa pedreira também possui uma planta de beneficiamento que visa a produção do pó de pedra através da rebitagem. Os britadores utilizados são do tipo mandíbula responsável pela britagem primária, e do tipo cônico, responsável pela britagem secundária, e o peneiramento é feito a úmido.

O desmonte dos blocos é feito com o uso de explosivos colocados em cordéis detonantes presos aos blocos (Fig. 23).



Figura 18: Visão geral da pedreira do Gnaissé facoidal 1.



Figura 19: Visão geral da compartimentação / fraturamento do maciço rochoso do Gnaissé facoidal 1.



Figura 20: Detalhe do fraturamento do maciço rochoso do Gnaiss facoidal 1.



Figura 21: Dique do litotipo II cortando o litotipo I (Gnaiss facoidal 1).



Figura 22: Detalhe do litotipo I (Gnaiss facoidal 1).

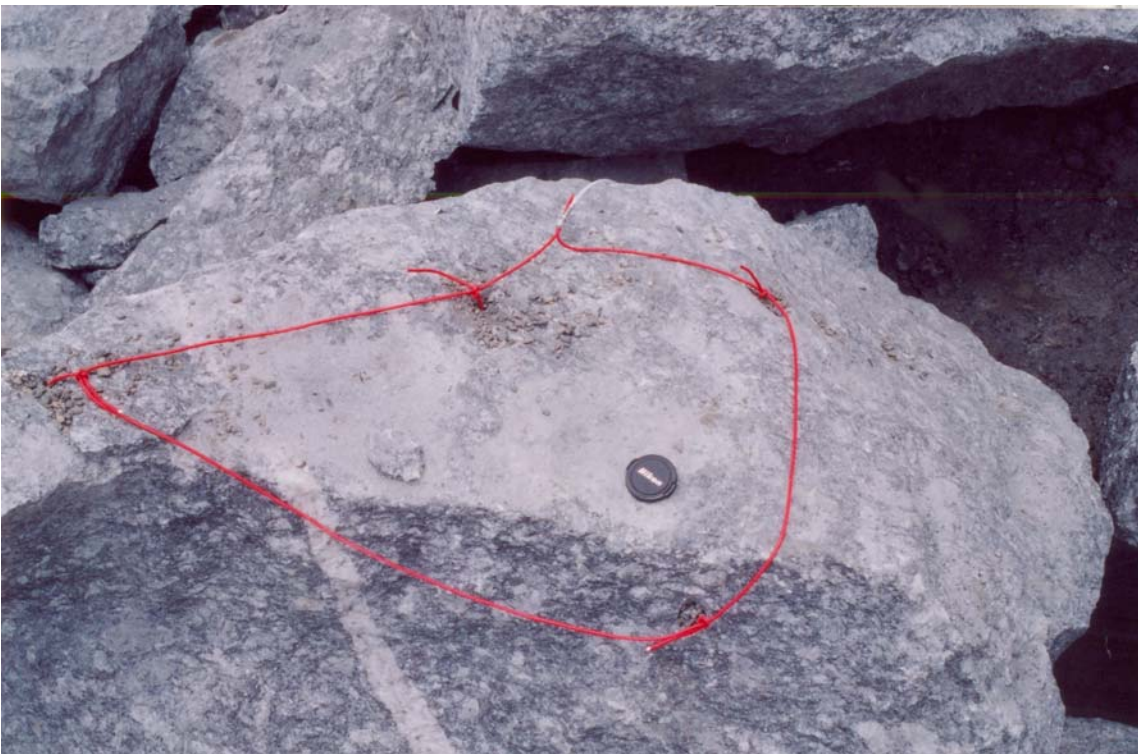
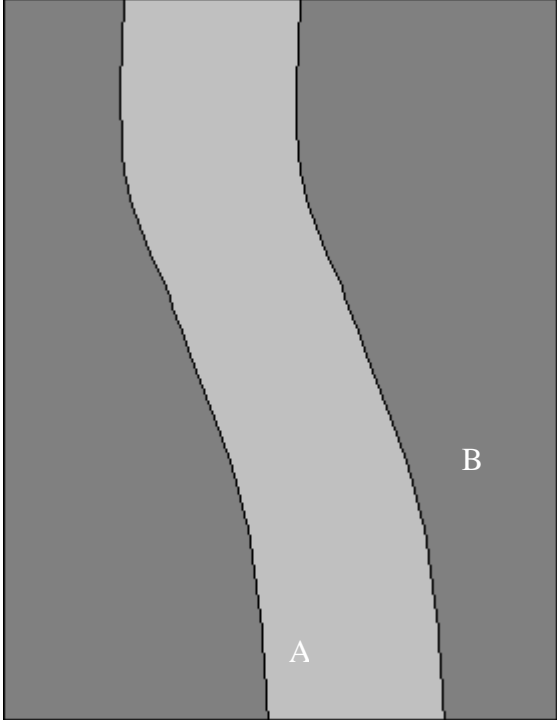


Figura 23: Detalhe do esquema de desmonte do Gnaiss facoidal 1 (ver cordel detonante).

Durante a visita de campo, além de fotografar o maciço, foi possível realizar um mapeamento expedito da frente de lavra (Tab. 1).

Tabela 1: Mapeamento expedito da frente de lavra do Gnaiss Facoidal 1.

Coordenadas:	0704421/ 7474915 (UTM)
Geologia:	<p>I) gnaiss facoidal: matriz rica em biotita, com quartzo e granada, e pórfiros, de tamanho maior que 2 cm, de alcali-feldspato. É cortada por veios de 2 diferentes tipos: o primeiro, de granulometria fina, é composto principalmente por feldspato de cor rosa (alcali-feldspato) e quartzo, totalizando aproximadamente 90% da amostra, e ainda, biotita ($\pm 10\%$); no segundo predominam grãos médios a grossos de feldspato branco, contendo também quartzo e biotita, e de textura pegmatítica.</p> <p>II) gnaiss facoidal migmatítico: matriz de granulometria fina, contendo veios de quartzo, feldspato branco e/ou rosa e biotita, e veios compostos sobretudo por quartzo, todos com textura pegmatítica. Apresenta ainda intenso bandamento (possivelmente trata-se de um migmatito estromático) e atravessa o litotipo I.</p> <p>Esquema:</p>  <p>Legenda:</p> <p>A: litotipo r</p> <p>Escala: 0 5 m</p>
Estrutural:	<p>O litotipo I encontra-se muito fraturado. Foram medidas as atitudes de duas fraturas: $355^{\circ}/88^{\circ}$ e $165^{\circ}/48^{\circ}$.</p> <p>No litotipo II não foram observadas fraturas relevantes.</p>

2.4.3. Gnaiss Facoidal 2

Não foi possível mapear a frente de lavra do Gnaiss facoidal 2 (Fig. 24) ou obter informações sobre a produção da pedreira. Contudo, as imagens feitas no local revelam algumas características importantes do maciço.

Na frente de lavra principal, o maciço encontra-se intensamente fraturado e de forma irregular (Fig. 25). O gnaiss facoidal 2 (Fig. 26) é beneficiado na planta mostrada na Figura 27, cujo sistema de britagem não pode ser conhecido.

Assim como nas outras pedreiras, o pó de pedra é estocado em pilhas localadas no terreno da pedreira (Fig. 28).



Figura 24: Visão geral da frente de lavra do Gnaisse facoidal 2: intenso fraturamento.



Figura 25: Detalhe do intenso fraturamento nas bancadas da lavra do Gnaisse facoidal 2.



Figura 26: Detalhe do Gnaiss Facoidal 2.



Figura 27: Sistema de britagem e separação dos materiais na pedreira do Gnaiss facoidal 2.



Figura 28: Pilha de pó de pedra, na pedreira do Gnaisse facoidal 2.

2.4.4. Granada-gnaisse

Do granada-gnaisse, explorado na cidade de São Fidélis, no norte-fluminense, produziu-se, em média, cerca de 5000 m³ de agregados por mês no ano de 2003. Desse total, aproximadamente 40% correspondem ao volume produzido de brita 1, 30% ao de brita 0, e 30%, ao volume de pó de pedra, ou seja, 1500 m³.

A pedreira (Fig. 29) utiliza sistema de compartimentação do maciço em bancadas, onde podem ser observadas muitas fraturas irregulares (Fig. 30).

A planta de beneficiamento da pedreira (Fig. 31) é composta por britadores do tipo hidrocone (britador cônico em via úmida) e peneiramento a úmido, e as pilhas de pó de pedra são estocadas no pátio da empresa (Fig. 32).

Não foi possível estudar em detalhe a frente de lavra da pedreira.



Figura 29: Visão geral da pedreira do Granada-gnaïsse.



Figura 30: Detalhe do fraturamento irregular nas bancadas da pedreira do Granada-gnaïsse.



Figura 31: Sistema de britagem e separação dos materiais da pedra do Granada-gnaisse.



Figura 32: Pilha de pó de pedra na pedreira do Granada-gnaisse.

2.4.5. Granito-gnaiss

A pedreira que explora o Granito-gnaiss (Fig. 33) produziu no ano de 2003 aproximadamente 13000 m³ de agregados/ mês, dos quais 13 % são relativos a produção de britas 0, 1, 2 e 3, 12% relativos a um tipo de lajota conhecida como calçadinha, 12% de bica corrida , e os 63% restantes correspondem ao volume de pó de pedra produzido naquele ano.

A frente de lavra é subdividida em bancadas, onde pode-se observar o maciço rochoso bastante fraturado (Fig. 34). A pedreira utiliza em sua planta de beneficiamento britadores do tipo cônico e peneiramento a seco.

Não foi possível mapear a frente de lavra da pedreira.



Figura 33: Visão geral da pedreira do Granito-gnaiss.



Figura 34: Detalhe do fraturamento irregular nas bancadas da pedreira do Granito-gnaisse.

2.4.6. Nefelina-sienito

A pedreira de Nefelina-sienito (Fig. 35) produz brita 0, 1, 2 e 3, em uma planta de beneficiamento composta por um britador primário do tipo mandíbula (com redução de 1:5), um britador secundário do tipo cônico, e dois britadores do tipo hidrocônico (um terciário e outro quaternário).

O maciço rochoso do Nefelina-sienito é explorado em um sistema de bancadas bastante regular (Fig. 36) e apresenta de uma forma geral poucas fraturas (Fig. 37).



Figura 35: Visão geral da frente de lavra do Nefelina-sienito.



Figura 36: Detalhe do esquema de bancadas na pedreira do Nefelina-sienito.



Figura 37: Detalhe do fraturamento do maciço na pedreira do Nefelina-sienito.

Durante a visita, além da obtenção de imagens foi possível colher algumas informações sobre a frente de lavra, conforme mostrado na tabela abaixo (Tab. 2). Contudo, dados sobre volume de produção não foram cedidos.

Tabela 2: Mapeamento expedito da frente de lavra do Nefelina-sienito.

Coordenadas UTM:	0657512/7481599
Litotipo:	Na área foi observada uma rocha de cor cinza clara, homogênea, microfanerítica a afanítica, cuja composição mineralógica (e modal) não foi possível estudar em campo.
Estrutural:	No litotipo foram observadas algumas fraturas do tipo cunha e outras fraturas pouco relevantes

3. METODOLOGIA

Foi adotada a seguinte metodologia para o desenvolvimento desse trabalho: coleta das areias naturais (areias de rio) e artificiais (pó de pedra) nos locais estabelecidos, caracterização geológica e física das areias, preparo das argamassas e dos corpos de provas e, por fim, a verificação do desempenho das argamassas.

Segue abaixo o detalhamento de cada uma das etapas do estudo, na ordem em que foram realizadas.

3.1. Amostragem das areias naturais e dos finos de pedreira

Para a realização das análises foram amostradas areias de rio e finos de pedreira, de diferentes localidades, como mencionado anteriormente, ambos com granulometria abaixo da fração 4,8 mm. A coleta foi efetuada de forma a garantir a melhor homogeneidade possível, misturando materiais de diferentes pilhas ou mesmo, coletando em diferentes pontos de uma mesma pilha.

Vale ressaltar que nas pedreiras esse material corresponde a fração-resíduo do último processo de cominuição das rochas para a obtenção de brita, o qual visa obter materiais de dimensão maior que 4,8 mm. Este valor é considerado pela indústria de agregados como sendo o limite inferior para agregados graúdos e limite superior para agregados miúdos.

Além do material fino, foram coletados blocos de rochas nas pedreiras para a futura confecção de lâminas petrográficas. Esse procedimento só não foi realizado com a amostra Granito-gnaiss, devido a proibição de coleta de materiais dessa dimensão, por parte da pedreira que explora esse litotipo.

3.2. Caracterização das areias naturais e dos finos de pedreira

Para os ensaios de caracterização do material, após a coleta as areias naturais e artificiais (como são chamados os finos de pedreira) foram submetidas a um processo de preparação que envolveu secagem dos grãos ao ar livre e depois em estufa a $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$, por 24 horas, e homogeneização através de sucessivos quarteamentos, para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

Por se tratar de um estudo dirigido à confecção de argamassas, as areias passaram por um peneiramento para a separação dos materiais de granulometria acima de 2,4 mm, que foram então descartados, utilizando-se nos ensaios de caracterização apenas a fração das amostras de dimensão menor ou igual a 2,4 mm.

Os ensaios realizados nessa etapa podem ser divididos em dois grupos, da seguinte forma:

- Ensaios de caracterização mineralógica dos materiais:
 - Análise mineralógica via microscopia petrográfica;
 - Análise morfológica via lupa binocular;
 - Análise mineralógica via difração por raio-X;
- Ensaios de caracterização física dos materiais:
 - Determinação da composição granulométrica dos agregados (segundo a NBR 7217);

- Análise da distribuição granulométrica do material pulverulento (dimensão $\leq 0,075$ mm);
- Determinação da massa unitária dos agregados em estado solto (segundo a NBR 7251).

Todos os ensaios foram aplicados às areias naturais e artificiais, com exceção para a microscopia petrográfica realizada apenas para as amostras de pedreiras.

Seguem abaixo as explicações sobre os ensaios não-normatizados e comentários relevantes a respeito das particularidades dos ensaios baseados em normas técnicas:

- Análise mineralógica via microscopia petrográfica:

Conforme mencionado no item 3.1. deste capítulo, foram coletados blocos de rochas nas pedreiras, os quais foram utilizados para a preparação de lâminas petrográficas. Estas lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico da marca Zeiss modelo Axioplan 2, usando luz transmitida, com objetivas de aumento de 4x, 10x, 20x, 40x, 63x e 100x. Uma câmera fotográfica digital da marca SONY, acoplada ao microscópio, permitiu a obtenção de imagens para a ilustração dos materiais coletados nas pedreiras.

Com essa análise objetivou-se investigar aspectos mineralógicos como a presença de minerais de alteração e de minerais (ou agregados de) com microfissuras abertas (não-seladas). Tais aspectos são considerados muito relevantes no que diz respeito ao emprego desses materiais como agregados para a construção civil.

- Análise morfológica via lupa binocular:

Para esta avaliação foram utilizados os materiais retidos nas peneiras n.º 8 e n.º 16. Esta análise das areias foi realizada em lupa binocular da marca Lewa, e as imagens obtidas por uma máquina fotográfica digital acoplada ao equipamento. Pretendeu-se nesse ensaio observar a morfologia dos grãos, ou seja, o grau de arredondamento e a esfericidade. As amostras foram então classificadas através da comparação dos resultados dessa avaliação com o padrão estabelecido por Pettijohn et al. (1973) para a classificação nominal do grau de arredondamento e esfericidade de grãos (Fig. 38).

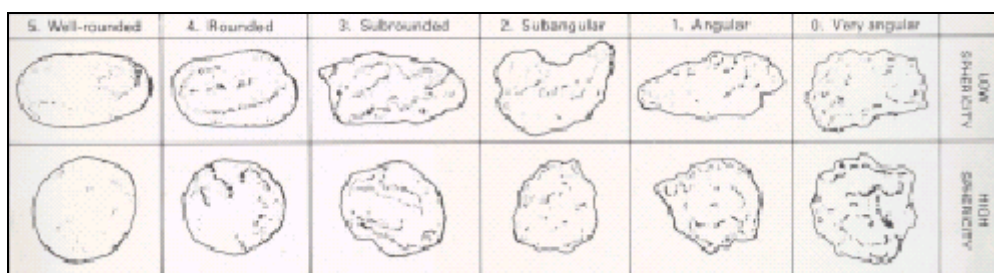


Figura 38: Padrão utilizado para a classificação do arredondamento e da esfericidade dos grãos (Pettijohn et al., 1973).

Segundo Smith & Collis (1993), a forma dos grãos influi na trabalhabilidade da argamassa e também na resistência. Grande proporção de partículas angulosas aumenta a superfície específica total dos grãos de forma a tornar necessária uma maior quantidade de

água necessária para a lubrificação dos grãos, o que tem como principal consequência um aumento na quantidade de poros na argamassa, enfraquecendo-a. Além disso, grãos equidimensionais proporcionam um aumento da trabalhabilidade, enquanto que grãos alongados a diminuem.

- Análise mineralógica via difração por raio-X:

Para a execução do ensaio de difração por raio-X foi utilizada apenas a fração $\leq 0,075$ mm de todas as amostras. Dessa fração, foram separados 50 g de material seco para cada uma das amostras, aos quais adicionou-se 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH), agitou-se e deixou-se em repouso por 24 horas. Após esse período, as misturas foram levadas à coqueteleira para agitação, por 5 minutos. Deu-se sequência com um processo de peneiramento para coleta da fração menor que 0,0053 mm, que foi então colocada em proveta de 1000ml (completados pela adição de água) para a decantação da fração silte, em um processo de 24 horas de duração, acelerado pela adição de 10 ml de HCl. Para a amostra Nefelina-sienito foi necessária ainda a adição de 5 ml de hexametilfosfato e o uso de ultra-som (por 5 minutos), devido a pouca quantidade de partículas tamanho argila..

Com a decantação foi possível separar a fração argila, que foi coletada das provetas, através de sucção a 20 cm do nível das soluções, e levada a sucessivas lavagens e centrifugações até total ausência de resíduos dos reagentes utilizados no processo de decantação. Depois dessa verificação, com o material obtido foram confeccionadas lâminas do tipo normal, aquecida e glicolada, que foram levadas ao raio-X.

O estudo dos picos presentes nos gráficos obtidos possibilitou a identificação de eventuais minerais de alteração presentes nas amostras estudadas, considerados prejudiciais às argamassas. Essa identificação é baseada na da tabela de conversão de ângulos de Bragg (XXX, XX) que relaciona os valores de distância medidas no gráfico com ângulos. Através do conhecimento de cada ângulo é que se conhece o mineral identificado em um determinado pico do gráfico.

- Determinação da composição granulométrica dos agregados:

Esse ensaio foi realizado com base na norma NBR 7217 (ABNT, 1987), onde também foram encontradas as informações que indicaram quais peneiras (quanto a abertura da malha) deveriam ser utilizadas para a avaliação das amostras. No caso, foram utilizadas as peneiras da série normal com as seguintes aberturas: 0,075 mm; 0,150 mm; 0,300 mm; 0,600 mm; 1,2 mm e 2,4 mm.

Depois de quarteadas ainda úmidas, foram separadas duas porções de cada amostra, que foram levadas à estufa a $(105\pm 5)^\circ$ C para secagem. Depois de secas, as areias foram despejadas — cada porção de 0,5 kg por vez — na peneira de maior abertura, que foi colocada no topo da pilha construída com todas as peneiras (arrumadas de forma decrescente segundo suas aberturas de malhas e incluindo o fundo). O conjunto foi levado ao agitador mecânico até que, quando agitada manualmente a peneira de maior abertura por 1 minuto não passasse pela malha mais do que 1% do material retido na mesma. Após alcançada essa exigência, foram calculadas, para cada uma das amostras, as massas retidas em cada peneira (os valores de percentagem retida em cada peneira não podem diferir mais de 4% dos valores obtidos para a outras porção de 0,5 kg de uma mesma areia, sob a custa de repetição do ensaio) e as massas retidas acumuladas para o conjunto. Com os valores das massas retidas

acumuladas foram construídas as curvas, que permitiram a análise da distribuição granulométrica dos grãos.

Vale salientar que, para todas as amostras, a fração menor que 0,075mm foi considerada como fundo da seqüência de peneiras e, portanto, não teve a sua distribuição granulométrica determinada nesse ensaio.

Segundo Smith & Collis (1993), uma distribuição regular dos tamanhos das partículas garante o melhor preenchimento dos espaços vazios de uma mistura, diminuindo a quantidade de cimento que seria adicionada, em comparação a materiais com uma distribuição granulométrica irregular, além de diminuir a segregação dos materiais e aumentar a resistência à compressão. Assim, uma mistura com maior proporção de grãos de grande dimensão (considerando-se, é claro, o intervalo de tamanhos utilizado em argamassas) dificulta a passagem da pasta de cimento, tornando a argamassa mais porosa.

- Análise da distribuição granulométrica do material pulverulento:

O material de dimensão menor que 0,075 mm, ou material pulverulento, que não pode ter sua granulometria investigada no ensaio de determinação da composição granulométrica, realizado segundo a norma NBR 7217 (ABNT, 1987), foi enviado a um laboratório do INT (Instituto Nacional de Tecnologia), dotado de aparelhagem adequada para a execução dessa análise. A distribuição granulométrica dessa fração mais fina influi na mistura da mesma forma que a das partículas maiores da mistura (Smith & Collis, 1993).

- Determinação da massa unitária dos agregados:

A massa unitária das areias naturais e artificiais foi determinada segundo a norma NBR 7251 (ABNT, 1982), não havendo particularidades a respeito da execução desse ensaio.

Segundo definição dessa norma, a massa unitária de um agregado no estado solto (MU), dada em kg/dm³, é o quociente da massa (M) de agregado que preenche um determinado recipiente e o volume (V) desse recipiente, ou seja,

$$\text{MU} = \frac{\text{M}}{\text{V}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Para essa determinação encheu-se com o agregado seco um recipiente de base quadrada, de lado igual a 316 mm, e altura igual a 150 mm (com volume de aproximadamente 15 dm³ e massa em kg já medida), de forma cuidadosa para evitar a compactação dos grãos (respeita-se uma altura para o despejo da areia de 10 a 12 cm do topo do recipiente) (Fig. 39) e deixando um excesso de material, que depois é removido com o auxílio de uma régua, garantindo o total preenchimento do recipiente (Fig. 40). O recipiente com agregado é então pesado. A massa de agregado solto é dada pela diferença entre a massa do recipiente com o agregado e a massa do recipiente vazio. Calcula-se então o quociente entre esse resultado e o volume do recipiente. A massa unitária de um agregado no estado solto é a média dos resultados obtidos em três determinações, e esses resultados não devem apresentar desvio maior que 1% em relação a média.



Figura 39: Colocação do agregado seco, em estado solto, dentro do recipiente para determinação da massa unitária: notar altura de despejo.



Figura 40: Retirada do excesso de material sobre o recipiente para determinação da massa unitária.

Os resultados finais desse ensaio para todas as areias foram utilizados na determinação do traço das argamassas, conforme será mencionado adiante.

3.3. Verificação do desempenho das argamassas:

Os ensaios realizados nessa etapa foram:

- Preparo da mistura e determinação do índice de consistência das argamassas (segundo a NBR 13276);
- Determinação da resistência a compressão das argamassas (segundo a NBR 13279);
- Determinação dos módulos de deformabilidade das argamassas.

Seguem abaixo as explicações pertinentes a execução desses ensaios:

- Preparo das misturas e determinação dos índices de consistência das argamassas:

Para a verificação do desempenho das areias naturais e artificiais como agregados miúdos em argamassas, foram preparadas misturas compostas por cimento, areia e água. Nessa caracterização, utilizou-se o cimento Portland composto com adição de escória de alto forno (CP II E 32), as areias naturais e artificiais estudadas, e água na temperatura ambiente. O preparo da mistura (argamassa) foi realizado de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT, 2002), tendo como traço inicial em volume 1:6 (cimento:areia), em seguida convertido para traço em massa, multiplicando-se o valor 6 do traço em volume pelo valor obtido para a massa unitária, em kg/dm^3 , de cada um dos agregados (que vale MU_A para um agregado A qualquer) conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Exemplo do cálculo de transformação do traço em volume para traço em massa.

Agregado A	Cimento	Areia
Traço em volume	1	6
Traço em massa	1	= 6 x (MU_A)

Para o cálculo do traço das argamassas em gramas definiu-se inicialmente como base uma quantidade de 1,5 kg de materiais sólidos (cimento e areia), para cada uma das argamassas estudadas, distribuídos da seguinte forma: a) a quantidade de cimento foi encontrada dividindo-se a quantidade de material seco em gramas (1500 g) pelo somatório das quantidades para cimento e areia definidas no traço em massa (a quantidade de cimento é sempre 1 para qualquer agregado); b) a quantidade de areia foi obtida multiplicando-se a quantidade encontrada na etapa a) para o cimento pelo valor encontrado para a areia no cálculo do traço em massa. Para exemplificar as etapas descritas anteriormente, mostra-se a Tabela 4, para um agregado A qualquer, onde X é o valor obtido para a quantidade de areia do traço em massa (Tab. 3) e Y é o resultado obtido para a quantidade de cimento do traço em gramas, conforme descrito nesse parágrafo.

Tabela 4: Exemplo do cálculo de obtenção do traço em gramas para as argamassas.

Agregado A	Cimento	Areia
Traço em massa	1	X
Traço em gramas (para 1,5 kg)	$= (1500 / (1 + X)) = Y$	$= Y \times X$

Os teores de água das argamassas foram determinados a partir dos valores finais encontrados para os índices de consistência das argamassas em mesa de abatimento (flow table), ensaio esse realizado ainda segundo a norma NBR 13276 (ABNT, 2002). Nesse ensaio, mistura-se em um agitador o cimento e a areia (Fig. 41), nas quantidades definidas no traço em gramas, além de uma quantidade de água igual a 15% das 1500 g de materiais sólidos (cimento e areia), ou seja 225 g de água, e essa quantidade de água vai sendo aumentada ou diminuída de 1 em 1%, conforme a necessidade para se alcançar a trabalhabilidade definida pela norma. De acordo com a norma, a trabalhabilidade da mistura é dada pela média de três medidas da abertura (diâmetro), em milímetros, da mistura colocada dentro de um recipiente de dimensões específicas, posto sobre a mesa de abatimento e após 30 golpes sucessivos e igualmente espaçados entre eles (Fig 42 e Fig. 43).



Figura 41: Preparo da mistura para a determinação da trabalhabilidade.



Figura 42: Aplicação dos golpes para a determinação do cálculo da trabalhabilidade.



Figura 43: Medida da abertura da massa em milímetros para o cálculo da trabalhabilidade.

Com a determinação da quantidade de água que deveria ser adicionada a cada mistura, foi possível obter os traços finais que determinaram a proporção a ser seguida para o cálculo das quantidades de cimento, areia e água das argamassas que foram utilizadas para a moldagem dos corpos de prova.

Para uma melhor avaliação da possível influência do material pulverulento (como é chamado o material de dimensão menor que 0,075 mm) nos valores finais de resistência à compressão e nos módulos de deformabilidade, foram também elaboradas argamassas com a

amostra Gnaisse-facoidal 1 sem os seus finos, ou seja, excluindo-se de uma porção dessa amostra o material passante na peneira de abertura 0,075 mm. Dessa forma, além das 8 argamassas confeccionadas com os 2 tipos de areias naturais e 6 tipos de areias artificiais, foi preparada uma argamassa com um dos 6 tipos de areia artificial, agora sem o material pulverulento que estava presente em sua composição.

Salienta-se que a escolha da amostra estudada sem a fração mais fina foi feita baseada na quantidade razoável de finos que a amostra Gnaisse-facoidal 1 apresentou de acordo com os resultados do ensaio granulométrico (NBR 7217) e também por haver dentre as amostras estudadas uma outra amostra de características geológicas consideradas semelhantes, a amostra Gnaisse-facoidal 2.

- Determinação da resistência à compressão simples das argamassas:

A determinação da resistência à compressão das argamassas foi realizada de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 1995)

Depois de preparadas as argamassas conforme descrito anteriormente, foram moldados 12 corpos de prova, em moldes cilíndricos de 5 cm x 10 cm (previamente parafinados e untados com óleo mineral) (Fig. 44), para cada uma das 9 argamassas, os quais foram distribuídos da seguinte forma: 4 corpos de prova para serem rompidos aos 7 dias de cura, 4 para os 14 dias e 4 para os 28 dias. Essa fase de moldagem foi realizada seguindo-se procedimentos listados na norma NBR 7215 (ABNT, 1996).

Ao todo, foram elaborados 108 corpos de prova, que seguiram imediatamente ao processo de cura, composto de duas fases. Na primeira fase os corpos de prova curaram por um período de 48 h, ainda nos moldes, cobertos por toalhas úmidas, para garantir uma umidade relativa do ar superior a 95%. Em seguida, já na segunda fase, os corpos de prova foram retirados dos moldes e imersos em recipientes cheios de água à temperatura ambiente (23 ± 2)° C e saturada com cal (Fig. 45.a), onde foram mantidos até que alcançassem a idade planejada para o seu rompimento. Nesse período, os recipientes foram sendo completados com água, para que em hipótese alguma os corpos ficassem fora da água, visto que há perdas por evaporação. Todos esses procedimentos estão de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 1995) como mencionado anteriormente.

Alcançada a idade programada, os corpos de prova foram capeados com enxofre quente (Fig. 45.b e Fig. 45.c) para tornar suas extremidades completamente lisas e niveladas. Depois de capeados, os corpos de prova foram então submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, que foi executado em uma prensa hidráulica, marca KRATOS, modelo IK - 1C (100 t) (Fig. 46), utilizando uma velocidade de carregamento de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

Pretende-se com esse ensaio determinar o carregamento axial máximo suportado por cada uma das argamassas estudadas, verificando, de posse desses resultados, se as argamassas confeccionadas com areias artificiais atendem às especificações da norma NBR 13281 (ABNT, 2001), para o seu uso na construção civil.



Figura 44: a) Moldes cilíndricos parafinados e untados; b) Golpes na argamassa colocada dentro dos moldes para melhor preenchimento; c) Moldes já cheios de argamassa sendo cobertos por placa de vidro.



Figura 45: a) Corpos de prova imersos em água saturada com cal; b) Capeamento; c) Corpo de prova com as duas extremidades capeadas.



Figura 46: Corpo de prova na prensa hidráulica para o rompimento.

- Determinação do módulo de deformabilidade das argamassas:

A partir das curvas obtidas para o comportamento das argamassas quando submetidas ao carregamento, no ensaio de resistência à compressão simples, foram calculados os módulos de deformabilidade das amostras, através do método das tangentes. Para essa determinação foi necessária a execução de ajustes nas curvas de tensão versus deformação, para que fossem eliminados todos os trechos considerados como ruídos, decorrentes de interferências que ocorrem no circuito de medição das deformações, acoplado a prensa, no momento inicial da aquisição dos dados. Esse ruído aparece como um trecho da curva com grande oscilações de pequena amplitude e alta frequência.

Para se efetuar o ajuste, foi identificado o ponto da curva original, com um determinado valor de tensão e deformação, a partir do qual a curva segue uma tendência a um comportamento mais uniforme, sem oscilações frequentes. Depois da identificação, esse ponto foi transformado no ponto de tensão e deformação nulas, ou seja, na origem do sistema de coordenadas. Nesse processo, todos os pontos anteriores ao novo ponto original foram descartados e os pontos seguintes, posteriores a ele, tiveram seus valores de tensão e deformação recalculados, subtraindo-se desses os antigos valores de tensão e deformação do ponto definido na primeira etapa do ajuste. Desse modo, toda a porção da curva após o ruído foi transladada para o início do sistema de eixos. Como consequência, as curvas tiveram seus valores de tensão e deformação máximos reduzidos, não correspondendo aos encontrados durante o ensaio de ruptura. Contudo, esse procedimento é considerado válido porque não altera o traçado da porção estabilizada da curva, o qual será utilizado para o cálculo dos módulos de deformabilidade E das argamassas.

Para o cálculo dos módulos pelo método das tangentes, traçou-se uma reta tangente ao ponto da curva com valor de tensão igual a 50% do valor de tensão máxima (Anexo V). A medida da inclinação dessa reta é o próprio módulo de deformabilidade E , e é dada pelo

quociente entre a variação de tensão entre dois pontos 1 e 2 (ΔY) e a variação nas deformações para os mesmos pontos 1 e 2 (ΔX), ou seja,

$$\mathbf{E} = \frac{\Delta \mathbf{Y}}{\Delta \mathbf{X}} \quad (\text{Eq. 02})$$

Foram consideradas as curvas de todos os corpos de prova, de forma que calculou-se o módulo E para cada uma das três idades de cura. Assim, para cada areia estudada, obteve-se 3 valores de E, correspondentes a média aritmética simples entre os módulos dos corpos de prova de mesma idade de uma determinada areia.

Com esse procedimento, objetivou-se analisar qual comportamento quanto à capacidade de deformação as argamassas assumem, com o aumento da idade de cura.

4. RESULTADOS

4.1. Ensaio de Caracterização Mineralógica dos Materiais

4.1.1. Análise Mineralógica Via Microscopia Petrográfica

4.1.1.1. Charnoquito

Com a observação da lâmina da amostra Charnoquito foi possível determinar sua mineralogia principal e identificar aspectos mineralógicos que possam interferir positiva ou negativamente durante o seu uso como agregado.

Os resultados dessa análise são mostrados na tabela abaixo (Tab. 5) e em seguida as imagens obtidas que ilustram cada um dos aspectos destacados.

Tabela 5: Resultados da microscopia da amostra Charnoquito.

Mineralogia Principal	Plagioclásio (46%), Quartzo (33%), Ortopiroxênio (11%), Álcali-feldspato (4%), Biotita (3%) e Opacos (3%).
Geral	Grãos minerais, de uma forma geral, com algumas microfissuras preenchidas por algum mineral são ou por óxido de ferro, e com sinais de alteração incipiente, visível nas bordas dos grãos de biotita, na alteração isolada de um agregado de grãos de biotita e ortopiroxênio e na ausência de saussuritas.
Aspectos Positivos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfícies dos grãos de feldspato com algum preenchimento por óxido de ferro (Fig. 46);• Superfícies dos grãos de plagioclásio sem saussuritas (Fig. 47), que configurariam pontos de alteração;• Superfícies dos grãos de feldspato íntegras ou com microfissuras preenchidas por mineral são, como ... (Fig. 48)• Grãos de biotita com bordas de alteração incipiente ou sem bordas de alteração (Fig. 49);• Grãos de ortopiroxênio com microfissuras preenchidas por óxido de ferro (Fig. 50).
Aspectos Negativos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Isolados grãos minerais, possivelmente biotita e ortopiroxênio, se alterando para clorita (Fig. 51).

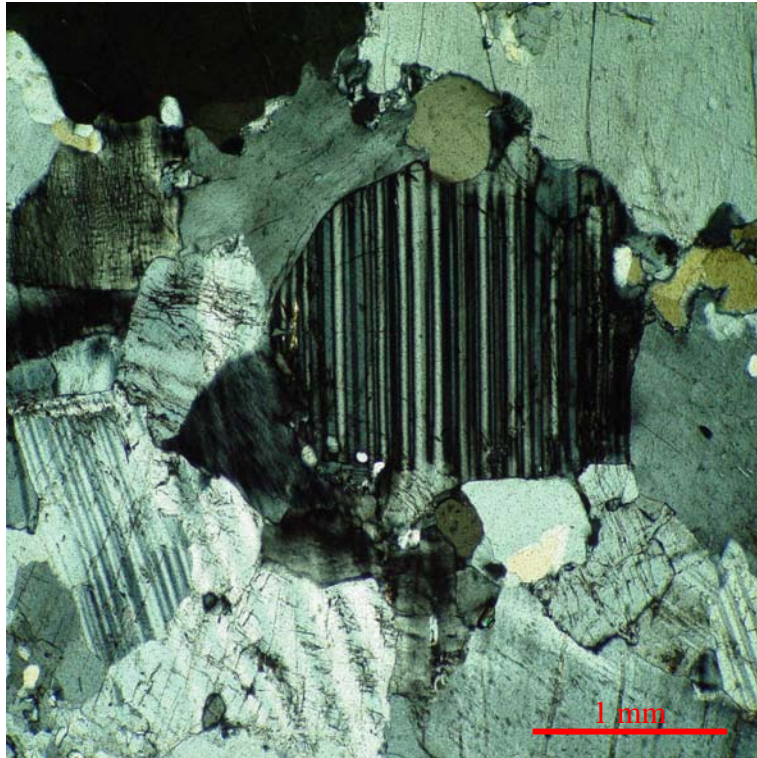


Figura 46: Visão geral da lâmina do Charnoquito.

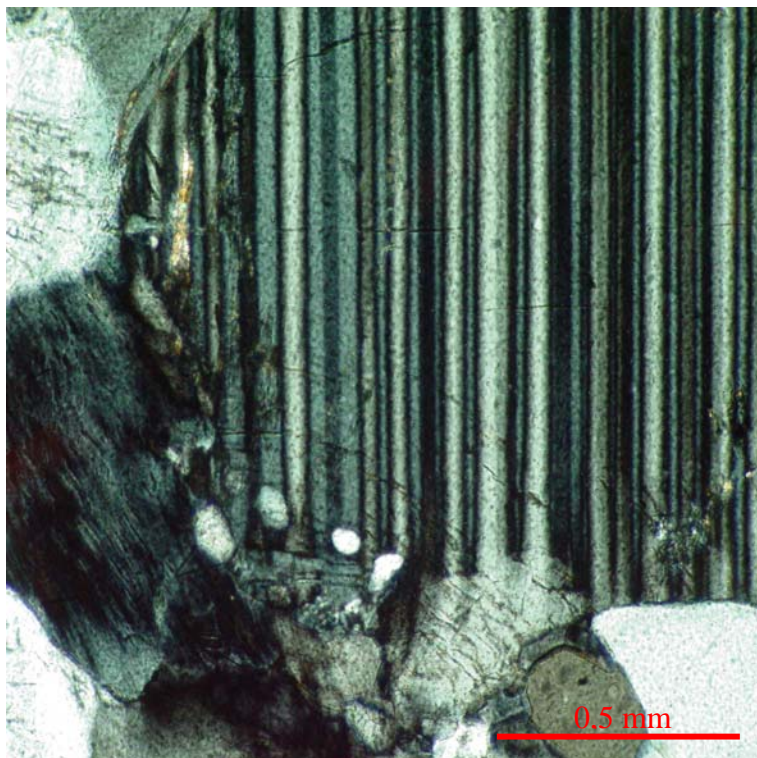


Figura 47: Superfície límpida de um grão de plagioclásio.

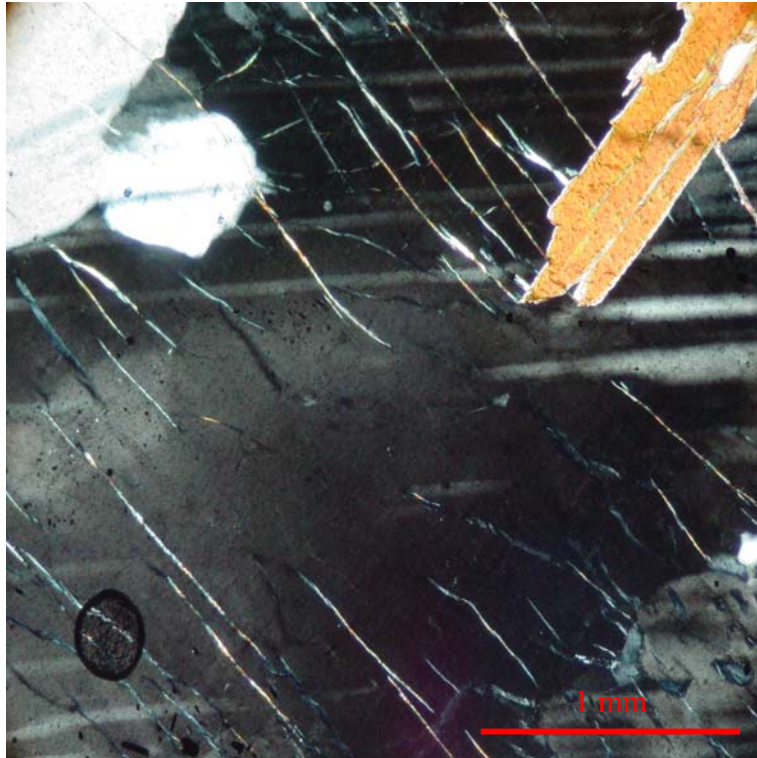


Figura 48: Grão de feldspato com microfissuras preenchidas por mineral são.

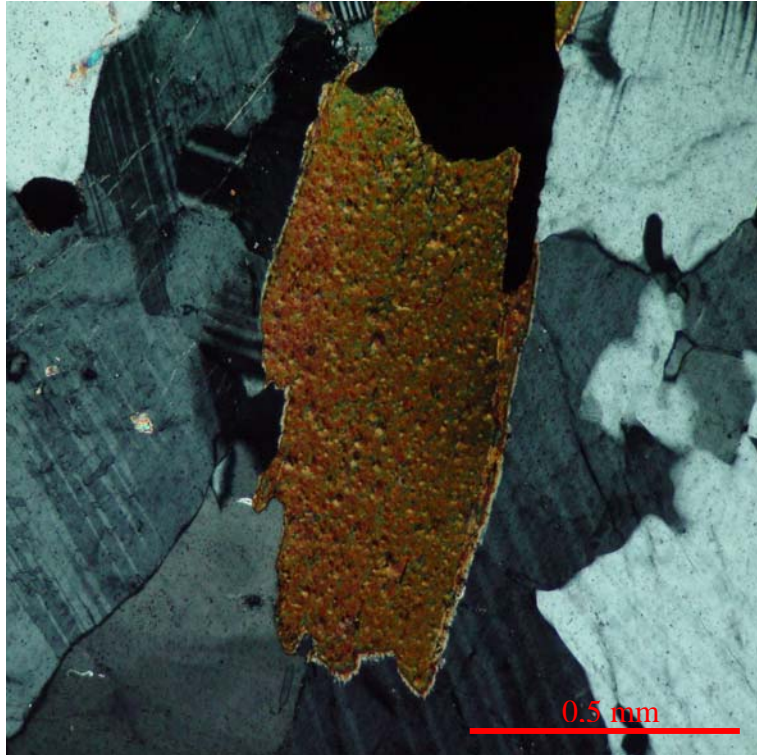


Figura 49: Grão de biotita com borda de alteração inicial.

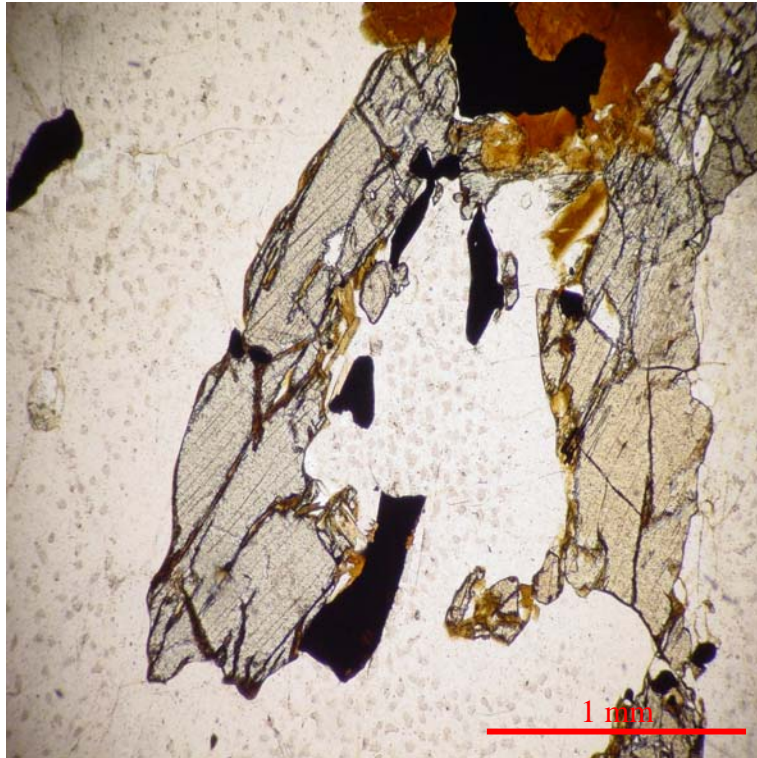


Figura 50: Grão de ortopiroxênio com microfissuras preenchidas possivelmente por óxido de ferro.

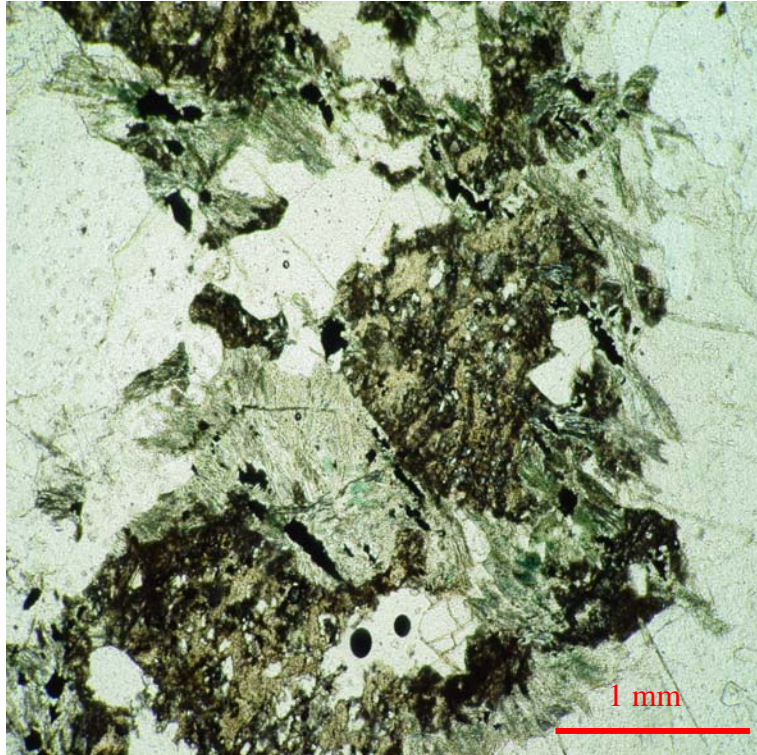


Figura 51: Grãos minerais se alterando para clorita.

4.1.1.2. Gnaiss facoidal 1

A tabela abaixo (Tab. 6) exibe os resultados da avaliação microscópica dessa amostra. As ilustrações seguintes foram obtidas durante a referida análise.

Tabela 6: Resultados da microscopia da amostra Gnaiss facoidal 1.

Mineralogia Principal	<ul style="list-style-type: none">• Lâmina 1: Quartzo (59%), Álcali-feldspato (17%), Plagioclásio (12%) e Biotita (12%).• Lâmina 2: Álcali-feldspato (39%), Quartzo (25%), Plagioclásio (19%) e Biotita (17%).• Lâmina 3: Álcali-feldspato (7%), Plagioclásio (16%), Quartzo (60%) e Biotita (14%).
Geral	<p>Grãos minerais, de uma forma geral, com alguns sinais de alteração, exibidos nas bordas de alteração ainda incipientes da maioria dos grãos de biotita, nos isolados grãos de biotita alterados à clorita, e nos feldspatos com saussuritas ou com carbonato ou sericita intragranulares. Presença de microfissuras preenchidas por óxido de ferro, principalmente nos grãos de feldspatos (álcali-feldspato e plagioclásio). Há ainda alguma orientação mineral e faixas de recristalização.</p>
Aspectos Positivos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfícies dos grãos de feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro (Fig. 52 e Fig. 53);• Grãos de biotita com bordas de alteração incipiente ou sem bordas de alteração (Fig. 54);• Um único grão de granada, com microfissuras preenchidas por óxido de ferro (Fig. 55).
Aspectos Negativos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfície de um único grão de feldspato com saussuritas (Fig. 56), o que configura pontos de alteração;• Presença de faixas de orientação e recristalização mineral (Fig. 57);• Grãos minerais, possivelmente de plagioclásio, se alterando para carbonatos e/ou sericita, e grãos de biotita se alterando para clorita (Fig. 58 e Fig. 59), ambos ocorrendo apenas em uma das lâminas analisadas.

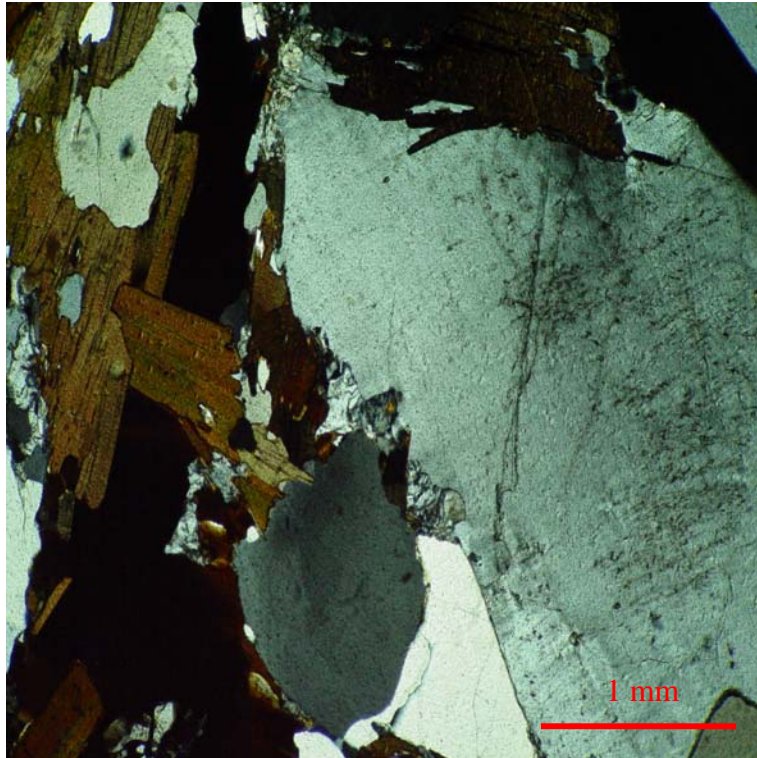


Figura 52: Visão geral das lâminas do Gnaise facoidal 1.

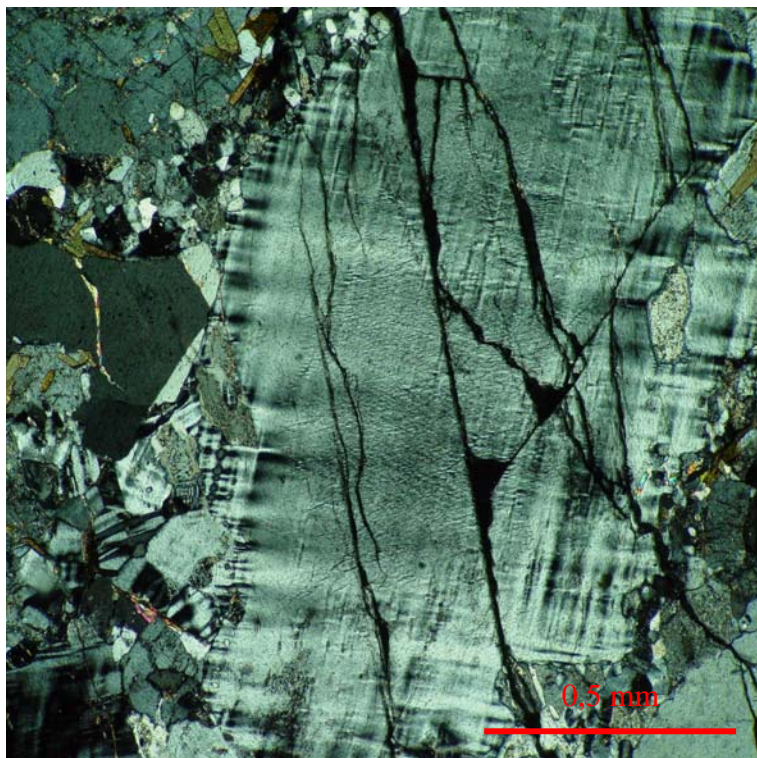


Figura 53: Grão de álcali-feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.

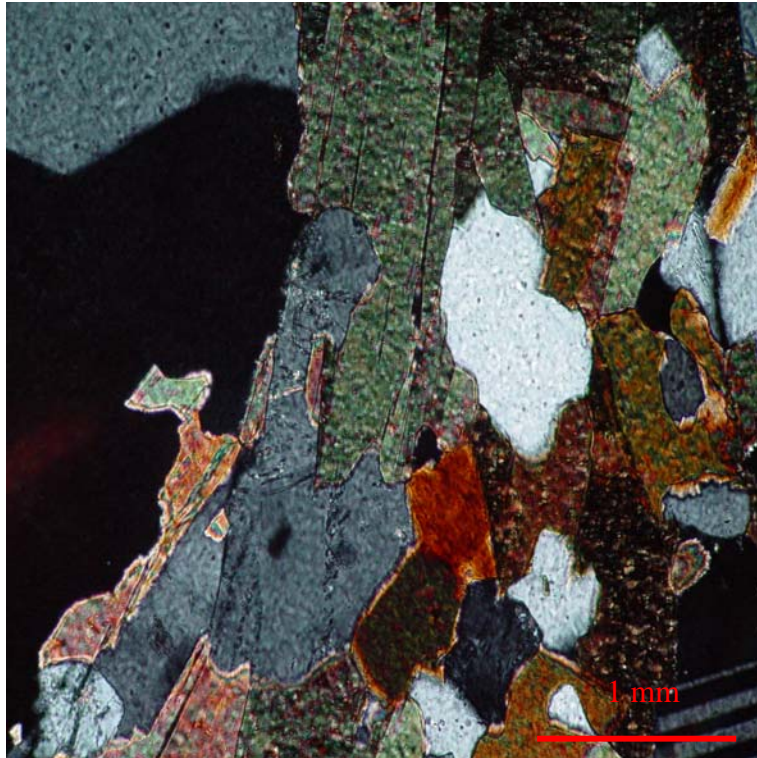


Figura 54: Bordas de alteração inicial em grãos de biotita.

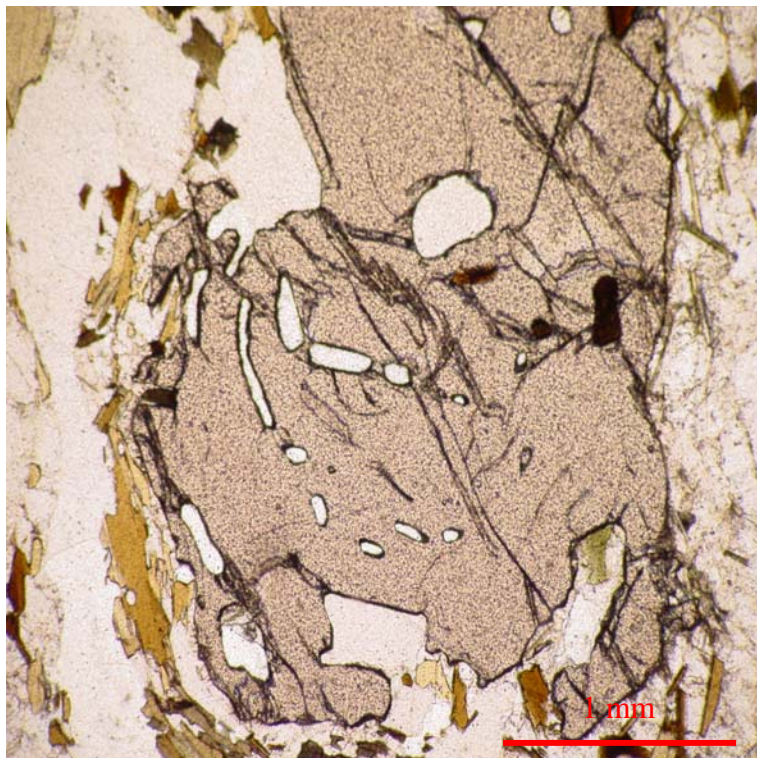


Figura 55: Grão de granada com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.

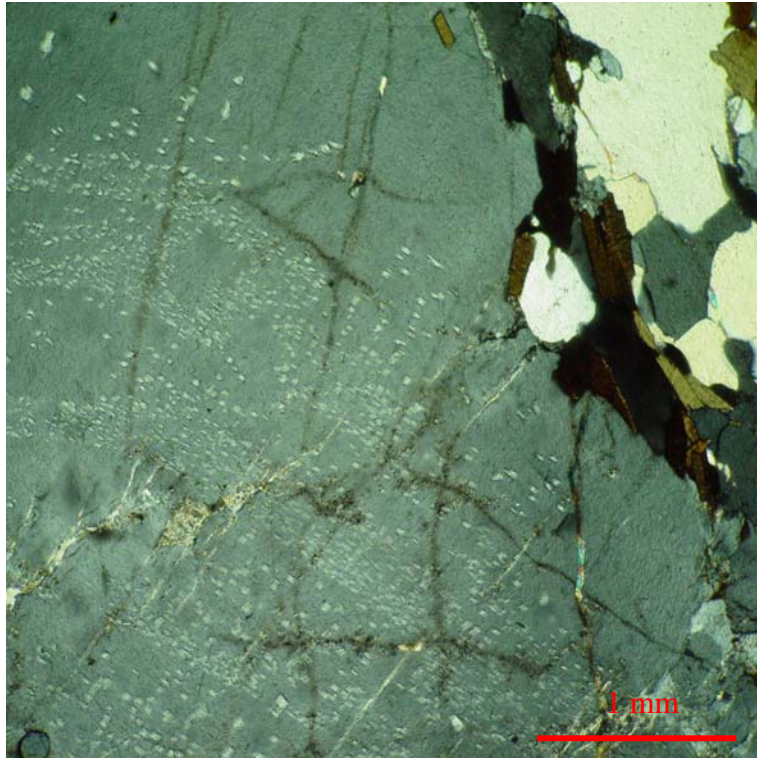


Figura 56: Grão de feldspato com saussuritas e microfissuras.

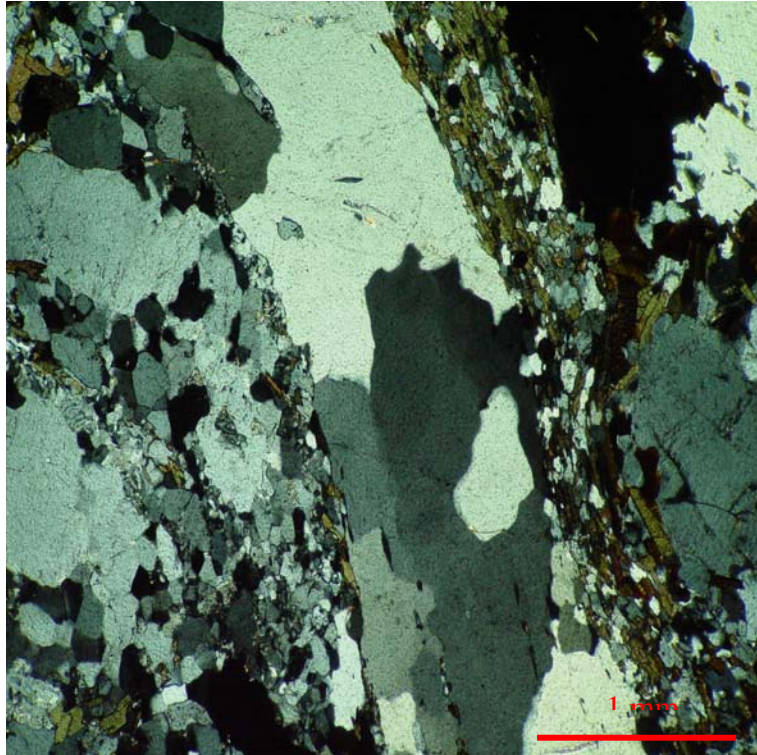


Figura 57: Orientação e recristalização mineral.

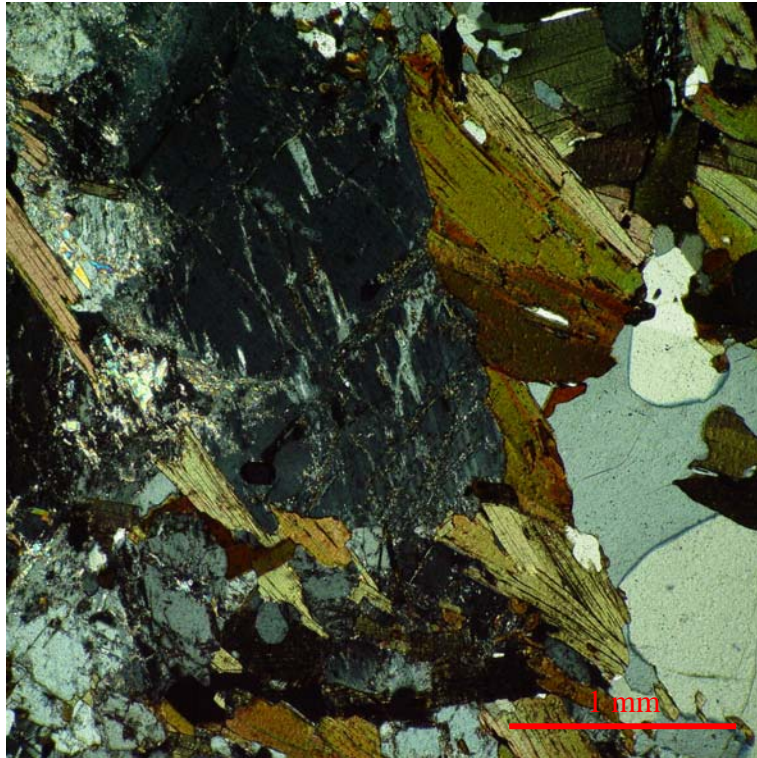


Figura 58: Alteração mineral: presença de carbonatos e sericita no plagioclásio e de biotita alterada para clorita.

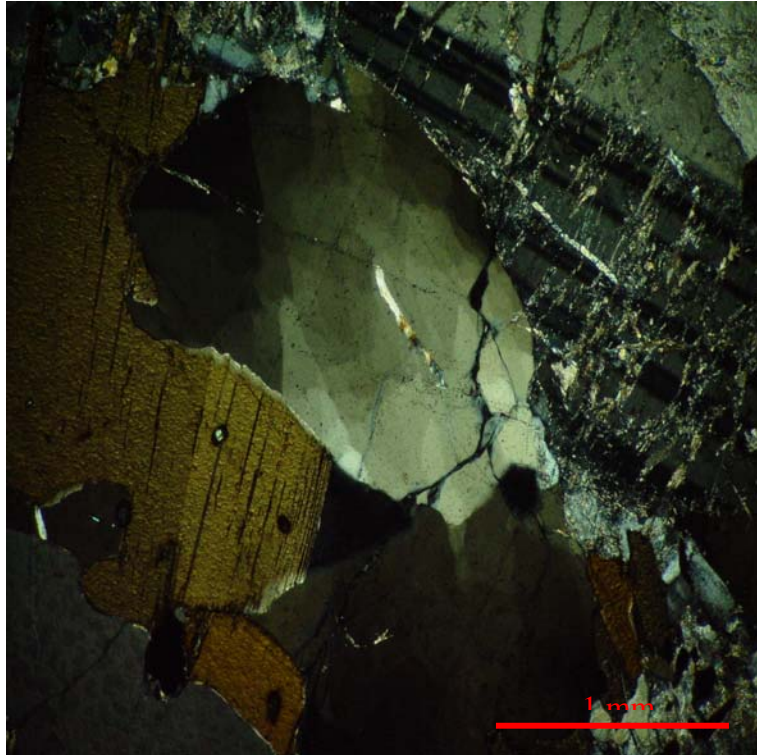


Figura 59: Grão de plagioclásio alterado (à direita).

4.1.1.3. Gnaiss facoidal 2

A tabela abaixo (Tab. 7) mostra os resultados da microscopia realizada nas lâminas da amostra Gnaiss facoidal 2. Após a tabela, seguem as imagens obtidas durante essa análise.

Tabela 7: Resultados da microscopia da amostra Gnaiss facoidal 2.

Mineralogia Principal	<ul style="list-style-type: none">• Lâmina 1: Quartzo (57%), Plagioclásio (23%), Álcali-feldspato (12%), Biotita (7%) e Minerais Opacos (1%);• Lâmina 2: Quartzo (37%), Plagioclásio (33%), Álcali-feldspato (12%), Biotita (17%) e Minerais Opacos (1%)
Geral	<p>Superfícies dos grãos minerais, principalmente de álcali-feldspato e de plagioclásio, fortemente clivados e com muitas microfissuras preenchidas por óxido de ferro. A alteração da rocha, ainda em estágio inicial, é evidenciada pelas bordas de alteração mineral das biotitas e por alguns grãos de biotita alterados para clorita. Há também indícios de fluxo mineral e presença de texturas ígneas ou metamórficas.</p>
Aspectos Positivos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfícies dos grãos de feldspatos com microfissuras preenchidas por óxido de ferro (Fig. 60, Fig. 61 e Fig. 63);• Grãos de biotita com bordas de alteração incipiente ou sem bordas de alteração (Fig. 62).
Aspectos Negativos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfícies dos grãos de álcali-feldspato e de plagioclásio com clivagem fortemente marcada (Fig. 60), que tende a tornar o grão mineral pouco resistente.• Textura mirmmerquítica (Fig. 63);• Presença de faixas de orientação mineral (Fig. 64), que podem refletir planos de fraqueza nas misturas;• Grãos de biotita se alterando para clorita (Fig. 65), que configura um ponto de alteração, mesmo sendo um ponto isolado de uma das lâminas.

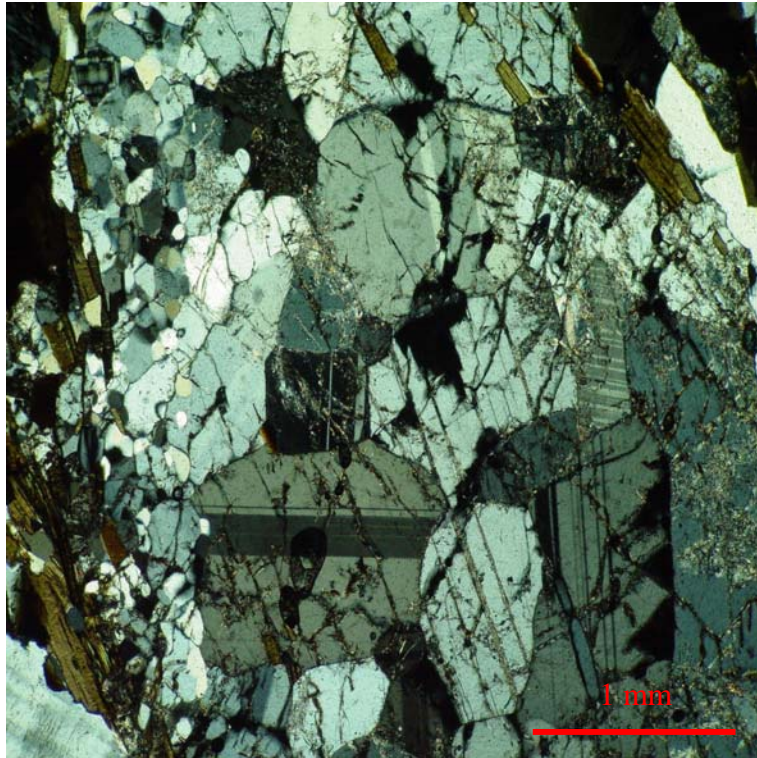


Figura 60: Grãos de feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro e clivagem bem marcada.

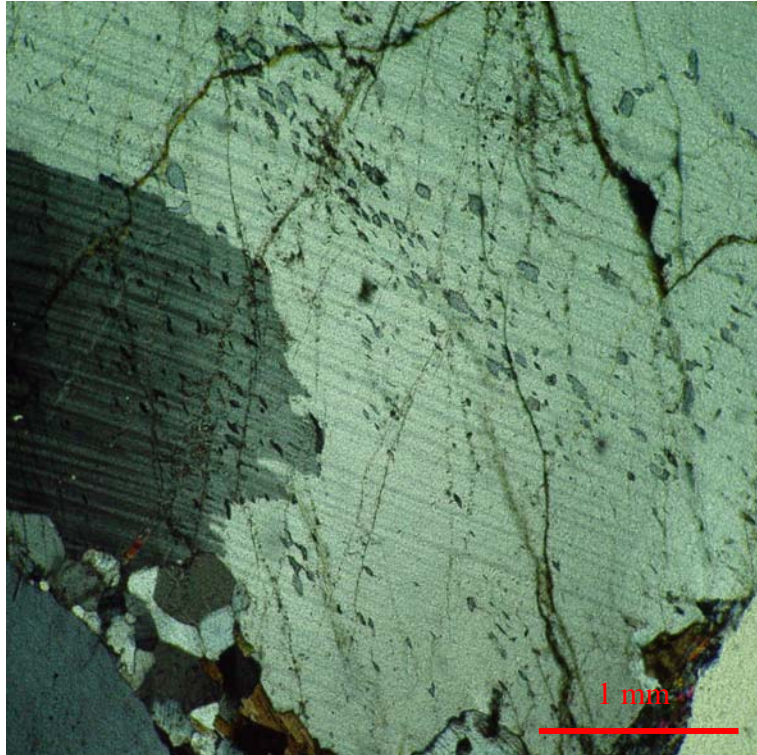


Figura 61: Grãos de plagioclásio microfissurados.

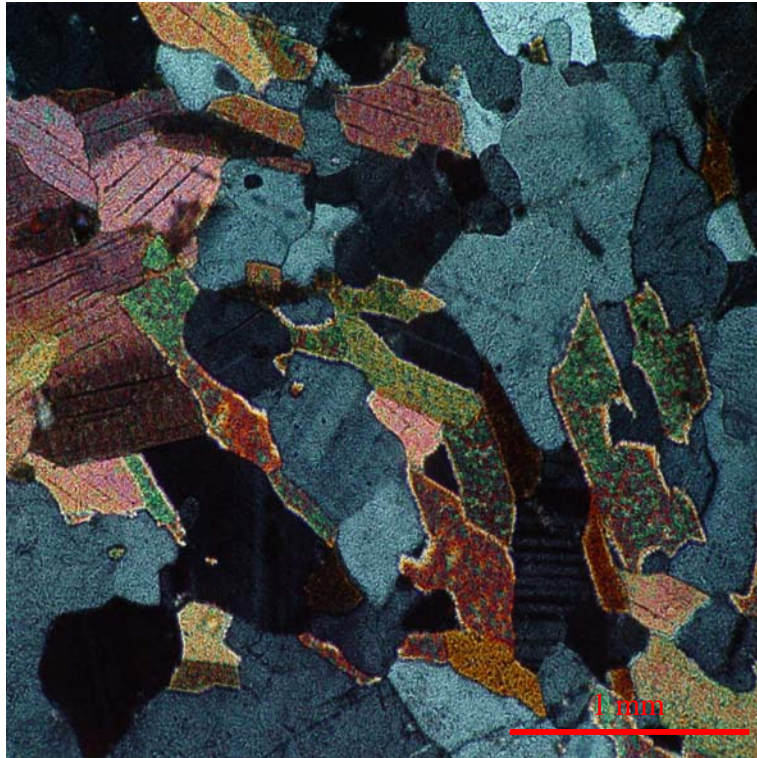


Figura 62: Bordas de alteração inicial nos grãos de biotita.



Figura 63: Textura mirmerquítica e grão de feldspato com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.

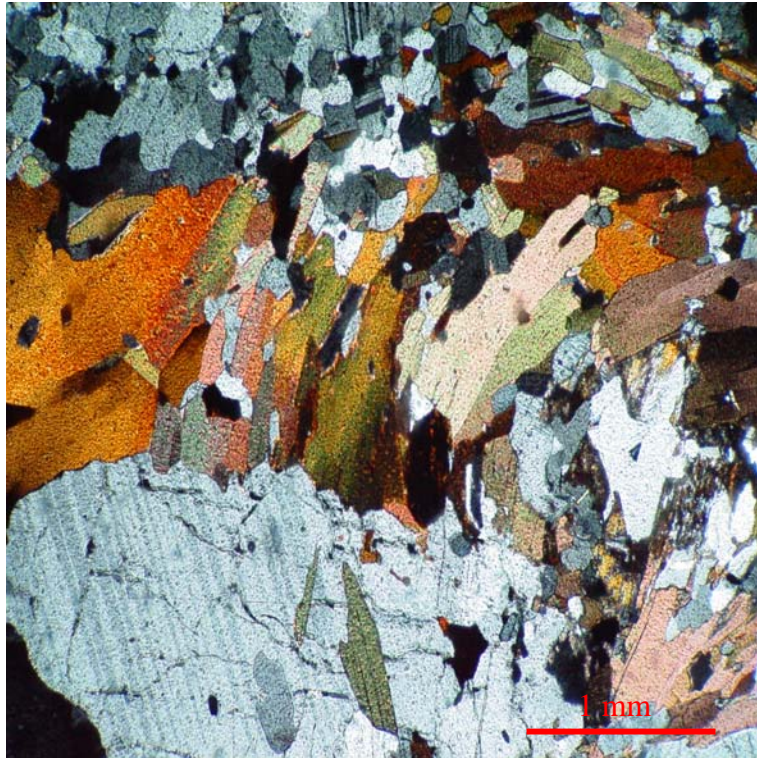


Figura 64: Orientação mineral.

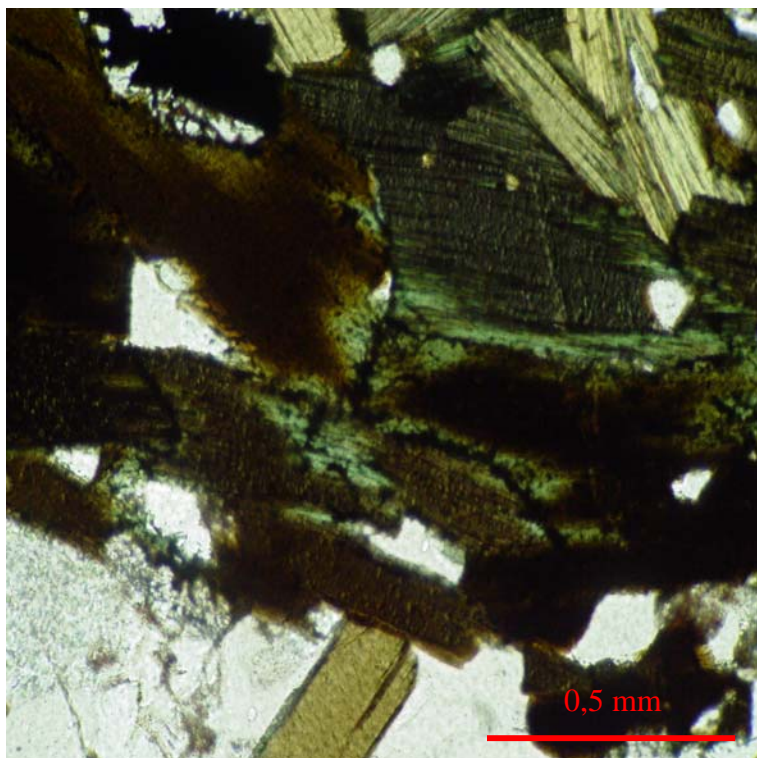


Figura 65: Alteração mineral: biotita se alterando à clorita.

4.1.1.4. Granada-gnaisse

A tabela seguinte (Tab. 8) traz os resultados do ensaio de determinação da composição mineralógica via microscopia petrográfica efetuado na amostra Granada-gnaisse. Logo adiante serão exibidas as imagens obtidas durante esse ensaio.

Tabela 8: Resultados da microscopia da amostra Granada-gnaisse.

Mineralogia Principal	Quartzo (60%), Plagioclásio (21%), Granada (15%), Biotita (3%), Álcali-feldspato (1%) e Mineraias Opacos (1%).
Geral	Grãos minerais, de uma forma geral, completamente são, com suas superfícies íntegras e límpidas, sem microfissuras e sem indícios de alteração, como presença de saussuritas, carbonatos ou sericita. Observa-se apenas uma leve descoloração nas bordas dos grãos de biotita, evidenciando alteração incipiente. As microfissuras dos grãos de granada encontram-se preenchidas por óxido de ferro.
Aspectos Positivos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Superfícies dos grãos de álcali-feldspato e plagioclásio límpidas, sem microfissuras e não-alteradas (Fig. 66);• Grãos de biotita com bordas de alteração incipiente (Fig. 67);• Grãos de granada com microfissuras preenchidas por óxido de ferro (Fig. 68).
Aspectos Negativos para o Uso como Agregado	Ausentes.

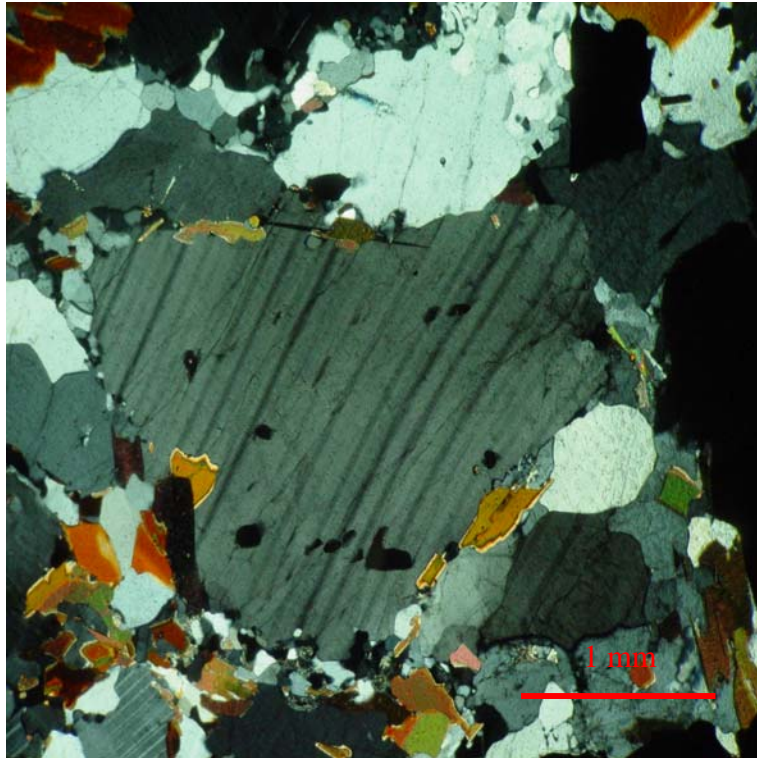


Figura 66: Visão geral da lâmina do Granada-gnaiss.

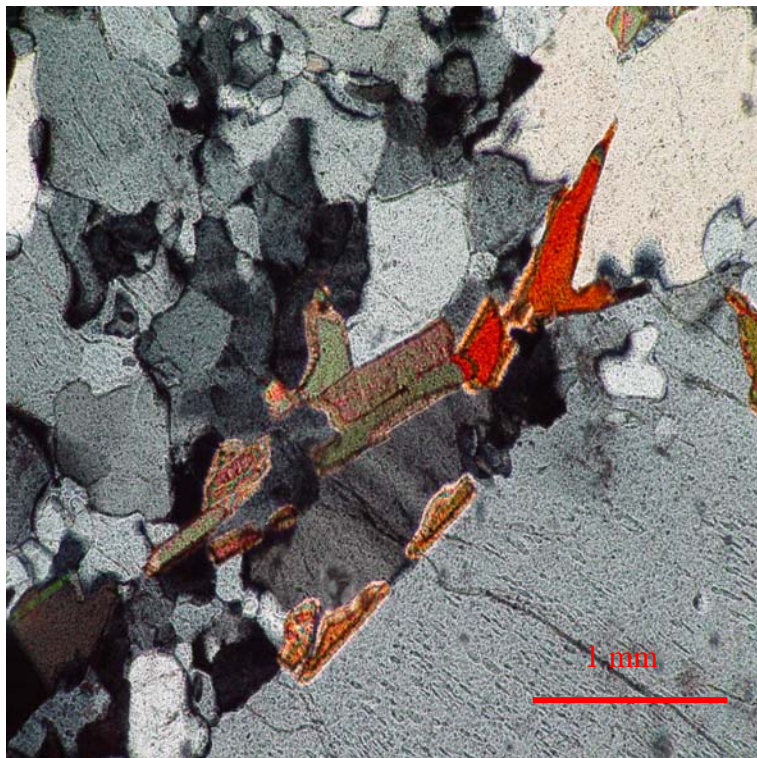


Figura 67: Grãos de biotita com leves bordas de alteração.

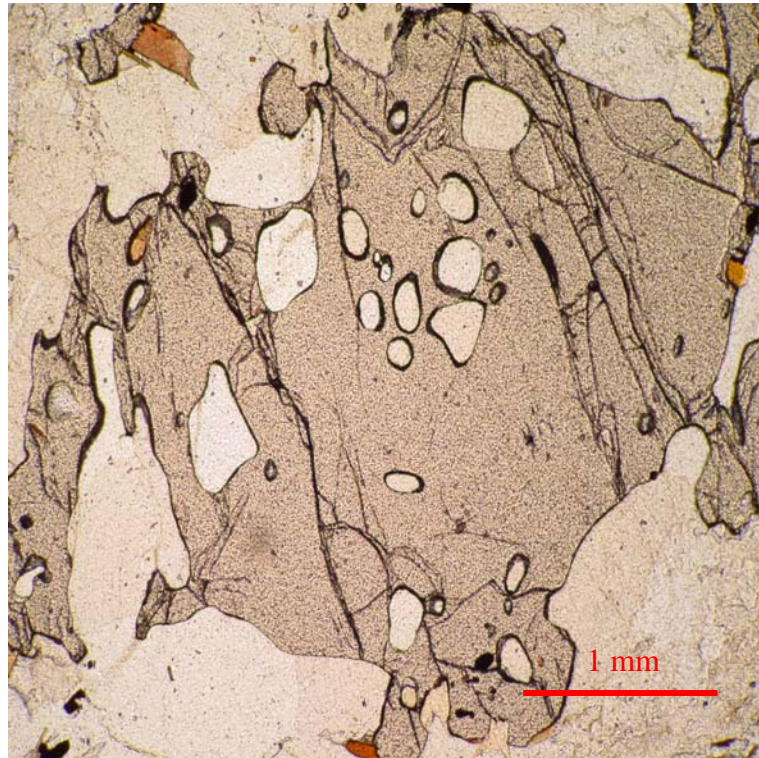


Figura 68: Grãos de granada com microfissuras preenchidas por óxido de ferro.

4.1.1.5. Nefelina-sienito

Os resultados da microscopia petrográfica da amostra Nefelina-sienito são mostrados na tabela abaixo (Tab. 9) e em seguida são exibidas as imagens deste ensaio.

Tabela 9: Resultados da microscopia da amostra Nefelina-sienito.

Mineralogia Principal	Álcali-feldspato (77%), Nefelina (16%), Piroxênio (3%) e Minerais Opacos (4%).
Geral	A rocha é composta por um aglomerado microfanerítico de grãos de feldspatos em textura traquítica, onde estão imersos pórfiros são de feldspato e de nefelina, além de grãos de opacos e grãos alterados de piroxênio.
Aspectos Positivos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Pórfiros de feldspato e de nefelina são em meio a massa microfanerítica muito homogênea dos feldspatos (Fig. 69 e Fig. 70).
Aspectos Negativos para o Uso como Agregado	<ul style="list-style-type: none">• Pórfiros de clinopiroxênio alterados em meio ao aglomerado microfanerítico de feldspatos (Fig. 71 e 72).

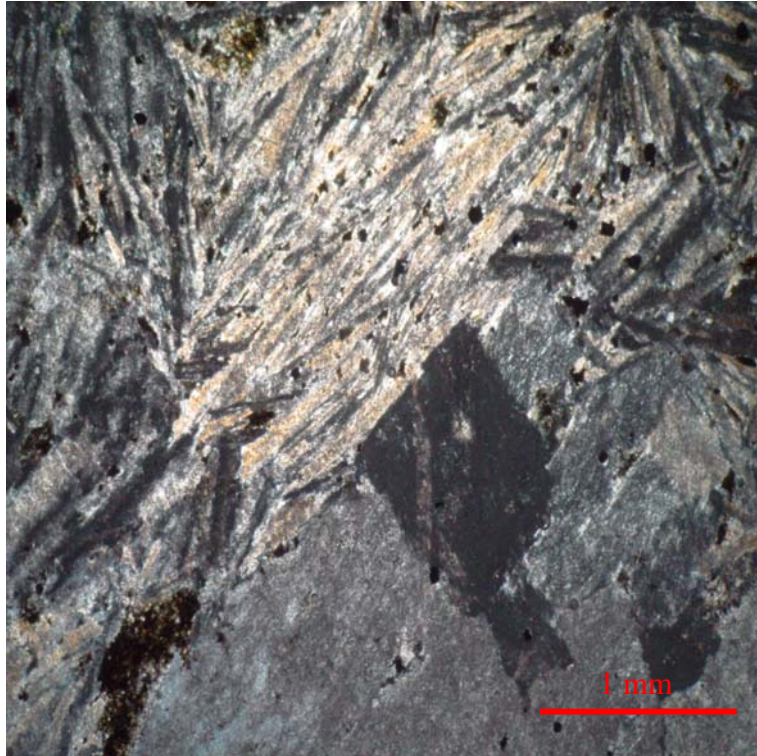


Figura 69: Visão geral da lâmina do Nefelina-sienito.

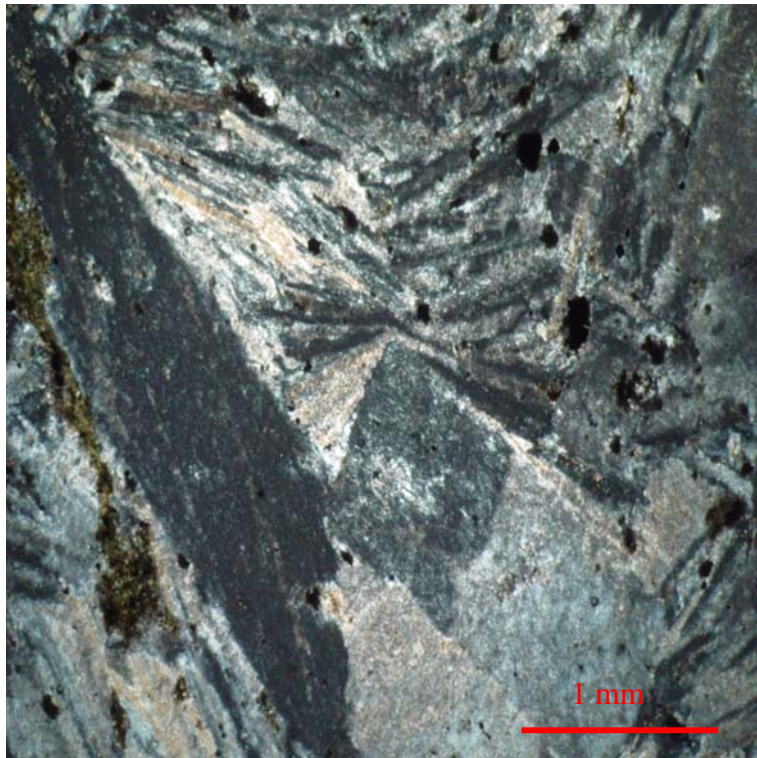


Figura 70: Pórfiros de feldspato e de nefelina em meio a textura traquítica da massa de feldspatos.

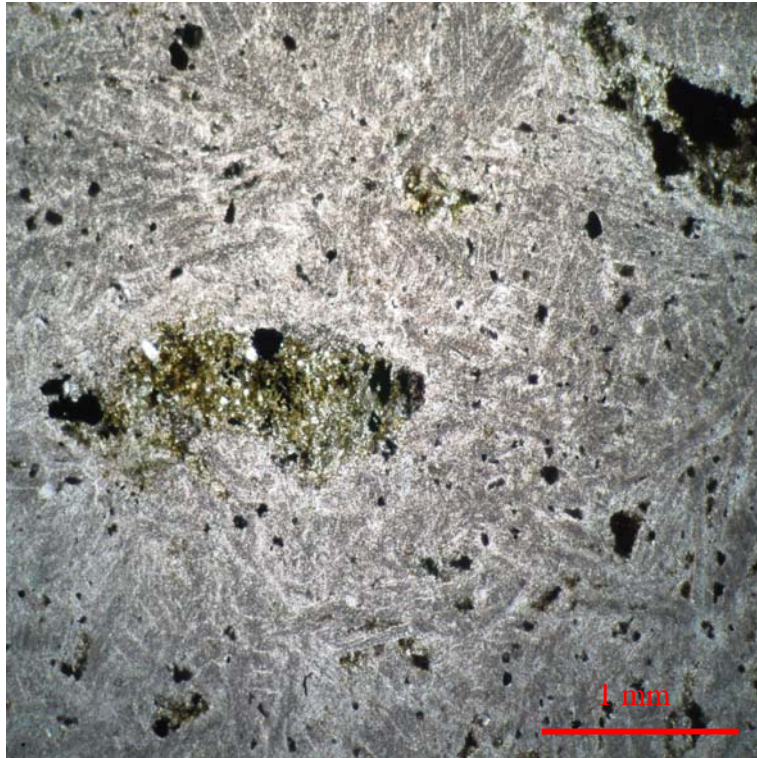


Figura 71: Grãos de piroxênio e opacos em meio a massa de feldspatos.

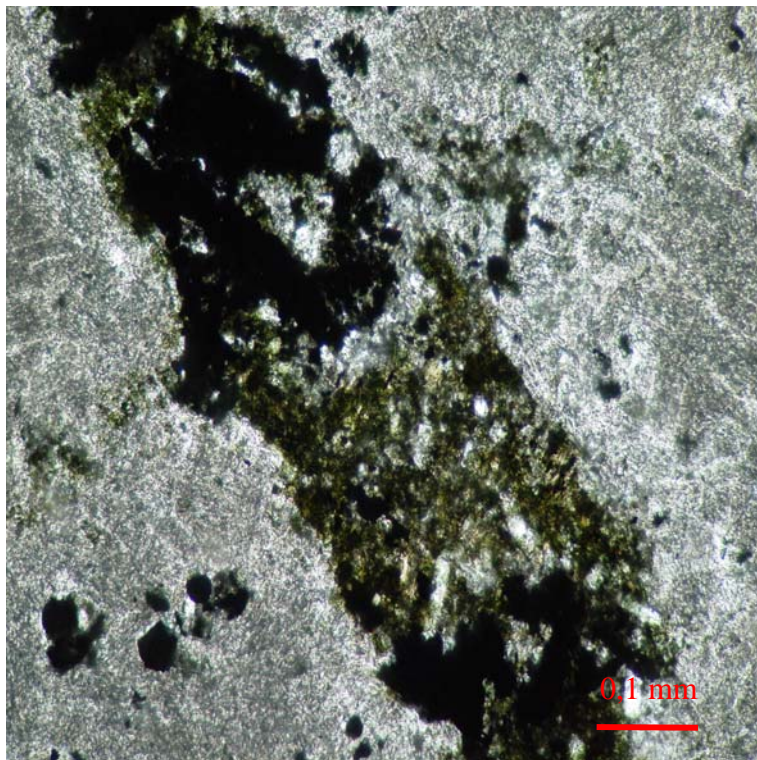


Figura 72: Detalhe de um grão de piroxênio alterado.

4.1.2. Análise Morfológica Via Lupa Binocular

4.1.2.1. Areal 1

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig. 73 e Fig. 74) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Areal 1 como sendo subarredondados a subangulosos e de baixa esfericidade.



Figura 73: Grãos da amostra Areal 1 retidos na peneira #8.

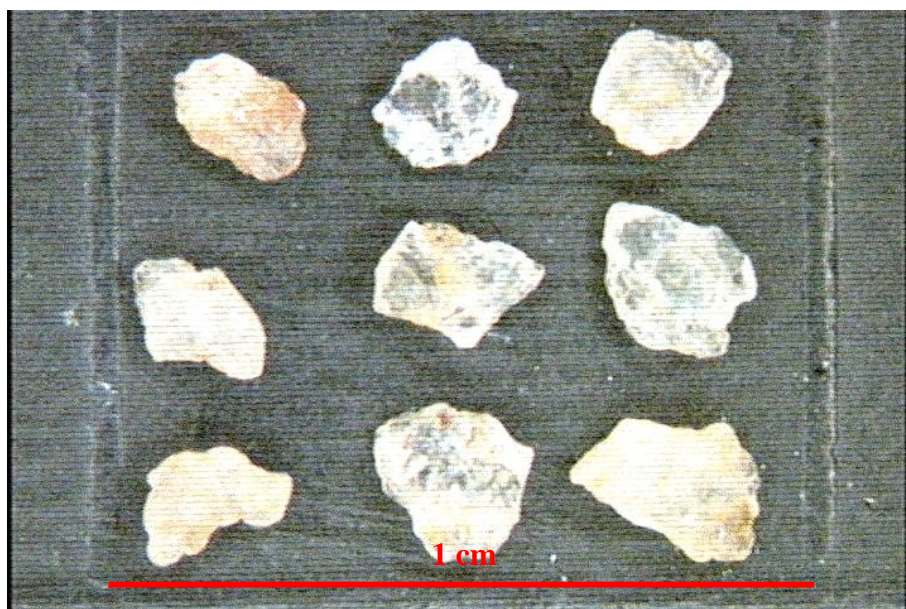


Figura 74: Grãos da amostra Areal 1 retidos na peneira #16.

4.1.2.2. Areal 2

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig. 75 e Fig. 76) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Areal 2 como sendo subangulosos a angulosos e de baixa esfericidade.



Figura 75: Grãos da amostra Areal 2 retidos na peneira #8.



Figura 76: Grãos da amostra Areal 2 retidos na peneira #16.

4.1.2.3. Charnokito

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig. 77 e Fig. 78) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Charnokito como sendo angulosos a muito angulosos e de baixa esfericidade.



Figura 77: Grãos da amostra Charnokito retidos na peneira #8.



Figura 78: Grãos da amostra Charnokito retidos na peneira #16.

4.1.2.4. Gnaiss facoidal 1

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig. 79 e Fig. 80) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Gnaiss facoidal 1 como sendo angulosos a muito angulosos e de esfericidade variando entre alta e baixa.



Figura 79: Grãos da amostra Gnaiss facoidal 1 retidos na peneira #8.



Figura 80: Grãos da amostra Gnaiss facoidal 1 retidos na peneira #16.

4.1.2.5. Gnaiss facoidal 2

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig. 81 e Fig. 82) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Gnaiss facoidal 2 como sendo angulosos e de esfericidade baixa.



Figura 81: Grãos da amostra Gnaiss facoidal 2 retidos na peneira #16.



Figura 82: Grãos da amostra Gnaiss facoidal 2 retidos na peneira #16.

4.1.2.6. Granada-gnaisse

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig 83 e Fig. 84) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Granada-gnaisse como sendo angulosos a muito angulosos e de esfericidade variando entre alta e baixa.



Figura 83: Grãos da amostra Granada-gnaisse retidos na peneira #8.



Figura 84: Grãos da amostra Granada-gnaisse retidos na peneira #16.

4.1.2.7. Granito-gnaiss

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig 85 e Fig. 86) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Granito-gnaiss como sendo angulosos a muito angulosos e de esfericidade baixa.



Figura 85: Grãos da amostra Granito-gnaiss retidos na peneira #8.



Figura 86: Grãos da amostra Granito-gnaiss retidos na peneira #16.

4.1.2.8. Nefelina-sienito

Comparando as imagens obtidas na observação dos grãos em lupa (Fig 87 e Fig. 88) com o padrão estabelecido por Petijohn et al. (1973) (Ver Cap. 3, Fig. 38), classificou-se os grãos da amostra Nefelina-sienito como sendo angulosos e de baixa esfericidade.



Figura 87: Grãos da amostra Nefelina-sienito retidos na peneira #8.



Figura 88: Grãos da amostra Nefelina-sienito retidos na peneira #16.

4.1.3. Análise Mineralógica Via Difração por Raio- X

Como resultado do ensaio de difração por raio-X foram obtidos gráficos que são mostrados no Anexo I. A análise dos ângulos dos picos desses gráficos indicou os minerais presentes na fração argila de cada uma das areias estudadas. Esses minerais são relacionados na tabela abaixo (Tab. 10).

Tabela 10: Mineralogia da fração argila dos agregados estudados.

Agregados	Minerais Identificados na Fração Argila						
	Feldspato	Mica	Quartzo	Caolinita	Mica/ Ilita	Esmectita	Gibbsita
Areal 1		X		X			
Areal 2		X		X	X		X
Charnoquito	X		X	X	X	X	
Gnaiss facoidal 1	X	X		X		X	
Gnaiss facoidal 2	X	X		X		X	
Granada-gnaiss	X	X	X	X	X		
Granito-gnaiss	X	X	X	X	X		
Nefelina-sienito	X		X	X	X	X	

Legenda: X Minerais são X Minerais de alteração

4.2. Ensaio de Caracterização Física dos Materiais

4.2.1. Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados

O gráfico seguinte (Fig. 89) são apresentadas as curvas granulométricas mais representativas dentre todas as curvas obtidas para as areias naturais e para as areias artificiais durante o ensaio de determinação da composição granulométrica da fração entre 2,4 mm e 0,075 mm de todas as areias estudadas (Ver Cap. 3, Item 3.2).

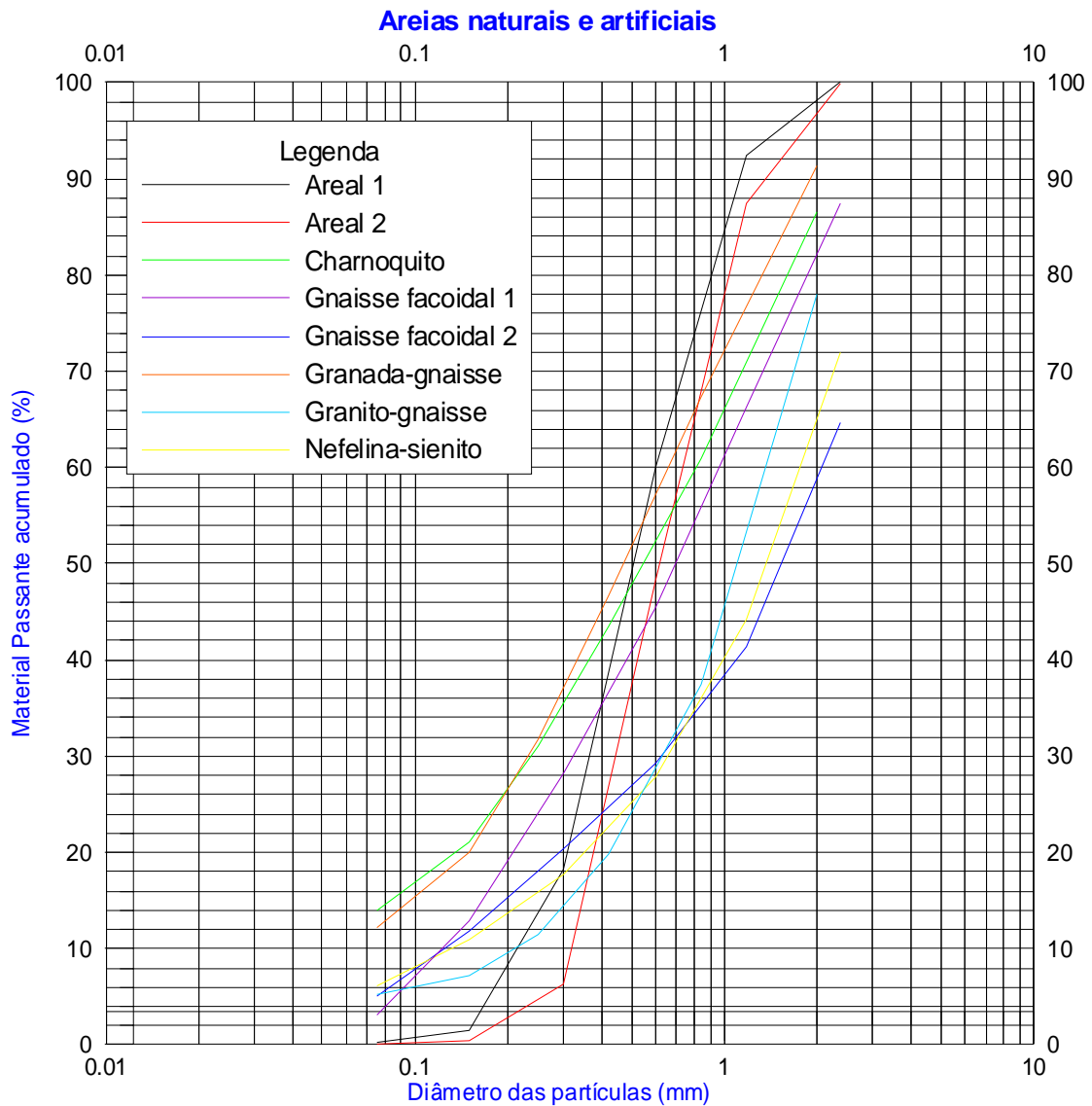
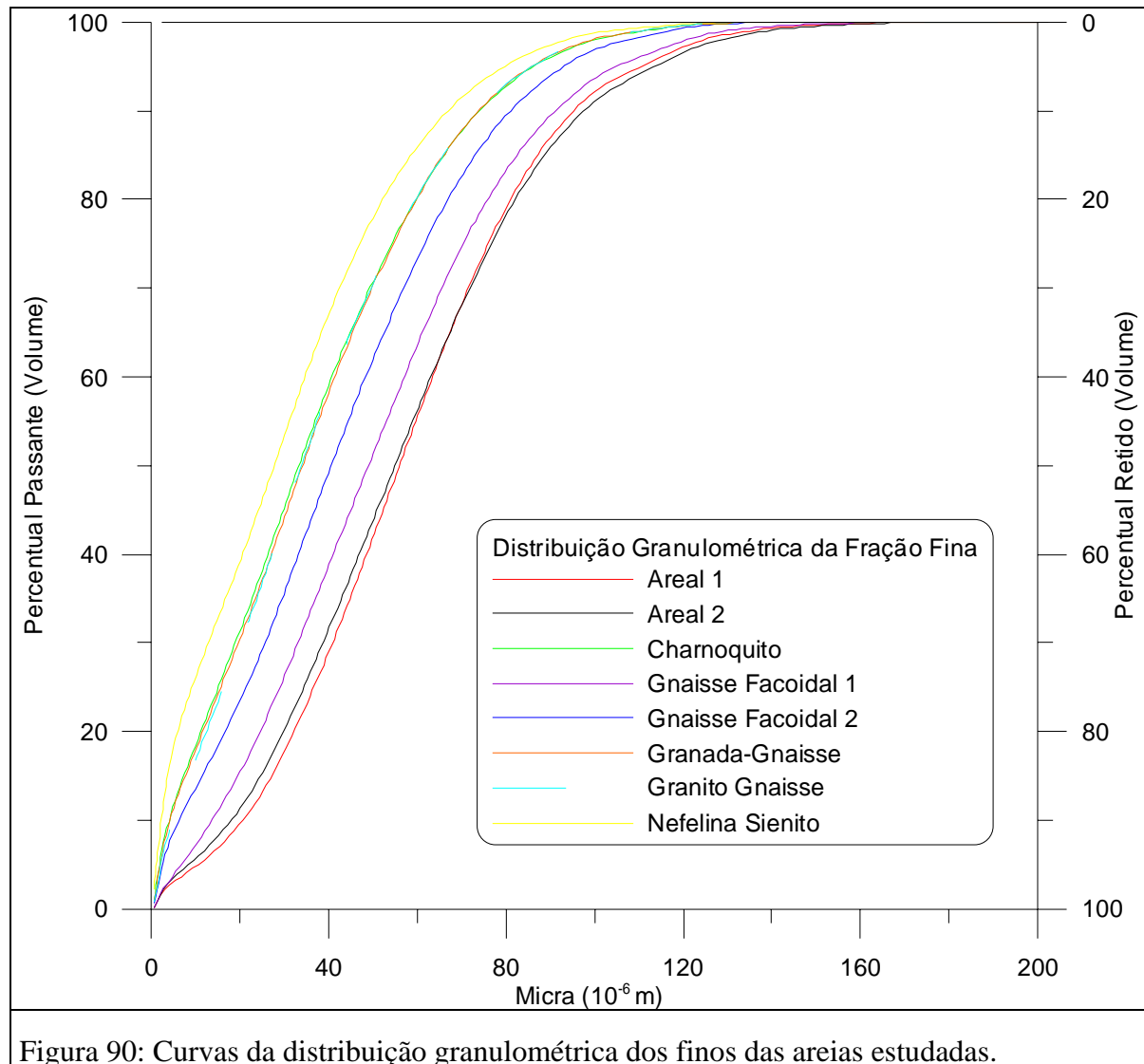


Figura 89: Curvas granulométricas das areias artificiais e naturais.

4.2.2. Análise da Distribuição Granulométrica do Material Pulverulento (Dimensão $\leq 0,075$ mm)

No gráfico mostrado na Figura 90 foram plotadas as curvas granulométricas das porções das areias estudadas que passaram pela peneira com malha de abertura 0,075 mm. Como mencionado no Cap. 3, Item 3.2, essas curvas foram calculadas com base na distribuição dos tamanhos das partículas, obtida pelo método da difração a laser.



É importante notar no gráfico que pelo fato de a precisão de medida dos tamanhos obtida com a difração a laser ser muito maior do que a fornecida pela abertura das malhas das peneiras utilizadas nos ensaios granulométricos convencionais (como o realizado neste trabalho para medir a granulometria da fração entre 2,4 mm e 0,0075 mm das areias), a maior dimensão verificada pelo ensaio que utiliza a difração a laser é maior que 0,075 mm, alcançando valores em torno de 160 micrometros. Isso pode também ser devido a passagem de grãos alongados pela peneira, de modo que o eixo menor destes pode passar pela abertura da peneira, mesmo que seu eixo maior não se enquadre no intervalo separado pela peneira.

4.2.3. Determinação da Massa Unitária dos Agregados em Estado Solto.

Os resultados finais do ensaio de determinação da massa unitária (Ver Cap. 3, Item 3.2) são mostrados na tabela abaixo (Tab. 11). Os resultados parciais podem ser observados no Anexo II.

Tabela 11: Resultados finais para a massa unitária das areias estudadas.

Agregados	Massa Unitária (kg/dm³)
Areal 1	1,50
Areal 2	1,47
Charnoquito	1,68
Gnaisse facoidal 1 com finos	1,50
Gnaisse facoidal 1 sem finos	1,54
Gnaisse facoidal 2	1,59
Granada-gnaisse	1,75
Granito-gnaisse	1,62
Nefelina-sienito	1,67

4.3. Verificação do desempenho das argamassas

4.3.1. Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência das Argamassas

Os resultados parciais de cada etapa do processo de preparo das argamassas, bem como os resultados do processo de determinação do índice de consistência das mesmas, podem ser observados no Anexo II desta monografia.

Ainda assim, para uma maior compreensão esclarecimento, os resultados finais obtidos para o traço final utilizado na moldagem dos corpos de prova de cada uma das argamassas e seus índices de consistência são mostrados na tabela abaixo (Tab. 12).

Tabela 12: Traços finais e índices de consistência das argamassas.

Agregados	Traço Final (cimento : areia : água) (g)	Índice de Consistência (mm)
Areal 1	150,10 : 1349,90 : 525	25,20
Areal 2	152,41 : 1347,58 : 465	25,30
Charnoquito	135,09 : 1364,91 : 270	24,73
Gnaisse facoidal 1 com finos	150,15 : 1349,85 : 345	24,20
Gnaisse facoidal 1 sem finos	146,90 : 1353,10 : 330	25,90
Gnaisse facoidal 2	142,00 : 1358,00 : 255	25,77
Granada-gnaisse	130,32 : 1369,68 : 240	25,70
Granito-gnaisse	140,21 : 1359,80 : 270	24,23
Nefelina-sienito	136,28 : 1363,73 : 345	25,10

4.3.2. Determinação da Resistência a Compressão Simples das Argamassas

Foram obtidos os valores de resistência a compressão simples de todos os corpos de prova confeccionados, conforme citado no Cap. 3, Item 3.3, através da observação do valor máximo das curvas de tensão versus deformação obtidas neste ensaio para todas as argamassas estudadas (Anexo III).

Para efetuar comparações, a tabela abaixo (Tab. 13) mostra os valores de resistência médios apresentadas pelas argamassas, após 7, 14 e 28 dias, ou seja, para cada argamassa foi efetuada a média dos valores de resistência obtidos para cada um dos 4 corpos de prova de cada idade. Os resultados de todos os 108 corpos de prova são mostrados no Anexo IV.

Tabela 13: Valores de tensão de ruptura das argamassas.

Agregados	Tensão de ruptura média (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Areal 1	0,2	0,2	0,4
Areal 2	0,3	0,4	0,4
Charnoquito	2,8	3,9	4,7
Gnaisse facoidal 1 com finos	1,6	1,9	2,9
Gnaisse facoidal 1 sem finos	1	1,3	2,1
Gnaisse facoidal 2	2,3	3,2	4,3
Granada-gnaisse	2,7	3,5	4,3
Granito-gnaisse	2,3	3,6	4,2
Nefelina-sienito	1,4	2,1	3,0

A fim de facilitar a visualização do comportamento de cada uma das argamassas com o aumento da idade de cura, mostra-se o gráfico abaixo (Fig. 91).

Valores de ruptura médios para 7, 14 e 28 dias

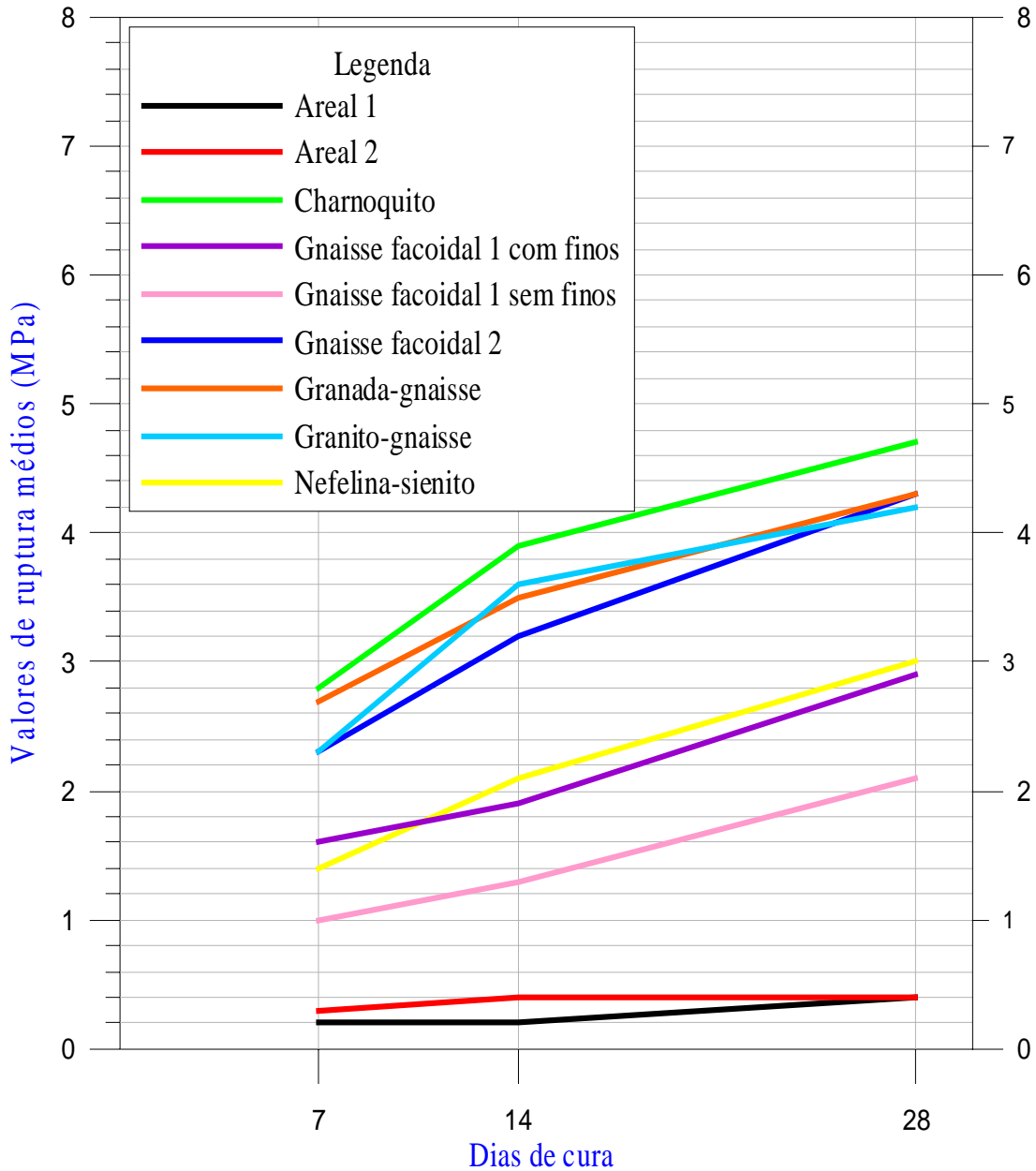


Figura 91: Valores médios de tensão de ruptura das argamassas quando submetidas à compressão simples, obtidos para todas os agregados, aos 7, 14 e 28 dias.

Após os ensaios, os corpos de prova rompidos com 28 dias de cura foram remontados (Fig. 92) para que se pudesse ter uma idéia do efeito da aplicação de tensão sobre a argamassa.

Areal 1



Areal 2



Charnoquito



Gnaiss facoidal 1 com finos



Gnaiss facoidal 1 sem finos



Gnaiss facoidal 2



Granada-gnaiss



Granito-gnaiss



Nefelina-sienito

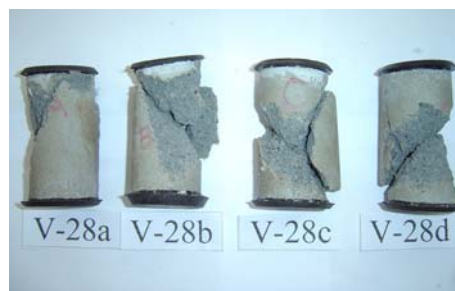


Figura 92: Corpos de prova remontados após a aplicação de tensão.

4.3.3. Determinação do Módulo de Deformabilidade das Argamassas

De acordo com os procedimentos citados Cap. 3, Item 3.3 foram analisadas as curvas de tensão versus deformação obtidas (Anexo V), e a partir daí foram calculados os módulos de deformabilidade de todas as argamassas estudadas (Anexo VI).

Com esses resultados pode-se então tomar a média dos módulos por idade para cada uma das argamassas e construir, com esses valores, a tabela abaixo (Tab. 14).

Tabela 14: Módulos de deformabilidade das argamassas.

Agregados	Módulos de Deformabilidade (%)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Areal 1	2,39	35,63	93,13
Areal 2	8,91	99,17	57,53
Charnoquito	213,33	762,50	873,75
Gnaisse facoidal 1 com finos	404,17	200,01	444,17
Gnaisse facoidal 1 sem finos	51,56	63,50	394,00
Gnaisse facoidal 2	170,83	225,00	837,50
Granada-gnaisse	807,50	822,50	795,00
Granito-gnaisse	647,50	1000,00	732,50
Nefelina-sienito	121,36	538,33	595,42

O gráfico abaixo (Fig. 93) foi construído para possibilitar um melhor entendimento do comportamento de cada uma das argamassas com o aumento da idade de cura, quanto a seus módulos de deformabilidade.

Valores médios para os módulos de deformabilidade

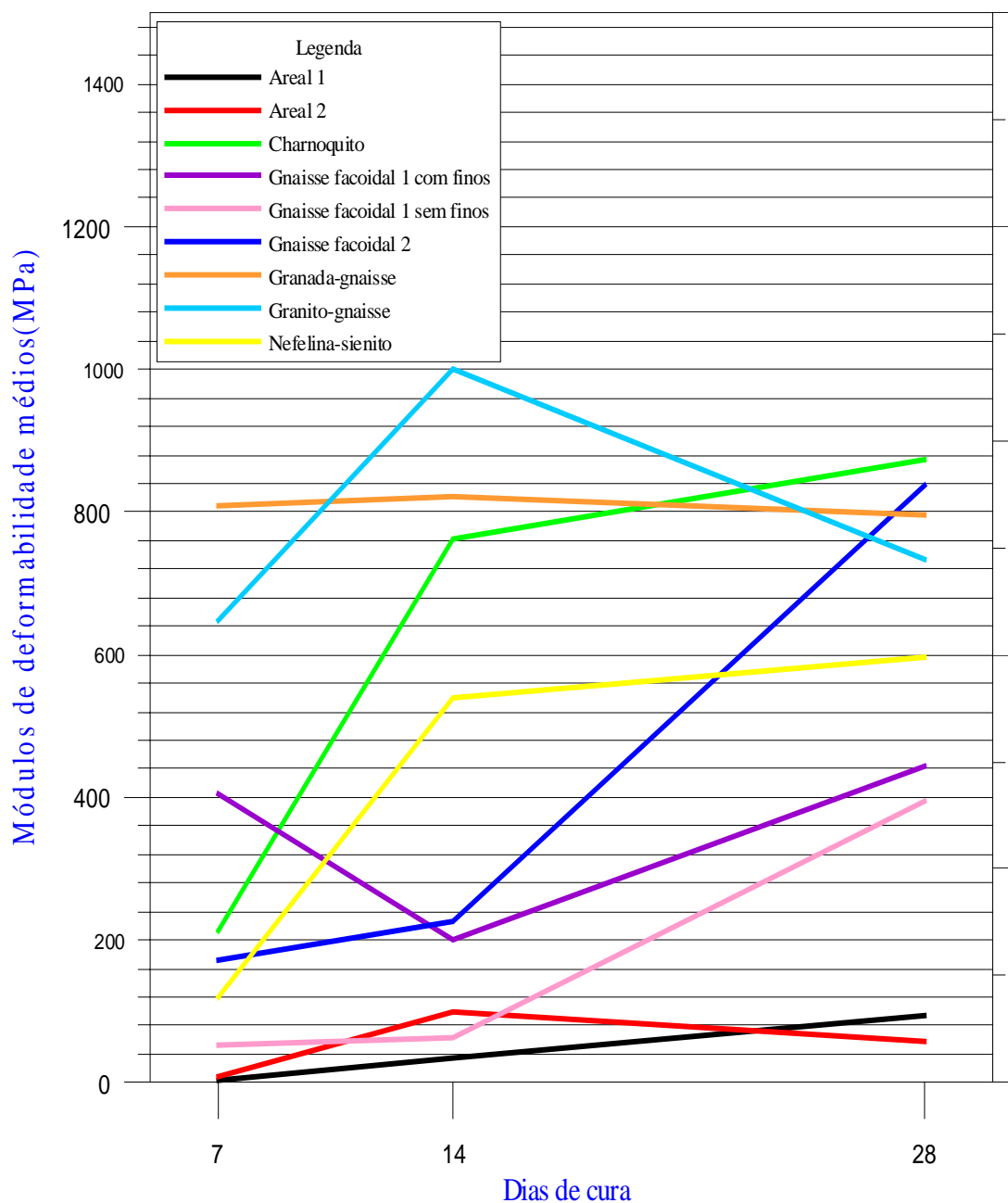


Figura 93: Valores médios dos módulos de deformabilidade das argamassas, simples, obtidos para todos os agregados, aos 7, 14 e 28 dias.

5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Interpretando-se os resultados obtidos em todas as etapas (Ver Cap. 4), pode-se fazer uma avaliação do potencial técnico de todas as areias naturais e artificiais estudadas. Essa avaliação foi fundamentada em alguns aspectos, que serão detalhados adiante, considerados de grande relevância ao presente estudo.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Microscopia Petrográfica

A análise petrográfica (Cap. 4, Item 4.1.1), efetuada nas rochas escolhidas para esse estudo, mostrou que a amostra Granada-gnaisse encontra-se completamente sã, não apresentando nenhum mineral em estado de alteração avançada, que possa ser considerado preocupante.

Ao contrário, as amostras Gnaisse facoidal 1, Gnaisse facoidal 2 e Nefelina-sienito apresentaram na microscopia petrográfica alguns grãos minerais em um estágio mais avançado de alteração, com presença de cloritas, saussuritas, carbonatos e/ou sericita, em alguns casos preenchendo microfissuras, que configuram pontos ou planos de fraqueza mineral que podem futuramente ocasionar a deterioração da mistura.

Além dessas alterações, os grãos minerais observados na microscopia da amostra Gnaisse facoidal 2 encontram-se fortemente clivados e microfissurados, o que pode tornar o agregado e por consequência a argamassa menos resistente à aplicação de esforços. Esse fato pode ser comprovado durante a execução dos ensaios de determinação da composição granulométrica e da massa unitária dos agregados para essa amostra, visto que durante esses ensaios foi observado que o choque entre os grãos causava a quebra de minúsculos pedaços dos grãos (geralmente as pontas), produzindo uma quantidade razoável de material fino (na maioria das vezes tão fino que se dispersava no ar).

Apesar de não ter sido realizada a microscopia petrográfica da amostra Granito-gnaisse, a observação macroscópica dos grãos indicou que esta se encontra sã, e com grãos resistentes aos processos mecânicos dos ensaios acima mencionados, visto que o fenômeno da quebra não foi observado.

Um fato deve ser destacado dentre os resultados da microscopia: a estimativa da quantidade de mica presente em cada uma das amostras. Segundo Smith & Collis (1993), a mica é considerada um material deletério às argamassas porque elas provocam um incremento na absorção de água, o que torna necessária a colocação de uma quantidade maior de água na mistura. Isso porque além de hidratar o cimento, a água têm a finalidade de lubrificar todas as partículas da mistura (cimento e agregado miúdo). Essa água usada na lubrificação evapora deixando espaços vazios na mistura. Por esse motivo e por diluir a pasta de cimento, a colocação de grandes quantidades de água enfraquece a argamassa. E mais, micas geralmente to flake, e se isso ocorre durante a mistura dos materiais pode criar superfícies que não serão envolvidas com a pasta de cimento. Para corrigir esse problema faz-se necessária, então, uma maior quantidade de pasta de cimento, tornando a argamassa mais cara.

No contexto citado acima, verifica-se que as amostras Gnaisse facoidal 1 e Gnaisse facoidal 2 têm uma grande quantidade de biotita (acima de 10%), enquanto que as amostras Granada-gnaisse, Charnoquito e Nefelina-sienito têm uma quantidade de biotita menor que 3% do total, segundo as respectivas composições modais.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Observação dos Grãos em Lupa

Na avaliação em lupa (Cap. 4, Item 4.1.2), observou-se que os grãos das areias naturais são um pouco mais arredondados, em comparação aos grãos das areias artificiais, que se mostram angulosos. Quanto a esfericidade, todas as amostras apresentam grãos pouco esféricos, com exceção das amostras Gnaiss facoidal 1 e Granada-gnaiss, que apresentam uma quantidade razoável de grãos que foram classificados como esféricos. Nesse caso, percebeu-se que o fato está relacionado às características minerais e ao processo de extração ou desmonte da rocha.

Como foi mencionado no Cap. 3, Item 3.2, a forma dos grãos influi na trabalhabilidade e na resistência da argamassa, de modo que uma grande proporção de partículas angulosas torna necessária uma maior quantidade de água necessária para a lubrificação dos grãos, que culmina no aumento na quantidade de poros na argamassa. Foi dito também, no mesmo capítulo, que grãos equidimensionais (ou tendendo a equidimensionais) proporcionam um aumento da trabalhabilidade, enquanto que grãos alongados a diminuem.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Difração por Raio-X

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de difração por raio-X efetuado na fração argila de todas as areias estudadas (Cap. 4, Item 4.1.3 ou Anexo I), todas elas apresentam caulinita em sua composição, que é um argilomineral resultante da hidrólise parcial dos feldspatos potássicos (Teixeira et al., 2000). Esse fato não é preocupante porque sabe-se que a caulinita geralmente não implica em problemas para a argamassa. Por outro, a illita (alteração mineral devido a hidratação das micas) encontrada nas amostras Areal 2, Charnoquito, Granada-gnaiss, Granito-gnaiss e Nefelina-sienito pode causar problemas de orientação e também de expansibilidade, assim como a esmectita, que é um argilomineral mais expansivo que a illita (que por sua vez é mais expansiva que a caulinita) e também resultante da hidrólise parcial dos feldspatos potássicos (Teixeira et al., 2000) e que foi identificada nas amostras Charnoquito, Gnaiss facoidal 1, Gnaiss facoidal 2 e Nefelina-sienito.

O fato de as argamassas estudadas conterem minerais expansivos pode restringir o uso das mesmas em ambientes externos, devido às constantes mudanças térmicas e de saturação, que podem acarretar fraturas na argamassa, enfraquecendo-a.

Na difração, também foi identificada a presença de gibbsita, um hidróxido de alumínio resultante da hidrólise total do K-feldspato, que ocorre em condições de alta pluviosidade e drenagem eficiente dos perfis de alteração da rocha (ou solo) (Teixeira et al., 2000). A gibbsita, que foi encontrada na amostra Areal 2, não interfere nas propriedades da argamassa.

Embora tenham sido detectadas essas quatro variedades de minerais de alteração, há que se considerar que a difração de raio-X apenas qualifica esses minerais, ou em outras palavras, ela não fornece informações sobre a quantidade ou proporção de cada um deles nas lâminas analisadas. Dessa forma, tem-se idéia do tipo de processo intempérico que a rocha-fonte sofreu, mas não se sabe o quanto ela foi afetada por esses. Da mesma forma, têm-se noção de que tipo de problema a argamassas produzidas com esses agregados pode enfrentar, porém sem se assegurar o grau em que ela será atingida por eles, ou mesmo se realmente ela um dia será por eles atingida.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Granulometria das Areias

Observando-se as curvas granulométricas (Cap. 4, Item 4.2.1), verifica-se que as areias naturais apresentam uma distribuição granulométrica mais uniforme, ou seja são mais selecionadas, enquanto que as areias de britagem de rocha apresentam melhor distribuição granulométrica, ou seja, são bem graduadas ou mal selecionadas, com quantidades mais equilibradas de materiais presentes em todas as peneiras analisadas.

Conforme mencionado no Cap. 3, Item 3.2., uma melhor distribuição dos tamanhos das partículas garante o melhor preenchimento dos espaços vazios de uma mistura, diminuindo a quantidade de cimento que seria adicionada, em comparação a materiais com uma distribuição granulométrica irregular, além de diminuir a segregação dos materiais e aumentar a resistência à compressão.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Granulometria dos Finos Presentes nas Areias

A distribuição granulométrica das partículas tamanho silte também têm efeito na trabalhabilidade de uma mistura de argamassa da mesma forma que a das areias (Smith & Collis, 1993).

A presença de partículas finas (silte e argila) tem o efeito de tornar a mistura da argamassa mais trabalhável e também provê uma maior facilidade no momento do acabamento fino (McIntosh, 1970). Contudo, silte e argila em excesso podem reduzir a consistência e assim a trabalhabilidade.

Pode-se observar nos resultados desse ensaio que as distribuições das areias fluviais, Areal 1 e Areal 2, são muito semelhantes entre si. Esse fato pode ser explicado pelo fato de os areais de onde elas são provenientes estão localizados no mesmo rio, muito próximos um do outro, tendo sido, assim, geradas provavelmente pelo mesmos processos sedimentares.

A semelhança entre curvas também ocorre entre as amostras Charnoquito, Granada-gnaisse e Granito-gnaisse, e pode ser reflexo de uma certa semelhança textural entre as amostras, talvez devida ao fato de que elas são oriundas da mesma região (arredores do município de Campos dos Goytacazes) e, como pode ser verificado nos resultados da microscopia petrográfica, elas realmente apresentam características texturais semelhantes, como por exemplo, fraco grau de orientação ou bandamento mineral.

Também poderia-se tentar associar essa semelhança nas distribuições aos processos produtivos de cada uma das pedreiras que produzem as referidas amostras. Mas nesse caso, de acordo com as informações fornecidas pelas pedreiras, apenas as pedreiras das amostras Granada-gnaisse e Granito-gnaisse utilizam os mesmos tipos de britadores, do tipo cônico, enquanto que a da amostra Charnoquito utiliza britadores do tipo mandíbula. Ainda nesse aspecto, as plantas de beneficiamento das amostras Charnoquito e Granito-gnaisse utilizam peneiramento a seco, e a pedreira da amostra Granada-gnaisse utiliza peneiramento a úmido. Ou seja, aparentemente os processos não coincidem completamente.

De qualquer forma, a semelhança mostra-se útil aqui para avaliar o papel da fração fina, ou seja, mantendo-se a mesma distribuição granulométrica, de que forma diferentes quantidades (percentuais) dessa fração fina vão influenciar nas propriedades da argamassa.

Nesse sentido, observando-se o gráfico de distribuição granulométrica das frações maiores, constata-se que dentre essas três amostras, as amostras Charnoquito e Granada-gnaisse têm 14 % e 12% de material passante acumulado na peneira de abertura 0,075 mm, respectivamente, enquanto que a amostra Granito-gnaisse tem apenas 6%. Observando-se agora os traços obtidos para essas amostras, vê-se que a amostra Granada-gnaisse propiciou

uma maior economia de cimento, seguida de perto pela amostra Charnoquito; a amostra Granito-gnaissé aparece só depois da amostra Nefelina-sienito. Pode-se dizer que nesse caso, a maior quantidade de finos das amostras Charnoquito e Granada-gnaissé contribuiu positivamente.

Quanto aos valores de resistência à compressão, interpreta-se também que o maior percentual de finos deve ter influenciado de forma positiva, visto que as amostras Charnoquito e Granada-gnaissé obtiveram valores de resistência maiores que os da amostra Granito-gnaissé.

Devido ao fato de não se ter uma quantificação de cada um dos minerais de alteração identificados nas amostras, fica difícil analisar a influência desses minerais de alteração sobre os valores de resistência alcançados. Mas não há como deixar de observar que, curiosamente, a amostra que apresentou o maior índice de alteração das três mencionadas acima (a amostra Charnoquito) foi a que obteve o maior valor de resistência.

- Aspectos Relevantes dos Resultados da Compressão Simples

A resistência à compressão média aos 28 dias (Ver Cap. 4, Item 4.3.2. ou Anexo IV) para as argamassas confeccionadas com as areias naturais foi de apenas 0,4 MPa, enquanto que todas as argamassas confeccionadas com areias da britagem de rochas ultrapassaram o valor de 2,0 MPa. Dentre essas últimas, a mistura preparada com a amostra Charnoquito foi a que obteve maior valor de resistência (4,7 MPa), seguida de perto pelas por aquelas preparadas com as amostras Gnaissé facoidal 2 e Granada-gnaissé (4,3 MPa cada uma delas) e pela confeccionada com a Granito-gnaissé (4,2 MPa). As argamassas preparadas com as amostras Gnaissé facoidal 1 com finos, Gnaissé facoidal 1 sem finos e Nefelina-sienito não alcançaram bom desempenho, atingindo respectivamente 2,9 MPa, 2,1 MPa e 3,0 MPa.

Observando-se os dois resultados da amostra Gnaissé facoidal 1, nota-se a influência do material menor que 0,075 mm sobre seu valor de resistência. Neste caso, entende-se que os finos (material pulverulento) quando presentes agem como ligantes dos componentes, propiciando uma maior coesividade da mistura, tendo como consequência um aumento na resistência. A ausência de materiais finos, verificada em uma das argamassas do Gnaissé facoidal 1 e também nas das amostras de areias naturais, ocasiona um enfraquecimento da mistura, diminuindo sua resistência.

As amostras com as maiores quantidades de partículas finas (Charnoquito, Gnaissé facoidal 2 e Granada-gnaissé) apresentaram os maiores valores de resistência.

A amostra Gnaissé facoidal 1, que continha uma grande quantidade de biotita apresentou baixos valores de resistência.

Foi possível também observar que de uma forma geral, as amostras com melhores distribuições granulométricas apresentaram melhores valores de resistência.

A efeito de classificação, os valores de resistência à compressão atingidos pelas argamassas das amostras Charnoquito, Gnaissé facoidal 2, Granada-gnaissé e Granito-gnaissé se enquadram na identificação "II" para resistência à compressão aos 28 dias, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001), podendo ser usadas tanto para revestimento interno como externo. Já as argamassas das amostras Gnaissé facoidal 1 com finos, Gnaissé facoidal 1 sem finos, Nefelina-sienito e as preparadas com areias naturais Areal 1 e Areal 2 são enquadradas na identificação "I", só podendo ser usadas em revestimento interno.

Vale salientar que, o fato de não ter sido utilizado cal nas argamassas fez com que elas não alcançassem valores maiores de resistência. Nesse sentido também atuou o tipo de cimento escolhido, visto que o cimento utilizado (Cimento Portland composto, com adição de escória de alto forno) demora um pouco a iniciara as suas reações, por necessitar da instalação

de um meio básico (que ocorre naturalmente na mistura, com o tempo), fato que pode não ter ocorrido no período de 28 dias em que os corpos de prova curaram.

De qualquer modo, as tensões de ruptura das areias naturais aos 28 dias, tiveram valores muito inferiores aos das areias de britagem, tornando clara a superioridade da resistência à compressão da argamassa preparada com areia resultante da britagem de rocha.

- Aspectos Relevantes dos Resultados dos Módulos de Deformabilidade

Com os resultados dessa análise (Ver Cap. 4, Item 4.3.3 ou Anexo IV) pode-se verificar que, de uma forma geral as argamassas se comportaram de forma diretamente proporcional ao seu desempenho na compressão simples. Observou-se que, para as mesmas condições de confinamento (no caso, sem confinamento lateral), o aumento da idade de cura provoca o aumento dos módulos de deformabilidade, ou seja, a argamassa se torna menos deformável, necessitando da aplicação de uma carga maior para se obter uma mesma deformação.

6. CONCLUSÕES

Objetivamente, em comparação às argamassas produzidas com areias naturais, as argamassas preparadas com areia oriunda da britagem de rochas destacam-se principalmente por apresentarem as seguintes características:

- 1) boa distribuição granulométrica o que permite melhor preenchimento de vazios deixados por grãos maiores e elaboração de argamassas com menores quantidades de cimento, proporcionando diminuição nos custos da obra;
- 2) boa quantidade de finos (material menor que 0,075 mm), que provavelmente é um dos fatores responsáveis pela boa trabalhabilidade das argamassas, economia em cimento e aumento da coesividade, influenciando também nos valores de resistência;
- 3) os valores de resistência à compressão simples foram relativamente altos quando comparados aos valores de resistência das areias de rio.

Quanto às diferenças entre os litotipos estudados, concluiu-se que todas as características, como composição mineralógica e estado de alteração física e química, influem diretamente no desempenho das argamassas confeccionadas com os agregados derivados desses litotipos.

Por fim, analisando todo o conjunto aqui exposto, entendeu-se que os resultados do ensaio de resistência à compressão simples sofrem influência de várias características dos agregados, como forma, granulometria, composição mineralógica, quantidade de material fino e etc. Saber o quanto cada um deles influencia é muito importante e, sem dúvidas, revela ser um tema que merece ser mais pesquisado e amplamente discutido. Além disso, embora não tenha sido investigada a fundo no presente trabalho, as características geológicas e estruturais do maciço e da frente de lavra, incluindo homogeneidade e grau de fraturamento, se mostraram bastante relevantes, merecendo ser melhor estudadas.

Terminadas as análises, pode-se concluir que todas as areias artificiais estudadas neste projeto poderão ser consideradas aptas ao uso como agregado miúdo a ser utilizado no preparo de argamassas desde que sejam observadas as prováveis limitações, como aquelas devidas a presença de argilominerais expansivos. Outro aspecto que não foi investigado foi a possibilidade de essas amostras serem reativas aos álcalis do cimento. Nesse sentido, para uma maior confiabilidade do desempenho em longo prazo das argamassas, faz-se indispensável a execução de um ensaio de reatividade potencial álcali-agregado.

Assim sendo, tem-se a esperança de ter com este trabalho contribuído à redução da quantidade de rejeitos da mineração de rochas para a construção civil, e oferecido à sociedade mais uma opção de material que, ao mesmo tempo, fornece qualidade e diminui danos presentes ou futuros ao meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1982) NBR 7251. Agregados em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) NBR 13279. Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro.

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2002) NBR 13276. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor e água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro.

Barroso, J. A, Barroso, E. v., Ramalho, R. S., Ferreira, S. A (2003) Algumas Considerações sobre o Potencial Geológico de Campos dos Goytacazes - RJ para a Produção de Pedras Ornamentais. Solos e Rochas, 26, (3): 275-286.

British Standards Institution (1992) BS 882 - Specification for Aggregates from Natural Sources for Concrete. Pettijohn, F. 1., Potter, P. E. e Siever, R. (1973) Sand and Sandstone. Springer, Berlin.

CPRM (2001) Geologia do Estado do Rio de Janeiro. Relatório. Brasília.

DRM - Diretório de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro - Projeto Cartas Geológicas do Estado do Rio de Janeiro. Folhas Itavaia (1978); Morro do Coco (1981); São Fidélis (1978); Travessão (1981); Dores de Macabu (1982); Campos (1981); Conceição de Macabu (1982); Carapebus (1982); Renascença (1982); Muçurepe (1982); Lagoa Feia (1982); Farol de São Tomé (1982).

Ferreira, G. E., Silva, V. S. (2003) Estudo do Mercado Nacional de Agregados. Relatório interno. CETEM, Rio de Janeiro.

JCPDS (1980) Mineral Powder Diffraction Ray-X - Data Book. USA.

McIntosh, L. D. (1970) Specifying the quality of bedding mortars. Proceedings of British.

Pérsio de Souza Santos (1975) Tecnologia de Argilas. Vol. 1. Fundamentos.

Smith, M. R. & Collis, L. (1993) Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. 2nd edition. The Geological Society, London.

Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, L. R. & Taioli, F. (2000) Decifrando a Terra. USP/Oficina de Textos, pág. 140-166. São Paulo.

Valverde, F. M. (2001) Agregados para a construção civil. Balanço Mineral Brasileiro. ANEPAC, São Paulo. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>.

OUTRAS REFERÊNCIAS PESQUISADAS (NÃO CITADAS NO TEXTO)

www.cnpq.br/noticias/050902.htm. Acessado em 31/03/2003.

www.idcc.ce/industry/brazil-p13.html. Acessado em 01/04/2003.

Cuchierato, G.; Sant'Agostino, L. M. (2001) Excelente desempenho comprovado em pavimentos de concreto simples elaborados com pó de pedra. IV IBRACON.

D'Agostino, L. Z., Soares, L. (2002) Diferentes tipos de areia no preparo de argamassas: principais características. In: 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Ouro Preto, MG.

Neto, A. A. A. M., Djanikian, I. G. (1999) Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

Souza, C. S. (2004) Aplicação dos finos provenientes da britagem de rochas de pedreiras da região de Campos dos Goytacazes para utilização em argamassas. Monografia. UENF, Campos dos Goytacazes.

ANEXOS

ANEXO I:
DIFRATOGRAMAS DE RAIOS – X

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA AREAL 1

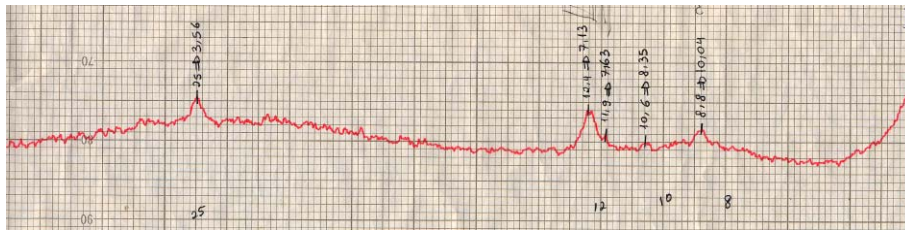


Figura 94: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Areal 1.

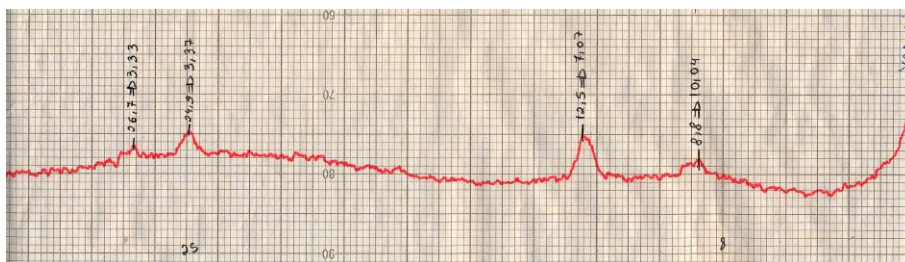


Figura 95: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Areal 1

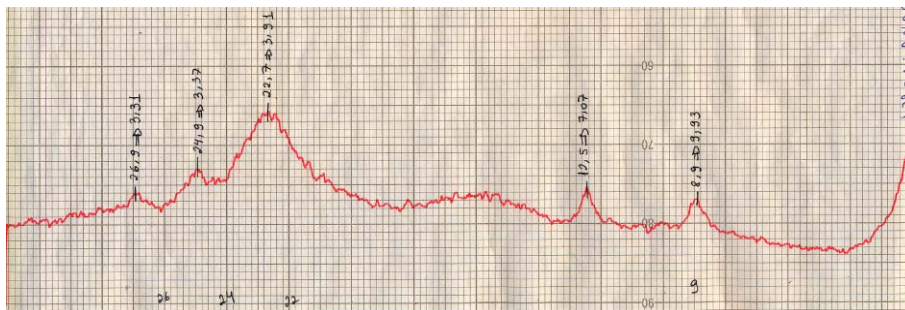


Figura 96: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Areal 1.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA AREAL 2

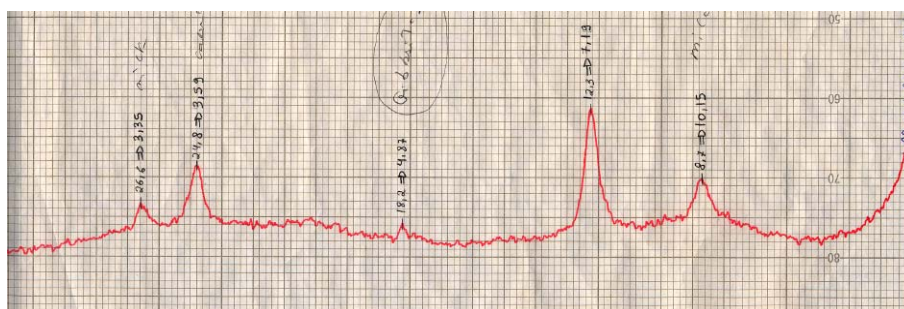


Figura 97: Difratograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Areal 2.

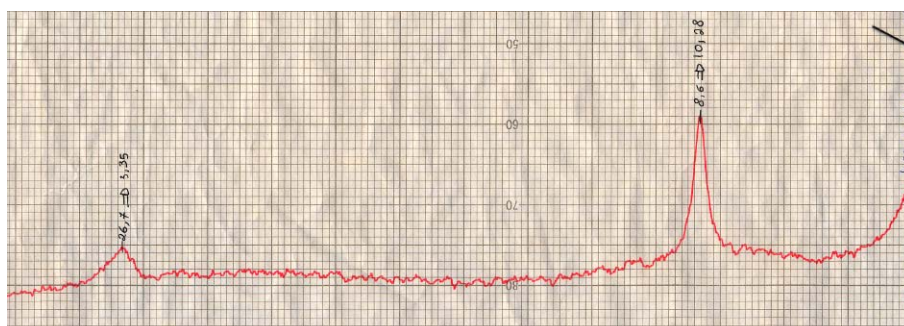


Figura 98: Difratograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Areal 2.

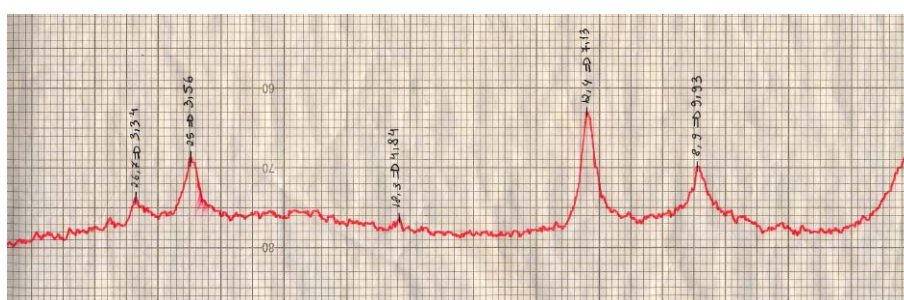


Figura 99: Difratograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Areal 2.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA CHARNOQUITO

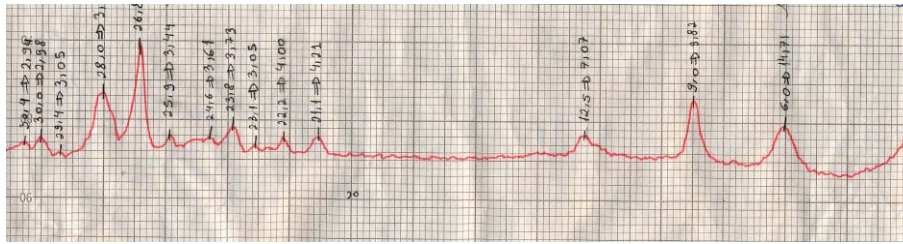


Figura 100: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Charnoquito.

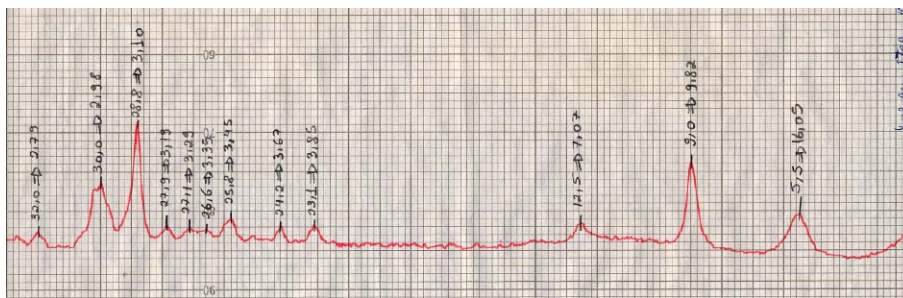


Figura 101: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Charnoquito.

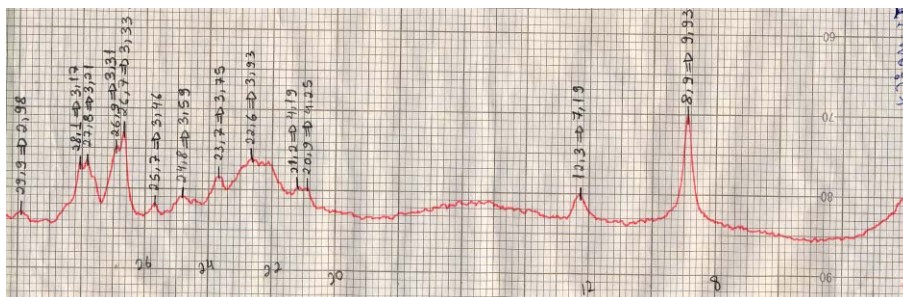


Figura 102: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Charnoquito.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA GNAISSE FACOIDAL 1



Figura 103: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Gnaiss facoidal 1.

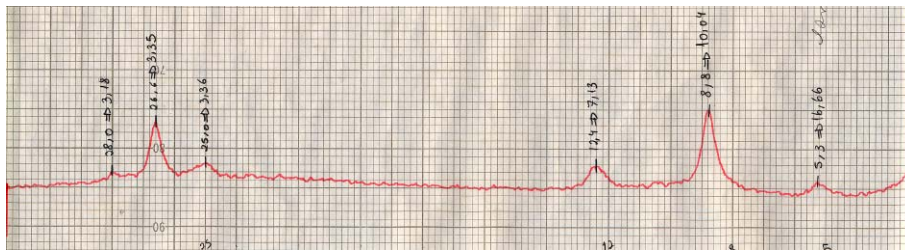


Figura 104: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Gnaiss facoidal 1.

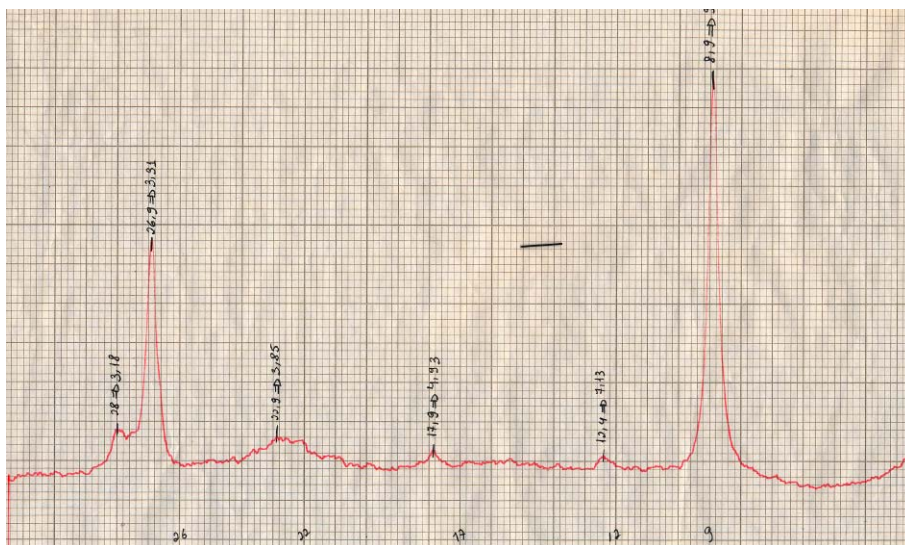


Figura 105: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Gnaiss facoidal 1.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA GNAISSE FACOIDAL 2

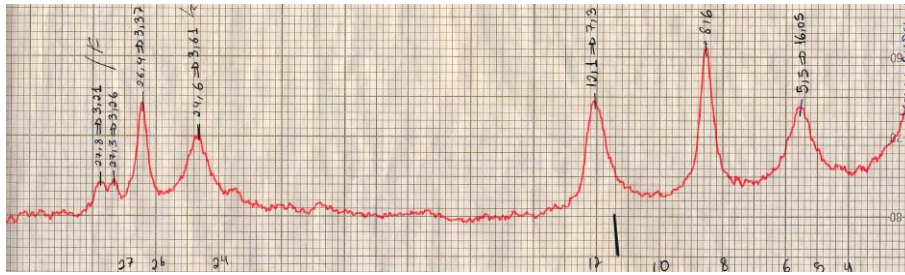


Figura 106: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Gnaiss facoidal 2.

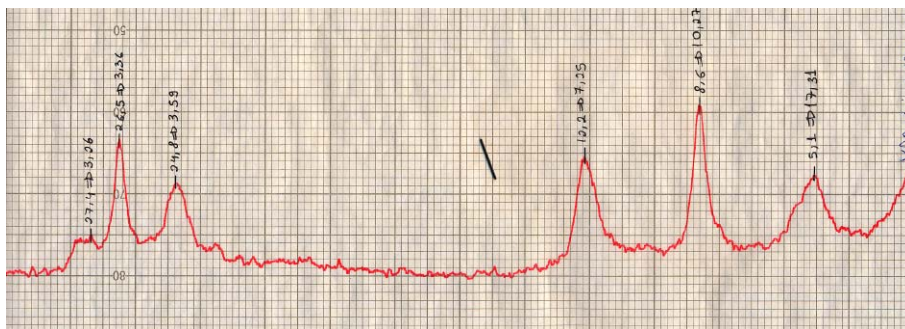


Figura 107: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Gnaiss facoidal 2.

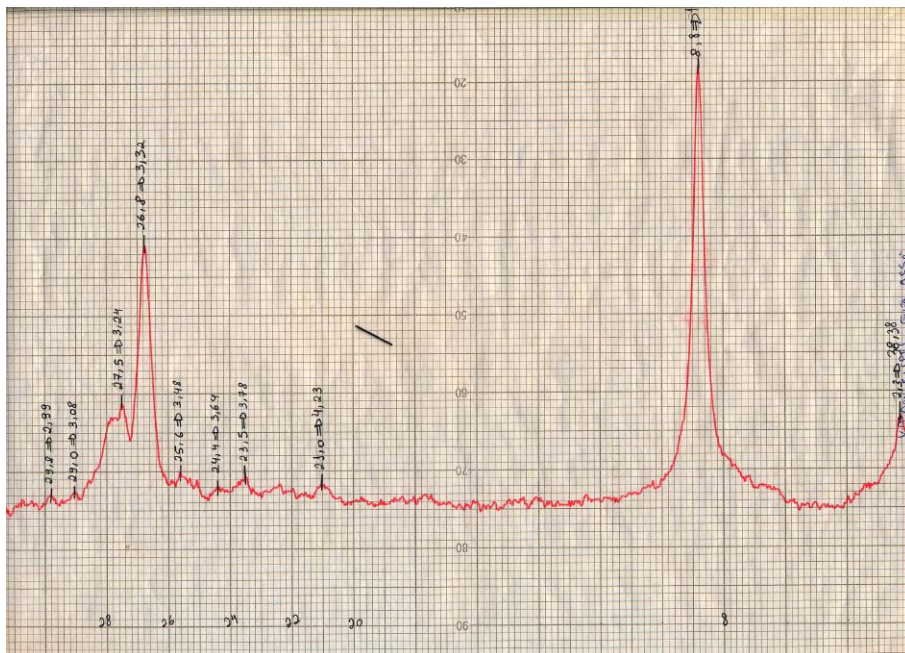


Figura 108: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Gnaiss facoidal 2.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA GRANADA-GNAISSE

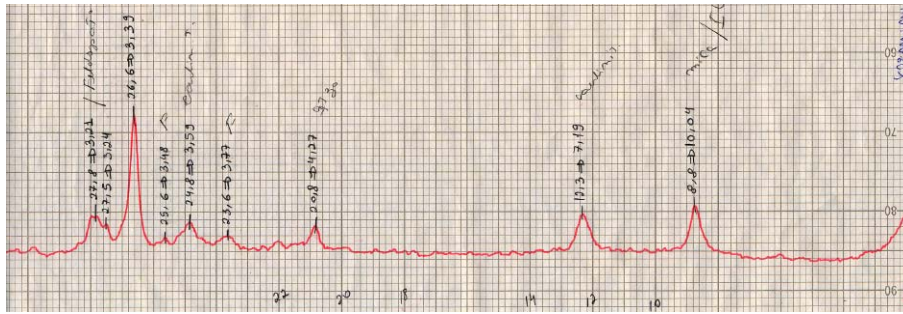


Figura 109: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Granada-gnaiss.

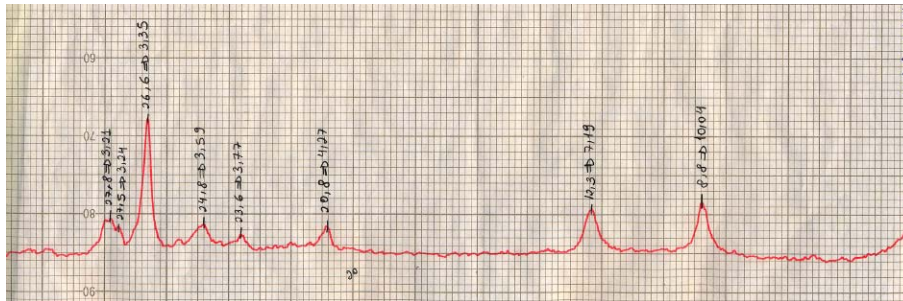


Figura 110: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Granada-gnaiss.

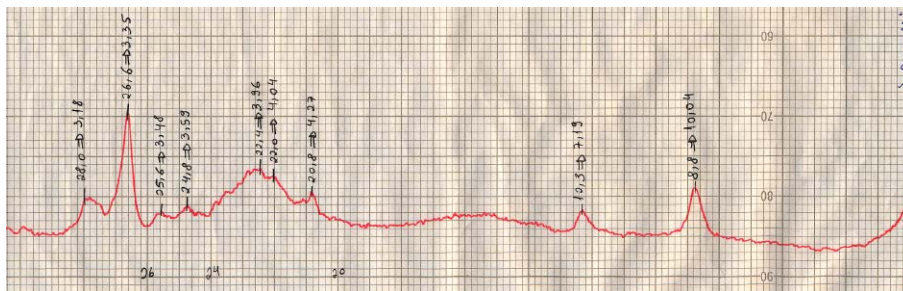


Figura 111: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Granada-gnaiss.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA GRANITO-GNAISSE

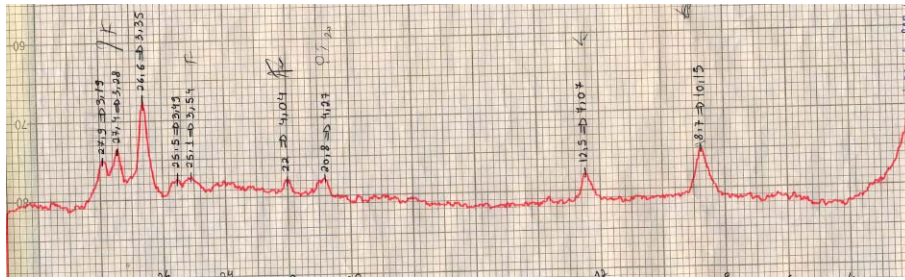


Figura 112: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Granito-gnaisse.

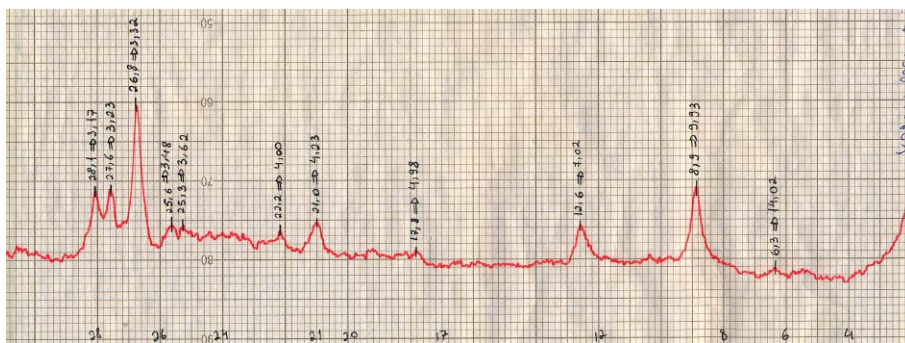


Figura 113: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo gicolada, da amostra Granito-gnaisse.

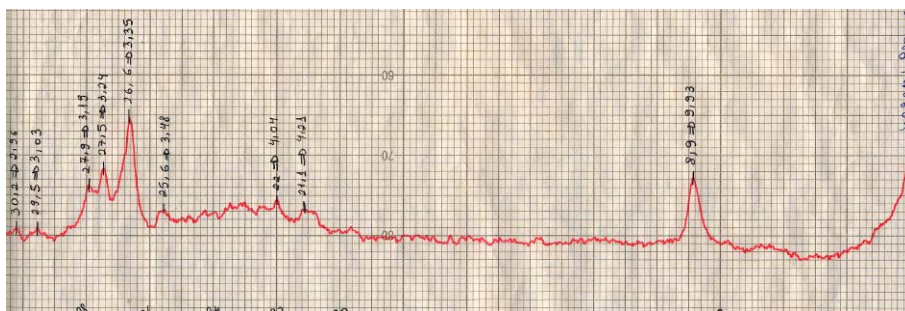


Figura 114: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Granito-gnaisse.

DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA NEFELINA-SIENITO

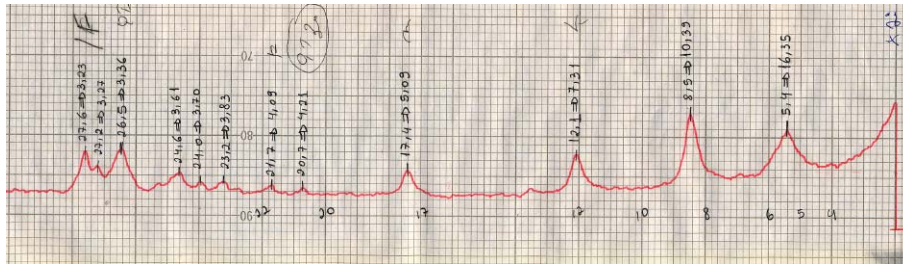


Figura 115: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo normal, da amostra Nefelina-sienito.

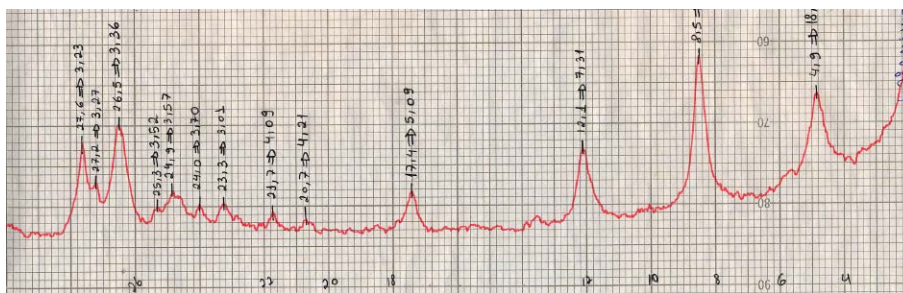


Figura 116: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo glicolada, da amostra Nefelina-sienito.

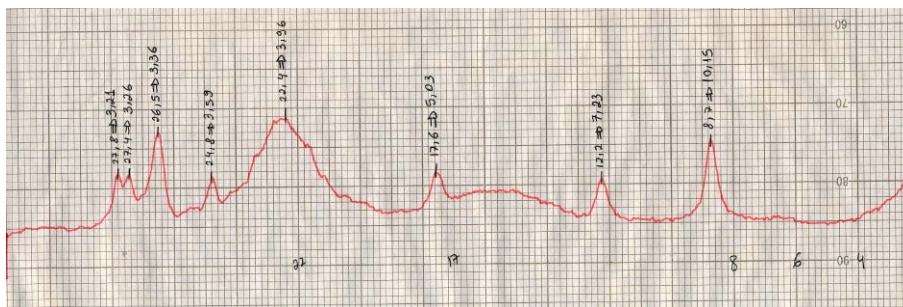


Figura 117: Difratoograma da lâmina de argila, do tipo aquecida, da amostra Nefelina-sienito.

ANEXO II:

**TABELAS DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MASSA UNITÁRIA ,
PREPARO DA MISTURA E DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE
CONSISTÊNCIA**

Tabela 15: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Areal 1

Massa Unitária		Areal 1					
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	30,22485	7,432	22,793	0,095	22,771	15,312	1,49
2	30,44485	7,432	23,013	0,027	23,007	15,312	1,50
3	30,52456	7,432	23,093	0,114	23,066	15,312	1,51
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,50
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	19,27	61,7	61,68	0,0472			
B	13,62	53,63	53,6	0,0750			
C	17,9	91,08	90,96	0,1642			
				Teor médio 1 =	0,0955		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	19	92,91	92,85	0,0812			
E	13,87	92,46	92,46	0,0000			
F	16,76	83,63	83,63	0,0000			
				Teor médio 2 =	0,0271		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	13,8	62,1	62,02	0,1659			
H	14,23	77,86	77,78	0,1259			
I	13,43	73,54	73,51	0,0499			
				Teor médio 3 =	0,1139		
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	9,0					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	150,1	1349,9					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
35% de água =	525	g de água					
Qtidade final água:	525	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
150,1	1349,9	525					
900,7	8099,3	3150,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE (mm)			25,2				

Tabela 16: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Areal 2

Massa Unitária Areal 2							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	29,92271	7,432	22,491	0,095	22,469	15,312	1,47
2	30,00221	7,432	22,570	0,027	22,564	15,312	1,47
3	30,11571	7,432	22,684	0,114	22,658	15,312	1,48
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,47
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	19,27	61,7	61,68	0,0472			
B	13,62	53,63	53,6	0,0750			
C	17,9	91,08	90,96	0,1642			
Teor médio 1 =				0,0955			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	19	92,91	92,85	0,0812			
E	13,87	92,46	92,46	0,0000			
F	16,76	83,63	83,63	0,0000			
Teor médio 2 =				0,0271			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	13,8	62,1	62,02	0,1659			
H	14,23	77,86	77,78	0,1259			
I	13,43	73,54	73,51	0,0499			
Teor médio 3 =				0,1139			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	8,8					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	152,4	1347,6					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
31% de água =	465	g de água					
Qtidade final água:	465	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
152,4	1347,6	465					
914,5	8085,5	2790,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALABILIDADE (mm)	25,3						

Tabela 17: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Charnoquito

Massa Unitária Charnoquito							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	33,320	7,432	25,888	0,000	25,888	15,312	1,69
2	33,223	7,432	25,791	0,022	25,785	15,312	1,68
3	33,127	7,432	25,695	0,042	25,684	15,312	1,68
Massa Unitária média (kg/dm3)							1,68
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	10	0	0	0,0000			
B	10	0	0	0,0000			
C	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 1 =			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	14,32	82,86	82,85	0,0146			
E	13,8	60,7	60,69	0,0213			
F	18,44	53,12	53,11	0,0288			
				Teor médio 2 =			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	18,97	107,5	107,48	0,0226			
H	17,84	83,94	83,91	0,0454			
I	14,17	99,21	99,16	0,0588			
				Teor médio 3 =			
				0,0423			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	10,1					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	135,1	1364,9					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
18% de água =	270	g de água					
Qtidade final água:	270	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
135,1	1364,9	270					
810,5	8189,5	1620,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE(mm)			24,73				

Tabela 18: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaiss facoidal 1 com finos

Massa Unitária Gnaiss facoidal 1 com finos							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	31,536	7,432	24,104	0,000	24,104	15,312	1,57
2	27,569	7,432	20,137	0,000	20,137	15,312	1,32
3	32,019	7,432	24,587	0,000	24,587	15,312	1,61
Massa Unitária média (kg/dm3)							1,50
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	10	0	0	0,0000			
B	10	0	0	0,0000			
C	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 1 = 0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	10	0	0	0,0000			
E	10	0	0	0,0000			
F	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 2 = 0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	10	0	0	0,0000			
H	10	0	0	0,0000			
I	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 3 = 0,0000			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	9,0					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	150,1	1349,9					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
23% de água =	345	g de água					
Qtidade final água:	345	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
150,1	1349,9	345					
900,9	8099,1	2070,0					
Moldagem corpos de prova							
TRABALHABILIDADE (mm)			24,2				

Tabela 19: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaiss facoidal 1 sem finos

Massa Unitária Gnaiss facoidal 1 sem finos							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	31,651	7,432	24,219	0,000	24,219	15,312	1,58
2	30,702	7,432	23,270	0,000	23,270	15,312	1,52
3	30,467	7,432	23,035	0,000	23,035	15,312	1,50
Massa Unitária média (kg/dm3)							1,54
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	10	0	0	0,0000			
B	10	0	0	0,0000			
C	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 1 = 0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	10	0	0	0,0000			
E	10	0	0	0,0000			
F	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 2 = 0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	10	0	0	0,0000			
H	10	0	0	0,0000			
I	10	0	0	0,0000			
				Teor médio 3 = 0,0000			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	9,2					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	146,9	1353,1					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
22% de água =	330	g de água					
Qtidade final água:	330	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
146,9	1353,1	330					
587,6	5412,4	1320,0					
Moldagem corpos de prova							
TRABALHABILIDADE (mm) 25,9							

Tabela 20: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Gnaisse facoidal 2

Massa Unitária Gnaisse Facoidal 2							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	31,909	7,432	24,477	0,095	24,454	15,312	1,60
2	31,835	7,432	24,403	0,027	24,396	15,312	1,59
3	31,806	7,432	24,374	0,114	24,346	15,312	1,59
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,59
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	19,27	61,7	61,68	0,0472			
B	13,62	53,63	53,6	0,0750			
C	17,9	91,08	90,96	0,1642			
				Teor médio 1 =	0,0955		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	19	92,91	92,85	0,0812			
E	13,87	92,46	92,46	0,0000			
F	16,76	83,63	83,63	0,0000			
				Teor médio 2 =	0,0271		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	13,8	62,1	62,02	0,1659			
H	14,23	77,86	77,78	0,1259			
I	13,43	73,54	73,51	0,0499			
				Teor médio 3 =	0,1139		
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	9,6					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	142,0	1358,0					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
17% de água =	255	g de água					
Qtidade final água:	255	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
142,0	1358,0	255					
852,2	8147,8	1530,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE (mm)			25,77				

Tabela 21: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Granada-gnaisse

Massa Unitária Granada-gnaisse							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	34,134	7,432	26,702	0,000	26,702	15,312	1,74
2	34,326	7,432	26,894	0,025	26,887	15,312	1,76
3	34,318	7,432	26,886	0,044	26,875	15,312	1,76
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,75
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	10	0	0	0,000			
B	10	0	0	0,000			
C	10	0	0	0,000			
				Teor médio 1 =			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	13,62	82,39	82,36	0,044			
E	13,6	80,17	80,16	0,015			
F	19,01	76,06	76,05	0,018			
				Teor médio 2 =			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	10,59	81,94	81,9	0,056			
H	12,71	71,63	71,61	0,034			
I	18,16	65,97	65,95	0,042			
				Teor médio 3 =			
				0,044			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	10,5					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	130,3	1369,7					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
16% de água =	240	g de água					
Qtidade final água:	240	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
130,3	1369,7	240					
521,3	5478,7	960,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE (mm)			25,7				

Tabela 22: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Granito-gnaisse

Massa Unitária		Granito-gnaisse					
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	32,580	7,432	25,148	0,000	25,148	15,312	1,64
2	31,944	7,432	24,512	0,045	24,501	15,312	1,60
3	32,044	7,432	24,612	0,040	24,602	15,312	1,61
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,62
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	18,46	73,02	73,02	0,000			
B	13,83	84,42	84,42	0,000			
C	14,94	64,14	64,14	0,000			
				Teor médio 1 =	0,000		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	13,82	76,37	76,32	0,080			
E	17,81	86,1	86,07	0,044			
F	14,14	98,62	98,61	0,012			
				Teor médio 2 =	0,045		
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	16,71	66,84	66,82	0,040			
H	13,4	103,77	103,74	0,033			
I	18,95	84,53	84,5	0,046			
				Teor médio 3 =	0,040		
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	9,7					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	140,2	1359,8					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
18% de água =	270	g de água					
Qtidade final água:	270	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
140,2	1359,8	270					
560,8	5439,2	1080,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE (mm)			24,23				

Tabela 23: Planilha dos ensaios de Massa Unitária e Flow Table da amostra Nefelina-sienito

Massa Unitária Nefelina-sienito							
Medidas	Massa (kg)	Tara (kg)	Massa-tara(kg)	Teor de umidade (%)	Massa - (Massa x t.u.)	Vol Recip(dm3)	Massa Unitária (Kg/dm3)
1	33,019	7,432	25,587	0,000	25,587	15,312	1,67
2	32,866	7,432	25,434	0,000	25,434	15,312	1,66
3	33,031	7,432	25,599	0,000	25,599	15,312	1,67
Massa Unitária média (Kg/dm3)							1,67
Teor de Umidade							
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
A	10	0	0	0,0000			
B	10	0	0	0,0000			
C	10	0	0	0,0000			
Teor médio 1 =				0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
D	10	0	0	0,0000			
E	10	0	0	0,0000			
F	10	0	0	0,0000			
Teor médio 2 =				0,0000			
medida	caps	caps + a.u.	caps + a.s.	teor de umidade (%)			
G	10	0	0	0,0000			
H	10	0	0	0,0000			
I	10	0	0	0,0000			
Teor médio 3 =				0,0000			
Flow Table							
Traço em Volume :	1	6					
Traço em Massa:	1	10,0					
Qtidade material (g):	1500,0						
Traço (g):	136,3	1363,7					
	cimento	areia					
Teor de água							
15% de água =	225,0	g de água					
1% de água =	15,0	g de água					
23% de água =	345	g de água					
Qtidade final água:	345	g de água					
Traço Final							
cimento(g)	areia	água					
136,3	1363,7	345					
817,6	8182,4	2070,0	Moldagem corpos de prova				
TRABALHABILIDADE (mm)			25,1				

ANEXO III:

**CURVAS TENSÃO VERSUS DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

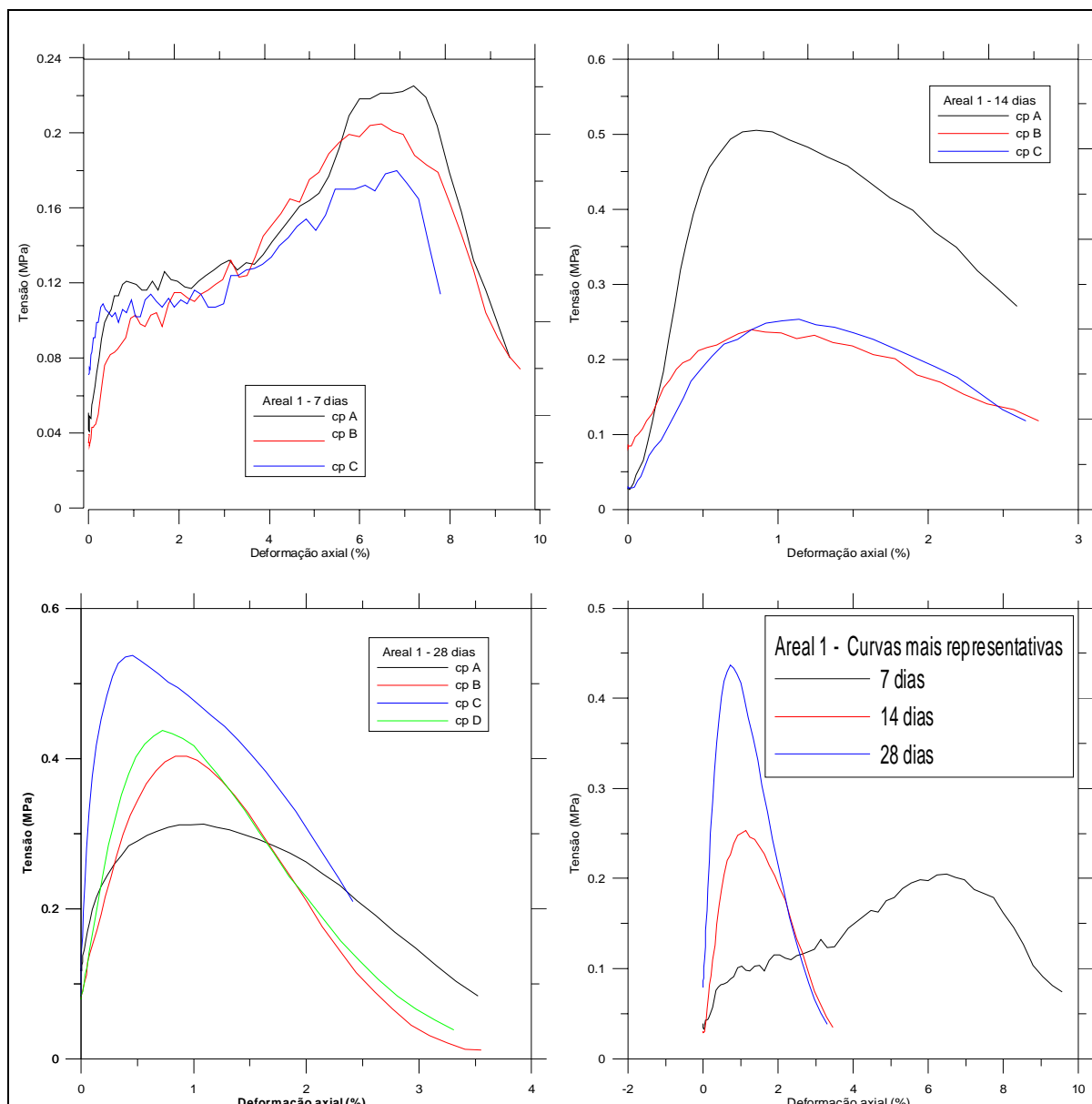


Figura 118: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Areal 1.

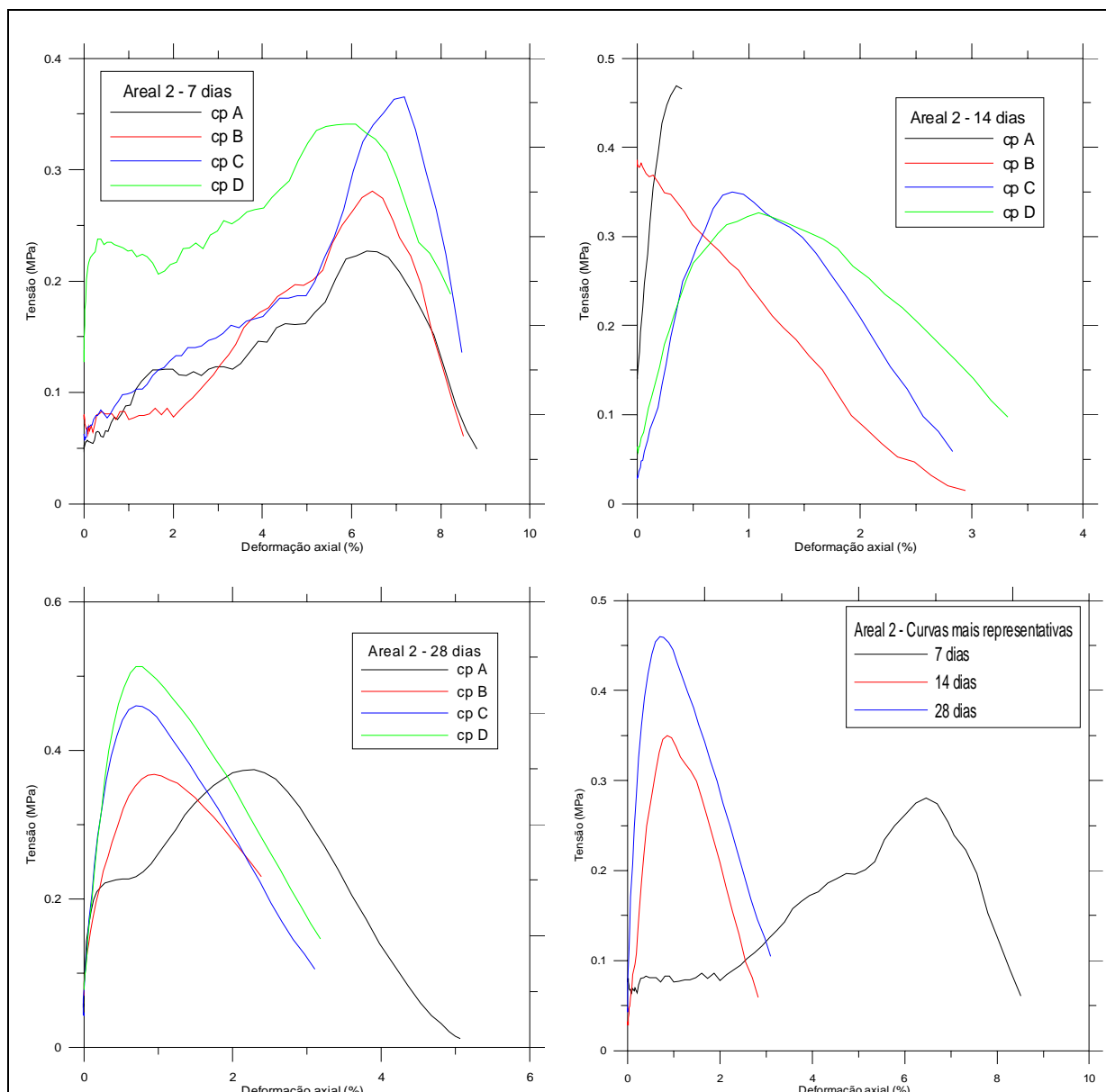


Figura 119: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Areal 2.

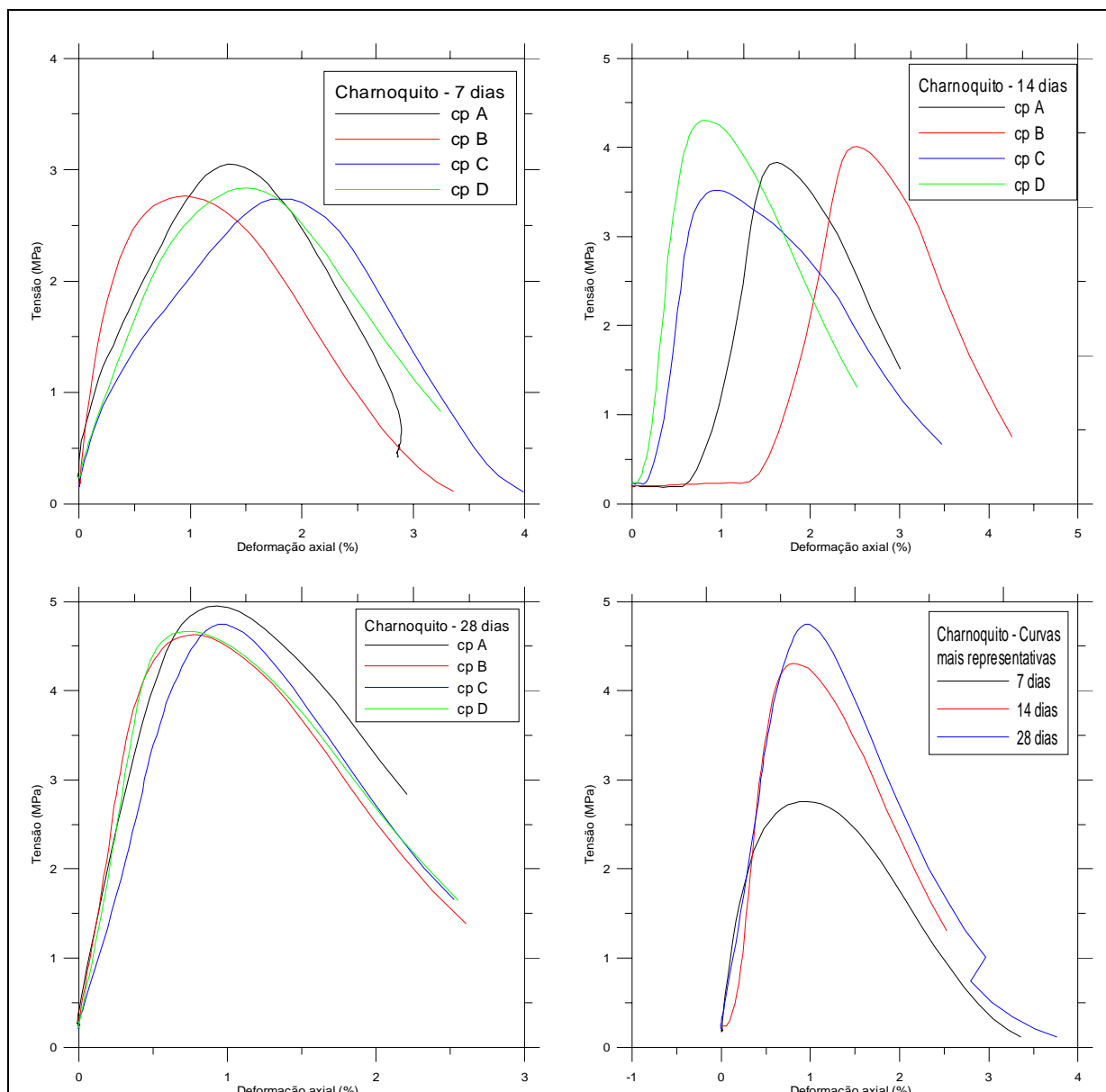


Figura 120: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Charnoquito.

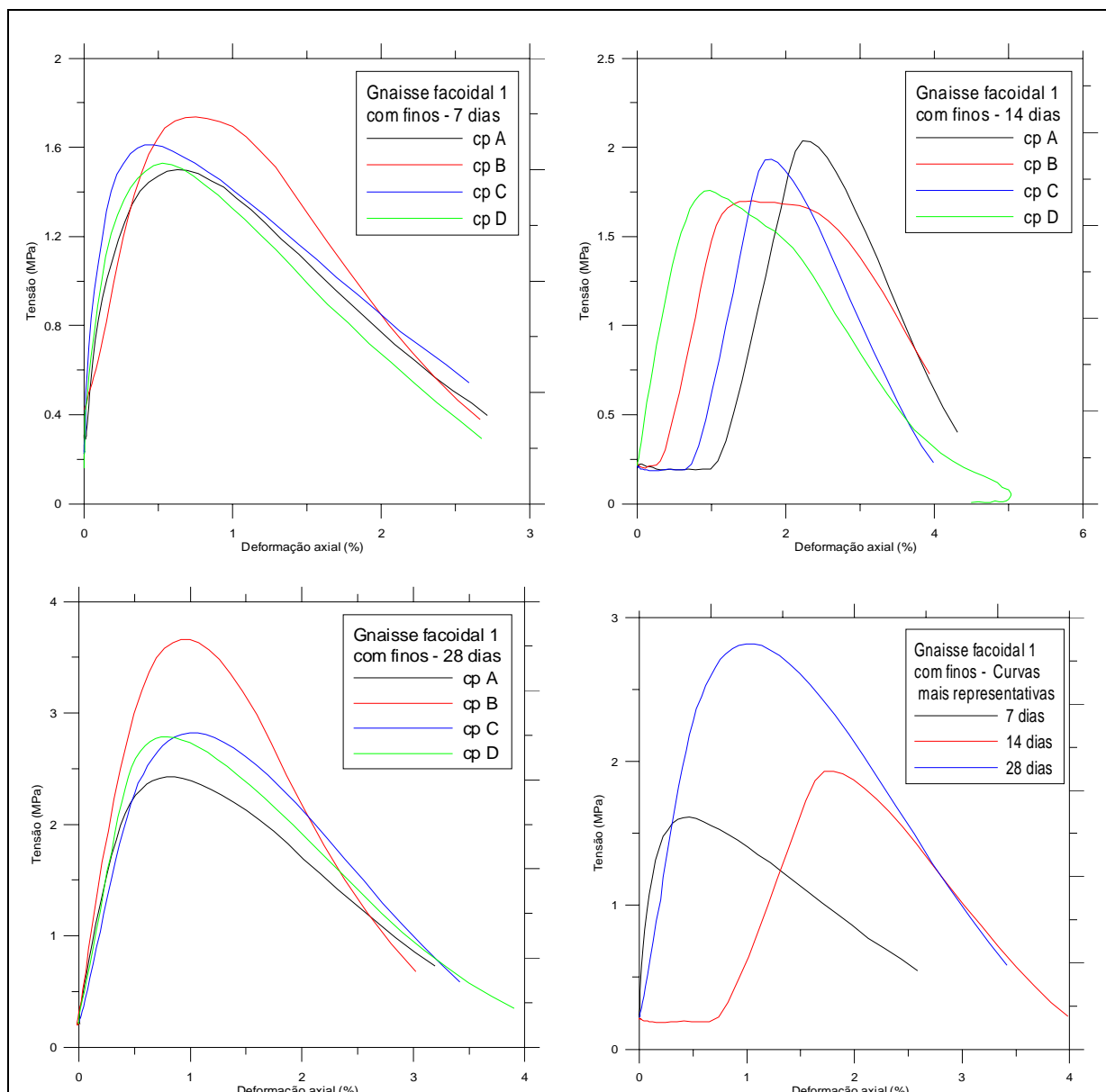


Figura 121: Curvas de Tensão versus Deformação para a argamassa da amostra Gnaiss facoidal 1 com fins

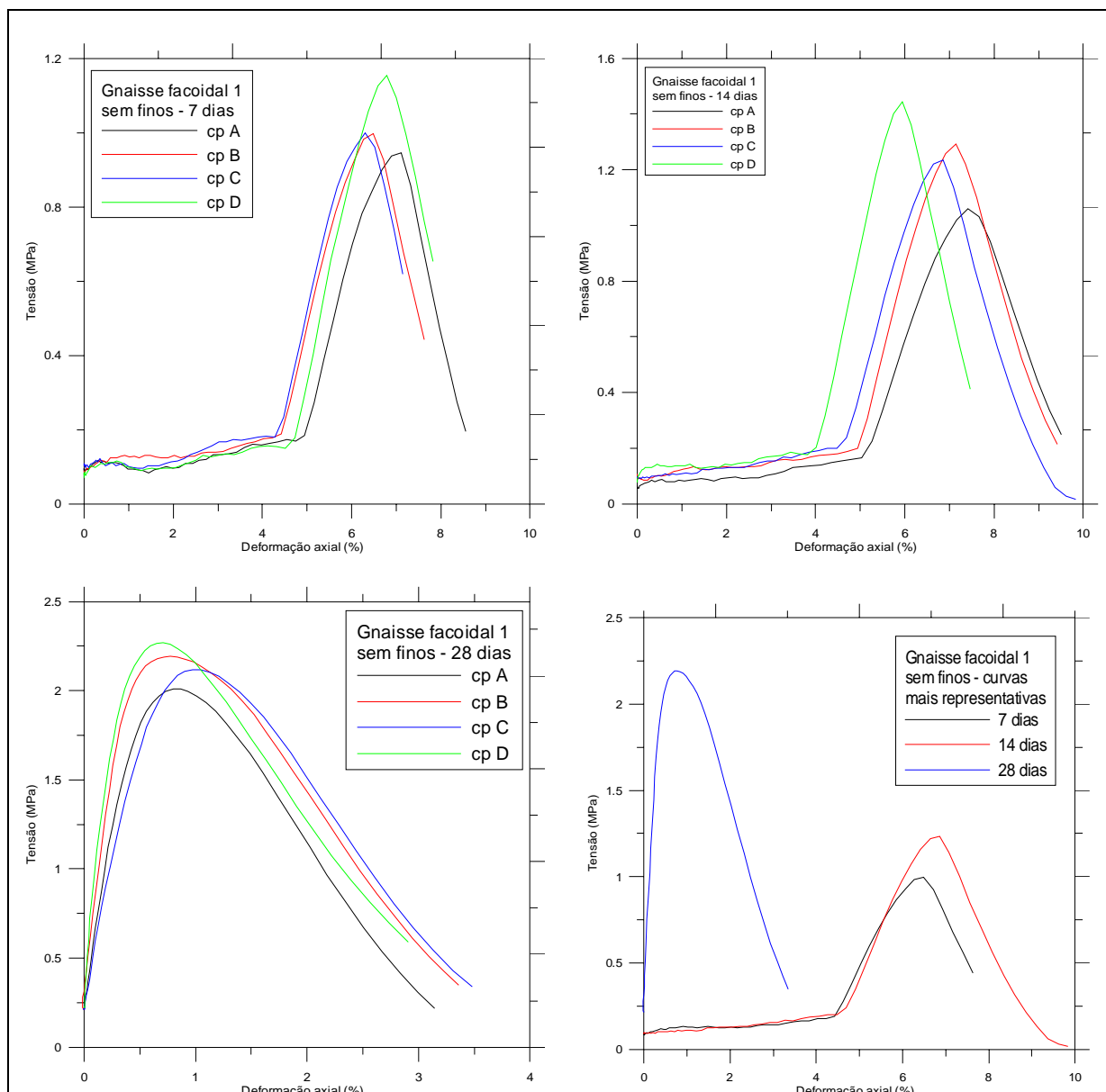


Figura 122: Curvas de Tensão versus Deformação para a amostra Gnaiss facoidal 1 sem finos.

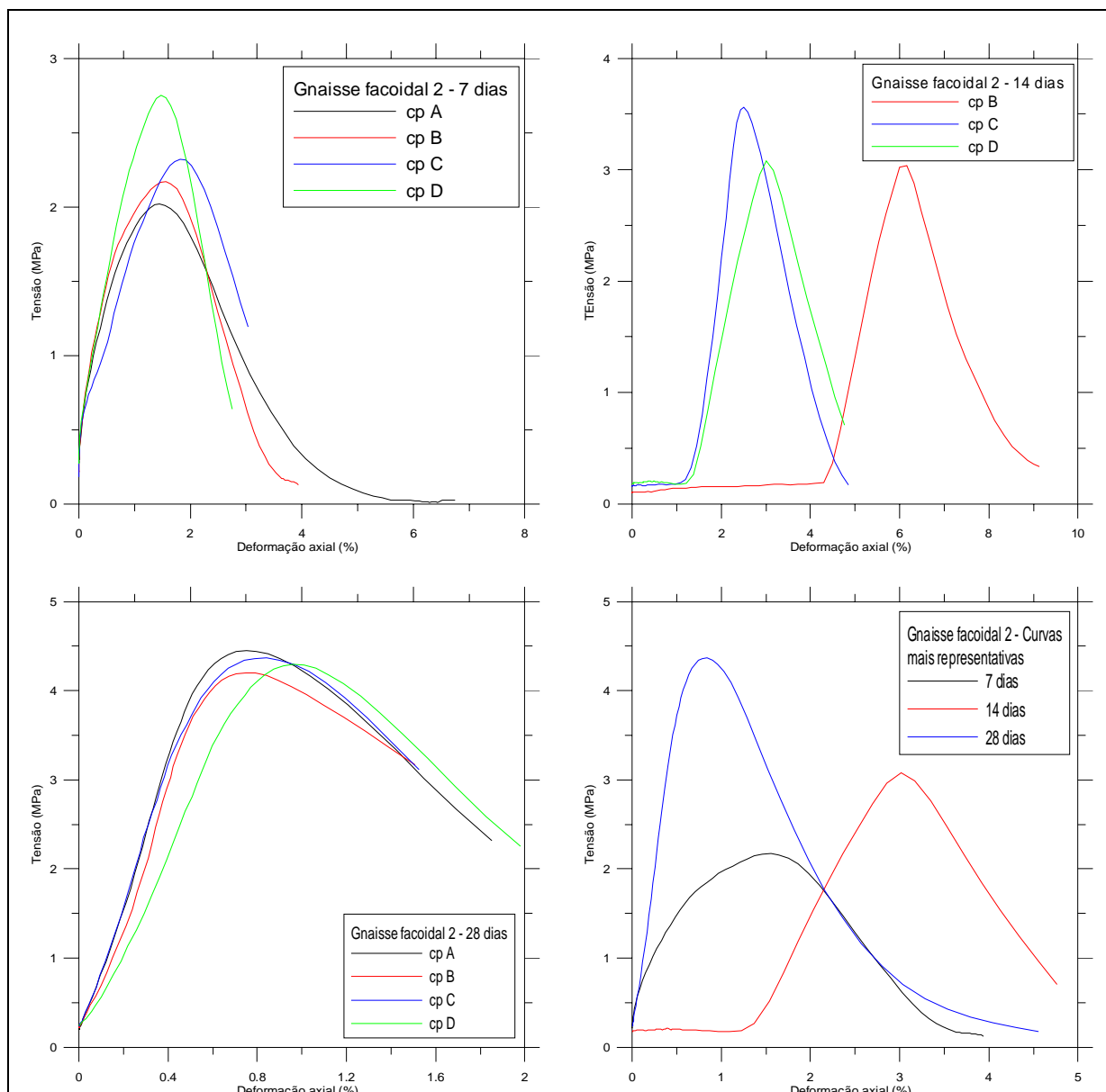


Figura 123: Curvas de Tensão versus Deformação para a amostra Gnaiss facoidal 2.

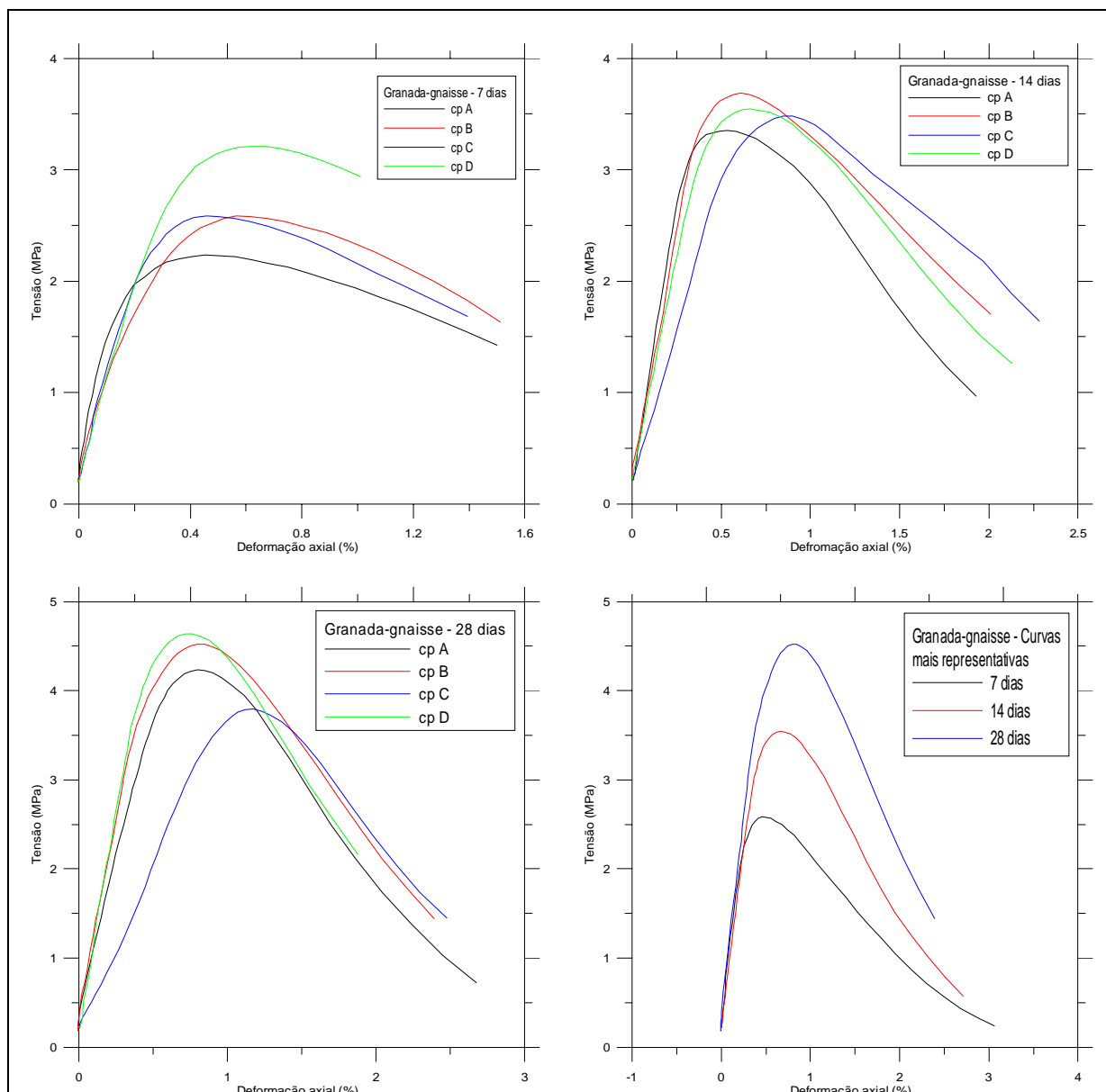


Figura 124: Curvas de Tensão versus Deformação para a amostra Granada-gnaiss.

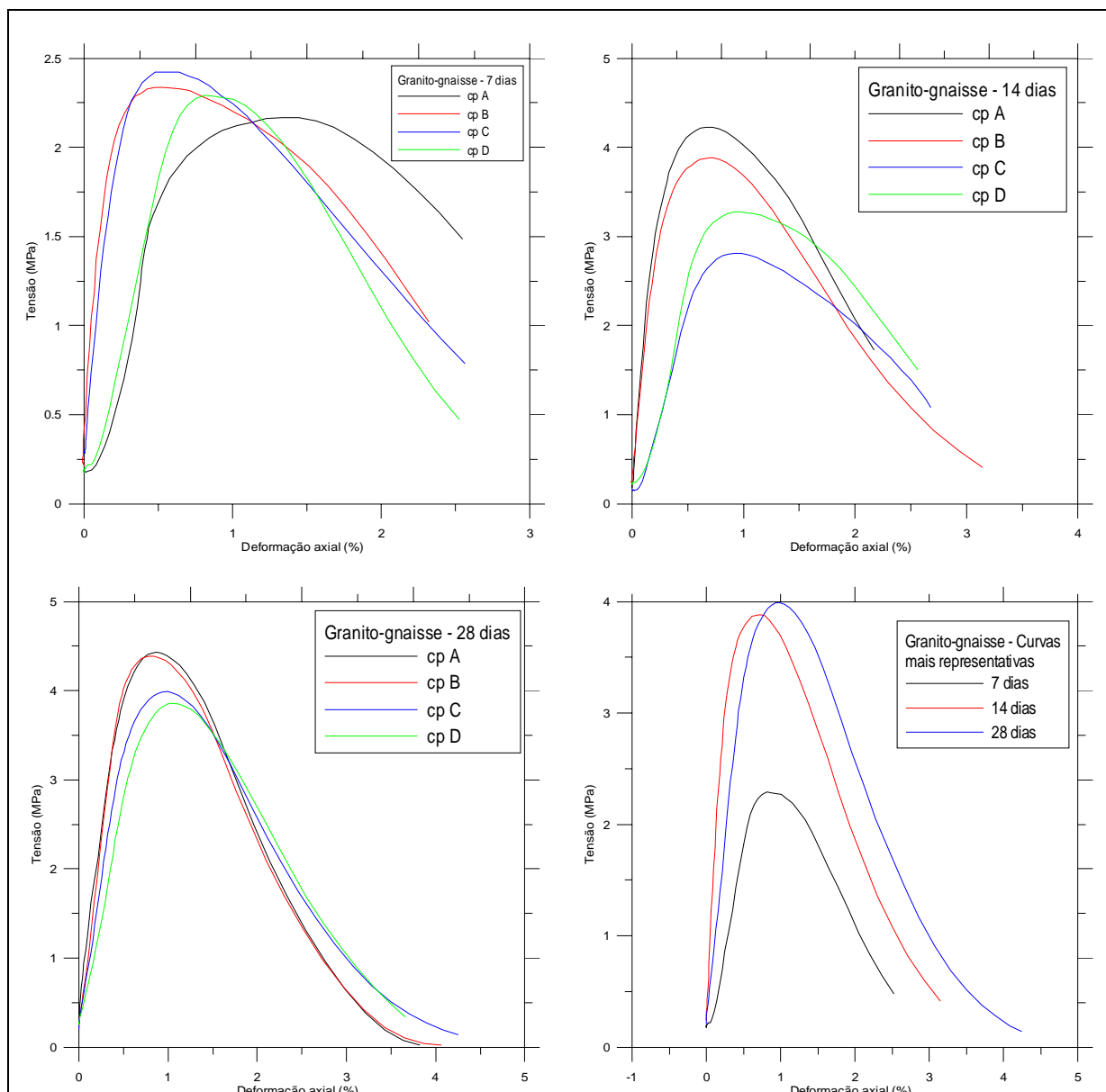


Figura 125: Curvas de Tensão versus Deformação para a amostra Granito-gnaiss.

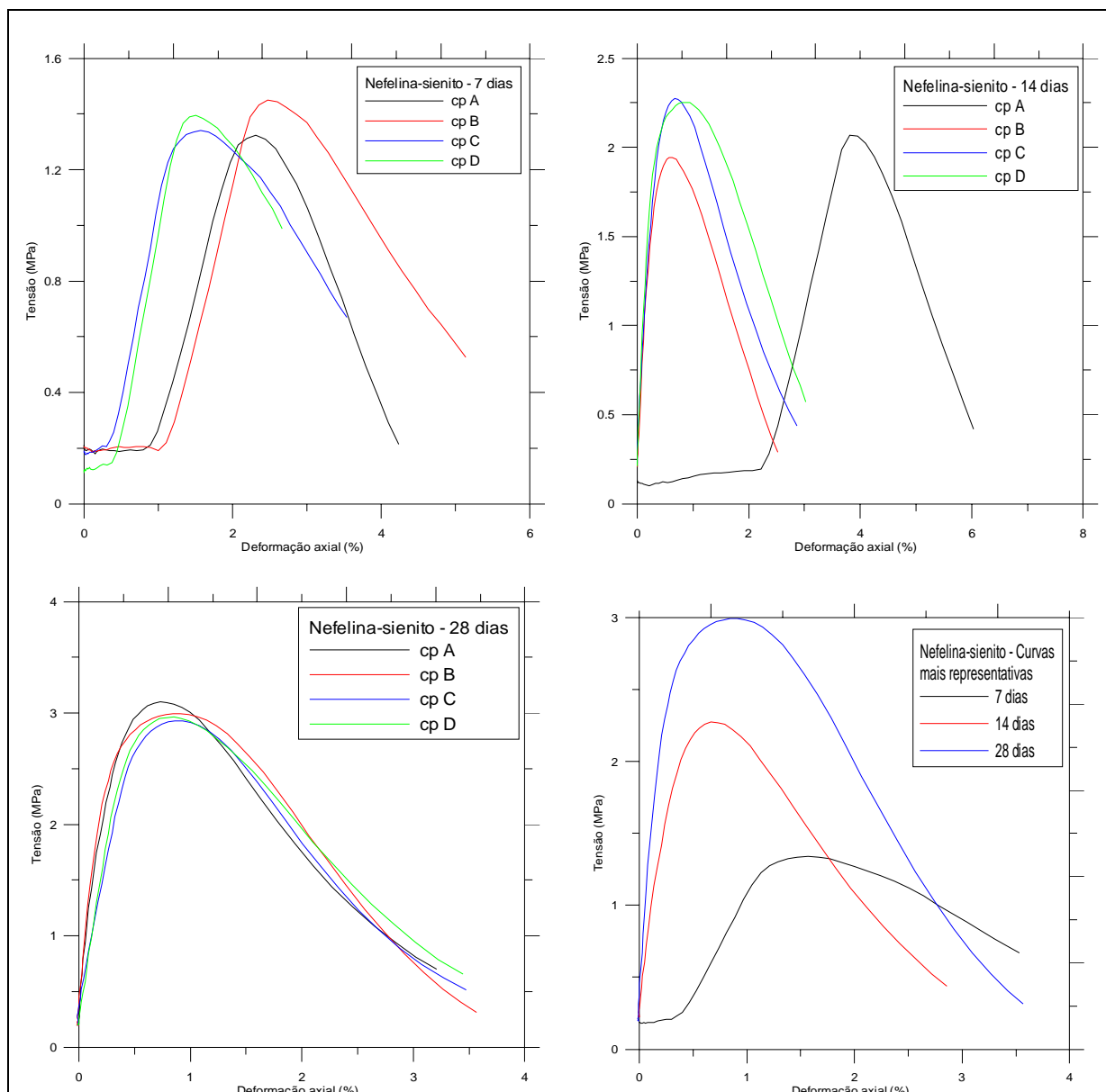


Figura 126: Curvas de Tensão versus Deformação para a amostra Nefelina-sienito.

ANEXO IV

**TABELAS DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO**

Tabela 24: Valores de ruptura no ensaio de compressão simples para todos os corpos de prova.

Amostra	7 dias				14 dias				28 dias				
	C ₀ (MPa)	X	σ	C ₀ (%)	C ₀ (MPa)	X	σ	C ₀ (%)	C ₀ (MPa)	X	σ	C ₀ (%)	
Areal 1	A	0,225	0,203	0,023	11,088	0,505	0,246	0,010	4,024	0,312	0,422	0,093	22,009
	B	0,205				0,239				0,403			
	C	0,180				0,253				0,537			
	D									0,437			
Areal 2	A	0,227	0,304	0,062	20,442	0,469	0,383	0,062	16,257	0,374	0,428	0,070	16,355
	B	0,281				0,386				0,367			
	C	0,365				0,35				0,46			
	D	0,341				0,327				0,512			
Charnoquito	A	3,051	2,846	0,143	5,013	3,832	3,917	0,329	8,404	4,953	4,749	0,145	3,050
	B	2,761				4,011				4,627			
	C	2,738				3,519				4,745			
	D	2,834				4,305				4,669			
Gnaiss facoidal 1 com finos	A	1,5	1,595	0,106	6,636	2,035	1,857	0,155	8,347	2,427	2,924	0,523	17,884
	B	1,736				1,7				3,661			
	C	1,613				1,934				2,82			
	D	1,529				1,758				2,786			
Gnaiss facoidal 1 sem finos	A	0,946	1,024	0,090	8,796	1,06	1,258	0,159	12,640	2,012	2,148	0,110	5,099
	B	0,997				1,292				2,192			
	C	0,999				1,235				2,118			
	D	1,154				1,445				2,269			
Gnaiss facoidal 2	A	2,021	2,315	0,314	13,564		3,226	0,291	9,031	4,45	4,329	0,105	2,422
	B	2,17				3,035				4,203			
	C	2,321				3,561				4,366			
	D	2,749				3,081				4,296			
Granada- gnaiss	A	2,231	2,653	0,408	15,372	3,349	3,516	0,140	3,988	4,232	4,296	0,377	8,780
	B	2,583				3,687				4,522			
	C	2,586				3,484				3,792			
	D	3,211				3,545				4,639			
Granito- gnaiss	A	2,167	2,305	0,107	4,636	4,229	3,550	0,630	17,746	4,432	4,168	0,285	6,843
	B	2,338				3,882				4,388			
	C	2,423				2,811				3,99			
	D	2,291				3,279				3,861			
Nefelina- sienito	A	1,323	1,377	0,057	4,118	2,069	2,135	0,157	7,350	3,098	2,996	0,073	2,441
	B	1,449				1,944				2,995			
	C	1,342				2,274				2,929			
	D	1,395				2,252				2,962			

**ANEXO V:
CURVAS USADAS NOS CÁLCULOS DOS MÓDULOS DE
DEFORMABILIDADE**

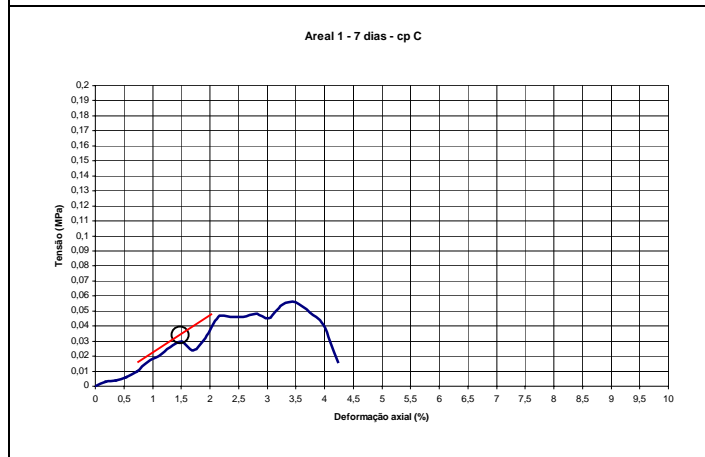
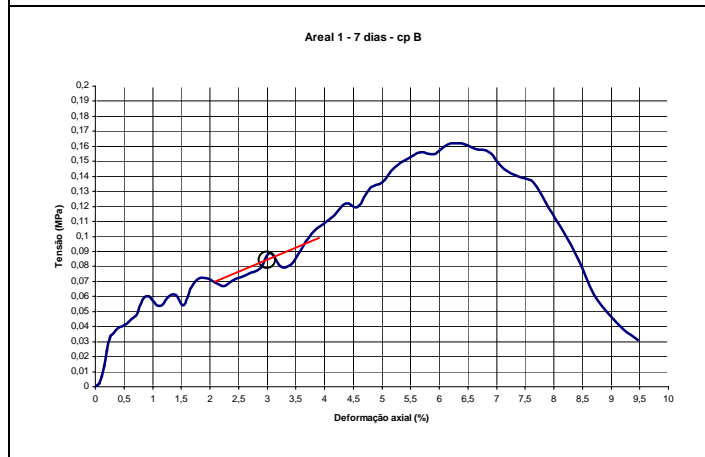
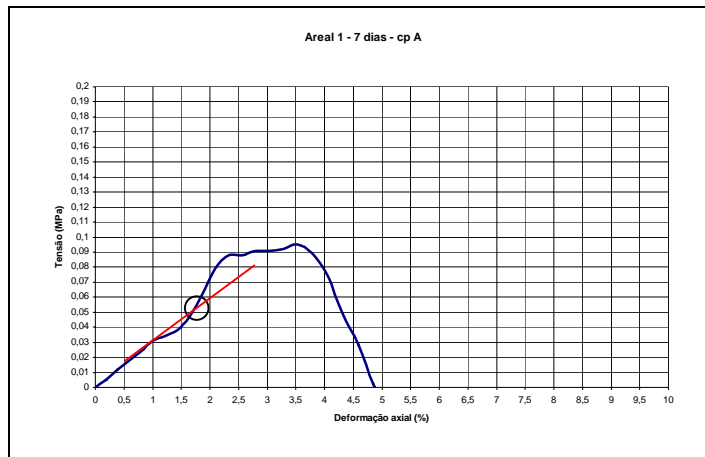


Figura 127: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 - 28 dias.

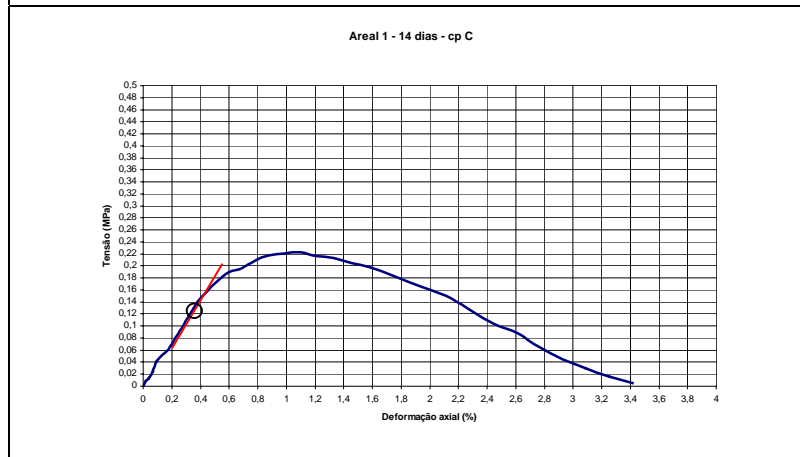
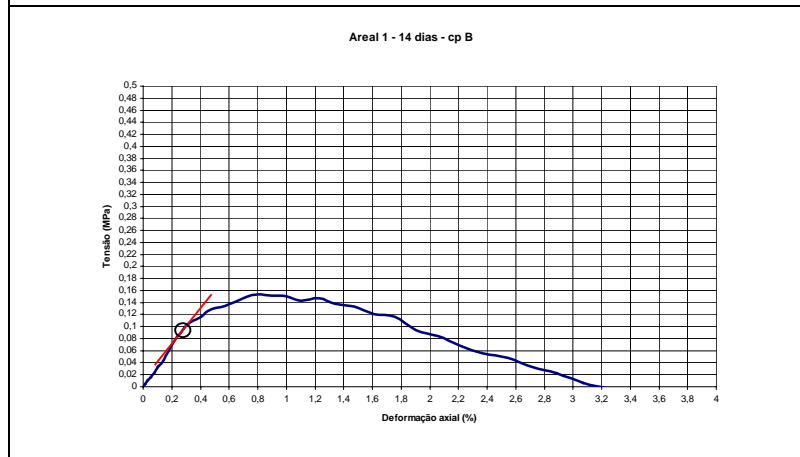
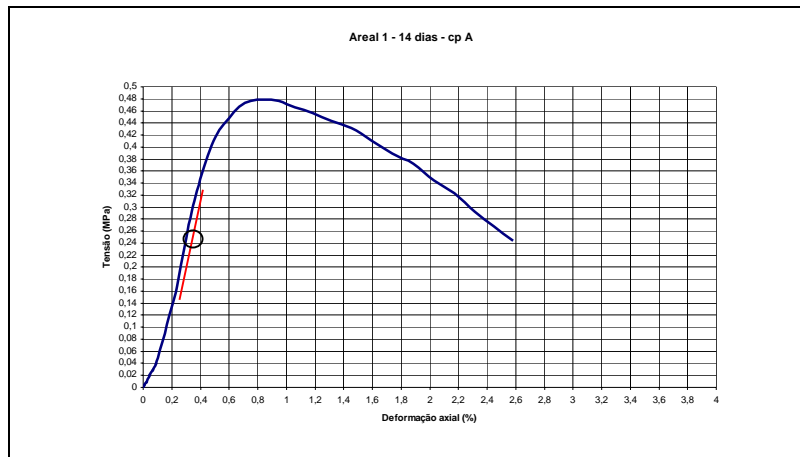


Figura 128: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 - 14 dias.

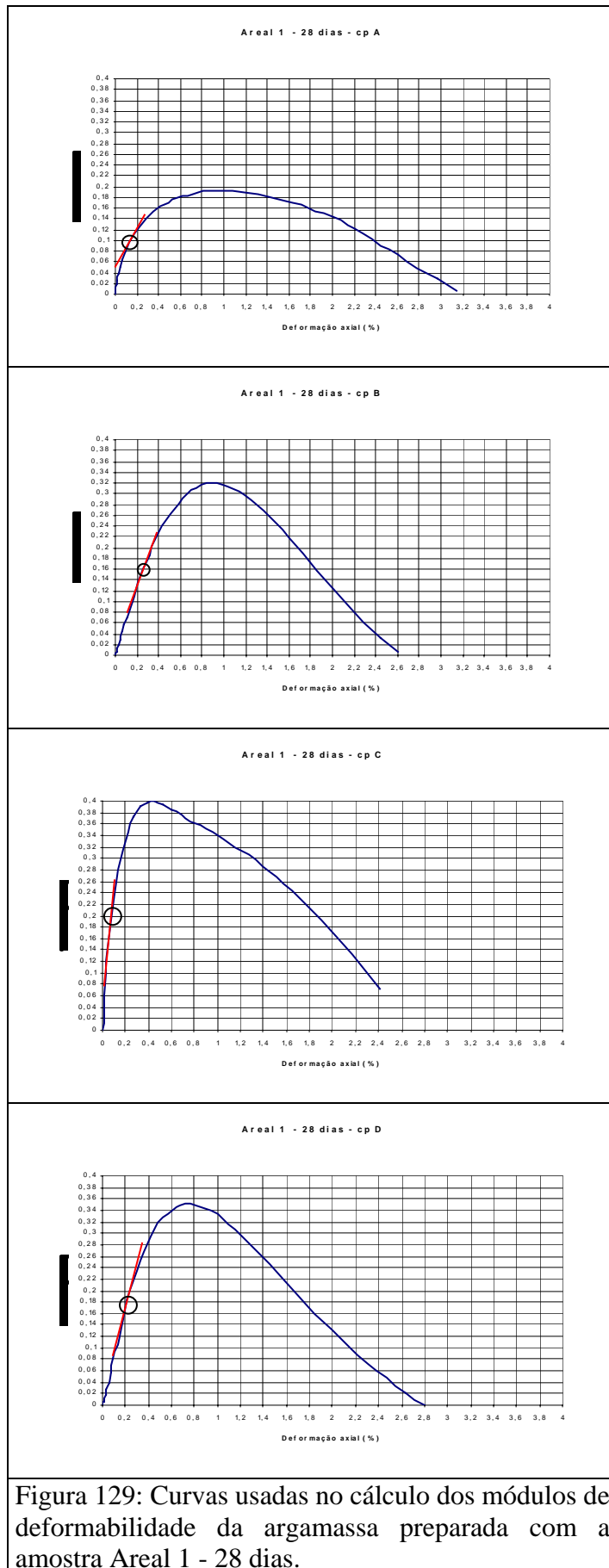


Figura 129: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 1 - 28 dias.

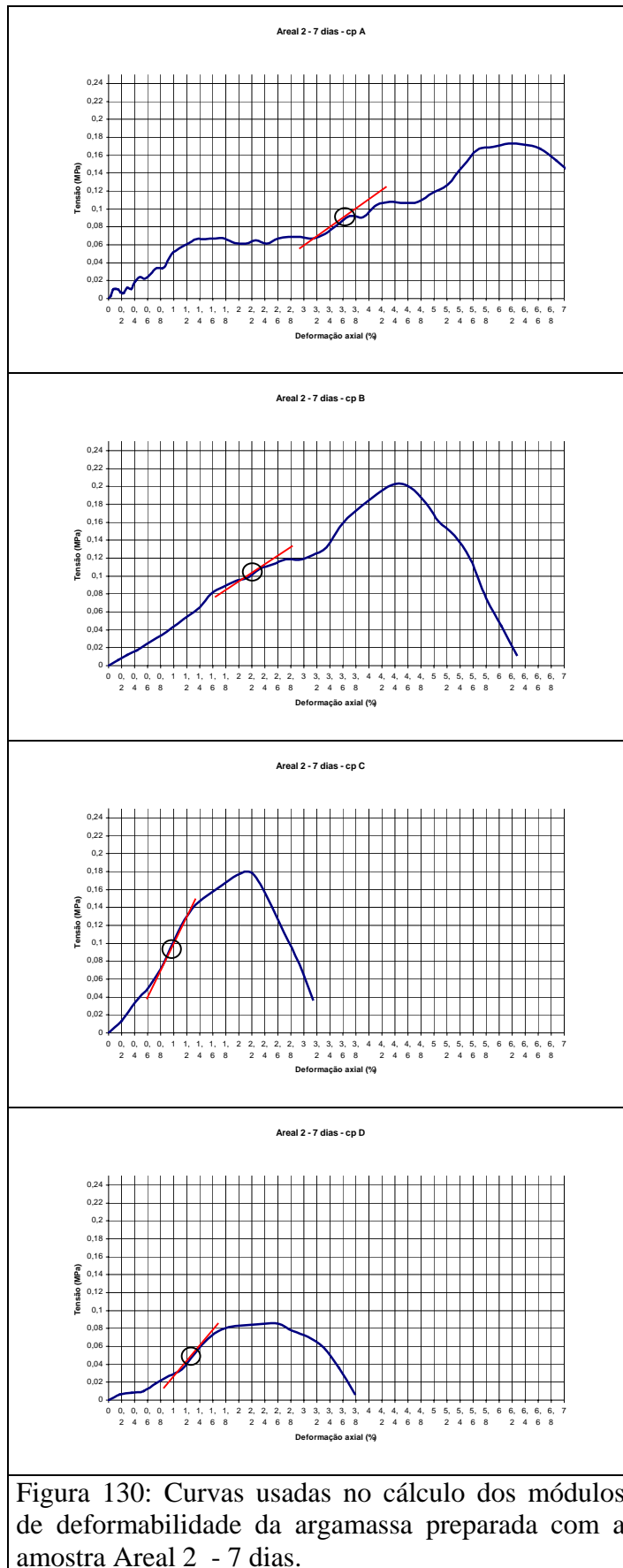


Figura 130: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 - 7 dias.

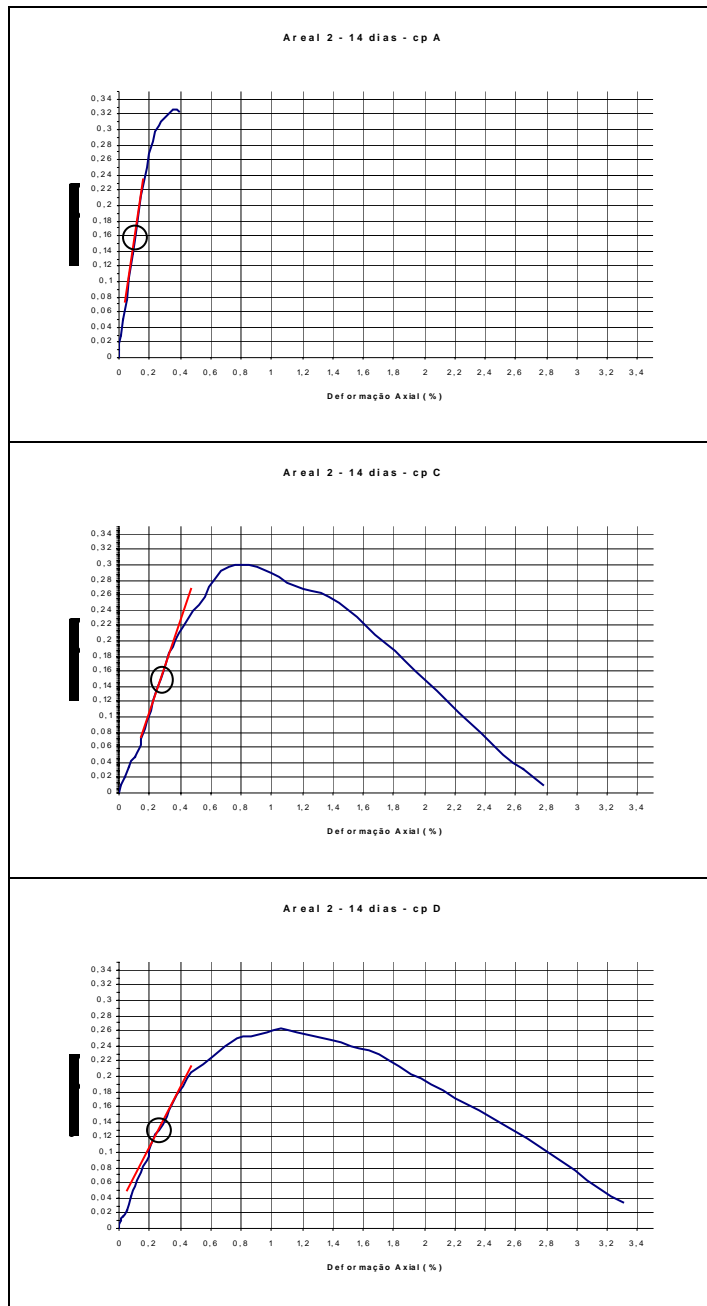


Figura 131: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 - 14 dias.

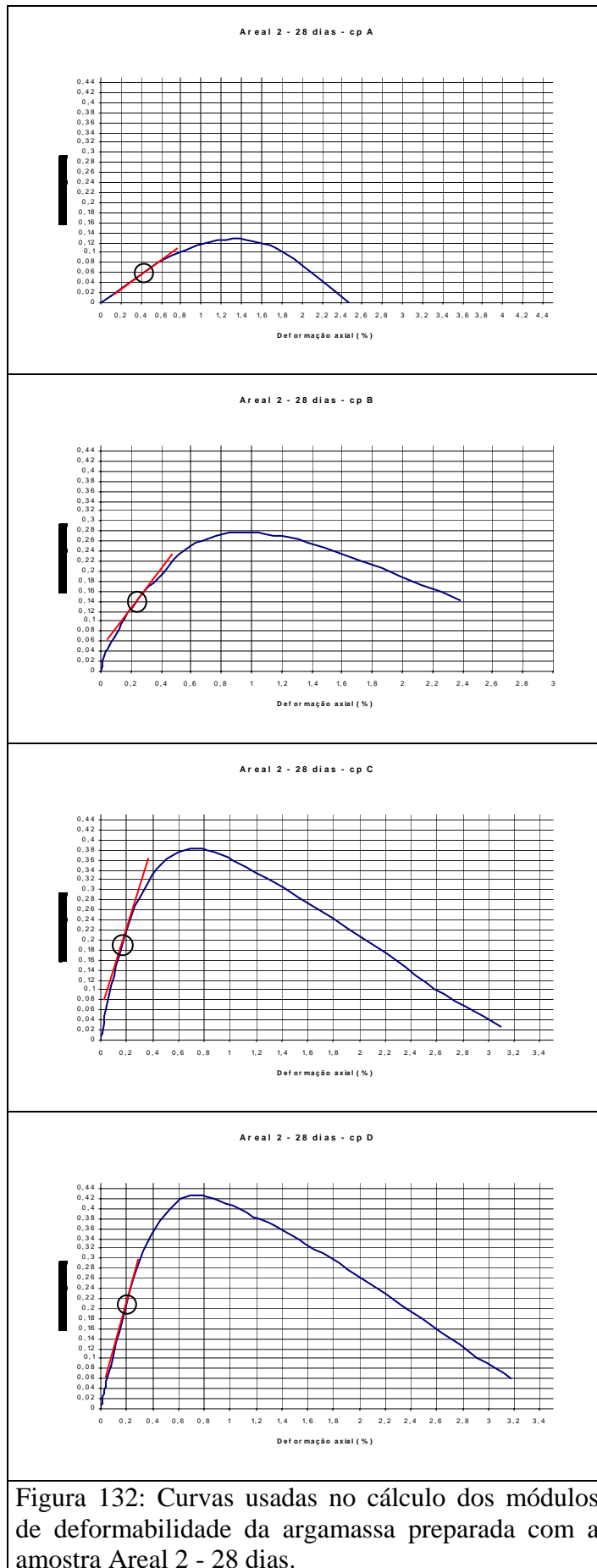


Figura 132: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Areal 2 - 28 dias.

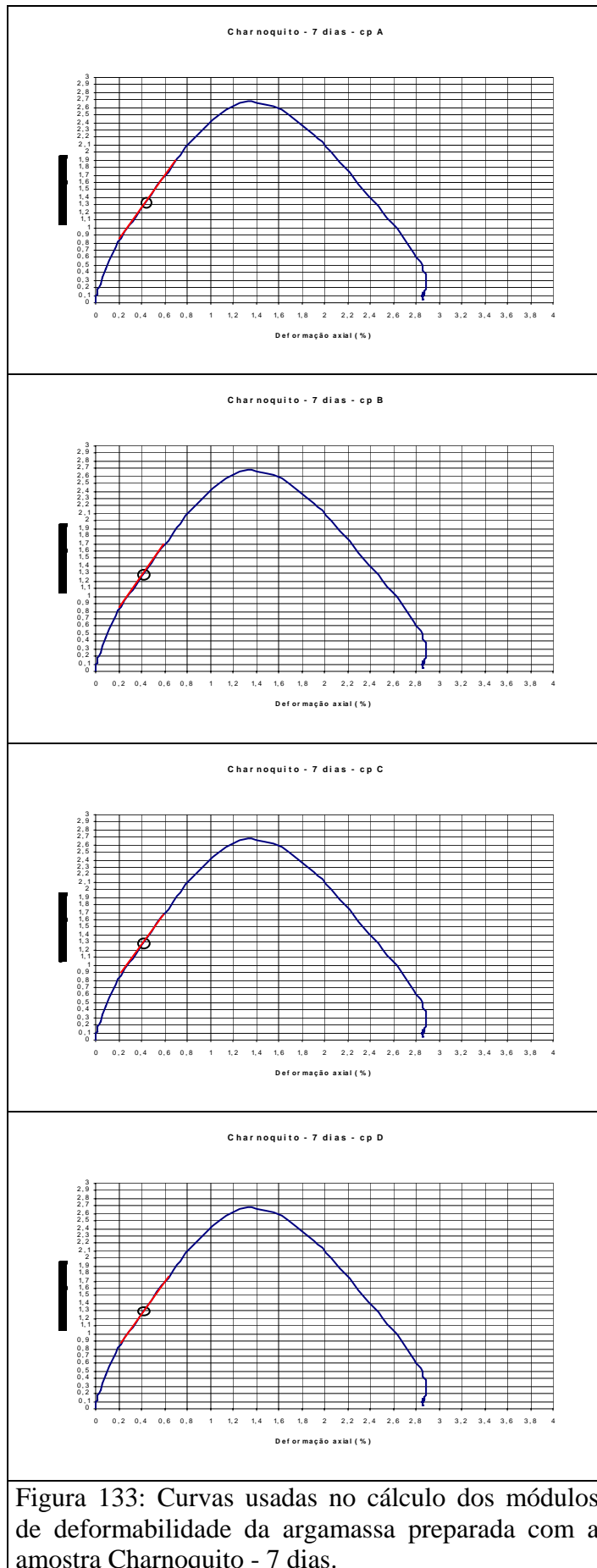


Figura 133: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 7 dias.

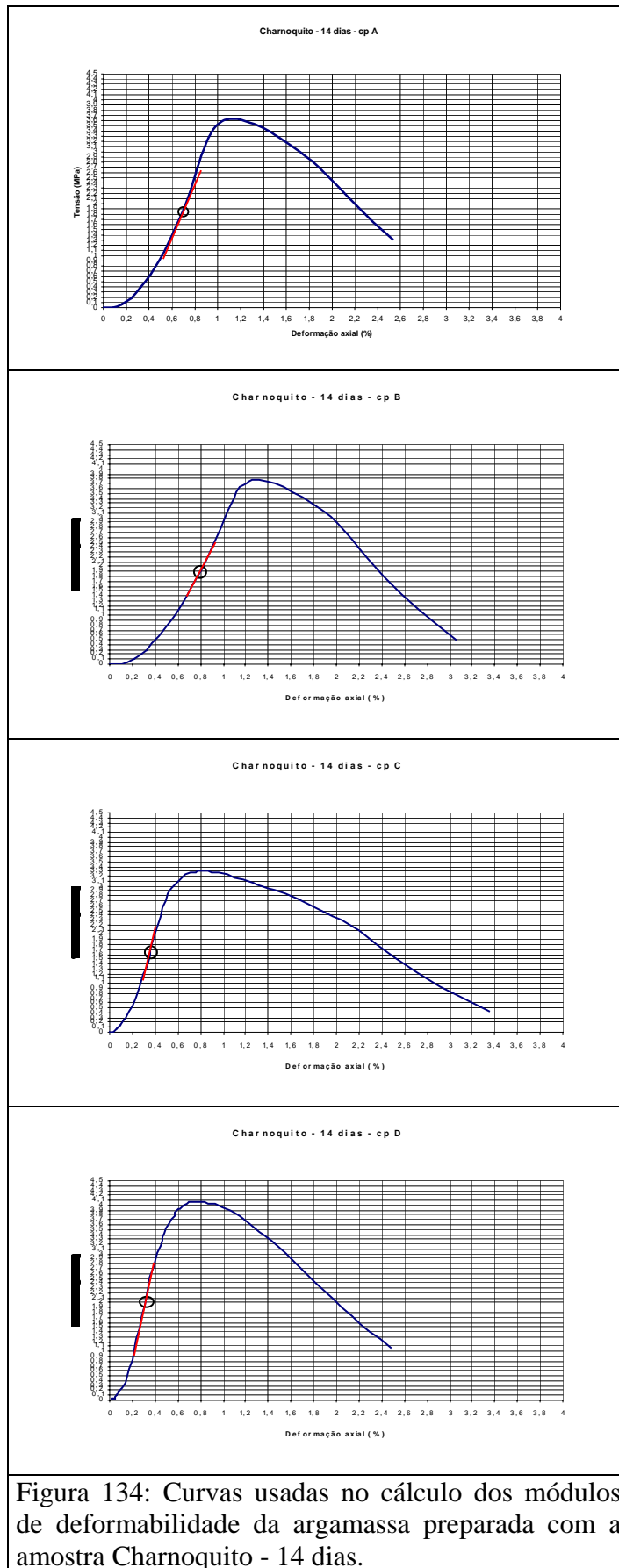


Figura 134: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 14 dias.

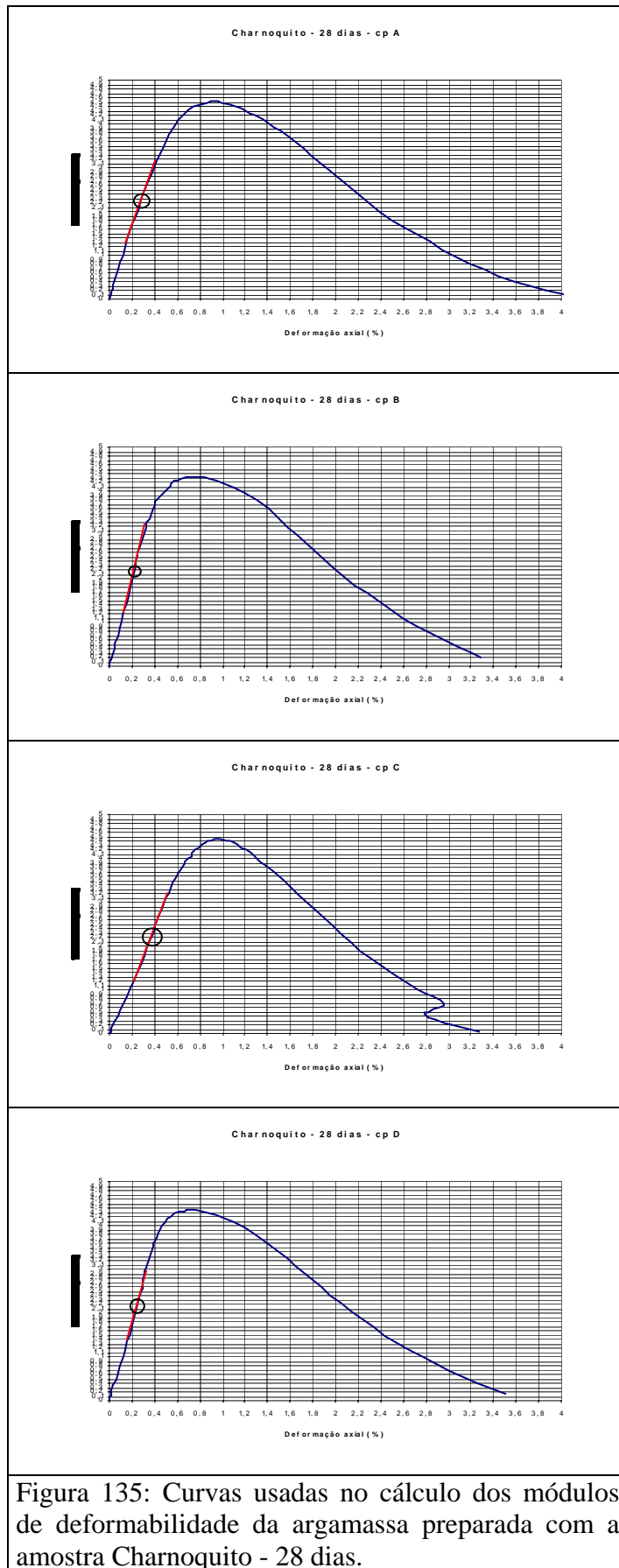


Figura 135: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Charnoquito - 28 dias.

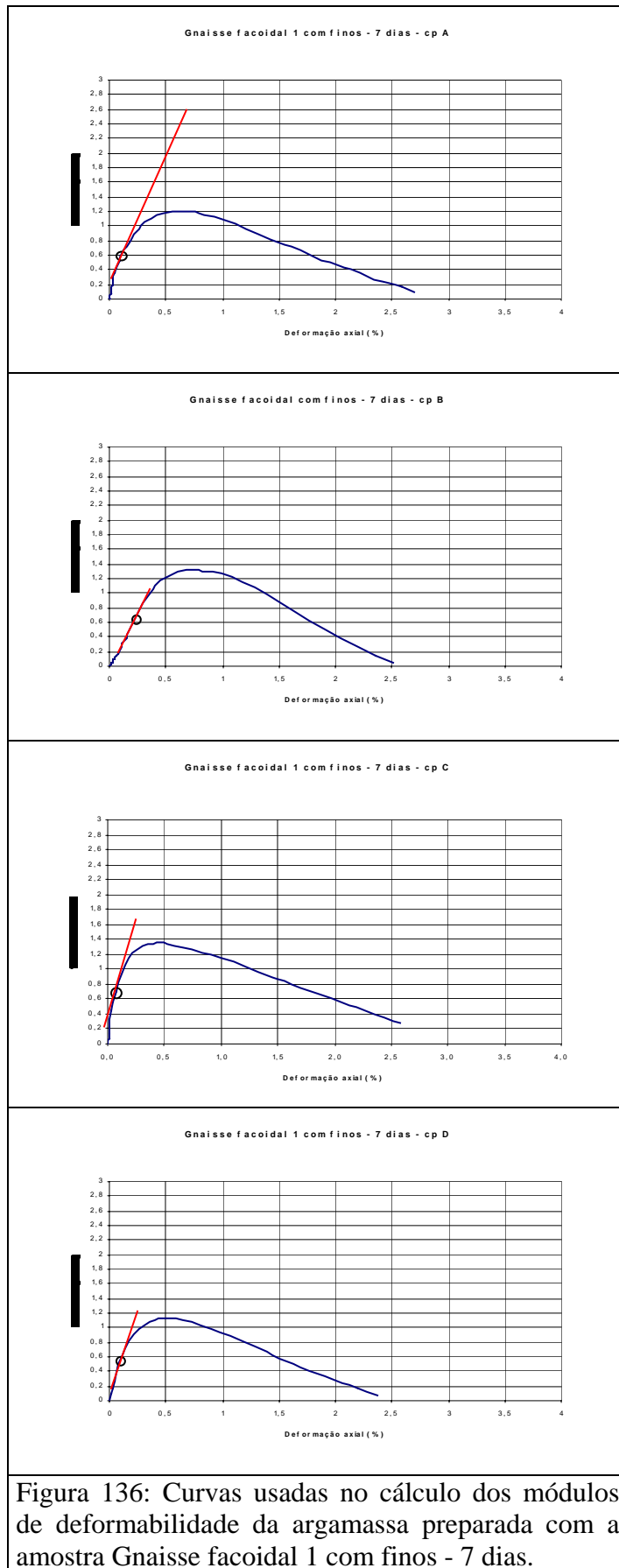


Figura 136: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 1 com finos - 7 dias.

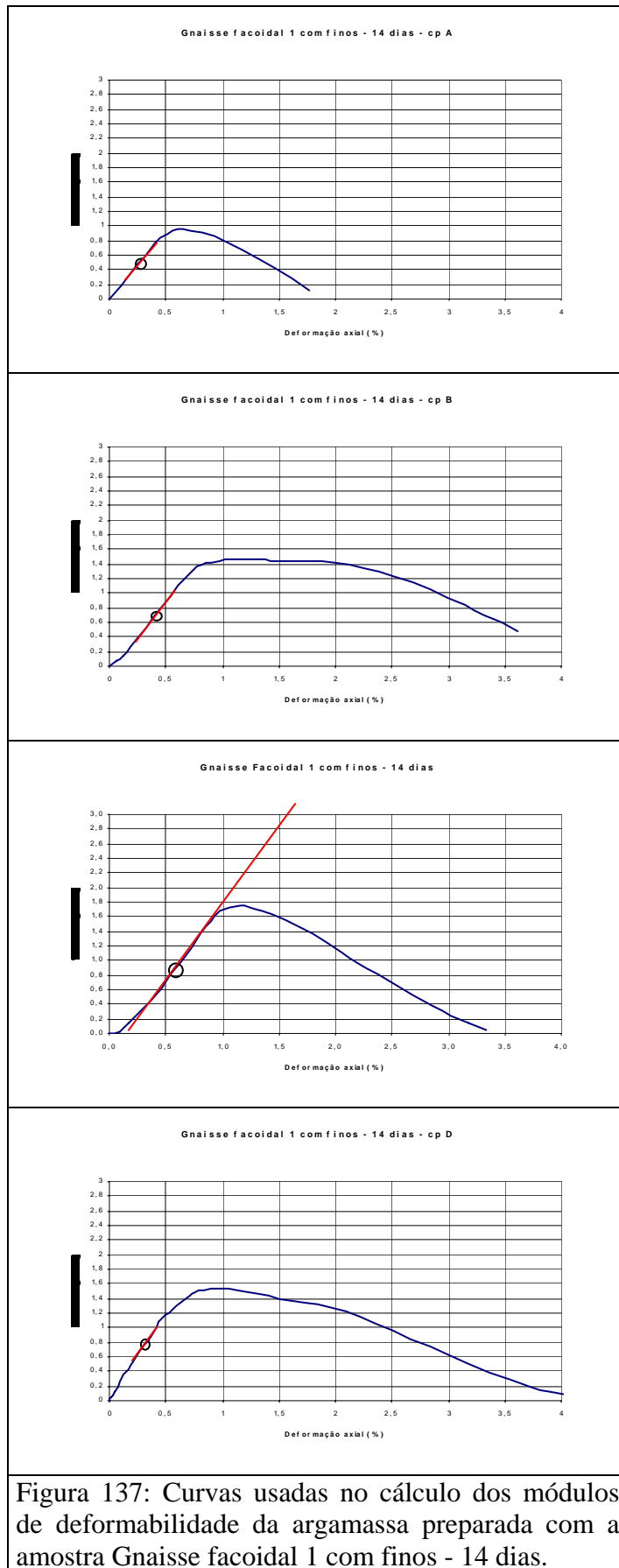


Figura 137: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 1 com finos - 14 dias.

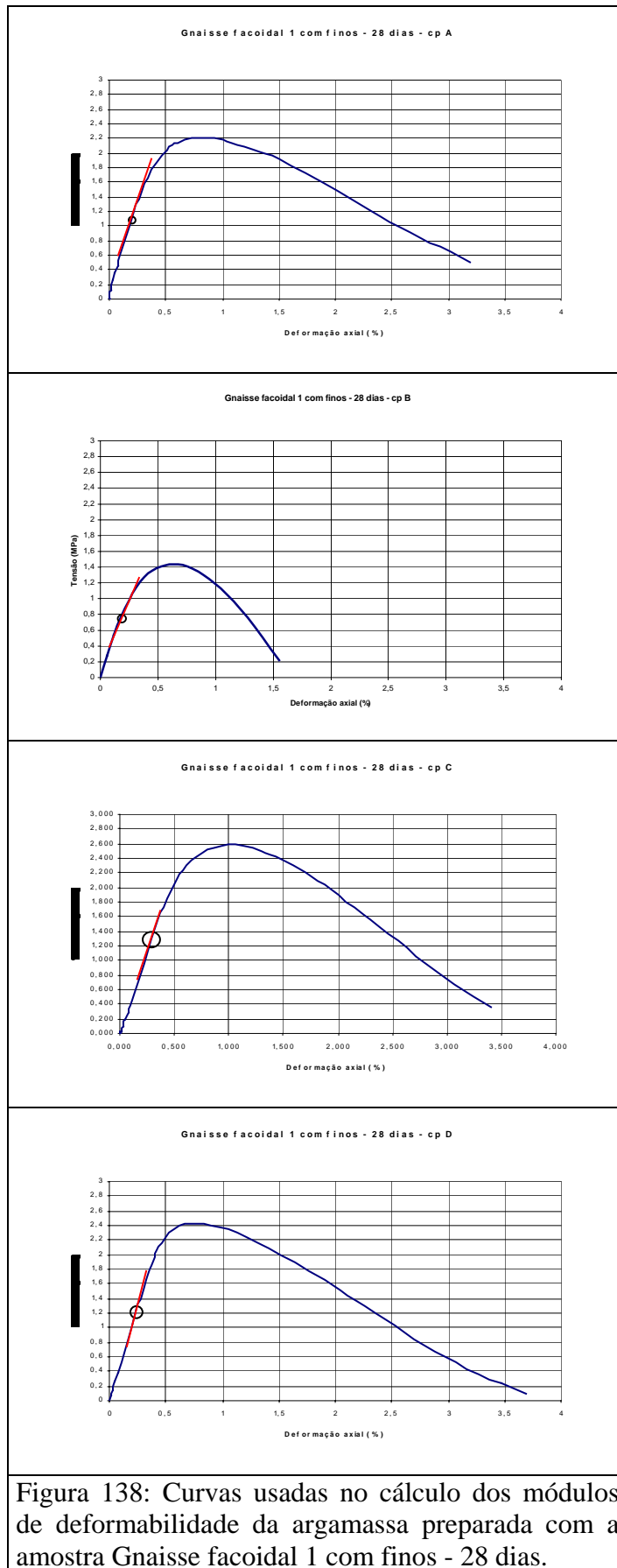


Figura 138: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaisse facoidal 1 com finos - 28 dias.

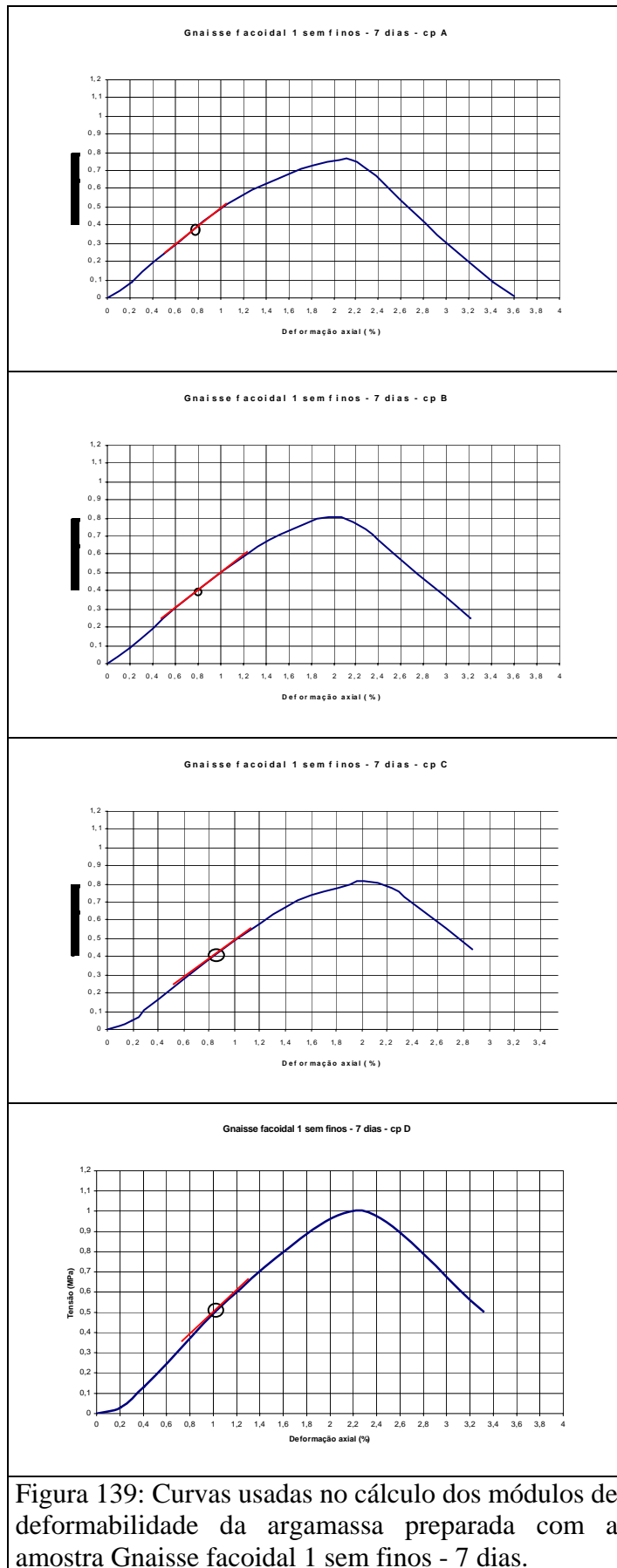


Figura 139: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaise facoidal 1 sem finos - 7 dias.

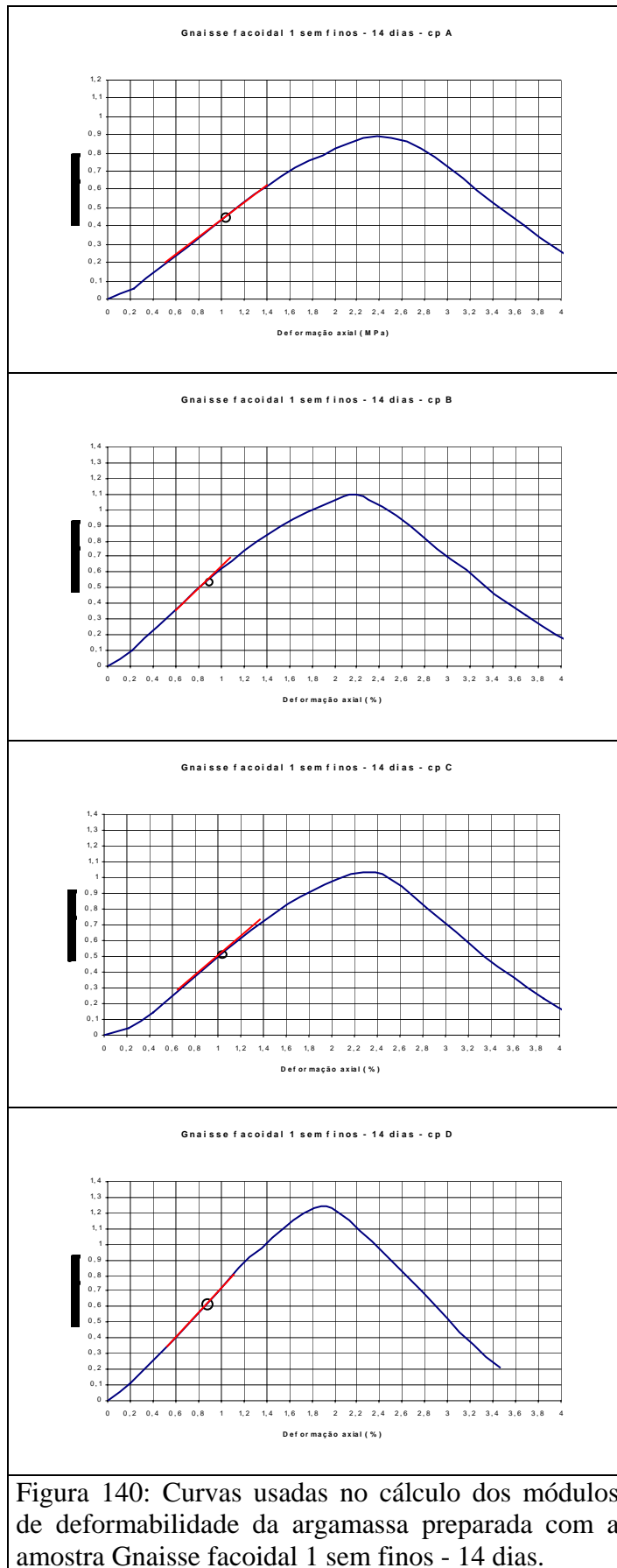


Figura 140: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 1 sem finos - 14 dias.

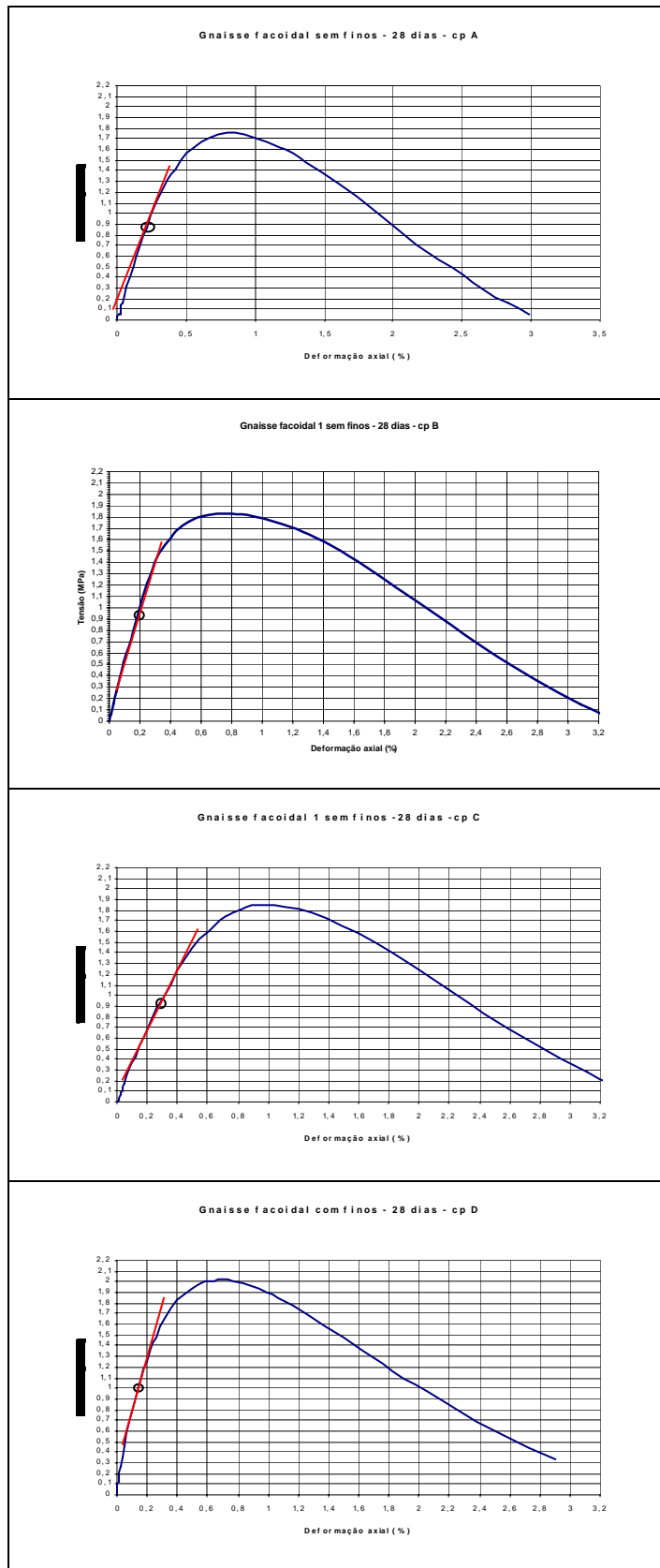


Figura 141: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 1 sem finos - 28 dias.

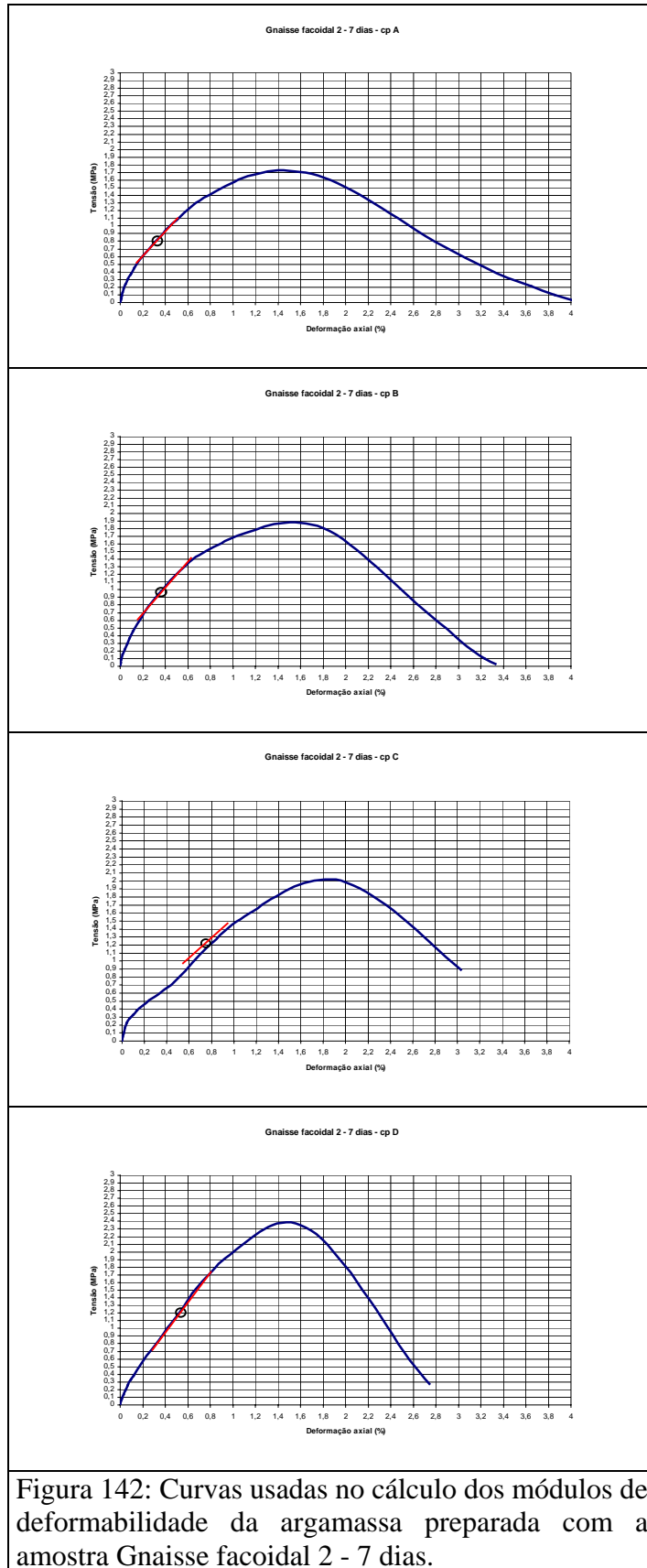


Figura 142: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaíse facoidal 2 - 7 dias.

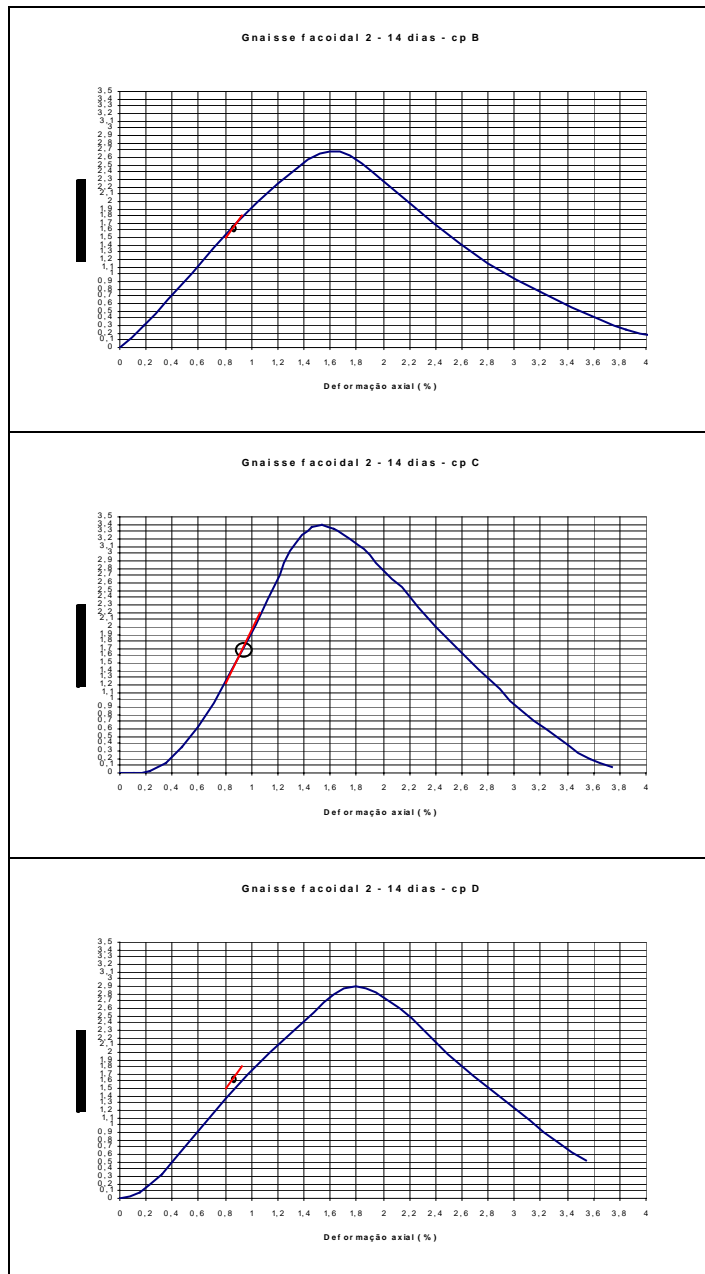


Figura 145: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 2 - 14 dias.

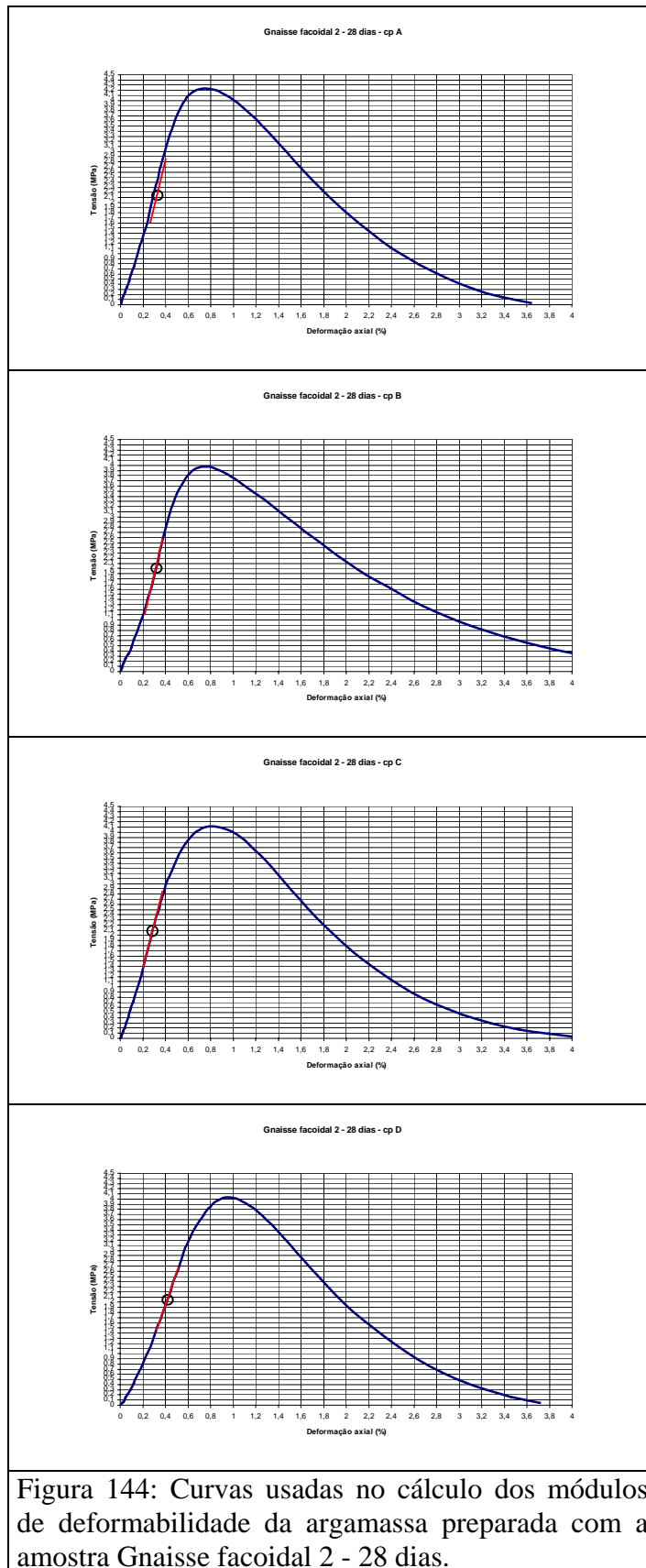


Figura 144: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Gnaiss facoidal 2 - 28 dias.

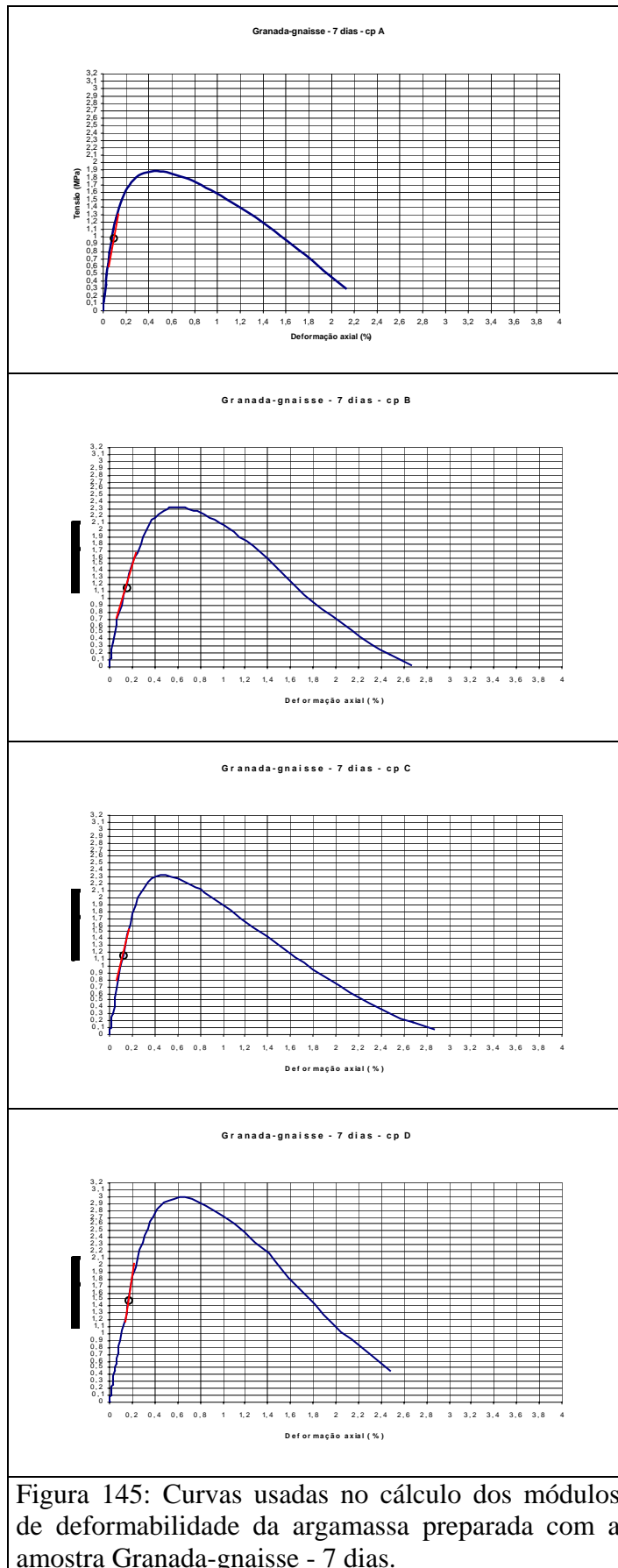


Figura 145: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada-gnaise - 7 dias.

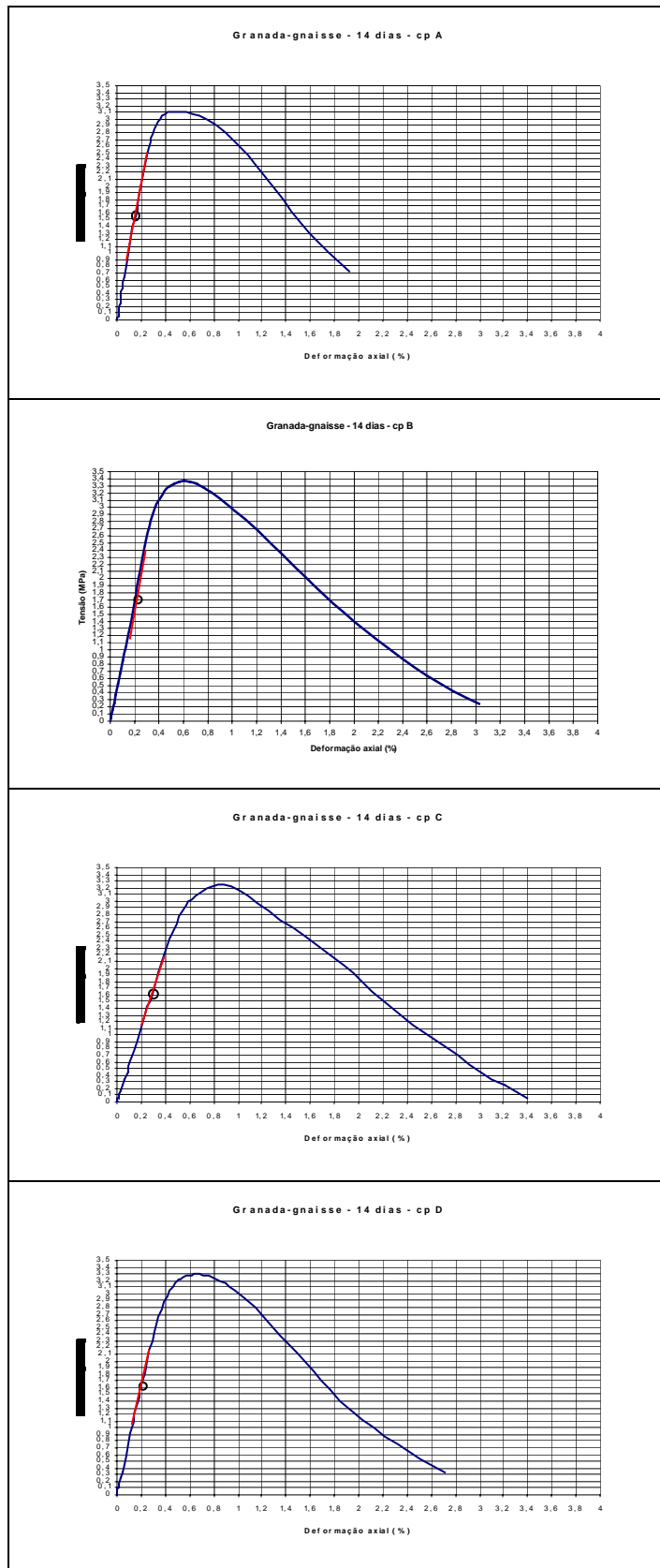


Figura 146: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada-gnaiss - 14 dias.

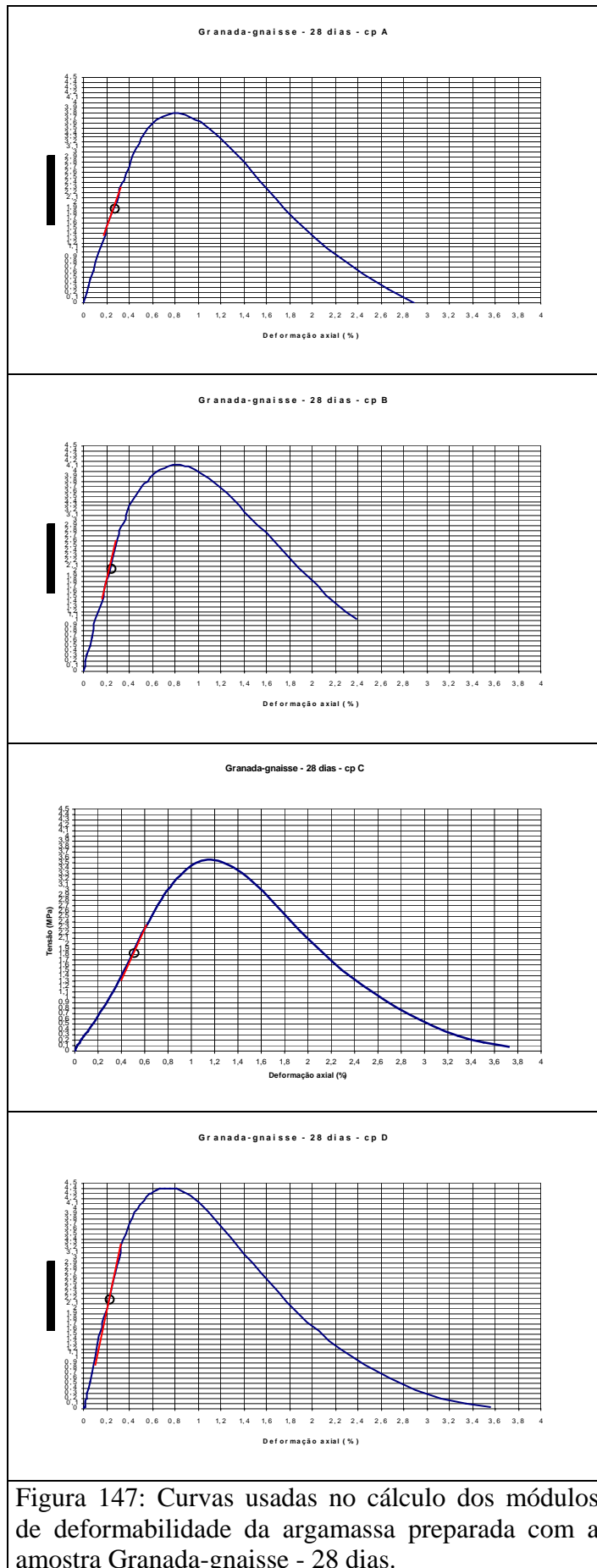


Figura 147: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granada-gnaise - 28 dias.

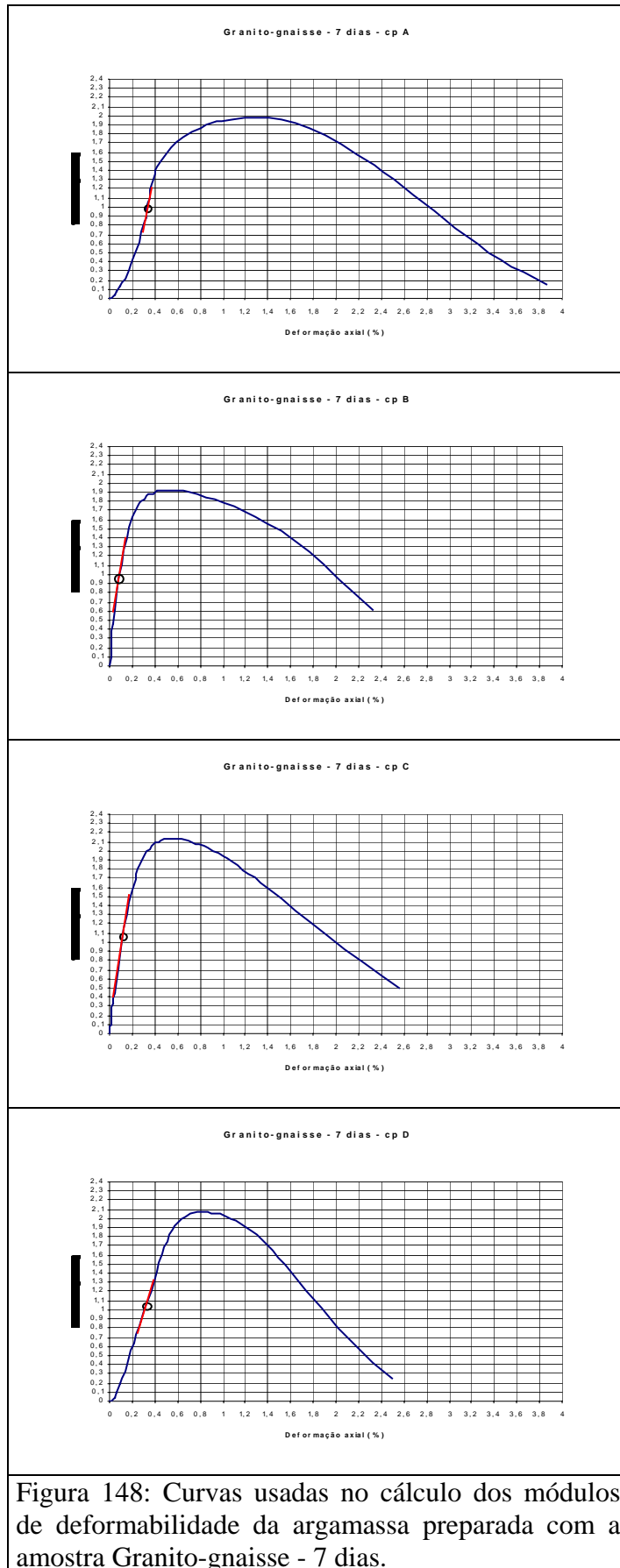


Figura 148: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito-gnaise - 7 dias.

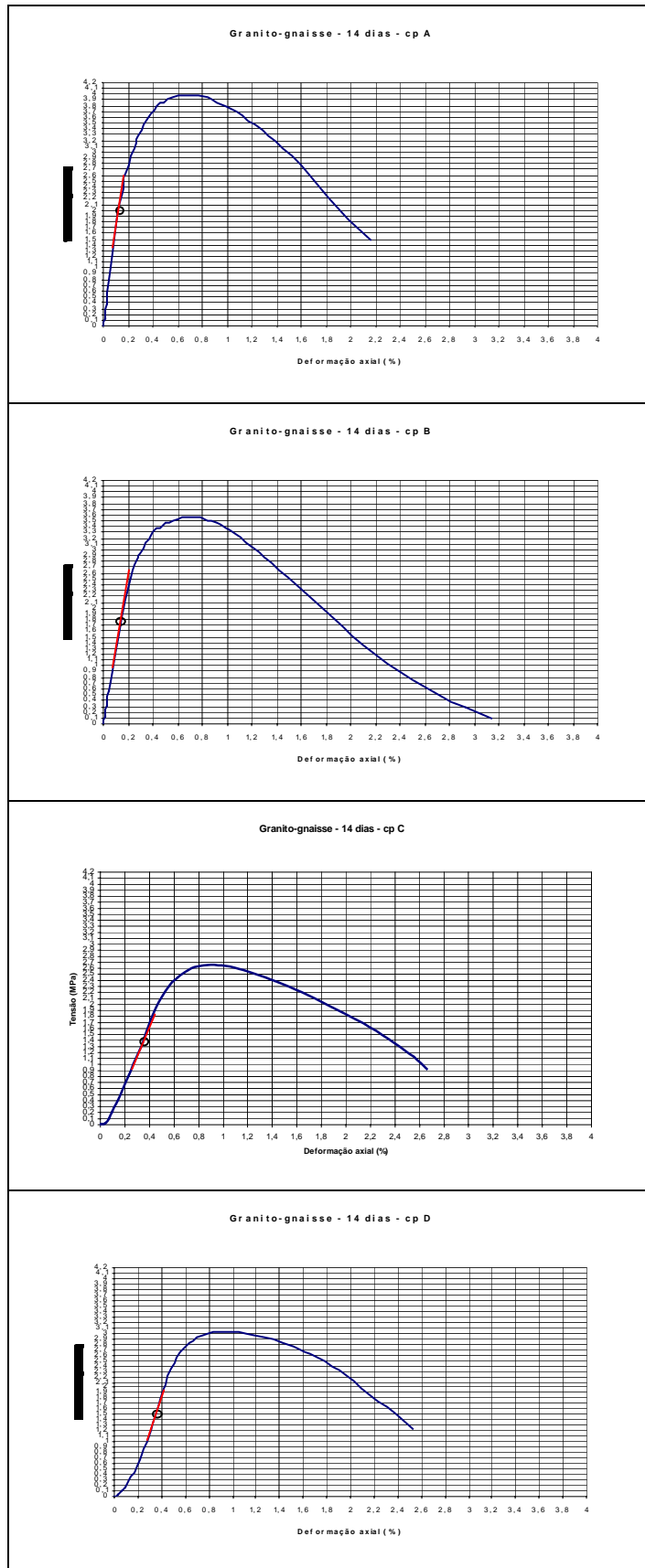


Figura 149: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito-gnaiss - 14 dias.

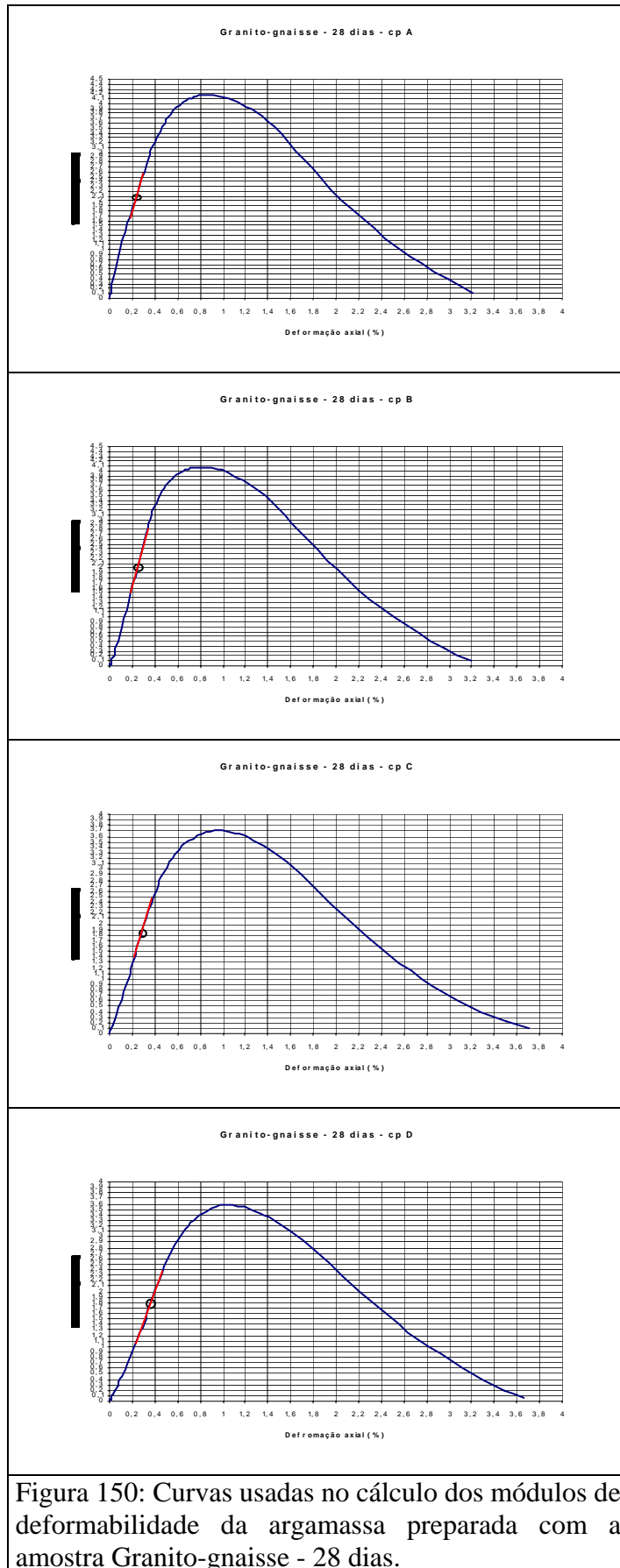


Figura 150: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Granito-gnaiss - 28 dias.

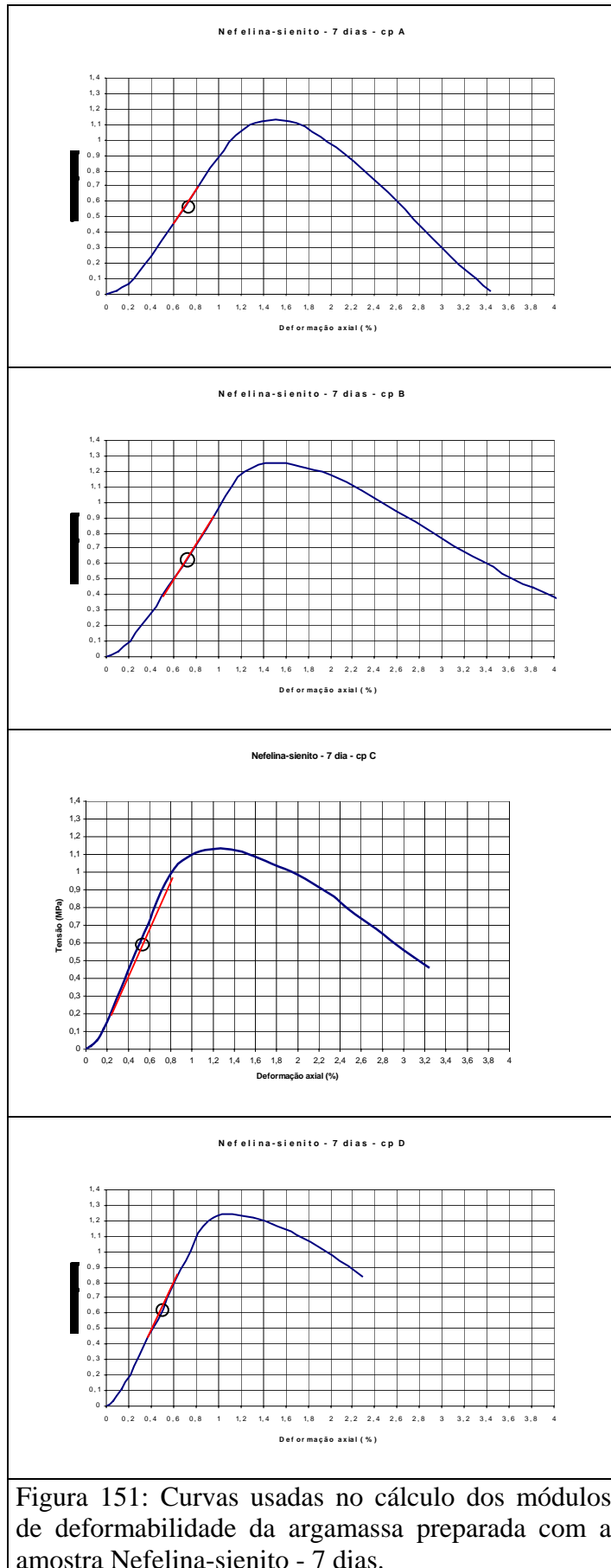


Figura 151: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 7 dias.

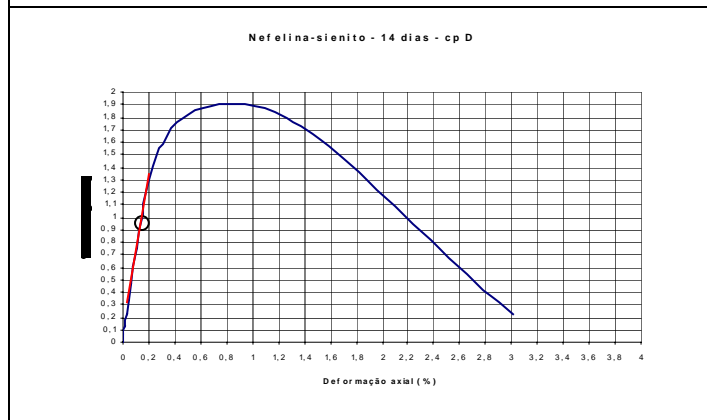
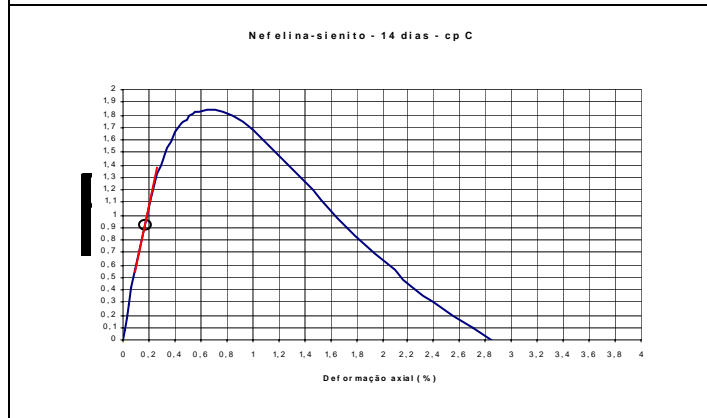
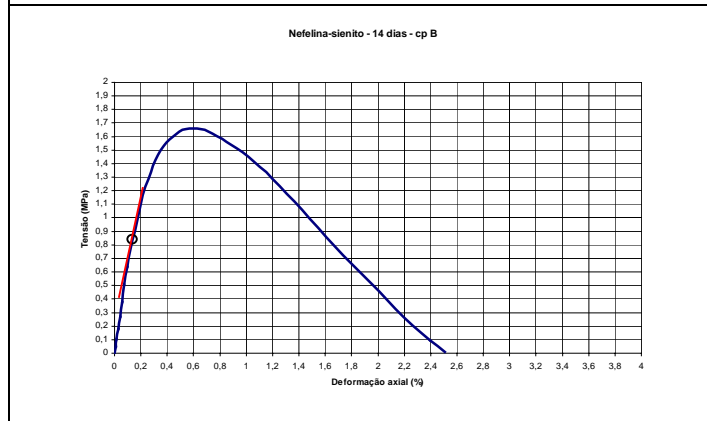
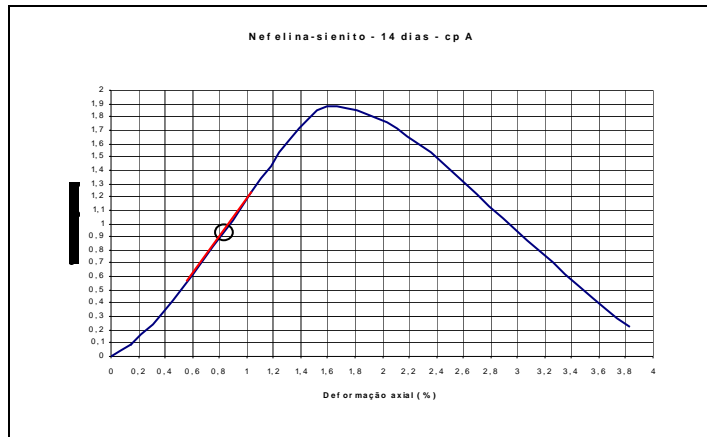


Figura 152: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 14 dias.

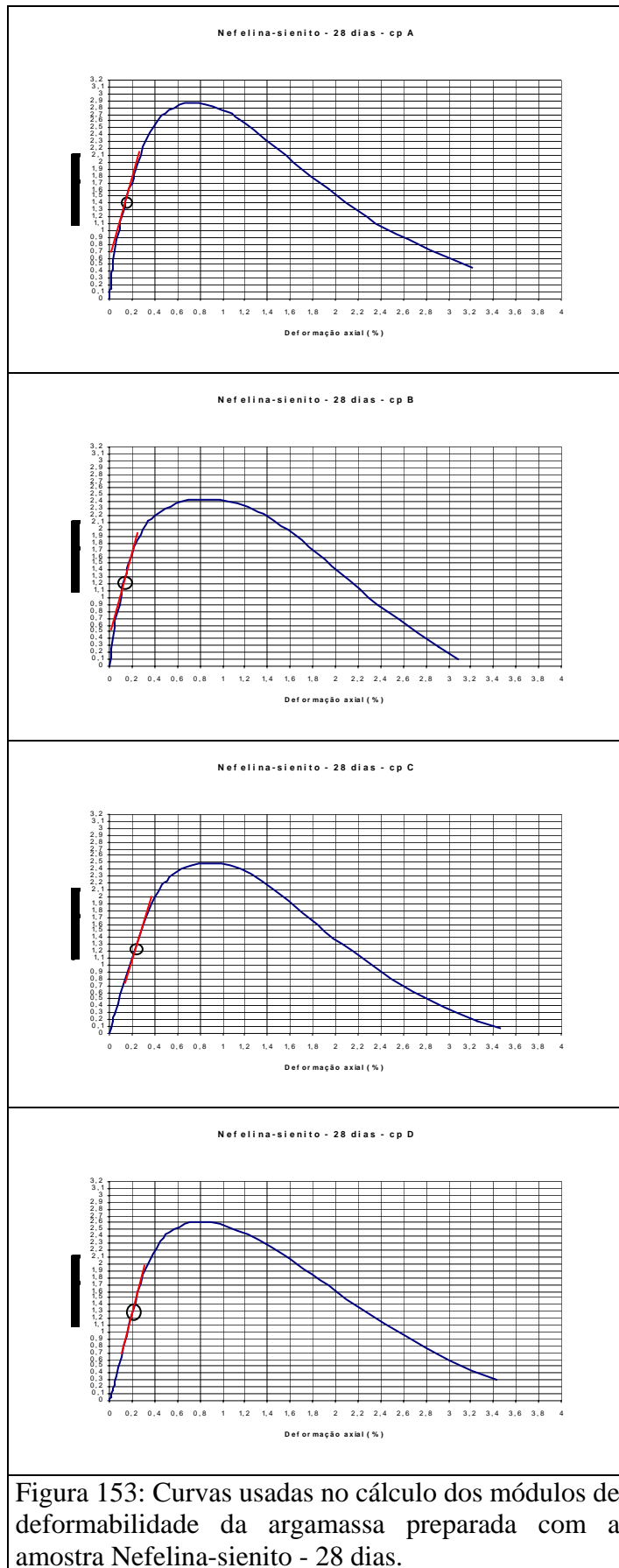


Figura 153: Curvas usadas no cálculo dos módulos de deformabilidade da argamassa preparada com a amostra Nefelina-sienito - 28 dias.

**ANEXO VI:
TABELA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS MÓDULOS DE
DEFORMABILIDADE**

Tabela 25: Valores obtidos para os módulos de deformabilidade para todos os corpos de prova

Amostra	7 dias				14 dias				28 dias				
	E (MPa)	X	σ	C_0 (%)	E (Mpa)	X	σ	C_0 (%)	E (MPa)	X	σ	C_0 (%)	
Areal 1	A	2,91	2,39	0,66	27,63	117,50	35,63	7,95	22,33	37,50	93,13	75,37	80,93
	B	1,65				30,00				53,33			
	C	2,62				41,25				203,33			
	D									78,33			
Areal 2	A	5,45	8,91	5,09	57,05	134,00	99,17	60,06	60,56	14,29	57,53	36,82	63,99
	B	5,00				165,00				40,00			
	C	16,00				59,00				83,33			
	D	9,20				38,67				92,50			
Charnoquito	A	210,00	213,33	4,71	2,21	520,00	762,50	341,22	44,75	710,00	873,75	205,24	23,49
	B	220,00				450,00				1080,00			
	C	210,00				1020,00				685,00			
	D	213,33				1060,00				1020,00			
Gnaisse facoidal 1 com finos	A	333,33	404,17	94,40	23,36	179,21	200,01	14,11	7,05	440,00	444,17	71,04	15,99
	B	325,00				203,69				350,00			
	C	525,00				207,14				466,67			
	D	433,33				210,00				520,00			
Gnaisse facoidal 1 sem finos	A	50,00	51,56	2,57	4,99	47,50	63,50	12,31	19,38	348,00	394,00	95,19	24,16
	B	49,23				65,00				452,00			
	C	52,00				64,00				284,00			
	D	55,00				77,50				492,00			
Gnaisse facoidal 2	A	165,00	170,83	22,79	13,34		225,00	103,92	46,19	920,00	837,50	146,60	17,50
	B	173,33				165,00				930,00			
	C	145,00				345,00				880,00			
	D	200,00				165,00				620,00			
Granada-gnaisse	A	880,00	807,50	206,46	25,57	980,00	822,50	184,10	22,38	600,00	795,00	303,92	38,23
	B	550,00				950,00				980,00			
	C	760,00				580,00				480,00			
	D	1040,00				780,00				1120,00			
Granito-gnaisse	A	680,00	647,50	178,77	27,61	1400,00	1000,00	466,48	46,65	800,00	732,50	133,51	18,23
	B	720,00				1400,00				880,00			
	C	800,00				520,00				670,00			
	D	390,00				680,00				580,00			
Nefelina-sienito	A	100,00	121,36	26,54	21,87	143,33	538,33	424,04	78,77	600,00	595,42	67,05	11,26
	B	110,00				440,00				666,67			
	C	115,44				430,00				505,00			
	D	160,00				1140,00				610,00			