

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FEIÇÕES PERIGLACIAIS E FÁCIES  
GLÁCIO-TERRESTRES ASSOCIADAS DO  
SUBGRUPO ITARARÉ, NO CENTRO LESTE DO  
ESTADO DE SÃO PAULO.**

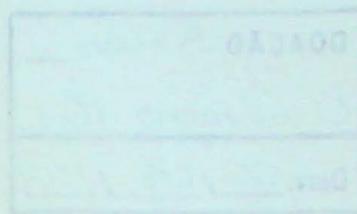
Gabriel Luiz Pérez Vieira

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos  
Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Rocha Campos

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/29)

SÃO PAULO  
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



Feições periglaciais e fácies glacio-terrestres associadas do  
Subgrupo Itararé, no centro leste do Estado de São Paulo.

Gabriel Luiz Pérez Vieira



**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos (GSA)

**Co-orientador:** Prof. Dr. Antônio Carlos Rocha-Campos (GSA)

Monografia de Trabalho de Formatura  
(TF 2003/29)

São Paulo  
2003

DOAÇÃO	Secção
Graduação - 1GIC	
Data:	06/05/2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014579

**FEIÇÕES PERIGLACIAIS E FACIES GLACIO-  
TERRESTRES ASSOCIADAS DO SUBGRUPO  
ITARARÉ, NO CENTRO LESTE DO ESTADO DE  
SÃO PAULO**

**GABRIEL LUIZ PÉREZ VIEIRA**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos

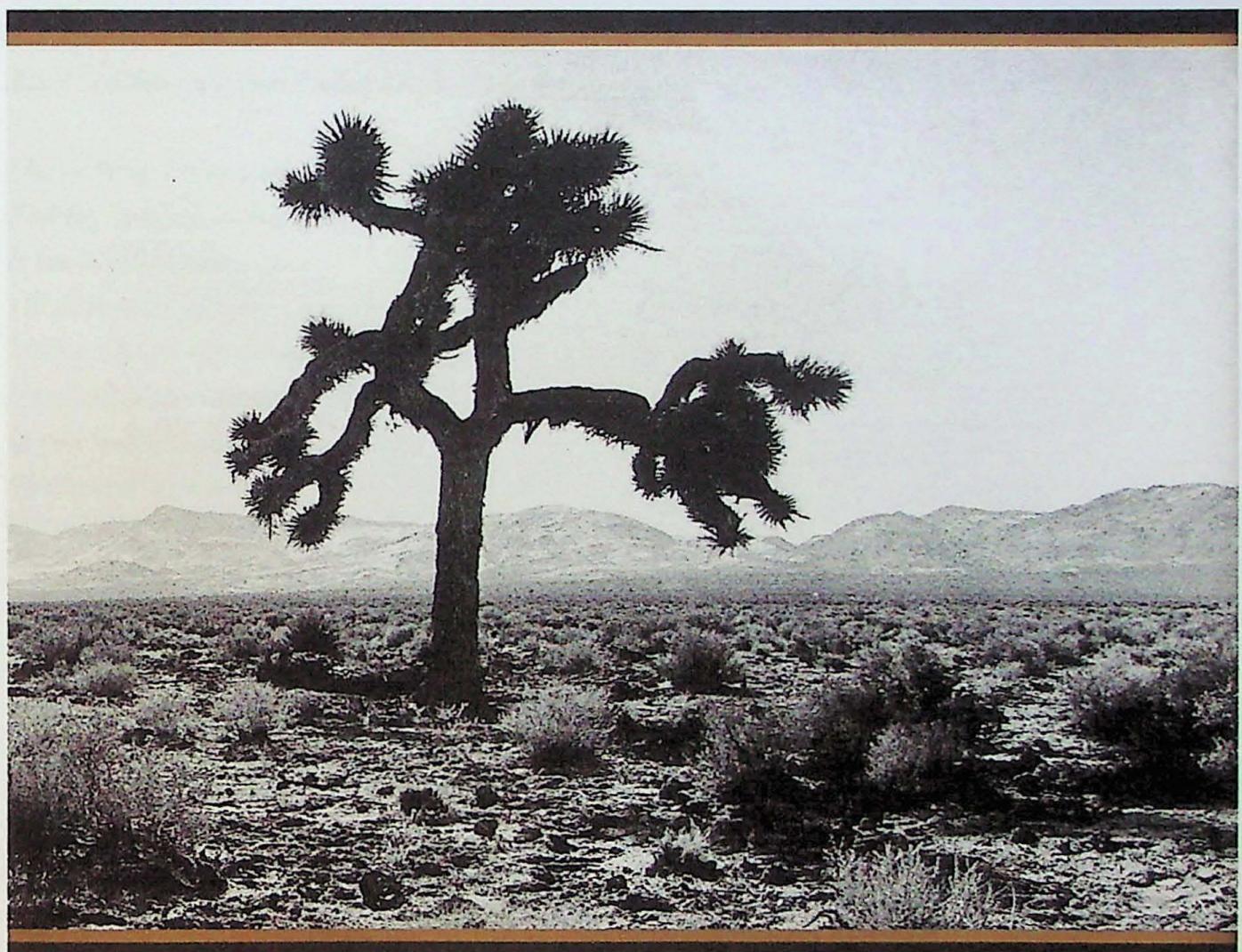
Prof. Dr. José Roberto Canuto

Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

São Paulo

2003

TF  
P438  
GL. f



THE JOSHUA TREE

## *I Still Haven't Found What I'm Looking For*

*I have climbed highest mountain*

*I have run through the fields*

*Only to be with you*

*Only to be with you*

*I have run I have crawled*

*I have scaled these city walls*

*Only to be with you*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*I have kissed honey lips*

*Felt the healing in her fingertips*

*It burned like fire*

*This burning desire*

*I have spoke with the tongue of angels*

*I have held the hand of a devil*

*It was warm in the night*

*I was cold as a stone*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*I believe in the Kingdom Come*

*Then all the colors will bleed into one*

*But yes I'm still running*

*You broke the bonds and*

*You loosed the chains*

*You carried the cross*

*And my shame*

*And my shame*

*You know I believed it*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*But I still haven't found what I'm looking for*

*But I still haven't found what I'm looking for*

Aos meus amados pais, Myriam e Luiz,  
à minha irmã Denise,  
aos meus avós,  
pelo amor, estímulo, dedicação, incentivo, confiança  
incondicionais em todos os momentos.

***DEDICO...***

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, meu Pai Eterno, pelo dom da vida, pela oportunidade, inspiração e fortalecimento da minha jornada.

Aos meus queridos mentores, pela proteção constante e incansável.

Aos meus pais e familiares pela oportunidade de direcionar a minha escalada em busca do conhecimento.

Ao glorioso Instituto de Geociências - USP, esteio de toda a minha formação profissional e ética, de quem sou eterno filho, o meu mais puro sentimento de satisfação, orgulho e profundo agradecimento.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos e Prof. Dr. Antônio Carlos Rocha-Campos, pela orientação, pelos ensinamentos profissionais, pela amizade e pela acolhida.

Aos professores Dr. Paulo César Fonseca Giannini e Dr. José Roberto Canuto, pela amizade, pela acolhida e pelo incentivo à pesquisa.

Aos colegas Geólogos Msc. Alexandre Tomio e Rodrigo Perino Salvetti, pela colaboração, e por acreditarem no meu trabalho, incentivando-me em todos os instantes.

Aos funcionários e técnicos dos Laboratórios de Sedimentologia e de Petrografia Sedimentar, do Instituto de Geociências - USP, pela imprescindível colaboração na realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>vii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>viii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Relevância do Projeto .....	2
<b>2. Área em estudo .....</b>	<b>4</b>
2.1. Localização da Área .....	4
2.2. Geologia regional .....	5
<b>3. Metas e Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Trabalhos Prévios (Levantamento bibliográfico) .....</b>	<b>7</b>
4.1. Periglacial .....	8
4.2. <i>Permafrost</i> .....	9
4.3. Estruturas em cunha ( <i>Ice-wedge cast</i> , <i>Sand wedge</i> e <i>Composite wedge</i> ) .....	10
4.4. <i>Cover Sands</i> .....	11
<b>5. Materiais e Métodos .....</b>	<b>12</b>
<b>6. Desenvolvimento do Trabalho .....</b>	<b>12</b>
6.1. Cronograma Proposto .....	12
6.2. Atividades realizadas no período .....	13
6.3. Avaliação do progresso do Projeto (em função do escopo, cronograma e metodologia originalmente propostos, e dificuldades encontradas) .....	15
<b>7. Resultados Obtidos .....</b>	<b>16</b>
7.1. Resultados das análises granulométricas .....	16
7.1.1. Metodologia / Processo .....	16
7.1.2. Tratamento dos resultados .....	17
7.1.3. Comparação e agrupamento das amostras .....	21
7.2. Resultados das análises de arredondamento e esfericidade .....	23
7.2.1. Metodologia / Processo .....	23
7.2.1.1. Problemática .....	24
7.2.2. Tratamento dos resultados .....	26
7.2.3. Comparação e agrupamento das amostras .....	27
7.3. Descrição da montagem e análise do painel fotográfico do perfil B .....	27
7.4. Resultados das análises das lâminas petrográficas .....	29
7.4.1. Metodologia / Processo .....	29
7.4.2. Descrição e resultados obtidos .....	29
7.5. Resultado da análise morfoscópica dos clastos associados às litofácies presentes .....	30
7.6. Resultados das análises de dosagem de carbonato por ataque ácido .....	30

7.7. Resultados das análises de dosagem de matéria orgânica por ataque com peróxido de hidrogênio a quente .....	31
<b>8. Interpretação / Discussão dos Resultados .....</b>	<b>31</b>
8.1. Estratigrafia .....	31
8.2. Discussão / Interpretação dos resultados obtidos .....	33
8.2.1. Integração dos dados sedimentológicos (granulometria, arredondamento e esfericidade) e caracterização ambiental dos sedimentos .....	33
8.2.2. Origem das estruturas do Perfil B .....	36
8.2.3. Interpretação da lâmina petrográfica .....	36
8.2.4. Interpretação dos clastos .....	37
8.3. Origem .....	38
<b>9. Conclusões .....</b>	<b>40</b>
<b>10. Referências Bibliográficas Consultadas .....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>I</b>
Gráficos dos resultados das análises de granulometria .....	II
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>XXVII</b>
Fotos das amostras para estudo de arredondamento e esfericidade .....	XXVIII
<b>Anexo 3 .....</b>	<b>XXXI</b>
Gráficos dos resultados das análises de arredondamento e esfericidade .....	XXXII
<b>Anexo 4 .....</b>	<b>L</b>
Resultados obtidos das análises de arredondamento e esfericidade .....	LI
<b>Anexo 5 .....</b>	<b>LIX</b>
Painel fotográfico, interpretação e fotos em detalhe do Perfil B .....	LX
<b>Anexo 6 .....</b>	<b>LXIV</b>
Fotos das lâminas petrográficas .....	LXV
<b>Anexo 7 .....</b>	<b>LXVIII</b>
Fotos dos clastos .....	LXIX

## **Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> Diagrama do afloramento do km 111 da Rodovia Castelo Branco .....	3
<b>Figura 2</b> Localização da área de estudo no Estado de São Paulo .....	4
<b>Figura 3</b> Localização da área, Km 111 da rodovia Castelo Branco – São Paulo .....	5
<b>Figura 4</b> Termos usados para descrever o estado da água em relação à temperatura de ponto de congelamento do substrato .....	9
<b>Figura 5</b> Relação entre <i>permafrost</i> , platô do <i>permafrost</i> , camada ativa e taliks supra, intra- e sub- <i>permafrost</i> .....	10
<b>Figura 6</b> Perfil estratigráfico preliminar da área .....	14
<b>Figura 7</b> Curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos .....	22
<b>Figura 8</b> Curvas acumulativas típicas de <i>cover sands</i> (a) e <i>loess</i> (b) .....	22
<b>Figura 9</b> Graus de arredondamento .....	24
<b>Figura 10</b> Escala de comparação visual de graus de esfericidade .....	25
<b>Figura 11</b> Coluna estratigráfica preliminar da área .....	32

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1</b> Teor em porcentagem de carbonato nas amostras coletadas .....	30
<b>Tabela 2</b> Teor em porcentagem de matéria orgânica nas amostras coletadas .....	31
<b>Tabela 3</b> Variação anual de temperatura em regiões com clima periglacial atual .....	38

## Resumo

Este trabalho consiste num estudo sobre o ambiente periglacial desenvolvido no centro leste do Estado de São Paulo durante o Neopaleozóico (Subgrupo Itararé), e a possibilidade de correlação entre as feições periglaciais e fácies glaciais descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977) com os novos dados de análises sedimentológicas e as novas estruturas descobertas neste trabalho.

As feições periglaciais e fácies glacial se encontram numa discordância erosiva, entre dois diamictitos superpostos e separados por um pavimento de clastos. Corpos de arenito acanalados, arenito lenticulares e arenito conglomerático misturado com diamictitos ocorrem no topo do diamictito inferior ou envolvidos pelo mesmo, a partir da superfície de discordância. Alguns dos clastos associados ao pavimento de clastos apresentam-se partidos por séries de fraturas paralelas ou obliquas, e por vezes possuem aspecto de ventifacts. A oscilação congelamento-degelo ou apenas o congelamento da água presente nos poros e planos de fraqueza, provavelmente, teria sido a causa do fraturamento observado nos clastos. Análises sedimentológicas dos sedimentos constituintes destes corpos arenosos indicam que estes possam ter sofrido retrabalhamento eólico anterior, sendo provavelmente originados de areias de cobertura periglacial.

A geometria aparente desses corpos, as estruturas internas e as relações de contato são sugestivas de preenchimento de canais proglaciais superficiais escavados sobre o antigo diamictito por ação de correntes flúvio-glaciais. Posteriormente, estes sedimentos de lavagem proglacial foram deformados subglacialmente (glaciotectônismo) pelo deslocamento de geleira em seu ulterior avanço.

## **Abstract**

*This work consists of a study about the periglacial environment developed in the center east of the State of São Paulo, during the Neopalaeozoic (Itararé Subgroup) and the possibility of correlation between the periglacial patterns and glacial facies described by Rocha-Campos et al. (1977) with the new sedimentologic analyses data and the new structures discovered in this work.*

*Periglacial patterns and glacial facies are observed in an erosive discordation, between two diamictites superranks and separated also by a clast pavement. Channel sandstones bodies, lenticular sandstone and mixed pebbly sandstone with diamictites occur in the top of the inferior diamictite or are involved by it, from the discording surface. Some of the clasts associated to the clast pavement are cracked in a series of parallel or obliquous fractures, others looks like ventifacts. The oscillation freezing-thawing or only the freezing of the water in the pores and plans of weakness, probably would have been the cause of the fracturing observed in the clasts. Sedimentologic analyses of the sandy lenses sediments indicate that they can have presented a previous aeolian reworkment, being probably periglacial covering sands.*

*The apparent geometry of these bodies, the internal structures and the relations of contact are suggestive of fulfilling of proglacial canals, excavated on the elder diamictite by fluvio-glacial chain action. Later, these sediments of proglacial outwash were deformed subglacially (glaciotectonism) by the glacier displacement in its later advance.*

## 1. Introdução

A identificação de feições periglaciais no registro glacial pré-pleistocênico encerra considerável controvérsia. Várias das ocorrências descritas na literatura foram contestadas e alternativamente atribuídas a origem diversa. Um exemplo clássico dessa questão, e discutido por Spencer (1985), diz respeito às feições periglaciais associadas a diamictitos da Formação Port Askaig (Proterozóico Tardio) da Escócia e leste da Groenlândia.

Spencer (1985) identificou uma série de cunhas de areia cortando verticalmente diamictitos e conglomerados da Formação Port Askaig, atribuindo-as a condições deposicionais subáreas, em ambiente subglacial. A ausência de pavimentos estriados e de superfícies de erosão glacial foi interpretada pelo autor como indicativa de geleira de base fria (i. e., não deslizante e, portanto, incapaz de erodir o substrato). Eyles e Clark (1985), por sua vez, apontaram várias evidências sedimentológicas sugestivas de deposição da Formação Port Askaig em condições glácia-marinhais distais. Segundo os autores, estruturas do substrato, tipos de contatos, formas de relevo e sedimentos associados, e características morfológicas de deposição por geleira terrestre estão ausentes na Formação Port Askaig. As estruturas poligonais irregulares, arenitos dobrados e cunhas de areia tidos por Spencer (1985) como gerados em solo perenemente congelado (*permafrost*), foram atribuídas por Eyles e Clark (1985) à deformação sindeposicional de sedimentos inconsolidados, resultante de fluxo gravitacional de massa, subaquático, possivelmente acionado por sismos.

O caso acima ilustra algumas das dificuldades envolvidas na identificação de depósitos e estruturas periglaciais fósseis. Além da morfologia e sedimentologia, a caracterização do contexto paleoambiental geral dos sedimentos associados em que se inserem é essencial para sua correta diagnose. Esta adiciona importantes elementos ao entendimento das condições ambientais em que ocorreu a deposição dos sedimentos glaciogênicos, documentando a ocorrência de condições terrestres.

Com respeito ao Subgrupo Itararé (neopaleozóico) da Bacia do Paraná, há poucas referências à ocorrência de estruturas possivelmente formadas sob condições periglaciais.

Washburne (1930) ilustra, sem comentar, estruturas cuneiformes de arenito cortando verticalmente diamictito em afloramentos situados junto a Buri, SP. Feições semelhantes atribuídas a preenchimento de crevasses (sic.) abertas em solo perenemente congelado (*permafrost*), foram descritas por Frakes *et al.* (1967), em afloramento próximo a Gramadinho, SP (provavelmente o mesmo de Washburne, 1930). As feições associam-se a depósitos de arenito conglomerático interpretados como eskers fósseis. A mesma hipótese de origem dessas feições encontram-se em Rocha-Campos (1967).

Estruturas sob a forma de anticlinais irregulares, verticais e inclinados, ocorrentes em arenitos da Formação Rio do Sul, nas proximidades do km 12 da BR - 116, em Santa

Catarina, foram interpretados por Canuto (1985) e Rocha-Campos e Canuto (1984) como semelhantes a involuções periglaciais (crioturbação) que se formam em solo perenemente congelado (Washburne, 1973).

A ocorrência mais importante de possíveis estruturas periglaciais no Subgrupo Itararé foi, entretanto, descrita há 25 anos por Rocha Campos *et al.* (1977), em cortes da rodovia SP-280 (Castelo Branco), na parte média do Subgrupo Itararé, centro-leste do Estado de São Paulo. Recente revisão constatou que os afloramentos originais em que este estudo se baseou encontram-se hoje praticamente destruídos. Outros cortes de estrada de rodagem contíguas exibem, entretanto, um conjunto de fácies, cuja análise preliminar sugeriu poderem corresponder a ambiente terrestre ligado às condições periglaciais descritas por Rocha Campos *et al.* (1977), reforçando a interpretação dos autores sobre a origem dessas rochas (Figura 1). A potencialidade do reexame dessas estruturas torna-se atraente para o esclarecimento de várias questões de geologia Glacial. A interpretação da natureza das estruturas, suas fácies e ambientes sedimentares associados, poderão fornecer importantes elementos para interpretar a paleogeografia regional reinante durante a Glaciação gondvânica.

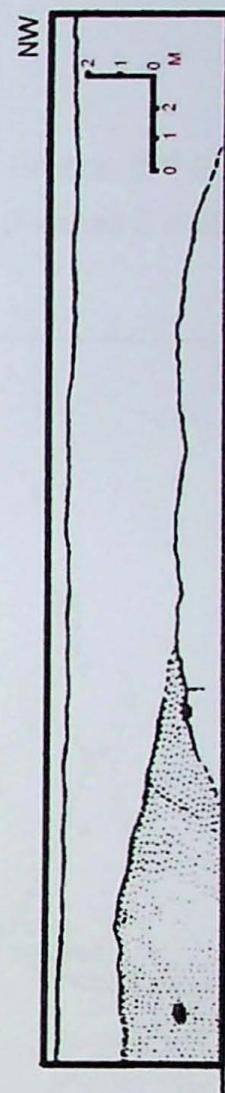
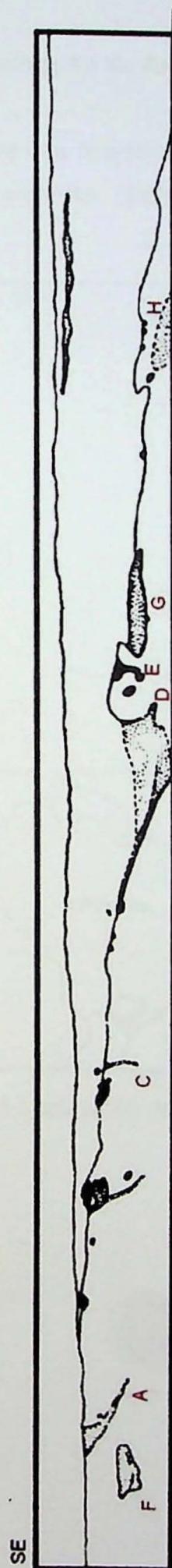
### 1.1. Relevância do Projeto

O exame da literatura sobre glaciações pré-pleistocênicas revela somente referências esparsas a respeito da ocorrência de feições e depósitos característicos do ambiente periglacial.

As feições descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977), indicam a ocorrência pretérita de clima glacial rigoroso na parte nordeste da Bacia do Paraná, durante o neopaleozóico.

O reconhecimento de estruturas e depósitos de natureza periglacial seria, pois, de grande importância para a caracterização mais precisa de ambientes glaciais fósseis, à luz do modelo fornecido pela glaciação cenozóica. Tal investigação é, contudo, dificultada, em grande parte, pelos problemas de preservação de feições periglaciais diagnósticas no registro geológico e, ainda, no que tange à sua discriminação daquelas formadas por processos sedimentares diversos.

A solução deste problema por meio de análise estratigráfica e sedimentológica das rochas visando estabelecer processos e ambientes sedimentares responsáveis pela sua geração, no quadro do sistema deposicional glacial, configura um projeto de pesquisa de conteúdo e extensão adequados para a Disciplina 044-500 - Trabalho de Formatura. A presente pesquisa vincula-se ao Projeto Glaciação neopaleozóica externa à Bacia do Paraná: I. Sudeste e Nordeste do Brasil (Proc. FAPESP. 2000/12125-2).



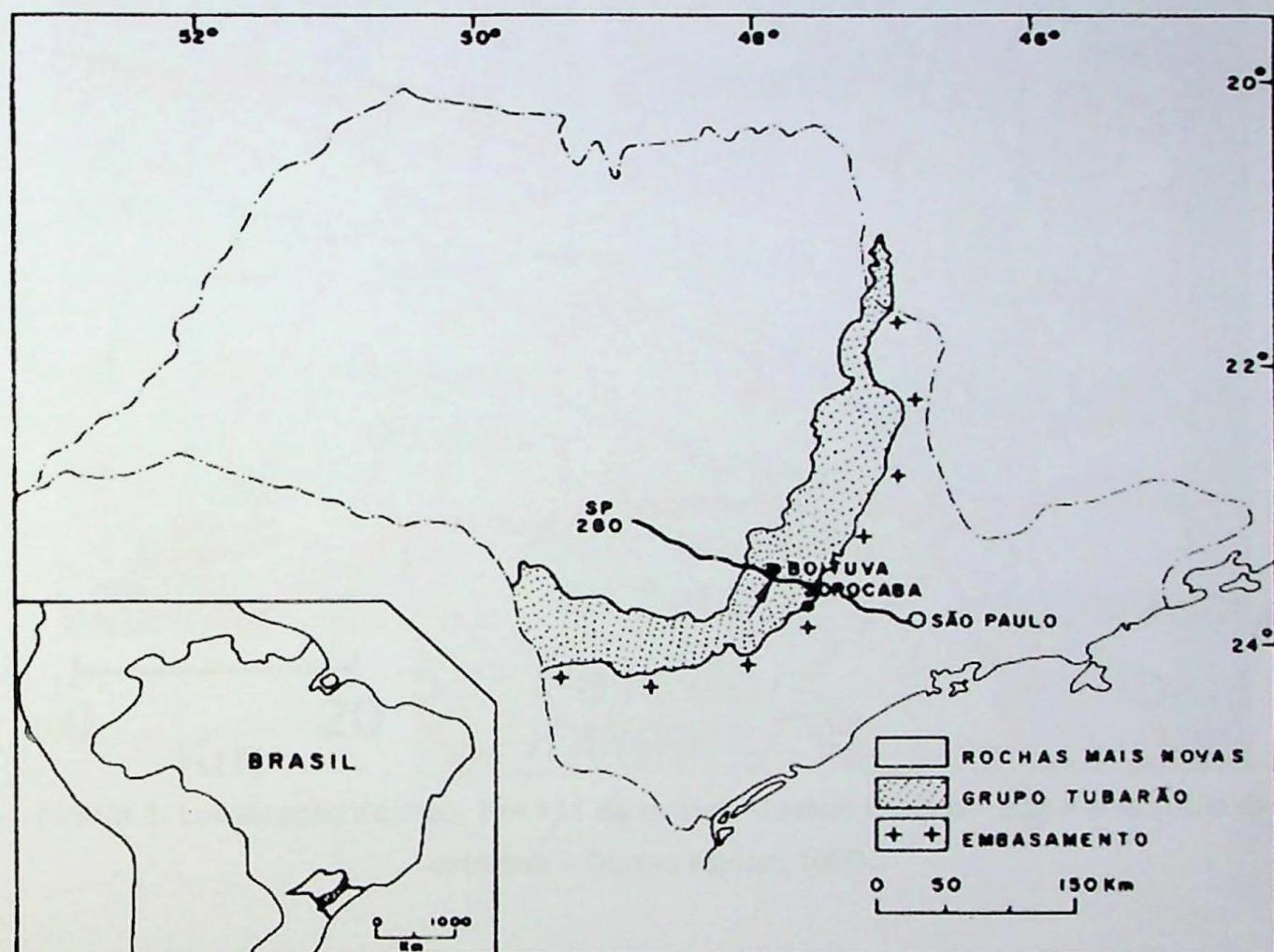
**Figura 1:** Diagrama do afloramento do km 111 da Rodovia Castelo Branco (Rocha-Campos *et al.*, 1977). Explicação:

- branco: diamictito;
- pontilhado: arenito;
- hachurado: clastos;
- linha continua superior: limite inferior do solo;
- linhas contínuas ou tracejadas internas: contatos observados ou extrapolados.
- A, B, C, D e E: estruturas cuneiformes de arenito;
- F, G e H: corpos lenticulares de arenito.

## 2. Área em estudo

### 2.1. Localização da Área

A área em questão localiza-se na rodovia Castelo Branco (SP-280), 100m antes do Km 111 e cercanias, centro leste do Estado de São Paulo (Figuras 2 e 3).



**Figura 2:** Localização da área de estudo no Estado de São Paulo (Rocha-Campos *et al.*, 1977).



Figura 3: Localização da área, Km 111 da rodovia Castelo Branco – São Paulo (Guia de estradas – Quatro Rodas, 1999.)

## 2.2. Geologia regional

O afloramento estudado situa-se, estratigraficamente, na parte média da seção regional do Subgrupo Itararé, cuja espessura, medida ao longo da Rodovia Castelo Branco (SP-280), alcança 880 m.

Os siltitos predominam dentre as litologias que compõem o Subgrupo na área, e, embora sejam encontrados ao longo de toda a pilha sedimentar glaciogênica, incidem, com maior freqüência, na parte média e superior. De um modo geral alcançam espessuras de até 30 metros, são maciços ou finamente estratificados, de coloração amarela / avermelhada, localmente acinzentados, de matriz argilosa, em que as vezes estão dispersos clastos milimétricos a submilimétricos. Inclusões de lentes e delgadas camadas de arenitos finos a médios, amarelados ou avermelhados, feldspáticos, são também verificados.

Os arenitos podem formar corpos independentes ou intercalados nos siltitos, nos diamictitos, nos argilitos e nos próprios arenitos. Podem ser maciços ou estratificados e suas espessuras podem alcançar dezenas de metros quando formam corpos isolados. Toda a série de termos arenosos é encontrada regionalmente, predominando os de granulação fina a média. O grau de seleção varia de um extremo a outro, constatando-se maior incidência de arenitos com seleção moderada. As estruturas sedimentares primárias presentes são: estratificações plano-paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno porte, e gradativa, viveis conglomeráticos.

Os diamictitos exibem-se em corpos de formas variadas, com espessura de até alguns metros. Análises sedimentológicas indicaram que a matriz varia desde areno-argilosa até argilo-siltoso (Santos, 1979). Esta pode ser maciça ou estratificada e a cor predominante é a amarela / avermelhada, localmente acinzentada. Exibem várias estruturas, tais como estratificação milimétrica, inclusões de canais / camadas, corpos esféricos, camadas rompidas e contorcidas e lentes de arenitos médios a grossos, maciços ou estratificados.

Dois tipos diferentes de alternância litológica rítmica podem ser encontrados na região: lâminas de arenito fino ou siltito, amarelo / avermelhado, com argilito cinza esverdeado, e outro de camadas centimétricas de arenito fino com siltito, ambos amarelos / avermelhados. São comuns nessa litologia a presença de seixos isolados, ocorrendo, ainda localmente, intercalações delgadas de diamictitos.

### 3. Metas e Objetivos

O projeto em epígrafe tem como objetivo o estudo de rochas sedimentares do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), aflorantes em cortes no Km 111 da rodovia Castelo Branco, centro leste do Estado de São Paulo.

Parte dos Afloramentos foram anteriormente investigados por Rocha-Campos *et al.* (1977) que descreveram feições interpretadas como pseudomorfos de cunha de gelo associadas a diamictito, indicativas da ocorrência de condições periglaciais, envolvendo condições de temperaturas negativas rigorosas e presença de solo perenemente congelado (*permafrost*), nesta parte da Bacia do Paraná, durante a glaciação do Gondvana. Do ponto de vista paleoambiental, esta interpretação implica ainda na existência de condições glacio-terrestres, durante a deposição das rochas estudadas.

Trabalhos de campo iniciais realizados no local mostraram que o afloramento estudado por Rocha-Campos *et al.* (1977), foi quase que totalmente destruído, não sendo mais possível observar as estruturas identificadas como periglaciais por esses autores. Certos cortes no Km 111 da rodovia exibem, entretanto, algumas das litologias estudadas

anteriormente, e várias evidências observadas são consistentes com a interpretação de condições periglaciais na área.

Os objetivos iniciais do presente projeto referiam-se, portanto a:

- I) Revisar as hipóteses de gênese das estruturas e estabelecer o seu modo de formação, no contexto do ambiente glacial. Contudo, estas estruturas criogênicas foram destruídas e esta revisão não foi desenvolvida;
- II) Melhor caracterizar o ambiente em que os depósitos se formaram durante a glaciação gondvânica; e
- III) Avaliar as implicações estratigráficas, paleoclimáticas e paleogeográficas da ocorrência.

A fim de melhor entender o contexto estratigráfico regional das rochas, no âmbito do Subgrupo Itararé, as seguintes atividades foram previstas para atingir os objetivos acima:

- a) Mapeamento dos afloramentos discriminando as litologias presentes e suas relações estratigráficas (trabalhos locais serão complementados com mapeamento geológico da região circunvizinha do Km 111);
- b) Caracterização sedimentológica das litofácies presentes e interpretação dos ambientes sedimentares correspondentes;
- c) Re-exame da hipótese de origem criogênica das estruturas cuneiformes interpretadas como pseudomorfos de cunhas de gelo e das condições periglaciais durante sua formação. Não realizado (vide item I acima);
- d) Análise de possível contribuição eólica periglacial durante a deposição das litologias; e
- e) Interpretação da paisagem glacial neopaleozóica da época.

#### **4. Trabalhos Prévios (Levantamento bibliográfico)**

As estruturas discutidas por Rocha Campos *et al.* (1977) foram identificadas em afloramentos do Subgrupo Itararé na rodovia SP-280 (Castelo Branco), 100m antes do Km 111, no sentido capital - interior.

Neste local, foram descritos corpos verticais ou oblíquos, de até 3 m de comprimento, constituídos de arenito, arenito conglomerático e misturas de arenito de diamictito. Os corpos estreitavam-se para baixo a partir do contato erosivo entre dois diamictitos superpostos. Ao longo dessa superfície ocorria uma acumulação horizontal ou pavimento descontínuo de clastos. Outros corpos de arenito acanalados cortavam o topo do ou são envolvidos pelo diamictito inferior.

Os autores discutiram possíveis hipóteses para explicar a origem das estruturas cuneiformes, finalmente atribuindo-as a pseudomorfos de cunhas de gelo, resultantes de substituição, por sedimento, de cunhas de gelo que originalmente preenchiam fendas formadas por contração térmica sazonal em solos perenemente congelados.

A possibilidade das feições cuneiformes corresponderem, alternativamente, a cunhas de areias (*sand wedges*), um outro tipo de estrutura gerada por contração térmica de *permafrost*, foi preterida por Rocha-Campos *et al.* (1977), tendo em vista serem elas comumente formadas por sedimentos eólicos, na ocasião não identificados no afloramento estudado.

A seguir será abordada uma síntese bibliográfica a respeito das estruturas e ambiente periglacial:

#### 4.1. Periglacial

O termo **periglacial** é freqüentemente usado de maneira equivocada na literatura nacional e mesmo internacional sobre depósitos glaciais antigos, para designar depósitos, estruturas e formas de terreno na verdade típicos do ambiente próglacial, isto é situado em frente à margem de geleiras (= planície de lavagem glacial ou *outwash plain*; vide, e.g., Bigarella *et al.*, 1967).

No sentido original (Lozinski, 1909 *apud* French, 1996), o termo designa condições climáticas e feições nelas formadas, adjacentes às capas de gelo pleistocênicas e recentes. No uso moderno, o termo periglacial abrange um amplo espectro de condições de clima frio e até **não-glaciais**, além dos que ocorrem junto às geleiras. Entretanto, condições periglaciais podem ser encontradas muito afastadas das margens das massas de gelo (e.g., Sibéria central e interior do Alasca) e em regiões de baixa latitude, mas grande altitude (e.g., Platô do Tibete).

Há, contudo, dois fatores diagnósticos, sendo um ou ambos comumente presentes no ambiente periglacial. O primeiro é a alternância congelamento - degelo do solo associado à presença de água. O segundo é a ocorrência do solo / rocha perenemente congelado ou **permafrost**. Utilizando este critério, estima-se que 25% da superfície terrestre experimentaria hoje, com maior ou menor intensidade, condições periglaciais (French, 1996). Esta última definição está sendo usada no presente documento.

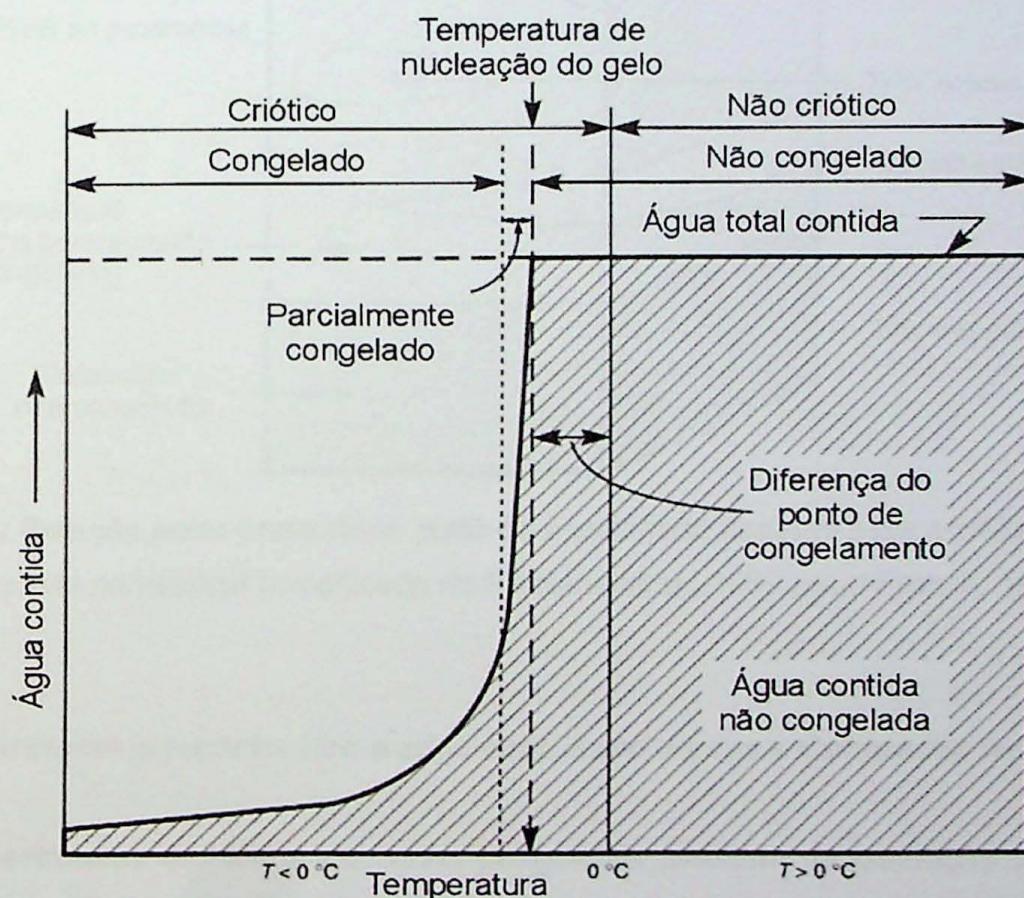
Apesar de serem relativamente comuns no Pleistoceno, há raras descrições de feições e depósitos interpretados como periglaciais no registro geológico das glaciações pré-pleistocênicas. Isso se deve às dificuldades de reconhecimento dessas feições, em relação a outras estruturas sedimentares sin- e pós-depositionais, de ambiente glaciais e não-glaciais, como é o caso dos diques clásticos (Rocha-Campos *et al.*, 1977).

## 4.2. Permafrost

Tradicionalmente, *permafrost* vem sendo definido com base na temperatura: que é, solo (i.e. solo e/ou rocha) que permanece a temperatura de 0° ou abaixo por, no mínimo, dois anos consecutivos. Contudo, o *permafrost* pode não estar necessariamente congelado, desde que o ponto de congelamento da água inclusa possa estar vários graus abaixo de 0° C (French, 1996).

A mistura, tanto na forma de água ou de gelo, pode ou não estar presente. Conseqüentemente, para diferenciar entre a temperatura e estado físico do conteúdo do *permafrost* (i.e. congelado ou não congelado), os termos criótico (*cryotic*) e não-criótico (*non-cryotic*) vem sendo propostos (Figura 4). Estes termos referem-se somente a temperatura do material independentemente do seu conteúdo de água / gelo (French, 1996).

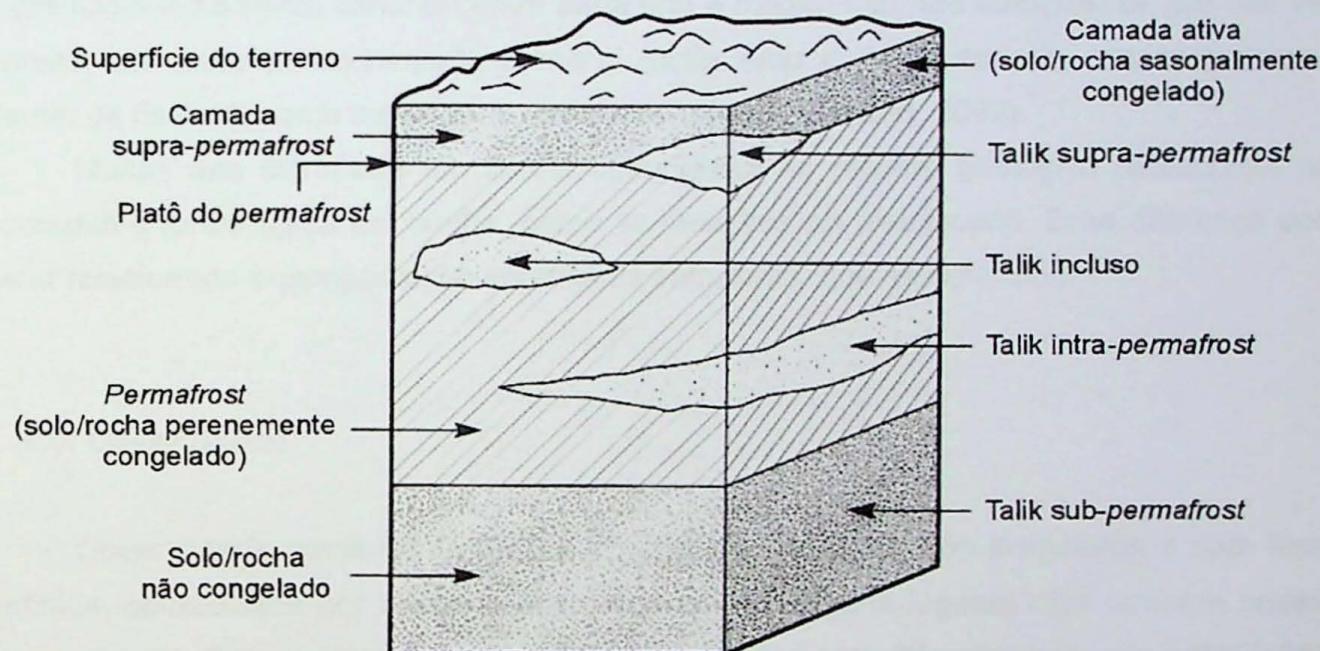
Solo perenemente congelado é, conseqüentemente, sinônimo de *permafrost*, e *permafrost* pode não estar congelado, parcialmente congelado ou congelado, dependendo do estado água / gelo (French, 1996).



**Figura 4:** Termos usados para descrever o estado da água em relação à temperatura de ponto de congelamento do substrato (modificado de van Everdingen, 1985 *apud* French, 1996).

Da mesma forma, muitos outros termos necessitam de definições (vide a figura 5). O platô do *permafrost* é a superfície superior da camada perenemente congelada (*permafrost*), e o solo acima deste é chamado de camada superior do *permafrost*. A camada ativa é a parte da camada superior do *permafrost*, que congela no inverno e derrete durante o verão, ou seja, é solo sazonalmente congelado (French, 1996).

Embora em muitas áreas o congelamento sazonal usualmente penetre a camada perenemente congelada (*permafrost*), em algumas áreas isso não ocorre e uma zona não congelada ocorre entre a base da camada sazonalmente congelada e a camada perenemente congelada (*permafrost*). Esta zona não congelada é chamada de *talik*. Zonas não congeladas entre e abaixo da camada perenemente congelada (*permafrost*) são também chamadas de *talik* (French, 1996).



**Figura 5:** Relação entre *permafrost*, platô do *permafrost*, camada ativa e taliks supra, intra- e sub-*permafrost* (modificado de Ferrians et al., 1969 apud French, 1996).

#### 4.3. Estruturas em cunha (*Ice-wedge cast*, *Sand wedge* e *Composite wedge*)

As estruturas em forma de cunha periglaciais resultam da contração termal do solo causada pelo frio intenso. Essas estruturas podem ser preenchidas por gelo / neve, areia ou material do próprio solo (Trosdorff, 2002).

A formação de fendas no solo perenemente congelado é comumente atribuída à alternância de condições de congelamento e degelo. Esse fenômeno está diretamente associado ao comportamento da água no solo. A água doce, por exemplo, ao congelar expande cerca de 9% de seu volume. Essa característica peculiar da água permite muitas

considerações, mas apenas água pura, sob condições de 1 atmosfera de pressão e a 0° C de temperatura, permite esse efeito. No solo e/ou rocha as condições são diferentes (Trosdorff, 2002).

Segundo Trosdorff (2002) existem, pelo menos, três tipos básicos de preservação de estruturas em cunha no registro geológico: **i)** cunha com preenchimento secundário (*ice-wedge* ou *pseudomorfo de cunha de gelo*); **ii)** cunha de preenchimento primário (*sand wedge* ou *cunha de areia*) e **iii)** cunha composta (*composite wedge*).

Uma das características mais pronunciadas dos **pseudomorfos de cunha de gelo** preservadas no registro do Pleistoceno é a estratificação dos sedimentos paralelamente às paredes das fissuras. Essas feições tornam-se pelo derretimento gradual do gelo que preencheu as cunhas. **Cunhas de areia** contêm, no geral, expressiva contribuição de sedimentos trazidos pelo vento, resultando em material de preenchimento bem selecionado e granulometricamente variando entre areia fina a média. **Cunhas compostas**, por sua vez, apresentam tanto preenchimento primário (areia e/ou material do solo escorregado para dentro da fissura), como secundário (gelo e/ou neve) (Trosdorff, 2002).

Muitas das estruturas em cunha observadas no registro geológico paleozóico, não possuem a forma típica em cunha, como as descritas no pleistoceno. Essa diferença pode estar relacionada à compactação imposta às estruturas, que as deformou.

#### 4.4. Cover Sands

*Cover sands* (areia de cobertura periglacial) são depósitos irregulares e sem forma definida, constituídos por areias eólicas, embora em alguns lugares elas também possam formar dunas. Estas areias apresentam-se usualmente com diâmetro variando entre 0,062 - 1,000 mm (areia muito fina a areia grossa). Ventifactos podem ser encontrados associados às areias eólicas, e, em alguns casos, silte pode estar incorporado.

Ocasionalmente as areias de cobertura periglacial (*cover sands*) apresentam um certo grau de estratificação, envolvendo alternações de *loamy* e camadas siltosas.

Essas areias são usualmente interpretadas como sendo originadas no ambiente periglacial e/ou pró-glacial, constituindo depósitos mistos de neve transportada pelo vento, juntamente com areias, siltes e detritos vegetais, areias de lavagem em lençol (*sheetwash*) e solifluição (modificado de French, 1996).

## 5. Materiais e Métodos

A pesquisa proposta utilizou técnicas de campo e de laboratório de estratigrafia e sedimentologia visando caracterizar as diversas litofácies presentes nos afloramentos, estabelecer suas relações estratigráficas, verificar a presença de feições indicativas de ação eólica e interpretar os ambientes sedimentares envolvidos.

### A. Campo

- Levantamento (mapeamento) dos afloramentos para discriminação das litologias e seu estudo sedimentológico. O mapeamento foi levado a efeito sobre painéis de fotos Polaroid ou fotos digitalizadas;
- Coleta de amostras para análise sedimentológica (análise granulométrica e morfológica);
- Medição da orientação de estruturas sedimentares direcionais (estratificação cruzadas).

### B. Laboratório

- Análise granulométrica dos sedimentos;
- Análise de arredondamento e esfericidade dos sedimentos;
- Análise morfoscópica dos clastos associados às litofácies presentes.

## 6. Desenvolvimento do Trabalho

### 6.1. Cronograma Proposto

O cronograma final de atividades é o seguinte:

Etapa	Mês	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Aquisição e estudo de dados Bibliográficos		X	X	X	X	X	X	X		
Análise cartográfica da área			X	X						
Atividades de campo				X					X	
Análises laboratoriais					X	X	X	X	X	
Análise e interpretação dos dados obtidos					X	X	X	X	X	
Redação do Relatório de Progresso					X	X				
Redação do Relatório Final								X	X	X

## 6.2. Atividades realizadas no período

Foram realizadas varias atividades no período compreendido, como demonstrado no cronograma do item 6.1.

Uma das atividades mais importantes realizadas foi a aquisição e estudo de dados bibliográficos. Esta atividade permitiu o enriquecimento dos conhecimentos e aquisição de dados sobre os ambientes periglacial e glacial, bem como de assuntos sedimentológicos e estratigráficos pertinentes. Algumas das bibliografias pesquisadas e manuseadas foram:

- ✓ The Periglacial Environment, de H. M. French (1996).
- ✓ Periglacial Geomorphology, de C. Embleton & C. A. M. King (1974).
- ✓ Glacial Geology. An Introduction for Engineers and Earth Scientists, de N. Eyles (1985).
- ✓ Significance of loessite in the Maroon Formation (Middle Pennsylvanian to lower Permian), Eagle Basin, northwest Colorado, de S. Y. Johnson (1989).
- ✓ Loess is not just the accumulation of dust. In: Quaternary International, de M. Pécsi (1990).
- ✓ The periglacial zone. In: Pleistocene Geology and Biology, Chapter 5, de R. G. West (1977).

Para implementação das previstas atividades de campo, foi necessária a aquisição e análise de mapas, cartas e fotos aéreas da área em questão. Sendo assim, foi solicitado junto ao Laboratório de Aerofoto da Faculdade de Geografia (FFLCH - USP), 15 pares estereoscópicos de fotos aéreas da região (município de Boituva, nas cercanias do Km 111 da Rodovia Castelo Branco), que posteriormente foram fotografadas e ampliadas no próprio Instituto de Geociências - USP.

Outrossim, foram adquiridas também, 6 (seis) cartas planialtimétricas na escala 1:10.000 e uma carta regional, na escala 1:50.000.

A atividade de campo, no mês de maio, possibilitou o estudo da estratigrafia local e estruturas associadas. Para tal, foram realizados 3 (três) perfis fotográficos (fotos digitais), ao longo dos afloramentos da Rodovia Castelo Branco, para serem posteriormente montados em forma de painéis. Tais perfis foram denominados de A, B e C, como discriminados a seguir:

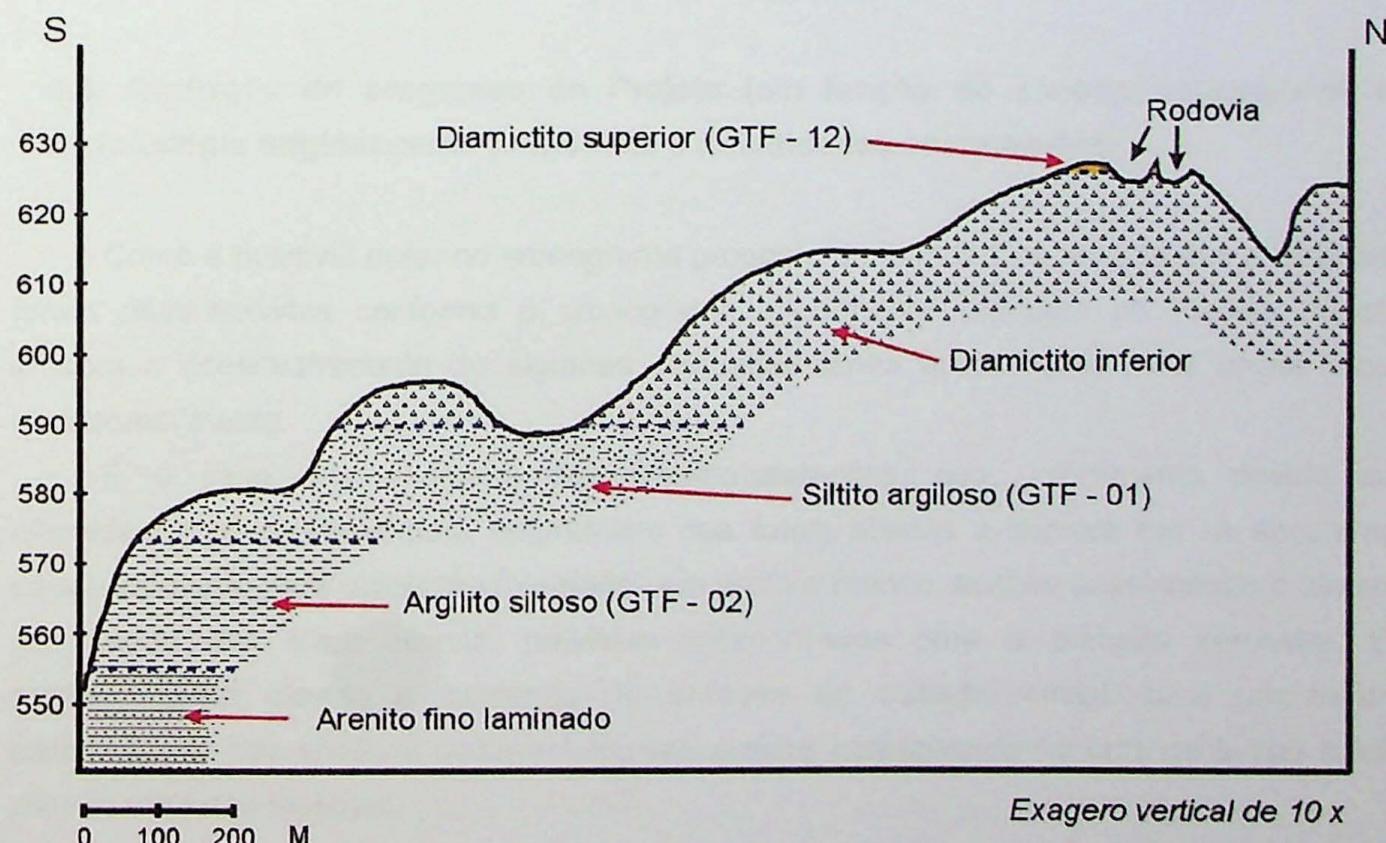
- A. Constitui o afloramento externo da pista São Paulo - interior. É o situado mais a norte, tendo sua face voltada para o lado sul. Apresenta aproximadamente 50 m de extensão.

- B. Constitui o afloramento interno da pista interior - São Paulo, estando localizado na "ilha" entre as duas pistas. Sua face está voltada para o lado sul. Foram coletadas 4 (quatro) amostras. Apresenta aproximadamente 10 m de extensão.
- C. Constitui o afloramento externo da pista interior - São Paulo. É o situado mais a sul, tendo sua face voltada para o lado norte. Apresenta aproximadamente 50 m de extensão.

Foram realizados também levantamentos e mapeamentos expeditos ao sul e ao norte da rodovia, cujo intuito foi o melhor conhecimento da estratigrafia local. Foram coletadas mais 4 (quatro) amostras de litologias distintas, totalizando dessa forma, 8 (oito) amostras para posteriores análises sedimentológicas.

As análises laboratoriais que possibilitaram a classificação sedimentológica das 8 (oito) amostras, a saber: análise granulométrica, teor de carbonato e teor de matéria orgânica; foram realizadas pelo aluno com auxílio dos funcionários do Laboratório de Sedimentologia do departamento GSA, no Instituto de Geociências - USP. Tais análises se estenderam pelos meses de junho e julho.

A integração dos dados coletados em campo com o estudo das cartas topográficas, permitiu a elaboração de um perfil onde uma estratigrafia preliminar da área pode ser reconhecida (Figura 6).



**Figura 6:** Perfil estratigráfico preliminar da área. As amostras GTF - 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11 foram coletadas no contato entre o diamictito inferior e o superior.

As análises de arredondamento e esfericidade, que também possibilitaram a classificação sedimentológica das 8 (oito) amostras iniciais, decorreram nos meses de agosto e setembro.

As amostras GTF - 03, 05 e 07 foram encaminhadas para impregnação e posteriormente para a laminação. A análise destas possibilitou o reconhecimento da fração fina em cimento. Tal análise foi de grande importância na caracterização sedimentológicas e conseqüentemente ambiental das litofácies.

A segunda atividade de campo, realizada no início do mês de outubro, enfocou o estudo em detalhe da estratigrafia local e estruturas associadas do perfil B. Para tal, foi feito o perfil fotográfico (fotos digitais), ao longo do afloramento, como também a descrição minuciosa das fácies associadas. Foram coletadas mais 4 (quatro) amostras (GTF - 09, 10, 11 e 12). Tais amostras seguiram para análises sedimentológicas, a saber: granulométrica, teor de carbonato e teor de matéria orgânica, tal qual as anteriores. Contudo, não houve tempo hábil para as análises de arredondamento e esfericidade das mesmas.

A adoção do perfil B, deveu-se ao fato que o enfoque do trabalho é devido a existência de feições estruturais, sedimentares e estratigráficas de grande importância na caracterização do paleoambiente da região, que aparentemente não foram observadas nos outros dois perfis (A e C), devido a cobertura vegetal e ao intemperismo. A análise do painel fotográfico do perfil B será abordada no item 7.3.

### **6.3. Avaliação do progresso do Projeto (em função do escopo, cronograma e metodologia originalmente propostos, e dificuldades encontradas)**

Como é possível notar no cronograma proposto do item 6.1., a maioria das atividades foram desenvolvidas conforme o cronograma inicialmente proposto no Projeto Inicial, embora o desenvolvimento de algumas atividades tenha apresentado certo atraso e/ou comprometimento.

É o caso, por exemplo, das fotointerpretações, que, inicialmente devido as dificuldades burocráticas para empréstimo das fotos, aliadas a demora em se encontrar papel adequado para revelação fotográfica em preto e branco, acabou ocasionando o atraso da análise das fotos aéreas, previstas anteriormente para o primeiro semestre. E posteriormente, devido à mudança de enfoque do trabalho inicial, para um maior detalhamento nas análises sedimentológicas acabou ocasionando na falta de tempo hábil para análise das mesmas.

Apesar das atividades de fotointerpretação e análise cartográfica da área estarem relacionadas, apenas a primeira apresentou dificuldades. Sendo assim, a aquisição e análise do material cartográfico da área, ocorreu dentro do cronograma estipulado. Contudo,

cabe ainda comentar a respeito da dificuldade para a exata localização do Km 111 nas cartas topográficas, pois as mesmas não apresentam a quilometragem de rodovias ou estradas, alem de estarem desatualizadas. Desta forma, foi necessário consultar mapas rodoviários e até mesmo a empresa concessionária Colinas, que administra a rodovia Castelo Branco no trecho de Sorocaba à Tatuí.

Como pode ser também observado no cronograma inicial, as atividades de campo previstas para os meses de abril e junho, foram condensadas, no mês de maio. Contudo tal procedimento não apresentou futuros problemas no desenvolvimento do projeto, devido ao grande aproveitamento verificado nas atividades de campo. Este fato, portanto, explica a modificação da época para início das análises laboratoriais.

Outro problema relacionado à proposta original, tange o exame da fração areia ao MEV (microscópio eletrônico de varredura), para estudo de feições texturais dos grãos. Este foi substituído pelas análises de arredondamento e esfericidade, já que análises anteriormente feitas não apresentaram resultados satisfatórios. Tal fato deve-se a perda das feições superficiais características do ambiente eólico pelo transporte fluvio-glacial e pela posterior diagênese da rocha.

Como pode ser também observado no cronograma inicial, a atividade de campo prevista inicialmente para o mês de agosto, sofreu um atraso, sendo remanejada para o início do mês de outubro. Embora o campo tenha sido muito proveitoso, tal fato, portanto, explica a falta de tempo hábil nas análises de arredondamento e esfericidade das amostras GTF - 09, 10, 11 e 12.

Outro problema encontrado foi a problemática envolvendo a escassa disponibilidade da bibliografia sobre o tema periglacial. O sub-tema *sand wedges* (cunhas de areias), por exemplo, é pouco abordado e muito mal explicado.

## 7. Resultados Obtidos

### 7.1. Resultados das análises granulométricas

#### 7.1.1. Metodologia / Processo

As análises granulométricas foram realizadas em todas as amostras sedimentares coletadas (vide localização das amostras na figura 6 e no Perfil B, no anexo 5).

As amostra foram submetidas a pipetagem nos intervalos de 1 em 1 *phi* da fração silte mais argila, seguida de lavagem da fração mais fina e peneiramento da fração areia em intervalos de  $\frac{1}{2}$  *phi*. Após a pipetagem de partículas mais finas que 0,004 mm (8,0 *phi*), foi feita coleta de material no tempo suficiente para decantação das partículas de diâmetro

hidrodinâmico 0,0005 mm, que é o limite mínimo para validade da Lei de Stokes. Esse diâmetro coincide também com o tamanho de partícula a partir do qual se começa a observar a maioria das propriedades coloidais, tendo sido por isso adotado neste trabalho como fronteira entre a fração argila e a coloidal (baseado em Giannini, 1987).

Para evitar problemas como a não dispersão de sedimentos arenosos e a floculação dos finos, durante a pipetagem foi adicionado a cada amostra 1,0 g de pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), como agente dispersante.

O peso inicial da amostra seca para análise granulométrica foi aproximadamente de 60,00 g. Exigiu-se um erro de análise inferior a 5%, tendo sido repetido o processamento das amostras cujo fator de correção, dado pela relação peso inicial / peso final tenha caído fora do intervalo 0,95 - 1,05.

### 7.1.2. Tratamento dos resultados

Os resultados obtidos pelo processamento das amostras sedimentares foram expressos em forma de gráficos (Anexo 1), a saber: Análise Granulométrica (histograma), Porcentagem Acumulativa (em escala logarítmica), Porcentagem Acumulativa e Curva de Freqüência. Tais gráficos apresentam, como parâmetros, o diâmetro das partículas ( $\phi_i$ ) expresso no eixo das abscissas (X), e a porcentagem em massa expressa no eixo das ordenadas (Y).

Tomando-se como base tais gráficos, foi possível identificar as seguintes distinções das classes granulométricas:

#### Amostra GTF - 01

A amostra GTF - 01 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 74,57 % areias e 25,43 % silte / argila;

Sendo que:

- 73,71 % areia muito fina / areia fina;
- 62,46 % areia muito fina;
- 25,43 % siltes / argilas;

#### Classificação:

Trata-se de um arenito muito fino com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 02**

A amostra GTF - 02 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 23,17 % areias e 76,83 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 38,46 % argilas;
- 38,37 % siltes;
- 16,49 % areia muito fina;
- 5,78 % areia fina / areia media / areia grossa.

#### ***Classificação:***

Trata-se de uma argila siltica com fração arenosa. sendo considerado um sedimento pouco selecionado.

### **Amostra GTF - 03**

A amostra GTF - 03 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 84,22 % areias e 15,78 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 70,84 % areia média / areia grossa;
- 42,12 % areia média;
- 28,72 % areia grossa;
- 8,48 % areia fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito médio a grosso com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 04**

A amostra GTF - 04 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 54,03 % areias e 55,97 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 32,00 % areia muito fina;
- 33,67 % siltes;
- 18,55 % areia fina / areia média;
- 12,30 % de argilas;

#### ***Classificação:***

Trata-se de um silte-arenito, sendo considerado um sedimento muito pouco selecionado.

### **Amostra GTF - 05**

A amostra GTF - 05 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 89,60 % areias e 10,40 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 45,47 % areia média;
- 31,15 % areia grossa;
- 10,78 % areia fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito médio a grosso com fração de finos, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 06**

A amostra GTF - 06 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 83,85 % areias e 16,15 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 65,37 % areia grossa / areia média;
- 41,93 % areia grossa;
- 23,44 % areia média;
- 11,19 % areia muito grossa.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito grosso a médio com fração de finos, sendo considerado um sedimento bem selecionado.

### **Amostra GTF - 07**

A amostra GTF - 07 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 84,50 % areias e 15,50 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 49,84 % areia fina;
- 23,16 % areia média;
- 7,85 % areia muito fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito fino a médio com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 08**

A amostra GTF - 08 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 83,59 % areias e 16,41 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 41,97 % areia fina;
- 26,96 % areia média;
- 7,85 % areia muito fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito fino a médio com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 09**

A amostra GTF - 09 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 89,07 % areias e 10,93 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 75,98 % areia grossa / areia média;
- 40,89 % areia grossa;
- 35,09 % areia média;
- 7,47 % areia muito grossa.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito grosso a médio com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 10**

A amostra GTF - 10 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 89,14 % areias e 10,86 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 71,63 % areia grossa / areia média;
- 38,87 % areia grossa;
- 32,76 % areia média;
- 10,78 % areia fina e muito fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito grosso a médio com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 11**

A amostra GTF - 11 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 89,03 % areias e 10,97 % siltes / argilas;

Sendo que:

- 72,70 % areia grossa / areia média;
- 44,37 % areia média;
- 28,33 % areia grossa;
- 15,08 % areia fina e muito fina.

#### ***Classificação:***

Trata-se de um arenito grosso a médio com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito bem selecionado.

### **Amostra GTF - 12**

A amostra GTF - 12 apresenta-se, resumidamente, nas seguintes frações (em peso):

- 77,47 % areias e 22,53 % siltes / argilas;

Sendo que:

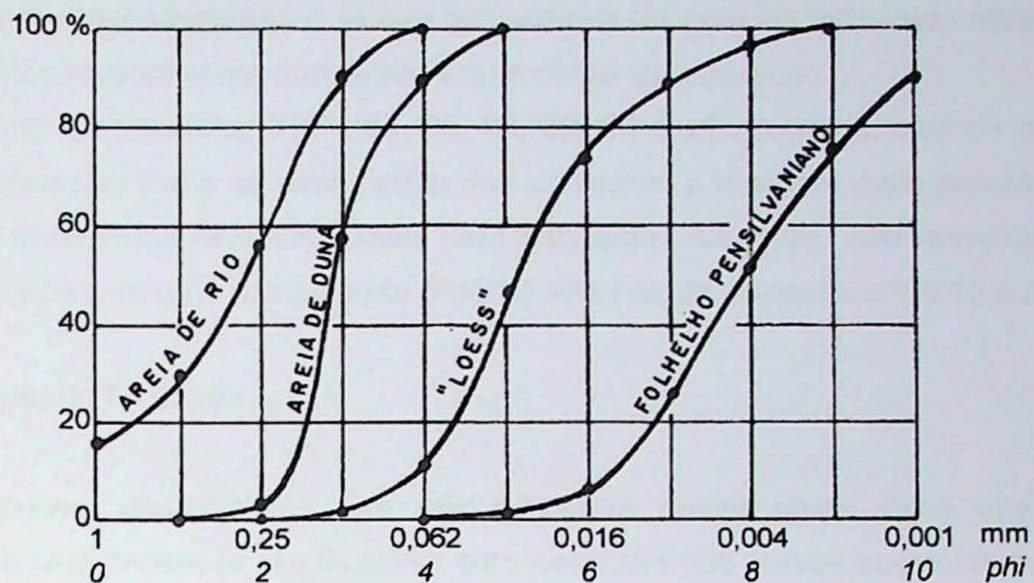
- 13,73 % areia muito grossa;
- 15,98 % areia grossa;
- 17,09 % areia média;
- 15,79 % areia fina;
- 14,88 % areia muito fina
- 22,53 % silte e argila.

#### ***Classificação:***

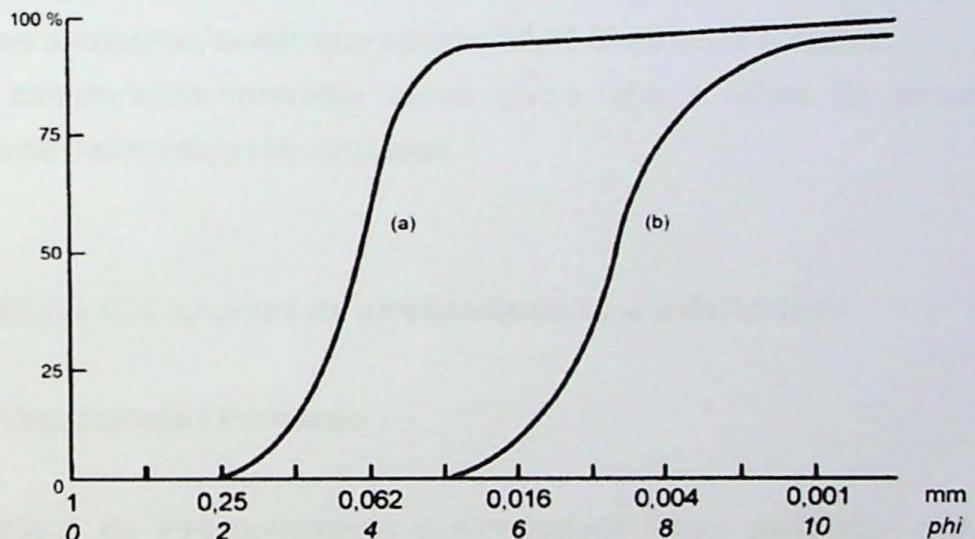
Trata-se de um diamictito arenoso com fração argilo-siltosa, sendo considerado um sedimento muito pouco selecionado.

#### **7.1.3. Comparação e agrupamento das amostras**

Comparando os dados analisados expressos sob a forma de curva acumulativa, com curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos (Figura 7, modificado de Krumbein e Sloss, 1963) e com a curva acumulativa típica de loess e *cover sand* (Figura 8, modificado de French, 1996), podemos agrupar as amostras em 2 (dois) grupos distintos.



**Figura 7:** Curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos  
(modificado de Krumbein e Sloss, 1963).



**Figura 8:** Curvas acumulativas típicas de *cover sands* (a) e *loess* (b),  
(modificado de French, 1996).

#### 1º Grupo: GTF - 01, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11

Uma curva acumulativa teórica desse grupo (vide anexo 1), apresenta forte semelhança com a curva acumulativa típica de areia de duna de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa de *cover sand* de French (1996).

As amostras GTF - 01, 07 e 08 apresentam-se muito bem selecionadas, caracterizando serem arenitos fino a muito fino. Contudo, vale ressaltar que estas apresentam uma componente (fração) silte / argila de aproximadamente 15 %.

A interpretação possível, é de que tais sedimentos possam ter sofrido retrabalhamento eólico, sendo provavelmente depositados num corpo subaquático.

Embora as amostras **GTF - 03, 05, 06, 09, 10 e 11** apresentam-se de bem a muito bem selecionadas, estas se diferenciam das primeiras, por serem mais grossas (curva de freqüência assimétrica deslocada mais para esquerda). Contudo, vale ressaltar que estas também apresentam uma componente (fração) silte / argila, variando entre 10 e 20 %.

## **2º Grupo: GTF - 02, 04 e 12**

As curvas acumulativas das três amostras desse grupo (vide anexo 1) não apresentam características significativas com nenhuma das curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa típica de loess e cover sand de French (1996).

As amostras GTF - 02 e GTF - 04 apresentam-se pouco selecionada e muito pouco selecionada, respectivamente. A amostra GTF - 12 apresenta-se com o grau de seleção granulométrica baixíssimo, sendo que apenas 22,53 % de siltes e argilas.

Outra característica relevante desse grupo, que o difere do primeiro, é a alta concentração de sedimentos silte-argilosos.

## **7.2. Resultados das análises de arredondamento e esfericidade**

### **7.2.1. Metodologia / Processo**

As análises de arredondamento e esfericidade foram realizadas nas amostras de rochas sedimentares GTF - 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 08, que anteriormente foram submetidas à seleção granulométrica nos intervalos de 1 em 1 *phi* da fração silte mais argila, e peneiramento da fração areia em intervalos de  $\frac{1}{2}$  *phi*.

Para tal procedimento foram selecionados 2 (dois) intervalos granulométricos distintos, que representam o foco do estudo, ou seja, a cover sands. Os intervalos escolhidos foram o retido na peneira em 0,177 mm (0,250 a 0,177 mm) e o retido em 0,350 mm (0,500 a 0,350 mm). A partir daqui as amostras do intervalo 0,177 - 0,250 mm serão denominadas somente por 0,177 mm, assim como as amostras do intervalo 0,350 - 0,500 mm serão denominadas por 0,350 mm.

O ensaio consistiu na captura, aleatoriamente, de varias fotos dos grãos das amostras tanto ao microscópio ótico, intervalo 0,177 mm, bem como em lupa, intervalo 0,350 mm (Anexo 2). As amostras do intervalo 0,177 mm foram preparadas em lâminas, com a adição

de  $\alpha$ -bromo-naftaleno ( $C_{10} H_7 Br$ ). As amostras do intervalo 0,350 mm foram analisadas sob lupa sobre uma placa de Petri.

A classificação dos grãos segundo critérios de arredondamento e esfericidade foi feita através da análise das imagens obtidas, seguindo a classificação pré-existente na literatura, utilizando-se a escala de graus de arredondamento de Russell, Taylor e Pettijohn, 1967 (Figura 9) e a escala de comparação visual de esfericidade de Rittenhouse, 1943 (Figura 10). Nesta última, foi acrescida, pelo presente autor, a classificação nominal de baixíssima a alta. Para melhores efeitos estatísticos, foram contados no mínimo 50 grãos de quartzo para cada amostra em cada intervalo granulométrico.

O analisador de imagem não foi utilizado pois, em uma outra pesquisa, os resultados não foram satisfatórios. Sendo assim, os resultados não seriam confiáveis.

#### 7.2.1.1. Problemática

Inicialmente havia sido escolhido, para a análise de arredondamento e esfericidade, o intervalo granulométrico de 0,090 - 0,125 mm. Contudo, os resultados preliminares revelaram que esta faixa granulométrica não era adequada o suficiente.

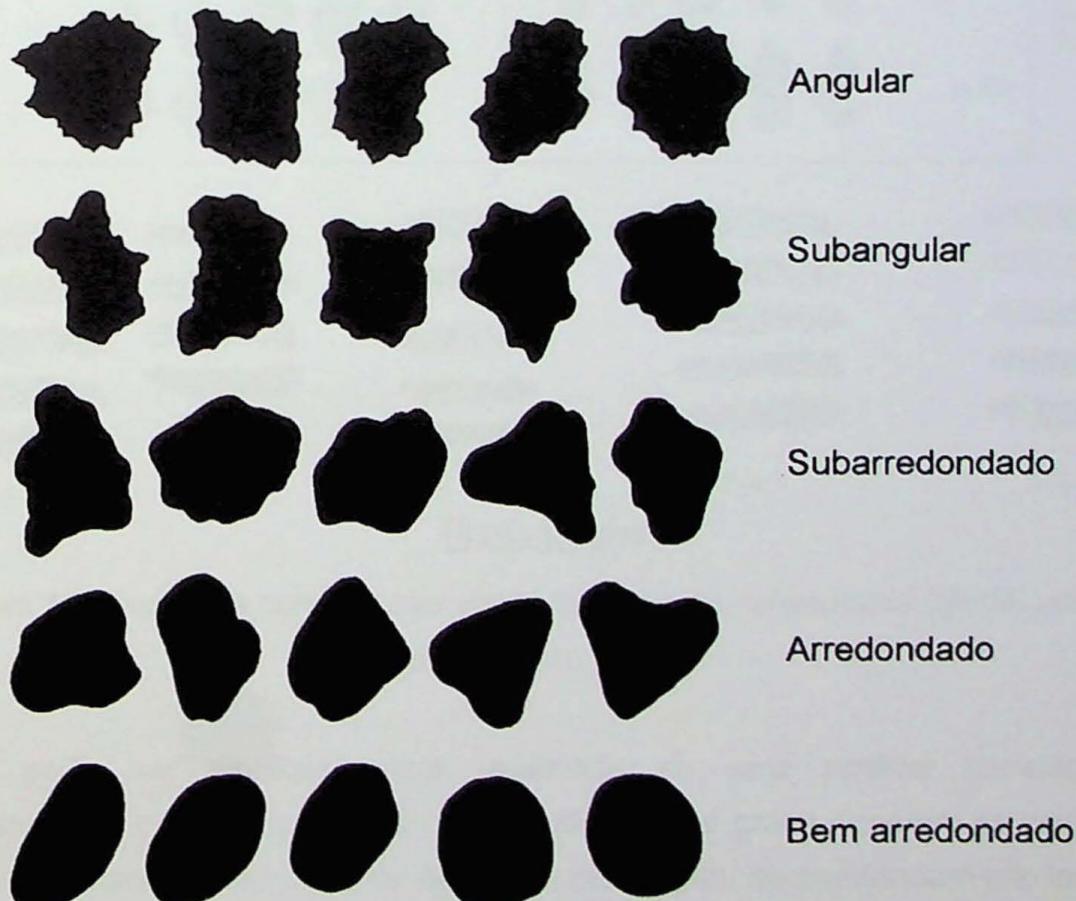
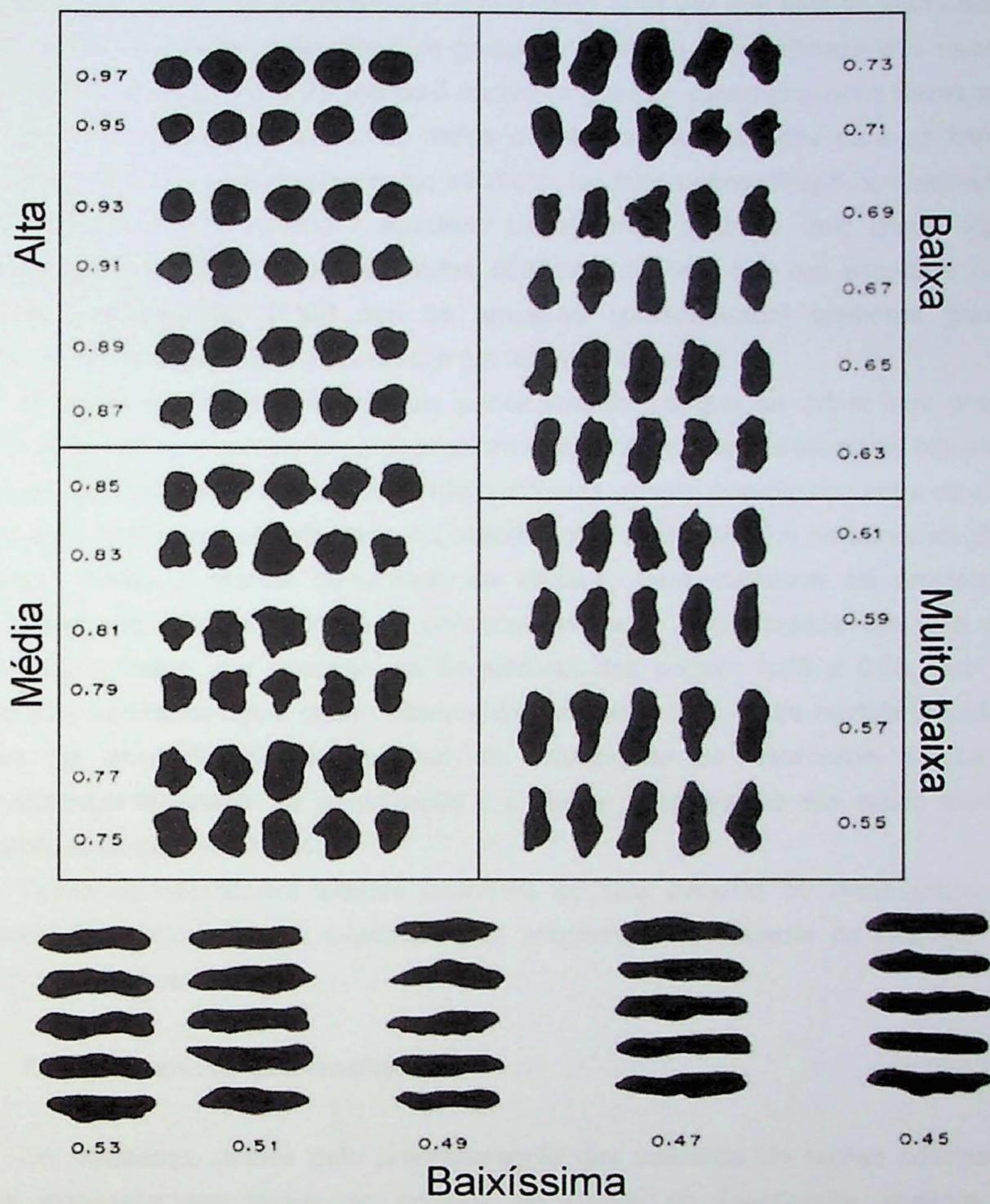


Figura 9: Graus de arredondamento. (Russell, Taylor e Pettijohn. In: German Müller, 1967).



**Figura 10:** Escala de comparação visual de graus de esfericidade (Modificado de Rittenhouse, 1943).

Isto pode ser explicado pela existência de uma notável correlação entre arredondamento e o tamanho do grão. A capacidade dos grãos tornarem-se arredondados diminui com a diminuição do tamanho do grão e com o grau de arredondamento inicial.

Grãos de areia média / grossa ou cascalho tendem a ser mais bem arredondados do que os intervalos mais finos. Isto explica o porquê da substituição do intervalo 0,090 pelo 0,350 mm.

Outro problema considerado foi a subjetividade implícita na classificação dos grãos segundo critérios de arredondamento e esfericidade, uma vez que esta foi feita utilizando-se de tabelas de comparação visual de graus de evolução. O significado dos valores de arredondamento de grãos de terrígenos é motivo de grandes controvérsias na literatura.

Como resultado dos diferentes meios de observação utilizados para os intervalos 0,177 mm e 0,350 mm, respectivamente microscópico ótico petrográfico e lupa petrográfica, consequentemente as escalas / acuidade visual foram distintas. Isso gerou algumas incoerências nas análises dos resultados obtidos, uma vez que era esperado que no intervalo granulométrico 0,350 mm as amostras apresentassem melhores graus de arredondamento, o que não foi observado em algumas amostras.

A posterior análise dos gráficos, principalmente no que se refere aos graus de esfericidade, também apresentou uma problemática, uma vez que, na tabela de comparação visual de esfericidade de Rittenhouse (1943), há uma grande semelhança entre as classes próximas, criando uma subjetividade na classificação, como também na interpretação dos mesmos, devido a grande quantidade de classes. Para minimizar tal problema, as freqüências das classes vizinhas e consecutivas foram condensadas em uma classe intermediária, como, por exemplo, as freqüências das classes 0.83 e 0.85, que foram somadas e expressas numa classe intermediária: a classe 0.84. Outra medida tomada foi a adição de uma classificação nominal de esfericidade de baixíssima a alta. Tais procedimentos facilitaram na visualização e a melhor interpretação dos dados expressos nos gráficos de grau esfericidade.

Todas as dificuldades citadas poderiam ter sido evitadas ou minimizadas, caso houvesse um aprimoramento matemático do programa do analisador de imagens, como também do *hardware*.

### **7.2.2. Tratamento dos resultados**

Os resultados obtidos pelo processamento das amostras de rochas sedimentares foram expressos em forma de gráficos de Curva de Freqüência, distintos para arredondamento e esfericidade (Anexo 3). Tais gráficos apresentam, como parâmetros, o grau de arredondamento / esfericidade expresso no eixo das abscissas (X), e a porcentagem em freqüência expressa no eixo das ordenadas (Y).

Tomando-se como base tais gráficos, foi possível identificar as seguintes distinções das classes granulométricas:

Vide os resultados das análises no anexo 4.

### 7.2.3. Comparação e agrupamento das amostras

#### 1º Grupo: GTF - 03, 04, 05, 06, 07 e 08

Os sedimentos desse grupo apresentam-se com arredondamento variando entre subarredondado a bem arredondado, sendo essencialmente subarredondado / arredondado. Contudo, vale ressaltar que estes apresentam uma componente (fração) essencialmente subangulosa. A esfericidade varia entre alta / média.

#### 2º Grupo: GTF - 01 e 02

Os sedimentos desse grupo apresentam-se com arredondamento variando entre anguloso e subarredondado, sendo essencialmente subarredondado / subanguloso. Estes apresentam uma componente (fração) essencialmente arredondada. A esfericidade é média.

### 7.3. Descrição da montagem e análise do painel fotográfico do perfil B

O estudo em detalhe da estratigrafia local e das estruturas associadas ao perfil B (Anexo 5), localizado na “ilha” entre as duas pistas da rodovia Castelo Branco e com face voltada para sul, bem como a descrição minuciosa das litofácies associadas e o estudo sedimentológico das amostras coletadas (amostras GTF - 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12), possibilitou a identificação e caracterização das seguintes litofácies:

#### Litofácies A

Arenito de granulação média a grossa, com pequena fração subsidiária de finos, com estratificação plano-paralela bem definida e estratos arroxeados intercalados com estratos de coloração bege / ocre e preto. Apresenta esporadicamente clastos centimétricos bem arredondados e alongados, principalmente de argilitos, metapelitos e granitos.

Estes arenitos dispõem-se sob a forma de duas porções horizontalizadas separadas pelos paraconglomerados polimíticos da litofácie D, e exibem, como estrutura mais proeminente, zonas onduladas e deformadas. Na porção inferior, no extremo NW do afloramento, desenvolve-se uma dobra fechada, com plano axial para NW e com espessamento de charmeira, onde foram tomadas duas medidas de eixo da dobra: N30, 30 e N20, 25. Na porção superior, ao longo do contato brusco com o diamictito da litofácie E, desenvolve-se uma zona de cisalhamento horizontal de aproximadamente 15 cm de espessura, onde formam-se possíveis dobras de arrasto (*drag folds*). Outras estruturas lineares, onduladas e verticalizadas, são observadas no setor SE do afloramento.

## **Litofácies B**

Arenito de granulação grossa a conglomerática, bege a amarelado, contendo clastos centimétricos de argilitos, metapelitos e granitos. Superpõe-se localmente aos arenitos da litofácies **A** e são cortados, em contato brusco pelo diamictito da litofácies **E**. Apresenta incipiente estratificação planar e forma lenticular.

## **Litofácies C**

Arenito de granulação média a grossa e com uma pequena fração de finos, bege claro, aparentemente com estrutura maciça. Esta litofácies apresenta-se com forma lenticular incipiente.

Contudo, devido as semelhanças granulométricas e de cor, assim como pelos contatos difusos e pela forma lenticular não muito bem definida, esta pode corresponder a uma variante interna da litofácies **A**, porém sem estruturas.

## **Litofácies D**

Paraconglomerado polimítico, com clastos variando de centimétricos a decimétricos, compostos de quartzito róseo e cinza, xistos quartzosos, granitos e metapelitos, todos bem arredondados, e fragmentos irregulares de siltitos argilosos e matriz variando de areia média a muito grossa. Observa-se também, em meio a esta litofácies, concentrações disseminadas de diamictitos, cujas características são muito semelhantes as da litofácies **E**. Seu contato com a litofácies **A** é brusco, irregular e deformado.

## **Litofácies E**

Diamictito amarelado claro, matriz silto-arenosa, com uma fração grossa aglomerada subsidiária composta de quartzito róseo e cinza, xistos quartzosos, granitos, argilitos e metapelitos, bem arredondados. Muito rico em clastos centimétricos, com forma geral alongada arredondada, dispersos na matriz, da mesma litologia da fração aglomerada. Alguns clastos de granitos apresentam estriamento incipiente e/ou fraturamentos (vide descrição dos clastos no item 7.5.).

Junto a base, nos primeiros 10 cm, em contato brusco com as litofácies **A** e **B**, intercalam-se níveis de 1 a 2 cm de espessura de arenito fino a médio, mal selecionado e com grânulos dispersos. Junto ao contato brusco com os arenitos da litofácies **A** apresenta visível fissilidade horizontal.

## 7.4. Resultados das análises das lâminas petrográficas

### 7.4.1. Metodologia / Processo

As análises petrográficas foram realizadas nas amostras de rochas sedimentares GTF - 03, 05 e 07, que, anteriormente a laminação, foram submetidas a impregnação com resina azul devido a suas baixas coesões (vide fotos das lâminas no anexo 6).

### 7.4.2. Descrição e resultados obtidos

O estudo em detalhe através de microscópio petrográfico do arcabouço e da fração silte-argilosa das amostras GTF - 03, 05 e 07, demonstrou que estas se apresentam muito semelhantes, tal fato deve-se provavelmente a suas gêneses conspícuas, o que é corroborado pelos resultados das análises granulométrica, arredondamento e esfericidade. Sendo assim, estas serão aqui descritas unificadamente.

Estas amostras apresentam cerca de 85 a 90 % de arcabouço e cimento variando entre 10 a 15%. Os poros não foram contabilizados.

Mineralogicamente apresentam arcabouço com teor de quartzo variando de 70 a 80 %, feldspatos de 15 a 20 %, líticos, opacos e os demais variando entre 5 a 12 %. Os grãos de quartos apresentam-se fraturados, com extinção ondulante e inclusões de biotita / muscovita / turmalina. Entre os grãos de feldspatos destacam-se os com geminação do microclinio e da lei da albita, alguns apresentam-se com elevado grau de alteração e dissolução intraestratal com textura tipo *honeycombed*. Enquanto que, entre os demais grãos, destacam-se em tamanho (principalmente granulometria areia) e quantidade os fragmentos líticos de quartzo (alguns grãos de quartzo policristalino), filitos, muscovita xisto, muscovita quartzo xisto e biotita muscovita quartzo xisto. Em menor tamanho (granulometria silte) e quantidade observa-se grãos de turmalina, estaurolita, opacos e muscovita. Questões texturais do arcabouço não serão abordadas aqui, devido aos resultados comentados anteriormente a respeito da granulometria, arredondamento e esfericidade.

No que tange a fração de finos, a fração argila e boa parte da fração silte apresentam-se sob a forma de cimento, sendo que este pode ser subdividido e quantificado em aproximadamente 85 % de caulinita, 12 % de óxido / hidróxido de ferro e 3 % de carbonato.

A cimentação de caulinita (baixíssima birrefringência, cor de interferência cinza na carta de cores de interferência de Michel Levy) apresenta-se com textura sacaroidal, microcristalina, intersticial e/ou envolvendo vários grãos, porém com distribuição heterogênea, com aspecto semelhante a uma epimatriz / pseudomatriz.

Uma outra ocorrência de cimentação observada, apresenta-se sob a forma de películas envoltórias dos grãos, principalmente dos de quartzo. Tal mineral não apresenta continuidade ótica com o mineral envolto, descartando ser um sobrecrecimento sintaxial do mineral envolto. O mineral constituinte da película apresenta baixíssima birrefringência (cor de interferência cinza na carta de cores de interferência de Michel Levy), assemelhando-se a um filossilicato, possivelmente a caulinita.

A cimentação de óxido / hidróxido de ferro apresenta-se essencialmente com textura intersticial. Contudo, observa-se também na forma de uma película envolvente dos grãos do arcabouço (*dust line*). Em menor quantidade, observa-se cimentação carbonática, criptocristalina e intersticial.

A classificação mineralógica das amostras segundo o diagrama triangular de Dott (1964) é de arenito feldspático. Segundo o diagrama triangular de Folk (1968), as amostras podem ser classificadas como subarcóseo a arcoséo lítico, uma vez que uma pequena variação no teor de um dos três componentes pode mudar a classificação.

## 7.5. Resultado da análise morfoscópica dos clastos associados às litofácies presentes

Vários clastos, de natureza diversa, coletados na área em estudo apresentam-se partidos por séries de fraturas paralelas ou obliquas. Quanto à forma, os clastos, no geral, são facetados, alguns com lineações que sugerem estrias glaciais, centimétricos, tabulares ou oblato e isoaxiais (vide fotos no anexo 7).

Os clastos partidos aqui descritos estão localizados, no afloramento representado no perfil B, na base da litofácie E (diamictito superior, onde foi coletada a amostra GTF - 12), logo acima no contato com a litofácie A. Entretanto, outros clastos são observados em meio ao diamictito.

## 7.6. Resultados das análises de dosagem de carbonato por ataque ácido

As análises de dosagem de carbonato por ataque ácido (HCl à 0,1 M), relevam uma pequena quantidade de carbonato nas amostras (Tabela 1).

Amostra	Teor de carbonato (%)
GTF-01	0,80
GTF-02	2,79
GTF-03	0,99
GTF-04	0,60

Amostra (cont.)	Teor de carbonato (%)
GTF-05	2,80
GTF-06	2,40
GTF-07	2,99
GTF-08	2,40
GTF-09	6,53
GTF-10	2,03
GTF-11	2,10
GTF-12	4,52

**Tabela 1:** Teor de carbonato nas amostras coletadas. Teor em porcentagem.

### 7.7. Resultados das análises de dosagem de matéria orgânica por ataque com peróxido de hidrogênio a quente

As análises de dosagem de matéria orgânica por ataque com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) quente, relevam uma pequena quantidade de matéria orgânica nas amostras (Tabela 2).

Amostra	Teor de M.O. (%)
GTF-01	4,78
GTF-02	9,20
GTF-03	3,17
GTF-04	2,00
GTF-05	6,00
GTF-06	7,58

Amostra (cont.)	Teor de M.O. (%)
GTF-07	7,20
GTF-08	4,40
GTF-09	7,19
GTF-10	1,90
GTF-11	2,59
GTF-12	2,97

**Tabela 2:** Teor de matéria orgânica nas amostras coletadas. Teor em porcentagem.

## 8. Interpretação / Discussão dos Resultados

### 8.1. Estratigrafia

A análise da bibliografia disponível permitiu verificar que as estruturas cuneiformes anteriormente descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977), aflorante em dois cortes paralelos da rodovia SP-280 (Rodovia Castelo Branco, pista de retorno), cerca de 100 m antes do km 111, podem ser complementadas pelas observações deste trabalho.

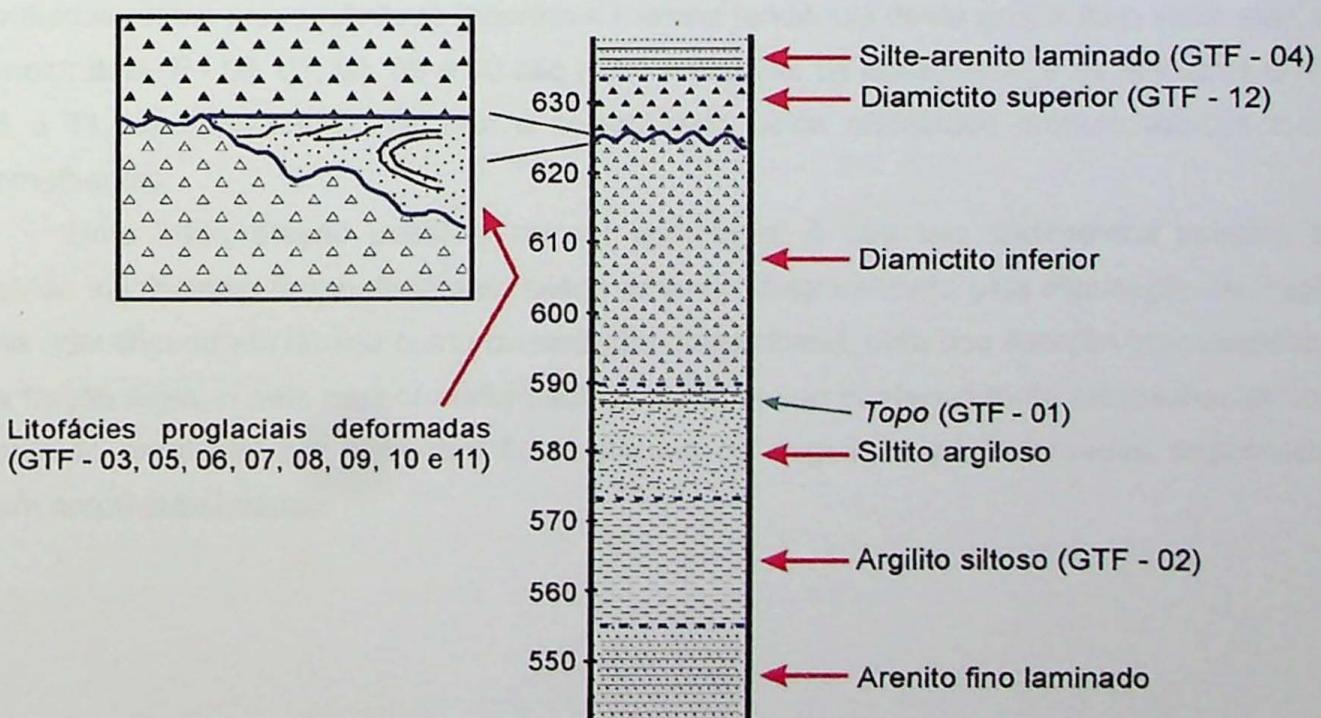
Segundo Rocha-Campos *et al.* (1977), dois diamictitos de cerca de 4 metros de espessura máxima exposta, superpõem-se, separados por uma discordância erosiva, ao longo da qual ocorre um alinhamento de clastos de tamanho e natureza variada, pertencentes ao topo do diamictito inferior. O alinhamento de clastos corresponde, provavelmente, à seção vertical de um pavimento de clastos do tipo intertill.

O diamictito inferior, de matriz silto-argilosa, é megascopicamente maciço, exceto pela presença, em algumas regiões, de superfícies de fissilidade inclinadas e horizontais. O diamictito superior difere do primeiro pela matriz arenosa e por conter maior número de clastos dispersos. Tal estratigrafia parece ser semelhante para os 4 (quatro) cortes paralelos da rodovia.

O levantamento (mapeamento) realizado ao sul da rodovia (Figuras 6 e 11), indica que o diamictito inferior estende-se até aproximadamente a cota altimétrica de 590 m, onde configura-se uma marcante quebra do relevo. Sotoposto ao diamictito inferior desenvolve-se um pacote de arenito muito fino (amostra GTF - 01), com granocrescência ascendente, a partir da base onde predominam silte-argilas (amostra GTF - 02), laminados plano-paralelamente, que recobrem um intervalo de arenito fino laminado. Enquanto que, o levantamento (mapeamento) realizado ao norte da rodovia, indica, uma vez que não foi observada sua continuidade lateral, que localmente o diamictito superior pode estar sotoposto a um pacote de silte-arenito (amostra GTF - 04), laminado plano-paralelamente (Figura 11).

Um caminhamento feito em uma estrada paralela à pista capital – interior, que dá acesso a ponte sobre os afloramentos do Km 111, relevou a presença de corpos lenticulares de arenito médio a grosso com fração argilo-siltosa subsidiária (amostra GTF - 03), de contatos bruscos, completamente envolvidos pelo diamictito inferior, ou aprofundando-se neste a partir do seu topo. Sua forma, estrutura interna e natureza do seu contato com o diamictito envolvente permitem identificá-las como estruturas acanaladas (Figura 11).

O perfil levantado no afloramento interno da pista interior - capital (vide perfil B, no anexo 5), descrito em detalhes no item 7.3., será discutido e interpretado no item 8.2.2.



## 8.2. Discussão / Interpretação dos resultados obtidos

### 8.2.1. Integração dos dados sedimentológicos (granulometria, arredondamento e esfericidade) e caracterização ambiental dos sedimentos

#### Associação das amostras GTF - 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11

Uma curva acumulativa teórica desse grupo (vide anexo 1), apresenta forte semelhança com a curva acumulativa típica de areia de duna de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa de *cover sand* de French (1996).

As amostras **GTF - 07 e 08** apresentam-se muito bem selecionadas, caracterizando serem arenitos fino a médio. Embora estas apresentem uma componente silte / argila de aproximadamente 15 %, tal fração foi identificada em lâmina petrográfica como sendo cimento essencialmente caulinítico, de origem diagenética.

As amostras **GTF - 03, 05, 06, 09, 10 e 11** apresentam-se de bem a muito bem selecionadas, e se diferenciam das primeiras, por serem mais grossas (curva de freqüência assimétrica deslocada mais para esquerda). Estas também apresentam uma componente silte / argila variando entre 10 e 20 %, que foi identificada em lâmina petrográfica como cimento essencialmente caulinítico de origem diagenética.

Os sedimentos desse grupo apresentam arredondamento variando entre subarredondado a bem arredondado, sendo essencialmente subarredondado / arredondado, apresentando ainda uma fração subangulosa. A esfericidade varia entre alta / média. Embora arredondamento e esfericidade das amostras **GTF - 09, 10 e 11** não tenham sido avaliadas, estas provavelmente mantêm a mesma tendência deste grupo, haja vista, que, as amostras GTF - 05, 07, 08, 09 e 10 são representativas da litofácie A, e as amostras GTF - 06 e 11, da litofácie C. Tal fato é corroborado pelos resultados granulométricos muito semelhantes.

Uma interpretação possível de ser adiantada, é que tais sedimentos possam ter sofrido significativo retrabalhamento eólico anterior, diagnosticado pela eliminação da fração fina (identificada em lâmina como cimentação diagenética), pela boa seleção granulométrica da fração areia, e pela melhor maturidade textural, sendo posteriormente retrabalhados num contexto proglacial por correntes flúvio-glaciais de degelo, e posteriormente depositados num corpo subaquático.

## **Amostra GTF - 01**

A curva acumulativa dessa amostra (vide anexo 1) apresenta forte semelhança com a curva acumulativa típica de areia de duna de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa de *cover sand* de French (1996).

A amostra GTF - 01 apresenta-se muito bem selecionada, caracterizando um arenito muito fino a fino. Contudo, vale ressaltar que esta apresenta uma componente (fração) silte / argila de aproximadamente 25 %.

Tais sedimentos apresentam-se com arredondamento variando entre anguloso e subarredondado, sendo essencialmente subarredondado / subanguloso, com uma componente (fração) essencialmente arredondada. A esfericidade é média.

Uma interpretação possível, é que os sedimentos constituintes da camada sotoposta ao diamictito inferior, onde a amostra GTF - 01 representa sua posição superior, possam ter sofrido significativo retrabalhamento eólico anterior a fase que depositou o diamictito. Isso é diagnosticado pela boa seleção granulométrica da fração areia, pela pouca quantidade de finos (os quais não foram identificados em lâmina). Contudo, a menor maturidade textural, indica que estes sedimentos têm origem essencialmente subaquática anterior ao retrabalhamento eólico.

## **Amostra GTF - 02**

A curva acumulativa dessa amostra (vide anexo 1) não apresenta quaisquer características significativas das curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa típica de loess e *cover sand* de French (1996).

A amostra GTF - 02 apresenta-se pouco selecionada. Outra característica relevante dessa amostra, é a alta concentração de sedimentos silte-argilosos.

Tais sedimentos apresentam-se com arredondamento variando entre anguloso e subarredondado, sendo essencialmente subarredondado / subanguloso, com uma componente (fração) essencialmente arredondada. A esfericidade é média.

Uma interpretação possível, é que tais sedimentos provavelmente não sofreram retrabalhamento eólico, diagnosticado pela alta concentração de silte e argila, pela baixa seleção granulométrica, e pela menor maturidade textural, sendo, provavelmente, de origem subaquática. Isso é corroborado pela laminação plano-paralela observada em afloramento, típica de deposição por decantação em ambiente subaquoso.

### **Amostra GTF - 04**

A curva acumulativa dessa amostra (vide anexo 1) não apresenta característica significativa com nenhuma das curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa típica de loess e *cover sand* de French (1996).

A amostra GTF - 04 apresenta-se muito pouco selecionada, com alta concentração de sedimentos silte-argilosos.

Tais sedimentos apresentam-se com arredondamento variando entre subarredondado a bem arredondado, sendo essencialmente subarredondado / arredondado, apresentando uma componente (fração) essencialmente subangulosa. A esfericidade varia entre alta / média.

Uma interpretação possível para a gênese do silte-arenoso laminado (amostra GTF - 04) é que, devido a sua posição estratigráfica superior em relação ao diamictito superior (litoácies E, amostra GTF - 12), assim como aos resultados das análises apresentaram uma maior maturidade textural (maior arredondamento e esfericidade), estes provavelmente possam ter sido originados do retrabalhamento eólico de sedimentos com esfericidade arredondamento prévios, como os da associação das amostras GTF - 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11. Contudo, os sedimentos constituintes da amostra GTF - 04 apresentam alta concentração de silte e argila e baixa seleção granulométrica, o que inviabiliza essa hipótese, indicando, aliado a observação em afloramento de laminação plano-paralela, que estes sedimentos sofreram transporte e deposição em ambiente subaquático.

### **Amostra GTF - 12**

A curva acumulativa dessa amostra (vide anexo 1) não apresenta característica significativa com nenhuma das curvas acumulativas típicas de alguns sedimentos característicos de Krumbein e Sloss (1963) e com a curva acumulativa típica de loess e *cover sand* de French (1996).

A amostra GTF - 12 apresenta-se com o grau de seleção granulométrica baixíssimo, sendo que apenas 22,53 % correspondem a siltes e argilas.

Apesar de não ter sido feito à análise de arredondamento e esfericidade, provavelmente estes sedimentos apresentam-se com arredondamento essencialmente subarredondado / subanguloso e esfericidade baixa / média.

### 8.2.2. Origem das estruturas do Perfil B

A natureza intraformacional das deformações, as quais estão confinadas entre os horizontes estratais do Subgrupo Itararé, descarta a possibilidade de sua origem estar associada à tectônica posterior ao Neopaleozóico. A camada confinante, o diamictito superior (litofácies E), não apresenta qualquer evidência de deformação tectônica.

Esta associação de litofácies inserida entre os contatos dos diamictitos apresenta dobras recumbentes, dobras de arrasto e planos de cisalhamento, com consistência da geometria, orientação das estruturas e vergência dominante para noroeste. Cabe ressaltar que, infelizmente foram medidos poucos dados estruturais.

Estas estruturas indicam claramente um comportamento dúctil dos sedimentos menos competentes durante a deformação, que possivelmente foram geradas por processos glaciotectônicos, em virtude da presença de diamictitos logo acima da zona de cisalhamento. Cabe lembrar que o diamictito superior (litofácies E) é maciço, silto-arenosos e suas características sedimentológicas, assim como, a relação estratigráfica local e com o contexto geológico regional, indicam a possibilidade que possa corresponder a um tilito subglacial. No entanto, não pode ser descartada a possibilidade das dobras recumbentes serem geradas por fluxos gravitacionais de massa (*sliding / slumping*), anteriores ao avanço da geleira.

O contexto geológico local pode ser interpretado como resultante de uma fase deposicional proglacial, onde os sedimentos foram depositados num contexto flúvio-glacial. Posteriormente, estes sedimentos de lavagem proglacial foram deformados subglacialmente pelo deslocamento de geleira em seu ulterior avanço.

### 8.2.3. Interpretação da lâmina petrográfica

A hipótese de que a cimentação caulinítica seja uma pseudomatriz, ou seja, grãos de pelito ou metapelito esmagados por compactação mecânica, não é corroborada pela mineralogia do cimento em questão e pela homogeneidade mineralógica com que este se apresenta. Uma vez que o cimento caulinítico é possivelmente originado pela alteração diagenética dos grãos dos feldspatos, e apresenta uma textura sacaroidal, indicativa de recristalização. Sendo assim, provavelmente a caulinita é indicativa de uma epimatriz, cuja gênese inicia-se com a alteração diagenética do grão de feldspato, formando-se um pseudomorfo do mesmo, porém de mineralogia caulinítica, que posteriormente sofreu compactação mecânica, esmagando o grão e formando o material intersticial e/ou envolvendo vários grãos, resultando na distribuição heterogênea observada amostra, porém

de homogeneidade mineralógica. A textura sacaroidal e microcristalina da caulinita é indicativa de que houve uma recristalização posterior.

A cimentação por óxido / hidróxido de ferro, por carbonato e por filossilicato, possivelmente caulinita, que forma uma película envoltória nos grãos, são as únicas que podem ser consideradas como cimentos *sensu stricto*, consequentemente de origem diagenética.

Sendo assim, a fração silte-argilosa encontrada nas análises granulométricas das amostras GTF - 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11, não são interpretadas como sindepositionais, e sim diagenéticas. Este fato corrobora com a hipótese de que houve um retrabalhamento eólico dos sedimentos constituintes das litofácies anteriormente ao transporte e deposição flúvio-glacial, uma vez que a seleção granulométrica é muito boa.

#### 8.2.4. Interpretação dos clastos

Extensas superfícies de fragmentos angulosos de rocha, como o concentrado de clastos (*lag concentrate*) observado sobre o diamictito inferior, comumente denominadas de **campo de blocos** (*block fields*) na literatura européia, e ***kurums***, na literatura russa, são exemplos dramáticos de desintegração e quebra mecânica de rochas por congelamento da água presente nos poros, juntas e planos de acamadamento (modificado de French, 1996). Segundo Trosdtorf (2002), o fraturamento pode atingir a rocha do embasamento, mas afeta também clastos de till, clastos caídos e cascalho flúvio-glacial, formando clastos partidos (*frost wedge ou splitted clasts*).

A geração dessas feições de congelamento e degelo está associada a diferença do coeficiente de dilatação térmica da água e da rocha. Como mencionado anteriormente, a água doce e pura expande cerca de 9 % de seu volume quando congelada. Essa porcentagem decresce em condições naturais, se a água apresentar sais dissolvidos, o que acarreta na diminuição do seu ponto de congelamento (Trosdtorf, 2002).

Diversos pesquisadores acusam os ciclos congelamento-degelo como causa do fraturamento e, consequentemente, desintegração de rochas submetidas a baixas temperaturas. Entretanto, Hallet *et al.* (1991 *apud* French, 1996), usando amostras de arenito, inferiam que o congelamento induz à propagação de micro-fraturas sob temperatura de -3° C e -6° C. Portanto, o micro-fraturamento não requer ciclos congelamento-degelo, mas uma temperatura constante abaixo de zero. Walder e Hallet (1985; 1986 *apud* French, 1996) enfatizam que não são necessárias altas freqüências de ciclos de congelamento-degelo para a propagação de rachaduras, pois estas podem ocorrer em temperaturas entre -4° C e -15° C.

A possibilidade de que os clastos, concentrados sobre o diamictito inferior, tenham sido fraturados por variação da temperatura atual da região é muito remota, uma vez que,

estes não estão expostos em um pavimento sub-aéreo, e também pelo fato de que a variação da temperatura média é relativamente pequena e ocorreu durante período longo, principalmente quando comparada com regiões de clima periglacial atuais (Tabela 3). Nessas regiões, além das diferenças de temperatura serem maiores, as temperaturas médias estão geralmente abaixo de zero.

Localidade	$\Delta T$
Spitsbergen, Green Harbour	21
Canadá Ártico, Sachs Harbour	32
Sibéria Central, Yakutsk	62
Yukon, Canadá, Cidade de Dawson	45
Alpes, Sonnblick 3060 m	15
Rockies, Niwot Ridge, 3750 m	21
Platô do Tibete, Fenghuo Shan, 4800 m	22,7

**Tabela 3:** Variação anual de temperatura em regiões com clima periglacial atual, (French, 1996). Temperaturas em °C.

A ausência de estruturas indicativas de tectonismo no diamictito, como falhas, descarta a hipótese de que os clastos teriam sido fraturados por fraturamento tectônico.

A hipótese de congelamento-degelo é aparentemente a que melhor se encaixa aos dados de campo. A oscilação congelamento-degelo ou apenas o congelamento da água presente nos poros e planos de fraqueza, teria sido a causa do fraturamento observado nos clastos.

### 8.3. Origem

Este trabalho corrobora com a interpretação de origem periglacial para as estruturas cuneiformes descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977), devido a aparente continuidade lateral das litofácies e aos novos dados sedimentológicos.

A estratigrafia da área se inicia com sedimentos finos depositados por decantação subaquática, seguida da deposição do diamictito inferior. Com o posterior recuo da geleira, se estabelece um ambiente periglacial, onde, devido a formação de estruturas em forma de cunha, que resultam da contração termal do solo (*permafrost*) causada pelo frio intenso. Essas estruturas podem ser preenchidas por gelo / neve, areia ou material do próprio solo.

Outrossim, associado ao ambiente periglacial, é comum a existência de areias eólicas. Essas apresentam-se usualmente com diâmetro variando entre 0,06 - 1,00 mm e formam comumente um depósito irregular e sem forma, ou *cover sand* (areia de cobertura periglacial), embora em alguns lugares elas também possam formar dunas. Ventifacts

podem ser encontrados associados a areias eólicas e, em alguns casos, silte pode estar incorporado. Ocasionalmente as areias de cobertura periglacial (*cover sands*) apresentam um certo grau de estratificação, envolvendo alternâncias de *loamy* e camadas siltosas. Essas areias são usualmente interpretadas como sendo de origem *níveo-eolian* (depósitos mistos de neve transportada pelo vento, areias, siltes e detritos vegetais), *sheetwash* (areias de lavagem em lençol) e soliflucção (French, 1996).

Em alguns casos, como na Europa e América do Norte, as areias são relacionadas aos limites glaciais no Pleistoceno, e são tipicamente derivadas de planícies de inundação sem cobertura por vegetação (*unvegetated flood plains*), planícies de frente de geleira (*glacial outwash plains*), planícies de till (*til plains*) e praias de lago (*lake shores*), (French, 1996).

Com o degelo posterior, associado à melhoria climática sazonal, tais sedimentos foram retrabalhados em uma planície de lavagem, num contexto proglacial, por correntes flúvio-glaciais e depositados num corpo subaquático, sendo posteriormente afetados pelo deslocamento de geleira em seu ulterior avanço por sobre os sedimentos de lavagem proglacial.

A geometria aparente, as estruturas internas e as relações de contato das litofácies arenosas reconhecidas no Perfil B, dos corpos arenosos lenticulares e das estruturas lenticulares anteriormente descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977) são sugestivas de preenchimento de canais proglaciais, superficiais escavados sobre o antigo diamictito por ação de águas correntes, provavelmente ligadas a fases de degelo e pseudomorfose das cunhas de gelo, que posteriormente foram deformadas por glaciotectônismo. A similaridade do material que constitui os dois grupos de estrutura é consistente com essa interpretação.

No que diz respeito às estruturas cuneiformes, anteriormente interpretadas por Rocha-Campos *et al.* (1977) como cunhas de gelo (*ice wedge*), novos dados obtidos nas análises sedimentológicas parecem indicar que os sedimentos sofreram retrabalhamento eólico, que é demonstrado pela boa seleção granulométrica e pelo bom grau de arredondamento e esfericidade das areias. Tal fato pode indicar preliminarmente que as estruturas cuneiformes possam corresponder a cunhas de areia (*sand wedge*, Péwé, 1959; Péwé *et al.*, 1969), e, sendo assim, resultam do fraturamento por contração termal do *permafrost*, mas seu preenchimento é constituído de areias eólicas. Estas estruturas formam-se, normalmente, em áreas extremamente áridas e sem vegetação, nas quais a água de degelo é rara e o material congelado (*hoar-frost*) não se acumula nas fraturas durante o inverno (Péwé, 1959; Péwé *et al.*, 1969).

A ocorrência das estruturas cuneiformes e sua possível correspondência a cunhas de areia (ou, alternativamente, a fraturas por congelamento sazonal), tem importante consequência no entendimento do paleoclima da Bacia do Paraná. Ambos os tipos de

estruturas são características do ambiente periglacial e decorrem de severas condições de temperatura que afetam o substrato de regiões não glaciadas.

As estruturas ocorrentes no afloramento estudado, interpretadas como canais proglaciais, são compatíveis com as características ambientais periglaciais acima esboçadas e resultariam, provavelmente, do degelo posterior, associado à melhoria climática sazonal ou, mais provavelmente, de maior duração, concomitantemente ao preenchimento das cunhas de areia (Rocha-Campos *et al.*, 1977).

Outrossim, a erosão superficial relacionada a fluxos de correntes flúvio-glaciais responsáveis pelo aporte e deposição de material arenoso e conglomerático, poderia ter provocado a formação de um concentrado de clastos (*lag concentrate*) sobre o till inferior, posteriormente retrabalhado sob a forma de pavimento, pela reativação da ação glacial responsável pela deposição do till superior (Rocha-Campos *et al.*, 1977).

## 9. Conclusões

1. Os métodos analíticos de arredondamento e esfericidade são muito subjetivos e, portanto, foram discutidos e desenvolvidos novos critérios para a sua classificação;
2. Uma possível interpretação para os sedimentos constituintes da camada sotoposta ao diamictito inferior, representada em sua posição superior pela amostra GTF - 01, é a de que teriam sofrido um significativo retrabalhamento eólico anterior a fase que depositou o diamictito, ou seja, pode ter se estabelecido um ambiente periglacial anterior a formação do diamictito inferior. Isso é diagnosticado pela boa seleção granulométrica da fração areia, e pela pouca quantidade de finos (não identificados em lâmina). Contudo, a menor maturidade textural e a laminação plano-paralela, indicam que estes sedimentos têm origem essencialmente subaquática;
3. As litofácies **A** e **C** e a amostra GTF - 03 sofreram significativo retrabalhamento eólico anterior, diagnosticado pela eliminação da fração fina, pela boa seleção granulométrica da fração areia, e pela melhor maturidade textural. Possivelmente, formam depósitos irregulares, sem forma, ou *cover sands* (areia de cobertura periglacial), embora em alguns lugares estas areias eólicas também possam formar dunas;
4. Este trabalho contribuiu com a interpretação de origem periglacial para as estruturas cuneiformes descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977), devido à aparente continuidade lateral das litofácies e aos novos dados sedimentológicos. A ocorrência das estruturas cuneiformes e sua possível correspondência a cunhas de areia (ou, alternativamente, a fraturas por congelamento sazonal), tem importante consequência

no entendimento do paleoclima da Bacia do Paraná. Ambos os tipos de estruturas são características do ambiente periglacial e decorrem de severas condições de temperatura que afetam o substrato de regiões não glaciadas;

5. O estabelecimento de um ambiente periglacial na região, mais especificadamente no paleo-relevo referente ao contato erosivo que se estende entre os dois diamictitos, contribui também para explicar o fraturamento dos clastos. Neste caso, a oscilação congelamento-degelo ou apenas o congelamento da água presente nos poros e planos de fraqueza, típica de ambientes periglaciais, teria sido a principal causa deste fraturamento observado nos clastos;
6. O pavimento de clastos sobre o diamictito inferior teria sido formado pela erosão superficial decorrente de fluxos flúvio-glaciais responsáveis pela remobilização dos sedimentos finos e a concentração do material arenoso e conglomerático, que posteriormente foi retrabalhado pela ação glacial, responsável pela deposição do till superior (litoftácie E, amostra GTF - 12);
7. A geometria aparente, as estruturas internas e as relações de contato das litoftácies arenosas reconhecidas no Perfil B, dos corpos arenosos lenticulares e das estruturas lenticulares anteriormente descritas por Rocha-Campos *et al.* (1977) são sugestivas de preenchimento de canais proglaciais escavados sobre o antigo diamictito por ação de águas correntes, provavelmente ligadas a fases de degelo e pseudomorfose das cunhas de gelo, que posteriormente foram deformadas por processos glaciotectônicos. A similaridade do material que constitui os dois grupos de estrutura é consistente com essa interpretação. Este retrabalhamento dos sedimentos eólicos em uma planície de lavagem estaria associado à melhoria climática sazonal;
8. Os sedimentos deformados entre os dois diamictitos indicam claramente um comportamento dúctil e que possivelmente foram geradas por processos glaciotectônicos, em virtude da presença de diamictitos logo acima da zona de cisalhamento. Cabe lembrar que o diamictito superior (litoftácie E) é maciço, silto-arenoso e suas características sedimentológicas, assim como a relação estratigráfica local e o contexto geológico regional, sugerem que possa corresponder a um tilito subglacial. No entanto, não pode ser descartada a possibilidade de que parte das dobras recumbentes possam ter sido geradas por fluxos gravitacionais de massa (*sliding / slumping*), anteriores ao avanço da geleira;
9. Desta forma, a estratigrafia da área estudada se inicia com a deposição de sedimentos finos por decantação subaquática, seguida pela deposição do diamictito inferior. Posteriormente, foram constatados indícios de ambientes periglacial e proglacial, cujo registro, em seguida, foi remobilizado e deformado subglacialmente pelo avanço de um corpo de gelo.

## 10. Referências Bibliográficas Consultadas

- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. e FUCK, R.A., 1967. Striated surfaces and related features developed by the Gondwana Ice Sheets (State of Paraná, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3, art. 56, p. 256-276.
- CANUTO, J.R., 1985. Origem dos diamictitos e rochas associadas do Subgrupo Itararé, no sul do Estado do Paraná e norte do Estado de Santa Catarina. M.Sc Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - USP, 187p. (não public.).
- DOTT, R.H., Jr., 1964. Wacke, greywacke and matrix – what approach to immature sandstone classification? *J. Sediment. Petrol.*, 34(3), p. 625-632.
- EMBLETON, C. & KING, C.A.M., 1974. *Periglacial Geomorphology*. Edward Arnold. Sec. ed. Vol. 2. 203p.
- EYLES, N., 1985. *Glacial Geology. An Introduction for Engineers and Earth Scientists*. Pergamon Press. 409p.
- EYLES, N. e CLARK, B.M., 1985. Gravity-induced soft-sediment deformation in glaciomarine sequences of the Upper Proterozoic Port Askaig Formation, Scotland. *Sedimentology*, Vol. 32, p. 789-814.
- EYLES, C.H.; EYLES, N. e MIALL, A.D., 1985. Tillites and tilioids of the Armorican Massif. *Palaeogeography, Palaeoecology*, vol. 51, p.15-84.
- FOLK, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas. 183p.
- FRAKES, L.A., MENDES, J.C. e FULFARO, V.J., 1967. Fossil eskers and associated features from Paraná Basin, Brazil. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol.38, p.5-12.
- FRAKES, L.A. & CROWELL, J.C., 1969. Late Paleozoic glaciation: I. South America. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 80 (1) p. 1007-1042.
- FRENCH, H.M., 1976. *The periglacial environment*. Longman, Londres, 1<sup>st</sup> ed., 309p.

- FRENCH, H.M., 1996. The periglacial environment. Longman, Londres, 2<sup>st</sup> ed., 309p.
- GIANNINI, P.C.F., 1987. Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP). M.Sc Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - USP, 116p. (não public.).
- Guia de estradas – Quatro Rodas, 1999, pp. 22.
- JOHNSON, S.Y., 1989. Significance of loessite in the Maroon Formation (Middle Pennsylvanian to lower Permian), Eagle Basin, northwest Colorado. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 59, n° 5, September, p. 782-791
- KRAUSPENHAR, E.B., 1974. Estudo de texturas superficial de grãos por microscópio eletrônico. Seminários gerais. Instituto de Geociências - Usp. Abril, (não public.).
- KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L., 1963. Stratigraphy and Sedimentation. W.H. Freeman and Co., 2<sup>o</sup> ed., 660p.
- LEINZ, V., 1937. Estudos sobre a glaciação permo-carbonífera do Sul do Brasil. Dep. Nac. Prod. Miner., Div. Form. Prod. Miner., Bol. 21.
- MARTIN, H., 1961. The hypothesis of continental drift in the light of recent advances of geological knowledge in Brazil and South West Africa. *Geol. Soc. South Africa, Ann.*, 64, Alex L. du Toit Mem. Lectures, 7.
- MÜLLER, G., 1967. Methods in Sedimentary Petrography (Part I). New York. Hafner Publishing Co., 283p.
- PÉCSI, M., 1990. Loess is not just the accumulation of dust. In: PÉCSI, M. & LOCZY, D. (Eds). *Quaternary International*. Vs 7/8, p. 1-21.
- PÉWÉ, T.L., 1959. Sand - wedge polygons (tessellations) in McMurdo Sound region, Antarctica – a progress report. *Amer. Jour. Sci.*, 257 (8) p.545-552.
- PÉWÉ, T.L.; CHURCH, R.E. & ANDRESEN, M.J., 1969. Origin and palaeoclimatic significance of large scale polygons in the Donnelly Dome area, Alaska. *Spec. Pap. Geol. Soc. Amer.*, 109p.

RITTENHOUSE, G., 1943. A visual method of estimating two dimensional sphericity. *Journal of Sed. Petrol.*, 13(2): p. 79-81.

ROCHA-CAMPOS, A.C., 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In Bigarella, J.J.; Becker, R.D. e Pinto, I.D. (eds.), *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, Instituto de Geologia, UFPR, Curitiba, p.27-102.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; SAAD, A.R.; SANTOS, P.R. dos e OLIVEIRA, M.E.C.B. de, 1977. Algumas feições periglaciais do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), no Estado de São Paulo. *Boletim IGc*, Instituto de Geociências, USP, vol. 8, p.55-66.

ROCHA-CAMPOS, A.C. e CANUTO, J.R., 1984. Involuçãoes e outras feições glaciais do Subgrupo Itararé no norte de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 56 (1), 111p.

SAINZ, L.T. & RIPA, B.T., 1992. Análisis de sedimentos con microscopio electrónico de barrido: Exoscopia del cuarzo y sus aplicaciones a la geomorfología. In: *Cuadernos técnicos de la S.E.G. n° 4*. Sociedad Española de Geomorfología. Geoforma Ediciones Logroño.

SANTOS, P.R. dos, 1979. Distribuição estratigráfica, características e fácies de diamictitos e rochas associadas do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. M.Sc Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - USP, 135p. (não public.)

SPENCER, A.M., 1985. Mechanisms and environment of deposition of the late Precambrian geosynclinal tillites: Scotland and East Greenland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 51, p. 1143-158.

SUGUIO, K., 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Bertrand Brasil, 1222p.

TROSDTORF Jr, I., 2002. Geologia glacial Permo-carbonífera (Subgrupo Itararé) no flanco sul do Arco de Ponta Grossa, PR. M.Sc Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - USP, 144p. (não public.).

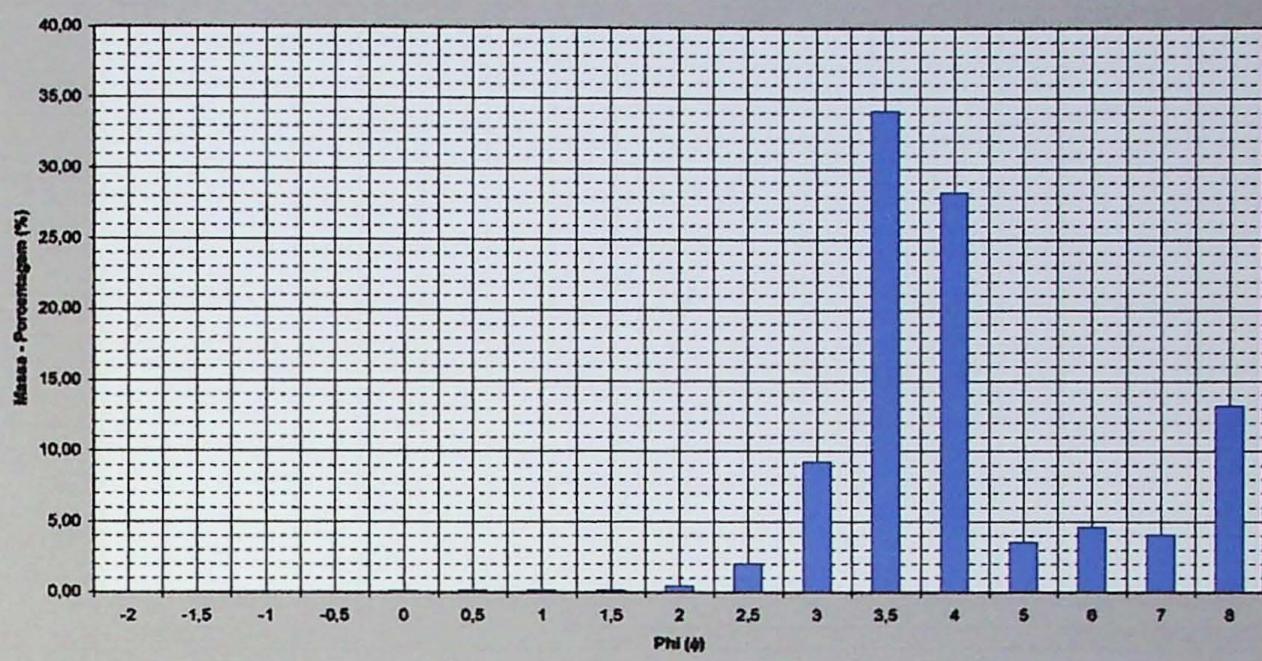
WASHBURNE, C.W., 1930. Petroleum Geology of the State of São Paulo. Comissão Geográfica e Geológica do estado de São Paulo. *Boletim* n° 21.

WASHBURNE, C.W., 1973. Periglacial processes and environments. Ward Arnold (Eds.) Ltd, London, 320p.

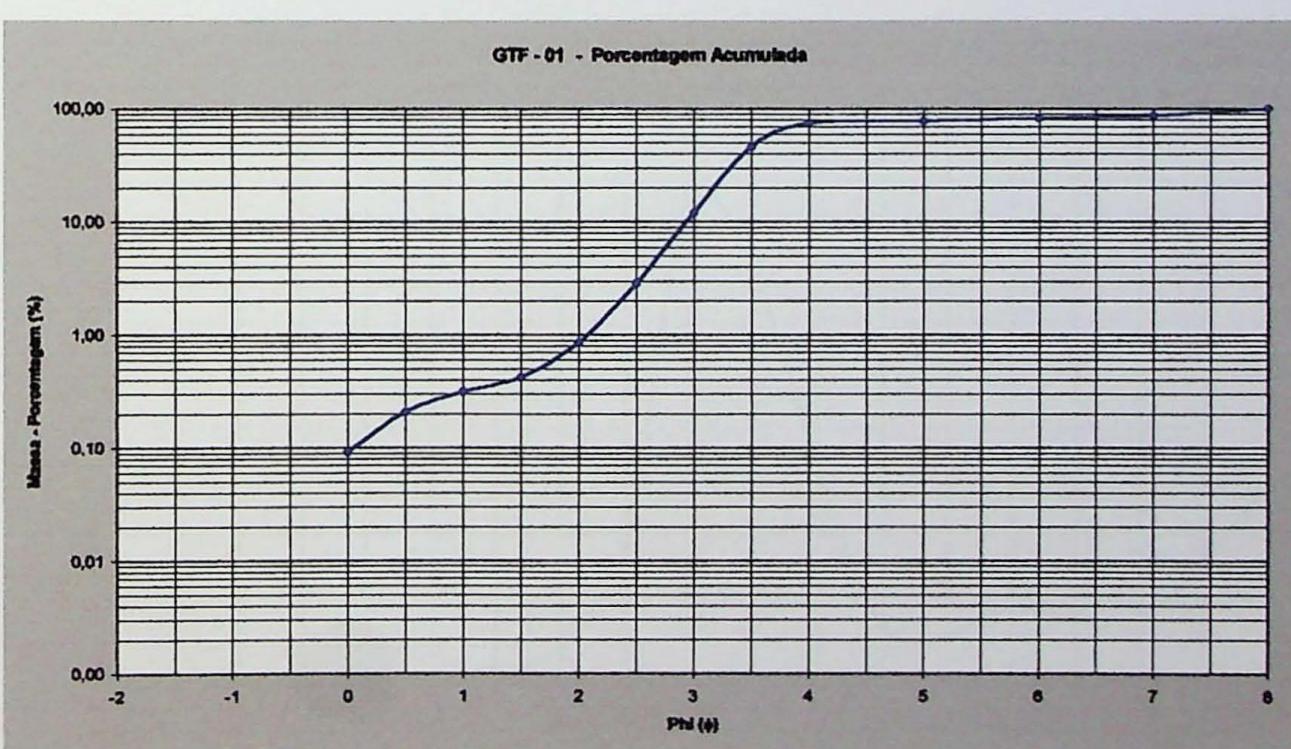
WEST, R.G., 1977. The periglacial zone. In: Pleistocene Geology and Biology, Chapter 5, p. 53-110. Longman Group Limited. London. Second Edition.

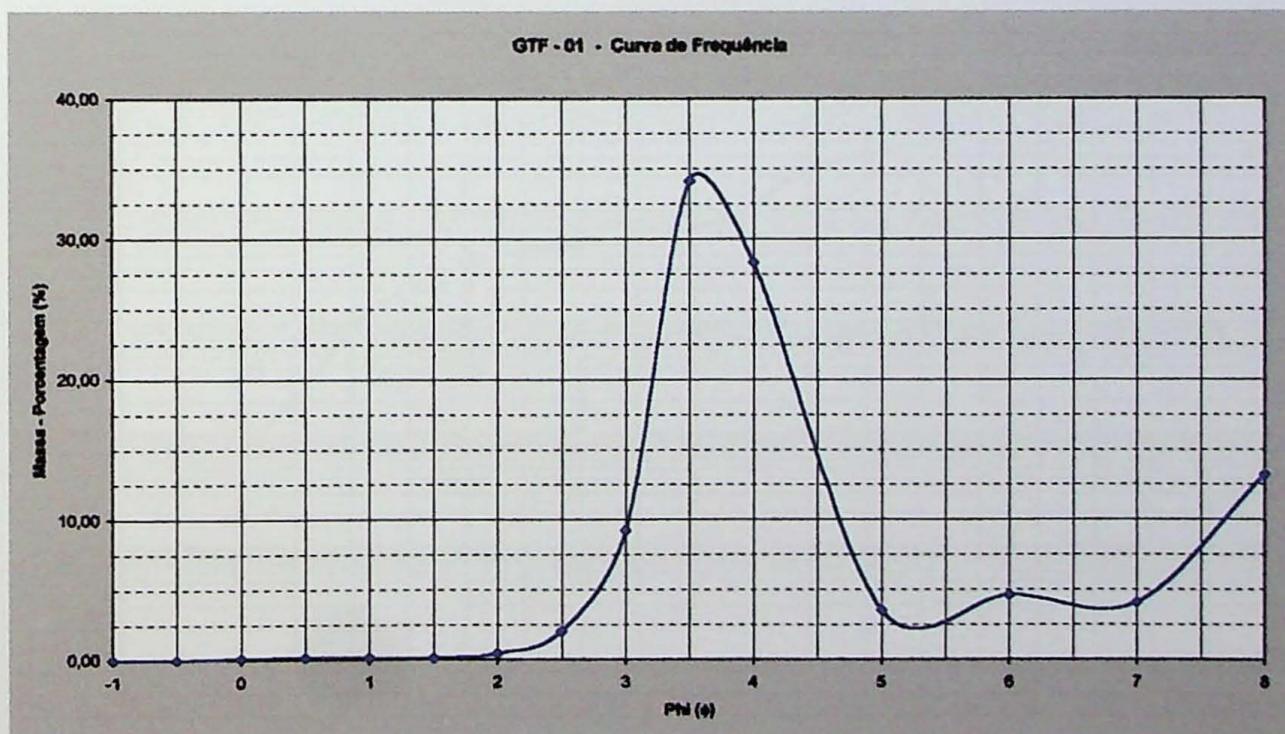
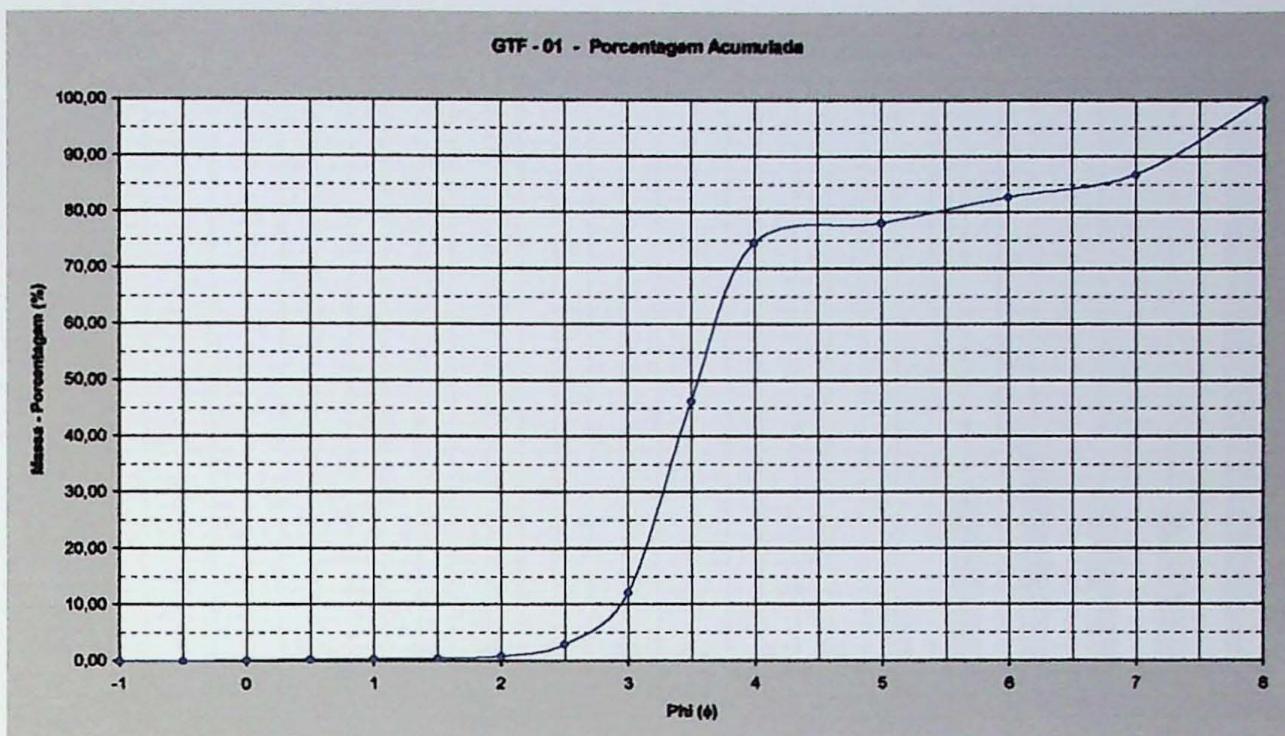
# Anexo 1

GTF - 01 - Análise Granulométrica

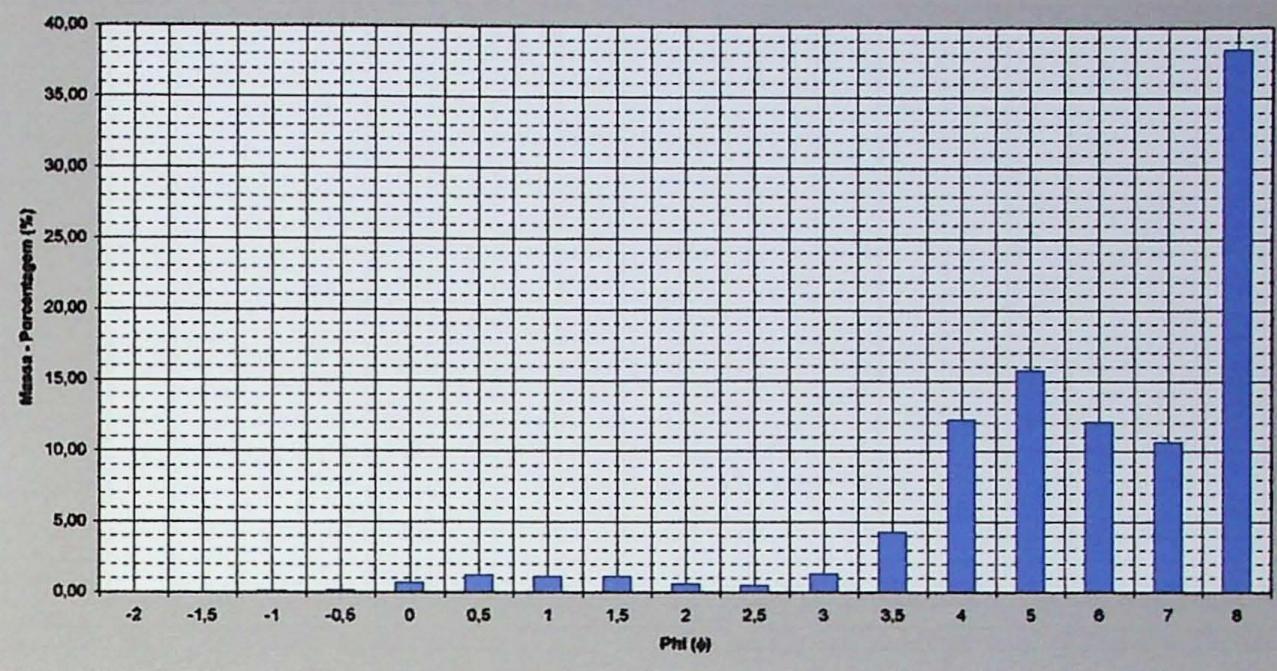


GTF - 01 - Porcentagem Acumulada

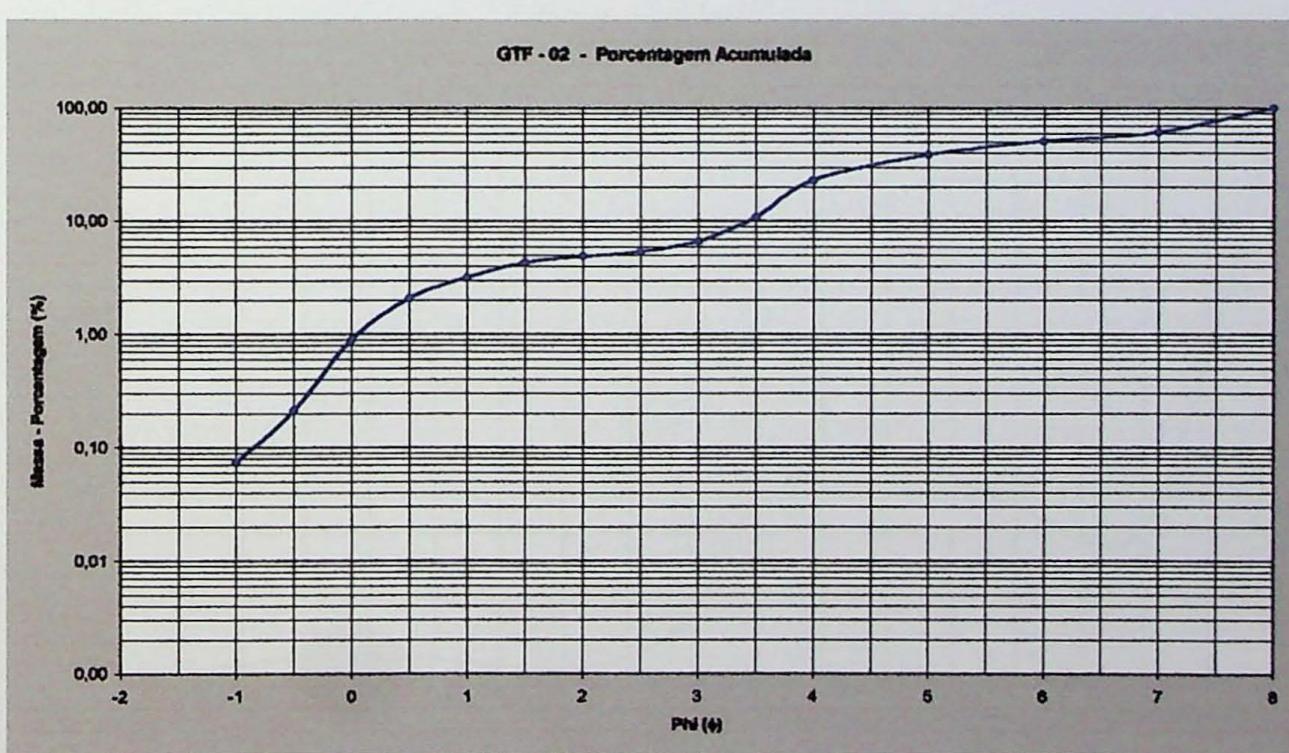


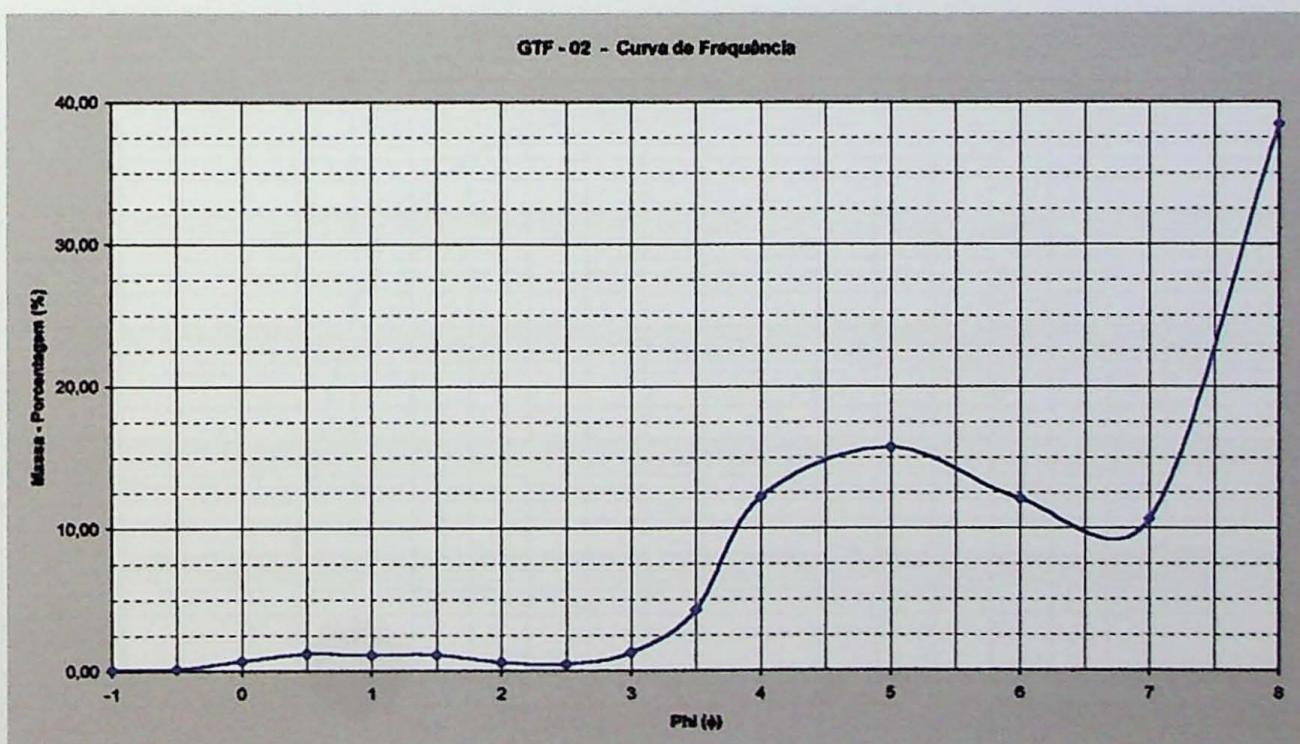
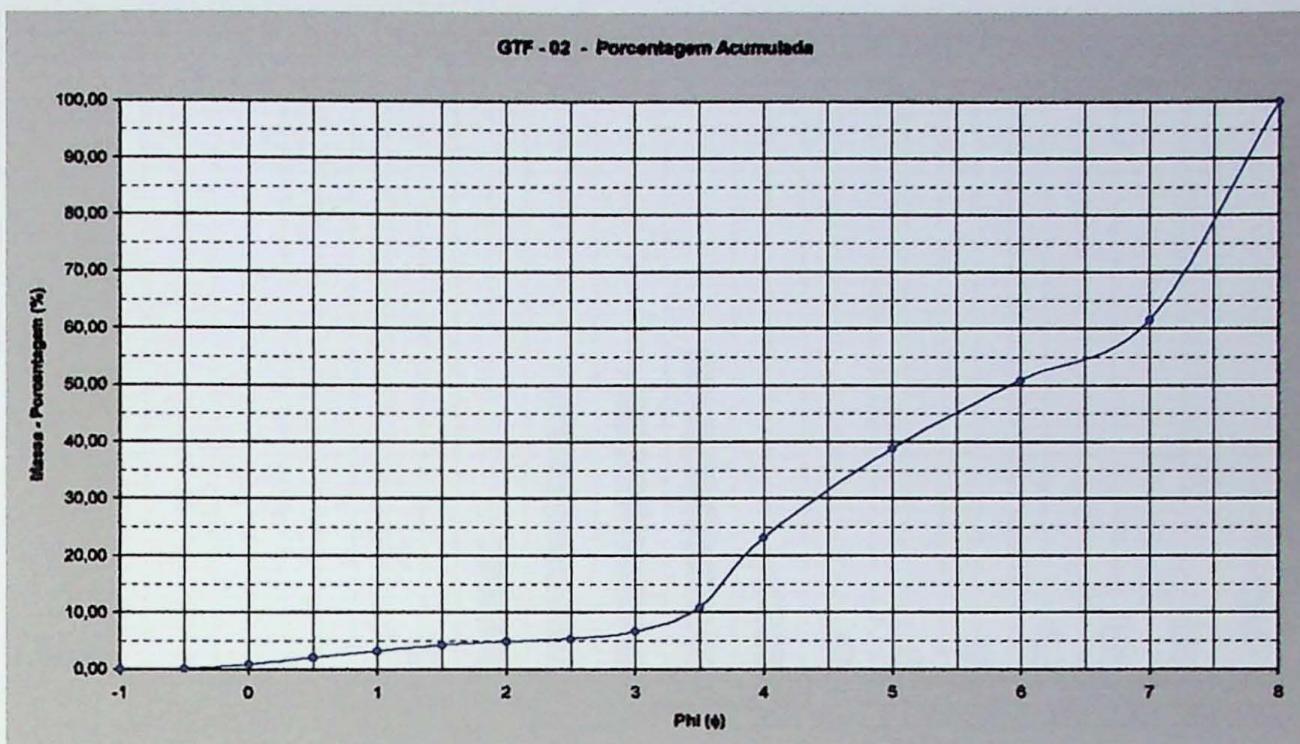


GTF - 02 - Análise Granulométrica

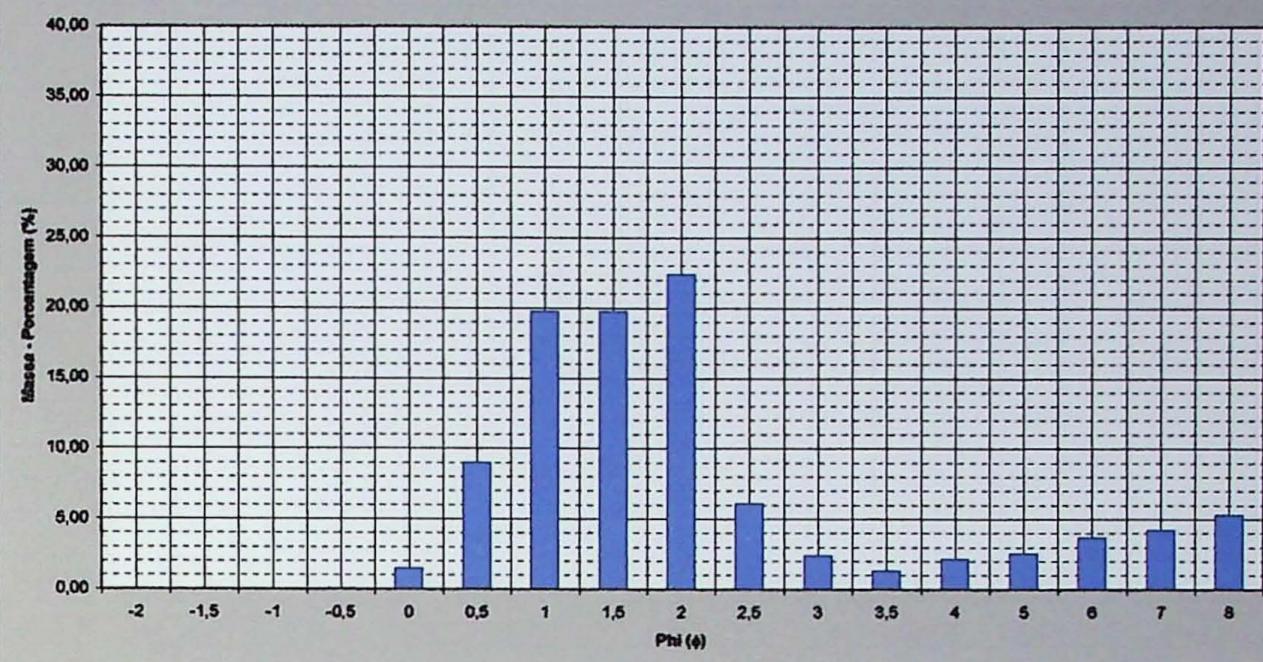


GTF - 02 - Percentagem Acumulada

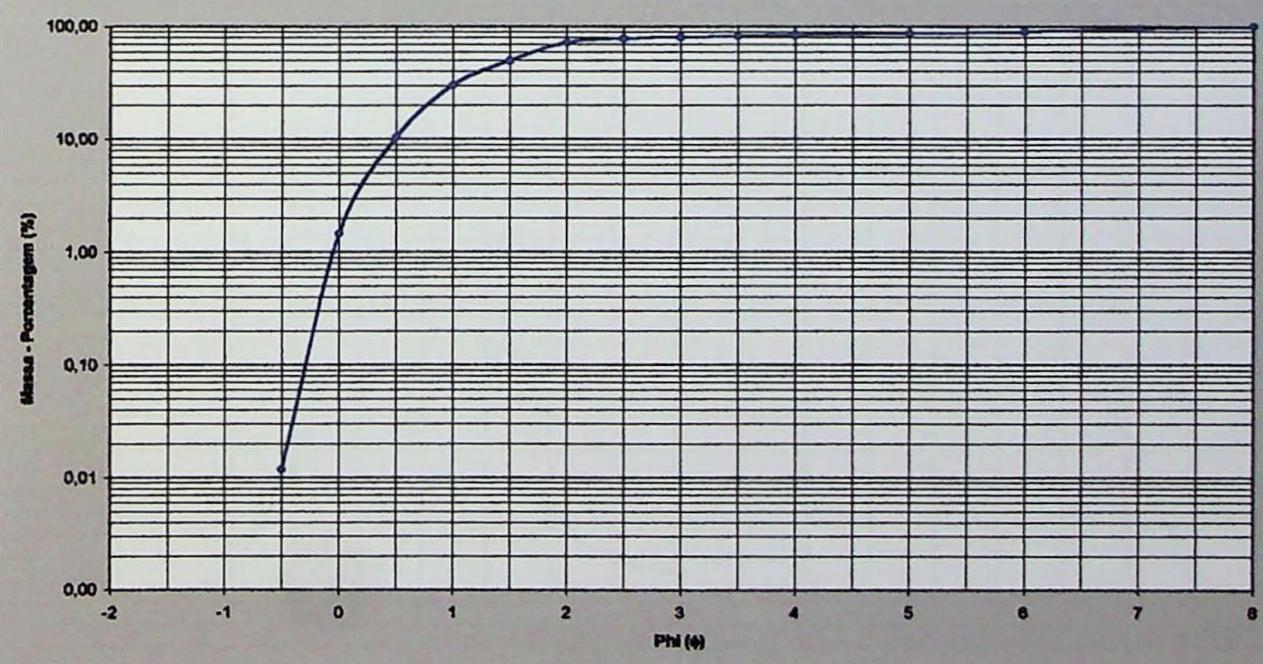




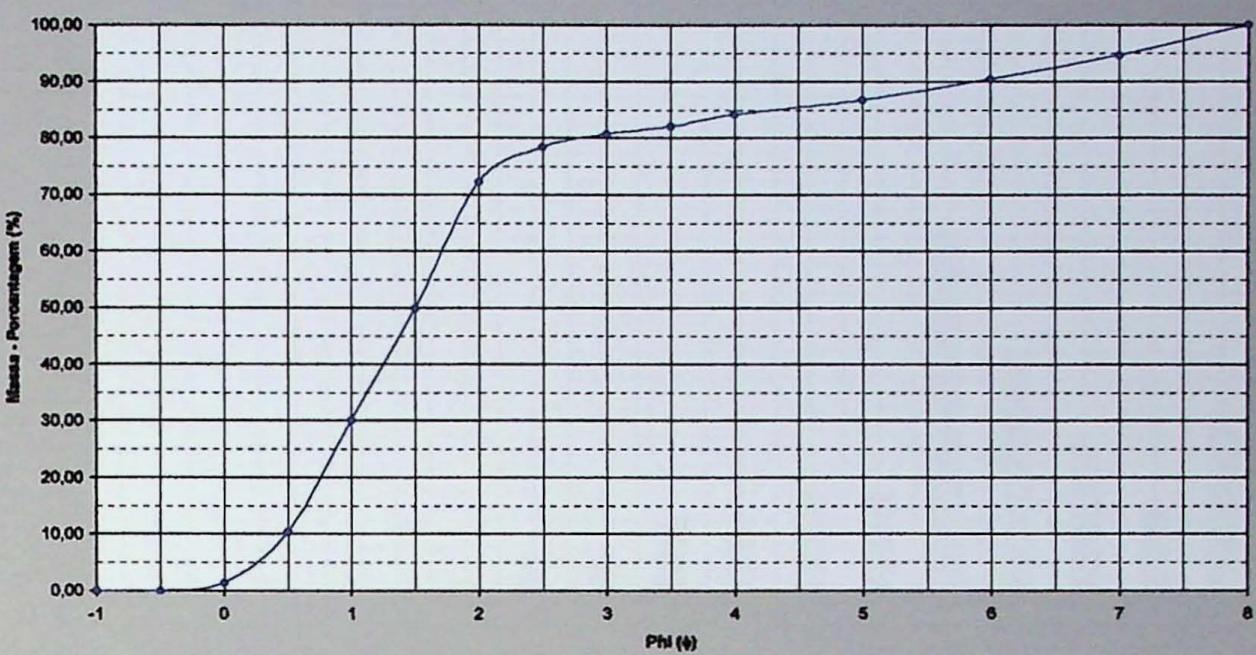
GTF - 03 - Análise Granulométrica



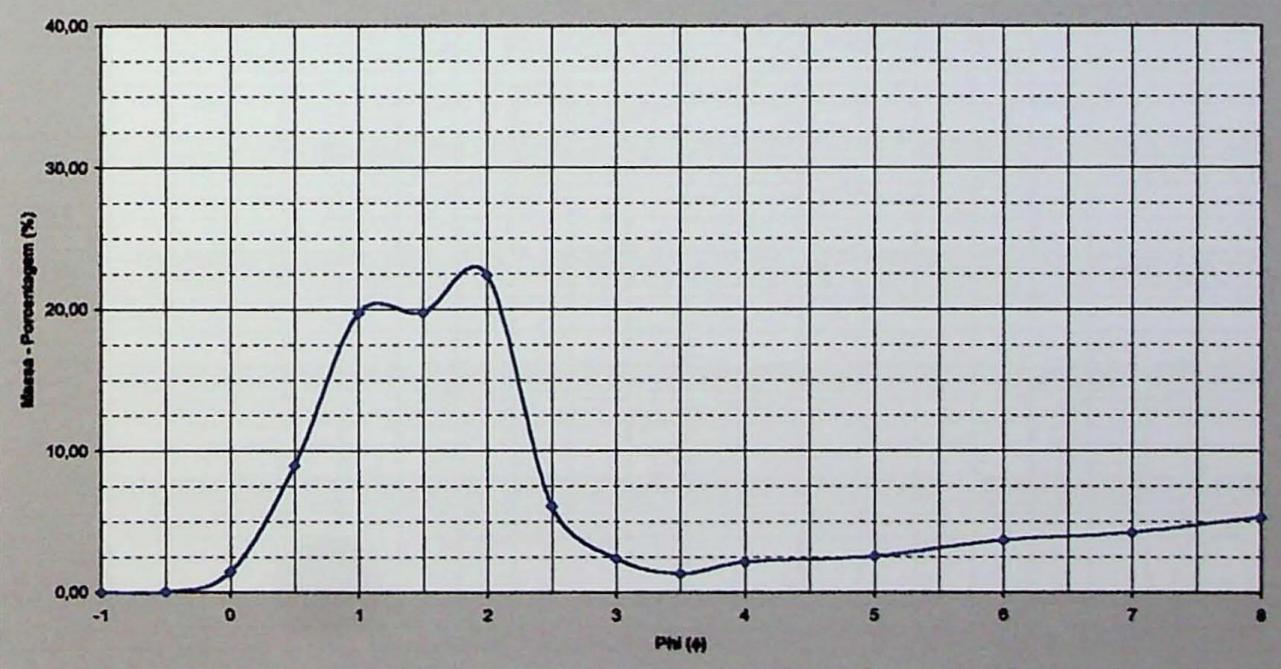
GTF - 03 - Porcentagem Acumulada



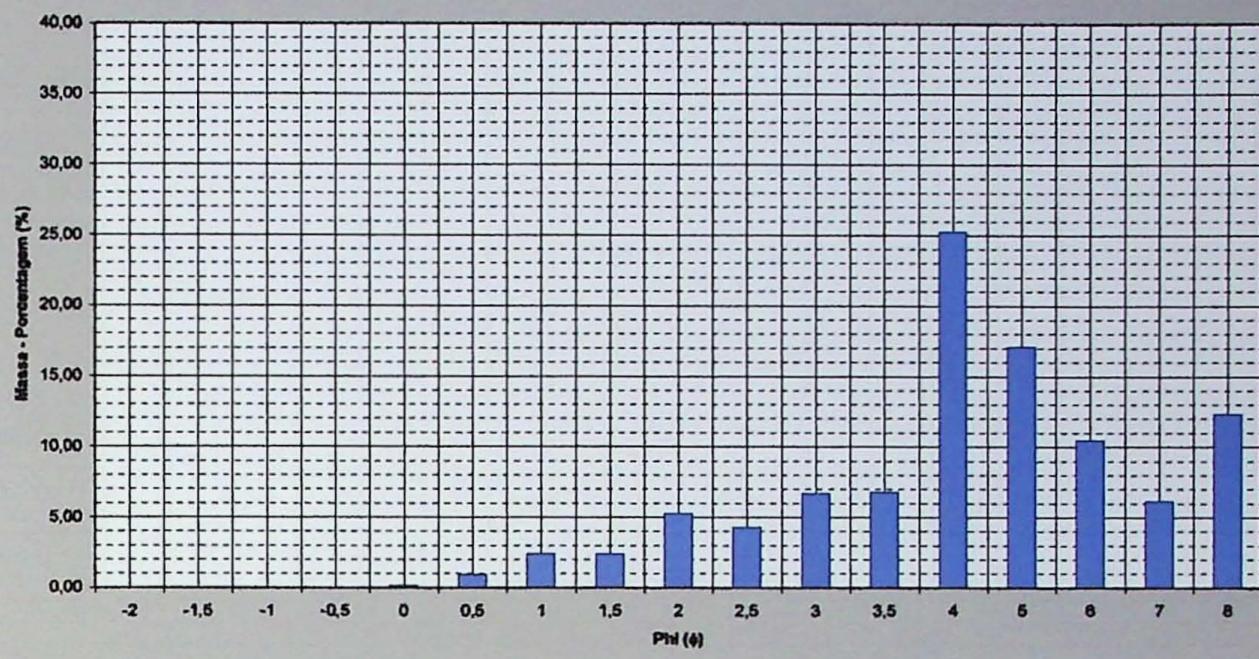
GTF - 03 - Porcentagem Acumulada



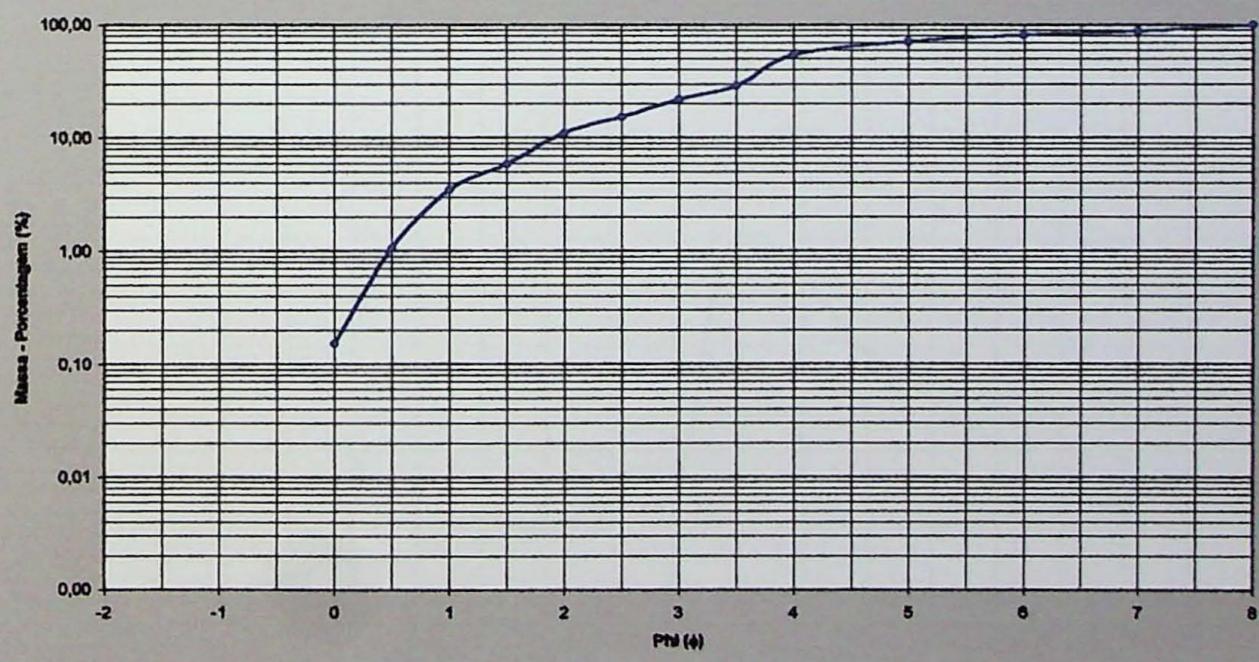
GTF - 03 - Curva de Frequência



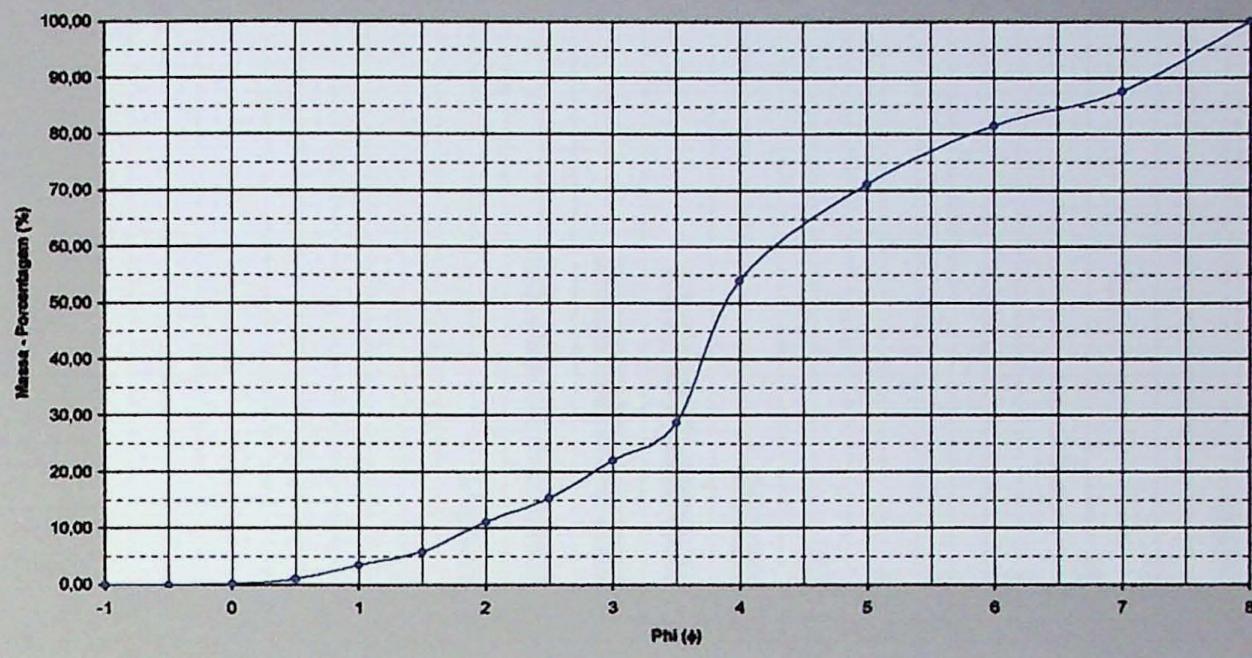
GTF - 04 - Análise Granulométrica



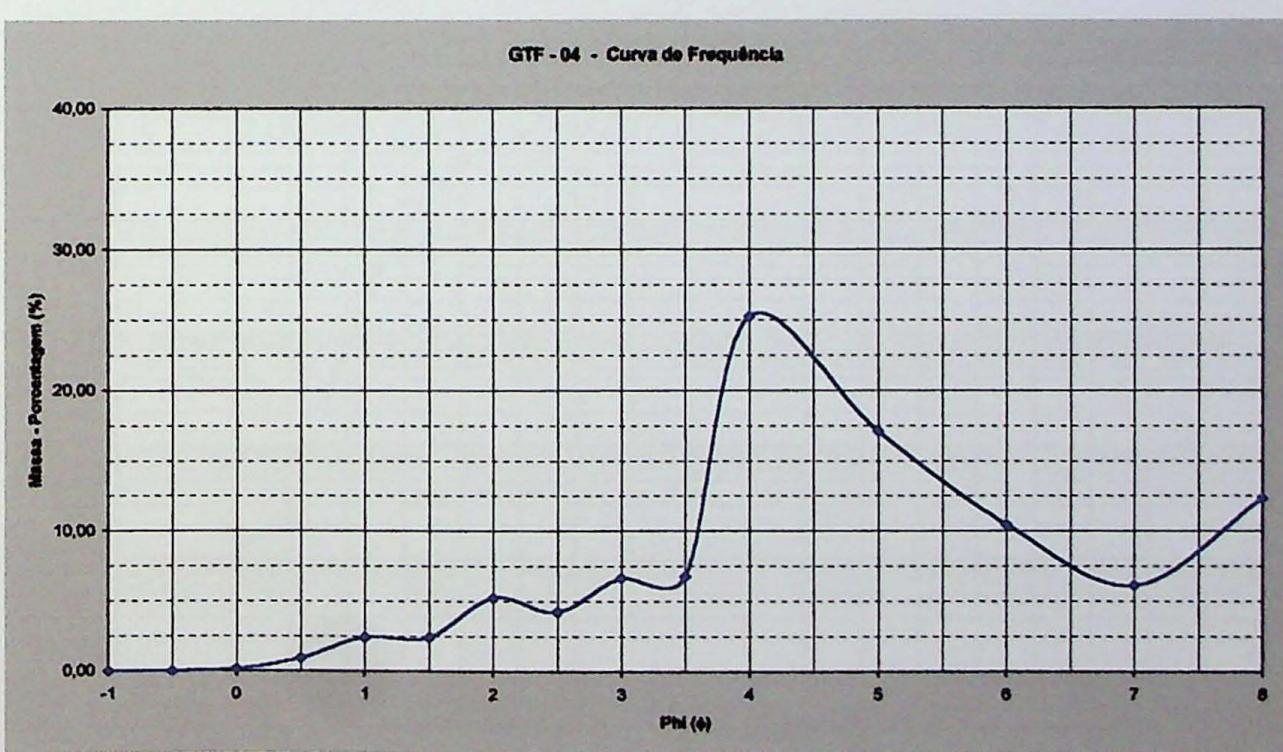
GTF - 04 - Porcentagem Acumulada

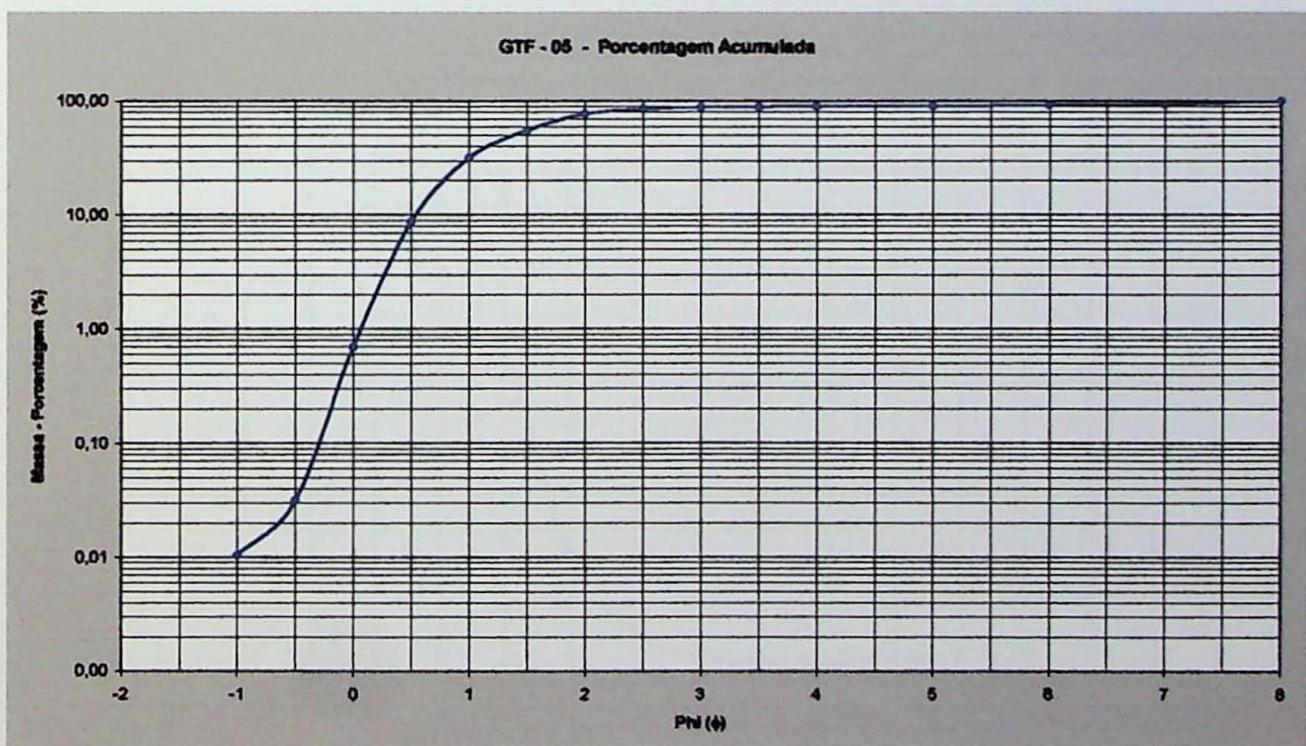
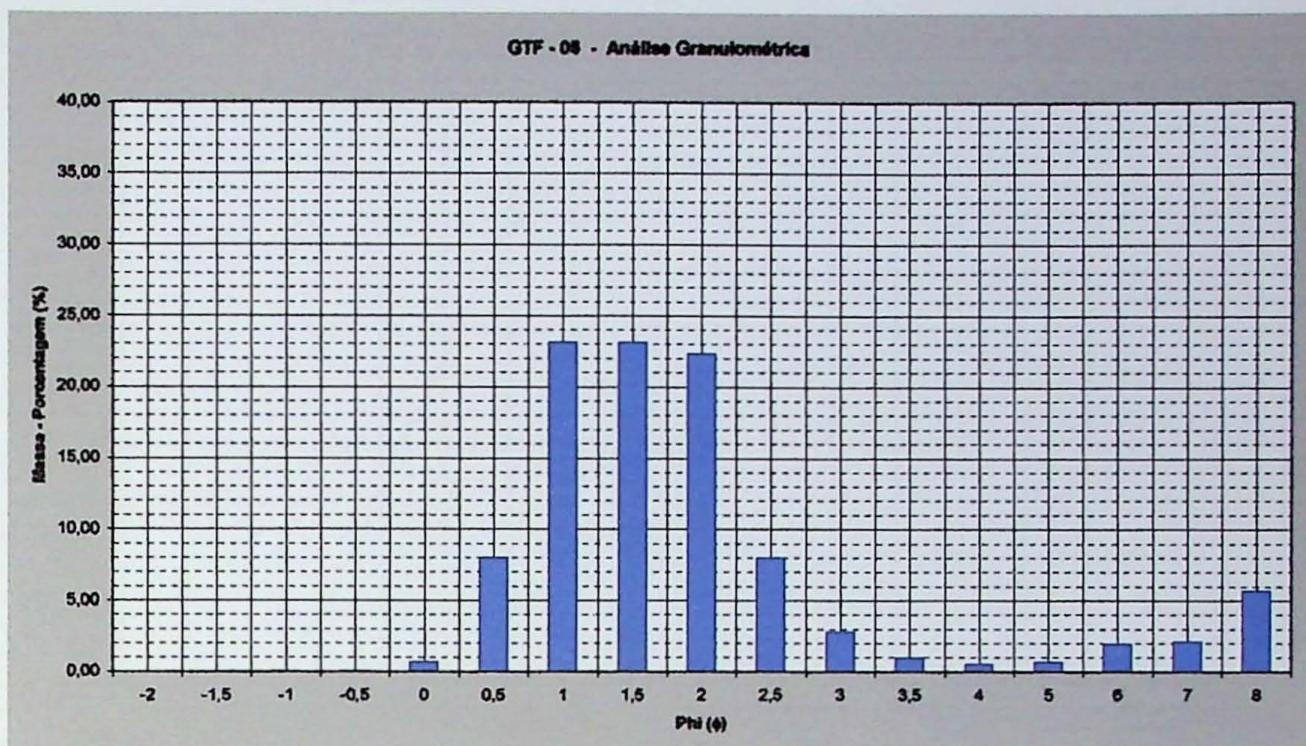


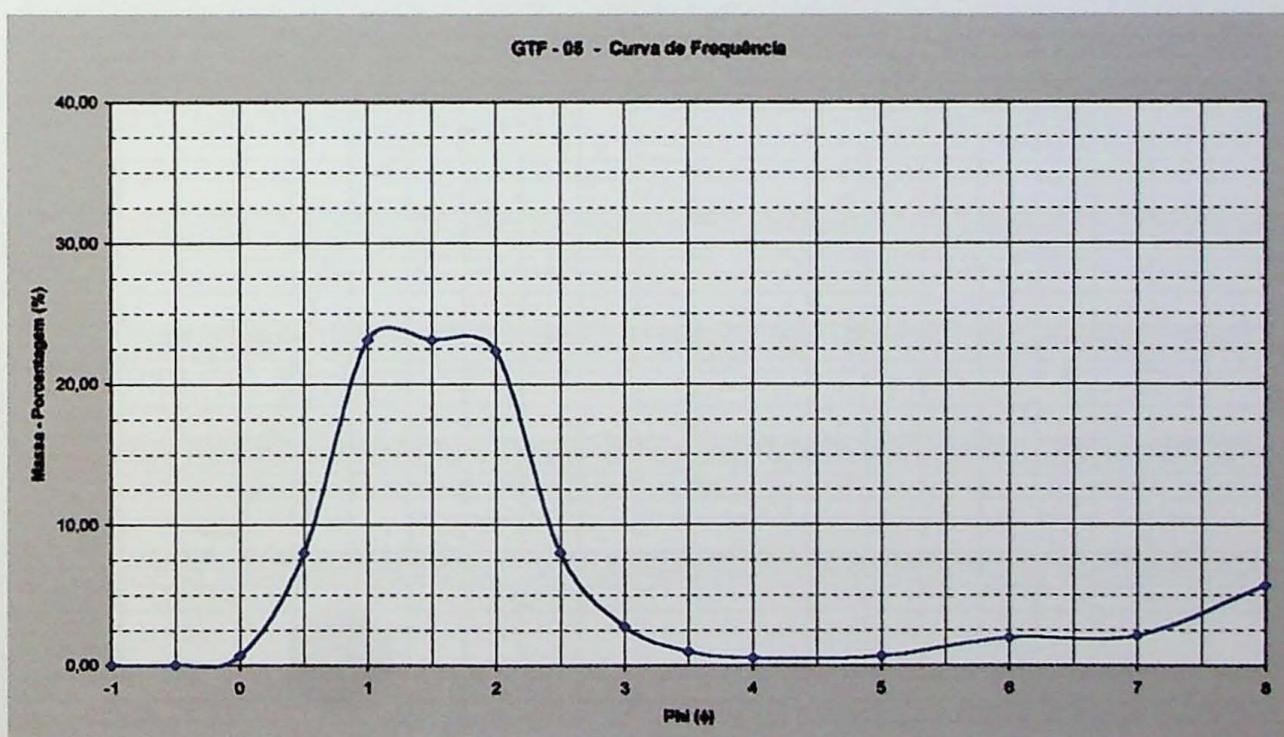
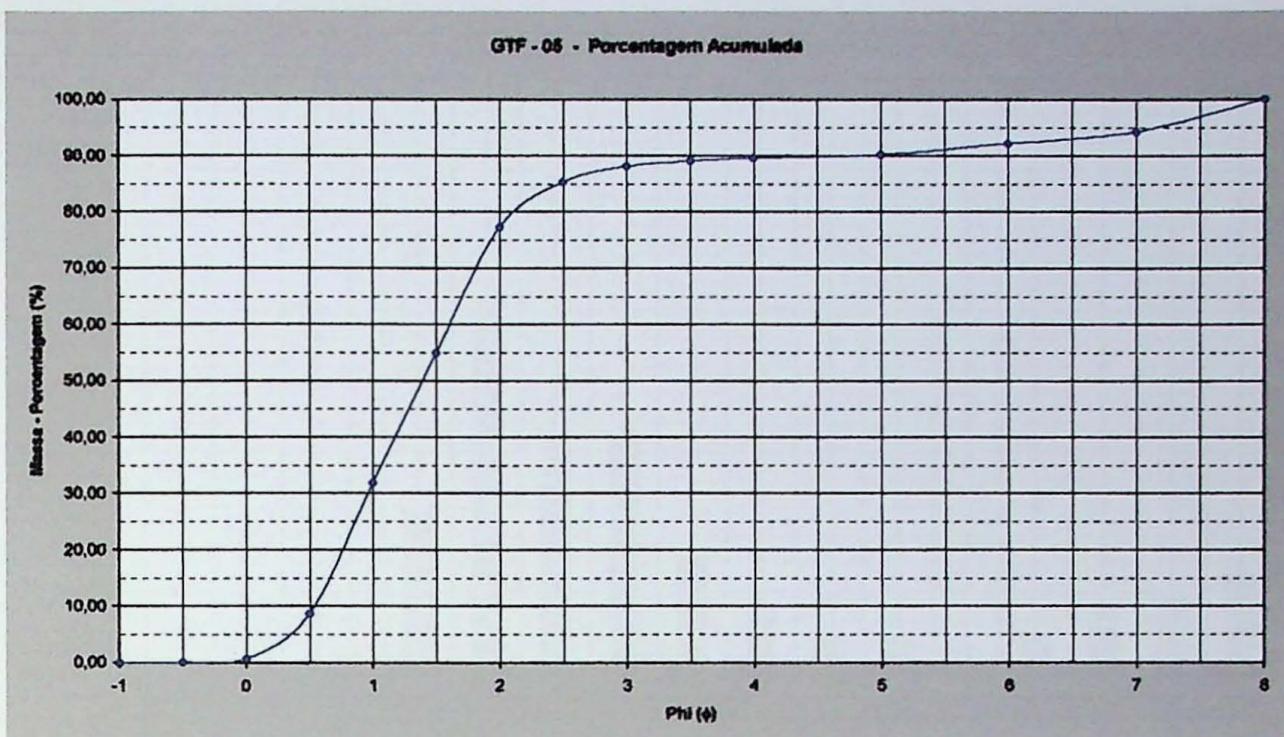
GTF - 04 - Porcentagem Acumulada

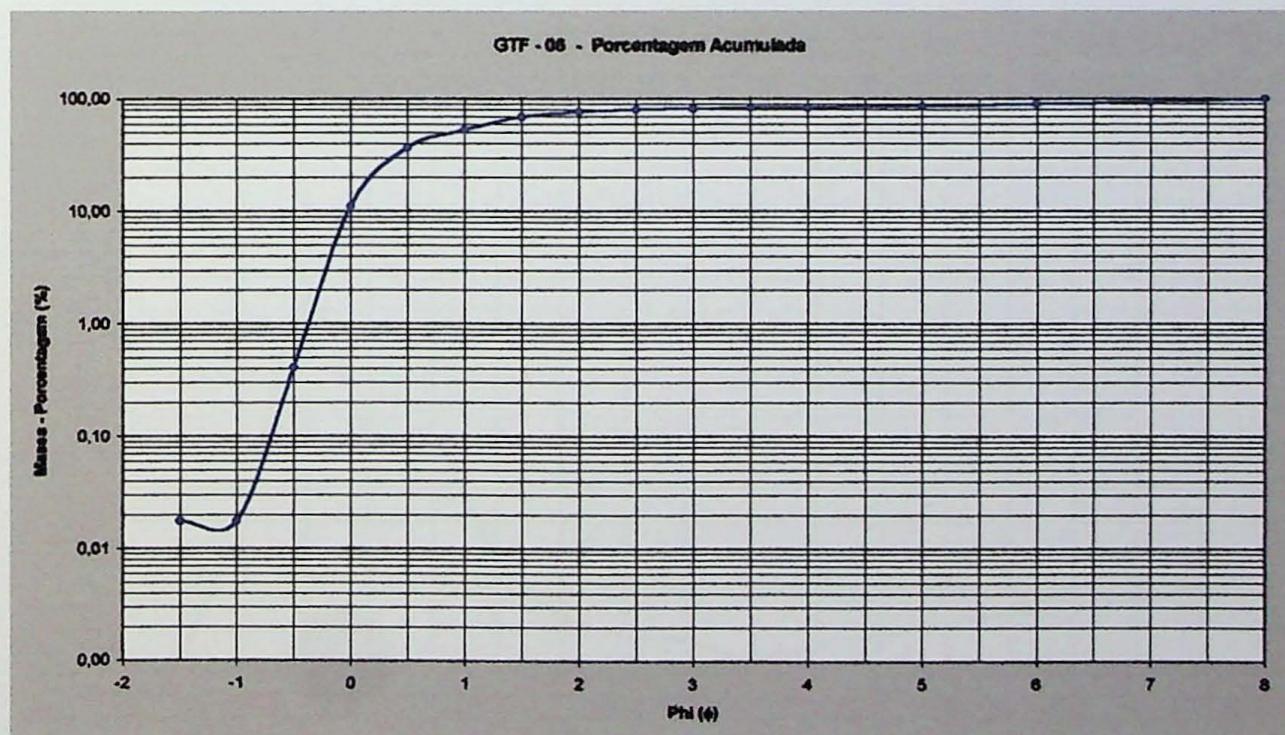
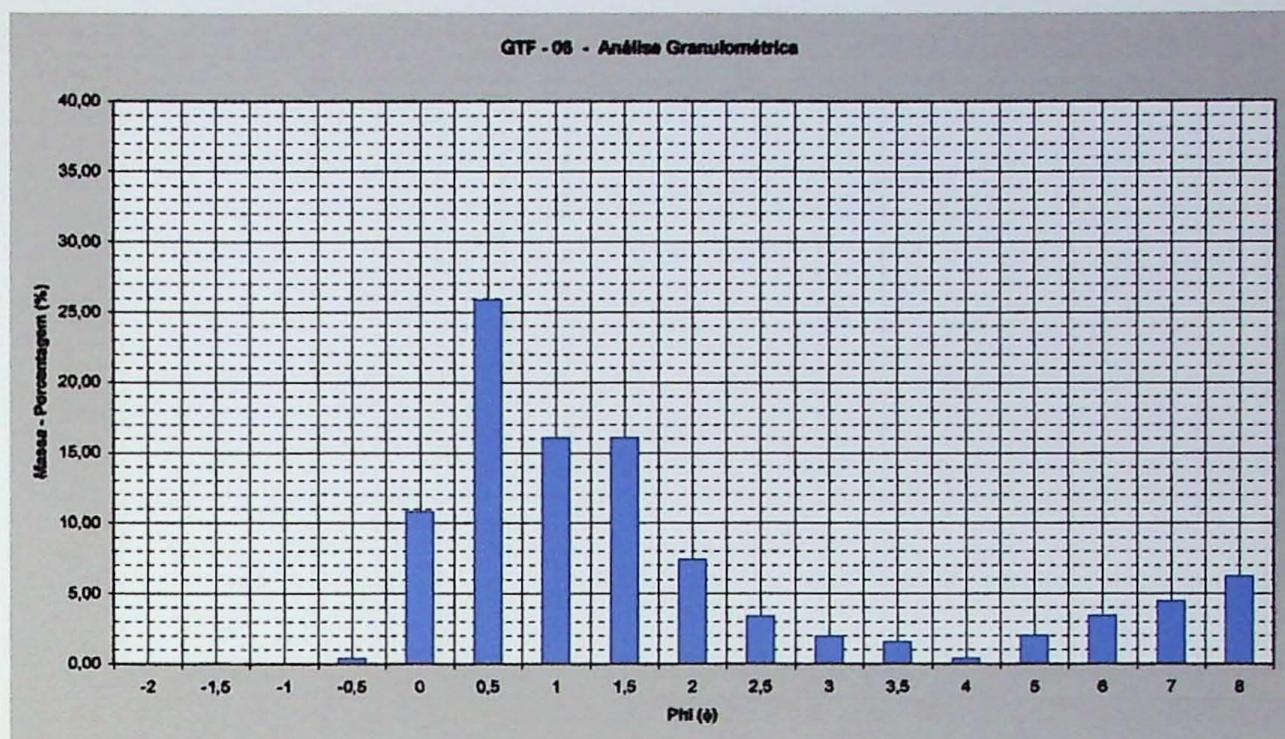


GTF - 04 - Curva de Freqüência

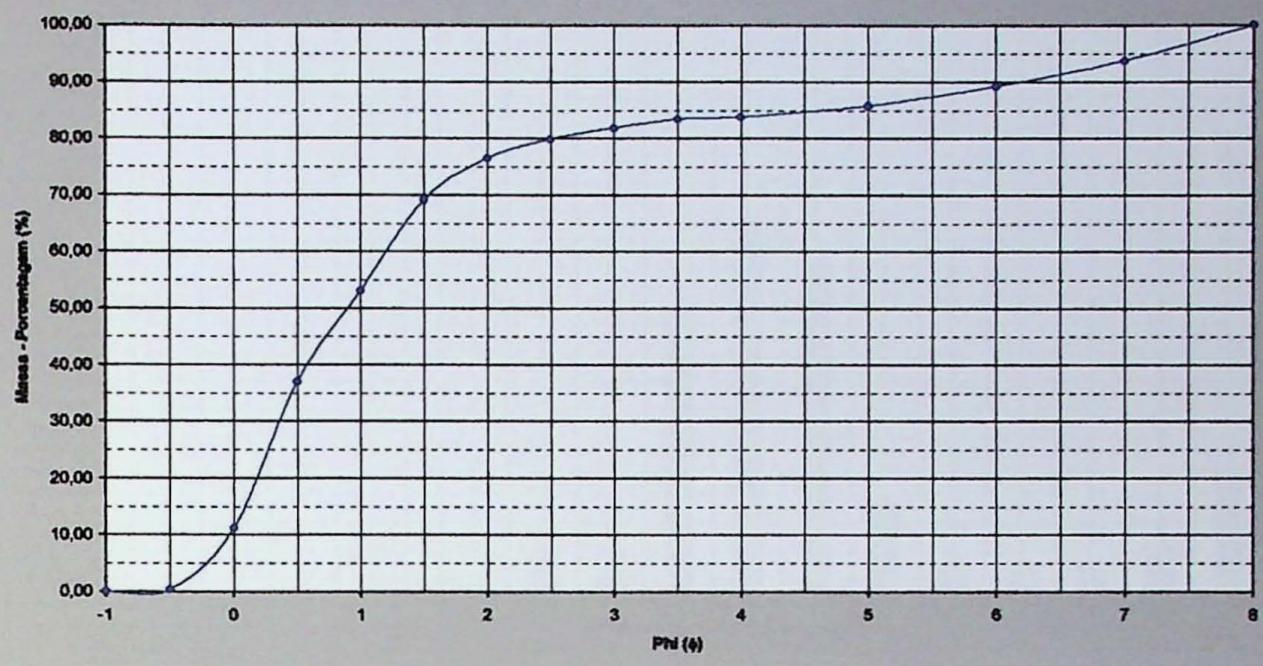




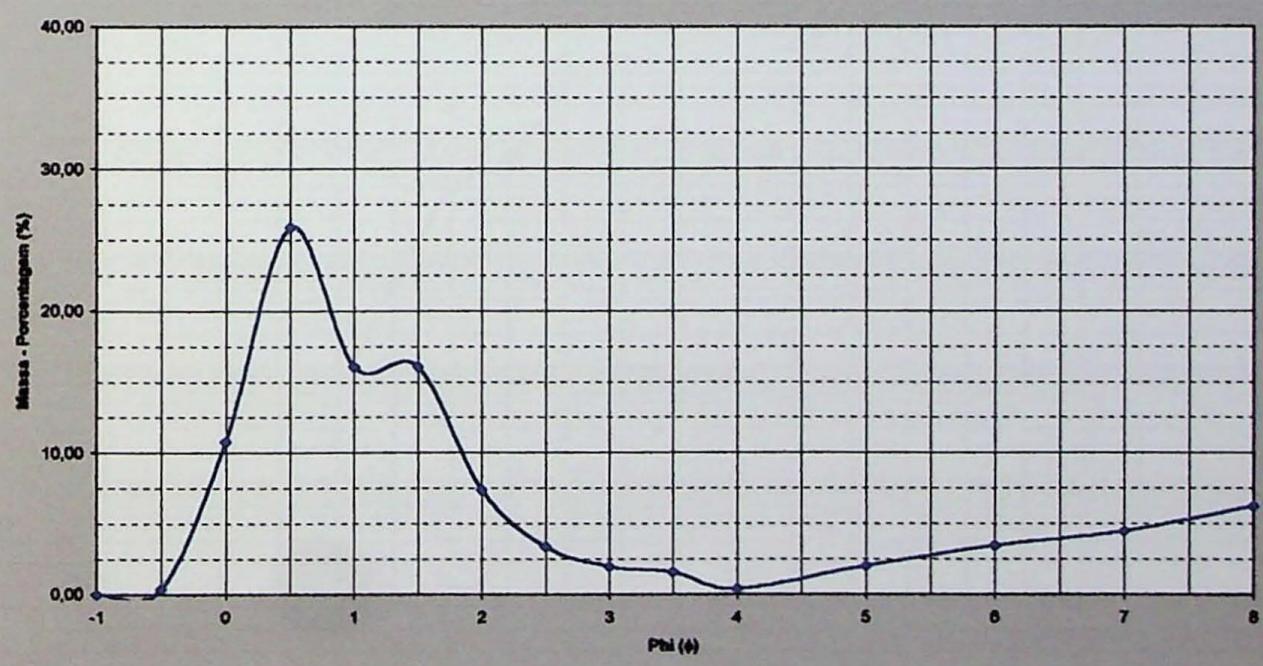




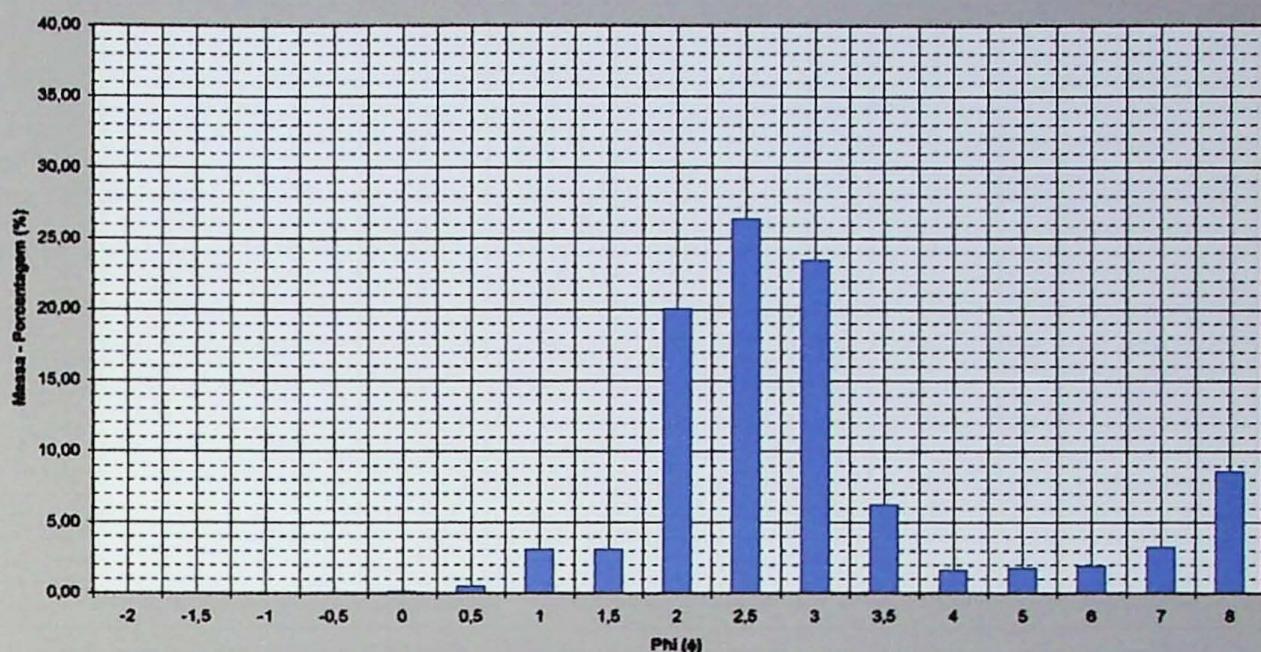
GTF - 06 - Porcentagem Acumulada



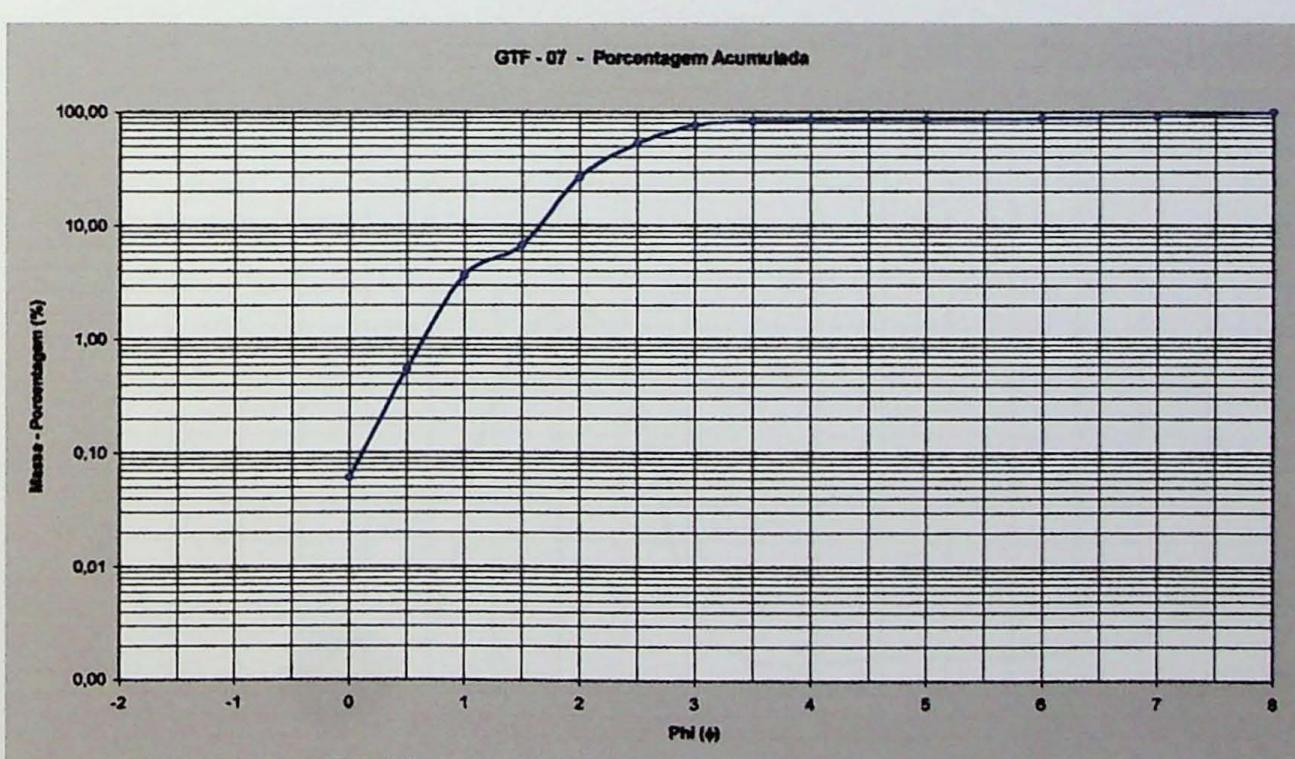
GTF - 06 - Curva de Frequência



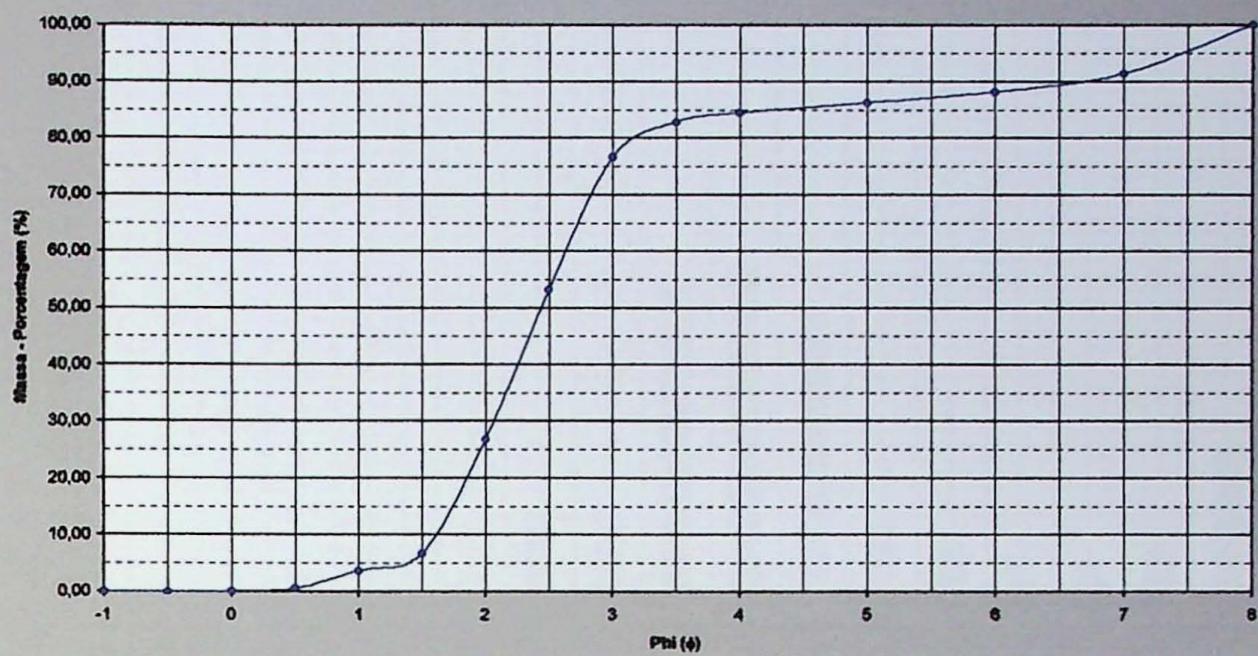
GTF - 07 - Análise Granulométrica



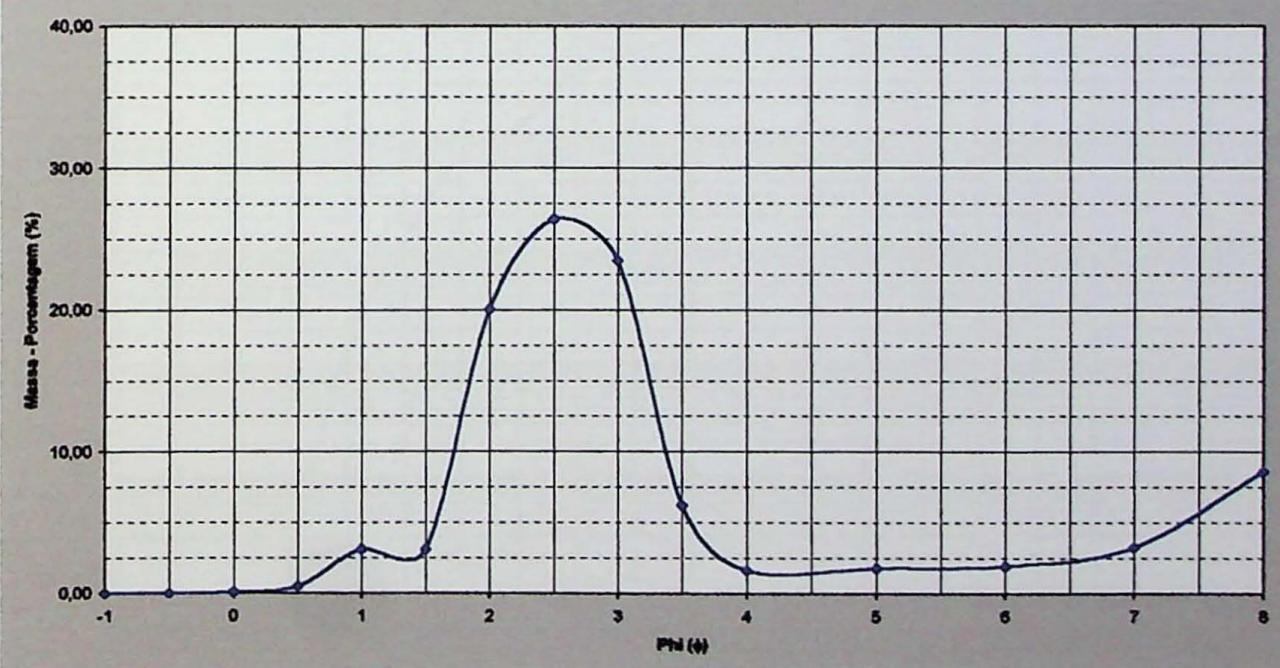
GTF - 07 - Porcentagem Acumulada

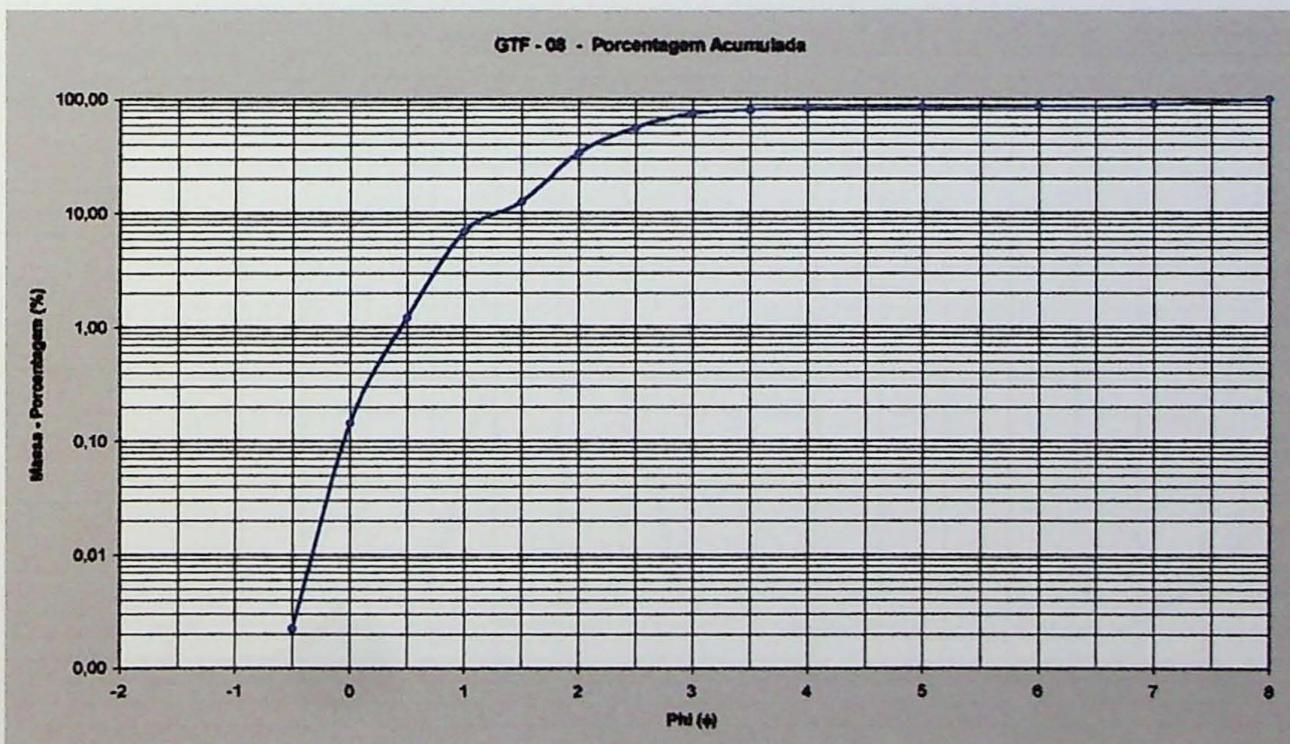
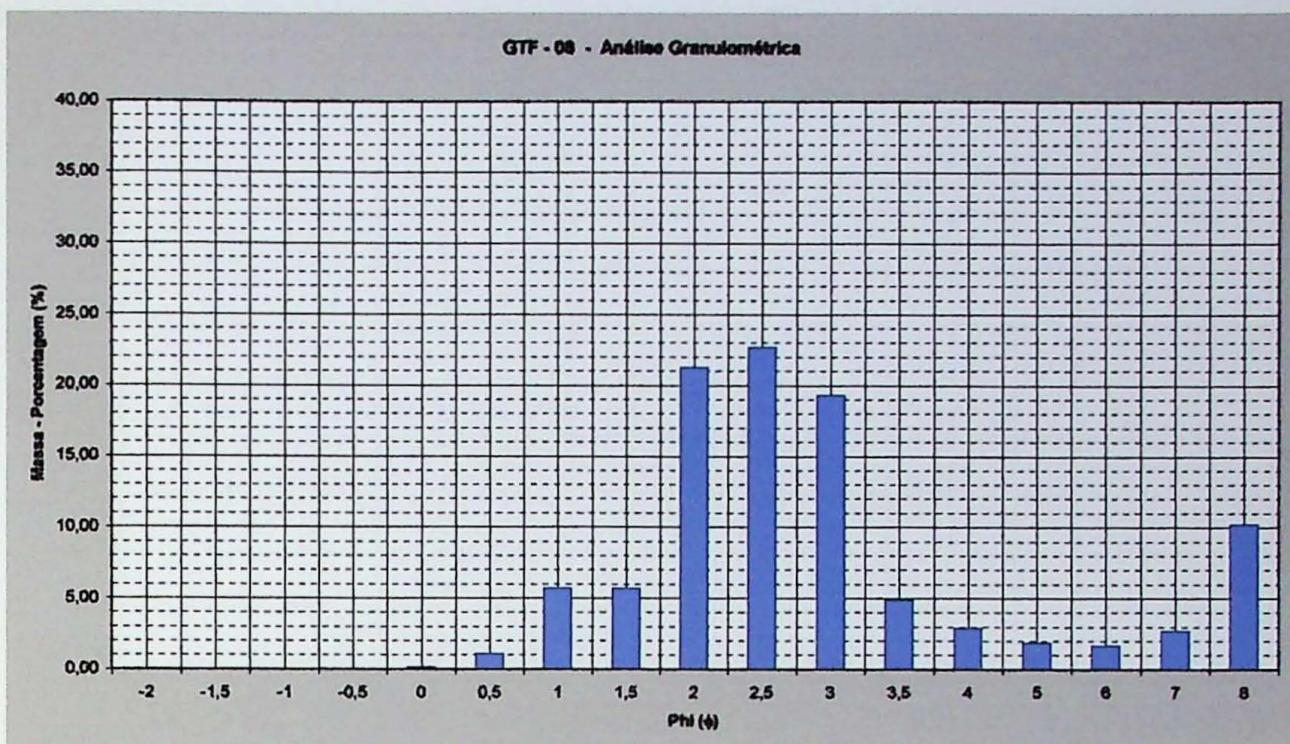


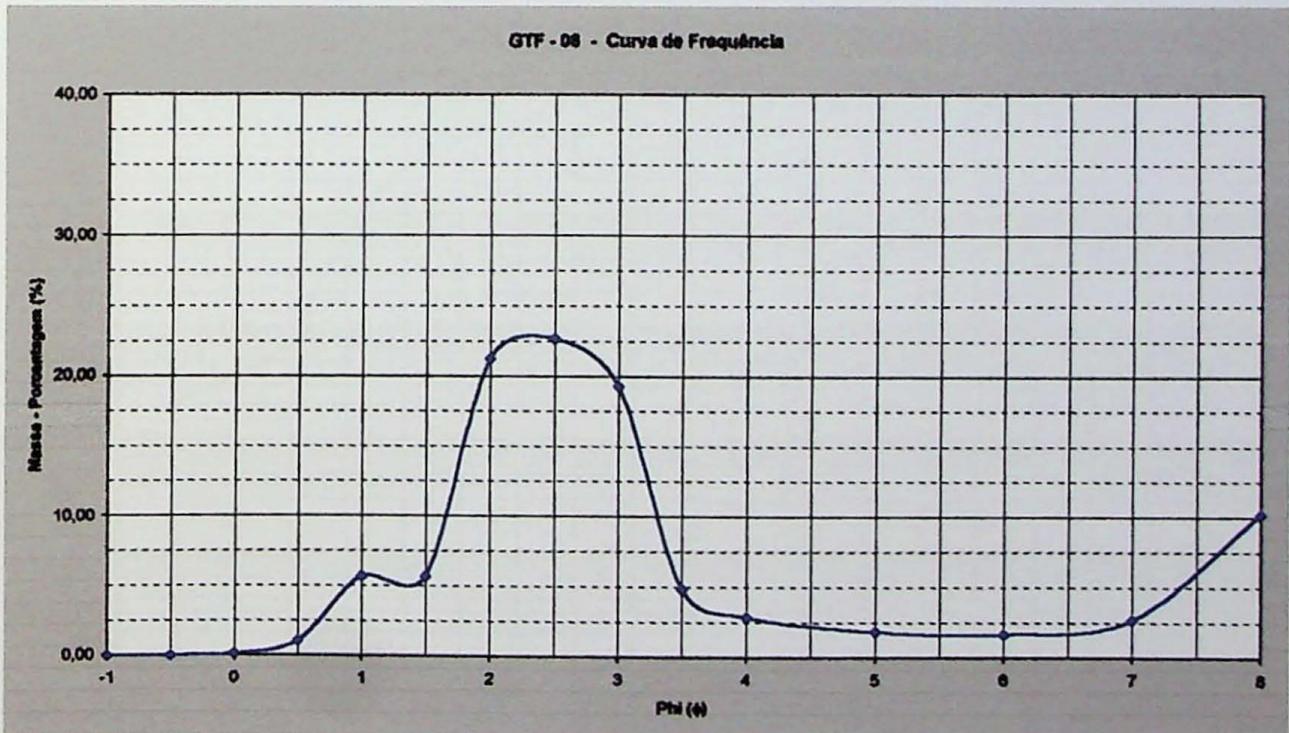
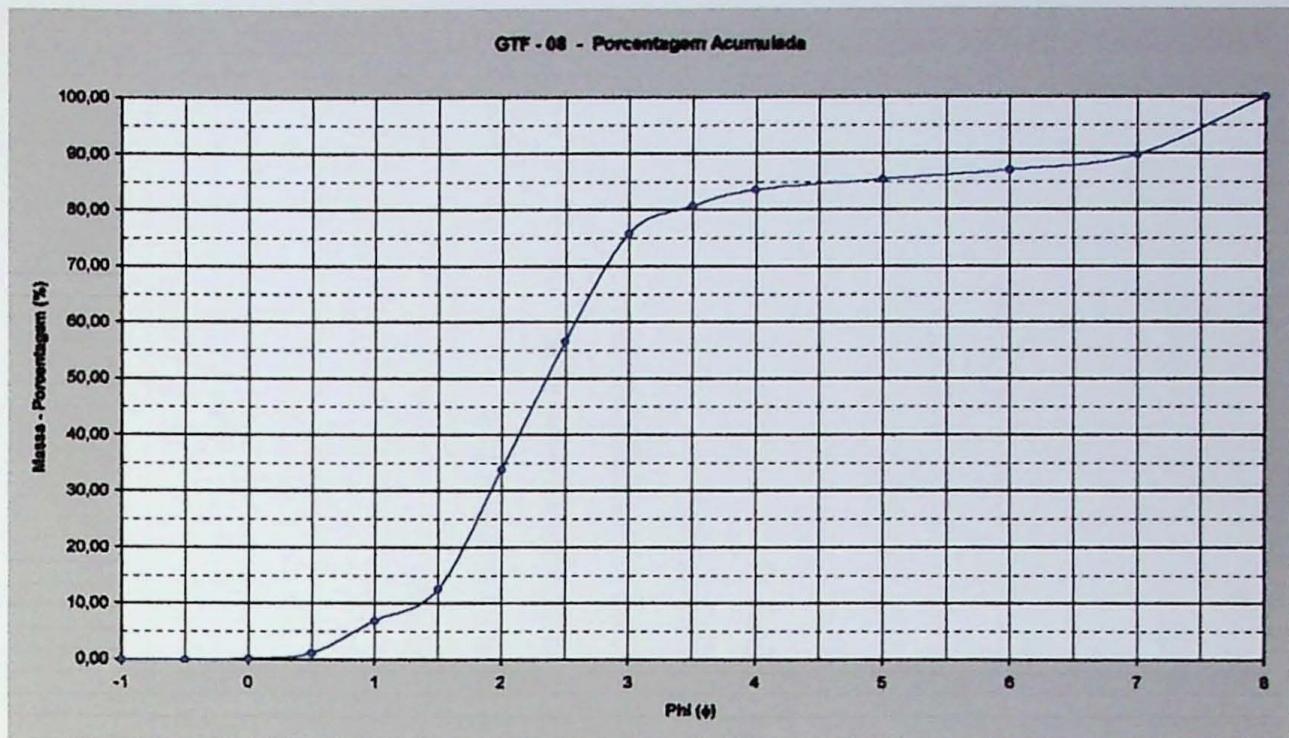
GTF - 07 - Porcentagem Acumulada



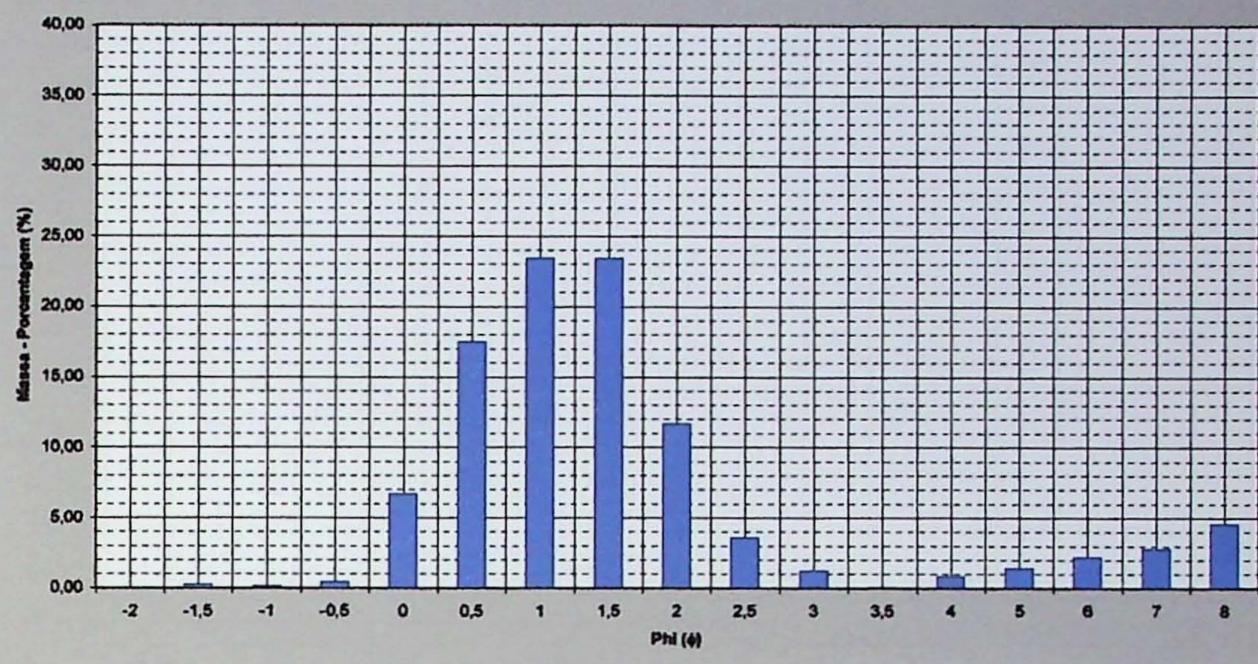
GTF - 07 - Curva de Frequência



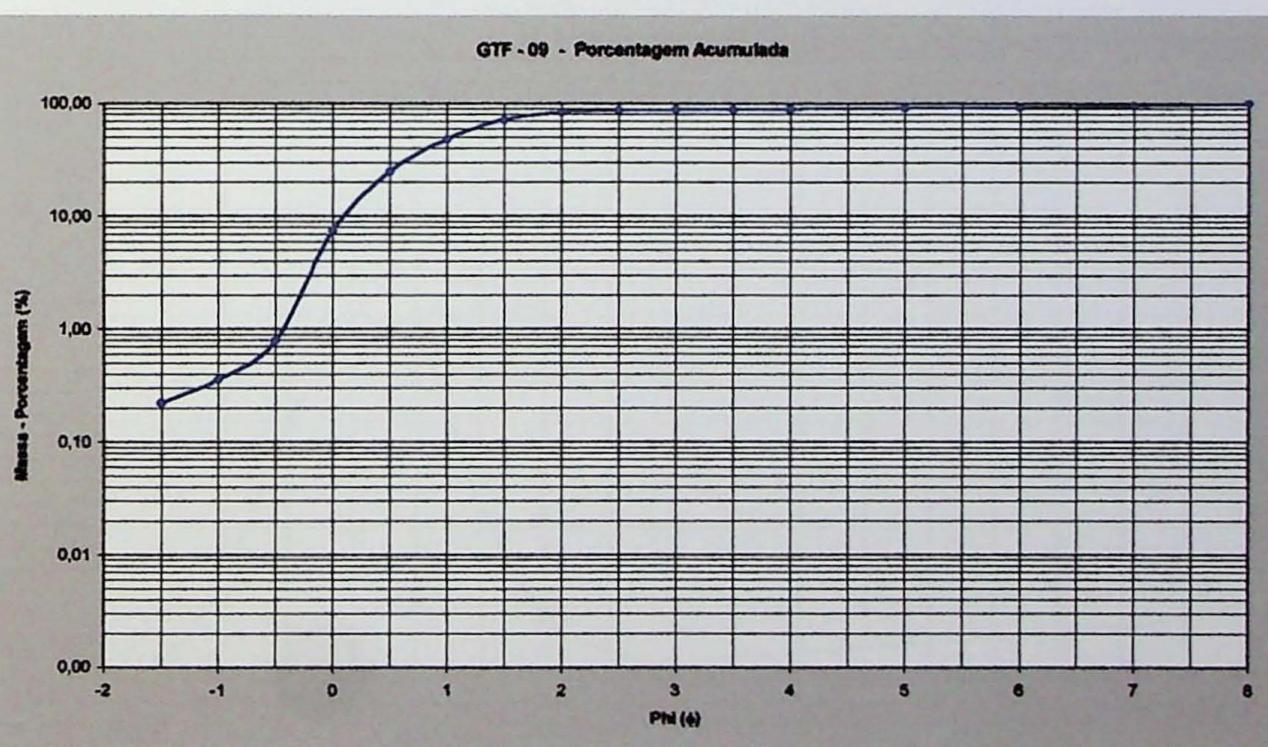




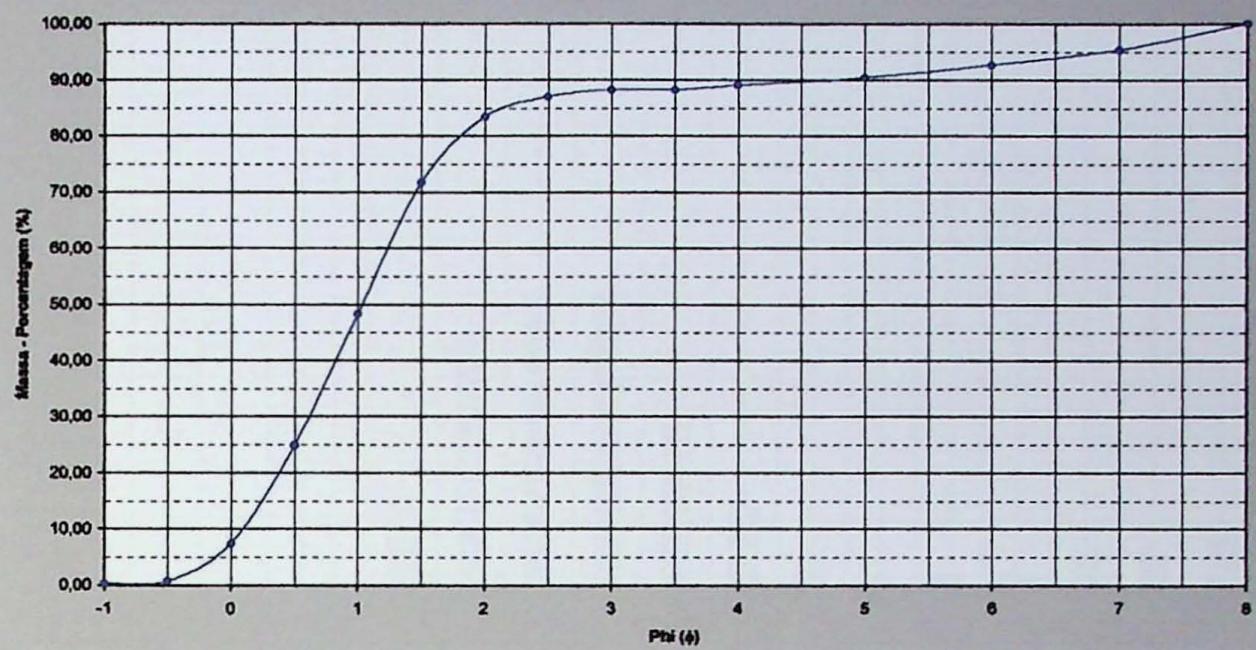
GTF - 09 - Análise Granulométrica



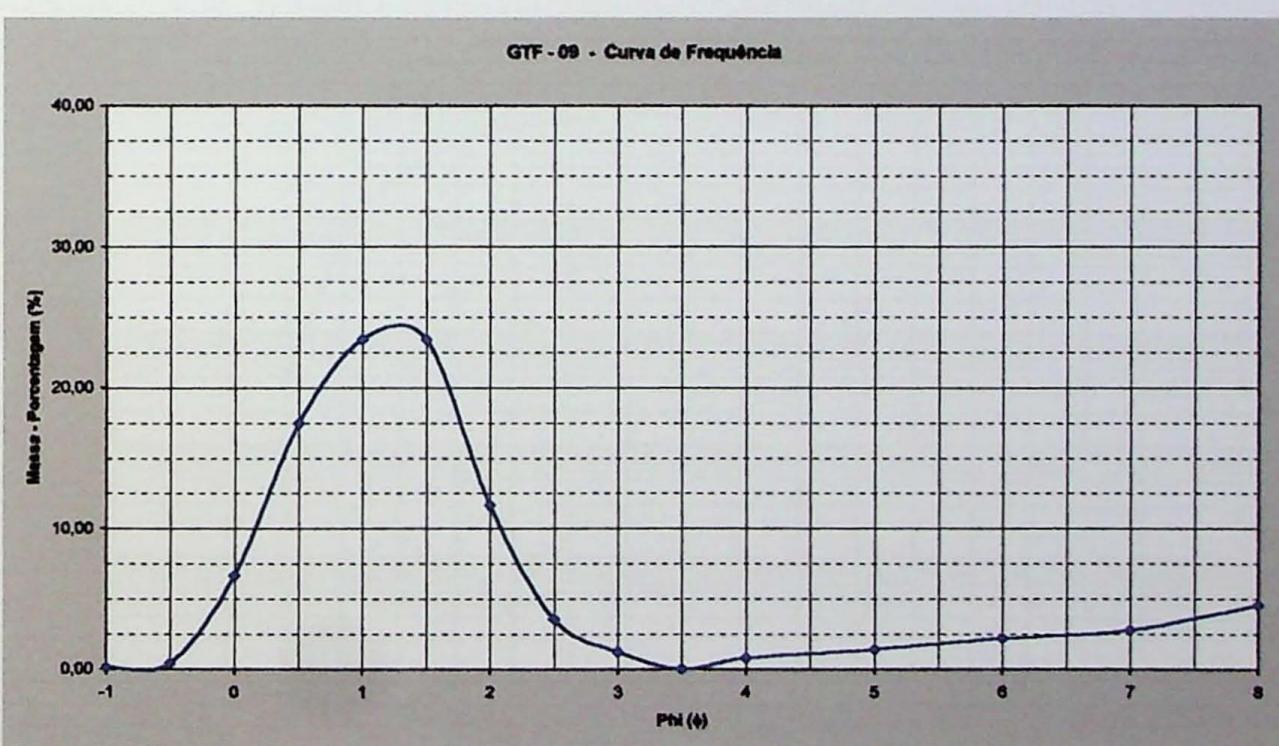
GTF - 09 - Porcentagem Acumulada



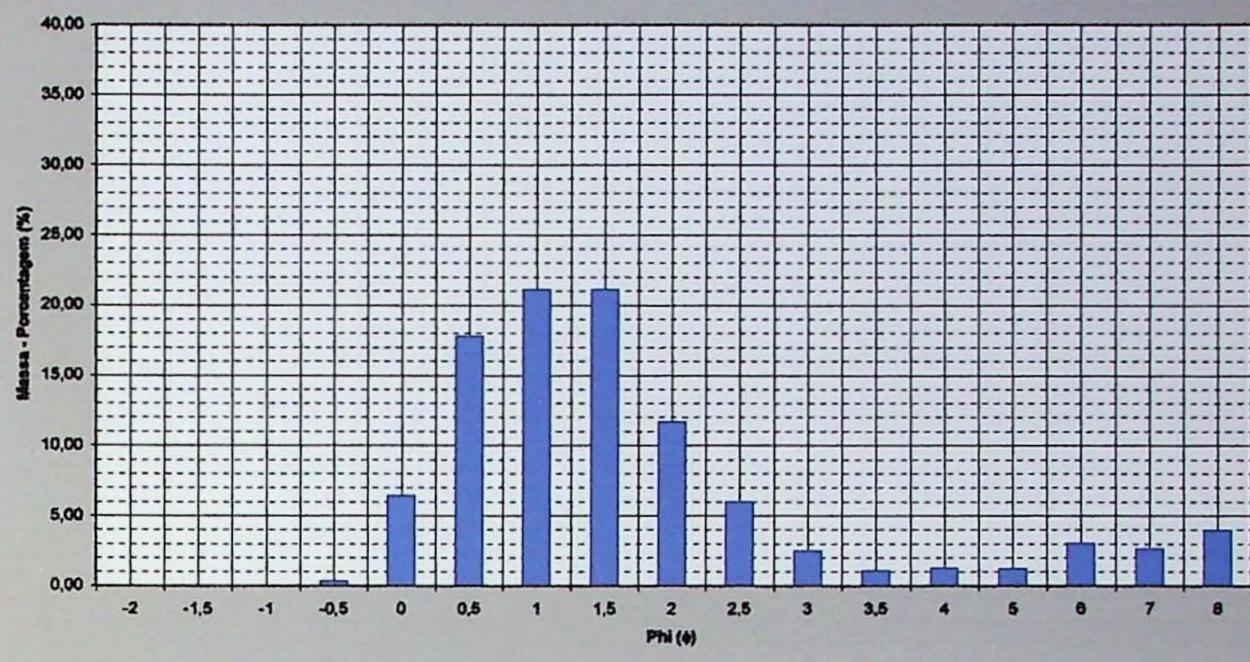
GTF - 09 - Porcentagem Acumulada



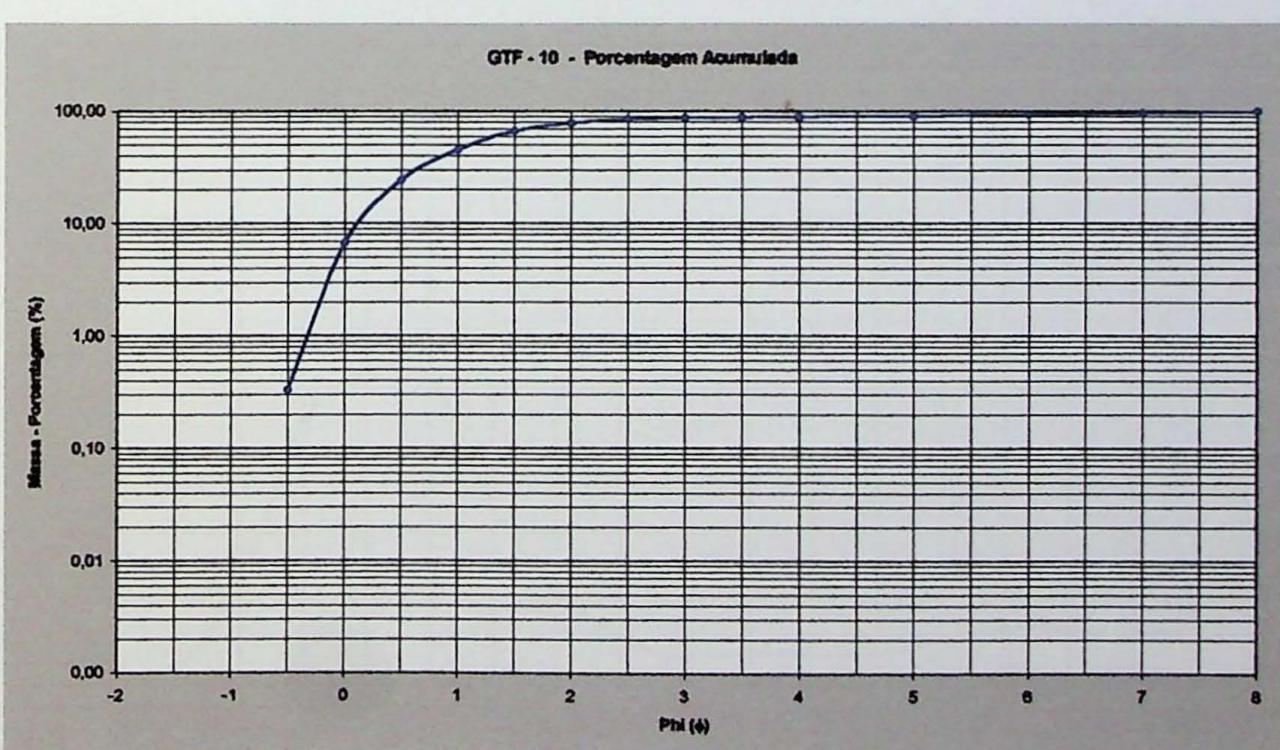
GTF - 09 - Curva de Frequência

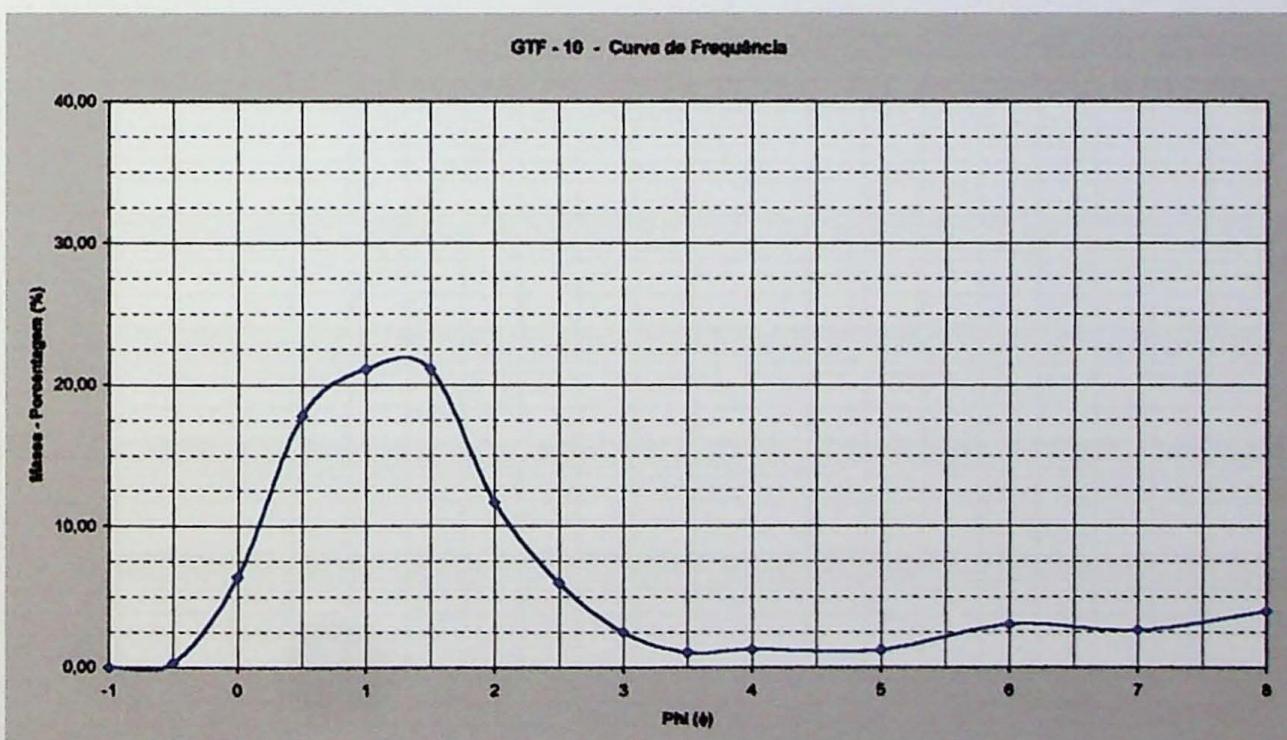
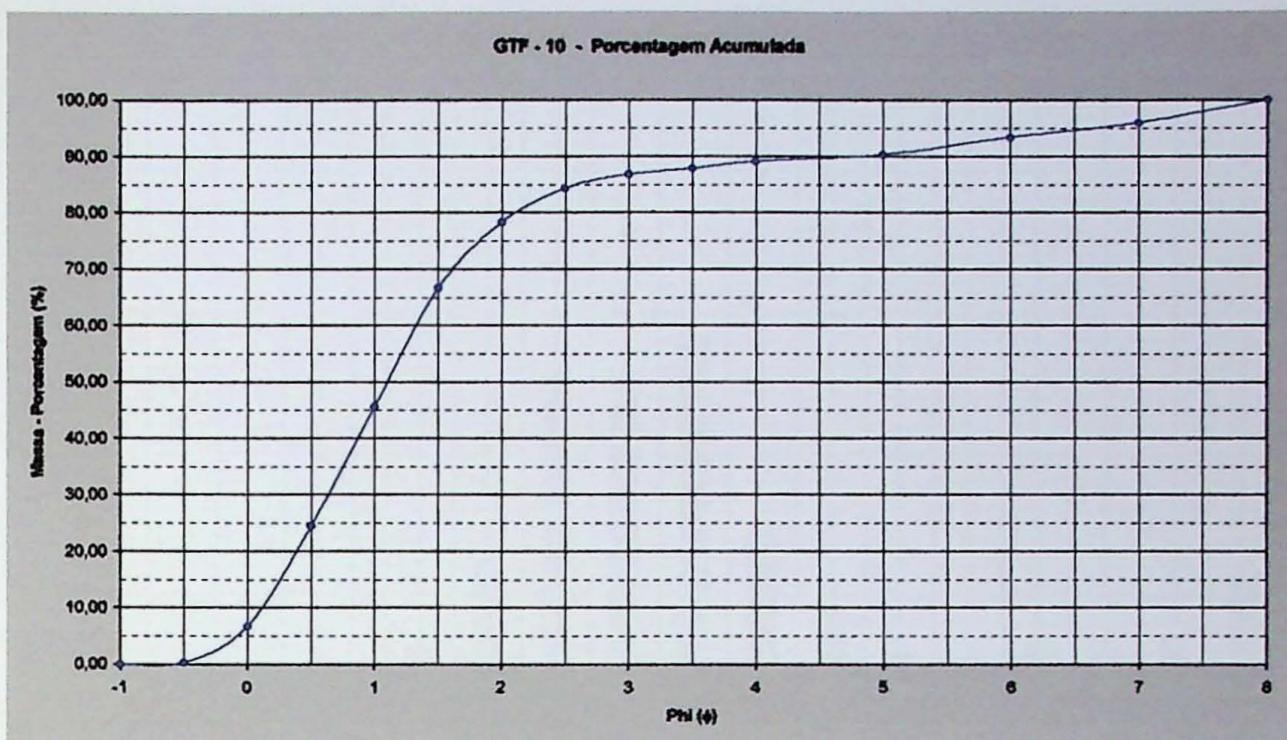


GTF - 10 - Análise Granulométrica

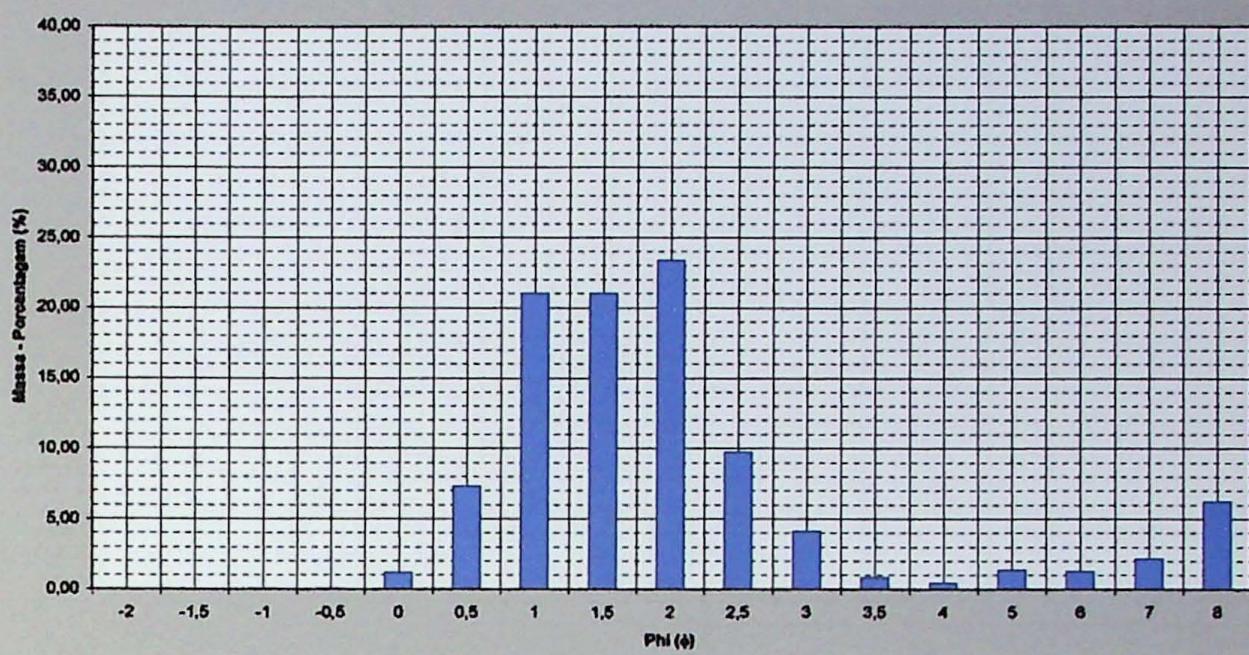


GTF - 10 - Porcentagem Acumulada

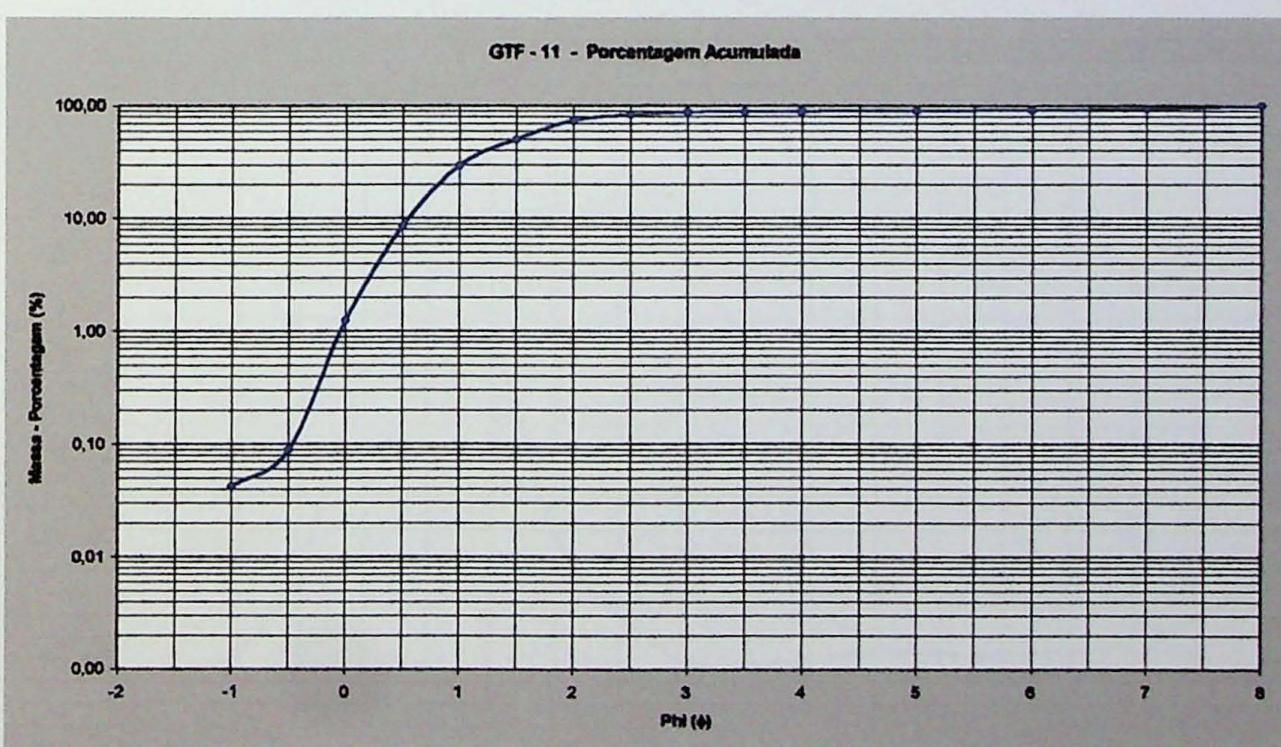




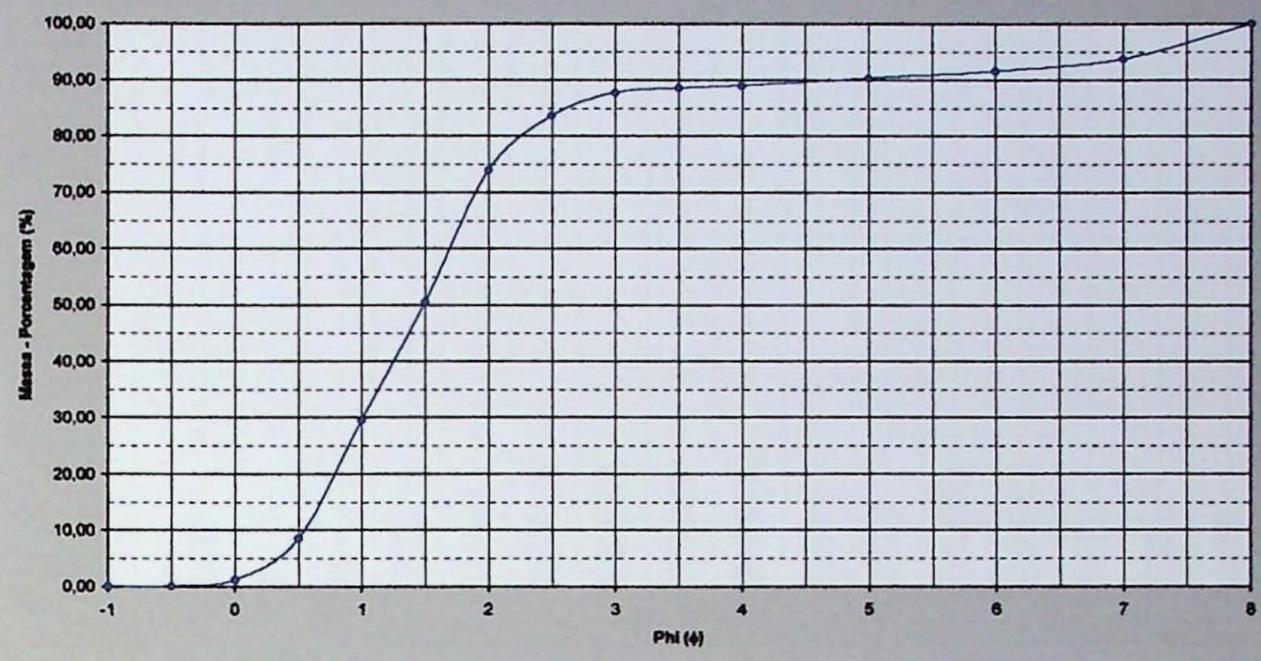
GTF - 11 - Análise Granulométrica



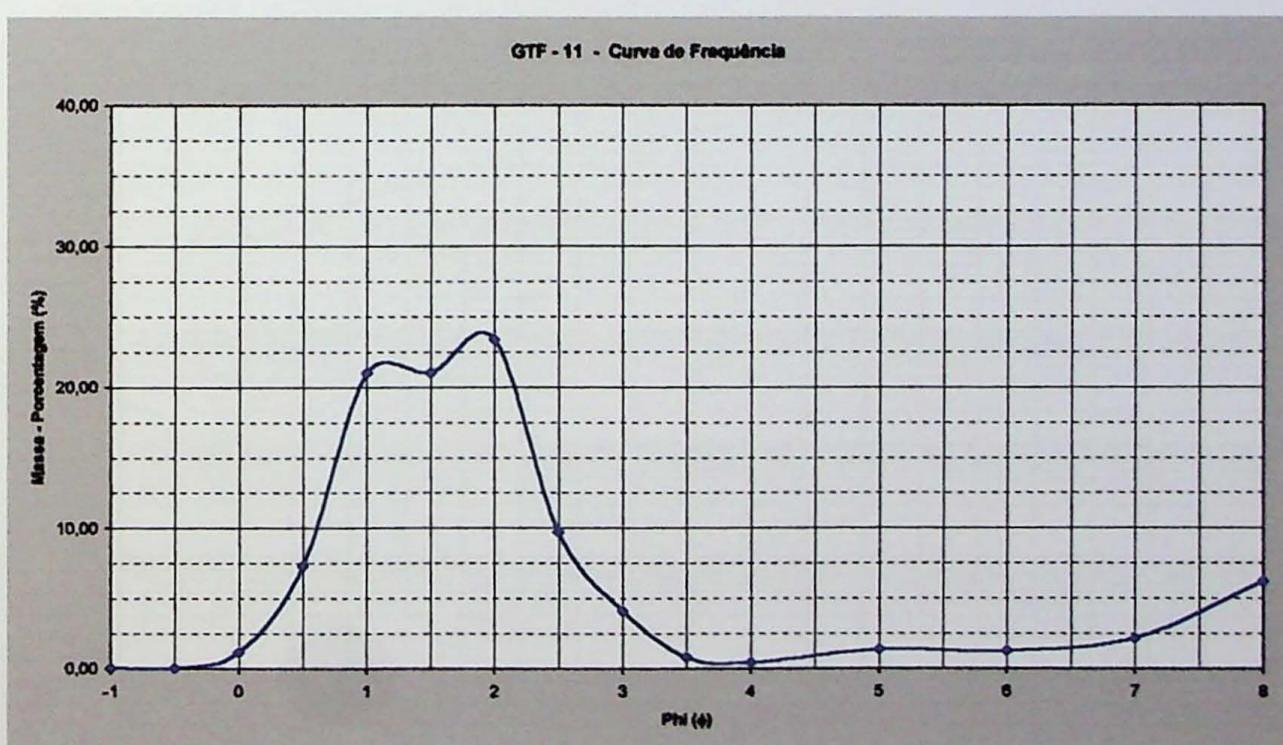
GTF - 11 - Porcentagem Acumulada



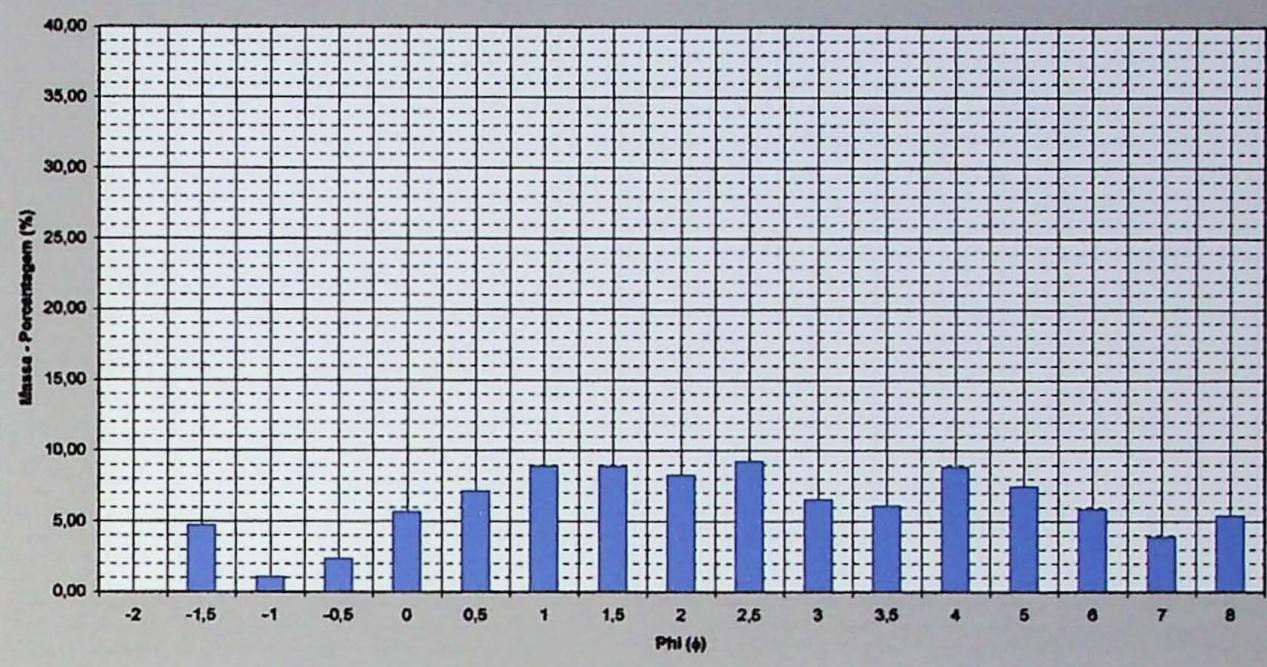
GTF - 11 - Porcentagem Acumulada



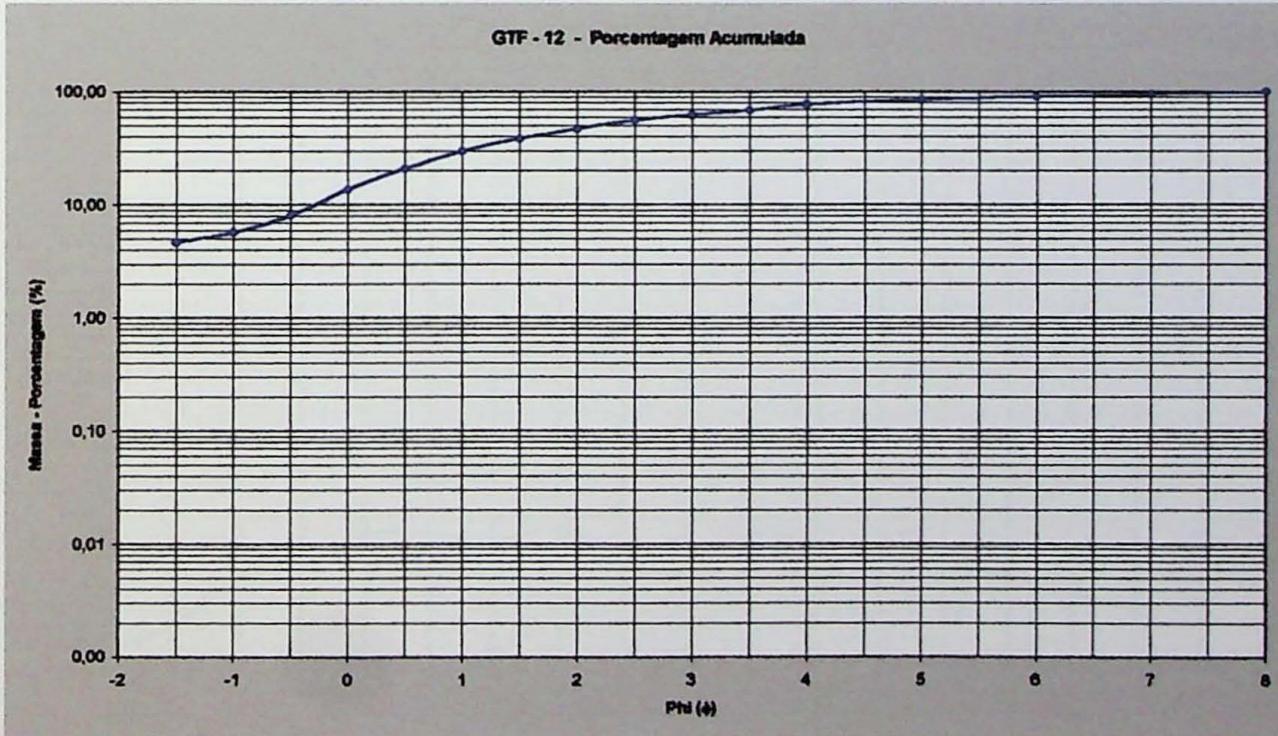
GTF - 11 - Curva de Freqüência



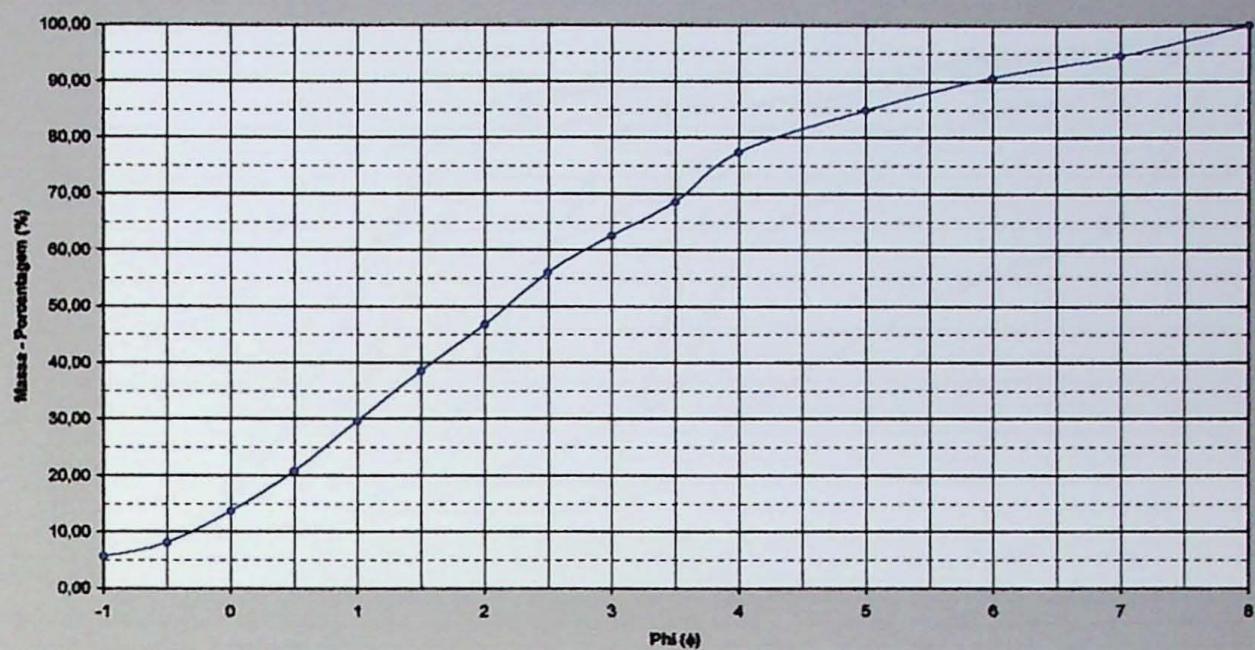
GTF - 12 - Análise Granulométrica



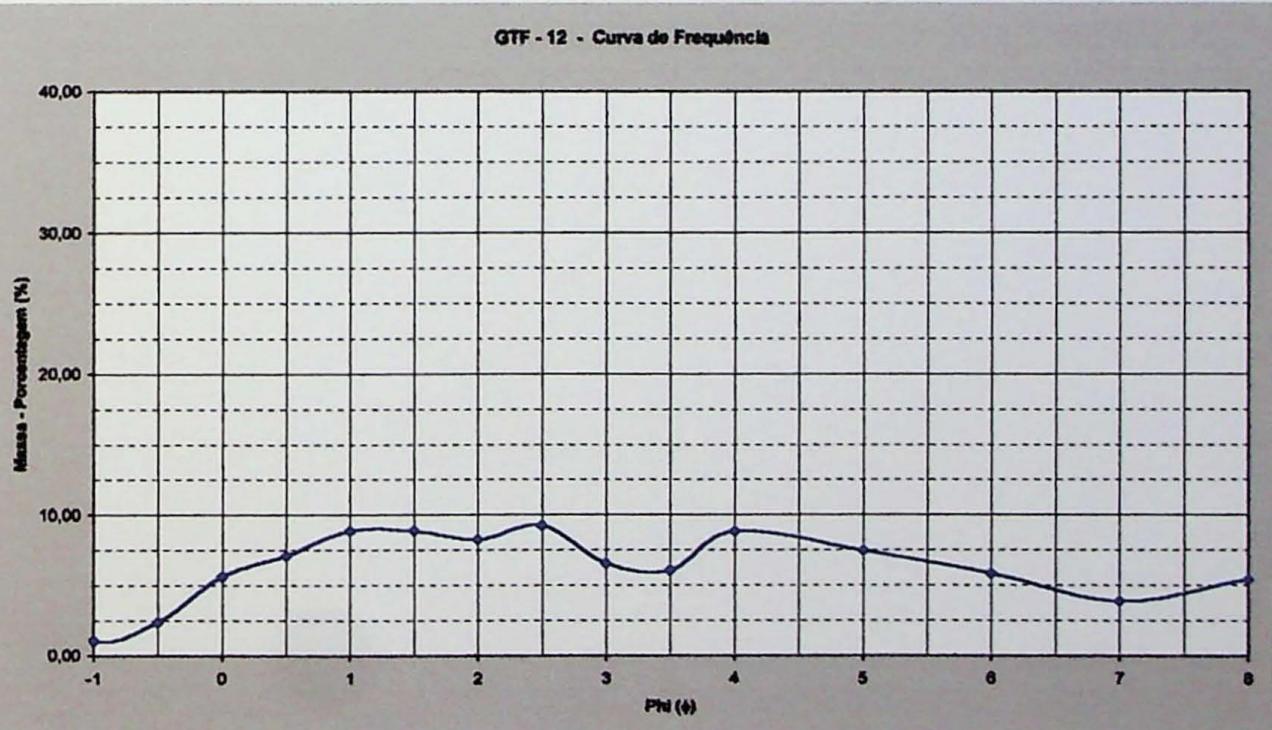
GTF - 12 - Porcentagem Acumulada

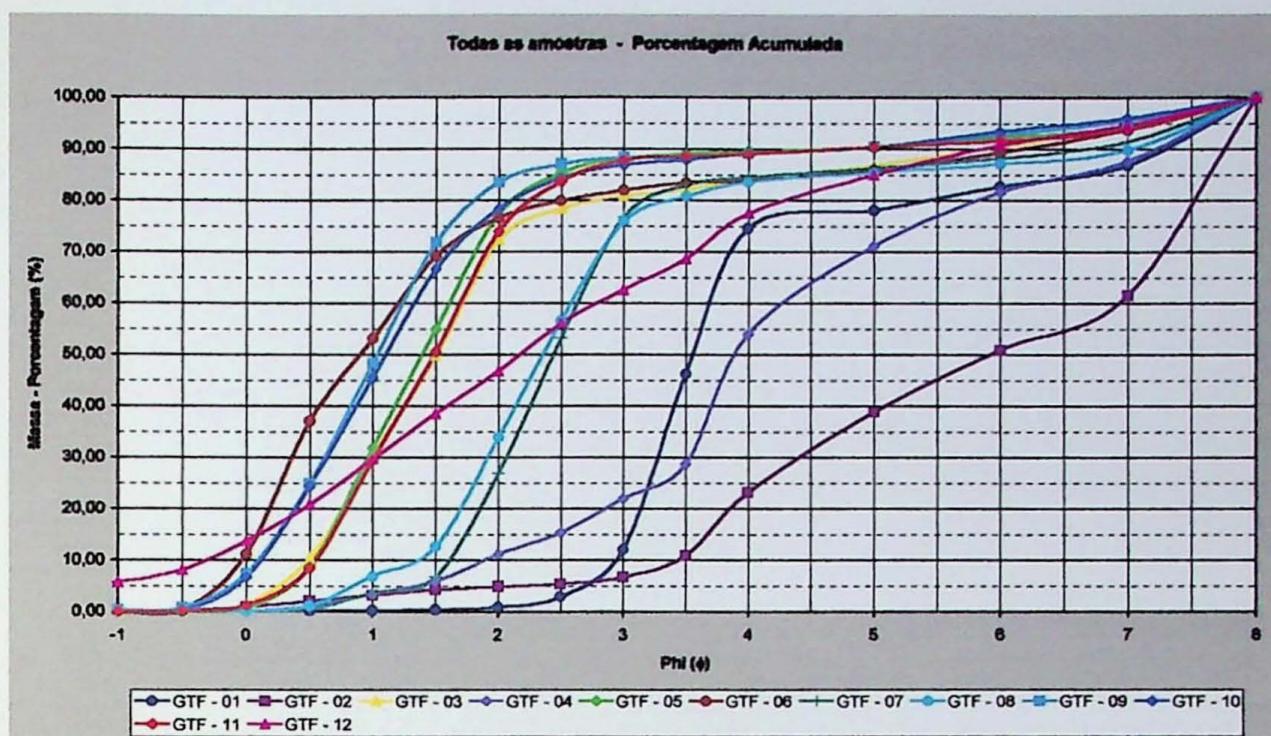


GTF - 12 - Porcentagem Acumulada

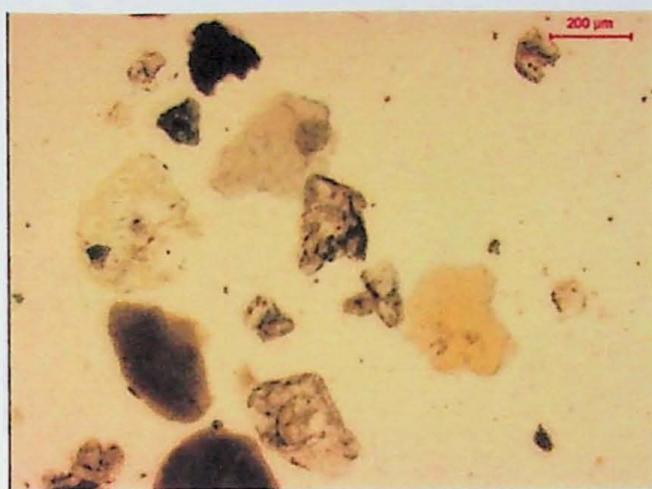


GTF - 12 - Curva de Frequência

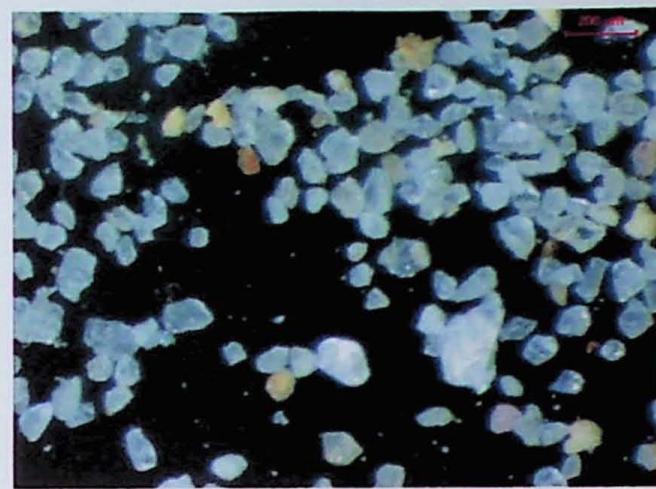




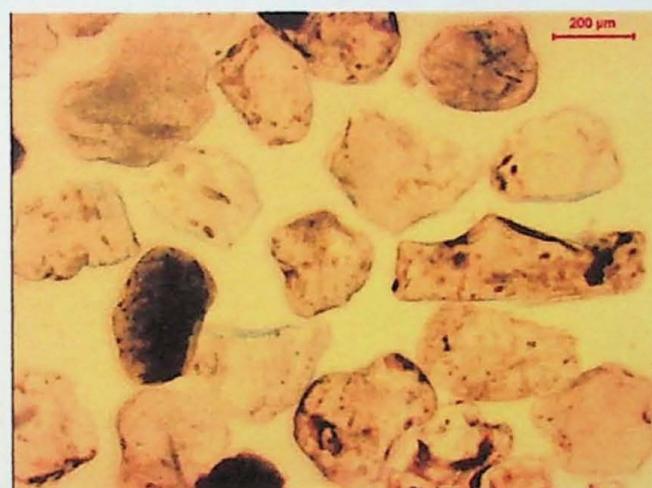
## Anexo 2



Amostra GTF - 01 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



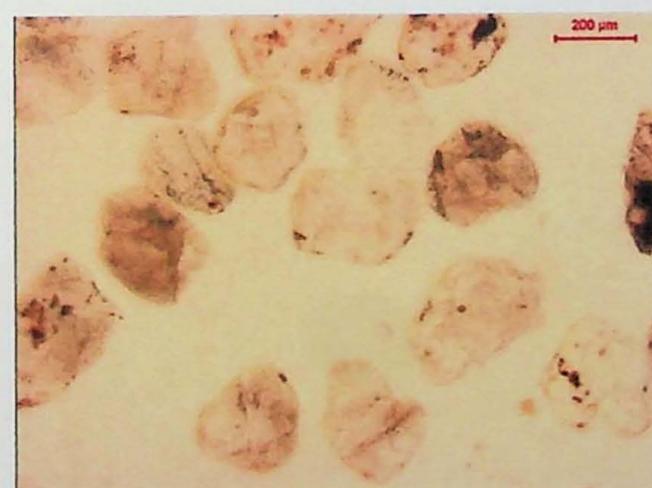
Amostra GTF - 01 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



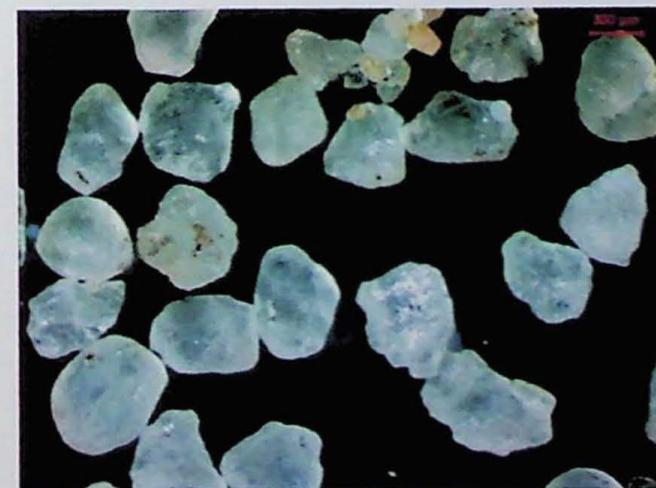
Amostra GTF - 02 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



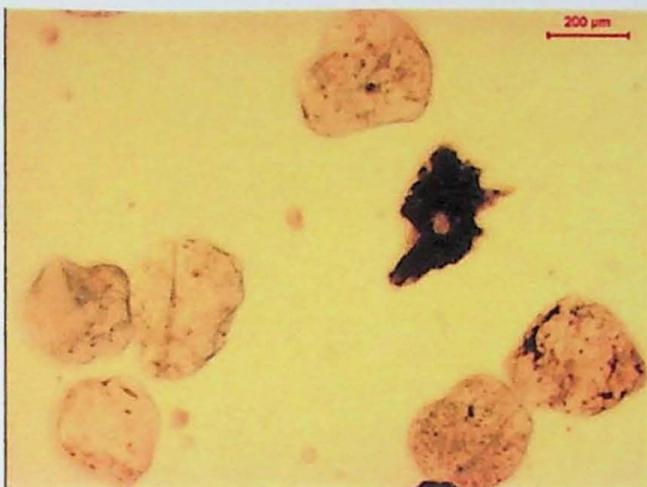
Amostra GTF - 02 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



Amostra GTF - 03 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



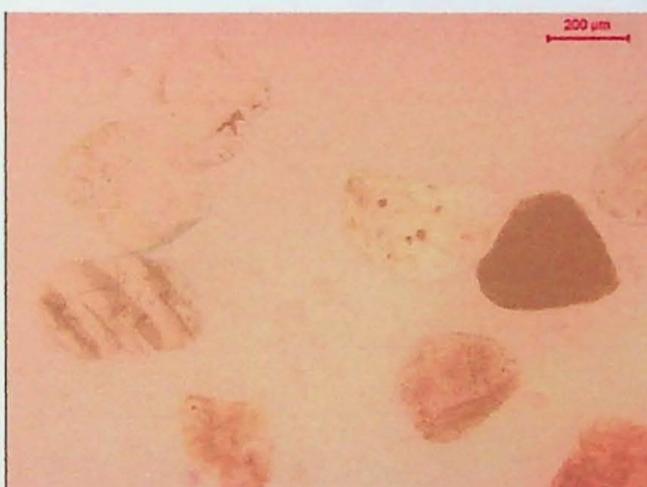
Amostra GTF - 03 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



Amostra GTF - 04 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



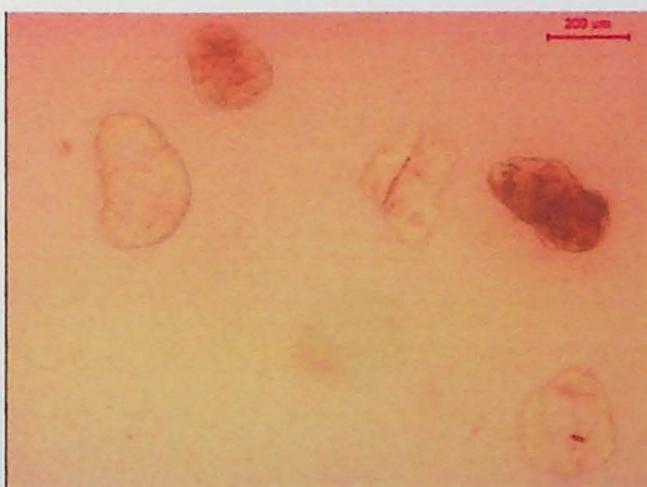
Amostra GTF - 04 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



Amostra GTF - 05 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



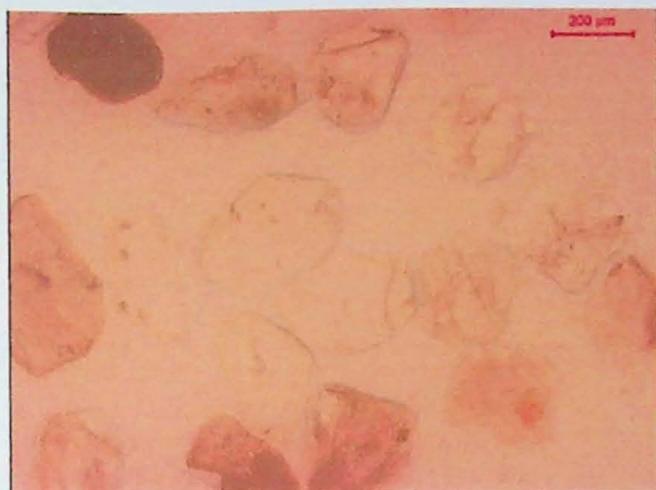
Amostra GTF - 05 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



Amostra GTF - 06 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



Amostra GTF - 06 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



Amostra GTF - 07 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



Amostra GTF - 07 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)



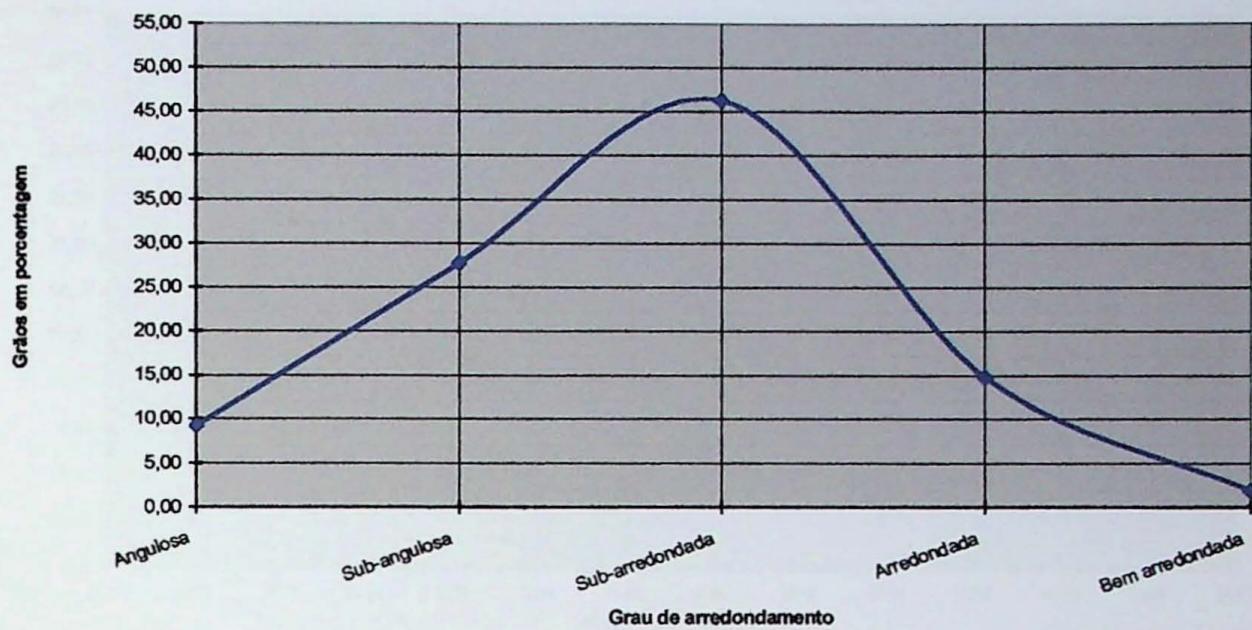
Amostra GTF - 08 (0,177 mm)  
(Microscópio ótico petrográfico)



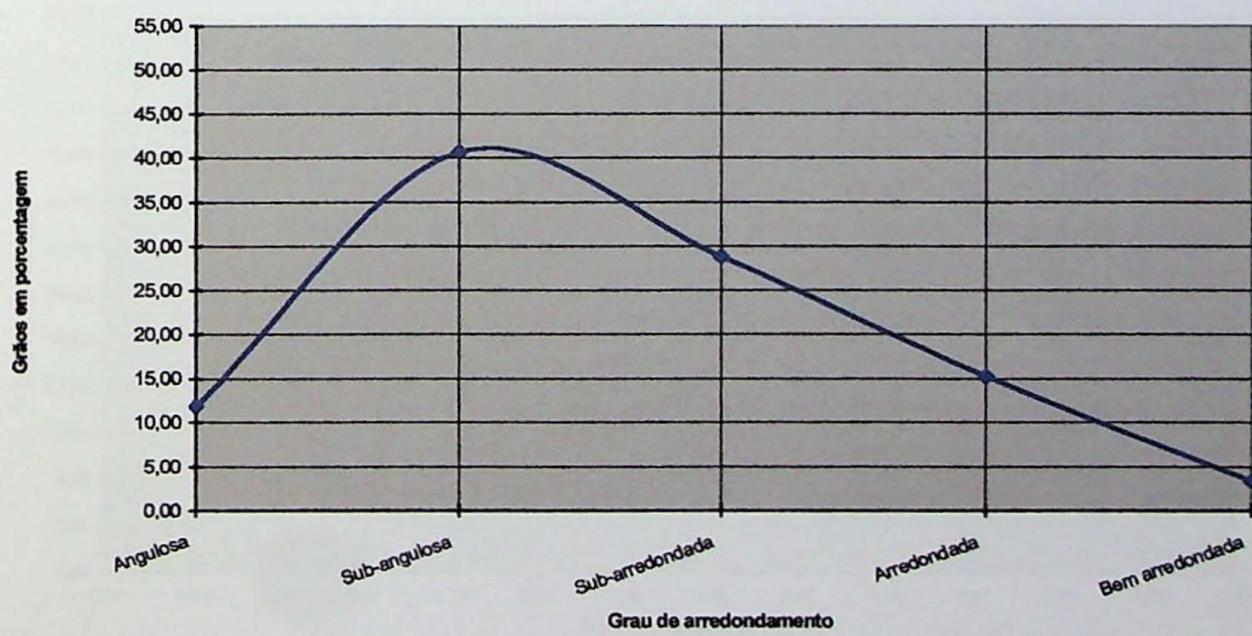
Amostra GTF - 08 (0,350 mm)  
(Lupa ótica petrográfica)

## **Anexo 3**

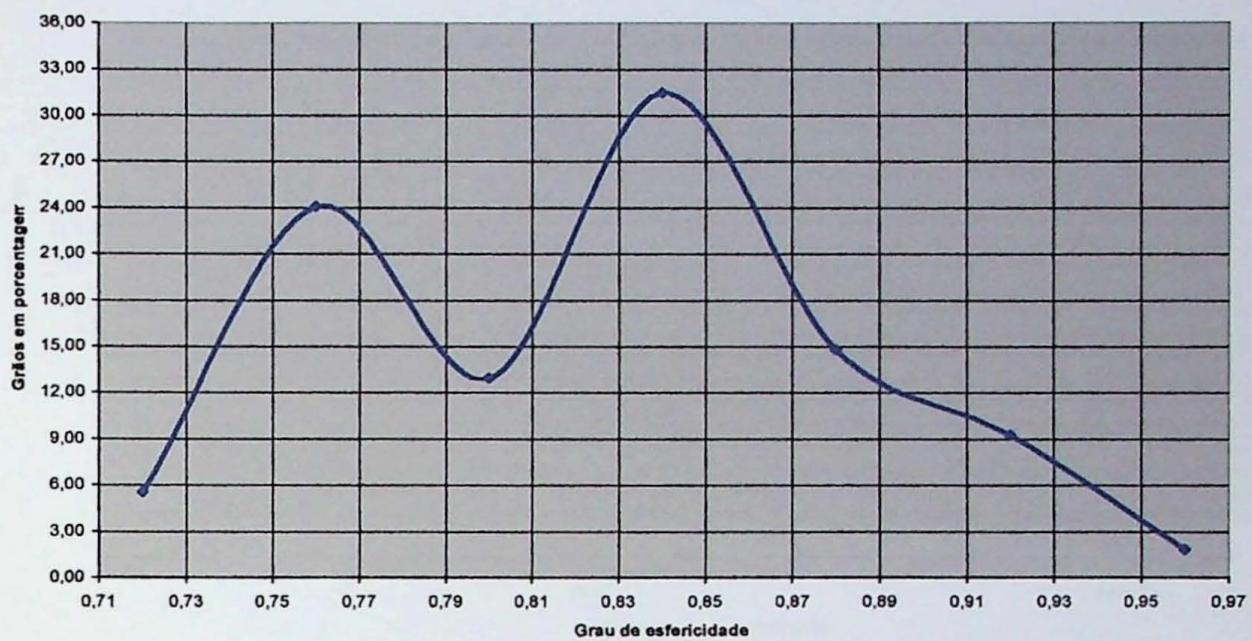
GTF - 01 - Arredondamento (0,35 mm)



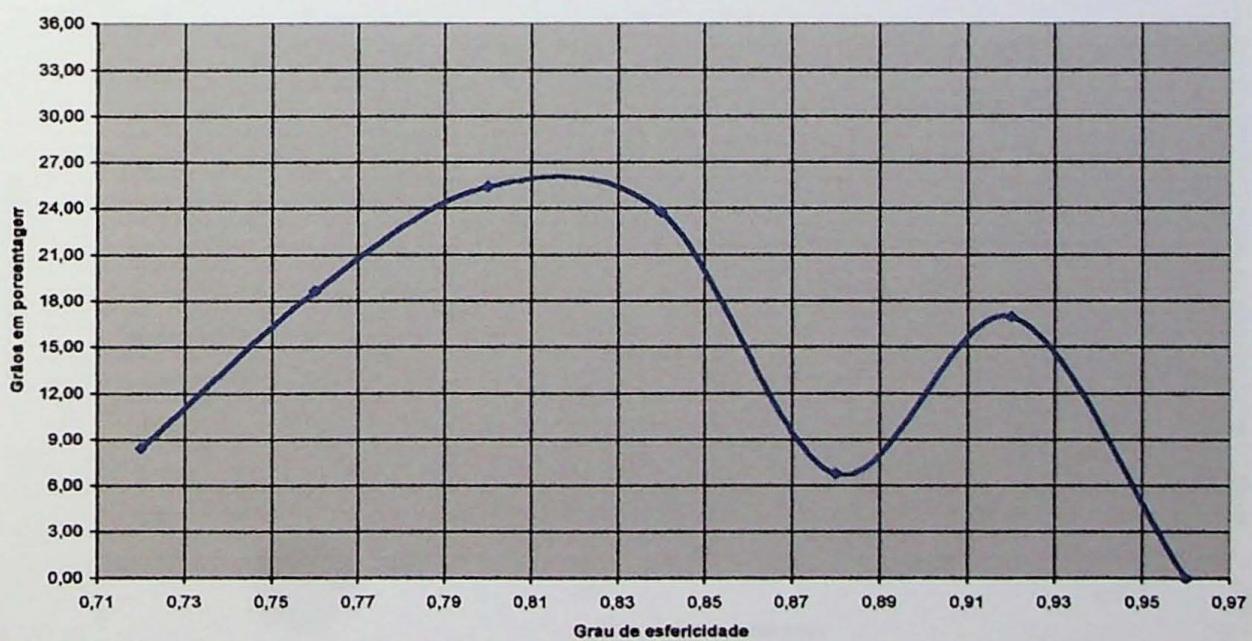
GTF - 01 - Arredondamento (0,177 mm)



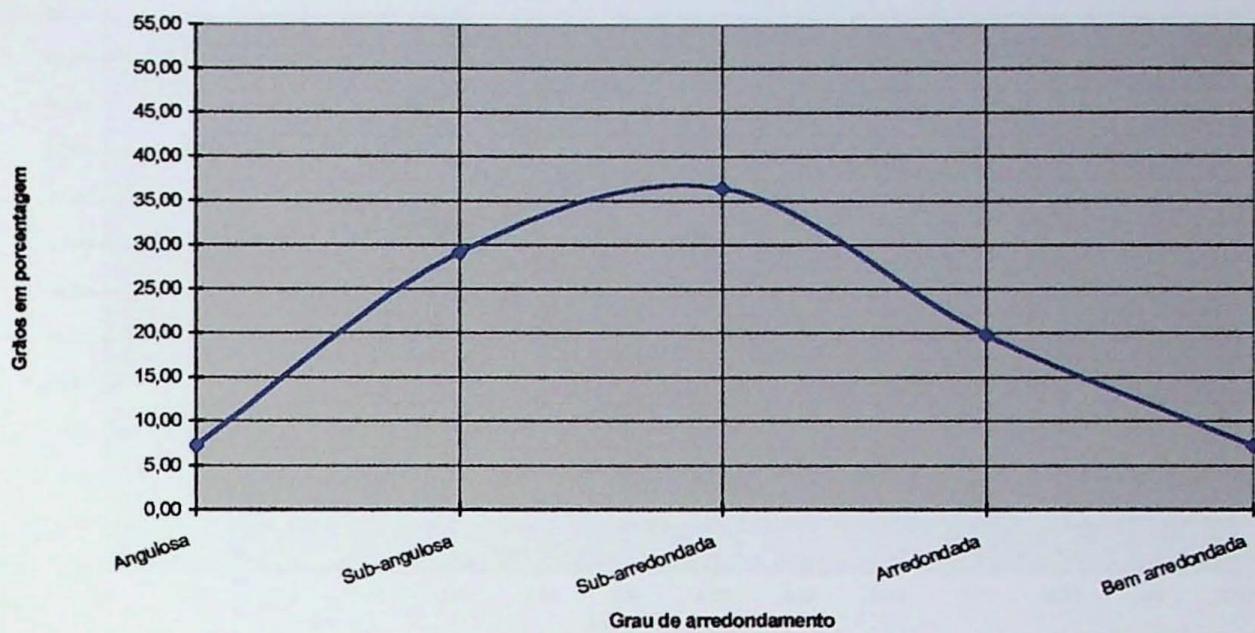
GTF - 01 - Esfericidade (0,35 mm)



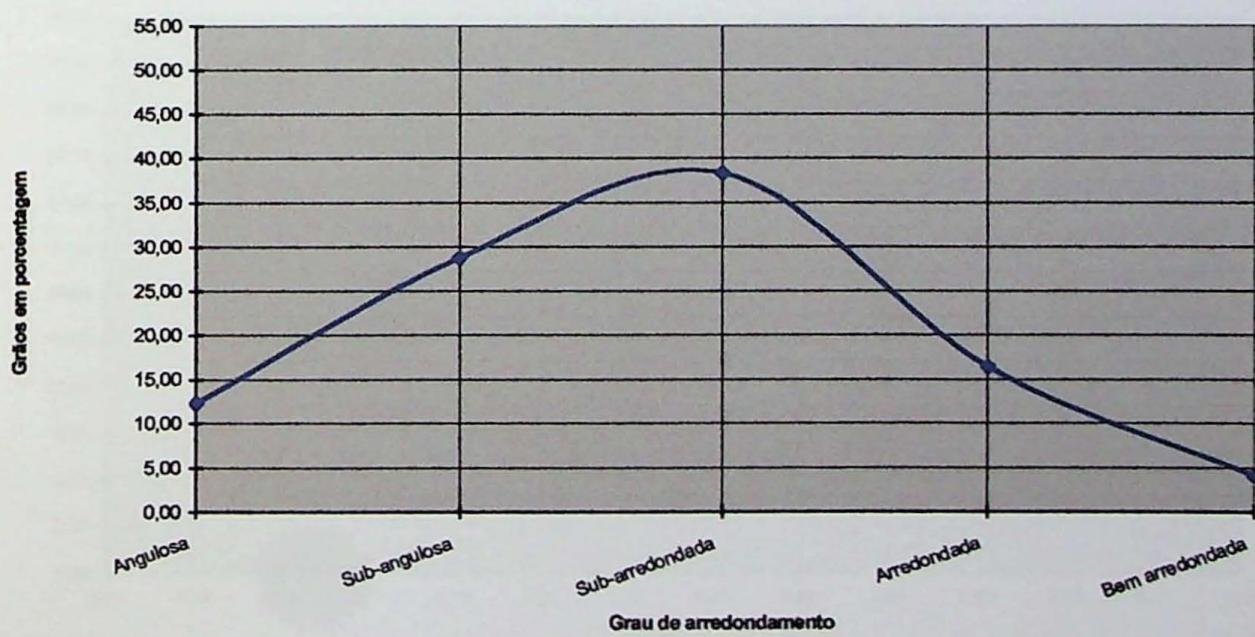
GTF - 01 - Esfericidade (0,177 mm)



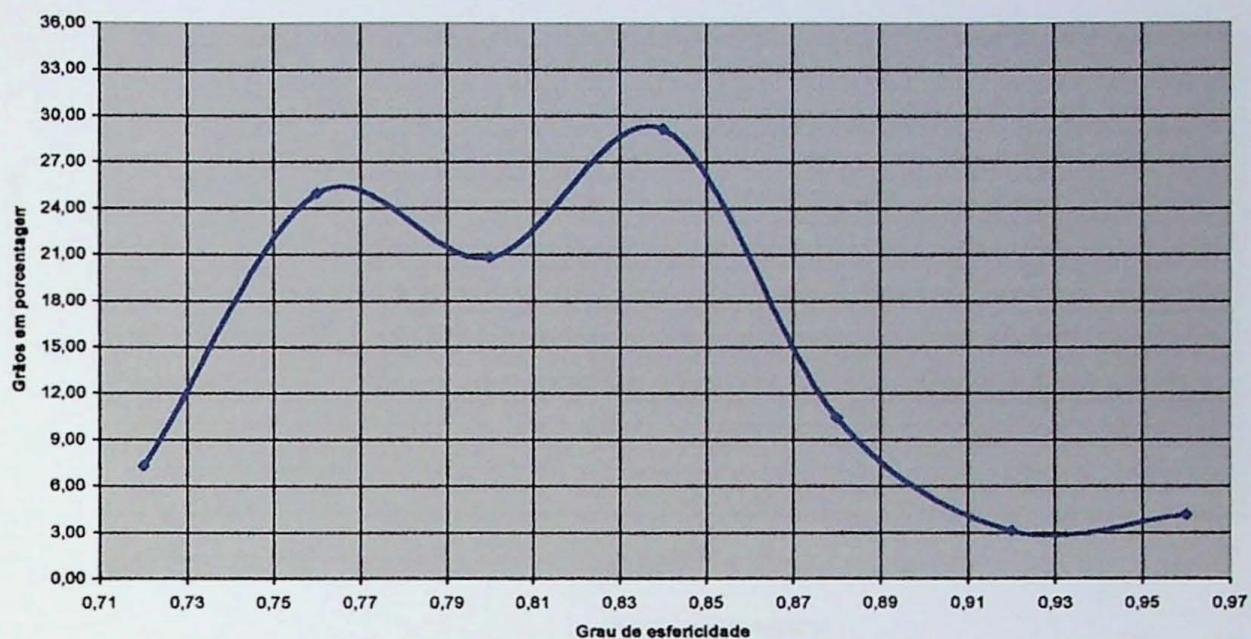
GTF - 02 - Arredondamento (0,35 mm)



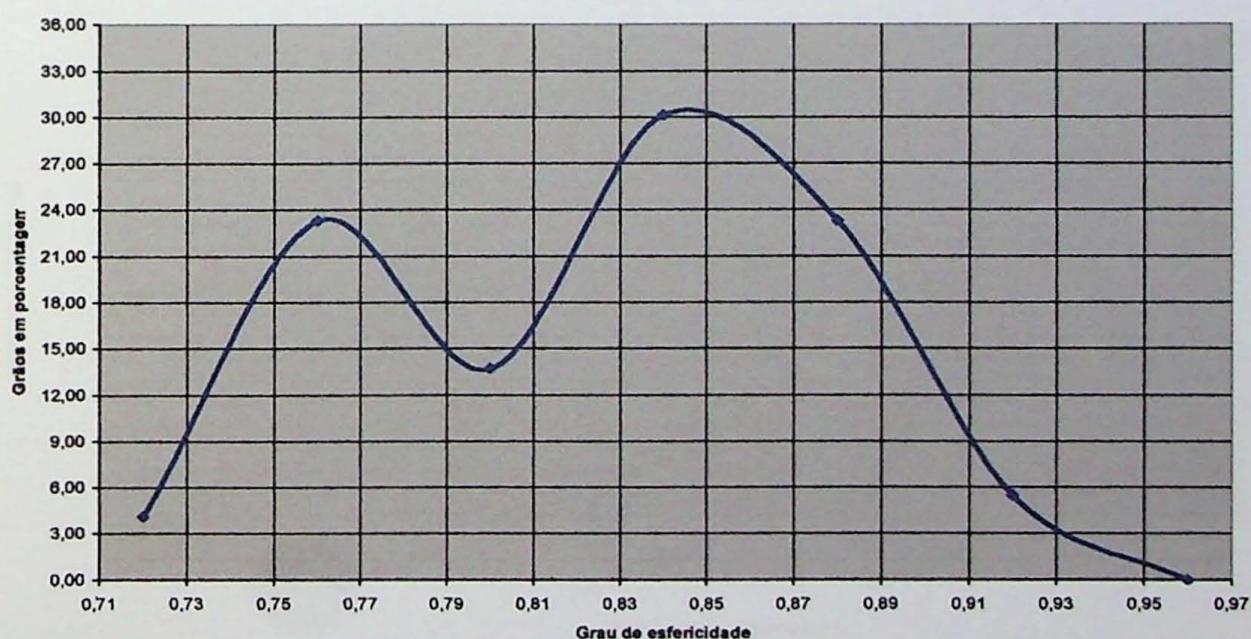
GTF - 02 - Arredondamento (0,177 mm)



GTF - 02 - Esfericidade (0,35 mm)



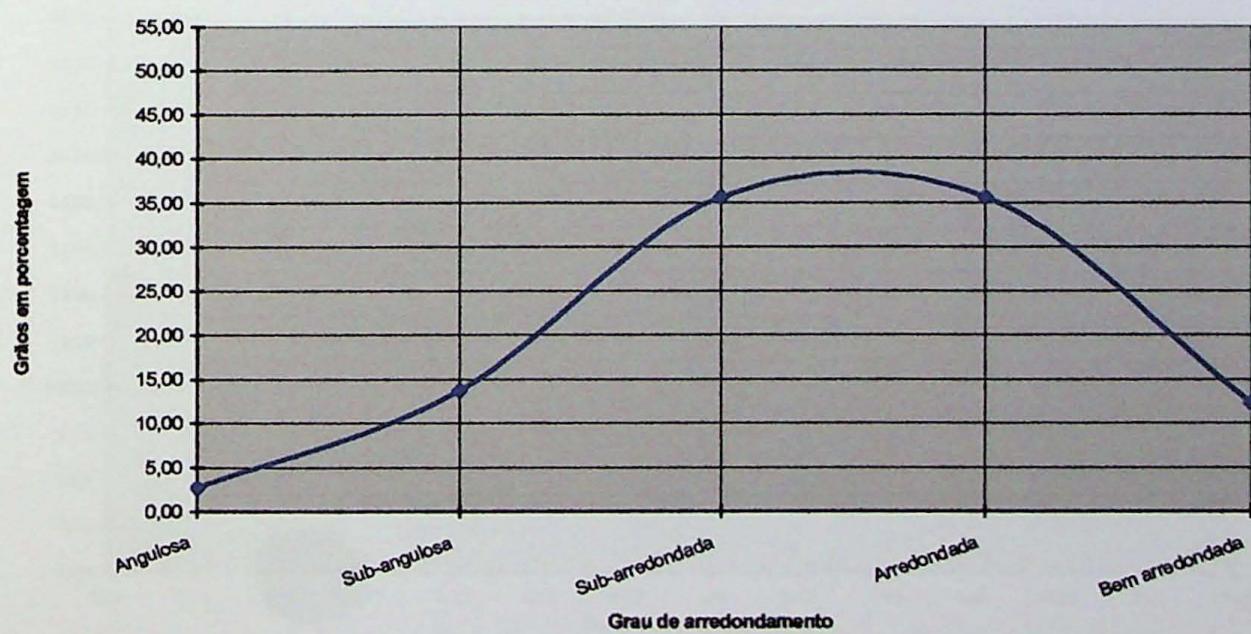
GTF - 02 - Esfericidade (0,177 mm)



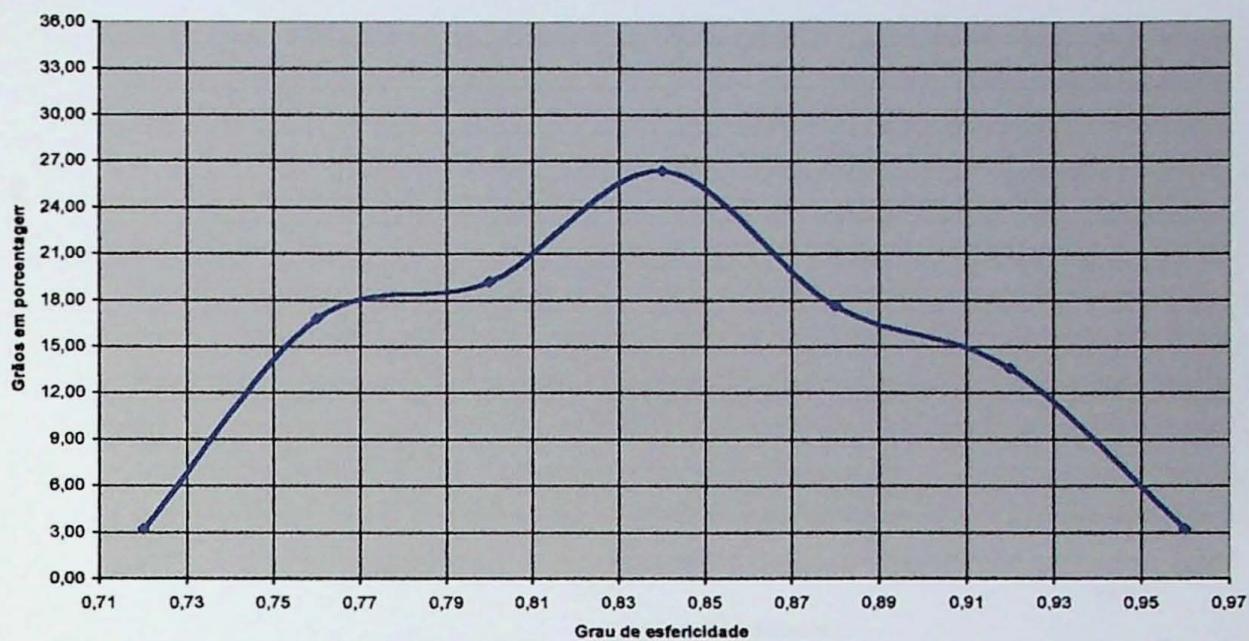
GTF - 03 - Arredondamento (0,35 mm)



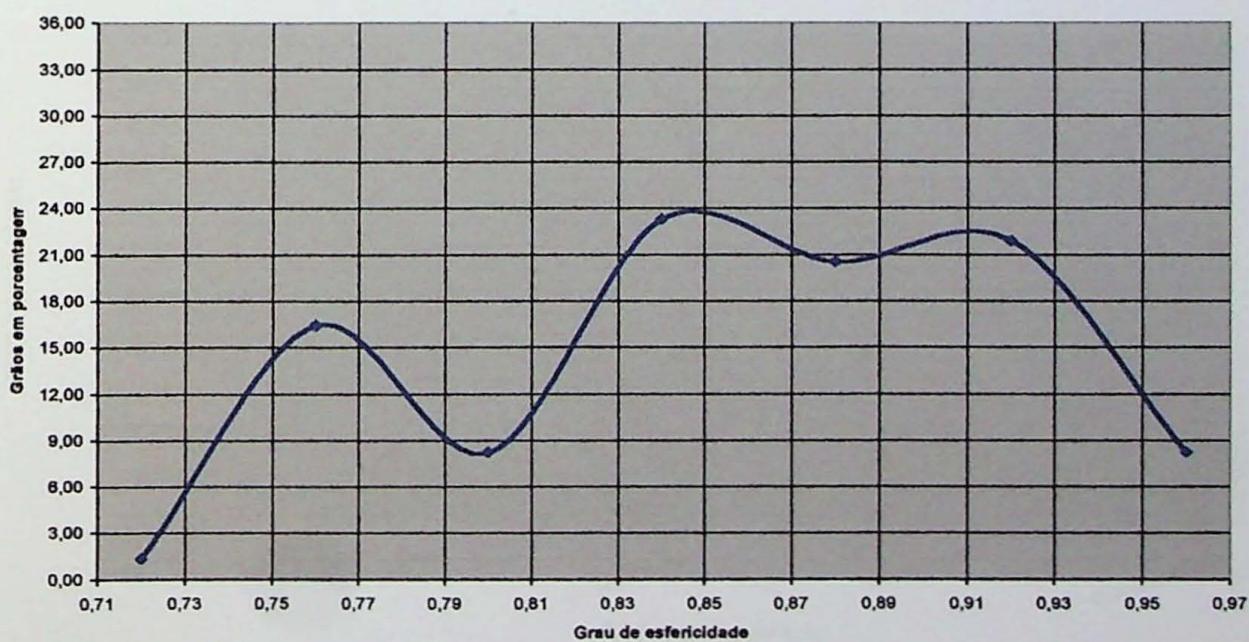
GTF - 03 - Arredondamento (0,177 mm)



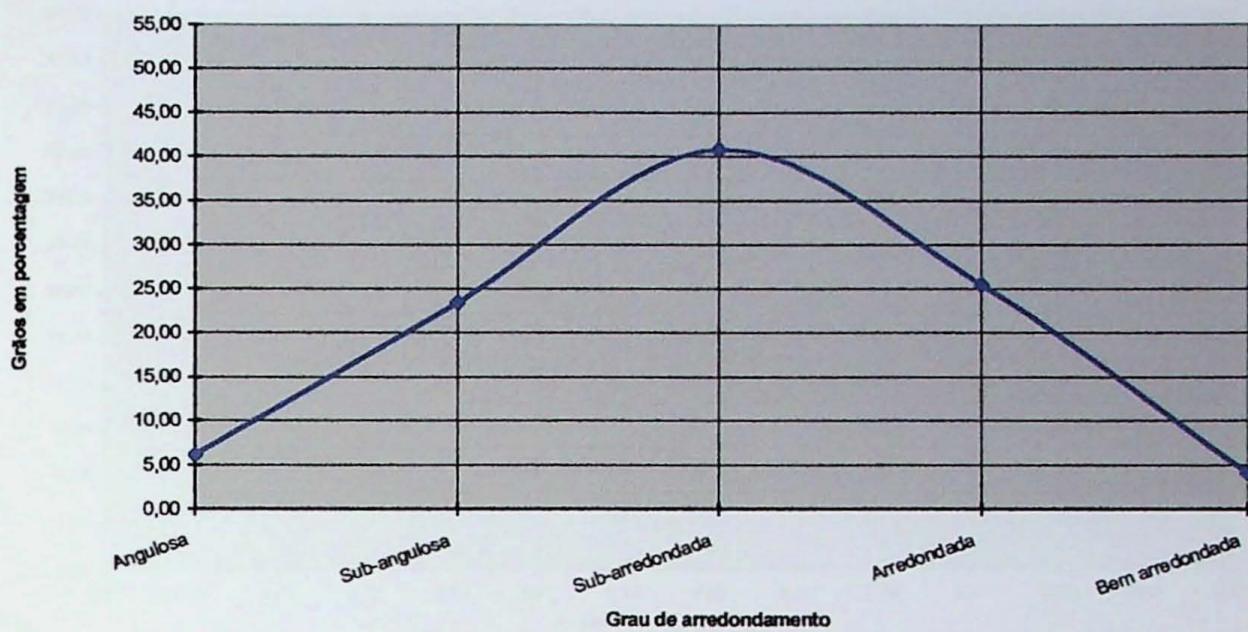
GTF - 03 - Esfericidade (0,35 mm)



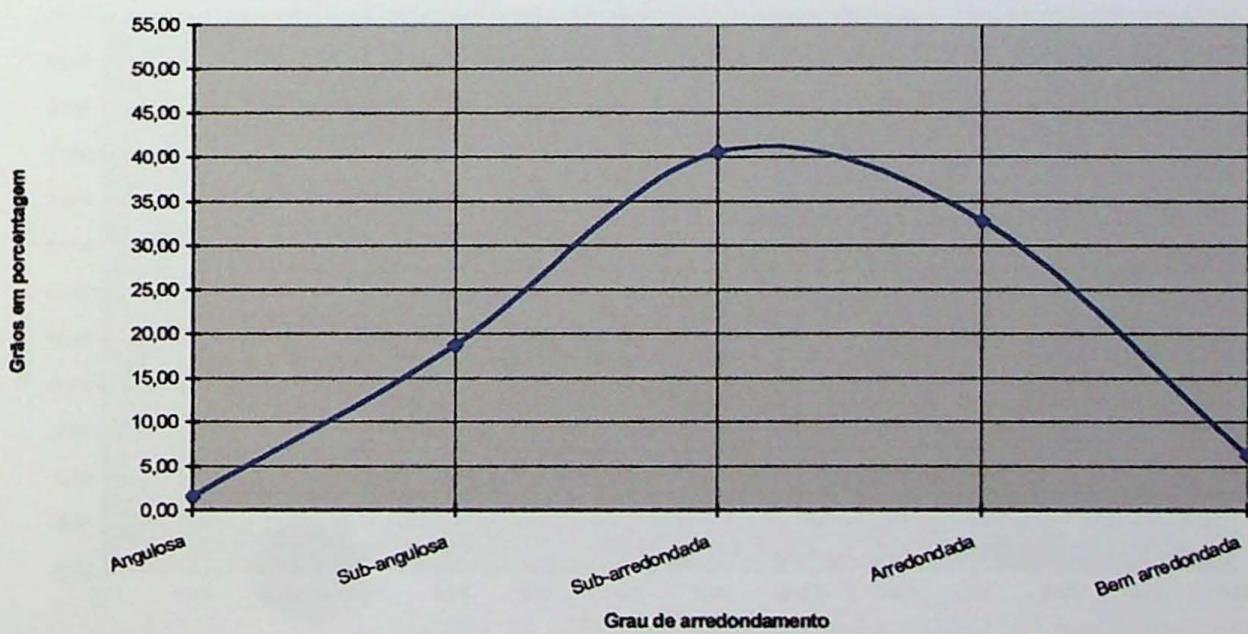
GTF - 03 - Esfericidade (0,177 mm)



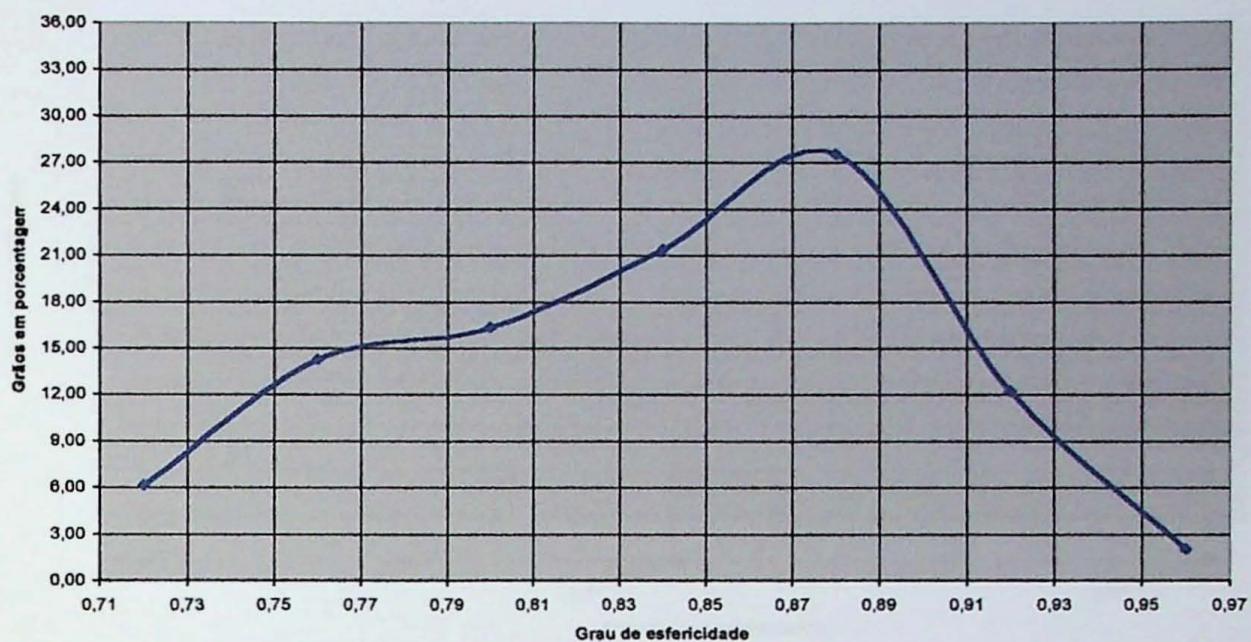
GTF - 04 - Arredondamento (0,35 mm)



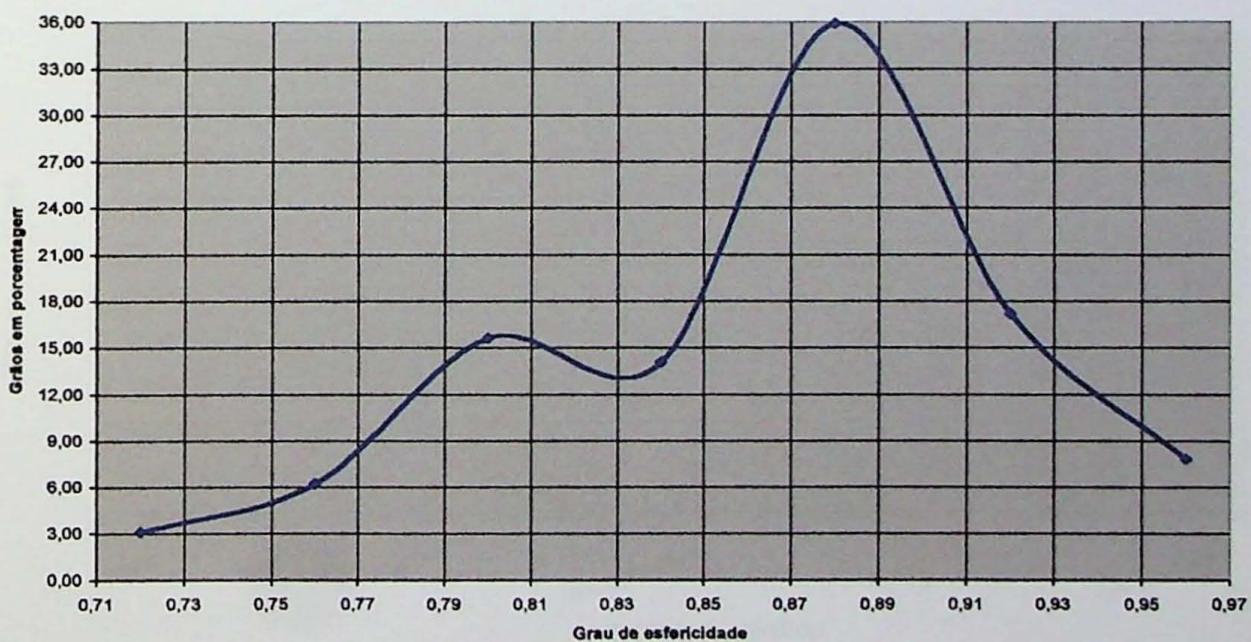
GTF - 04 - Arredondamento (0,177 mm)



GTF - 04 - Esfericidade (0,35 mm)



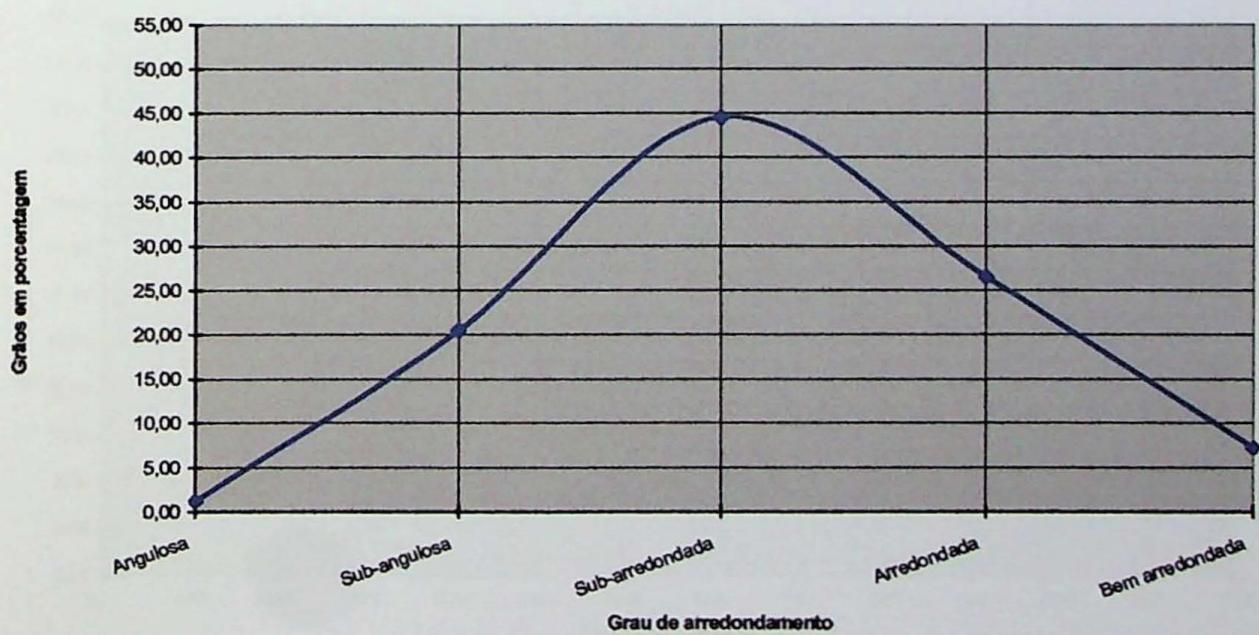
GTF - 04 - Esfericidade (0,177 mm)



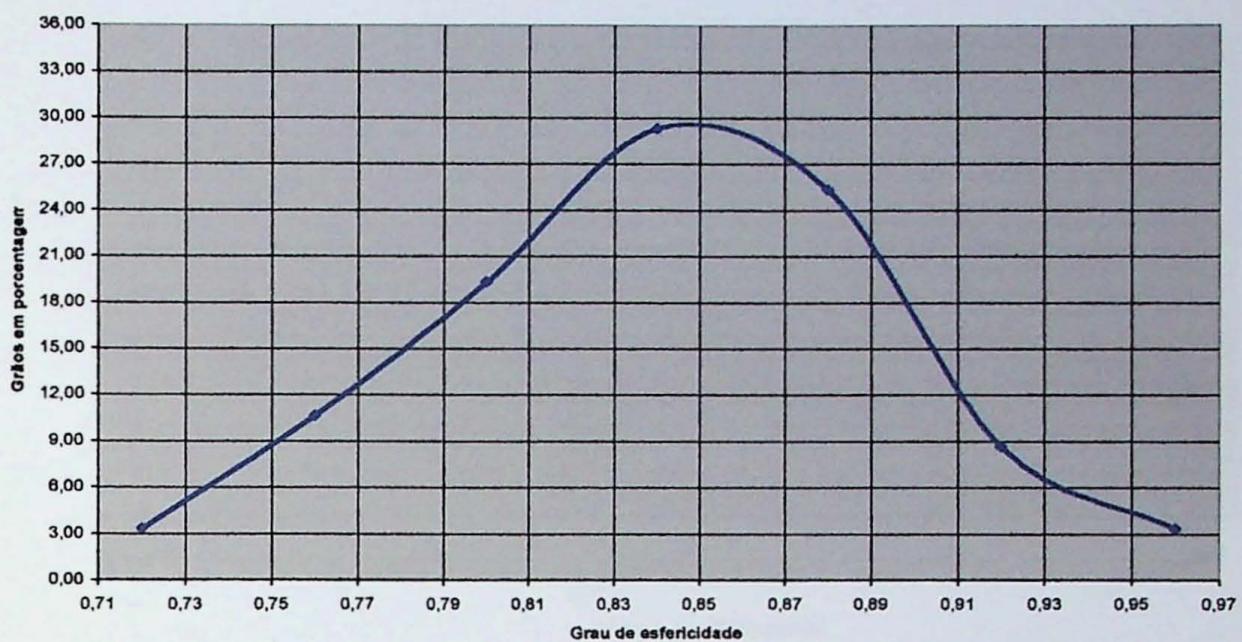
GTF - 05 - Arredondamento (0,35 mm)



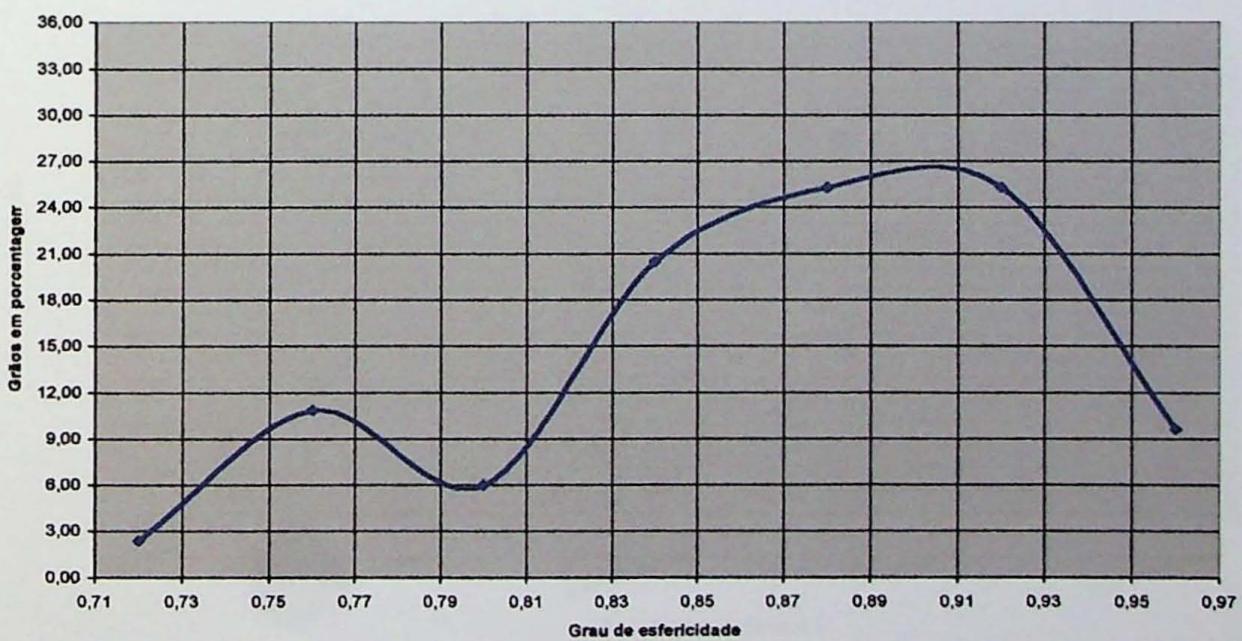
GTF - 05 - Arredondamento (0,177 mm)



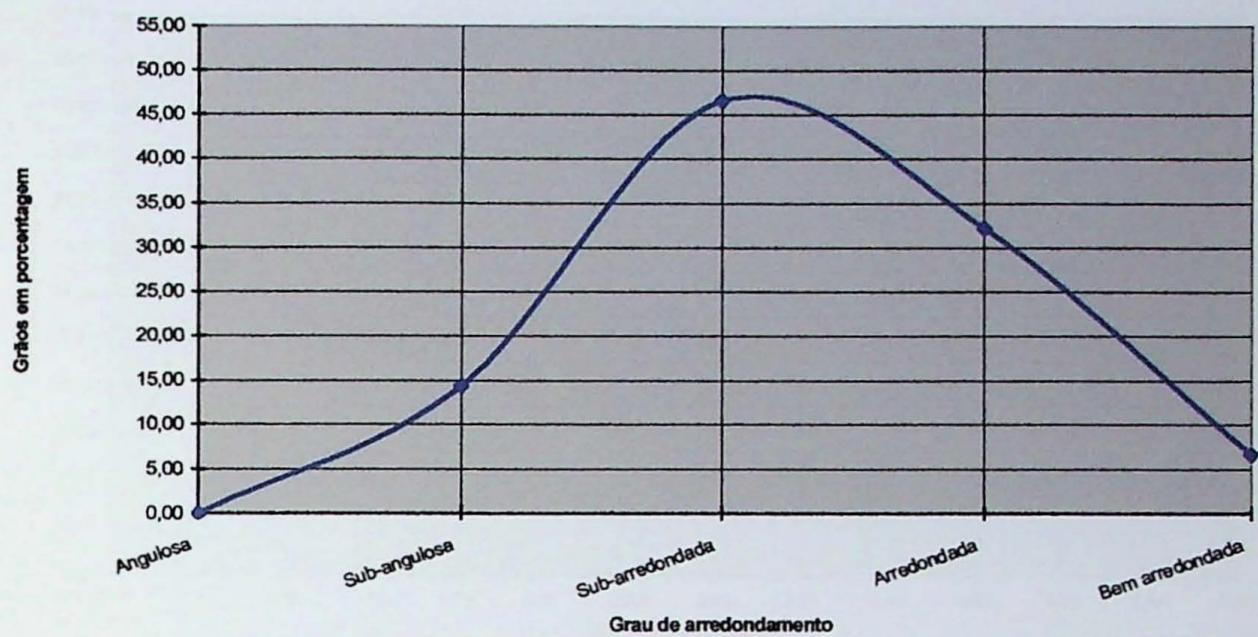
GTF - 05 - Esfericidade (0,35 mm)



GTF - 05 - Esfericidade (0,177 mm)



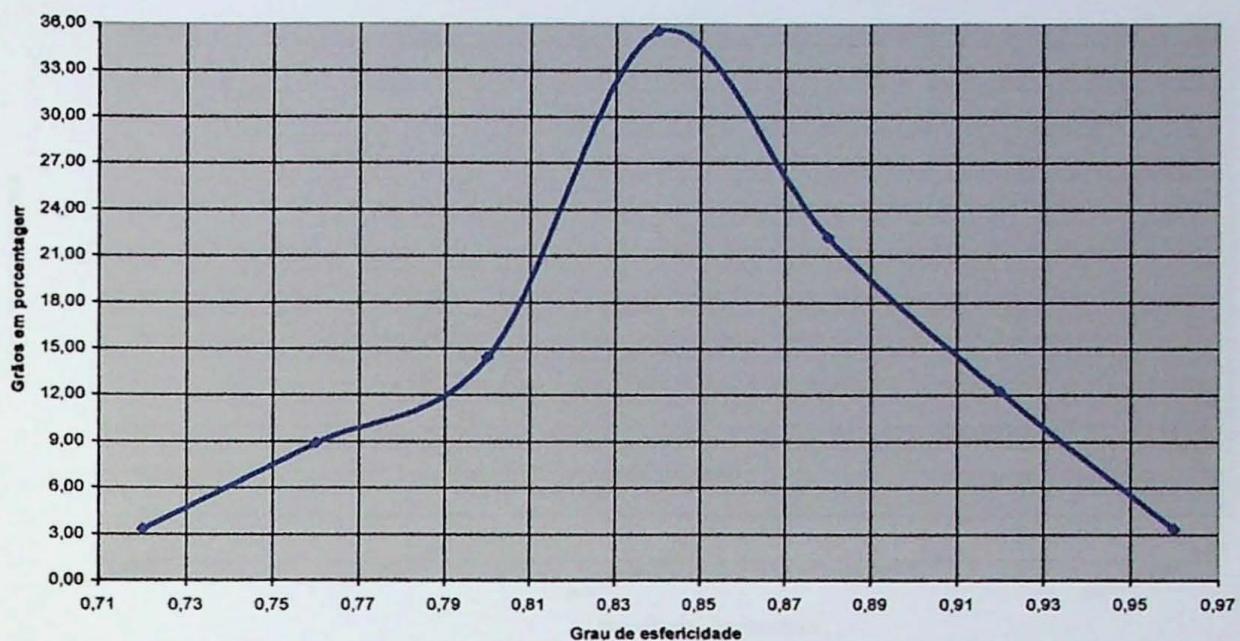
GTF - 06 - Arredondamento (0,35 mm)



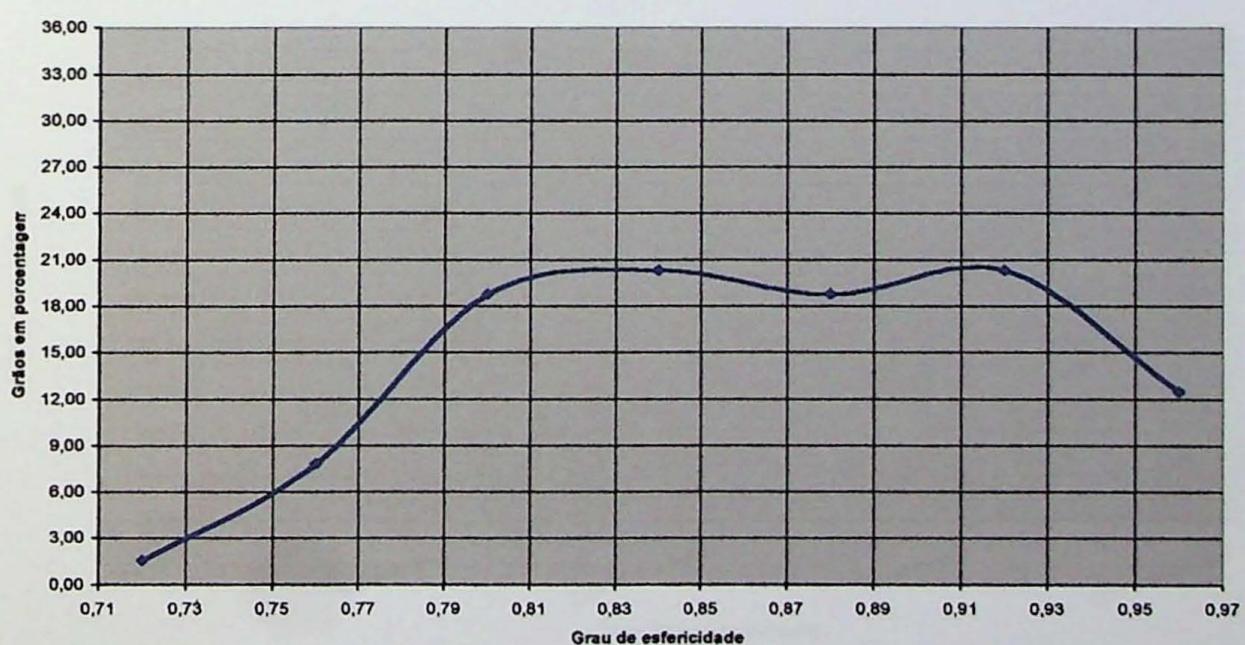
GTF - 06 - Arredondamento (0,177 mm)



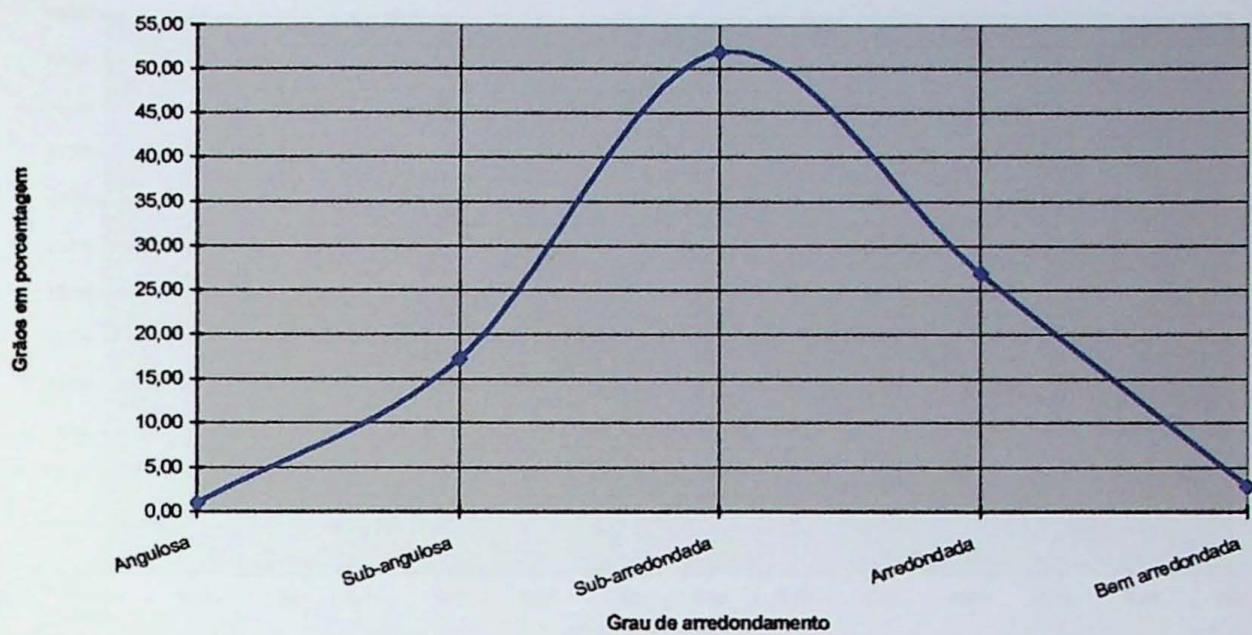
GTF - 06 - Esfericidade (0,35 mm)



GTF - 06 - Esfericidade (0,177 mm)



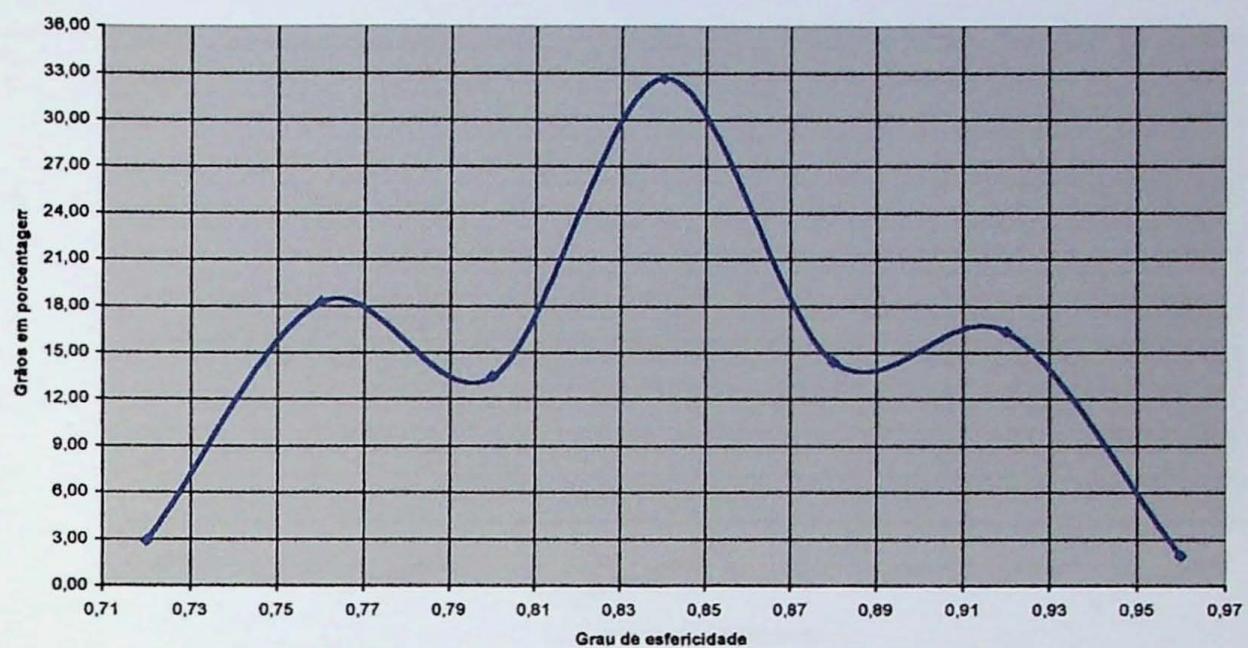
GTF - 07 - Arredondamento (0,35 mm)



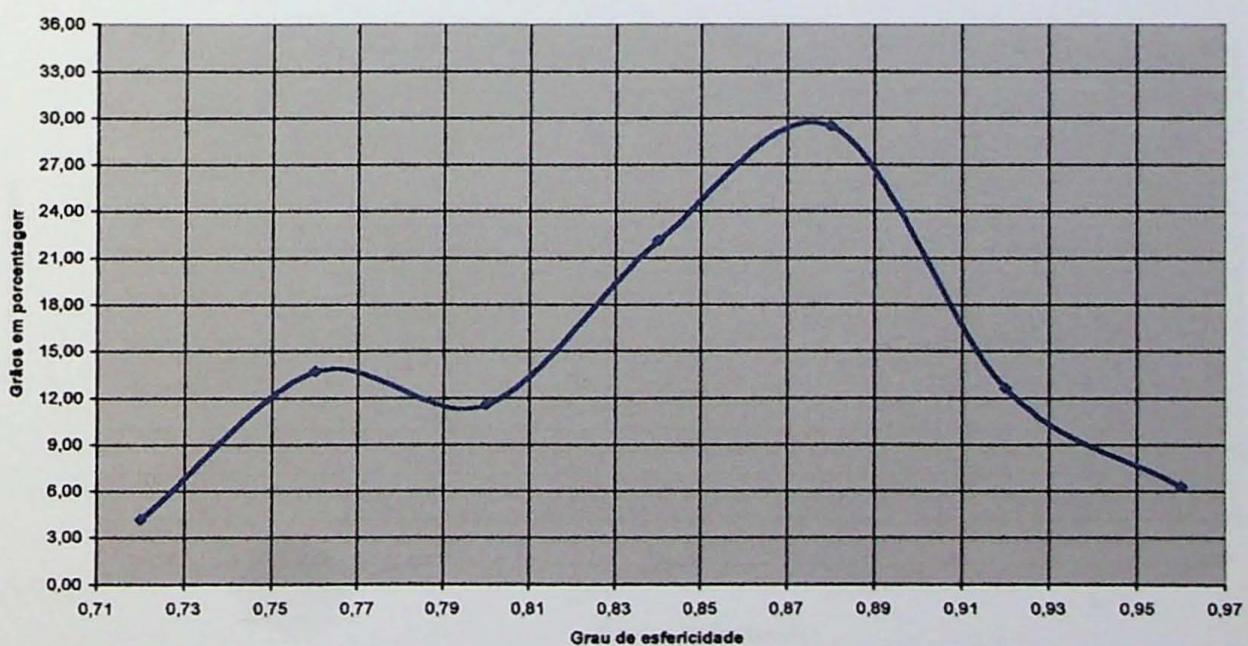
GTF - 07 - Arredondamento (0,177 mm)



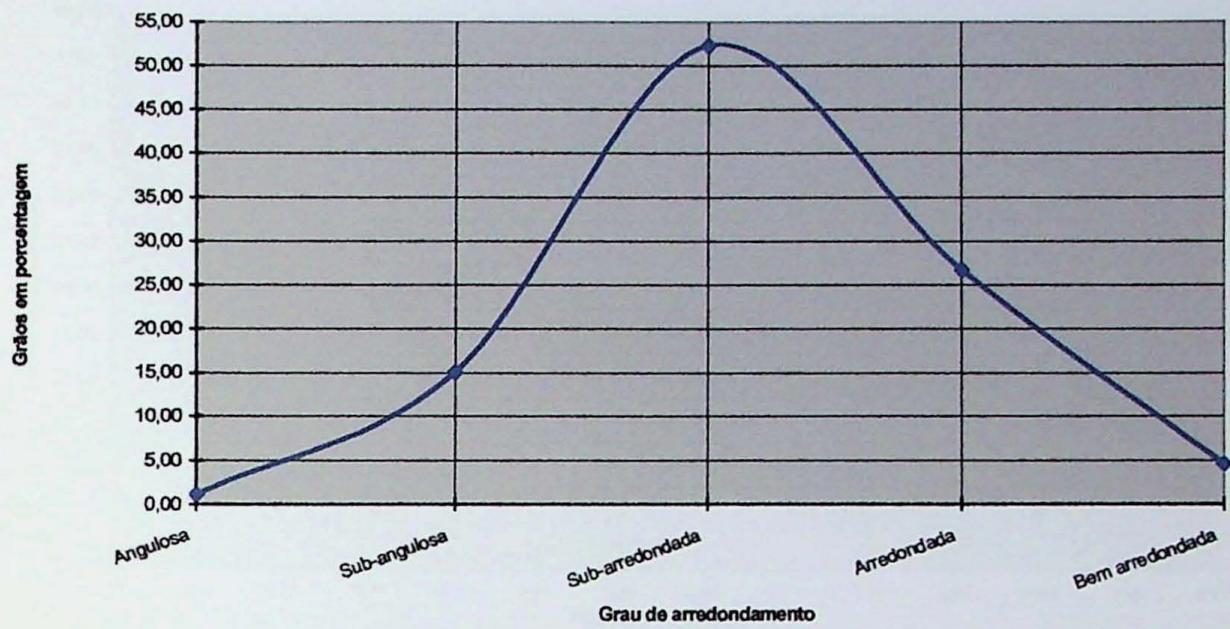
GTF - 07 - Esfericidade (0,35 mm)



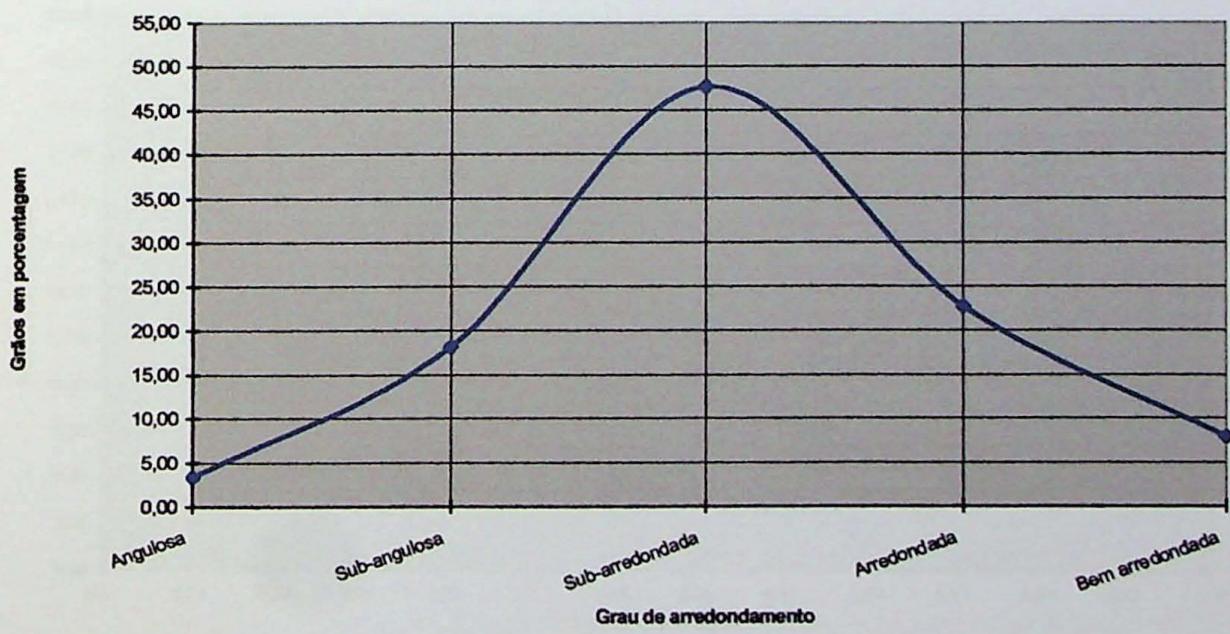
GTF - 07 - Esfericidade (0,177 mm)



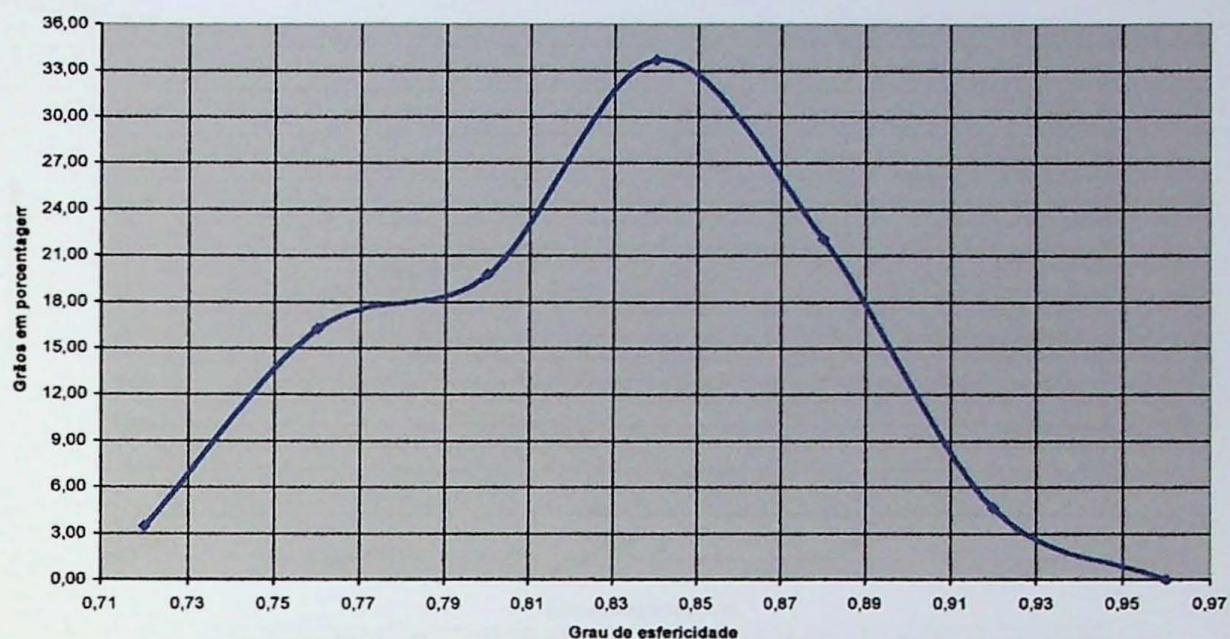
GTF - 08 - Arredondamento (0,35 mm)



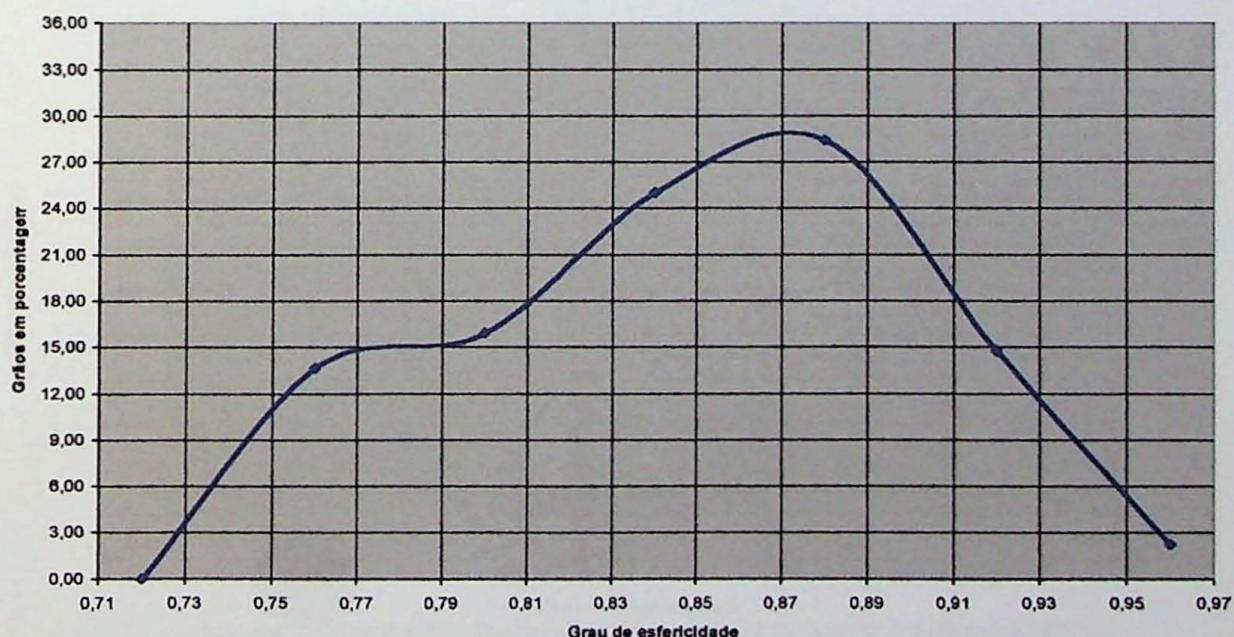
GTF - 08 - Arredondamento (0,177 mm)



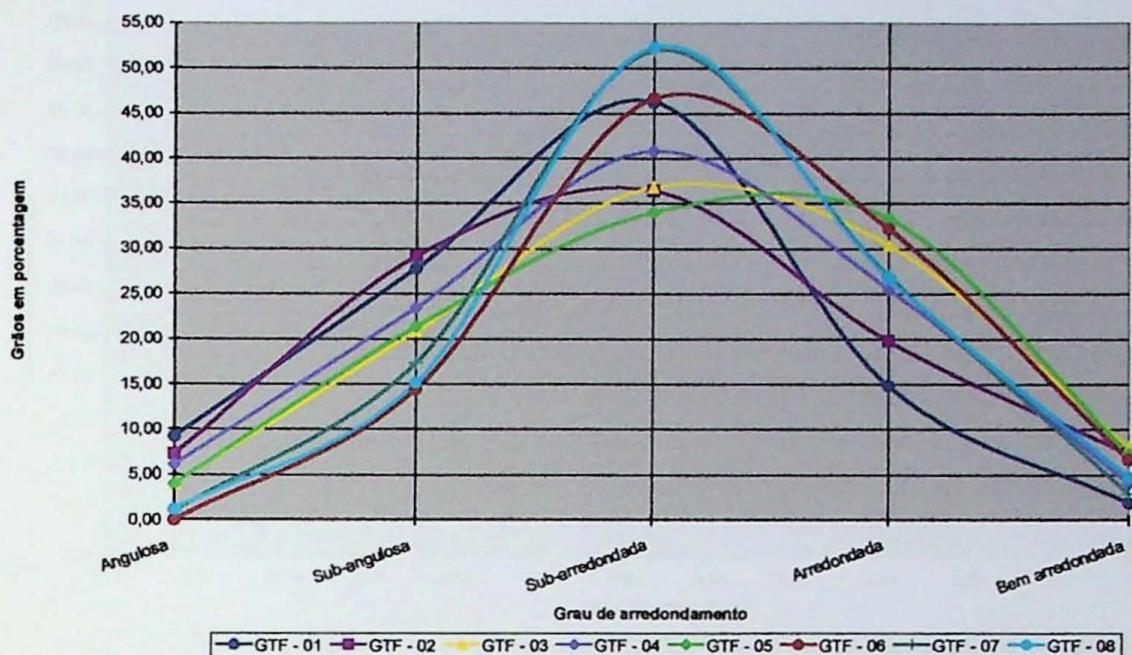
GTF - 08 - Esfericidade (0,35 mm)



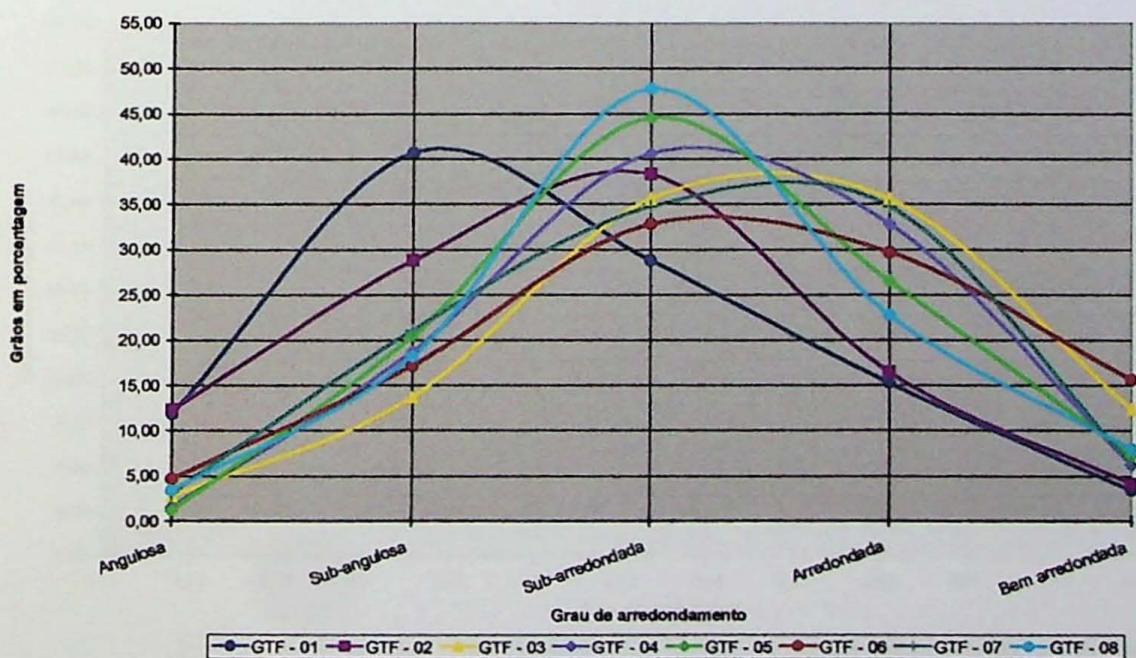
GTF - 08 - Esfericidade (0,177 mm)



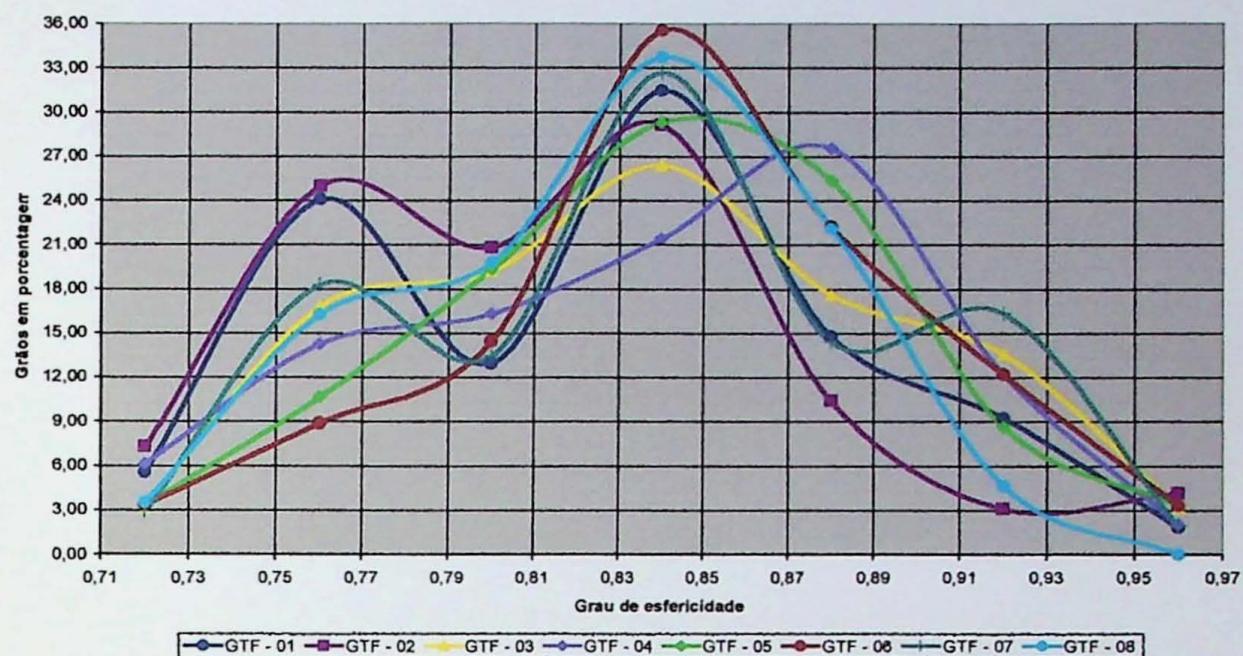
Todas as amostras - Curva de Freqüência - Arredondamento (0,35 mm)



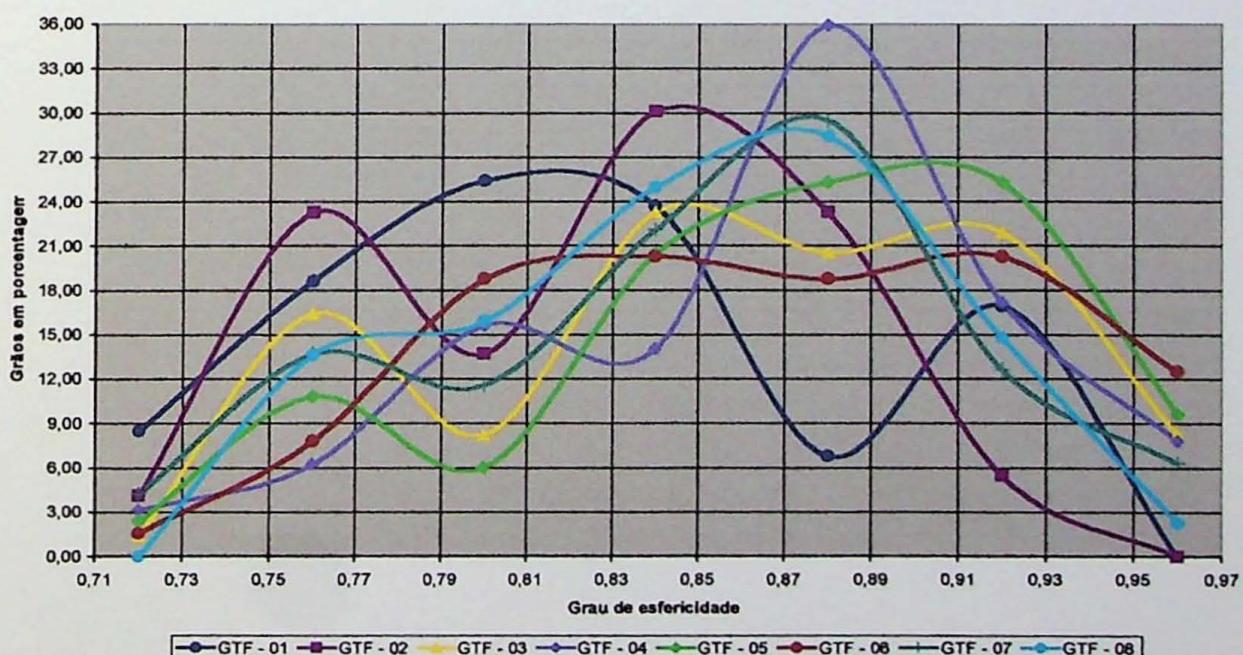
Todas as amostras - Curva de Freqüência - Arredondamento (0,177 mm)



Todas as amostras - Curva de Freqüência - Esfericidade (0,36 mm)



Todas as amostras - Curva de Freqüência - Esfericidade (0,177 mm)



## Anexo 4

## **Amostra GTF - 01**

A amostra GTF - 01 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 59 grãos no intervalo 0,177 mm e 54 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 69,50 % apresentam-se de subangulosos a subarredondados;
- 18,64 % apresentam-se de arredondados a bem arredondados;
- 11,86 % apresentam-se sub angulosos.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 74,08 % apresentam-se de subangulosos a subarredondados;
- 16,66 % apresentam-se de arredondados a bem arredondados;
- 9,26 % apresentam-se sub angulosos.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 67,80 % apresentam-se com média esfericidade;
- 23,73 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 8,47 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 68,51 % apresentam-se com média esfericidade;
- 25,93 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 5,56 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos angulosos a subarredondados (essencialmente subarredondados / subangulosos), com uma fração arredondada e com média esfericidade.

## **Amostra GTF - 02**

A amostra GTF - 02 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 73 grãos no intervalo 0,177 mm e 96 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 67,13 % apresentam-se de subangulosos a subarredondados;
- 20,54 % apresentam-se de arredondados a bem arredondados;
- 12,33 % apresentam-se sub angulosos.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 65,63 % apresentam-se de subangulosos a subarredondados;
- 27,08 % apresentam-se de arredondados a bem arredondados;
- 7,29 % apresentam-se sub angulosos.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 67,12 % apresentam-se com média esfericidade;
- 28,77 % apresentam-se com alta esfericidade.
- 4,11 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 75,00 % apresentam-se com média esfericidade;
- 17,71 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 7,29 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos angulosos a subarredondados (essencialmente subarredondados / subangulosos), com uma fração arredondada e com média esfericidade.

## **Amostra GTF - 03**

A amostra GTF - 03 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 73 grãos no intervalo 0,177 mm e 125 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 71,23 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 16,44 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 12,33 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 67,20 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 24,80 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 8,00 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 50,68 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 47,95 % apresentam-se com média esfericidade;
- 1,37 % apresenta-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 34,40 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 62,40 % apresentam-se com média esfericidade;
- 3,20 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos arredondados / subarredondados, com uma fração subangulosa e com alta / média esfericidade.

## **Amostra GTF - 04**

A amostra GTF - 04 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 64 grãos no intervalo 0,177 mm e 98 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 73,44 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 20,31 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 6,25 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 66,33 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 29,59 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 4,08 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 60,94 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 35,93 % apresentam-se com média esfericidade;
- 3,13 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 41,84 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 52,04 % apresentam-se com média esfericidade;
- 6,12 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados / arredondados, com uma fração subangulosa e com alta / média esfericidade.

## **Amostra GTF - 05**

A amostra GTF - 05 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 83 grãos no intervalo 0,177 mm e 150 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 71,08 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 21,69 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 7,23 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 67,33 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 25,33 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 7,33 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 60,24 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 37,35 % apresentam-se com média esfericidade;
- 2,41 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 37,33 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 59,34 % apresentam-se com média esfericidade;
- 3,33 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados / arredondados, com uma fração subangulosa e com alta / média esfericidade.

## **Amostra GTF - 05**

A amostra GTF - 05 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 83 grãos no intervalo 0,177 mm e 150 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 71,08 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 21,69 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 7,23 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 67,33 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 25,33 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 7,33 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 60,24 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 37,35 % apresentam-se com média esfericidade;
- 2,41 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 37,33 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 59,34 % apresentam-se com média esfericidade;
- 3,33 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados / arredondados, com uma fração subangulosa e com alta / média esfericidade.

## **Amostra GTF - 06**

A amostra GTF - 06 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 64 grãos no intervalo 0,177 mm e 90 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 62,50 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 21,88 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 15,62 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 78,89 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 14,44 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 6,67 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 51,56 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 46,88 % apresentam-se com média esfericidade;
- 1,56 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 37,78 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 58,89 % apresentam-se com média esfericidade;
- 3,33 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados a bem arredondados (essencialmente subarredondados / arredondados), com uma fração subangulosa e com alta / média esfericidade.

## **Amostra GTF - 07**

A amostra GTF - 07 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 95 grãos no intervalo 0,177 mm e 104 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 69,47 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 24,21 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 6,32 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 78,84 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 18,27 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 2,89 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 48,42 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 47,37 % apresentam-se com média esfericidade;
- 4,21 % apresentam-se com baixa esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 32,69 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 64,43 % apresentam-se com média esfericidade;
- 2,88 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados / arredondados, com uma fração subangulosa e com média / alta esfericidade.

## **Amostra GTF - 08**

A amostra GTF - 08 apresenta-se, resumidamente, com as seguintes características em freqüência de ocorrência (foram analisados 88 grãos no intervalo 0,177 mm e 86 grãos no intervalo 0,350 mm):

### ***Arredondamento***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 70,46 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 21,59 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 7,95 % apresentam-se bem arredondados.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 79,07 % apresentam-se subarredondados a arredondados;
- 16,28 % apresentam-se angulosos a subangulosos;
- 4,65 % apresentam-se bem arredondados.

### ***Esfericidade***

Para o intervalo 0,177 mm:

- 54,55 % apresentam-se com média esfericidade;
- 45,45 % apresentam-se com alta esfericidade.

Para o intervalo 0,350 mm:

- 69,77 % apresentam-se com média esfericidade;
- 26,74 % apresentam-se com alta esfericidade;
- 3,49 % apresentam-se com baixa esfericidade.

### ***Classificação:***

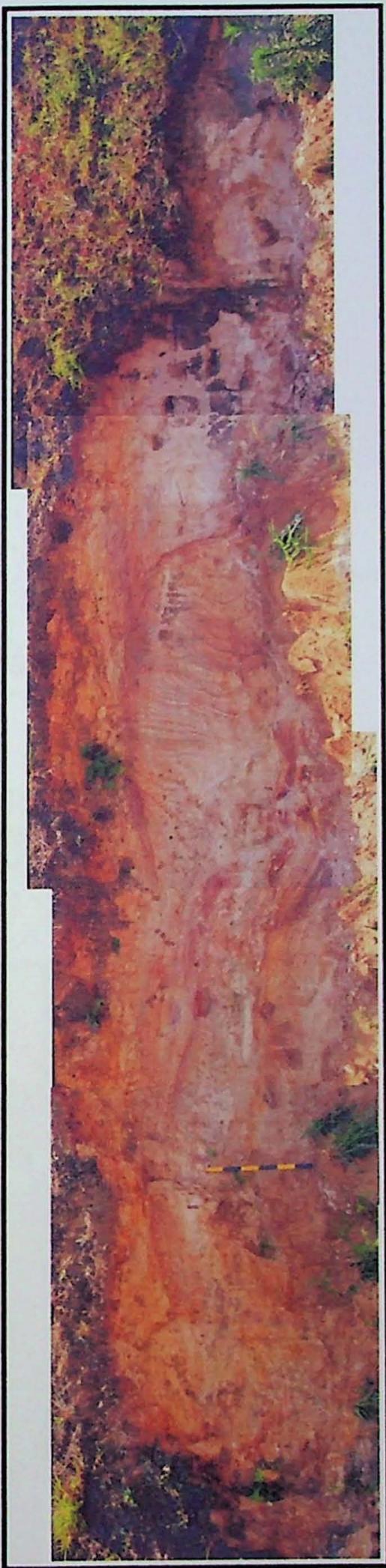
Trata-se de uma amostra constituída por grãos subarredondados / arredondados, com uma fração subangulosa e com média / alta esfericidade.

## Anexo 5

**Perfil B**

NW

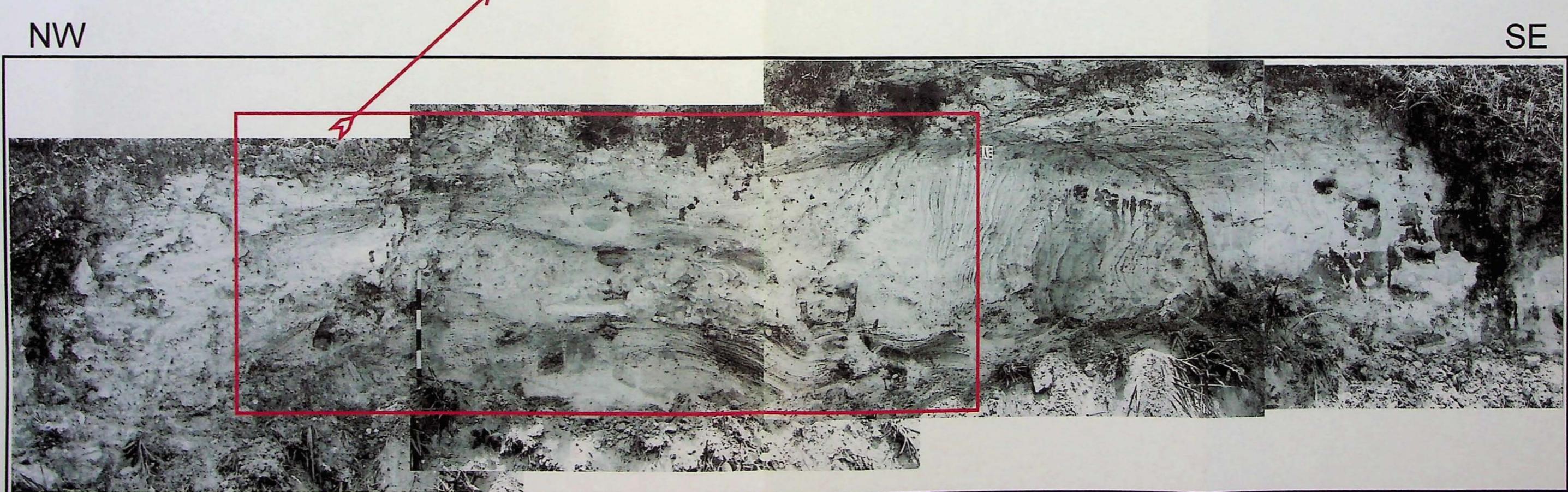
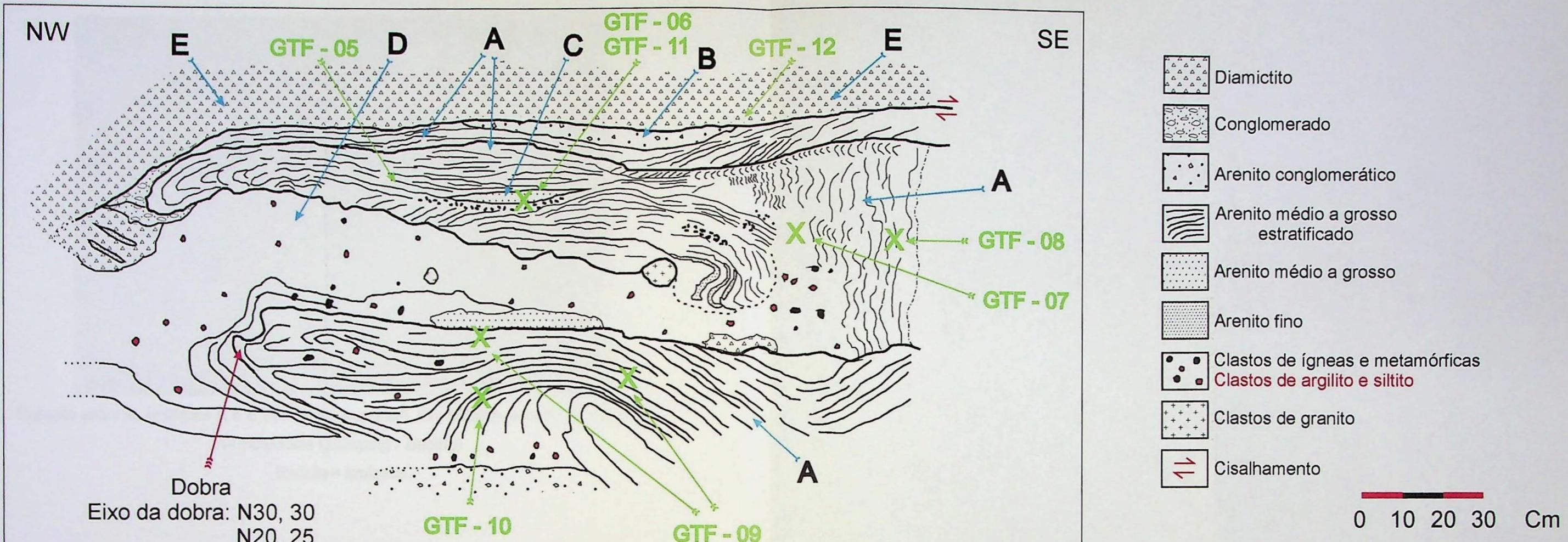
SE



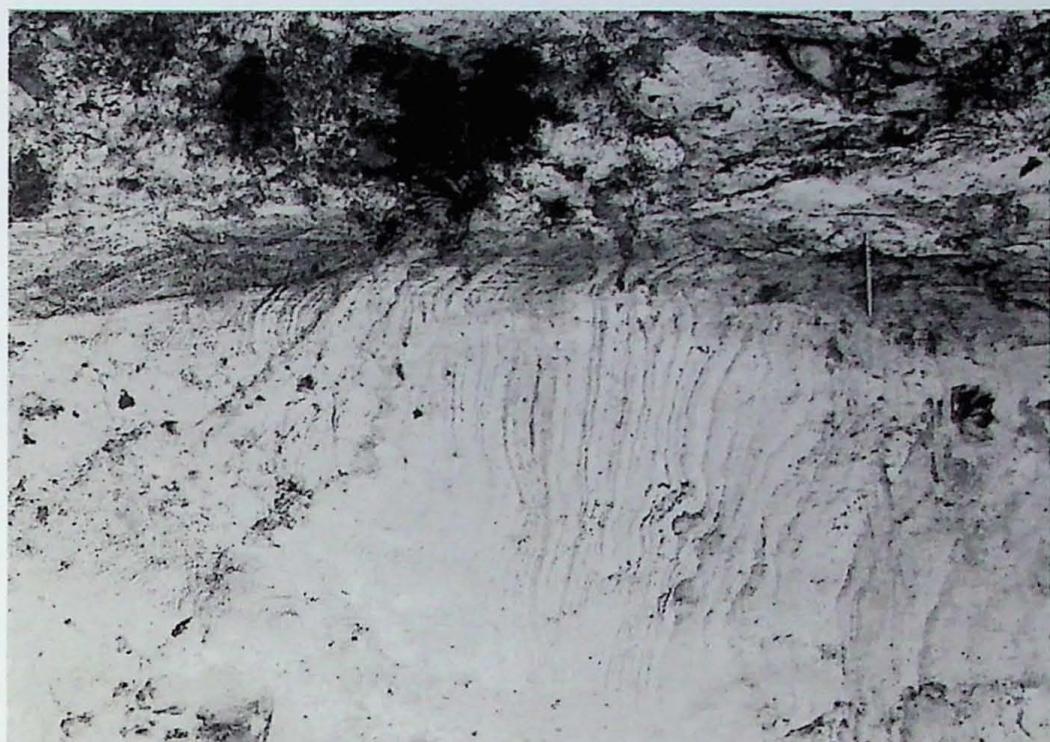
LX

**Escala decimétrica**

# Perfil B



Escala decimétrica



Contato entre as litofácies **A** e **E** (diamictito superior). Em detalhe, arenito com estrutura verticalizada (*slumping / slading*).

Escala = lapiseira.



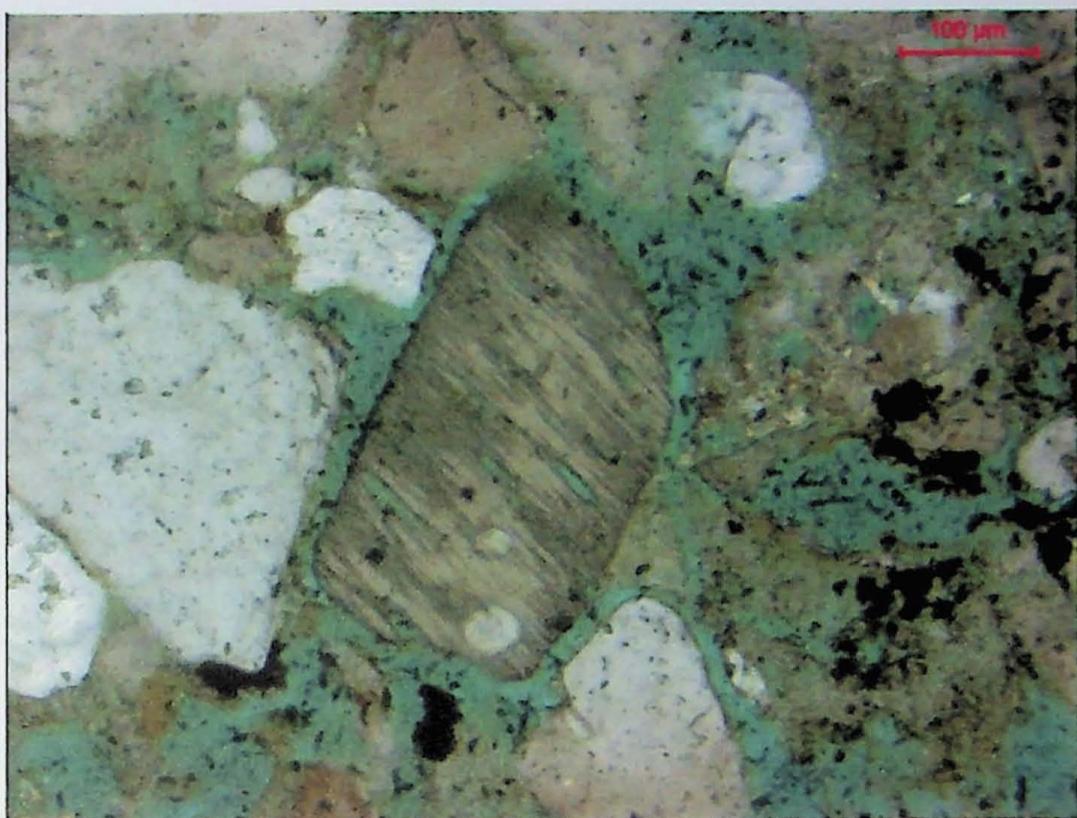
Contato entre as litofácies **A** e **E** (diamictito superior). Em detalhe, zona de cisalhamento formada no topo da litofácie **A** e zona de fissilidade horizontal no diamictito superior.

Escala = lapiseira.

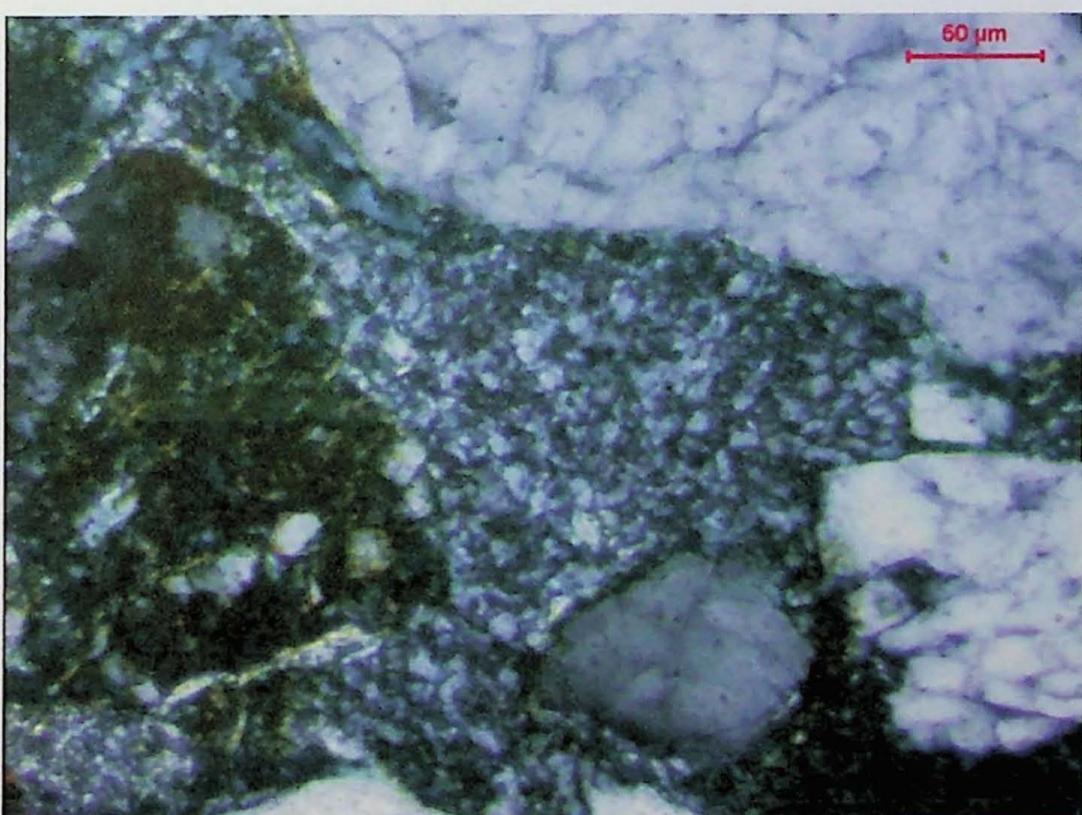


Contato entre as litofácies **A** (porção inferior) e **D**. Em detalhe, arenito com estratificação ondulada / deformada e dobrada.  
Escala decimétrica.

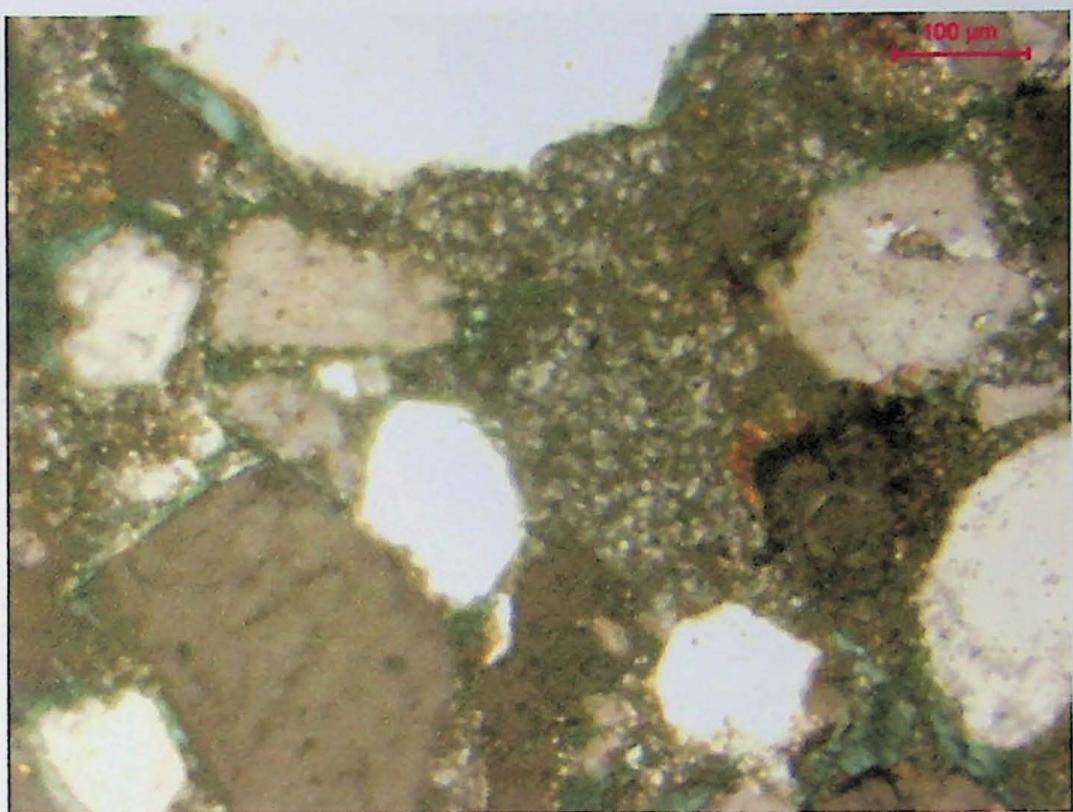
## Anexo 6



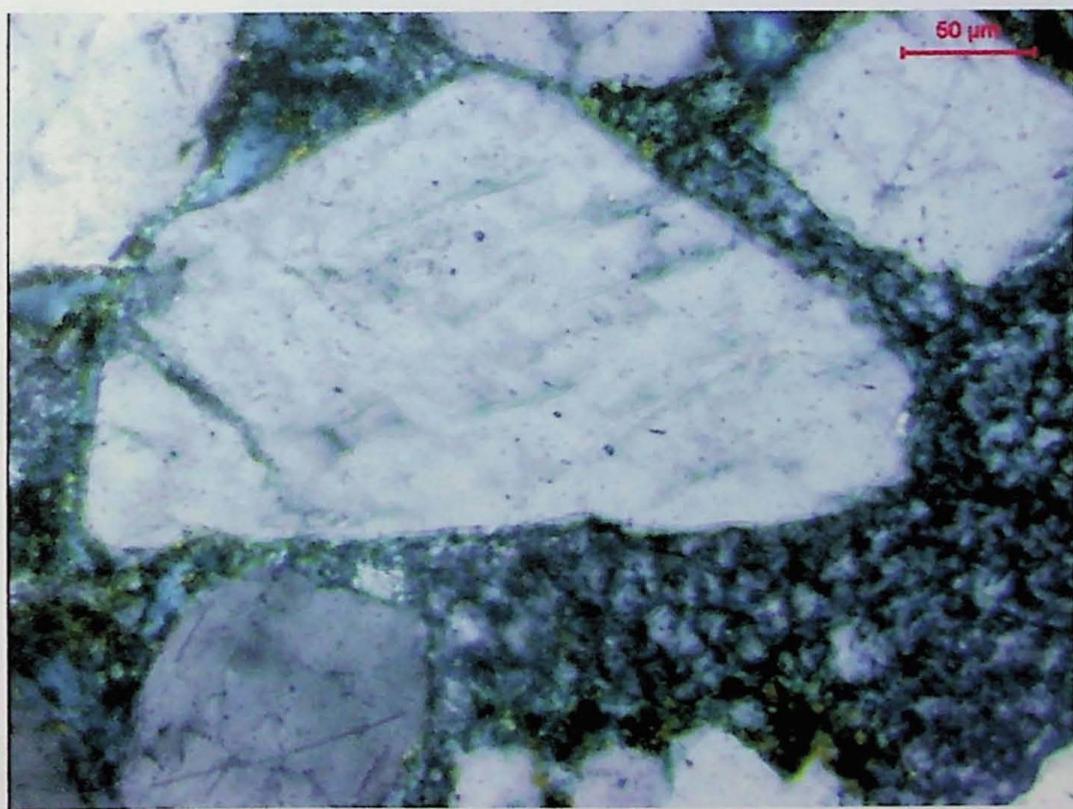
**Amostra GTF - 03:** Em detalhe, grão de feldspato com dissolução tipo *Honeycombed* (Nicóis cruzados).



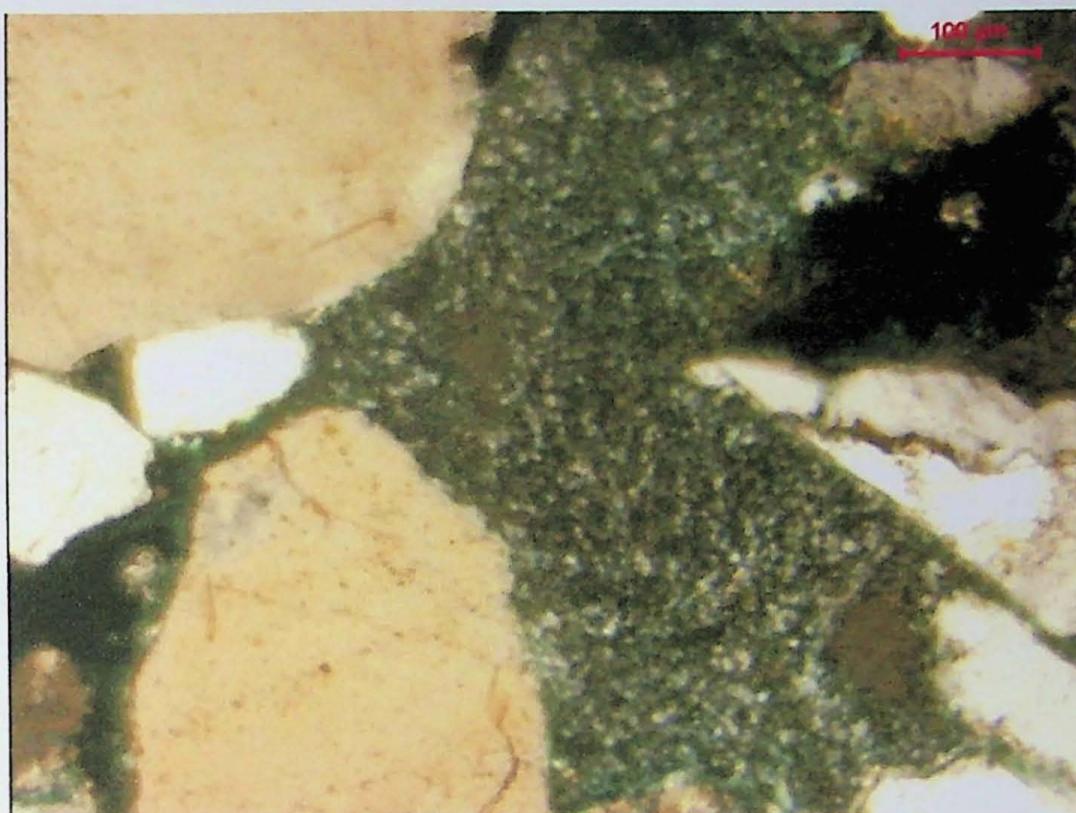
**Amostra GTF - 03:** Em detalhe, cimentação caulinítica (Nicóis cruzados).



Amostra GTF - 03: Em detalhe, cimentação caulinítica (Nicóis cruzados).



Amostra GTF - 05: Em detalhe, cimentação caulinítica (Nicóis cruzados).

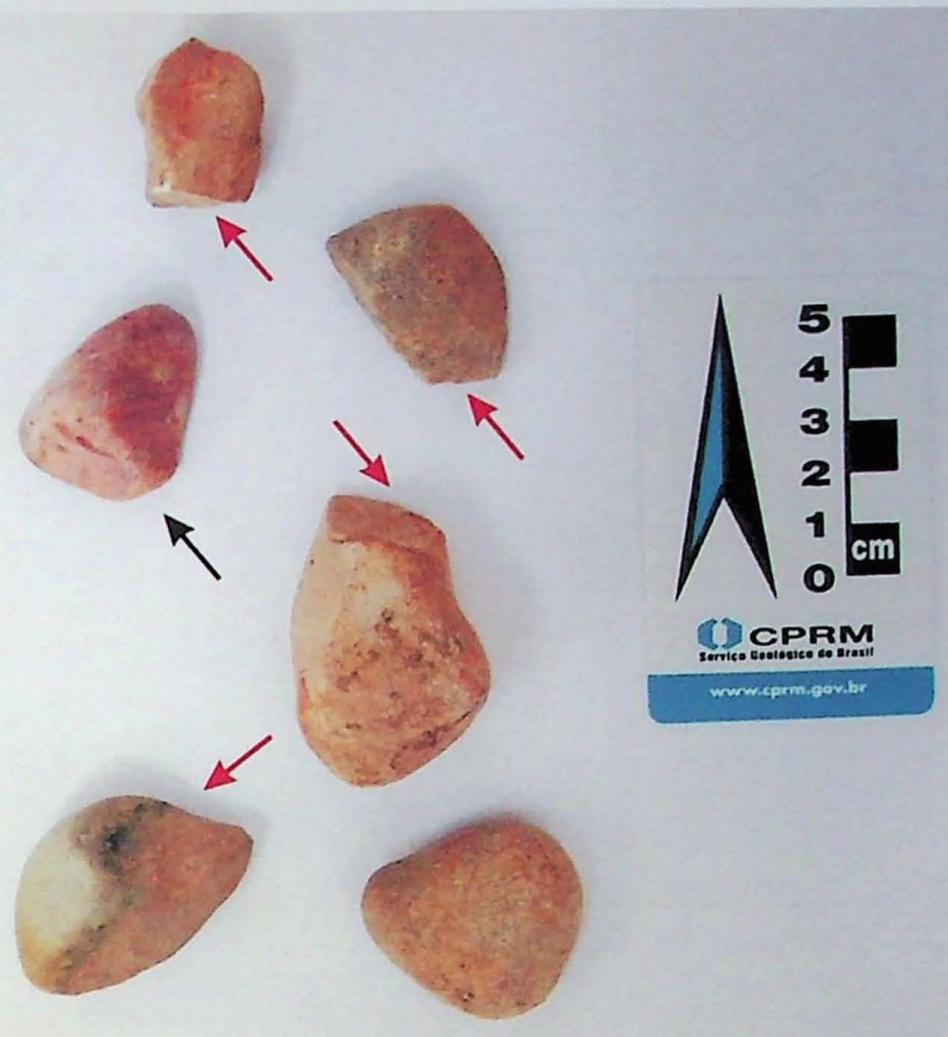


**Amostra GTF - 05:** Em detalhe, cimentação caulinítica (Nicóis cruzados).



**Amostra GTF - 07:** Em detalhe, cimentação caulinítica (Nicóis cruzados).

## Anexo 7



Clastos coletados na base da litofácie E. Quanto à forma, os clastos, no geral, são facetados, alguns com linhas que sugerem estrias glaciais.

Em detalhe: As setas vermelhas indicam clastos com séries de fraturas paralelas ou obliquas. A seta preta indica possível ventifacto.

Gabriel Luiz Pérez Vieira

Gabriel Luiz Pérez Vieira

Paulo Roberto dos Santos

Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos

(Orientador)

