

TF
F383
ALB.v

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024596

**VIABILIZAÇÃO E ALTERNATIVAS DE USO DOS SEDIMENTOS
DE DRAGAGEM DO CANAL DO RIO PINHEIROS-SP**



Aluno: André Luiz Baradel Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Yushiro Kihara
Co-Orientador: Geólº Dr. José Francisco Marciano Motta

SÃO PAULO
2007

TF
F383
ALB.v

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

VIABILIZAÇÃO E ALTERNATIVAS DE USO DOS SEDIMENTOS
DE DRAGAGEM DO CANAL DO RIO PINHEIROS-SP



Autores: André Luiz Stadel Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Yushio Kikuchi
Co-Orientador: Geor. Dr. José Fernando Martins Neto

SÃO PAULO
1991

Resumo

Este trabalho tem como proposta indicar uma possível aplicação dos sedimentos do canal Pinheiros como agregado na construção civil. Os sedimentos dragados (400 mil m³/ano) são depositados, provisoriamente, em bacias de disposição, e posteriormente, dispostos por definitivo em aterros sanitários. Além de reduzir a vida útil destes “depósitos”, este procedimento também gera altos custos (R\$ 18 milhões anuais em dragagem, disposição e transporte) para a EMAE – Empresa Metropolitana de Água e Energia Elétrica, detentora e operadora do sistema hidráulico e gerador de energia elétrica da Região Metropolitana de São Paulo, Médio Tietê e Vale do Paraíba do Sul.

Numa parceria entre a EMAE e o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, este projeto busca soluções sustentáveis e economicamente viáveis para o problema, como é o caso da aplicação na construção civil, dos sedimentos dragados do canal Pinheiros.

Os sedimentos do canal Pinheiros foram classificados em sedimentos “finos” e “grossos” devido às características granulométricas da sedimentação, sendo que os “finos”, de característica silto-argilosa, predominam largamente, e receberam maior enfoque neste trabalho. Após avaliação técnico-econômica e ambiental, considerou-se o processamento cerâmico como importante processo para a transformação e aproveitamento do material de desassoreamento.

Devido à complexidade de transformação de uma matéria-prima “*in natura*” em um produto cerâmico, com controle do processo, como é o caso do agregado para construção civil, foi preciso conhecer as caracterizações mineralógicas, cerâmicas, químicas e físicas através de técnicas e ensaios laboratoriais, propiciando dados para análise e direcionamento do estudo.

A caracterização cerâmica consistiu na queima de corpos-de-prova em temperaturas de 850, 950, 1050, 1150 e 1250°C para a determinação da retração linear e absorção d'água, fornecendo dados-base na construção dos gráficos de curvas de gresificação, importante ferramenta para balizar as temperaturas de queima.

Adicionalmente, foram incorporados determinados materiais fundentes às massas cerâmicas formuladas, quais sejam: argila “Unicer”, proveniente da Formação Corumbataí; argila “Parelheiros”, da Bacia São Paulo e “Raspa”, resíduo de esmaltes de indústria cerâmica.

A comparação entre curvas de gresificação das massas de “finos” isoladamente e em composições com fundentes, permite avaliar formulações mais adequadas para a obtenção de um menor custo com energia no processo e, conseqüentemente, fornecer um agregado técnico-econômico compatível com os agregados existentes no mercado.

Por outro lado, o sedimento “grosso” – predominantemente fração areia – teve sua caracterização física e mineralógica determinadas, bem como ensaios de beneficiamento em escala piloto, visando a aplicação direta (após beneficiamento) na construção civil.

Com o resultado deste trabalho, observou-se que os sedimentos “finos” podem compor agregados sinterizados isoladamente a partir de 1150°C ou em composição a partir de 1080°C. Quanto aos sedimentos “grossos”, os experimentos apontaram um aproveitamento de 70% de areia para a construção civil.

Desta forma, acredita-se que os resultados alcançados apontam para uma possível utilização do material de desassoreamento do canal Pinheiros, de modo a contribuir para uma destinação mais adequada do que hoje é tratado como resíduo, colaboraram ainda com o fornecimento de matérias-primas e a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: sedimento, dragagem, agregado, sinterização, sustentabilidade, canal Pinheiros

Abstract

The aim of this study is to indicate a possible application of the dredged sediments of Pinheiros channel as aggregates for civil construction. The dredged sediments (400 thousands m³/year) are deposited provisorily in temporary landfills and later on disposed permanently in private landfills. Besides reducing the lifetime of these "deposits", this procedure also generates high costs (R\$ 18 million annual in dragging, disposition and transport) for EMAE - Empresa Metropolitana de Água e Energia Elétrica, owner and operator of the waterworks and generator of electric energy to the Metropolitan Area of São Paulo, Médio Tietê and Vale do Paraíba do Sul.

As a result of a partnership between EMAE and IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, this project looks for a maintainable and economically viable solution for this problem, as it seems to be the application of the dredged sediments from Pinheiros channel in the civil construction segment.

Pinheiros channel sediment's were classified in "fine" and "coarse", according to its granulometric sedimentation characteristics. The "fine" ones, which presented a silt-clay characteristic, prevail broadly and for this reason they received larger focus in this research. After technical-economic and environmental evaluation, the ceramic processing was considered important for the transformation and useful application of this material dredged from Pinheiros channel.

Due to the complexity of transformation of a raw material "*in natura*" in a ceramic product, which includes process control on manufacturing aggregates for civil construction, it was necessary to know the mineralogical, ceramic, chemical composition and particle size distribution characterized through laboratory tests and techniques, generating data for analysis and driving the present study.

The ceramic characterization consisted to fire test specimens at 850, 950, 1050, 1150 and 1250°C for the determination of the linear shrinkage and water absorption, supplying data-base to build up graphs of vitrification curves, important tool to determine the ideal fire temperatures.

Additionally flux materials were incorporated to the ceramic body, which are: "Unicer" clay, from Formação Corumbataí; "Parelheiros" clay, from São Paulo basin and "scrapes" (waste from ceramic tile covering glaze).

The comparison among curves of vitrification body of "fine" individually and in blends with flux turned possible to evaluate formulations more likely to obtaining a smaller cost with energy in the process and, consequently, to supply a compatible technical-economic aggregates with the existent ones in the market.

As a result of this study was observed that the "fine" sediments can compose vitrified cluster separately from fired 1150°C or in blends with flux from fired 1080°C. It is important to highlight the formulations with 20% of clays and "scrapes".

On the other hand, the "coarse" sediment - predominantly sand fraction - had its physical and mineralogical characterization determined as well as physical and mechanics treatment tests in pilot scale, seeking an application as aggregates in civil construction. Regarding the "coarse" sediments this study showed a potential use of 70% of sand for the civil construction.

In conclusion this project points out a possible use of the dredged material of Pinheiros channel in order to contribute for a more appropriate destination than today, still helping to supply raw materials and environmentally sustainable.

Key words: sediments, dragging, aggregates, vitrification, sustainable , Pinheiros channel.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Relevância do projeto.....	4
4. Generalidades.....	5
5. Fundamentação bibliográfica e trabalhos de gabinete.....	6
5.1 Geologia regional.....	6
5.2 Bacias de disposição.....	9
6. Materiais e métodos.....	11
6.1 Trabalhos de campo.....	11
6.2 Trabalho de laboratório.....	15
6.2.1 Sedimento “fino”.....	15
6.2.1.1 Caracterização tecnológica.....	15
6.2.1.1.1 Análise química.....	16
6.2.1.1.2 Análise mineralógica.....	17
6.2.1.1.3 Análise granulométrica.....	18
6.2.1.1.4 Ensaio cerâmico.....	19
6.2.1.2 Procedimento – sedimento “fino”.....	20
6.2.2 Sedimento “grosso” e procedimento.....	23
7. Resultados de laboratório – sedimento “fino”.....	26
7.1 Análise granulométrica.....	26
7.2 Análise química.....	28
7.3 Mineralogia.....	29
7.4 Ensaio cerâmico.....	32
8. Resultados e interpretações – sedimento “grosso”.....	36
9. Cronograma das atividades realizadas.....	38
10. Considerações finais.....	39
10.1 Sedimento silto-argiloso.....	39
10.1.1 Análise granulométrica.....	39
10.1.2 Análise química.....	39
10.1.3 Mineralogia.....	39
10.1.4 Ensaio cerâmico.....	39
10.2 Sedimento arenoso.....	40
11. Conclusões.....	41
Referências bibliográficas.....	43

1. Introdução

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) com 8051 km² (Figura 1), e quase vinte milhões de habitantes, é hoje o maior aglomerado populacional do país e o segundo maior do mundo. Esta “força” humana e industrial gerou um PIB de R\$ 244,4 bilhões, ou seja, 15,7% do total brasileiro (ano 2003) e se constitui o maior pólo de riqueza nacional. A maior parte da área urbana da cidade encontra-se sobre terrenos sedimentares de idade cenozóica da Bacia Sedimentar de São Paulo (Riccomini 1989). Situado na porção oeste desta bacia está o canal Pinheiros¹, afluente da margem esquerda do rio Tietê, com 25 km de extensão.

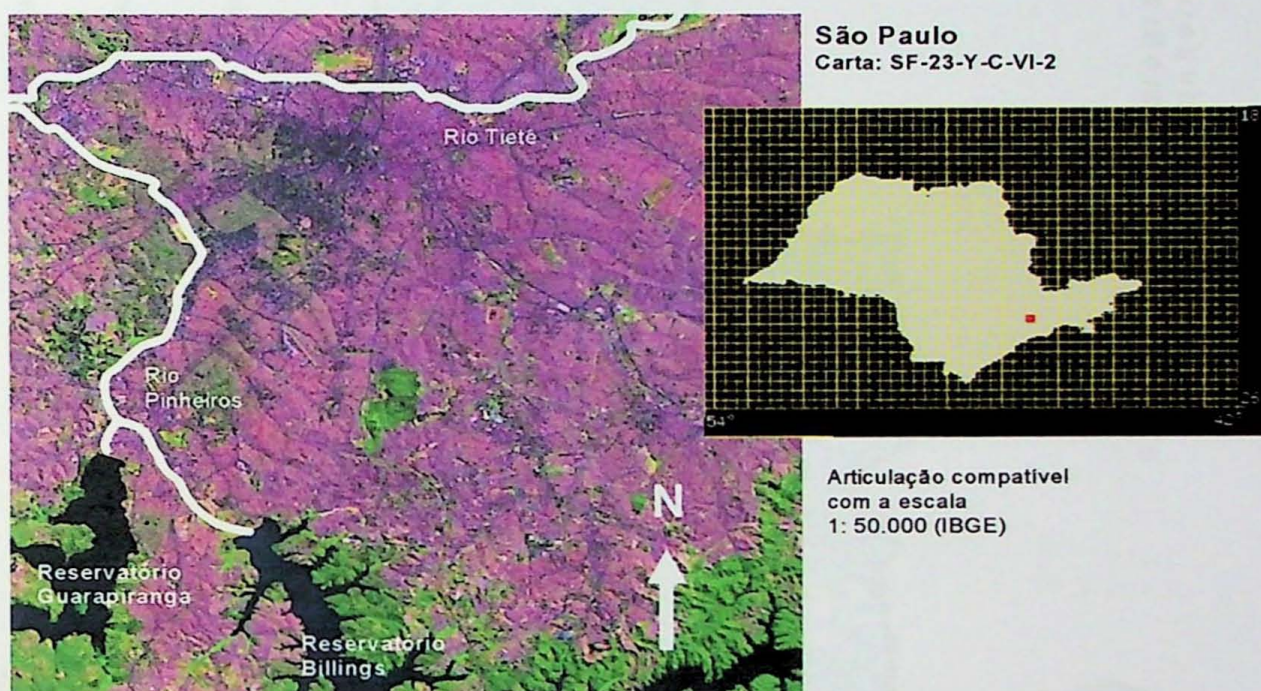


Figura 1- Vista aérea de satélite da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, com destaque para o canal do rio Pinheiros.

Originariamente, a Bacia Hidrográfica do rio Pinheiros abrangia uma área com cerca de 1.490 km² no Planalto Paulistano (Figura 2). Era um rio meandrante (Figura 3), nascia do encontro do rio Guarapiranga com o rio Grande e recebia sua carga sedimentar e, unicamente, da alteração de rochas pertencentes a sua bacia hidrográfica e desaguava no rio Tietê.

Atualmente, a Bacia Hidrográfica do canal Pinheiros abrange uma área de 272 km² (Anexo A). Devido à ocupação urbana, o canal Pinheiros recebe efluentes de 290 indústrias dejetos de 400 mil famílias, além de sua carga de sedimentos naturais (que é menor que a carga original) e de origem antrópica, assoreando e contribuindo para os problemáticos capítulos

¹ Nomenclatura aqui usada para designar o trecho retificado entre a usina de Pedreira e a sua foz no rio Tietê.

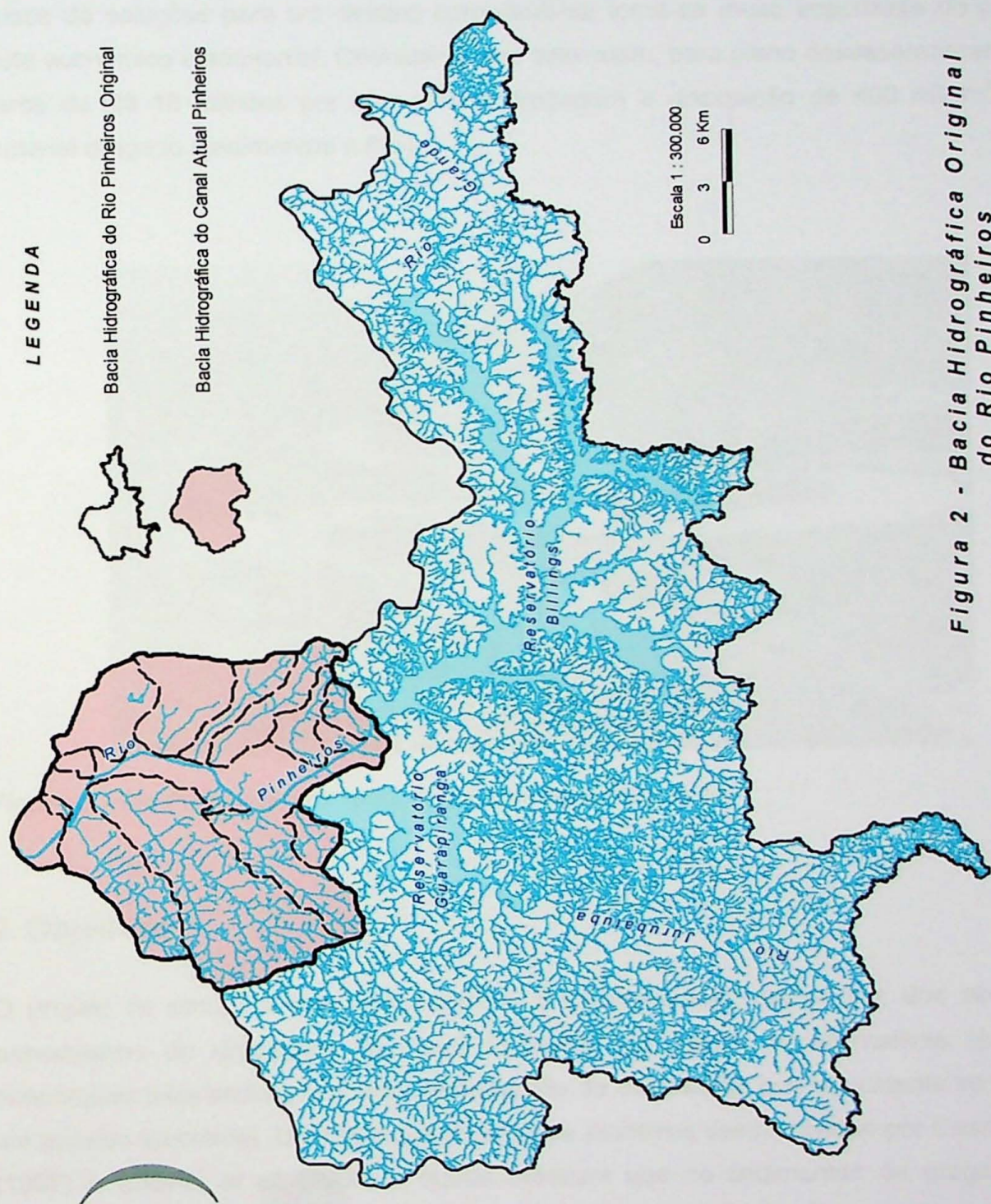


Figura 2 - Bacia Hidrográfica Original do Rio Pinheiros

de enchentes, contaminação dos reservatórios de abastecimento e inviabilizando a produção de 900 mW de energia elétrica. Para atenuar parte destes problemas é necessária a dragagem do canal, gerando grandes volumes a serem dispostos.

A disposição provisória do sedimento dragado são as bacias de disposição nas margens do próprio canal e posteriormente são depositados em aterros por definitivo. Desta forma, a busca de soluções para um destino mais racional torna-se muito importante do ponto de vista econômico e ambiental. Destaca-se que este custo, para pleno desassoreamento, é de cerca de R\$ 18 milhões por ano para a dragagem e disposição de 400 mil m³/ano de material dragado (sedimentos e lixo).

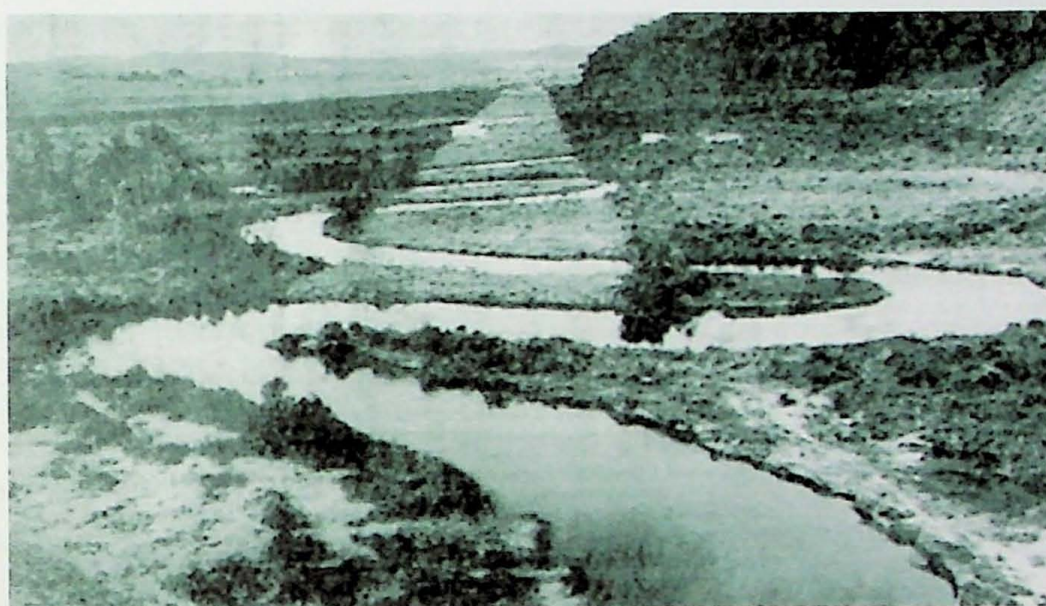


Figura 3 - Rio Pinheiros, em 1930, ainda com seus meandros.

2. Objetivos

O projeto de pesquisa tem como objetivo a caracterização tecnológica dos sedimentos provenientes da dragagem do canal Pinheiros em busca de alternativas técnicas e econômicas para prolongar a vida útil de bacias de disposição, que atualmente se tornaram um passivo ambiental. Uma vez que os estudos pioneiros desenvolvidos por Casadei *et al.* (1997) e Chaves *et al.* (1998) e outros mostram que os sedimentos de dragagem são predominantemente finos, esta pesquisa será direcionada para o aproveitamento do sedimento “fino”, transformado por processos cerâmicos em um agregado e utilizado na indústria da construção civil.

3. Relevância do Projeto

O canal Pinheiros é de grande importância no contexto da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, e, por conseguinte, no âmbito da Região Metropolitana de São Paulo e com o crescimento da mesma. Aliado à falta de investimentos por parte do poder público, em obras de infraestrutura necessárias, agravou ainda mais a situação, na medida em que o aporte de lixo e sedimentos no canal, tornou-se fator prejudicial da operação do sistema hídrico, diminuindo a capacidade de vazão e interferindo negativamente na operação das usinas elevatórias. Assim, torna-se necessário dragá-lo, de forma a evitar episódios de enchentes e aumentar a vazão. Com o decorrer dos anos, as bacias de disposição provisórias (Anexo B), pertencentes à EMAE (Empresa Metropolitana de Água e Energia Elétrica), saturaram seus volumes úteis e alguns deles foram terraplanados e incorporados pela prefeitura ou empresas privadas, restando cinco bacias de disposição ativas.

O elevado custo de disposição final deste material (400 mil metros cúbicos por ano), cerca de R\$18 milhões anuais que são distribuídos da seguinte forma: dragagem (R\$ 1 milhão); transporte e disposição (R\$ 5 milhões) com perspectivas de aumento devido às distâncias cada vez maiores, hoje em 60 km; e operação de aterro (R \$ 12 milhões), sendo que os aterros finais são particulares e a EMAE, como qualquer outra empresa, precisa gerar lucro, e investir seu capital em tecnologias e processos que viabilizem sua existência. E quanto à questão ambiental, podem ser destacados alguns ganhos para uma melhor qualidade de vida como:

- ⇒ Redução da circulação de caminhões para aterros;
- ⇒ Redução da circulação de mercadorias a substituir (matérias-primas virgens);
- ⇒ Aumento da vida útil das bacias de disposição e aterros, diminuído pelo volume de material dragado.

Ainda, conforme os levantamentos bibliográficos verificou-se que, de toda areia extraída no Estado de São Paulo, 86,47% é consumida na construção civil e que a RMSP (maior centro consumidor deste bem mineral no Brasil - 36,8 milhões de toneladas em 2005) é abastecida com areia produzida em distâncias superiores a 80 km (principalmente provenientes do Vale do Paraíba e Vale do Ribeira). Constatou-se também, segundo Chaves *et al* (1998), que há um déficit de areia para construção civil de 2,3 milhões de m³ por ano, e por isso, segundo o sumário mineral de 2006, publicado pelo DNPM, é cada vez maior o aproveitamento de "pó de pedra" processado como alternativa à areia natural, bastante observado nos mercados de São Paulo, Belo Horizonte e Estados do Sul.

Estas informações vêm reforçar a necessidade de uma fonte alternativa de produção de areia e principalmente, agregados para a construção civil em grandes centros urbanos.

4. Generalidades

O início da exploração de areia, em larga escala, no rio Pinheiros, deu-se na segunda metade do século XIX, a fim de suprir a demanda criada pela explosão demográfica e conseqüente aumento do número de construções. A planície do Rio era fonte de areia para construção civil e argilas para olarias e cerâmicas.

A lavra de areia declinou a partir de 1940, devido à retificação dos rios Pinheiros e Tietê, assim pela instalação das Usinas Elevatórias de Traição e de Pedreira, que permitem reverter o sentido do fluxo natural, elevando o nível do rio a 25 metros, atingindo o reservatório Billing's, e fornecendo água para a Usina Hidroelétrica Henry Borden, com queda d'água de 719 metros do Planalto Paulista em relação ao nível do mar.

A contribuição do canal Pinheiros e seu produto na construção civil da cidade de São Paulo e, em especial do Campus da USP, é citada por Miguel Reale (jurista, jornalista, reitor da USP de 1949 a 1950 e de 1969 a 1973): *"Lembro-me que Anhaia Melo apresentou-me o traçado de uma raia olímpica para remo, a ser localizada ao longo do canal Pinheiros, mas em altura bastante para livrá-la da interferência do canal, cuja poluição já se iniciara. Argumentava o ilustre urbanista que, se no decorrer de vários anos, viesse a ser feita a extração de areia necessária à construção dos prédios universitários dentro do perímetro da raia projetada, à medida que fosse retirada a areia, os vazios iriam sendo progressivamente ocupados por água pura proveniente dos lençóis freáticos que, do alto da cidade universitária, fluem naquela direção. Esse programa ficou fazendo parte integrante do plano da cidade universitária então aprovado e (fato raro, dada a nossa conhecida carência de continuidade administrativa) foi ele obedecido pelas administrações sucessivas. Coube-me, vinte anos após, no meu segundo reitorado, dotar São Paulo de tão raro benefício esportivo em um campus universitário, o que só foi possível por ter assinado um acordo com a Companhia do Metropolitano de São Paulo, a qual, em troca da areia reclamada por seus serviços, forneceu os recursos indispensáveis à construção final do grande empreendimento"*.

5. Fundamentação bibliográfica e trabalhos de gabinete

5.1. Geologia Regional

A RMSP está situada no domínio de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, com recobrimento parcial de sedimentos terciários da Bacia de São Paulo e sedimentos aluvionares associados a drenagens atuais ao longo dos principais rios que drenam a região. A figura 4, mapa geológico da Bacia do Alto Tietê mostra as unidades e formações geológicas da RMSP.

Embasamento cristalino

O embasamento da RMSP situa-se no Cinturão de Dobramentos Ribeira, (Hasui; Carneiro; Coimbra, 1975), composto por rochas metamórficas, migmatíticas, e granitóides relacionados em parte ao Ciclo Brasileiro/Pan Africano e, em parte, resultante do retrabalhamento de rochas de ciclos mais antigos.

Sobre as rochas cristalinas do embasamento ocorre grande espessura de um manto resultante da ação intensa de intemperismo, observando-se, relativamente poucos afloramentos de rocha fresca.

Bacia de São Paulo

O segmento do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil-RCSB (Riccomini; Turcq; Martin, 1989) compreende as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda. O RCSB engloba ainda outros nove embaciamentos alojados em uma estreita faixa, alongada e deprimida, de orientação geral ENE, entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ), com cerca de 900 km de extensão (Riccomini & Coimbra, 1992).

Geomorfologicamente, a RMSP está integralmente contida no Planalto Paulistano (Almeida, 1958) que abrange uma área de cerca de 5.000 km², situada em sua maior parte entre 715 e 900m de altitude, exibindo relevo suavizado, de morros e espigões relativamente baixos, com a drenagem fluindo para o rio Tietê e seus afluentes a montante da Soleira de Barueri, na Serra do Itaquí. A Bacia de São Paulo é também drenada pelos rios Pinheiros, Tamanduateí, e seus afluentes.

Formação Resende

A Formação Resende compreende um sistema de leques aluviais associados a planícies de rios entrelaçados, predominando lamitos na fácies distal, por vezes associados a arenitos e conglomerados. Na fácies proximal, predominam conglomerados polimíticos, brechas e

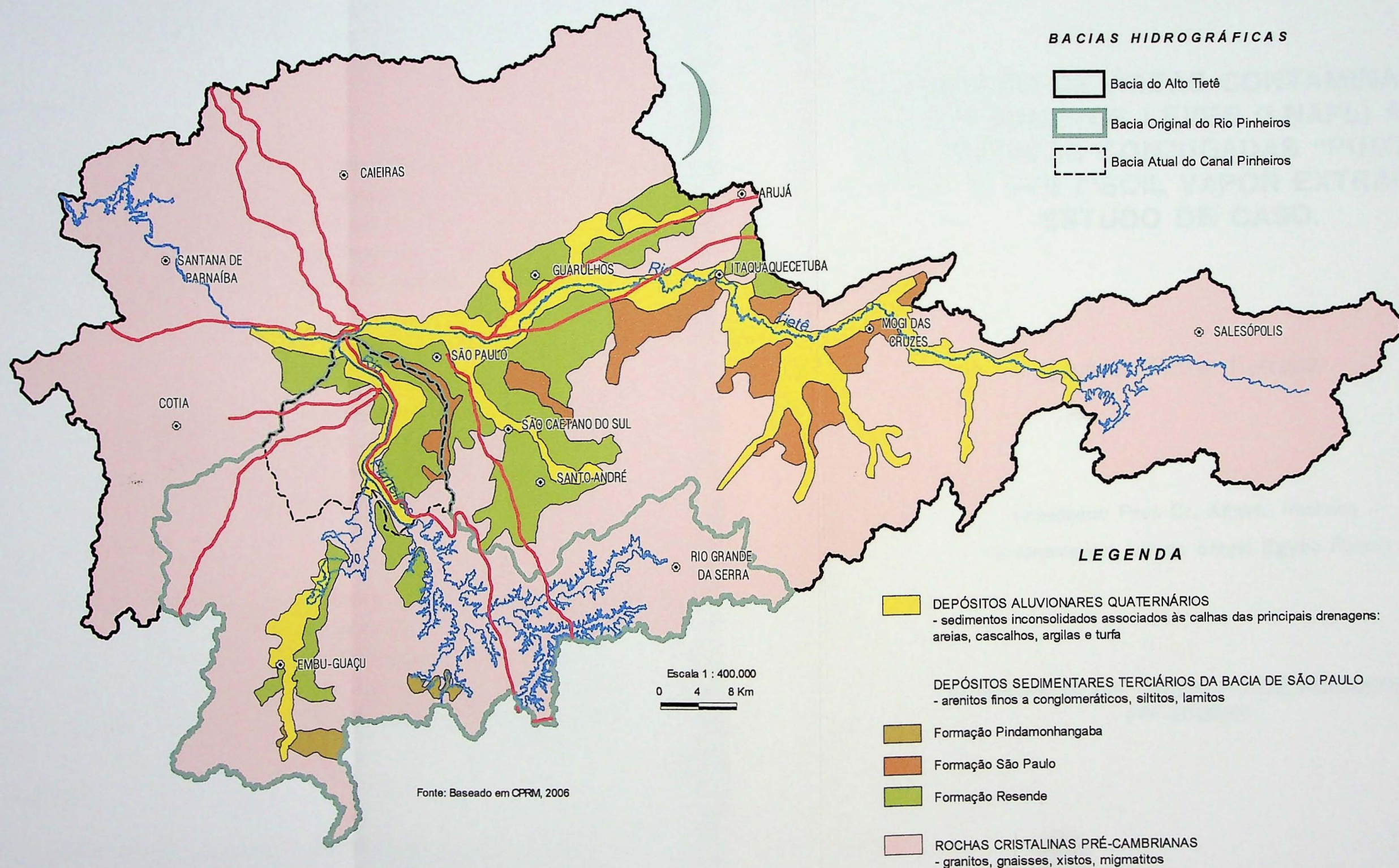


Figura 4 - Mapa Geológico Simplificado da Bacia do Alto Tietê

diamictitos, que alcançam até 200 m de espessura, denominadas por Melo (1997) de Formação Itatiaia.

A Formação Resende apresenta idade oligocênica (Lima *et al.* 1994, Lima & Melo 1994 e Yamamoto 1995 *apud* Sant'anna 1999). É a unidade de maior expressão em volume de sedimentos na Bacia de São Paulo, representando mais de 80% do seu preenchimento sedimentar.

Formação Tremembé

A Formação Tremembé compreende um sistema lacustre do tipo *playa-lake*, com mais expressiva ocorrência na porção central da Bacia de Taubaté e uma pequena ocorrência na parte centro-norte da Bacia de São Paulo (Riccomini & Coimbra 1992). Na Bacia de São Paulo, são verificadas camadas tabulares de argilas siltosas de coloração preta a cinza esverdeado, com espessuras de até 60 metros (Takiya 1991). Segundo Lima & Melo (1989), a idade desta formação é oligocênica.

Formação São Paulo

A Formação São Paulo compreende um sistema fluvial meandrante, com planície de inundação bem desenvolvida, e está presente nas bacias de São Paulo, Resende e porção sudeste da Bacia de Taubaté. Segundo Takiya (1991), a Formação São Paulo tem idade oligocênica e as maiores espessuras observadas encontram-se em torno de 100 metros.

Formação Itaquaquecetuba

A Formação Itaquaquecetuba (Riccomini & Coimbra 1992) é representada por um sistema fluvial entrelaçado, com sedimentos associados a leques aluviais. Ocorre na Bacia de São Paulo em Itaquaquecetuba, Raia Olímpica da USP, rio Pinheiros e Barueri (Melo *et al.*). Em algumas áreas, observa-se elevada porcentagem de areia (superior a 70%), e baixa porcentagem de argila ou lamito (Takiya 1991). A idade para esta formação é indicada como paleogênica (Melo *et al.* 1985).

Unidades Quaternárias

Correspondem a depósitos ao longo de vertentes e a extensas planícies aluviais associadas aos principais canais da RMSP (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí), além de estarem presentes também ao longo das drenagens de menor porte. Compreendem predominantemente, colúvios argilo-arenosos, com lentes mais argilosas ou conglomeráticas, ocasionalmente exibindo madeira fóssil, e aluviões subordinados

constituídos por conglomerados basais sobrepostos por areias grossas a conglomeráticas com estratificações cruzadas. Os aluviões gradam para areias finas a médias, com porções de argilas arenosas, podendo ocorrer também fragmentos de madeira fóssil nestes dois últimos pacotes (modificado Cuchierato 2000).

Os depósitos holocênicos são representados por coluviões e aluviões de várzea e baixos terraços, com espessura raramente ultrapassando 10 metros. As coberturas coluviais holocênicas são descontínuas e de pequena espessura, embora com distribuição generalizada. Ocorrem também cascalheiras com seixos arredondados de quartzo e quartzito (*stone lines*), separando estes depósitos coluviais de rochas do embasamento ou de sedimentos terciários (Cuchierato 2000).

5.2. Bacias de disposição

Com base em dados relatados em reunião entre a EMAE e o IPT, e posteriormente confirmado em um trabalho com o título: "Estudos para a otimização dos serviços de desassoreamento do canal Pinheiros" (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica 2003), que a granulometria do sedimento está em torno da fração areia fina à grossa junto à desembocadura de seus afluentes, como por exemplo: Córrego Pirajussara e Córrego do Morro do "S" e a granulometria de fração argila à areia muito fina nos locais mais afastados das desembocaduras dos afluentes e conseqüentemente, de um ambiente de menor energia dinâmica e com maior deposição de finos.

As iniciais BF significam Bota-Fora, porém o termo bacia de disposição tem uma conotação técnica. Há 5 bacias de disposição ativas, mas já saturadas, ou seja, BF-01 (565.000 m³), BF-Interlagos (365.000 m³), BF-03 (290.000 m³), BF-04 (225.000 m³) e BF-14 (445.000 m³), todas ao longo do canal Pinheiros. Como mostra a tabela 1, a somatória do volume total chega quase em 1,9 milhões de metros cúbico e que, pelo volume dragado anualmente de quatrocentos mil metros cúbicos, este volume total seria preenchido por sedimentos dragados em um período de 5 anos, ou seja, uma solução a curto prazo.

Tabela 1 – Capacidade volumétrica das bacias de disposição.

Bacia de Disposição	Área útil (m2)	Área útil total (m2)	Volume útil (m3)	Volume útil total (m3)
1A	46.250	72.250	370.000	565.000
1B	26.000		195.000	
Interlagos A	15.000	63.333	75.000	365.000
Interlagos B	48.333		290.000	
3A	23.333	48.333	140.000	290.000
3 B	25.000		150.000	
4 A	13.750	28.125	110.000	225.000
4 B	14.375		115.000	
14 A	21.667	54.020	195.000	445.000
14 B	22.353		190.000	
14 C	10.000		60.000	
Somatória dos volumes das Bacias de disposição = 1.890.000 m3				

Foi produzido um desenho esquemático do curso do canal do rio Pinheiros (anexo A), que se procurou destacar a localização e situação das bacias de decantação, a localização e esquema de funcionamento das usinas elevatórias, além da localização de suas pontes, córregos, drenos. Também foi gerado um mapa político da bacia hidrográfica do canal Pinheiros e suas sub-bacias, a saber, dos municípios que fazem parte desta bacia hidrográfica (Anexo B).

6. Materiais e Métodos

6.1. Trabalhos de Campo

Durante a etapa de campo foram visitadas 5 bacias de disposição, ou seja, BF-01 (565.000 m³), BF-Interlagos (365.000 m³), BF-03 (290.000 m³), BF-04 (225.000 m³) e BF-14 (445.000 m³), todas ao longo do canal Pinheiros (ANEXO A).

As bacias de disposição são divididas em cavas A e B e com exceção da bacia de disposição 14 que é dividido em três cavas (A, B, C). Essa divisão em cavas é para facilitar a movimentação de caminhões e máquinas em seu interior. Procurou-se avaliar a situação de cada bacia de disposição como: a acessibilidade, a ocupação ilegal da área (no BF-3, verificou-se o cultivo de hortaliças, Figura 5), a necessidade de uma limpeza prévia da vegetação e áreas de alagamento dentro das cavas.



Figura 5 - Cultivo, área alagada e vegetação avançada dentro do BF-3.

As bacias de disposição ainda têm capacidade de receber material de dragagem (caso do BF-Interlagos, Figura 6), pois há pelo menos dois metros de profundidade a serem preenchidos. Segundo a EMAE, havia um problema de invasões por barracos e despejo de entulhos, devido ao acesso facilitado, sem controle, às estradas marginais, para tráfego de veículos de manutenção, ao longo do canal Pinheiros. Este problema foi solucionado parcialmente, com o fechamento de entradas e controle de acesso, pois ainda há problemas de despejo de entulho e lixo por residências e empresas que fazem fundos para estas áreas.



Figura 6 - Recebimento de sedimentos de dragagem no BF-Interlagos.

Ainda, segundo a EMAE, o sedimento dragado foi depositado nas bacias de disposição entre quatro e oito anos atrás. Notou-se a diferença granulométrica, onde no BF-Interlagos e no BF-14, havia a deposição de sedimento “grosso” provenientes da desembocadura do Córrego Pirajussara (maior contribuinte no assoreamento do canal Pinheiros) e Córrego Morro do “S”.

O método de amostragem seguiu as normas da NBR10007 – ABNT.

Também se avaliou o uso de trado manual (Figura 7) para obtenção das amostras do sedimento “fino” e a amostragem do sedimento “grosso” foi feita em “calha” no perfil da bacia de disposição (Figura 8).



Figura 7 – Amostragem por trado manual.



Figura 8 – Amostragem em “calha”.

Procurou-se amostrar nas cavas A de todas as bacias de disposição para efeito de metodologia e definiu-se também que um furo de sondagem com trado de diâmetro de 4”

seria suficiente para gerar uma quantidade de amostra satisfatória. Na sondagem, obteve-se a descrição do perfil das bacias de disposição, a saber: no BF-1, há uma camada (50 cm) de material terroso marrom avermelhado, que segundo a EMAE, é proveniente das obras do aeroporto de Congonhas e foi descartado. A partir dos 50 centímetros até 4,5 metros de profundidade, há um material argiloso preto, bem plástico e de forte odor.

No primeiro metro de sondagem, no BF-3, tem-se um material siltoso marrom que foi coletado separadamente do material argiloso preto, muito semelhante à amostra anterior. Nesta bacia de disposição foi amostrado até os 5,5m quando atingiu o fundo da cava. O perfil de sondagem do BF-4 mostrou maior diversidade de material, apresentando delgada camada de solo rico em matéria orgânica (folhas e restos de plantas), seguido de material arenoso de coloração clara (1m). Mais abaixo apresentou uma argila preta, algo arenosa (3m), e na sequência uma argila preta e plástica, sem areia como a amostra do intervalo anterior (0,8 m) e 0,7 m de areia clara de granulação fina e se encerrou a sondagem com esta areia até os 5,5 metros. No total, foram coletados cerca de 20 kg de sedimento “fino” e 50 kg de sedimento “grosso”.

Com a amostragem foram obtidos dois “tipos” de sedimentos, objetos deste trabalho, mas com enfoque para o sedimento “fino” que tem maior problemática para sua aplicação devido aos processos e custos envolvidos, enquanto que o sedimento “grosso” pode facilmente ser utilizado como agregado na construção civil a ser descrito a seguir:

Sedimento “fino” (Figura 9)-sedimento de granulometria silte a argila, alta plasticidade e forte odor, de coloração preta a cinza escuro. Quando exposto ao ar livre, tende a oxidar e mudar sua coloração para marrom avermelhado.



Figura 9 – Amostra do sedimento “fino”.



Figura 10 – Amostra sedimento “grosso”.

Sedimento “grosso” (Figura 10) - areia quartzosa de coloração rósea clara, de granulação areia fina a cascalho, com resíduos de entulho e lixo doméstico em geral.

A equipe de campo, responsável pela amostragem e manuseio inicial em laboratório, tomou a devida precaução em questões de segurança, como, tomar vacina antitetânica e vacinas contra hepatite do tipo A e B, além de usar luvas de látex, evitando assim, a contaminação por possíveis produtos tóxicos e outras patologias.

6.2. Trabalhos de Laboratório

6.2.1. Sedimento “fino”

A figura 11 mostra o fluxograma das etapas de caracterização do sedimento “fino”.

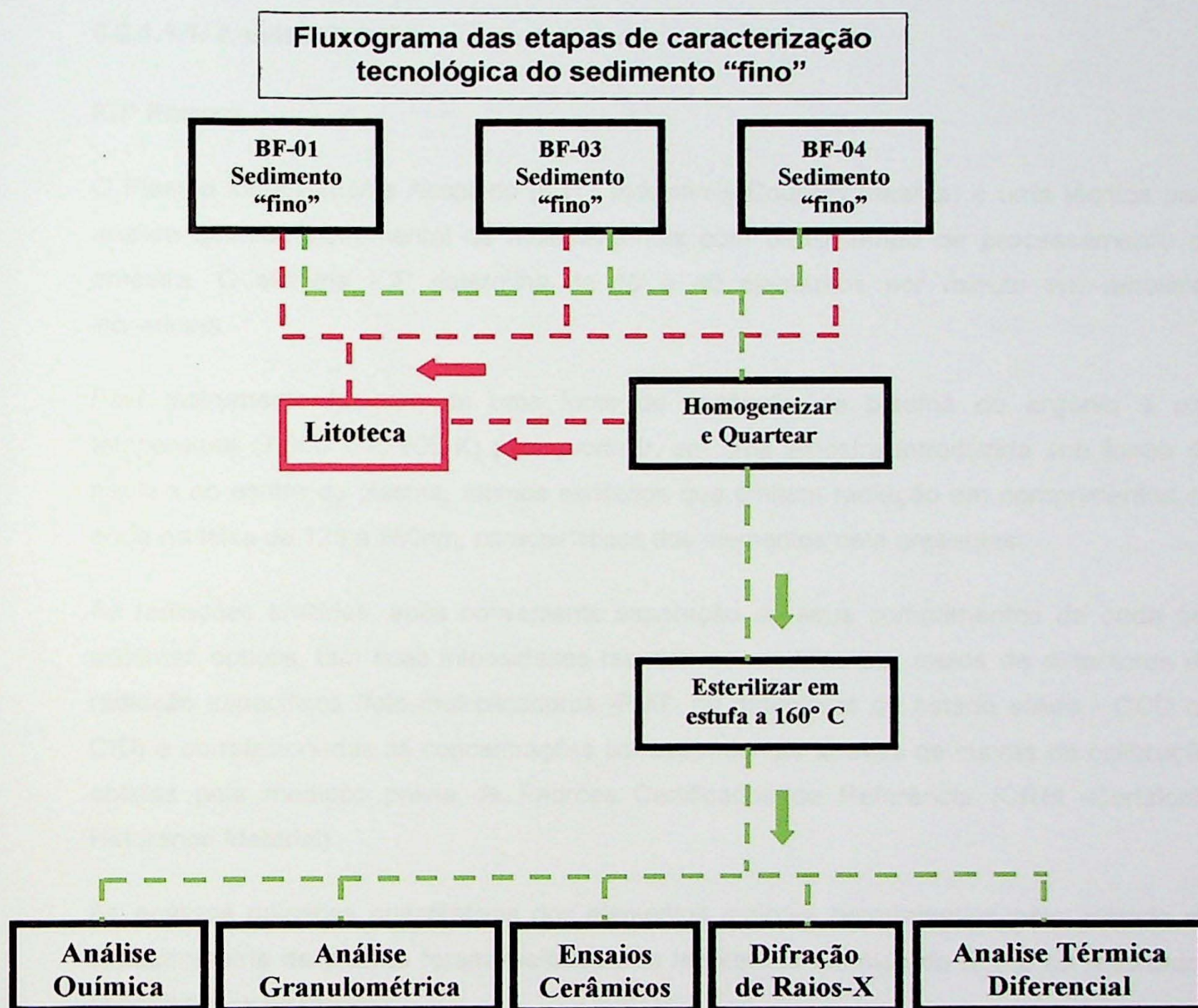


Figura 11 – Fluxograma das etapas de caracterização tecnológica do sedimento “fino”

6.2.1.1. Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica é o estudo das propriedades físicas, químicas e físico-químicas de matérias-primas minerais face ao processo de beneficiamento ou uso final. Consiste no conhecimento da natureza e propriedades dos constituintes minerais através de métodos e instrumentos analíticos, visando à aplicabilidade nos processos de concentração ou mesmo

no uso final, sendo norteadas pelas especificações do segmento da indústria a que se destina o bem mineral, LCT (2000).

A caracterização tecnológica visou definir a assembléia mineralógica (difração de raios x e análise termodiferencial), composição química total, distribuição do tamanho de partículas (granulometria), formas de associação mineral e transformações térmicas (ensaio cerâmicos).

6.2.1.1.1. Análise Química

ICP Plasma

O Plasma Indutivamente Acoplado (ICP - Inductively Coupled Plasma) é uma técnica para análise química instrumental de multielementos com baixo tempo de processamento de amostra. O sistema ICP determina de 10 a 40 elementos por minuto em amostras individuais.

Este instrumento faz uso de uma fonte de excitação de plasma de argônio à alta temperatura (7.000 - 10.000 K) para produzir, em uma amostra introduzida sob forma de neblina no centro do plasma, átomos excitados que emitem radiação em comprimentos de onda na faixa de 125 a 950nm, característicos dos elementos nela presentes.

As radiações emitidas, após conveniente separação de seus comprimentos de onda por sistemas ópticos, têm suas intensidades respectivas medidas por meios de detectores de radiação específicos (foto multiplicadoras -PMT- ou detectores de estado sólido - CCD ou CID) e correlacionadas às concentrações correspondentes através de curvas de calibração obtidas pela medição prévia de Padrões Certificados de Referência (CRM -Certificate Reference Material).

As análises químicas quantitativas dos elementos maiores determinados pelo método de espectrometria de plasma foram realizadas no laboratório químico do IPT e os resultados encontram-se na tabela 7.

Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

O instrumento de espectrometria fluorescência de raios-X mede a radiação fluorescente que é produzida por uma irradiação da amostra aos raios-X. Essa irradiação causa uma mudança no nível de energia dos elétrons que passam a emitir radiação fluorescente. A espectrometria de fluorescência de raios-X dispersiva de energias é um método de análise multi-elementar onde podem ser detectados todos os elementos com número atômico superior a 11(Gomes, 1984).

As análises químicas quantitativas dos elementos traços determinados pelo método de espectrometria por fluorescência de raios-X foram realizadas no laboratório do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP e os resultados estão dispostos na tabela 9.

6.2.1.1.2. Análise Mineralógica

Difração de raios-X

A análise mineralógica permite a identificação dos minerais e suas fases presentes, além do grau de cristalinidade. A determinação da assembléia mineralógica da amostra "*in natura*", assim como de compostos neoformados em processos cerâmicos, foi realizada por difração de raios-X.

Os raios X de comprimento de onda bem determinados (produzidos por um tubo de raios x e selecionados por difração), são usados em análises de cristais. Quando este feixe definido difrata em um cristal desconhecido, a medida do(s) ângulo(s) de difração do(s) raio(s) emergente(s) podem elucidar a distância dos átomos no cristal e, conseqüentemente, a estrutura cristalina. Estas informações são geradas pelo fenômeno físico da difração e também da interferência, ou seja, quando os raios incidem sobre um cristal, ocorre a penetração do raio na rede cristalina, a partir disso, teremos várias difrações e também interferências construtivas e destrutivas. Os raios X interagirão com os elétrons da rede cristalina e serão difratados (Gomes, 1984).

Com o uso de um dispositivo capaz de detectar os raios difratados e traçar o desenho da rede cristalina, a forma da estrutura gerada pelo espalhamento que refletiu e difratou os raios x, com isso é possível analisar a difração.

Através da análise de difração de raios-X também é possível quantificar os minerais. Mas para resultados quantitativos, é preciso fazer a separação granulométrica (especificar as faixas granulométricas de determinados minerais) e depois aplicar a análise de difração de raios-X em cada faixa granulométrica.

A análise de difração de raios-X foi realizada no Laboratório de difração de raios-X do Instituto de Geociências - IGc da USP e os resultados das assembléias mineralógicas encontram-se na tabela 10.

Análise TermoDiferencial

Essa é uma técnica pela qual se podem acompanhar as transições de fases ou reações químicas por observação de calor absorvido ou liberado. É especialmente adaptada ao estudo de transformações estruturais no interior de um sólido a temperaturas elevadas.

Em um aparelho típico, insere-se um jogo de junções de pares termoeletricos em um material inerte, tal como óxido de alumínio, que não se altera de modo algum durante a variação de temperatura a ser estudada. Coloca-se outro jogo na amostra em estudo. Com aquecimento constante, qualquer transição ou qualquer reação termicamente induzida na amostra será registrada como um pico ou uma depressão na linha que de outro modo seria uma reta. Um processo endotérmico causará o retardamento da junção do par termoeletrico na amostra, atrás da junção do material inerte, e assim desenvolve uma voltagem; um evento exotérmico causará uma voltagem de sinal oposto. É costume representar graficamente um evento exotérmico para cima e um endotérmico para baixo.

A análise termodiferencial foi realizada no laboratório da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland e os resultados das transformações térmicas apresentam-se na tabela 11.

6.2.1.1.3. Análise Granulométrica

O método de peneiramento é a técnica mais empregada para análise e fracionamento de tamanho de minerais. É também o mais rápido e convencional método para partículas maiores que 50 micra. Define-se por mesh como sendo número de abertura por polegada linear. As peneiras usadas em laboratório têm normalmente mais ou menos 20 cm de diâmetro com aberturas (orifícios) uniformes.

A série de peneiras normalmente empregada é do tipo Tyler padronizadas basicamente com 400 mesh (0,0015 in). A análise por peneiramento pode ser realizada tanto a seco como a úmido. Peneiramento úmido é usado preferencialmente quando as partículas possuem tendência à aglomeração, no entanto, minimiza-se a emissão de poeira e erros resultantes na análise de tamanho. Por outro lado, o peneiramento a seco é razoavelmente preciso para partículas grandes. A eficiência do peneiramento pode ser definida como sendo a taxa de peso do material que passa através de certa peneira pelo peso total do material menor que sua abertura. A eficiência do peneiramento é muito sensível as variáveis de operação como distribuição de tamanho e propriedades da superfície da partícula, abertura da peneira, método de vibração e carga da partícula.

A granulometria de finos foi determinada por difração a laser, que é uma técnica de espalhamento da luz laser de baixo ângulo, através do equipamento Medidor de tamanho de

Partículas Malvern Mastersizer 2000, que fornece a distribuição de tamanhos de partículas sólidas na faixa de 0,02 a 2000 μm em meio líquido.

As análises granulométricas por peneiras e difração a lasers foram realizadas, respectivamente, no laboratório do setor de recursos minerais e tecnologia cerâmica e laboratório de processos químicos e tecnologia de partículas do IPT. Seus resultados encontram-se na tabela 4 e tabela 5, na devida ordem.

6.2.1.1.4. Ensaios Cerâmicos

Os ensaios cerâmicos consistem do teste de absorção de água e retração linear dos corpos-de-prova conformados por prensagem.

Absorção de água - AA

O ensaio de absorção de água começa com a moagem, em almofariz dependendo da dureza ou grau de compactação da argila a ser estudada e passa-se na malha 50 (0,3 mm) ABNT e umidifica-se com água entre 8% do peso. A argila fica em repouso por um período mínimo de 24 horas para umidade homogeneia. A conformação dos corpos-de-prova é feita por prensagem em estampos de aço (60x20x5 mm). Os corpos-de-prova são levados a uma estufa e secos a 110°C por 24 horas onde se perde toda a água de umidade e então, colocados para queima numa mufla intermitente. Depois são pesados numa balança analítica e submersos num recipiente em “banho Maria” por duas horas. Os corpos-de-prova são pesados sem excesso de água e é aplicada a fórmula abaixo:

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde: AA – Absorção de água
Mu – Massa do corpo-de-prova queimado
Ms – Massa do corpo-de-prova úmido

O resultado é dado em porcentagem.

Retração linear - RL

No ensaio de retração linear, segue o mesmo processo da absorção de água, até a secagem dos corpos-de-prova, que são resfriados num dessecador e medidos no sentido do comprimento, com um paquímetro. Depois são queimados na temperatura de estudo, resfriados e medidos novamente. Para o cálculo de retração linear foi utilizada a fórmula a seguir:

$$RL = \frac{R_i - R_f}{R_i} \times 100$$

Onde: RL - Retração total do corpo-de-prova
Ri – Retração inicial do corpo-de-prova
Rf - Retração final do corpo-de-prova

O resultado da RL é dado em porcentagem.

Curva de gresificação

Curva de gresificação é a representação gráfica simultânea das variações da absorção de água e retração linear da peça cerâmica com a temperatura de queima (Melchiades *et al*, 1996). Também é uma importante ferramenta que permite avaliar a tolerância da massa sob as variações de temperatura e condições de processamento e assim, ser usado no controle de qualidade.

A partir dos dados da AA e RL dos corpos-de-prova queimados nas temperaturas em estudo, é construído um gráfico ternário. No eixo das abscissas estão as temperaturas e nos eixos das ordenadas estão graduadas as escalas de AA e RL.

A informação de grande valia deste teste é a temperatura de queima, que foi rebatida pelo ponto de cruzamento das curvas de AA e RL e é designado como ponto de sinterização.

Sinterização é um processo no qual pós com preparação cristalina ou não, uma vez compactados, recebem tratamento térmico, no qual a temperatura de processamento é sempre menor que a sua temperatura de fusão. Este processo cria uma alteração na estrutura microscópica do elemento base.. Sua finalidade é obter uma peça sólida coerente.

6.2.1.2. Procedimento - Sedimento “fino”

O sedimento “fino” seguiu para homogeneização manual e posteriormente para o quarteamento do tipo pilha cônica, depois, uma pequena fração (0,5 kg) foi arquivada na litoteca e o restante seguiu para esterilização em estufa a 160°C por 24 horas, conforme sugerido por técnicos do laboratório de resíduos do IPT. Foi retirada uma alíquota (1 kg), moída em almofariz e o passante da malha 48 (abertura 0.297 mm) encaminhada para as devidas análises químicas, granulométricas, ensaios cerâmicos, difração de raios-X e análise termodiferencial.

Nos ensaios cerâmicos, usou-se uma alíquota de 0,5 kg de sedimento “fino” beneficiado e foram acrescentados 8% de água sobre o peso, homogeneizada e passada em malha 48 e mantida em descanso por 24 horas para uma melhor homogeneização de umidade. Então, o material foi prensado, gerando trinta corpos de prova (60 x 20 x 5 mm), e depois seco por 24 horas a 110°C e medido seus comprimentos e suas massas para posterior uso no cálculo de retração linear e absorção de água, respectivamente.

As medidas de comprimento foram obtidas por paquímetro da marca Mitutoyo com precisão de 0,02 mm e as medidas de massa por balança de precisão da marca Mettler, modelo P1210, com duas casas decimais.

Foram encaminhados cinco corpos de prova para cada pico de queima, sem patamar, a saber: 850°C, 950°C, 1050°C, 1150°C e 1250°C (Figura 12). O forno usado na queima foi do tipo muflado e elétrico da marca Maitec.

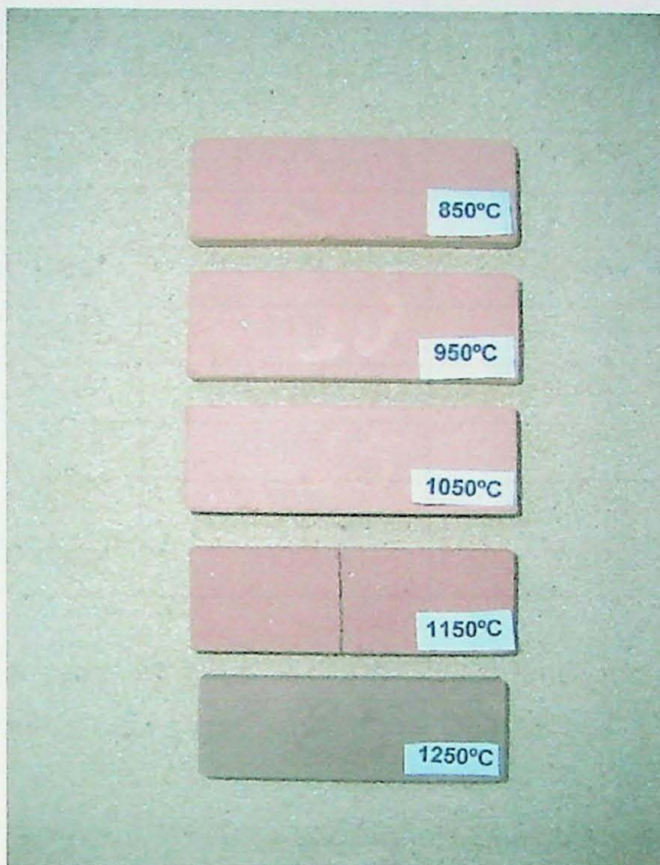


Figura 12 - Corpos de prova do sedimento “fino” queimados nas temperaturas

A partir da análise de um gráfico de curva de gresificação, relacionando a retração e absorção de água *versus* a temperatura de queima, indicará um ponto ideal em que a massa cerâmica atingiu o ponto de sinterização do corpo cerâmico. Mas para tomar este processo economicamente viável é preciso diminuir o ponto de sinterização na queima do sedimento “fino” e para isto devem-se adicionar aditivos ou materiais fundentes.

Procurou-se empregar duas argilas de composição química conhecidas, como segue tabela 2. São elas a) Argila Parelheiros da Bacia de São Paulo e b) Argila Unicer da Formação Corumbataí, Bacia do Paraná, e um resíduo da indústria cerâmica do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes – SP, conhecida como “raspa”. A principal característica a determinar uma argila fundente é o considerável teor de óxidos alcalinos, principalmente, K_2O e Na_2O .

A “raspa” é um material composto de insumos de decoração, ou seja, basicamente fritas, vidrados, corantes utilizados na esmaltação e decoração de pisos e revestimentos na indústria cerâmica.

Tabela 2 – Composição química dos fundentes

	Argila Unicer	Argila Parelheiros
P.F.	7,14%	9,88%
SiO₂	62,36%	51,8%
Al₂O₃	19,62%	28,78%
Fe₂O₃	5,85%	5,34%
TiO₂	0,72%	0,83%
CaO	0,08%	0,14%
MgO	1,91%	0,14%
Na₂O	0,14%	0,16%
K₂O	2,10%	2,92%
MnO	0,16%	0,01%
Total	100%	100%

A partir da escolha dos materiais fundentes, formulou-se 12 composições de massas para estudo da sinterização do sedimento “fino” e os materiais fundentes e estão na tabela 3.

Tabela 3 – Tabela das formulações com sedimento “fino”

	Formulações											
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Sedimento “fino”	95	90	85	80	95	90	85	80	95	90	85	80
Argila Unicer	5	10	15	20	--	--	--	--	--	--	--	--
Argila Parelheiros	--	--	--	--	5	10	15	20	--	--	--	--
Raspa	--	--	--	--	--	--	--	--	5	10	15	20

Os corpos de prova foram conformados em uma prensa hidráulica manual, uniaxial, com carga de 200 Kgf/cm², como na primeira fase dos ensaios cerâmicos do sedimento “fino”, e gerou um total de 300 (trezentos) corpos de prova, distribuídos em cinco faixas de temperatura de queima (Figura 13). Os corpos de prova foram medidos com paquímetro e pesados em balança analítica antes e após a queima.

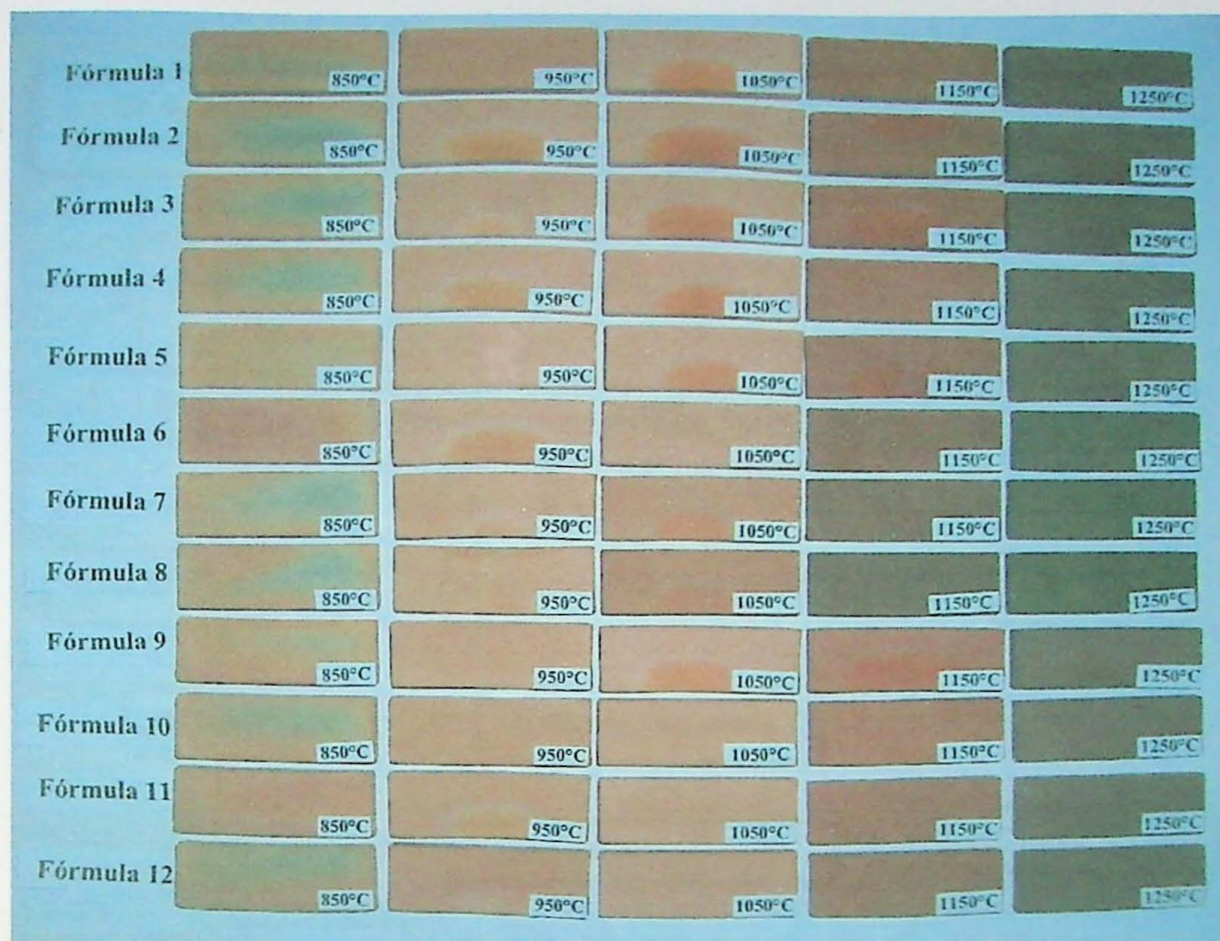


Figura 13 – Corpos de prova de 12 formulações com diferentes características após queima.

6.2.2. Sedimento “grosso” e procedimento

Referente ao sedimento “grosso”, obteve-se o total de 50 kg de amostra, seguiu para homogeneização manual e posteriormente para o quarteamento do tipo pilha cônica, depois, uma pequena fração (1 kg) foi arquivada na litoteca e o restante seguiu para esterilização em estufa a 160°C por 24 horas, seguindo praticamente, o mesmo procedimento do sedimento “fino”. Depois desta etapa, seguiu uma alíquota (1,3 kg) para análise granulométrica e o restante seguiu para o processo de beneficiamento que segue o fluxograma (Figura 14).

Após homogeneização e esterilização, será utilizado um classificador do tipo “*Trommel*” (Figura 15) para a separação dos seixos e lixo em geral (maiores que 19.1 mm) do sedimento de granulometria menor que 19,1 mm.

O passante na malha menor que 19,1 mm é classificado numa peneira vibratória. O passante menor que 2 mm é separado por um classificador espiral. E o passante menor que 0,42 mm é separado em um classificador granulométrico tipo hidrociclone. Este processo de beneficiamento produz três faixas granulométricas de areia, uma faixa maior que 50 mm e uma faixa menor que 0,075 mm.

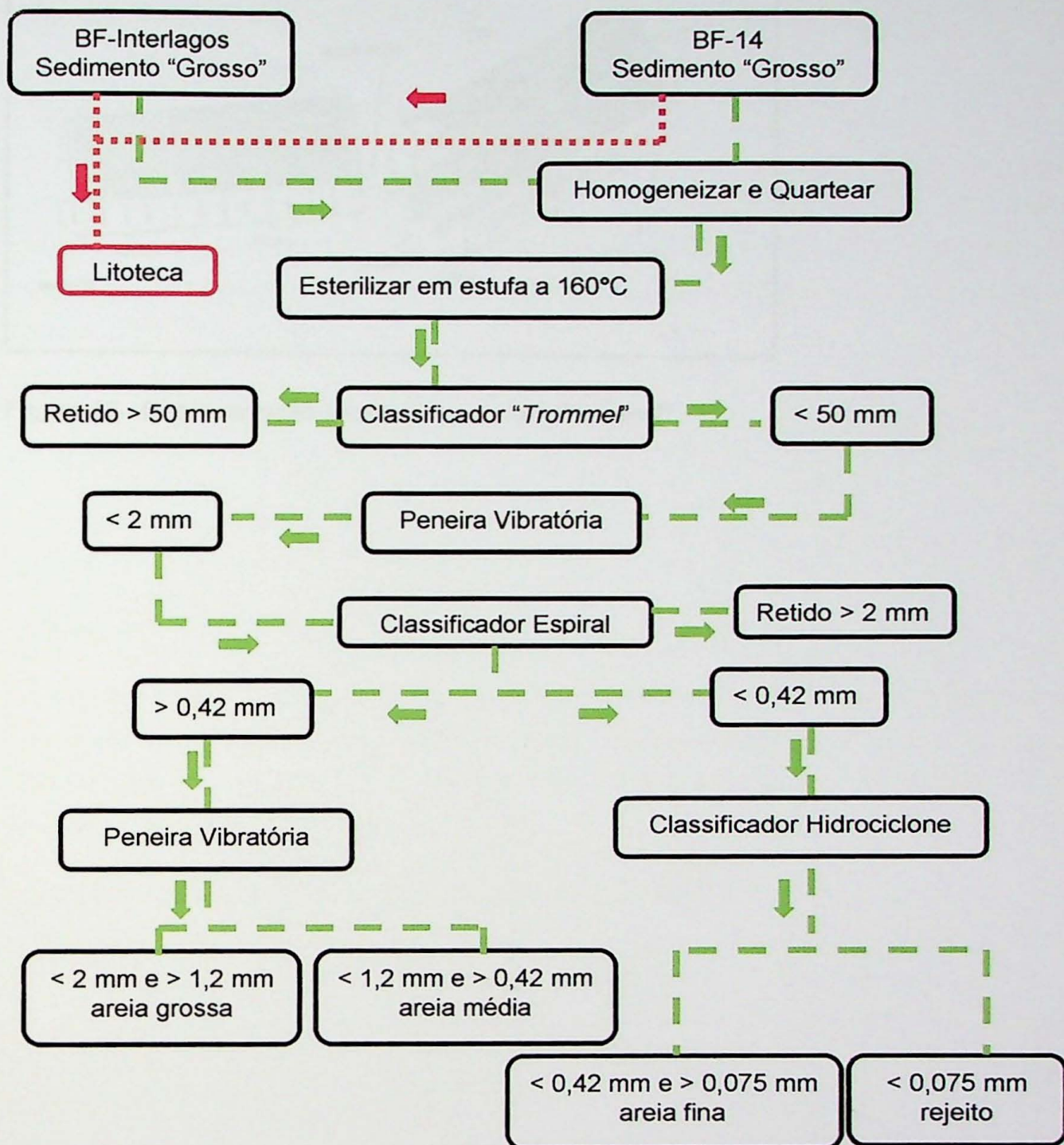


Figura 14 - Fluxograma do beneficiamento do sedimento "grosso"

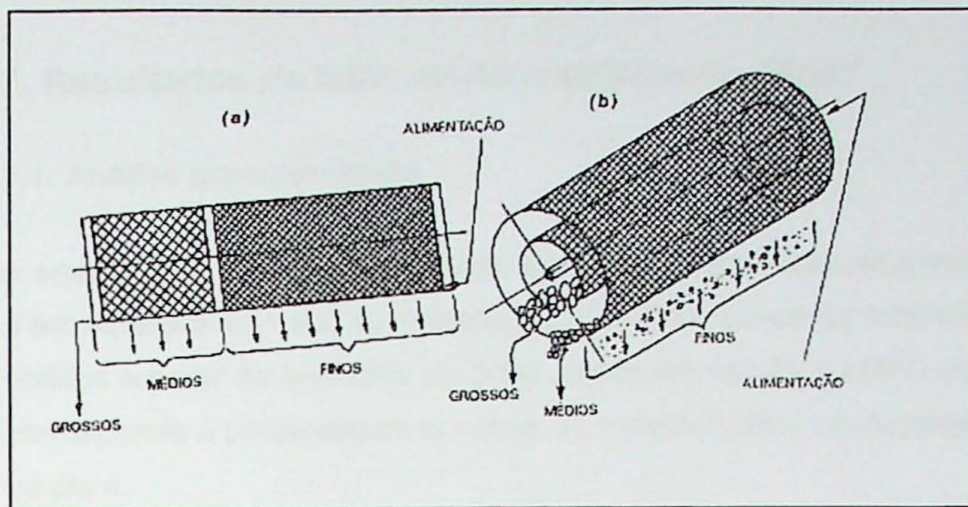


Figura 15 - Representação esquemática de um "Trommel"

7. Resultados de laboratório – sedimento “fino”

7.1. Análise granulométrica

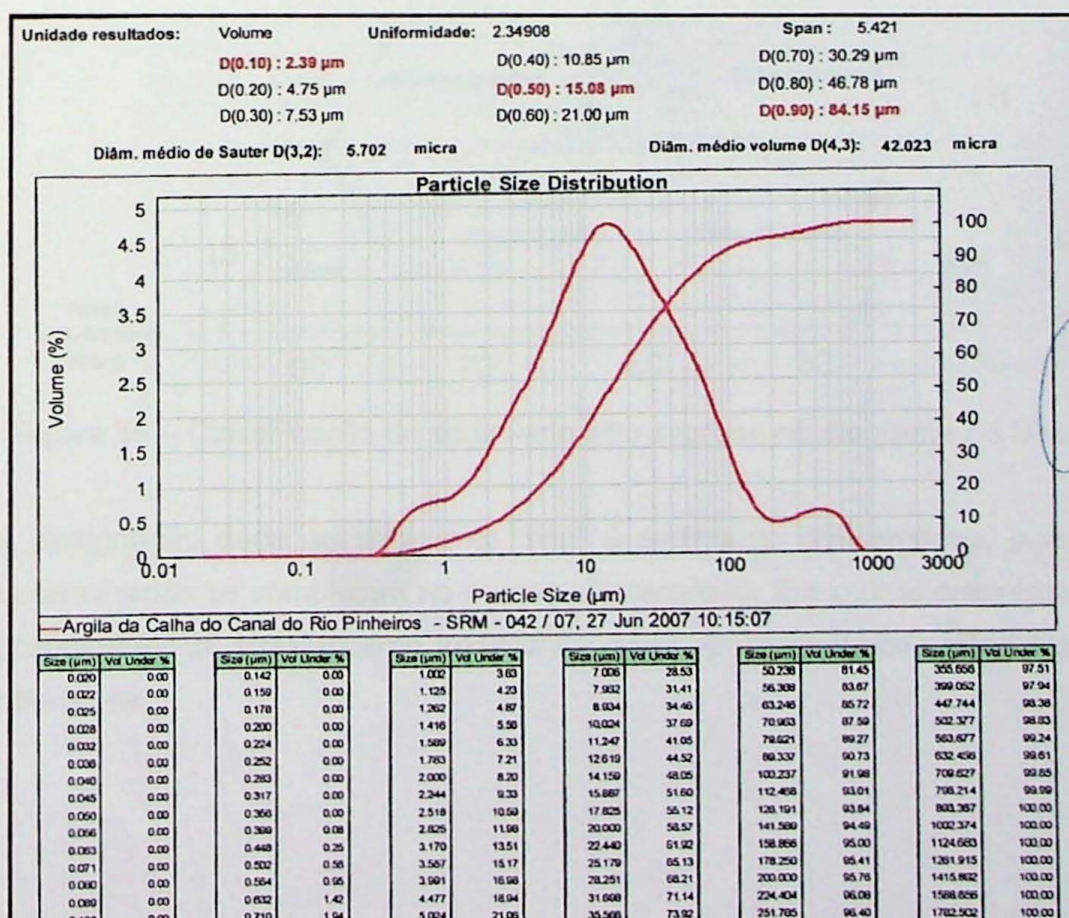
A análise granulométrica da fração argila foi determinada em peneiras circulares, via úmido e em triplicata, ou seja, as amostras A, B, e C tratam-se do mesmo material. Os dados foram obtidos a partir de amostras de 100g, secas em estufa a 110°C por 24 horas, e o resultado corresponde à porcentagem em peso do material retido na respectiva malha, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 - Análise granulométrica do sedimento “fino”.

Peneira # ABNT	Abertura (mm)	Amostra A(% em peso)	Amostra B(% em peso)	Amostra C(% em peso)	Média (% em peso)	Desvio Padrão	Incerteza
# 100	0,150	10,41	9,95	9,19	9,85	0,62	+/- 1,54
# 200	0,075	8,20	6,51	6,41	7,04	1,01	+/- 2,51
# 325	0,045	5,18	4,94	5,17	5,10	0,14	+/-0,35
< # 325	< 0,045	76,21	78,6	79,23	78,01	1,59	+/-3,95

Nota-se que na análise granulométrica por peneiras o sedimento “fino” pode ser classificado como um sedimento silto-argiloso ou argilo-siltoso, pois quase oitenta por cento da amostra está na faixa granulométrica que abrange a fração silte e areia e neste ensaio não é possível separar estas duas frações.

Tabela 5 – Resultados da difração a laser do sedimento “fino”



Ao analisar o gráfico e os dados da distribuição granulométrica gerados na difração a laser (tabela 5 e 6) e plotar os dados no diagrama ternário de Sheppard (Figura 16), obter a classificação dos sedimentos por dispersão granulométrica.

A composição granulométrica do sedimento “fino” está distribuída da seguinte forma:

Tabela 6 – Distribuição granulométrica do sedimento “fino”.

Fração	Tamanho da Partícula	% em volume
Areia	>0,62 mm	16,9%
Silte	<0,62 e >0,004 mm	66,7%
Argila	<0,004 mm	16,3%

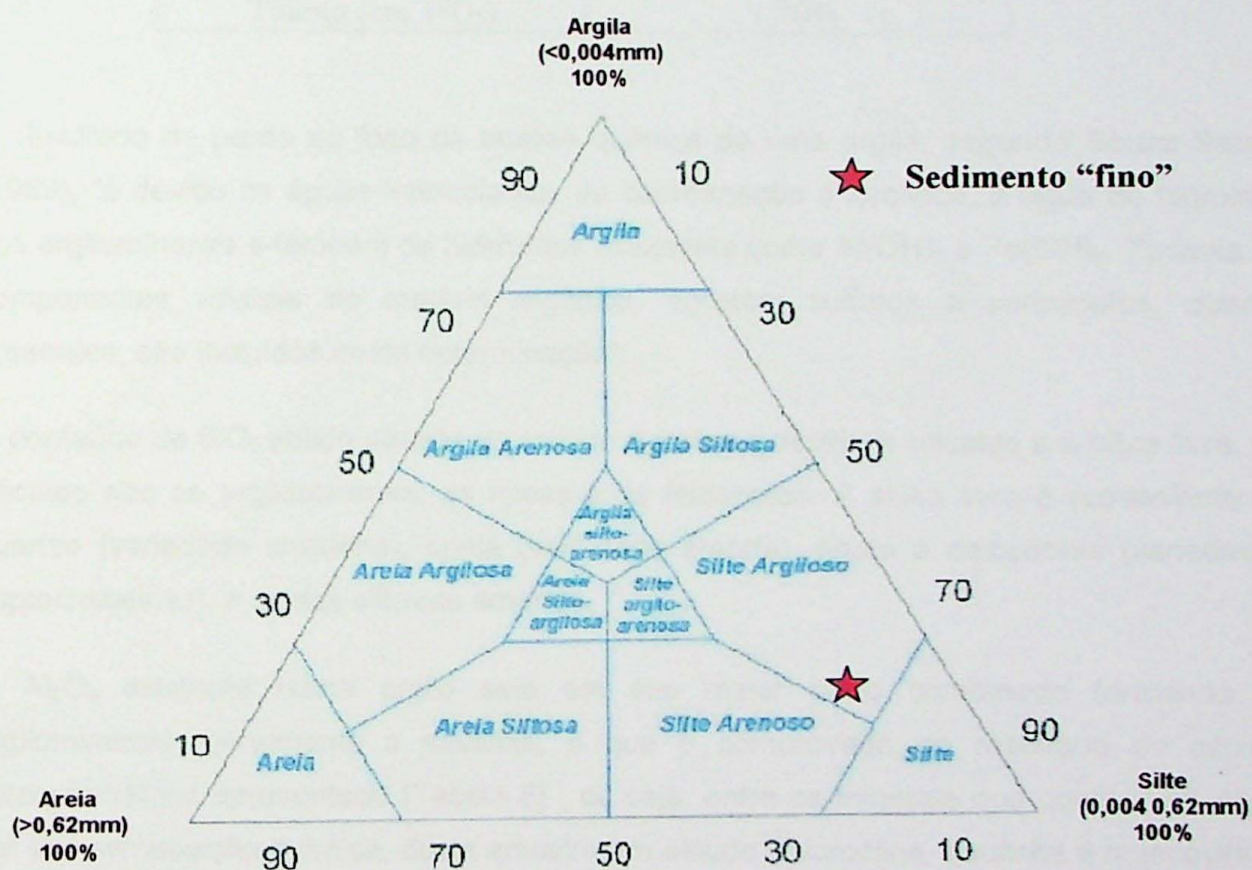


Figura 16 – Classificação do sedimento silto-argiloso no diagrama de Sheppard (1954).

A designação dada ao sedimento “fino” é sedimento silto-argiloso, pois as porcentagens determinadas se completam no campo silto-argiloso. Em outros diagramas de classificação granulométrica, esse mesmo sedimento, pode ter designações diferenciadas, com limites diferentes.

Comparando os resultados de classificação granulométrica, estes mostram que conforme a faixa granulométrica que se deseja classificar, a utilização de apenas um destes métodos pode fornecer valores confiáveis e obter resultados muito semelhantes.

7.2. Análise química

Tabela 7 – Análise química quantitativa dos elementos maiores do sedimento silto-argiloso

Determinações	Análise Quantitativa (%)
Perda ao Fogo	14,3 %
Silício (em SiO_2)	51,5%
Alumínio (em Al_2O_3)	22,9%
Ferro (em Fe_2O_3)	6,9%
Cálcio (em CaO)	0,30%
Magnésio (em MgO)	0,27%
Potássio (em K_2O)	1,7%
Sódio (em Na_2O)	0,19%
Titânio (em TiO_2)	1,20%

O resultado de perda ao fogo da análise química de uma argila, segundo Souza Santos (1989), “é devido às águas intercaladas, de coordenação e zeolítica, à água de hidroxilas dos argilominerais e também de hidróxidos existentes como $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Todavia, os componentes voláteis de matéria orgânica, sulfetos, sulfatos e carbonatos, quando presentes, são incluídos nesta determinação”.

O conteúdo de SiO_2 obtido através da análise química é devido a silicatos e à sílica livre. Os silicatos são os argilominerais, as micas e os feldspatos. A sílica livre é proveniente de quartzo (variedade cristalina), opala (variedade amorfa), ágata e calcedônia (variedades criptocristalinas), e ácidos silícicos amorfos.

O Al_2O_3 existente numa argila está em sua maior parte combinado formando os argilominerais, geralmente a caulinita, o que é comprovado no resultado do cálculo estequiométrico apresentado (Tabela 8) , ou seja, entre os minerais que contenham Al_2O_3 em sua composição química, desta amostra em estudo (microclina, caulinita e moscovita) a porcentagem de caulinita é de quase 80%.

Quando o teor de Fe_2O_3 encontrado em uma argila (como é o caso desta amostra 6,9%) esta apresentará baixa refratariedade e, após queima, uma cor avermelhada.

O K_2O e Na_2O encontrados nas argilas são quase que totalmente devido a feldspatos, micas ou cátions trocáveis. São agentes fundentes e, portanto, indesejáveis para materiais refratários, mas de grande importância para a vitrificação de massas cerâmicas em geral.

Geralmente, o teor de K_2O nas argilas é mais elevado que o de Na_2O , porque minerais micáceos são mais resistentes ao intemperismo (Souza Santos, 1984).

Tabela 9 – Análise química quantitativa dos elementos traços

Determinações	AQQ ppm	LML (mg/L)*	LME (mg/L)*
Ba	439 ppm	70,0	0,7
Ce	112 ppm		
Cl	97 ppm		
Co	12 ppm		
Cr	266 ppm	5,0	0,05
Cu	258 ppm		
F	809 ppm	150,0	1,5
Ga	29 ppm		
La	59 ppm		
Nb	30 ppm		
Nd	69 ppm		
Ni	106 ppm		
Pb	162 ppm	1,0	0,01
Rb	66 ppm		
S	2515 ppm		
Sc	20 ppm		
Sr	66 ppm		
Th	16 ppm		
U	<3 ppm		
V	124 ppm		
Y	55 ppm		
Zn	652 ppm		5,0
Zr	437 ppm		

LML = Limite Máximo no Lixiviado (mg/L)

LME = Limite Máximo no Extrato (mg/L)

AQQ = Análise Química Quantitativa (ppm)

- ABNT – NBR 10004

Quanto ao resultado da análise química dos elementos traços, destacam-se as diferenças abruptas dos valores encontrados na amostra e nos valores parâmetros da NBR 10004 - ABNT. E ainda a quantidade de elementos químicos (23 elementos) encontrados no sedimento “fino”, provavelmente, são de origem industrial.

7.3. Mineralogia

Difração de raios-X

A análise mineralógica permite a identificação dos minerais e suas fases presentes, além do grau de cristalinidade. A determinação da assembléia mineralógica da amostra “in natura”,

assim como de compostos neoformados nas faixas de queima aplicada ao ensaio cerâmico, foi realizada por difração de raios x.

Através da análise de difração de raios x também é possível quantificar os minerais. Mas para resultados quantitativos, é preciso fazer a separação granulométrica (especificar as faixas granulométricas de determinados minerais) e depois aplicar a análise de difração de raios x em cada faixa granulométrica.

Observando os gráficos resultantes das análises de difração de raios x (ANEXO D), notamos que na amostra “in natura” ocorrem picos característicos do quartzo, caulinita, illita e não mostrou a presença do feldspato (microclínio), mas provavelmente, este já estava presente, porque o feldspato não poderia se formar a partir da mesma composição química sofrendo um aquecimento de 850°C. Também não apresentou o pico característico da limonita, que fornece o elemento ferro para formar a hematita.

A 850° C ocorre à destruição do retículo cristalino da caulinita e forma-se a metacaulinita (metacaulim), que é amorfa, porém com alguma estrutura residual (Souza Santos, 1989) e é detectada a presença de hematita e microclínio e ainda quartzo e illita. A 950° C ocorre a presença de quartzo, illita, microclínio e hematita e nucleação de mulita a partir de Espinélio ($2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$), ou seja, Al:Si. A partir de 1050° C até 1250° C ocorre o desenvolvimento e crescimento de cristais de mulita, estruturada pela sílica e alumina remanescentes da caulinita e illita, e também há quartzo livre, microclínio e hematita.

A composição mineralógica do sedimento silto-argiloso “in natura”, apresentada na tabela 10, é composta de argilas illítica-caulinítica, quartzo, feldspato, limonita, hematita e mullita.

Tabela 10 – Composições mineralógicas nas temperaturas estudadas

Temperatura						
Mineral	“In Natura ”	850°C	950°C	1050°C	1150°C	1250°C
Quartzo	X	X	X	X	X	X
Illita	X	X	X	—	—	—
Caulinita	X	—	—	—	—	—
Hematita	—	X	X	X	X	X
Feldspato (microclínio)	X	X	X	X	X	X
Mullita	—	—	—	X	X	X
X	Presença do mineral					
—	Ausência ou destruição do mineral					

A formação de cristais de mulita $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ fornece excelentes propriedades de resistência mecânica, baixo coeficiente de expansão térmico, boa estabilidade química e térmica. Tais características explicam sua importância na cerâmica tradicional e avançada. É um mineral relativamente raro na natureza, formado sob condições excepcionais de elevada temperatura e pressão, condições estas que podem ser utilizadas na síntese do mineral.

Análise Termodiferencial

As transformações térmicas observadas na análise termodiferencial (Figura 22) auxiliaram as identificações mineralógicas do sedimento “fino” como mostra a tabela 11.

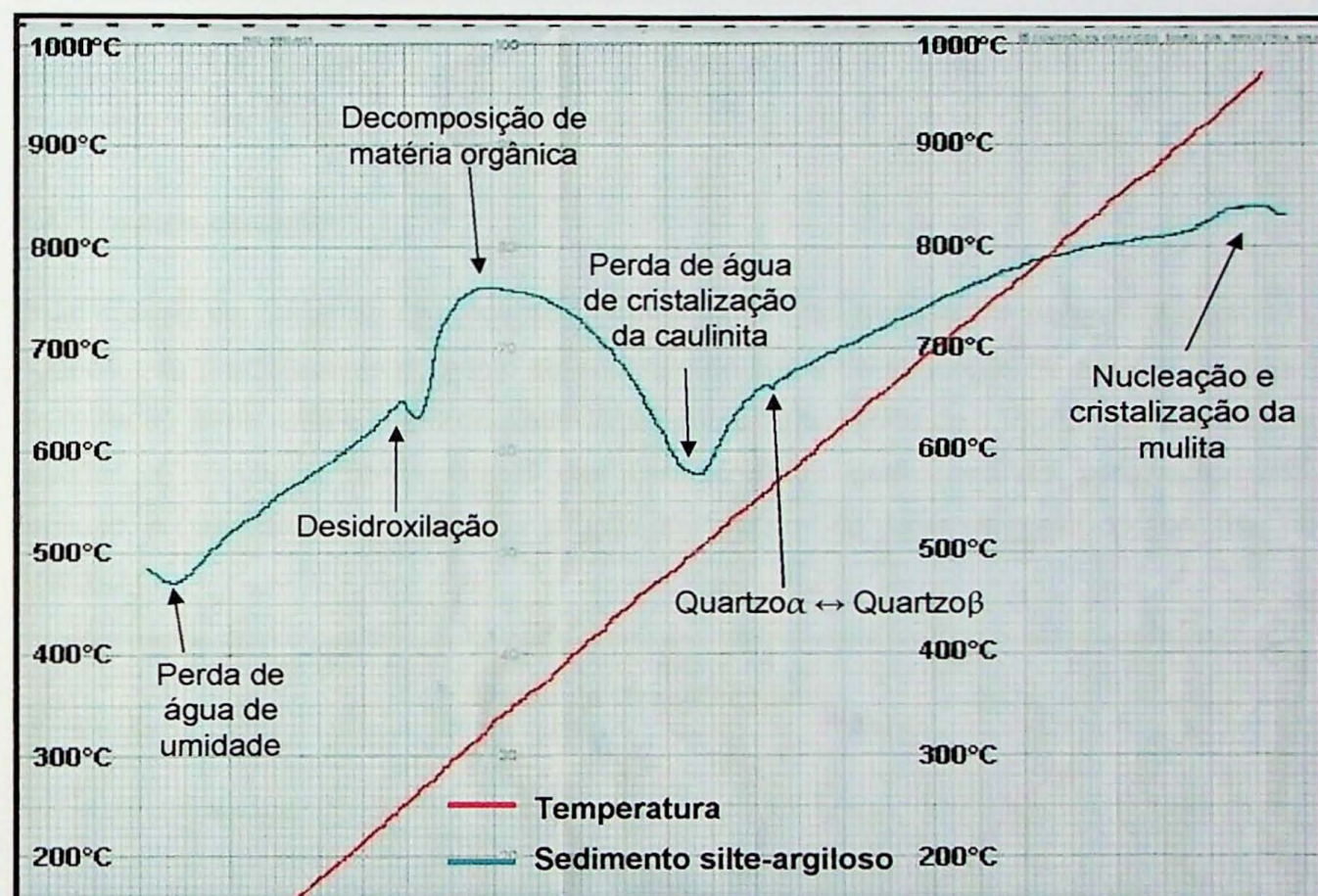


Figura 22 – Curva da ATD para o sedimento silto-argiloso

Tabela 11 – Transformações térmicas no sedimento silto-argiloso

Temperatura	Reação	Transformações
90°C	Endotérmica	Perda de água de umidade
265°C	Endotérmica	Desidroxilação
285-400°C	Exotérmica	Decomposição de matéria orgânica
500°C	Endotérmica	Perda de água de cristalização da caulinita
570°C	Endotérmica	Transformação de quartzo $\alpha \leftrightarrow$ quartzo β
950°C	Exotérmica	Nucleação e cristalização da Mulita

Com base nas análises químicas e no apoio dos dados mineralógicos (DRX e ATD), calculou-se a composição estimada dos minerais presentes nos sedimentos silto-argilosos, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Composição mineralógica estimada por cálculo estequiométrico do sedimento silto-argiloso

Mineral	% do mineral
QUARTZO	23,0%
MICROCLINA K	4,0%
CAULINITA	48,0%
MOSCOVITA	9,0%
M. ORG.	6,0%
ILMENITA	1,0%
LIMONITA	8,0%
Total	100%

7.4. Ensaios cerâmicos

Pela análise da curva de gresificação do sedimento silto-argiloso *"in natura"* (Figura 17), nota-se que precisamente no ponto de encontro da curva de absorção de água e da curva de retração linear está o ponto de sinterização e ocorre por volta de 1155°C. A partir destes resultados, tomou-se conhecimento das características cerâmicas do sedimento silto-argiloso. A base de dados para a construção dos gráficos de curva de gresificação estão no ANEXO C.

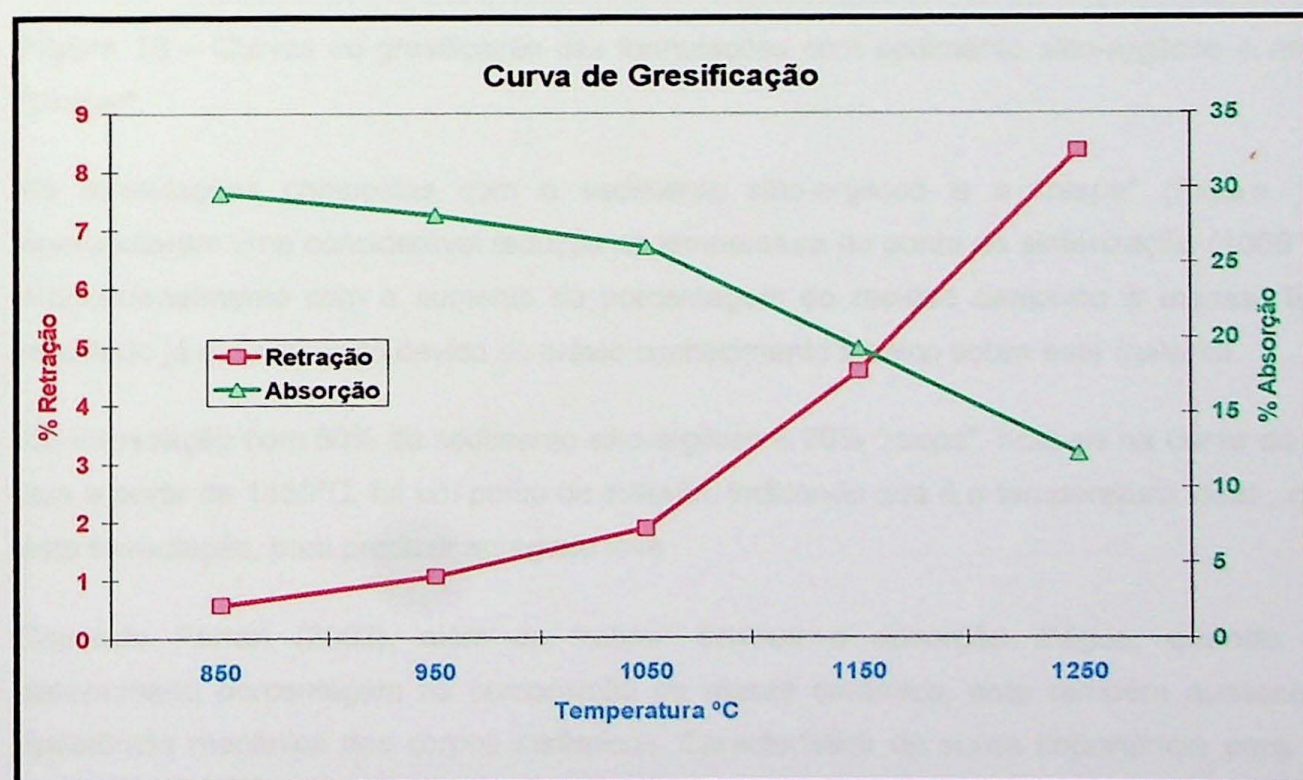


Figura 17 – Curva de gresificação do sedimento silto-argiloso *"in natura"*

No grupo de formulações, que são compostas entre o sedimento silto-argiloso e a argila “Unicer” (Figura 18), nota-se que ocorreu uma queda insignificante na temperatura de sinterização, ou seja, a 1150°C. Isto indica que a argila “Unicer”, basicamente, tem o mesmo ponto de sinterização do sedimento silto-argiloso e desclassificando-a como fundente para a composição da massa cerâmica.

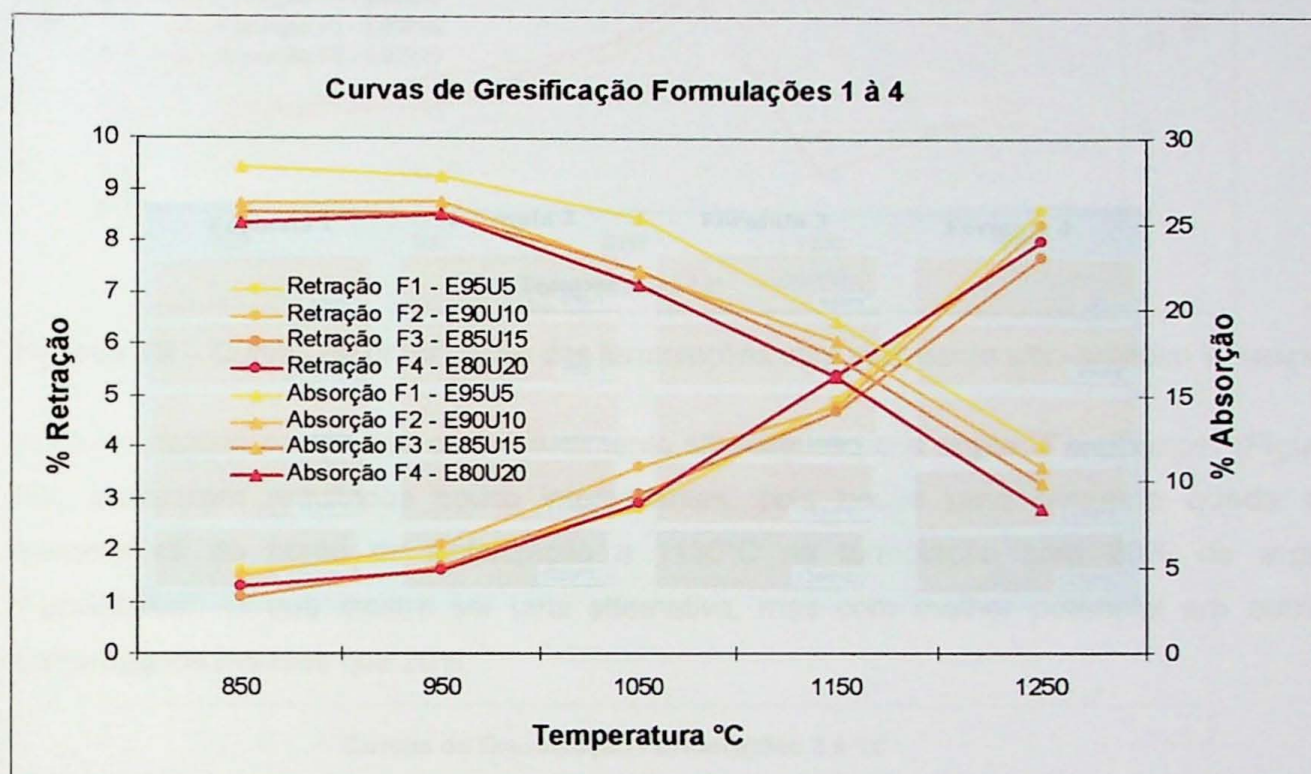
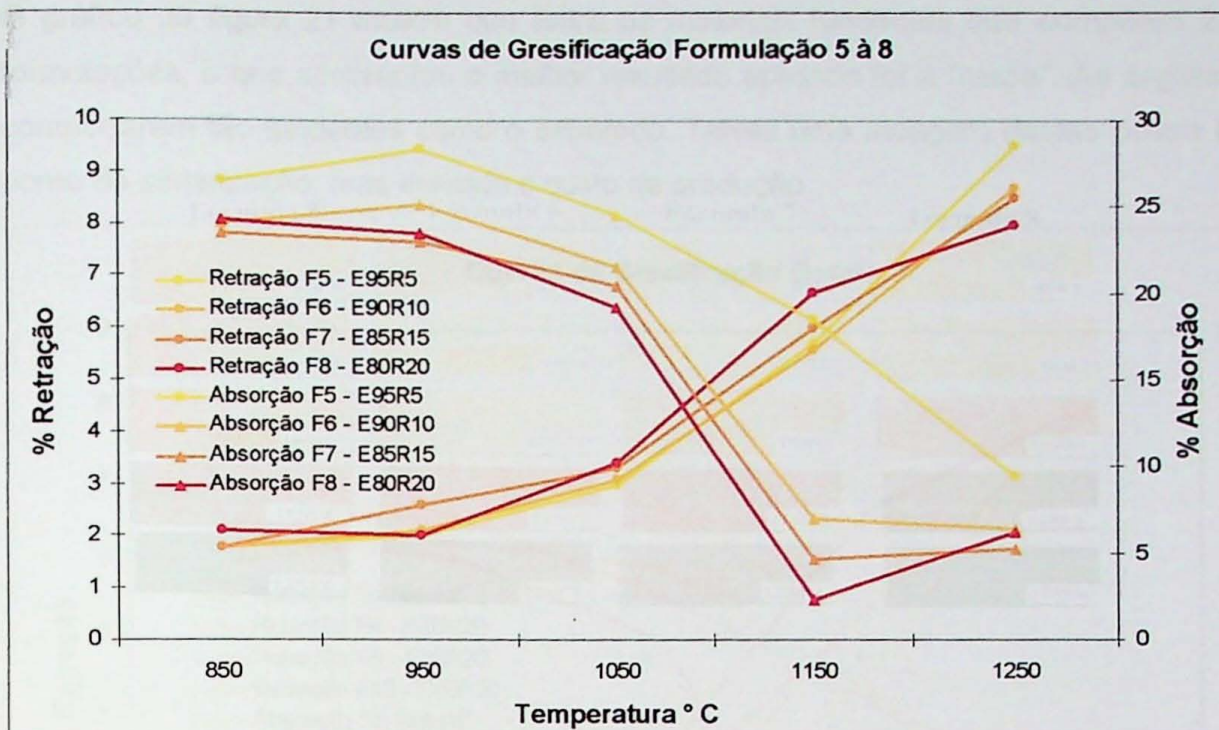


Figura 18 – Curvas de gresificação das formulações com sedimento silto-argiloso e argila “Unicer”.

As formulações compostas com o sedimento silto-argiloso e a “raspa” (Figura 19), apresentaram uma considerável redução na temperatura do ponto de sinterização (1065°C), proporcionalmente com o aumento da porcentagem do resíduo cerâmico à massa. Este resultado já era esperado devido ao prévio conhecimento técnico sobre este material.

Na formulação com 80% de sedimento silto-argiloso e 20% “raspa”, nota-se na curva de AA que a partir de 1150°C, há um ponto de inflexão, indicando que é a temperatura ideal, com esta formulação, para produzir agregado leve.

Segundo Ferrari (2002), além da “raspa” diminuir a absorção d’água, quando em determinada porcentagem na composição da massa cerâmica, este também aumenta a resistência mecânica dos corpos cerâmicos. Característica de suma importância para um agregado leve aplicado a construção civil.



Figuras 19 – Curvas de gresificação das formulações com sedimento silto-argiloso e “raspa”

As formulações compostas com o sedimento silto-argiloso e a argila “Parelheiros” (Figura 20), mostraram resultados pouco interessantes, pois houve uma pequena queda de temperatura do ponto de sinterização a 1130°C na formulação com 20% de argila “Parelheiros”. O que mostra ser uma alternativa, mas com melhor potencial em outras porcentagens maiores que 20%.

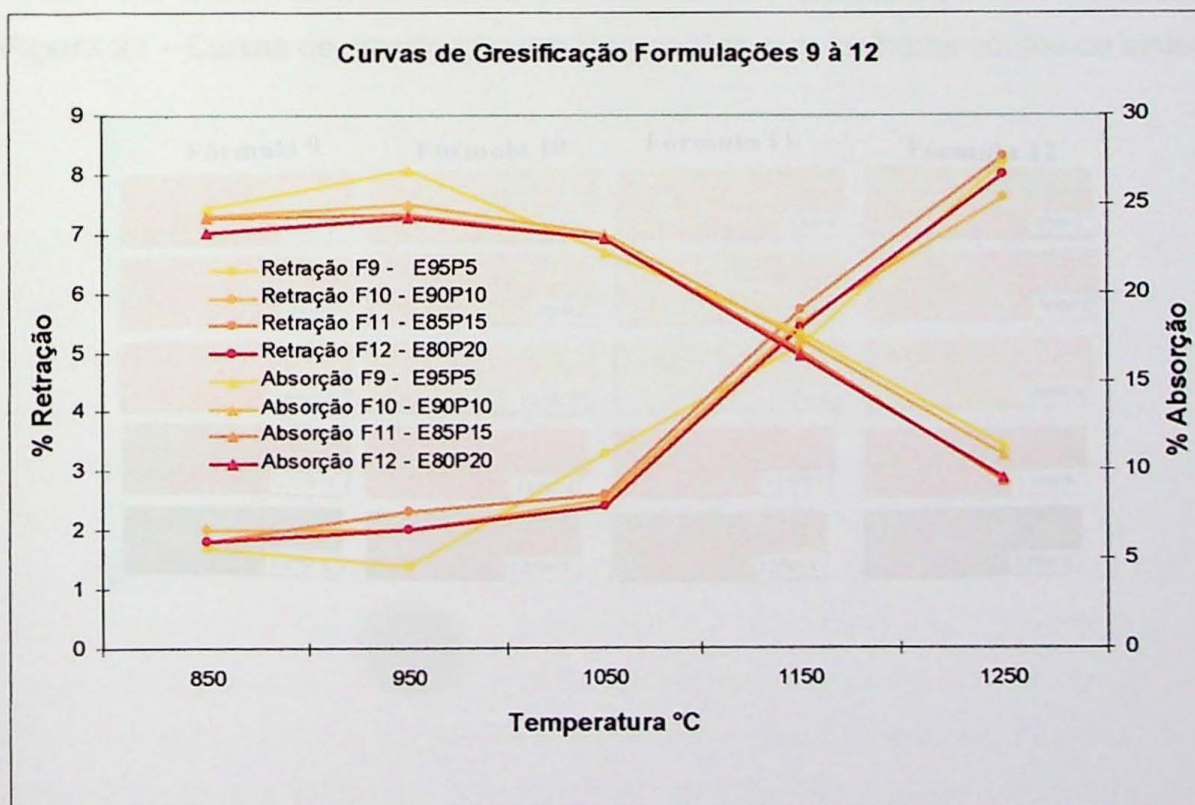


Figura 20 – Curvas de gresificação das formulações com sedimento silto-argiloso e argila “Parelheiros”.

O gráfico da figura 21 mostra que entre os materiais fundentes que compõem 20% nas formulações, o que apresentou o melhor resultado aplicado foi a "raspa". As argilas não se comportaram tão fundentes como o esperado. Talvez uma moagem destas possa baixar o ponto de sinterização, mas elevaria o custo de produção.

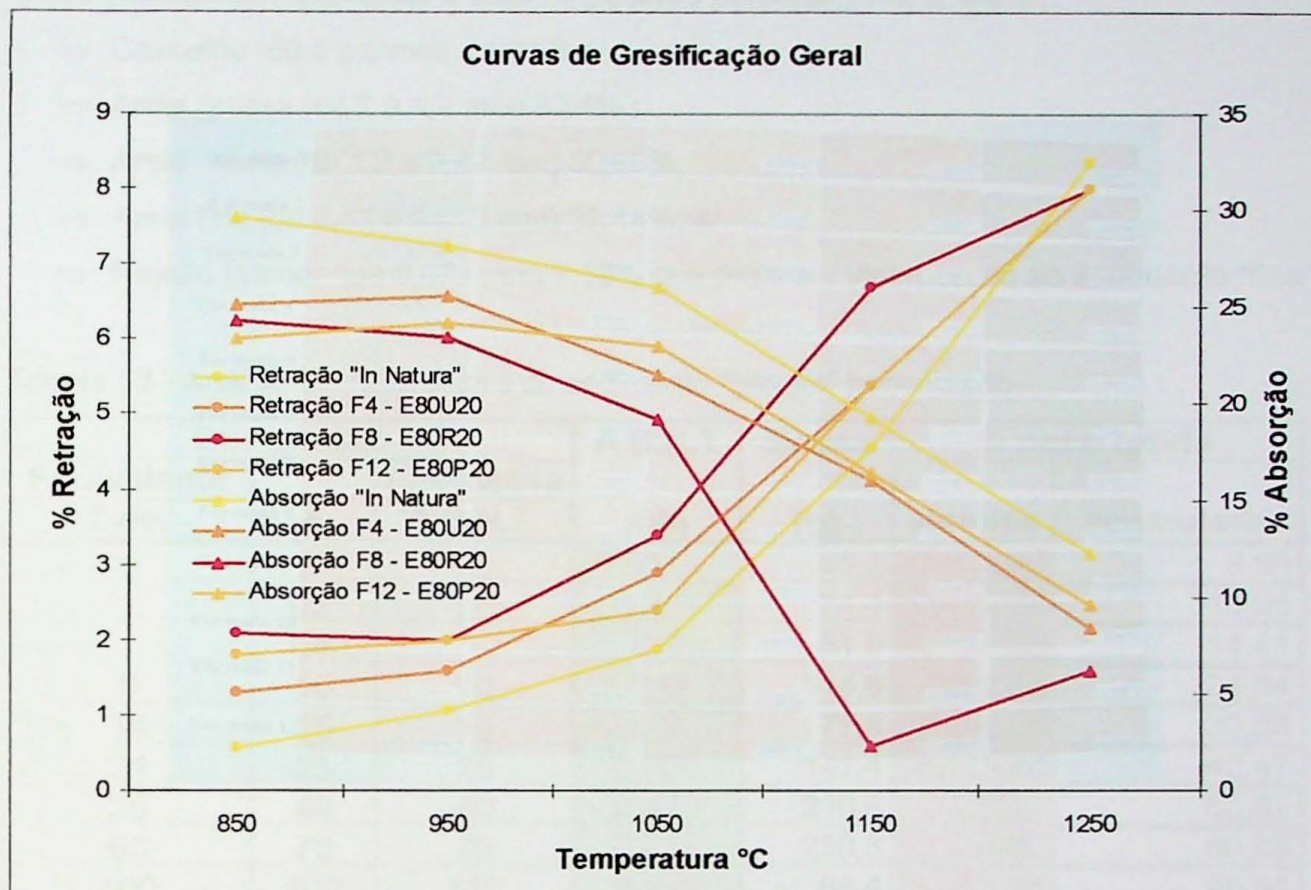


Figura 21 – Curvas de gresificação das formulações com melhores pontos de sinterização.

8. Resultados e interpretações do sedimento “grosso”

No beneficiamento do sedimento “grosso” (tabela 13), é gerado cascalho, areias com 3 faixas granulométricas, rejeito e suas respectivas porcentagens, a saber:

- ⇒ Cascalho (50 a 6,3 mm) 24,04 %
- ⇒ Areia grossa (de 2 a 1,2 mm) 6,54% ;
- ⇒ Areia média (de 1,2 a 0,42 mm) 30,09%;
- ⇒ Areia fina (de 0,42 a 0,075 mm) 32,14%; e
- ⇒ Rejeito (menor que 0,075 mm) 7,19% que pode ser incorporado ao sedimento “fino”.

Tabela 13 - Análise Granulométrica do sedimento “grosso” beneficiado.

Designação			A.B.N.T	Massa	% peso retida	
Equivalente		Alternativa				
Tyler	A	A.B.N.T.	mm	(g)	simples	acumulada
-	2"	-	50,0	45,2	3,80	3,80
-	1/2"	-	12,5	74,4	6,25	10,05
-	1/4"	-	6,3	51,8	4,35	14,41
9	10	10	2,0	114,6	9,63	24,04
14	15	16	1,2	77,8	6,54	30,58
24	25	25	0,700	141,4	11,89	42,47
35	40	40	0,420	216,5	18,20	60,67
65	70	70	0,210	230,8	19,40	80,08
100	100	100	0,150	68,4	5,75	85,83
200	200	200	0,075	83,1	6,99	92,81
325	325	325	0,044	20,1	1,69	94,50
<325	<325	<325	<0,044	65,4	5,50	100,00
Total:				1189,5	100	

Os resultados da apreciação petrográfica do sedimento “grosso” (ANEXO E), seguem a NBR 7389/92 que estabelece procedimentos recomendados para execução de apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Na figura 24, mostra a distribuição dos tipos de grãos encontrados no sedimento “grosso”.

Vale destacar na apreciação petrográfica que do total de material inócuo 88,4% encontrado, destes 65,6% são grãos de quartzo, distribuídos em maiores concentrações em faixas granulométricas menores (0,60 a 0,15 mm), ou seja, em faixas da fração de areia média e fina, confirmando o resultado granulométrico do sedimento beneficiado. A maior concentração de vidro, aqui considerado como material deletério, foi encontrado na retido na faixa de 9,5 mm. Dos materiais friáveis a maior porcentagem está nos fragmentos cerâmicos com 75%, confirmando que os riachos e córregos são usados na disposição final de entulhos de construções.

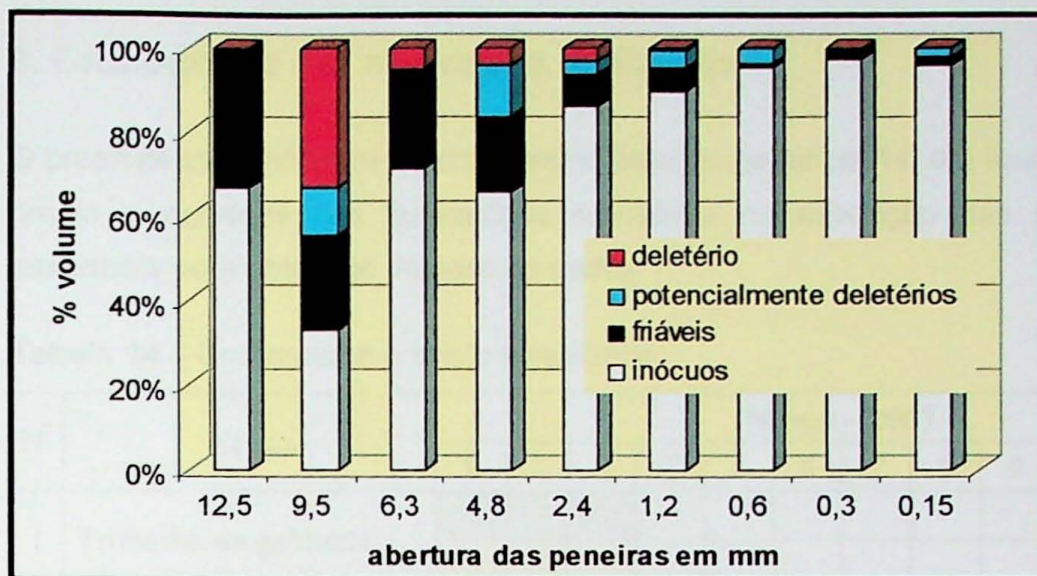


Figura 24 – Distribuição dos tipos de grãos, em porcentagem do volume do sedimento "grosso".

9. Cronograma das atividades realizadas

O presente trabalho seguiu o cronograma previsto na tabela 14, em função do agendamento prévio e agilidade dos laboratórios solicitados na execução das análises e ensaios, essenciais para obtenção da base de dados.

Tabela 14 – Cronograma previsto e realizado.

N°	Etapa	Meses - 2007											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Trabalho de gabinete												
2	Trabalho de campo												
3	Trabalho de laboratório												
4	Relatório de progresso												
5	Tratamento e interpretação de dados												
6	Elaboração do relatório final												
7	Defesa de monografia												
	Previsto												
	Realizado												

10. Considerações Finais

10.1. Sedimentos silto-argiloso

10.1.1. Análise Granulométrica

Os sedimentos denominados “finos” apresentam granulometria de 16,9% de areia, 66,7% de silto e 16,3% de argila e com estas determinações é classificado com sedimento silto-argiloso. A curva de distribuição granulométrica é normal e tamanho médio das partículas em torno de 15 μm ; constituída provavelmente de caulinita grossa e de quartzo fino.

10.1.2. Análise Química

Observa-se que a composição química é típica de um sedimento silto-argiloso, destacando-se o teor de 23% de Al_2O_3 , 51,5% de SiO_2 e 14% de Perda ao Fogo. Ressalta-se que a PF de 14% está associada em parte ao alto teor de matéria orgânica. Outros feitos notáveis, de reflexo na aplicação pretendida, são os conteúdos de Fe_2O_3 (6,9%), K_2O (1,7%) e Na_2O (0,19%).

10.1.3. Mineralogia

Nos estudos mineralógicos com apoio da análise química estimou-se a composição quantitativa dos minerais presentes no sedimento silto-argiloso. Aliando-se este dado com a distribuição granulométrica (média do tamanho das partículas de 15 μm , presume-se que haja uma determinada quantidade de caulinita na fração silte.

10.1.4. Ensaios Cerâmicos

Nota-se que no sedimento silto-argiloso “*in natura*” precisamente no ponto de encontro da curva de absorção de água e da curva de retração linear está o ponto de sinterização e ocorre por volta de 1155°C. No grupo de formulações, que são compostas entre o sedimento silto-argiloso e a argila “Unicer”, nota-se que ocorreu uma queda muito pequena na temperatura de sinterização, ou seja, de 1155°C para 1150°C.

As formulações compostas com o sedimento silto-argiloso e a “raspa”, apresentaram uma considerável redução na temperatura do ponto de sinterização (1065°C), e que a formulação com 80% de sedimento silto-argiloso e 20% “raspa”, a partir de 1150°C, há um ponto de inflexão, indicando que é a temperatura ideal para produzir agregado leve.

A temperatura ideal para a fabricação de agregado leve está entre 1250° e 1300°C, o que torna o sedimento silto-argiloso, quando utilizado individualmente ou em composições com materiais fundentes, em uma alternativa tecno-economicamente viável.

Sem tempo disponível para realizar as análises de lixiviação, e além de fazerem parte do projeto original EMAE e IPT, são de fundamental importância na avaliação da aplicação como produto final. Porém, para complemento de informações deste trabalho, foi consultado o relatório técnico "Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixiviante". Este relatório mostrou que, em geral o teor de metal lixiviado aumenta com o teor de óxido adicionado e diminui com o aumento da temperatura de queima. E também que o processo de incorporação dos metais cádmio, chumbo, cromo, cobre, níquel, zinco, manganês e cobalto às massas cerâmicas é viável para a estabilização destes metais, desde que sejam respeitados os limites máximos de adição (no caso em até 10%) e as temperaturas mínimas de queima (no caso do estudo, a partir de 650°C).

A partir desses estudos, concluiu-se que é possível a aplicação dos sedimentos silto-argiloso na produção de agregados para a construção civil, pois a quantidade de elementos traços, dados em ppm, é muito menor que a quantidade dos óxidos, dados em porcentagem, usados no ensaio. E a sinterização da massa cerâmica (ao menos 1080°C) é suficiente para "aprisionar" os átomos dos elementos contaminantes, no corpo sinterizado.

10.2. Sedimento arenoso

Os dados de pesquisa apontaram que do total de sedimento arenoso, cerca de 70 % dessa fração pode ser aplicada como agregado fino em usos menos exigentes da construção civil, como calçamento e determinadas obras de pequeno porte. Os 7% de "rejeito" silto-argiloso, pode ser incorporado a massa a ser sinterizada.

Os 24% restantes do sedimento arenoso, devido a sua composição com teores consideráveis deletérios, friáveis, matéria orgânica e etc seria destinado a aterros.

11. Conclusões

A pesquisa realizada neste Trabalho de Formatura objetivou caracterizar os materiais de desassoreamento do Canal Pinheiros e propor uma alternativa de aplicação desses sedimentos. Nos estudos de campo foram caracterizados dois tipos de sedimentos de desassoreamento, um silto-argiloso e um arenoso fino a médio, corroborando com os dados da literatura (CTH, 2003, PURQUIMA, 2003). Em laboratório foram determinadas as características mineralógicas, químicas, físicas e tecnológicas para aplicação em cerâmica e na construção civil, cujos resultados foram promissores e, assim apontam uma boa perspectiva de aplicação dos mesmos. Dessa forma, a pesquisa aqui desenvolvida atingiu os seus objetivos específicos quanto à perspectivas de aplicação dos dois tipos granulométricos, assim apontados:

Quanto aos sedimentos silto-argilosos, objeto central desta pesquisa, os trabalhos indicaram, de forma inédita, que esse material, isoladamente ou em composição com outros materiais fundentes, pode produzir agregado médio a graúdo, de média a baixa densidade, para a construção civil. Nas composições de massa, destacou-se a incorporação de raspas de esmalte, do processo de produção de revestimentos cerâmicos esmaltados do Pólo de Santa Gertrudes, que pode favorecer propriedades mecânicas e economia de energia de sinterização. Do ponto de vista ambiental, as expectativas são favoráveis, embora os estudos de lixiviação e de contaminações ainda não estejam finalizados.

No tocante aos sedimentos grossos, a pesquisa apontou que é possível a seleção de cerca de 70 % dessa fração pode ser aplicada como agregado fino em usos menos exigentes da construção civil, como calçamento e determinadas obras de pequeno porte. Do restante do material, cerca de 7 % trata-se de fração siltosa que poderá ser incorporada na fração silto-argilosa para a produção de agregado sinterizado, referido anteriormente, enquanto que o restante (24%), por conter excesso de matéria-orgânica, deletérios, friáveis etc., deverá ser destinado para aterro sanitário, mas poderiam ocupar camadas utilitárias em aterro, como camadas de cobertura do aterro.

Os demais fatores favoráveis às aplicações dos materiais de desassoreamento são a localização geográfica privilegiada do Canal Pinheiros e o amplo consumo de agregados para a construção civil na RMSP. No entanto, é necessário um Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da produção dos agregados e a sua sustentabilidade ambiental na produção e uso, fatores para estudo e desenvolvimento na continuidade deste projeto.

Finalizando, a pesquisa aplicada promoveu a este formando, a chance de utilizar as diversas disciplinas do curso de Geologia para formulação e equacionamento de problemas

Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.F.A. (1958) O planalto paulistano. In: AZEVEDO, A. (org.). A cidade de São Paulo. São Paulo, Editora Nacional. P. 113-167.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2005) Agregado para concreto – Especificação – NBR 7211. Rio de Janeiro, ABNT, 11 p.

_____ NBR 7389 (1992) Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 7 p.

_____ NBR 10004 (2004) Resíduos sólidos – Classificação –. Rio de Janeiro, ABNT, 71 p.

_____ NBR 10005 (2004) Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos–. Rio de Janeiro, ABNT, 16 p.

_____ NBR 10007 (2004) Amostragem de resíduos sólidos–. Rio de Janeiro, ABNT, 21 p.

CASADEI, D. S.; DEBIAZZI NETO, CHAVES, A. P. (1997) Aproveitamento da areia como produto do desassoreamento do Rio Tietê. In: Congresso Brasileiro de Mineração, 7, Belo Horizonte, 1997. *Coletânea das Conferências*. Belo Horizonte: IBRAM, 1997. p. 13-27.

CHAVES, A.P.; CASADEI, D. S.; DEBIAZZI, D. N. (1998) *O desassoreamento do rio Tietê e o aproveitamento da areia contida nos sedimentos*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 17.; SEMINÁRIO DE QUÍMICA DE COLÓIDES APLICADA À TECNOLOGIA MINERAL, 1., Águas de São Pedro, 1998. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1998. v. 1, p. 331-348.

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo – 2006.

CUCHIERATO, G. (2000) Caracterização dos resíduos de mineração de agregados da RMSP visando seu aproveitamento econômico. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

- FERRARI, K.R.; FERRI, C.F.; SILVA, L.L.; BATISTA, L.C.Z.; FILHO, P. M. de F. (2002) Ações para a diminuição da geração de resíduos na Indústria de Revestimento Cerâmico e a reciclagem das "Raspas". Parte 1: Resultados Preliminares. *Cerâmica Industrial* 7(2): 38-41p.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – “Estudos para a otimização dos serviços de desassoreamento do canal Pinheiros. – Relatório de Atividades RA 09 – 2003.
- GOMES, C. B. (Coord.) *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. (1975) *The ribeira folded belt*. *Revista Brasileira de Geociências*, v.5, p. 257-266.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. “Adição de metais tóxicos a massas cerâmicas e avaliação de sua estabilidade frente a agente lixiviante” (Relatório Técnico IPT 61.252) Out/2002.
- LABORATORIO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA – LCT. (2000) *Caracterização Tecnológica de matérias-primas minerais*. Curso de extensão, 2000.
- LIMA, M. R. de; MELO M. S. de (1989) Palinologia de sedimentos da Bacia de São Paulo. In: WORKSHOP GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO, São Paulo, 1989. *Coletânea de Comunicações*. São Paulo, SBG/NSP, p.35-37.
- MELCHIADES, F.G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A.O. (1996) A curva de gresificação: Parte I. *Cerâmica Industrial*, 01 (04/05): 30-31p.
- MELO, M. S. de (1997). Sedimentos fanglomeráticos da Bacia de Resende, RJ – a Formação Itatiaia. *Revista Universidade de Guarulhos*, v.2, p. 33-38.
- MELO, M. S. de; VINCENS, A.; TUCHOLKA, P. (1985). Contribuição à cronologia da Formação Itaquaquecetuba – SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 57, n. 1, p. 175-181.
- PURIQUIMA LABORATÓRIO DE ANÁLISES (2003) Classificação de material de assoreamento – Canal do rio Pinheiros e bota-fora.
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. São Paulo. 256p.

- RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. 1992. *Geologia da Bacia de São Paulo*. In: MESA REDONDA SOBRE ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, São Paulo. *Anais...* São Paulo, ABMS, 59p.
- SANT'ANNA, L. G. (1999) *Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do rift continental do Sudeste do Brasil*. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- SHEPPARD, F.P. (1954) Revised nomenclature for disposal coastal features. *Amer. Ass. Pet. Geol. Bull.*, Tulsa, 36 (10): 1902-1912.
- SOUZA SANTOS, P. de (1989) *Ciência e Tecnologia de Argilas*. Vol.1. Edgard Blücher, 2ºed. São Paulo. 408p.
- TAKIYA, H. (1991) *Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo*. São Paulo, 109 p. (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Ambrósio
07/11/07

Plotte
07.11.07

Paulo
07/11/07

ANEXO C

Dados para cálculo da retração e absorção de água do sedimento "fino, *in natura*"

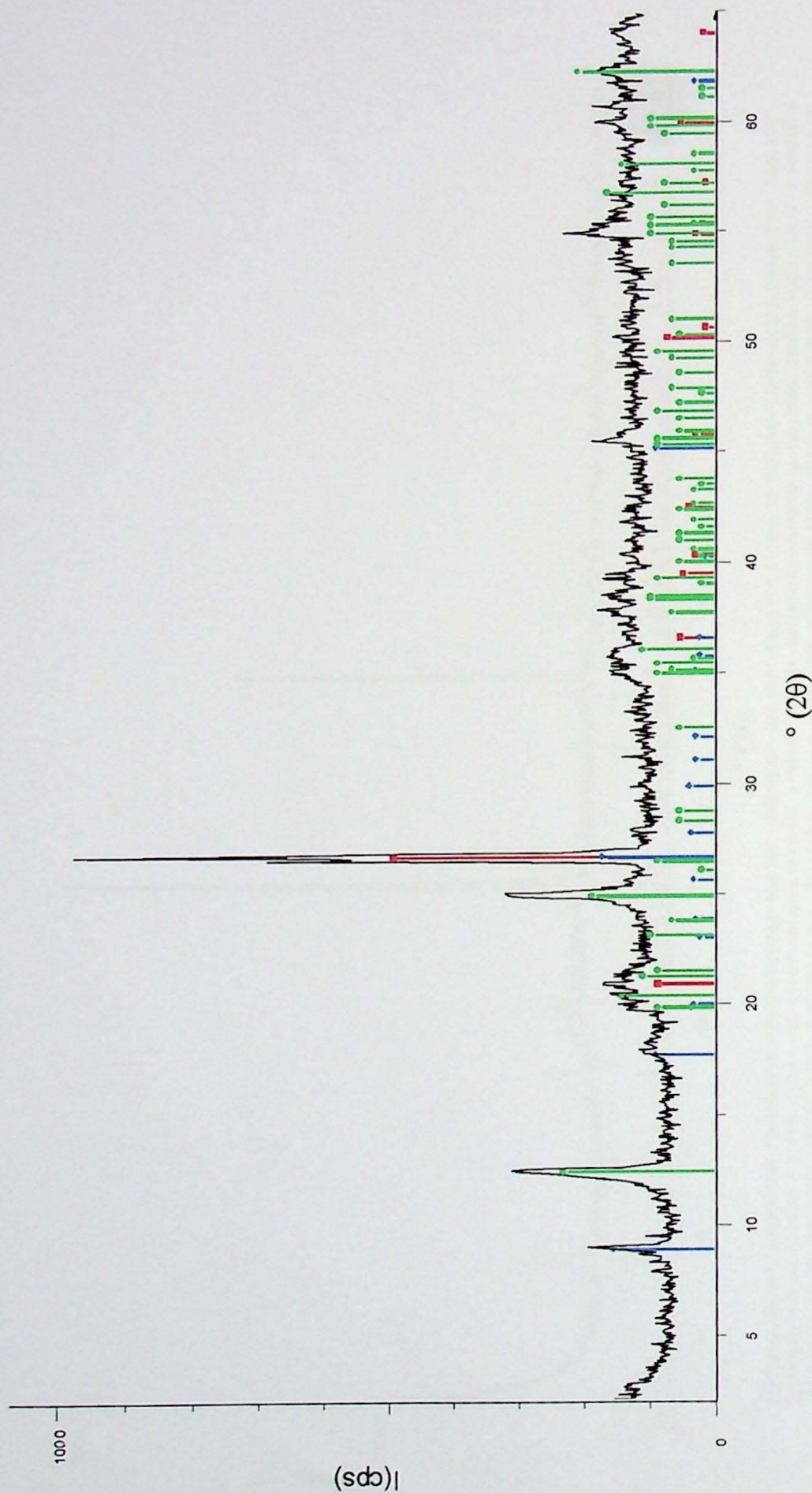
T° C	N°	MS(g)	MU(g)	R %	$R\% \bar{X}$	LS(cm)	LQ(cm)	A %	$A\% \bar{X}$
850°	1	6,36	8,21	0,65	0,57	6,14	6,1	29,09	29,68
850°	2	6,69	8,6	0,65		6,14	6,1	28,55	
850°	3	7,17	9,12	0,49		6,12	6,09	27,20	
850°	4	6,21	8,09	0,65		6,13	6,09	30,27	
850°	5			0,49		6,12	6,09		
950°	6	5,74	7,41	1,14	1,06	6,13	6,06	29,09	28,20
950°	7	6,13	7,95	0,98		6,12	6,06	29,69	
950°	8	6,15	7,9	0,98		6,12	6,06	28,46	
950°	9	6,08	7,74	0,98		6,12	6,06	27,30	
950°	10			0,98		6,12	6,06		
1050°	11	6,15	7,85	1,96	1,88	6,12	6	27,64	26,07
1050°	12	6,68	8,36	1,79		6,14	6,03	25,15	
1050°	13	5,96	7,42	1,95		6,14	6,02	24,50	
1050°	14	6,57	8,18	1,96		6,13	6,01	24,51	
1050°	15			1,79		6,14	6,03		
1150°	16	6,11	7,24	4,58	4,57	6,12	5,84	18,49	18,29
1150°	17	6,65	7,9	4,41		6,12	5,83	18,80	
1150°	18	6,93	8,2	4,73		6,13	5,84	18,33	
1150°	19	6,03	7,12	4,58		6,12	5,84	18,08	
1150°	20			4,56		6,14	5,86		
1250°	21	6,08	6,89	8,33	8,33	6,12	5,61	13,32	12,27
1250°	22	6,27	6,99	8,47		6,14	5,62	11,48	
1250°	23	6,08	6,76	8,47		6,14	5,62	11,18	
1250°	24	6,77	7,53	8,33		6,12	5,61	11,23	
1250°	25			8,33		6,12	5,61		

T° C = temperatura em graus Celsius; N° = número do corpo de prova; MS (g) = massa do corpo de prova seco, em gramas; MU (g) = massa do corpo de prova após queima, em gramas; R % = retração do corpo de prova em porcentagem; $R\bar{X}$ = retração média; LS(cm) = comprimento do corpo de prova seco, em centímetros; LQ(cm) = comprimento do corpo de prova queimado, em centímetros; A % = absorção de água, em porcentagem; $A\bar{X}$ = absorção média.

	850°C		950°C		1050°C		1150°C		1250°C	
Fórmula	R%	A%	R%	A%	R%	A%	R%	A%	R%	A%
"In Natura"	0,57	29,7	1,1	28,2	1,9	26,1	4,6	18,3	8,3	12,3
F1- E ₉₅ U ₅	1,6	28,3	1,9	27,8	2,8	25,4	4,9	19,4	8,6	12,1
F2- E ₉₀ U ₁₀	1,5	26,2	2,1	26,3	3,6	22,2	4,8	18,2	8,3	10,8
F3- E ₈₅ U ₁₅	1,1	25,7	1,7	25,7	3,1	22,3	4,7	17,3	7,7	9,9
F4- E ₈₀ U ₂₀	1,3	25,1	1,6	25,6	2,9	21,5	5,4	16,1	8	8,4
F5- E ₉₅ R ₅	1,8	26,5	2	28,3	3	24,5	5,7	18,5	9,5	9,4
F6- E ₉₀ R ₁₀	1,8	24,1	2,1	25,1	3,1	21,5	5,6	7	8,7	6,4
F7- E ₈₅ R ₁₅	1,8	23,5	2,6	23	3,3	20,5	6	4,7	8,5	5,3
F8- E ₈₀ R ₂₀	2,1	24,3	2	23,5	3,4	19,2	6,7	2,3	8	6,2
F9- E ₉₅ P ₅	1,7	24,8	1,4	26,9	3,3	22,3	5,1	8,1	8,2	11,4
F10- E ₉₀ P ₁₀	2	24,3	2	25	2,5	23,3	5,5	7,8	7,6	10,9
F11- E ₈₅ P ₁₅	1,8	24,2	2,3	24,4	2,6	23	5,7	16,7	8,3	9,4
F12- E ₈₀ P ₂₀	1,8	23,4	2	24,2	2,4	23	5,4	16,4	8	9,6

Dados para cálculo retração linear e absorção de água do sedimento silte-argiloso

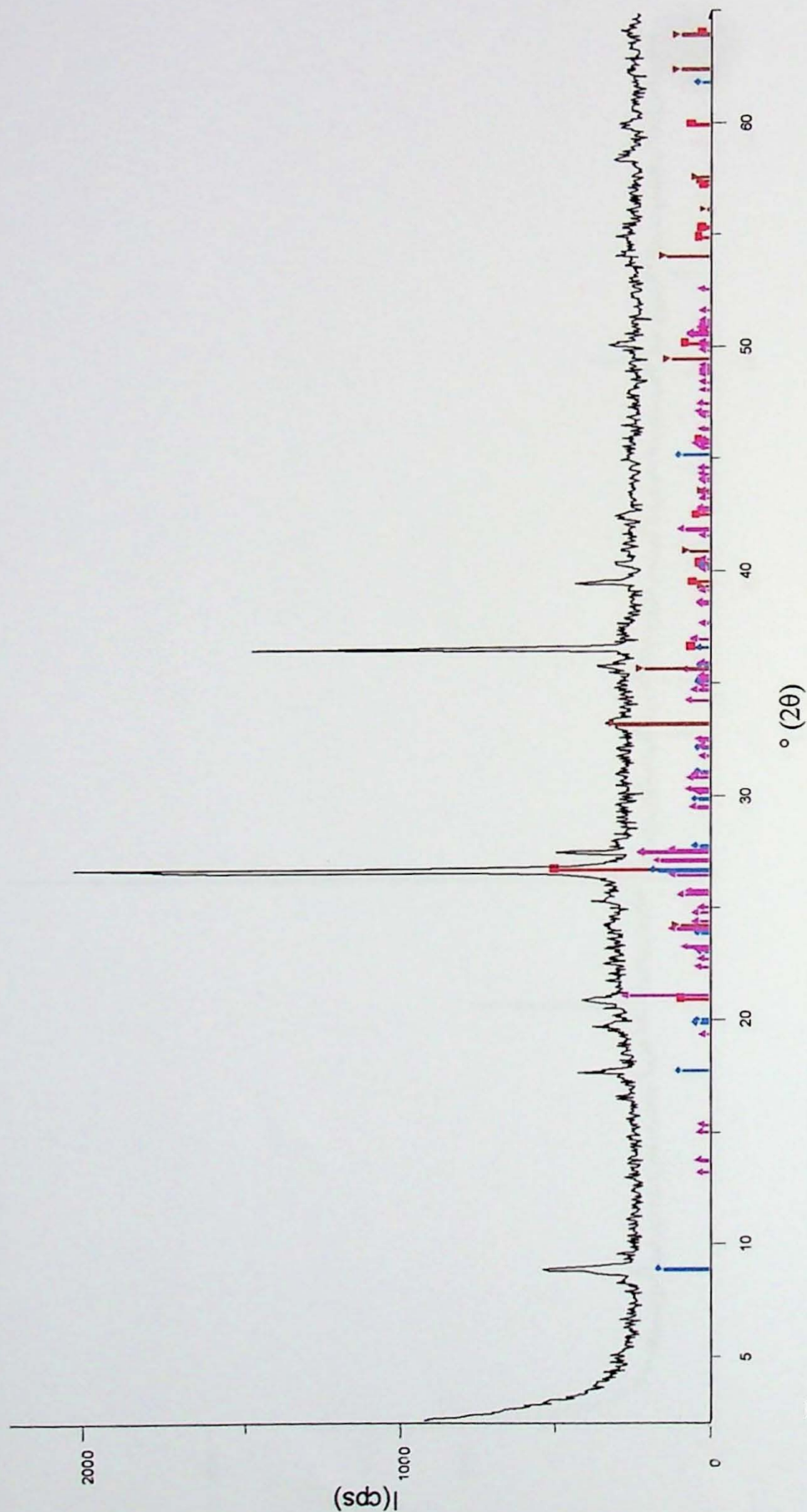
In Natura



■ C:\data\yushirodandre\luzlin_natura RAW - File: in_natura RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.00° - End: 65.00° - Step: 0.05° - Step time: 1. s - Temp.: 25°C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 2.00° - Theta
■ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 50.00% - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113 010 - Ilc P
◆ 28-0911 (l) - Illite-2M1 [NR] - $(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 16.67% - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 5.19 - b 9.00 - c 20.16 - alpha 90.000 - beta 95.18 - gamma 90.000 - Base-centred - C2k (15) - 4 - 9
● 14-0164 (l) - Kaolinite-1A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Y: 22.92% - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 5.155 - b 8.959 - c 7.407 - alpha 91.68 - beta 104.9 - gamma 89.94 - Base-centred - C1 (0) - 2 - 330 431 - Ilc PDF 1 -

Difratograma do sedimento "fino, in natura"

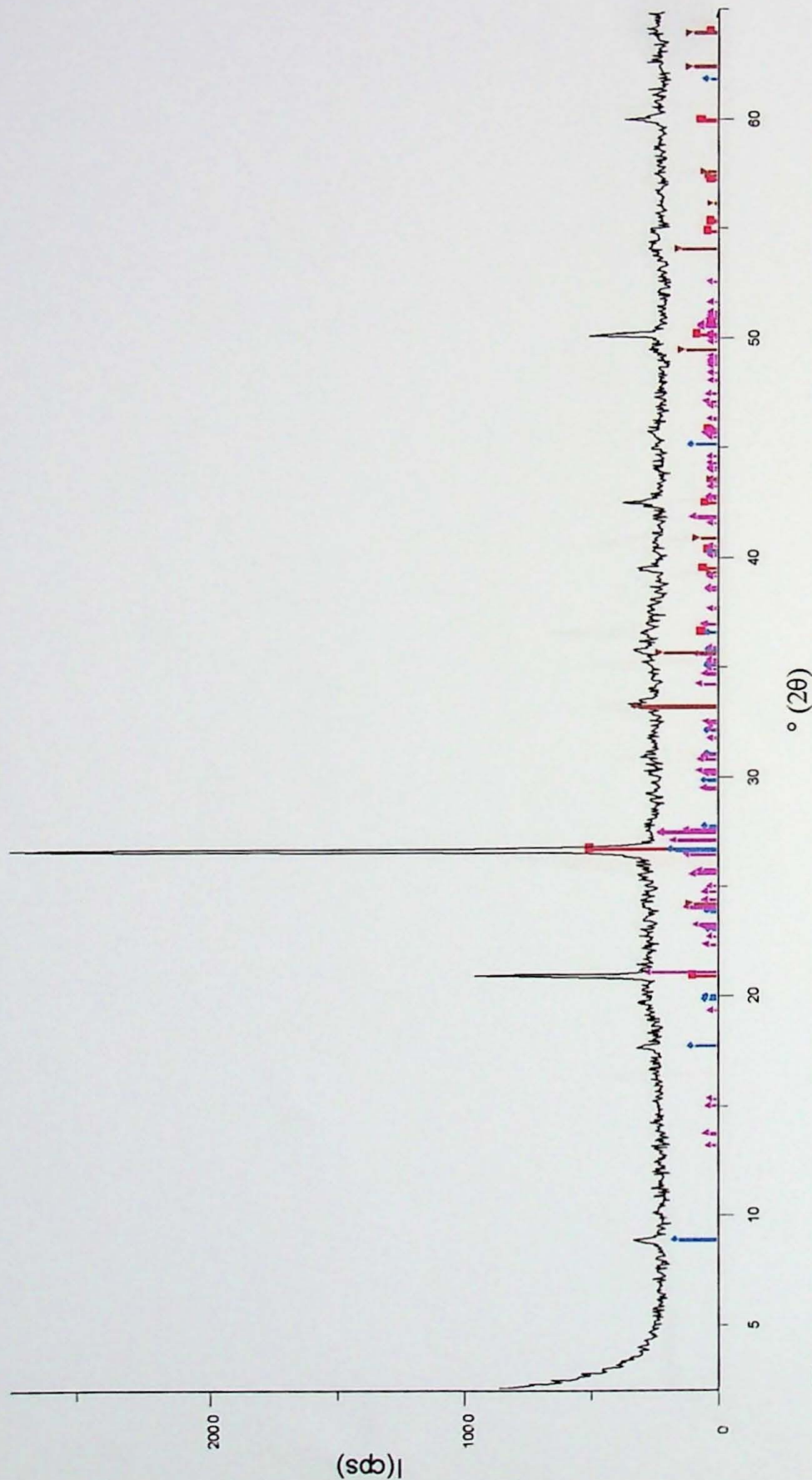
850°C



C:\data\yushiroandre\luz\850c\RAW - File: 850c\RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2:Theta: 2.00 ° - Theta: 1.00 ° -
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 24.04 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Mc P
 26-0911 (l) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 8.02 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 5.19 - b 9.00 - c 20.16 - alpha 90.000 - beta 96.18 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/c (15) - 4 - 93
 19-0928 (*) - Microcline, ordered - KAlSi₃O₈ - Y: 12.50 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8.581 - b 12.961 - c 7.223 - alpha 90.65 - beta 115.94 - gamma 87.63 - Base-centred - C-1 (0) - 4 - 721.758 - J/c PD
 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 14.58 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.0356 - b 5.0356 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 -

Difratograma do sedimento "fino" a 850°C

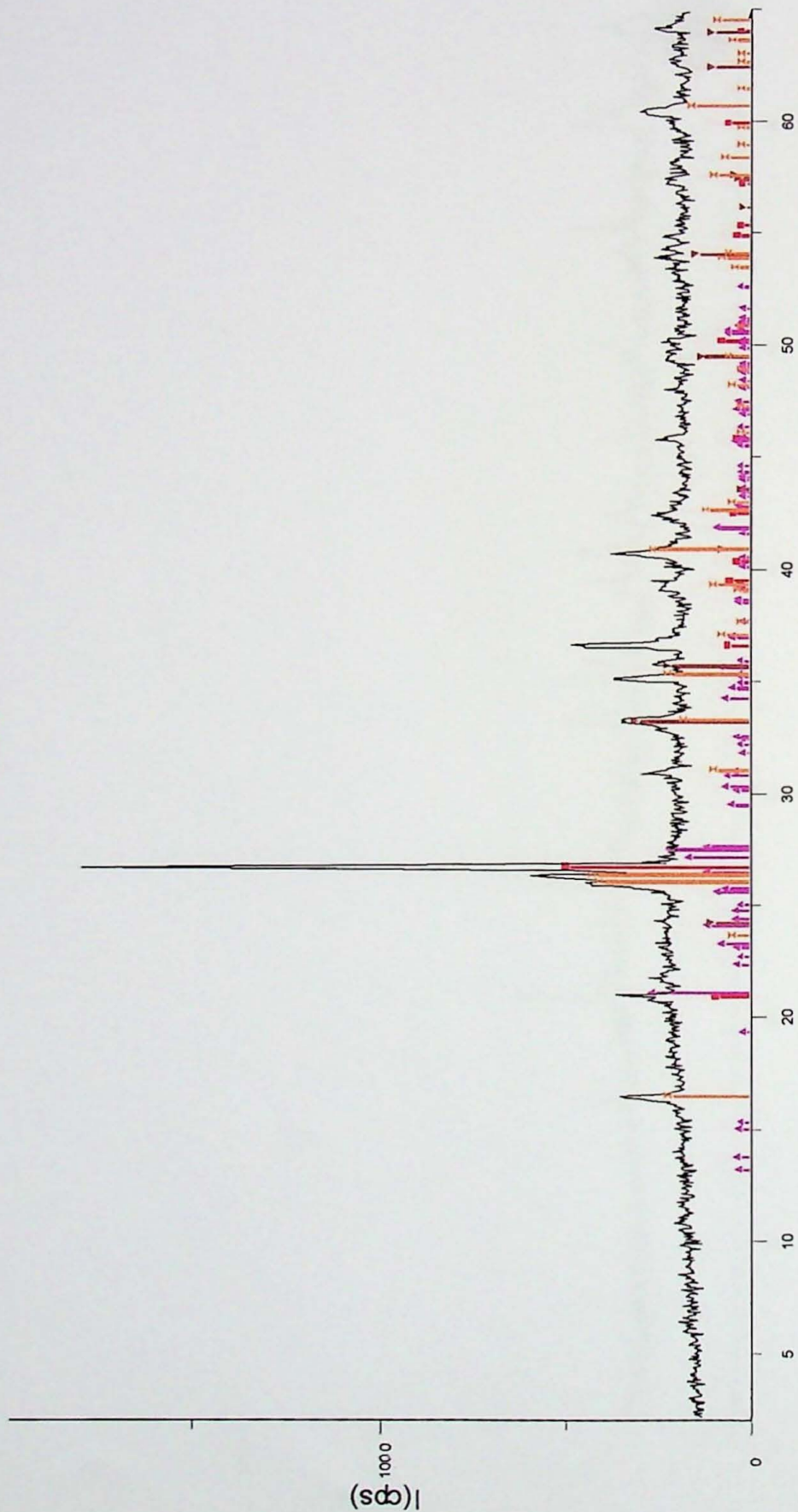
950°C



C:\data\ushiroandre\luz950c\RAW - File: 950c\RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 200 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 18 s - 2-Theta: 2.00 ° - Theta: 1.00 ° -
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 17.69 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc P
 26-0911 (0) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 5.90 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 5.19 - b 9.00 - c 20.16 - alpha 90.000 - beta 86.18 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/c (15) - 4 - 93
 19-0926 (*) - Microcline, ordered - KAlSi₃O₈ - Y: 9.20 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8.581 - b 12.961 - c 7.223 - alpha 90.65 - beta 115.94 - gamma 87.63 - Base-centred - C-1 (0) - 4 - 721.758 - Ilc PDF
 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 10.73 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.0356 - b 5.03560 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 -

Difratograma do sedimento "fino" a 950°C

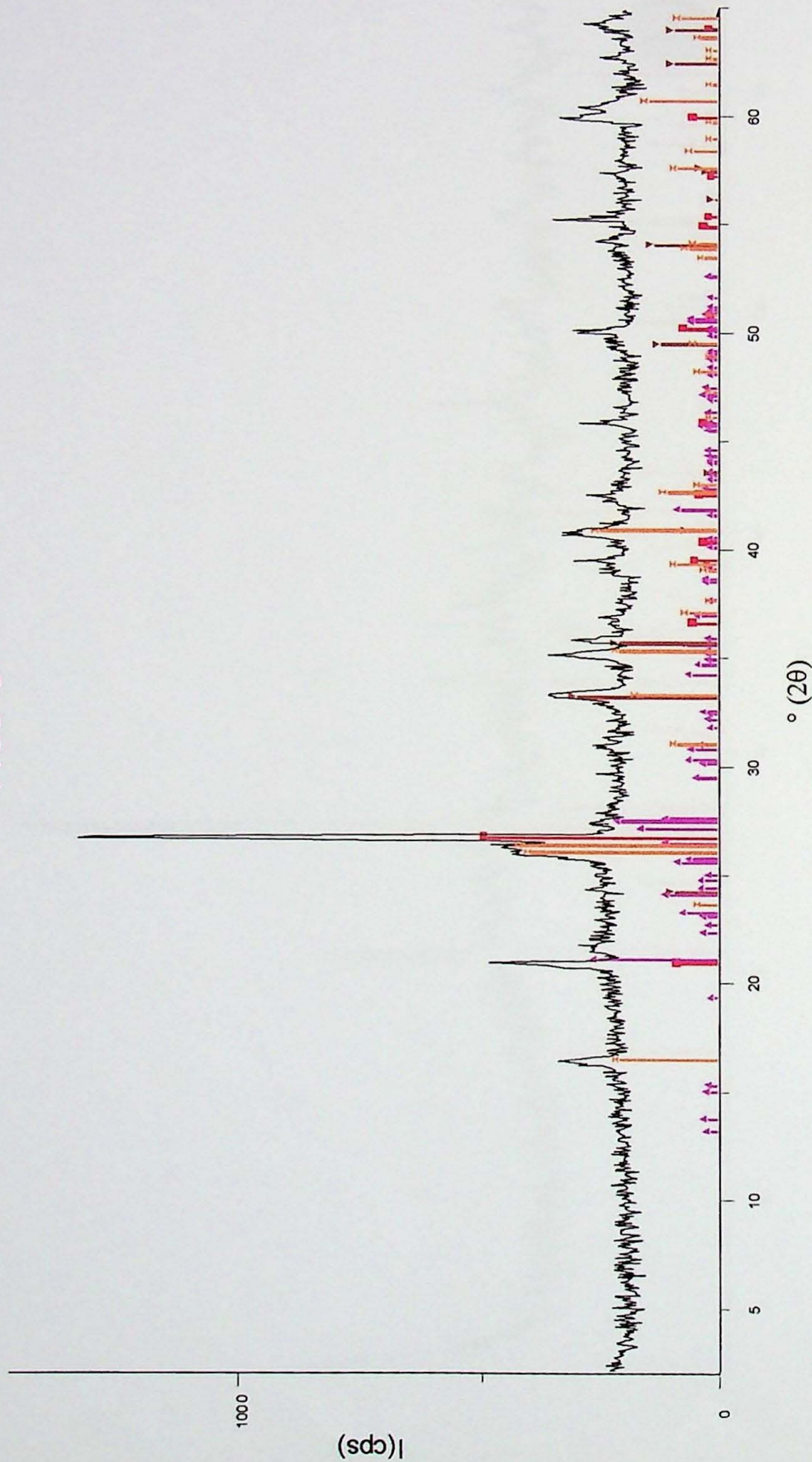
1050



C:\data\yushiroandre\luz11050c.RAW - File: 1050c.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2.Theta: 2.00 ° - Theta: 1.00
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 27.06 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc P
 19-0928 (*) - Microcline, ordered - KAlSi₃O₈ - Y: 14.07 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8.581 - b 12.961 - c 7.223 - alpha 90.65 - beta 115.94 - gamma 87.63 - Base-centred - C-1 (0) - 4 - 721.758 - Ilc PD
 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 16.41 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.0356 - b 5.03560 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 -
 15-0776 (l) - Mullite, syn - Al₆Si₂O₁₃ - Y: 22.92 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 7.5456 - b 7.6898 - c 2.8842 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pham (55) - 0.75 - 167.353 - V

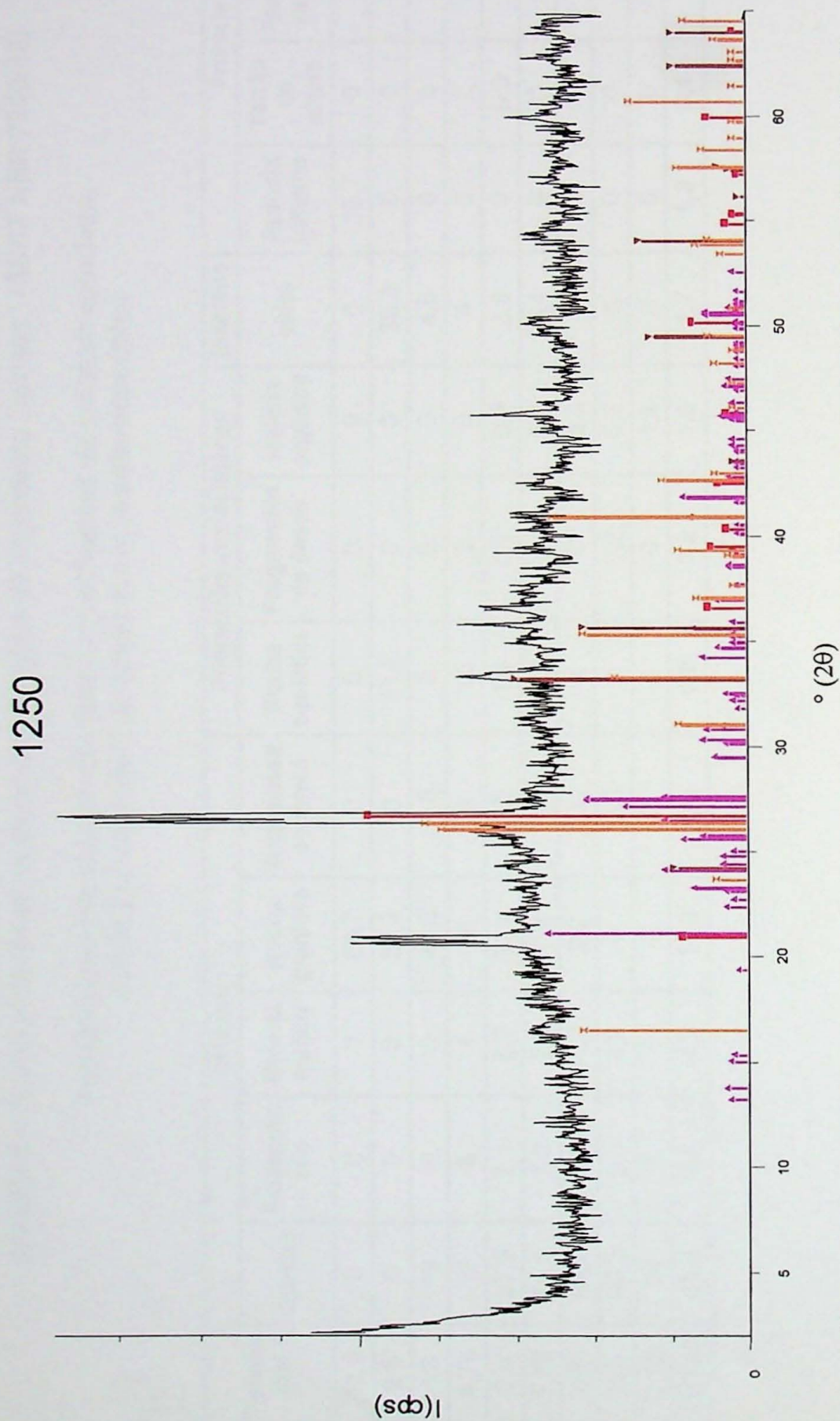
Difratograma do sedimento "fino" a 1050°C






1150°C



C:\data\yushro\andre luiz\1150c.RAW - File: 1150c.RAW - Type: 2ThTh locked - Start: 2.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2:Theta: 2.00 ° - Theta: 1.00
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 36.61 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ilc P
 19-0926 (*) - Microcline, ordered - KAIS308 - Y: 19.04 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8.581 - b 12.961 - c 7.223 - alpha 90.65 - beta 115.94 - gamma 87.63 - Base-centred - C-1 (0) - 4 - 721.758 - Ilc PD
 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 22.20 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.0356 - b 5.03560 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 -
 15-0776 (l) - Mullite, syn - Al₆Si₂O₁₃ - Y: 31.01 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 7.5456 - b 7.6898 - c 2.8842 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbam (55) - 0.75 - 167.353 - l

Difratograma do sedimento "fino" a 1150°C



 C:\data\yushiroandre\kuz1250c\RAW - File, 1250c\RAW - File, 2Th: 2.00 °, End: 65.00 °, Step time: 1 s, T: Temp: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2Th: 2.00 °, Theta: 1.00 °
 46-1045 (*) - Quartz, syn. - SiO₂ - Y: 55.10 % - d x by 1 - WL: 1.54056 - Hexagonal - a: 4.91344 - b: 4.91344 - c: 5.40524 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - P3221 (154) - z: 113.010 - I/c P
 19-0926 (*) - Microcline, ordered - KAlSi₃O₈ - Y: 28.66 % - d x by 1 - WL: 1.54056 - Triclinic - a: 8.581 - b: 12.961 - c: 7.223 - alpha: 90.65 - beta: 115.94 - gamma: 87.63 - Base-centred - C-1 (0) - z: 721.758 - I/c PD
 33-0664 (*) - Hematite, syn. - Fe₂O₃ - Y: 33.41 % - d x by 1 - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a: 0.5356 - b: 0.5356 - c: 73.7489 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - R-3c (167) - g: 301.928 - I/c R3
 05-0778 (f) - Mullite, syn. - Al₆Si₂O₁₃ - Y: 46.87 % - d x by 1 - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a: 7.5456 - b: 7.6898 - c: 2.8842 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 90.000 - Primitive - Pbam (55) - 0.75 - 167.353 - V

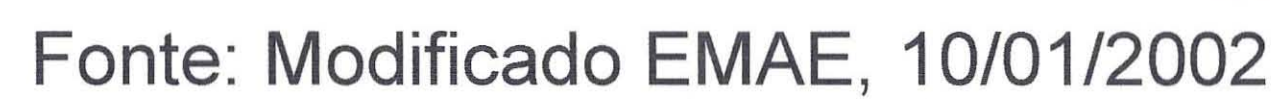
Difratograma do sedimento "fino" a 1250°C

ANEXO E – Resultados da apreciação petrográfica de sedimento "grosso" (ABNT NBR 7389/92)

Porcentagem em volume das fases constituintes da amostra estudada,
obtida por contagem de grãos em lupa estereoscópica

Peneira mm	Inócuos					Potencialmente deletérios			Deletério	Friáveis			
	Quartzo	Feldspato são	Mineral máfico	Rocha granítica	Argamassa concreto	Rocha basáltica	Fragmentos de ossos	Matéria orgânica		Ardósia folhelho	Torrão de argila	Fragmento de cerâmico	Mica
12,5	0	0	0	66,7	0	0	0	0	0	16,7	0	16,7	0
9,5	0	0	0	33,3	0	11,1	0	0	33,3	0	0	22,2	0
6,3	19	0	0	47,6	4,8	0	0	0	4,8	0	0	23,8	0
4,75	12	6	4	36	8	10	2	0	4	0	2	16	0
2,4	37,9	7,1	6,7	32,4	2,3	1,8	0,7	0,9	2,8	0	0,9	5,5	1,1
1,18	64,1	7,2	7,8	7,8	3,1	0,8	0	3,3	0,4	0	0	4,7	0,8
0,6	84,4	3,3	4,7	2,2	1	0	0	3,3	0	0	0	0,8	0,2
0,3	90,3	3,3	3,3	0	0,6	0	0,2	0,2	0	0	0	2,1	0
0,15	86	5	5	0	0	0	0	1,9	0	0	0	1	1,2
TOTAL	65,6	4,1	4,3	13,2	1,2	0,9	0,2	1,6	1,7	1,3	0,1	5,2	0,5

DOAÇÃO _____
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>05.08.08</i>

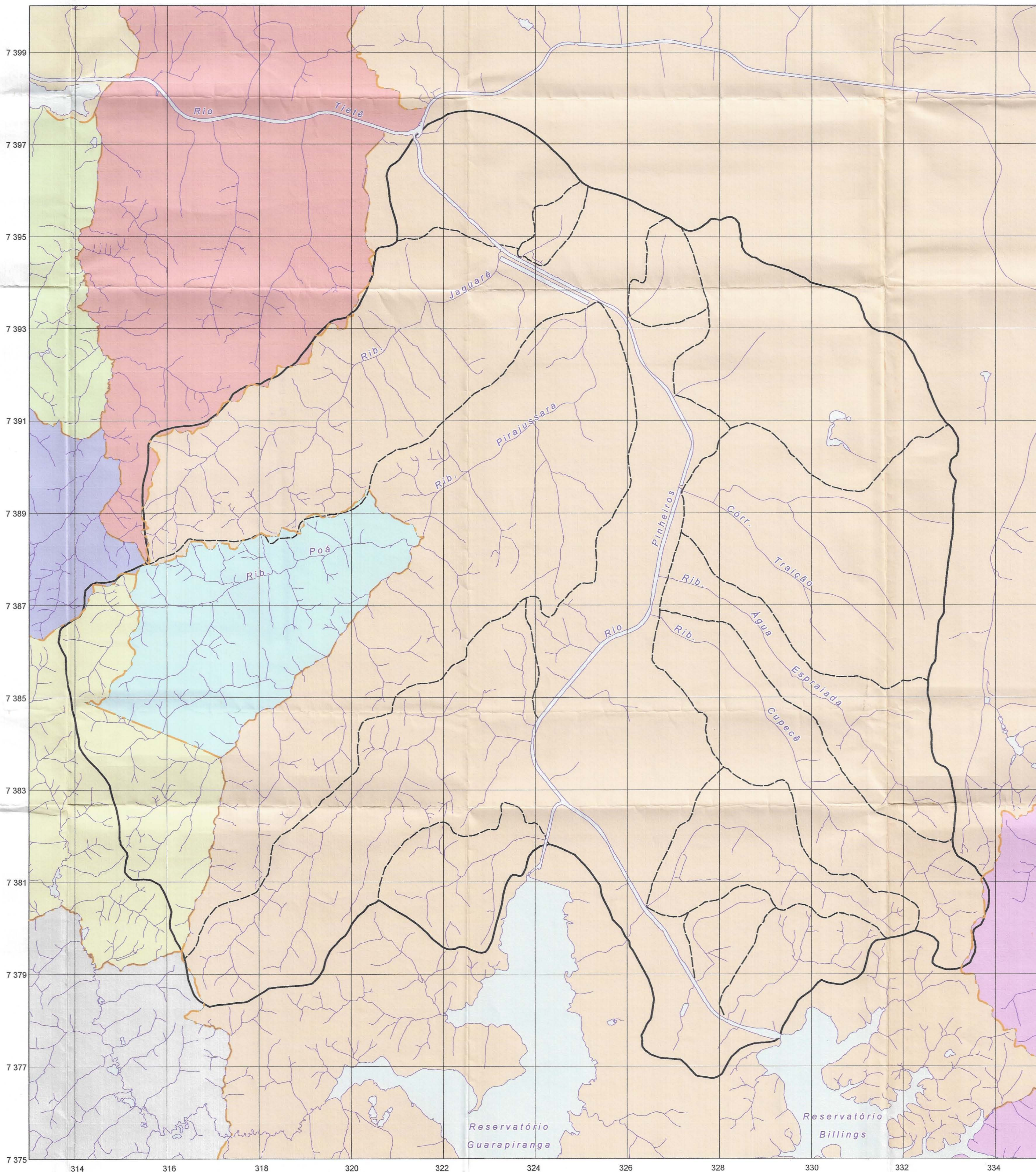




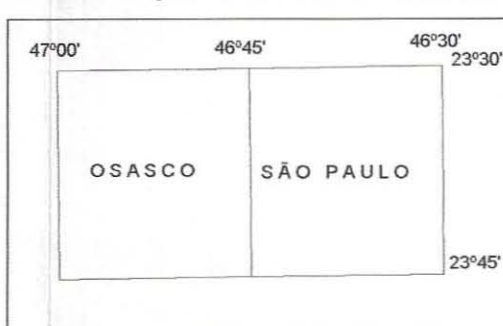
LEGENDA

- Barueri
- Carapicuíba
- Cotia
- Diadema
- Embu
- Itapequerica da Serra
- Osasco
- São Paulo
- Taboão da Serra

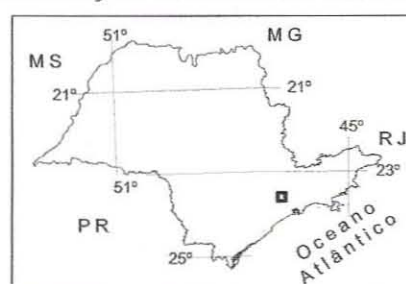
- Limite Municipal
- Limite de SubBacia
- Limite de Bacia



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS 1:50.000



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Escala 1 : 50.000
0 0.5 1 Km

ANEXO A - DIVISÃO POLÍTICA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO CANAL PINHEIROS

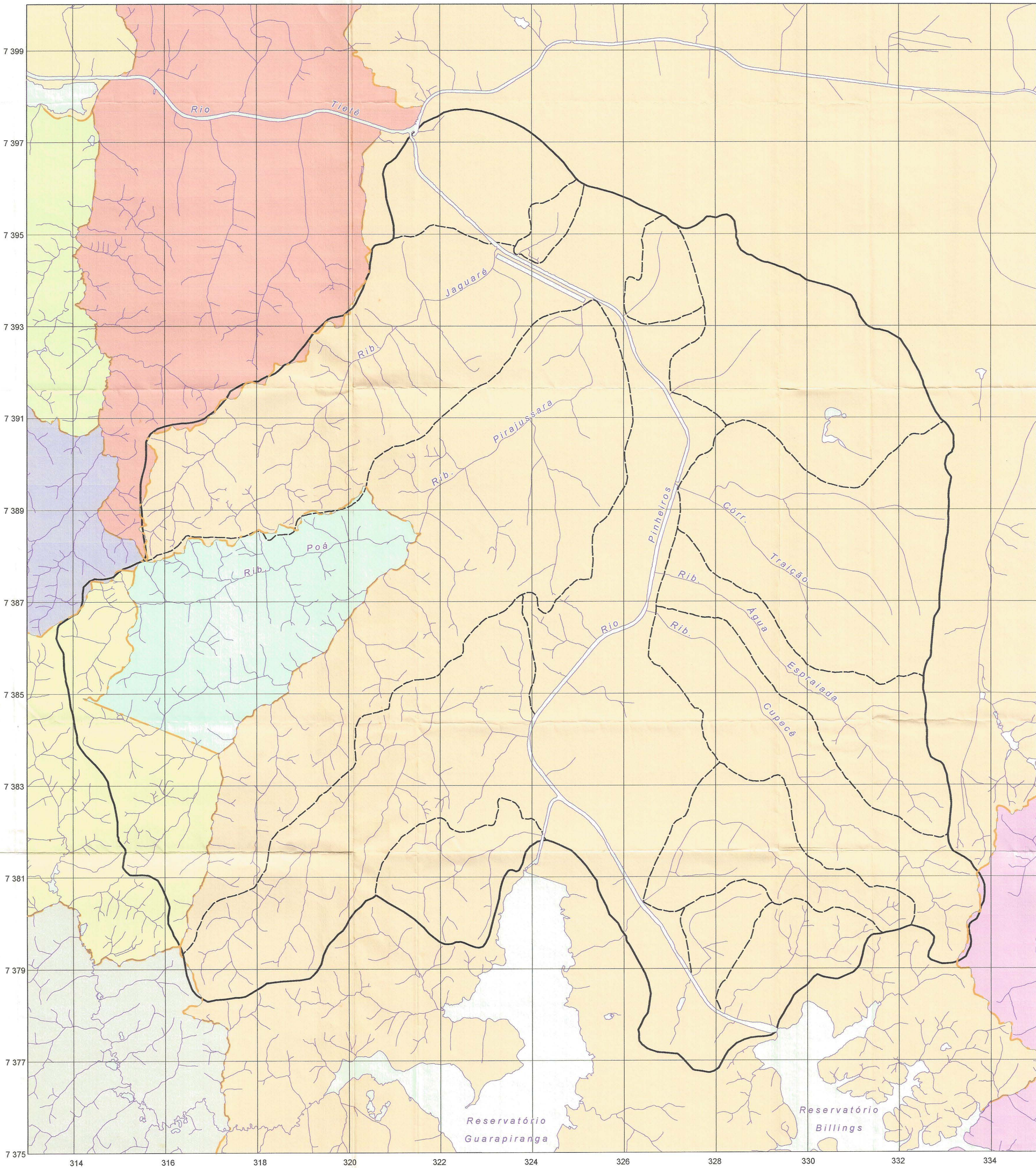
Fonte: Modificado de CORHI
(Comitê Organizador do Plano
Estadual de Recursos Hídricos)



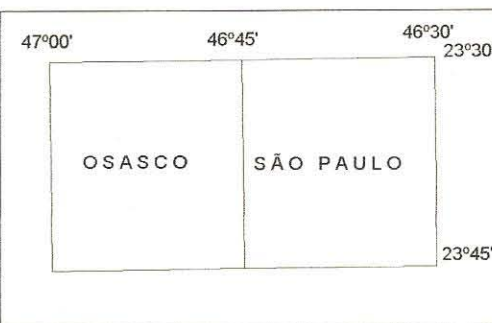
LEGENDA

- Barueri
- Carapicuíba
- Cotia
- Diadema
- Embu
- Itapeverica da Serra
- Osasco
- São Paulo
- Taboão da Serra

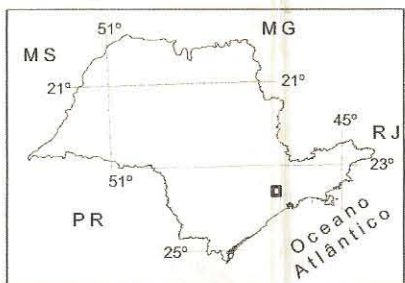
- Limite Municipal
- Limite de SubBacia
- Limite de Bacia



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS 1:50.000



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Escala 1 : 50.000
0 0.5 1 Km

ANEXO A - DIVISÃO POLÍTICA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO CANAL PINHEIROS
Fonte: Modificado de CORHI
(Comitê Organizador do Plano
Estadual de Recursos Hídricos)

