

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA  
FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM APIAÍ-SP

Luciano de Andrade Gobbo

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino  
Co-Orientador: Prof. Dr. Yushiro Kihara

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO  
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900002927

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA  
FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM APIAÍ-SP

Luciano de Andrade Gobbo

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino

Co-Orientador: Prof. Dr. Yushiro Kihara



Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO  
1998



TE  
G574  
LA.2

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AValiação TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA  
FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM APÍAI-SP

Luciano de Andrade Gobbo

Orientador: Prof. Dr. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino  
Co-Orientador: Prof. Dr. Yeshiro Kihara

Monografia de Trabalho de Formatura

São Paulo  
1998



## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. OBJETIVO .....	02
3. CLÍNQUER PORTLAND .....	02
3.1 Constituintes mineralógicos.....	03
3.2 Fatores que influenciam no processo de clínquerização .....	04
3.2.1 Influência da Composição Química .....	05
3.2.2 Influência da Composição Mineralógica .....	07
3.2.3 Influência da Distribuição Granulométrica .....	08
4. METODOLOGIA .....	09
4.1 Levantamento Bibliográfico .....	09
4.2 Trabalho de Campo e Amostragem .....	09
4.3 Avaliação Tecnológica da Matéria-prima .....	09
4.4 Ensaios de Aptidão à clínquerização .....	10
5. ÁREAS ESTUDADAS .....	11
5.1 Geologia .....	11
5.2 Fontes de matérias-primas estudadas .....	13
5.2.1 Depósito de calcário do Pirizal .....	15
5.2.1.1 Amostragem do depósito Pirizal .....	15
5.2.1.2 Características Químicas do depósito .....	15
5.2.1.3 Análises Estatísticas .....	18
5.2.2 Filito Pirizal .....	23
5.2.2.1 Composição Química .....	23
5.2.2.2 Composição Mineralógica .....	24
5.2.3 Depósito Vieira .....	31
5.2.3.1 Composição Química .....	31
5.2.3.2 Composição Mineralógica .....	32
5.2.4 Argila Coga .....	37
5.2.4.1 Composição Química .....	37
5.2.4.2 Composição Mineralógica .....	37
5.2.5 Depósito Taquarussu .....	40



6. ENSAIOS DE CLINQUERIZAÇÃO .....	41
6.1 Métodos de Ensaios .....	41
6.2 Seleção da Farinha .....	42
6.3 Ensaios Realizados .....	44
6.3.1 Estudos Químicos e Mineralógicos das Farinhas .....	44
6.3.2 'Pelets' sinterizados em laboratório .....	45
6.4 Resultados dos Ensaios .....	46
6.4.1 Cálculo do Índice de Queimabilidade .....	47
6.4.2 Características dos 'Pelets' .....	48
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

ANEXO 1 - Listagem das Análises Químicas em Furos de sondagem - Calcário Pirizal

ANEXO 2 - Ilustrações Fotográficas das áreas Vieira, Filito Pirizal, Coga e Taquarussu.

ANEXO 3 - Resultados de Distribuição mineralógica e granuloquímica - Vieira, Coga e Taquarussu.



## Resumo

O trabalho teve como objetivo principal a maximização do aproveitamento de diferentes matérias-primas para fabricação de cimento portland. O projeto foi financiado pela empresa Produtiva Geologia e Engenharia Mineral e pela Camargo Corrêa Industrial S.A..

Foram propostos estudos de quatro depósitos de matérias-primas inseridas no Grupo Açungui: calcário Pirizal, argila Coga, quartzito e mica xisto Vieira e calcário Taquarussu. Durante o desenvolvimento do projeto, inseriu-se o estudo do depósito de filito Pirizal. Foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento e amostragem. Os materiais foram avaliados tecnologicamente e, em seqüência, foram realizados ensaios de queimabilidade nos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Os depósitos de calcário e das outras matérias-primas foram avaliados tecnologicamente, buscando, a partir dos estudos iniciais, a seleção das matérias-primas mais adequadas para a confecção de farinhas experimentais.

O estudo do depósito de calcário Pirizal indicou a necessidade de uma lavra seletiva, devido à presença de níveis diferenciados quimicamente, sendo um calcítico e outro dolomítico silicoso.

Ensaio de clinquerização foram realizados com duas farinhas, sendo uma composta de quartzito e mica xisto e a outra composta do mesmo material, porém com adições de filito. Observou-se que o material com adição de filito apresentou maior facilidade de sinterização.



## **Abstract**

The study carried on aimed to the optimum use of different raw materials to the portland cement manufacture. The project was completely sponsored by Produtiva Geologia e Engenharia Mineral and Camargo Corrêa Industrial S. A..

Four deposits belonging to the Açungui Group were analysed: Pirizal limestone, Vieira mica schist and quartzite, Coga clay and Taquarussu limestone. Eventually Pirizal phyllite was also included. The work include field sampling and burnability test at the Associação Brasileira de Cimento Portland.

The limestone and the other raw materials were evaluated as to their technological properties in order to select those more adequate to compose experimental raw meals.

The Pirizal limestone deposit indicated the presence of alternate calcitic and dolomitic siliceous layers which for cement manufacture purposes would demand a selective mining.

Clinkerization tests were carried out in two raw meals, one composed of quartzite and mica schist, and the other composed of the same material added some phyllite. The latter showed an easier burnability.



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a algumas pessoas sem as quais esse trabalho não seria possível:

À orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lília Mascarenhas Sant'Agostino, pela dedicação e constante preocupação com seus orientandos;

Ao Prof. Dr. Yushiro Kihara, também orientador, agradeço pelo estímulo constante aos meus estudos e formação profissional;

À Produtiva Geologia e Engenharia Mineral, empresa financiadora deste trabalho, agradeço em especial aos engenheiros de minas Luis Antônio Pignatari e Tetsuo Yoshi, pela oportunidade de estagiar nesta empresa e pelo interesse em apoiar os trabalhos de formatura;

À empresa Camargo Corrêa Industrial, em especial ao engenheiro químico Seiiti Suzuki;

À Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em especial aos técnicos Flávio, Patrícia, Ricardo e Vanini, por terem me ajudado nas técnicas laboratoriais envolvidas no trabalho; aos geólogos Pecchio, Sérgio e Vagner pelas constantes contribuições para o amadurecimento do trabalho;

Ao Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT-EPUSP), especialmente ao Prof. Dr. Henrique Kahn;

Ao Prof. Gergely Szabó, pelas ajudas com a microscopia e pelo apoio junto a comissão de trabalho de formatura;

Ao geólogo e amigo Vagner Maríngolo pela leitura crítica do trabalho e pelo apoio desde a fase inicial do trabalho;

Ao IPT por ter permitido a confecção da monografia utilizando os equipamentos da empresa; aos amigos na empresa, em especial ao geólogo Chico Motta, por ter incentivado a realização deste trabalho;

Ao amigo geólogo Tarcísio José Montanheiro, pela permanente preocupação com minha formação profissional;

Aos amigos da faculdade, em especial a geóloga Gláucia Cucchierato e o geólogo Jorge Abujamra, o Abelha, pelas contribuições ao trabalho, e a todos os colegas que de alguma maneira ajudaram na elaboração deste trabalho, especialmente os meus amigos formandos.



## INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de calçados possui uma história rica e diversificada, marcada por um longo processo de desenvolvimento econômico e social. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a evolução da indústria de calçados no Brasil, desde os primeiros passos até os dias atuais, destacando os fatores que influenciaram seu crescimento e a importância que ela desempenha na economia nacional.

O estudo será dividido em capítulos que abordam a origem da indústria, o processo de industrialização, a concorrência internacional e as perspectivas futuras. A metodologia utilizada será a pesquisa bibliográfica, com base em fontes confiáveis e atualizadas.

O primeiro capítulo trata da origem da indústria de calçados no Brasil, destacando a influência da indústria europeia e a importância da mão de obra local. O segundo capítulo aborda o processo de industrialização, analisando os fatores que favoreceram o crescimento da indústria e a importância da tecnologia e da inovação. O terceiro capítulo trata da concorrência internacional, destacando a importância da qualidade e do preço para a competitividade da indústria brasileira.

O quarto capítulo trata da evolução da indústria de calçados no Brasil, destacando a importância da inovação e da qualidade para a competitividade da indústria. O quinto capítulo trata das perspectivas futuras da indústria, destacando a importância da inovação e da qualidade para a competitividade da indústria. O sexto capítulo trata da conclusão do trabalho, destacando a importância da indústria de calçados para a economia brasileira e a importância da inovação e da qualidade para a competitividade da indústria.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de contribuir para o conhecimento sobre a indústria de calçados no Brasil e para a tomada de decisões estratégicas por parte dos gestores da indústria. Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente aos meus familiares e amigos.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente aos meus familiares e amigos. Agradeço também aos professores e colegas que me ajudaram ao longo do processo de desenvolvimento deste trabalho.

Dedico este trabalho aos meus maiores  
amigos e incentivadores: meu pai, José  
Carlos; minha mãe, Irani; e meus irmãos  
Junior e Beto



## 1. INTRODUÇÃO

A unidade industrial de cimento portland, onde o estudo foi realizado, localiza-se no município de Apiaí, região sul do Estado de São Paulo, no Vale do Rio Ribeira, sendo de propriedade do grupo Camargo Corrêa Industrial.

O trabalho teve como objetivo principal a maximização do aproveitamento dos depósitos de diferentes matérias-primas para a fabricação de cimento portland.

O processo industrial de fabricação do cimento portland é uma operação complexa que envolve desde a extração das matérias-primas, sua preparação e processo térmico. O produto desse processo de sinterização é denominado clínquer portland, que, moído e com adições, dá origem ao cimento portland.

A região de Apiaí é geologicamente constituída por metassedimentos do Grupo Açungui. Os trabalhos foram iniciados no depósito de calcário denominado Pirizal. O depósito se desenvolve num corpo carbonático heterogêneo constituído principalmente por carbonatos impuros. Em seguida, foram realizados estudos nos depósitos de quartzito e mica xisto do Vieira, no filito do capeamento do depósito do Pirizal, no depósito de argila da decomposição do granito Coga e, no depósito de calcário calcítico Taquarussu.

Devido a questões econômicas, a adequação da mistura crua, a farinha, foi feita preferencialmente por composição com matérias-primas locais ou disponíveis nas proximidades da fábrica de cimento.

O projeto foi integrado com a equipe técnica da Produtiva Geologia e Engenharia Mineral, empresa responsável pela atividade de mineração do grupo Camargo Corrêa Industrial.



## **2. OBJETIVO**

A mina de calcário que vem sendo lavrada atualmente encontra-se à distância de 10,4 km da unidade industrial, sendo o material minerado transportado por teleférico. Visando à redução de custos, a empresa produtora de cimento portland tem interesse na utilização de matérias-primas locais, próximas à fábrica.

O trabalho realizado teve como objetivo principal a maximização do aproveitamento do depósito de calcário e matérias-primas utilizadas na produção de cimento portland, dispostos nas proximidades da fábrica.

A partir do estudo realizado, foram propostas algumas misturas elaboradas com as matérias-primas disponíveis. Dentre estas, foi determinada a farinha mais propícia à produção de clínquer, utilizando-se ensaios laboratoriais de aptidão à clinquerização.

## **3. CLÍNQUER PORTLAND**

O clínquer de cimento portland é o material sinterizado e peletizado resultante da calcinação até aproximadamente 1.450°C de uma mistura adequada de calcário e argila e eventualmente de componentes corretivos de natureza silicosa, aluminosa ou mesmo ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura dentro dos limites específicos (KIHARA et alii, 1990).

Industrialmente, o processo de fabricação do clínquer portland consiste na extração e britagem das matérias-primas, seguindo-se a preparação adequada da mistura crua (farinha), com posterior queima por volta de 1.450°C em forno rotativo. O clínquer portland é o produto desse processo de sinterização. Quando finamente moído e misturado em proporções adequadas de sulfato de cálcio (gesso) e outras adições, dá origem ao cimento portland. A Figura 1, extraída de YAMAMOTO et alii (1997), apresenta um esquema simplificado da fabricação do clínquer portland.



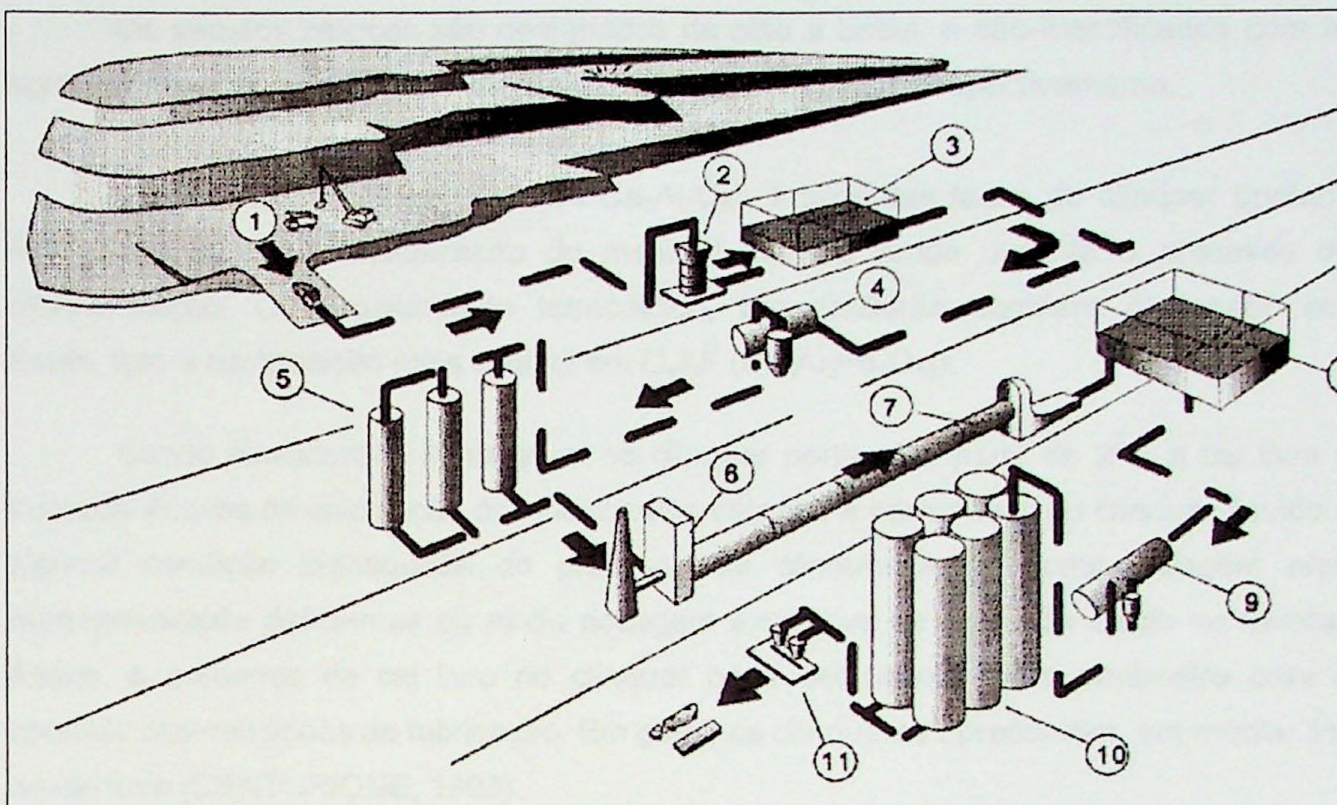


Figura 1 - Esquema simplificado da fabricação de cimento Portland: 1) jazida; 2) britador; 3) depósito de matéria-prima; 4) moinho; 5) silos de matéria-prima; 6) pré-aquecedor; 7) forno rotativo; 8) depósito de clínquer e gesso; 9) moinho de clínquer e material aditivo; 10) silos de cimento; 11) ensacamento. Fonte: Yamamoto *et alli* (1997).

### 3.1 Constituintes mineralógicos

Os constituintes mineralógicos do clínquer portland podem ser subdivididos em três grupos distintos:

- os silicatos cálcicos, que normalmente são cristais bem formados, gerados nas últimas etapas do processo de clinquerização, não sofrendo fusão durante sua formação;
- a fase intersticial, correspondente à fase fundida à temperatura de clinquerização, onde os silicatos se cristalizam, é constituída por aluminatos e ferroaluminatos cálcicos;
- o terceiro grupo corresponde a alguns componentes menos freqüentes como periclásio ( $MgO$ ) e cal livre ( $CaO$ ).



Os silicatos cálcicos são designados de alita e belita, e são identificados com as abreviaturas clássicas  $C_3S$  (ou  $Ca_3SiO_5$ ) e  $C_2S$  (ou  $Ca_2SiO_4$ ), respectivamente.

O aluminato tricálcico,  $C_3A$  (ou  $Ca_3Al_2O_6$ ), é uma das fases do clínquer portland formada a partir da cristalização do material que se funde durante o processo de clinquerização. O ferroaluminato tetracálcico, brownmillerita, também designado por ferrita, tem a composição mais estável em  $C_4AF$  ( $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ ).

Sendo considerada indesejável no clínquer portland a partir de 2%, a cal livre é formada através da calcinação dos carbonatos cálcicos e permanece no clínquer devido a alguma condição inadequada do processo de clinquerização, como moagem e/ou homogeneidade deficientes ou ainda dosagem excessiva de óxido de cálcio na farinha. Assim, a presença de cal livre no clínquer pode ser usada como parâmetro para o controle das condições de fabricação. Em geral, os clínqueres apresentam, em média, 1% de cal livre (CENTURIONE, 1993).

O periclásio ( $MgO$ ) só aparece como fase mineralógica em clínqueres ricos em  $MgO$ , produzidos a partir de calcários magnesianos. Quando presente na farinha, o óxido de magnésio participa na formação da fase líquida, entrando em solução sólida nas diferentes fases do clínquer já descritas, principalmente na alita, em substituição ao óxido de cálcio. Se o teor de  $MgO$  for superior a 2%, aproximadamente, então o material excedente será cristalizado sob a forma de periclásio (CENTURIONE, 1993).

### **3.2 Fatores que influenciam o processo de clinquerização**

Com alguns parâmetros químicos, é possível controlar o quimismo de uma farinha e, por sua vez, manter a produção do clínquer a mais homogênea possível, viabilizando o processo de fabricação e, principalmente, possibilitando atingir uma determinada composição mineralógica do clínquer que atenda aos requisitos de qualidade.

A natureza mineralógica das partículas afeta grandemente a reatividade e o comportamento durante a queima. Verifica-se, nesse sentido, que grãos de calcários maiores que  $125\mu m$  e grãos quartzosos superiores a  $45\mu m$  não são perfeitamente assimilados durante as reações de clinquerização. Além de incrementar o consumo energético, esse fato tem implicações negativas na moabilidade do clínquer.



### 3.2.1 Influência da Composição Química

A farinha de clínquer portland tem seu estudo baseado nos seguintes óxidos fundamentais:  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que são representados genericamente pelos símbolos C, S, A e F respectivamente. Outros componentes secundários também são encontrados ( $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , íons  $\text{F}^-$  e  $\text{Cl}^-$  entre outros) em diferentes proporções.

A estimativa da composição da matéria-prima é feita com base nos conteúdos de  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que estão combinados de acordo com as seguintes razões químicas:

$$\text{FSC} = 100 \text{ CaO} / (2,8 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{MS} = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{MA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$$

em que FSC é o fator de Saturação de Cal; MS é o Módulo de Sílica e MA é o Módulo de Alumínio.

Segundo KIHARA et alii (1983), a escolha de um FSC tecnicamente adequado e economicamente vantajoso representa um compromisso entre a seleção e preparação das matérias-primas disponíveis no local da unidade produtora e um clínquer dentro da composição projetada, com pouca cal livre e um consumo mínimo de combustível. GOUDA (1977) verificou que a elevação de 1% do conteúdo de  $\text{CaCO}_3$  em uma farinha pode resultar num aumento de 14,2% do teor de alita e reduzir 11,6% do teor de belita, tendo efeito na qualidade do cimento e no processo de queimabilidade. O mesmo autor considerou o valor de 94% como sendo razoável para o FSC. SHÄFER (1987) verificou que o intervalo ótimo para o FSC está entre 88 e 98%.

O Módulo de Sílica corresponde a uma relação empírica que governa as proporções dos silicatos cálcicos do clínquer em relação aos componentes da fase intersticial. Quanto mais elevado for o MS, maior será o conteúdo de alita e belita, menor o conteúdo de fase líquida para uma dada temperatura e maior a temperatura máxima de queima (LONG, 1982). DUDA (1977, apud CENTURIONE, 1993) afirma que os valores de MS variam normalmente entre 1,9 e 3,2, sendo os mais comuns entre 2,2 e 2,6.



Na Figura 2, é ilustrado o efeito do módulo de sílica na temperatura de clinquerização de uma farinha (GOUDA, 1977).

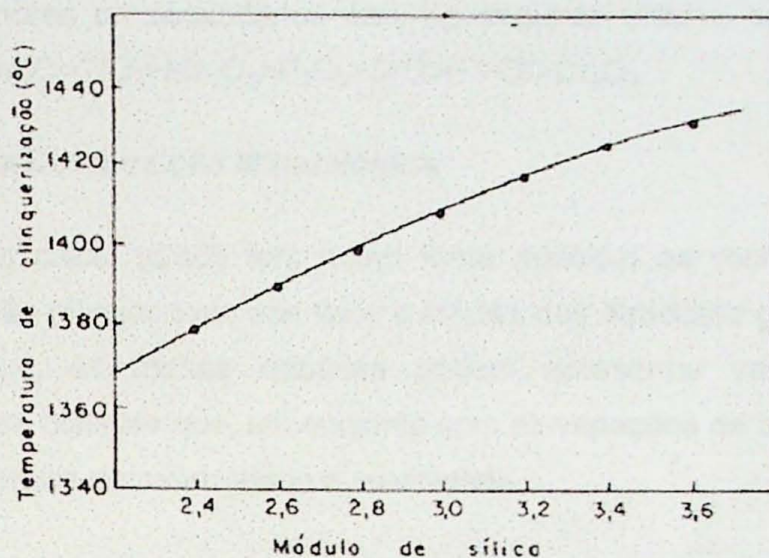


Figura 2 - Influência do módulo de sílica na temperatura de clinquerização (GOUDA, 1977).

Também denominado de módulo de fundente, o Módulo de Alumina controla a composição e viscosidade, com grande influência na temperatura de clinquerização e no processo de granulação do clínquer (KIHARA et alii, 1983). Considerando-se uma farinha com MA 1,63, todo o conteúdo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entra em fusão quando o material atinge temperaturas baixas, por volta de  $1300^\circ\text{C}$  (CENTURIONE, 1993). A Figura 3 ilustra a influência do MA na temperatura de clinquerização de uma farinha (GOUDA 1977).

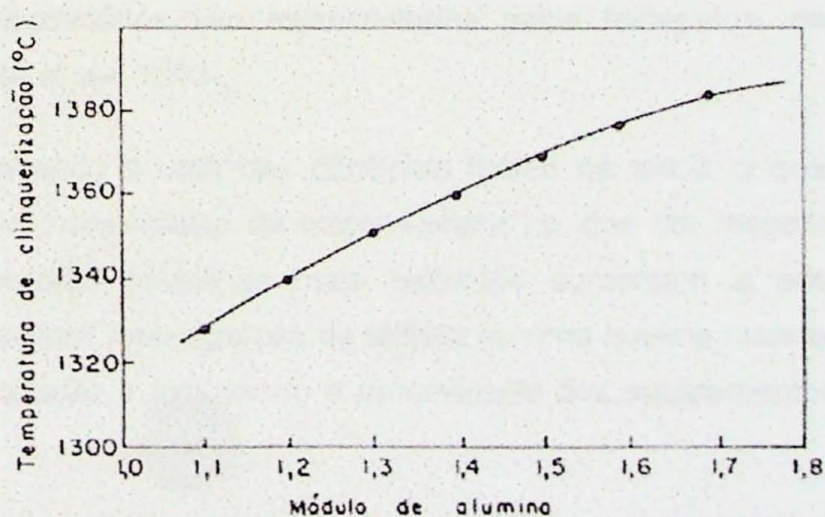


Figura 3 - Influência do módulo de alumina na temperatura de clinquerização (GOUDA, 1977)



Secundariamente aos quatro óxidos principais que participam do processo de fabricação do clínquer, ocorrem outros elementos originários dos diversos minerais que compõem a farinha. Segundo SANTAMARIA (1982, apud CENTURIONE, 1993) os componentes menores ou secundários são, na seguinte ordem; os mais importantes:  $\text{MgO} > \text{K}_2\text{O} > \text{SO}_3 > \text{Na}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{Mn}_2\text{O}_3 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{SrO} > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Cr}_2\text{O}_3$ .

### **3.2.2 Influência da Composição Mineralógica**

O óxido de cálcio (CaO) tem como fonte principal as rochas calcárias, cujas características estão relacionadas aos tipos e idades dos depósitos geológicos. Segundo sua origem e tipo, as rochas calcárias podem apresentar variações texturais e composicionais bem distintas que, em conjunto com as variações de composição química, condicionam diferenças de moabilidade e reatividade.

Segundo KIHARA et alii (1983) os calcários metamórficos mais antigos podem apresentar-se mais cristalizados, com granulações mais grossas, maior porcentagem de resíduos insolúveis e menor moabilidade que os calcários sedimentares, freqüentemente mais puros, mais friáveis e de granulação mais fina. Dependendo de sua composição mineralógica, as margas podem constituir uma farinha natural para a fabricação de clínqueres portland. Calcários dolomíticos não são indicados para a indústria de cimento, a não ser que o teor de MgO seja “diluído” em processo de mistura com calcário calcítico.

Os argilominerais e o quartzo compreendem as principais fontes de óxido de silício. Fontes secundárias são representadas pelos feldspatos, micas, anfibólios e piroxênio (KIHARA et alii, 1983).

Correspondendo a uma das principais fontes de sílica, o quartzo é também o componente mais problemático da matéria-prima no que diz respeito à moagem e à reatividade. Estruturas cristalinas mais fechadas aumentam a entalpia de reação, forçando uma moagem mais rigorosa da farinha ou uma queima mais enérgica, elevando os custos de produção e diminuindo a durabilidade dos equipamentos (CENTURIONE, 1993).

Propriedades decorrentes da composição e estrutura cristalina mais aberta fazem dos argilominerais importante fonte não apenas de sílica como também de alumínio para o clínquer. Os principais argilominerais são a caulinita, a illita, a clorita e a montmorilonita.



Minerais como os feldspatos, os piroxênios, os anfibólios e as micas podem estar presentes na matéria-prima e constituem fontes secundárias de sílica.

O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), provém principalmente de argilominerais, gibbisita e, secundariamente, de feldspatos, micas e silicatos ferro-magnesianos.

O óxido de ferro tem como fonte principal os minerais do grupo dos óxidos e hidróxidos de ferro, tais como a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a goethita ( $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ ) e a limonita ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Os argilominerais, como as cloritas e montmorilonitas e os silicatos ferromagnesianos (biotita, anfibólio e piroxênios), podem também constituir fontes secundárias de ferro (KIHARA et alii, 1983).

### **3.2.3 Influência da Distribuição Granulométrica**

A finura ideal de uma farinha é de grande importância para que os constituintes da matéria-prima possam reagir adequadamente no processo de clínquerização.

A finura dos grãos quartzosos e de calcita, principais constituintes da farinha, são de importância decisiva nesse contexto, visto que os argilominerais não apresentam esse problema. A quantidade de grãos grossos na farinha depende do tipo de matéria-prima utilizada (Centurione, 1993). Grãos de quartzo e calcita não devem ultrapassar diâmetros de  $44\mu\text{m}$  e  $125\mu\text{m}$ , respectivamente.



## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

O levantamento bibliográfico foi realizado junto as bibliotecas da Universidade de São Paulo e da Associação Brasileira de Cimento Portland, onde os seguintes assuntos foram direcionados:

- geologia local e regional;
- processo de fabricação do clínquer portland;
- aptidão a clinquerização de farinhas de clínquer portland, e;
- metodologia experimental

### **4.2 Trabalho de Campo e Amostragem**

As áreas de estudo abrangidas pelo trabalho de formatura correspondem aos depósitos requeridos pela Camargo Corrêa Industrial S.A, na cidade de Apiaí. A área apresenta um depósito de calcário com teores variáveis, denominado de Pirizal, depósitos de mica-xisto e quartzito decompostos (Vieira), depósito de filito do Pirizal, depósitos de argila (Coga), e um depósito de calcário calcítico, denominado de Taquarussu.

No trabalho de campo foi feito o reconhecimento das áreas abordadas e amostragem dos materiais para encaminhamento aos laboratórios.

### **4.3 Avaliação Tecnológica da Matéria Prima**

A caracterização da matéria-prima é de fundamental importância para a composição de farinhas idealmente balanceadas.

As análises químicas por fluorescência de raios-X, mineralogia por difratometria de raios-X, microscopia eletrônica com elétrons retro-espalhados (MEV) e com microanálises qualitativas (EDS), foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT-EPUSP). Nos laboratórios da unidade industrial foram realizadas análises químicas por via úmida e por fluorescência de raios-X. Com as amostras de filito foram feitas análises mineralógicas por difratometria de raios-X no laboratório do Instituto de Geociências (DMP).



Amostras de calcários composicionalmente distintos e amostras de quartzitos, mica-xisto, argila e filito foram submetidos aos ensaios de caracterização química, por fluorescência de raios-X e alguns por via úmida, e mineralógica, por difratometria de raios-X, foram executadas as atividades indicadas a seguir:

- análise química da amostra tal qual com determinações de CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, SrO, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, S<sup>-</sup>;
- moagem da amostra, em moinho de laboratório, classificação granulométrica do produto de moagem, e análise química por faixa, e;
- determinação da composição mineralógica, com identificação e estimativa das proporções minerais, segundo as mesmas faixas granulométricas.

#### **4.4 Ensaios de aptidão a Clinquerização**

A aptidão a clinquerização consiste na maior ou menor capacidade que uma farinha tem de se transformar num clínquer de boa qualidade, dentro de condições técnico-econômicas viáveis. Os principais fatores que afetam a aptidão a clinquerização de farinhas são as composições química e mineralógica e a granulometria.

Em vista da dificuldade de reproduzir em laboratório a complexidade industrial, tem-se procurado desenvolver ensaios que permitam qualificar as farinhas de melhor desempenho. Foi proposta a elaboração de farinhas compostas a partir de matérias-primas diferentes respeitando os valores de módulos de saturação exigidos.

Utilizando-se as farinhas compostas em laboratório, foram realizados de ensaios de determinação de grãos grossos de quartzo e calcário. Esta determinação baseia-se em ensaios de peneiramento, seguidos por dissoluções com ácido clorídrico e mesagem dos resíduos.

Para ser feito a avaliação de queimabilidade da farinha, foram confeccionados 'pelets' a partir das farinhas selecionadas. Após a calcinação destes às temperaturas de 1.350, 1.400, 1.450 e 1.500°C, determinaram-se os conteúdos de cal livre residual para se calcular o índice de queimabilidade da farinha. Quanto maior este índice, mais difícil de queimar é a farinha. Os ensaios de caracterização das farinhas, de queimabilidade e de caracterização dos 'pelets' foram realizados nos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).



## 5. ÁREAS ESTUDADAS

Embora o projeto de trabalho de formatura tenha sido dirigido a questões tecnológicas e atividades laboratoriais, faz parte desta investigação a confiabilidade nas amostras estudadas, envolvendo questões de amostragem.

Para uma amostragem adequada visando questões tecnológicas, foi fundamental o conhecimento da geologia, o acompanhamento da pesquisa mineral realizada nas áreas em estudo, bem como o entendimento do processo de fabricação de cimento.

Além disso, foi de suma importância a interação com o processo produtivo para a avaliação da interferência das características da matéria-prima na qualidade do clínquer.

### 5.1 Geologia

O cinturão Dobrado Ribeira (Almeida et al. 1973, *apud* Mello 1995), exposto no sudeste paulista e no nordeste paranaense, mostra constituição geológica bastante variada e complexa, envolvendo unidades distribuídas em intervalo cronoestratigráfico que vai do Arqueano ao Cenozóico (Figura 4).

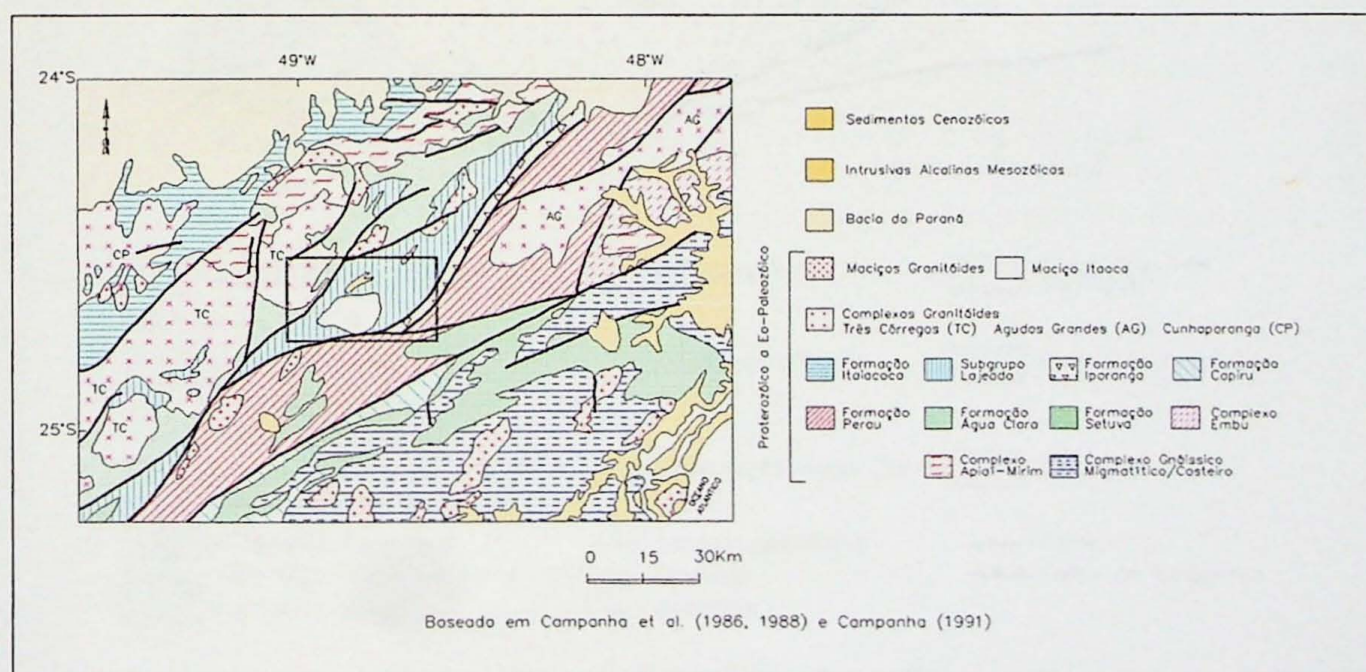


Figura 4 - Esboço da Geologia do Vale do Ribeira



No entanto, predominam no Cinturão Ribeira unidades litoestruturais do embasamento pré-cambriano a eopaleozóico, representado por unidades basais constituídas por núcleos de alto grau metamórfico e terrenos gnáissico-granitóides, faixas metavulcanossedimentares, algumas intrusivas básicas metamorfasadas e corpos granitóides diversos.

A geologia regional é completada por rochas fanerozóicas da Bacia do Paraná, intrusivas e extrusivas básicas, intrusivas alcalinas e alcalino-carbonatíticas, mesozóicas e coberturas sedimentares cenozóicas.

Segundo Mello (1995), a área em que se encontram os depósitos em estudo, podem ser enquadradas no contexto geológico do Subgrupo Lajeado (Figura 5).

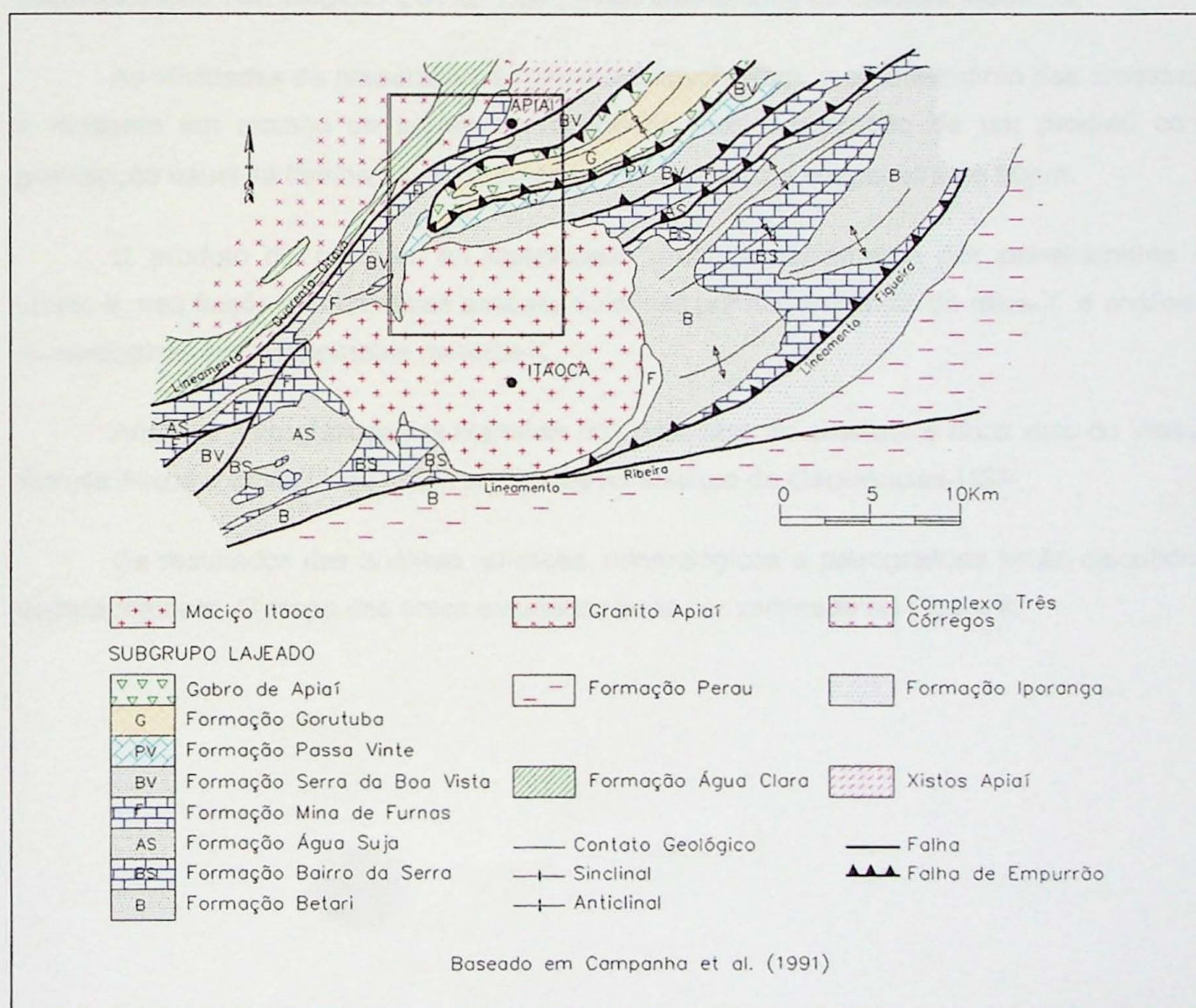


Figura 5 - Geologia simplificada da região de Apiaí



## 5.2 Fontes de matérias-primas estudadas

Diferentes fontes de matérias-primas foram amostradas. Essas matérias-primas devem ser utilizadas para a confecção da farinha de clínquer portland, buscando atingir os módulos químicos necessários para a produção de clínquer, ou como material aditivo.

As amostragens foram feitas em depósitos distintos: depósito de calcário Pirizal, depósito de mica-xisto e quartzito Vieira, depósito de filito Pirizal, depósito de argila Coga e depósito de calcário Taquarussu.

As amostras dos diferentes materiais foram preparadas ao Laboratório de Caracterização Tecnológica - LCT-EPUSP, e nos laboratórios da unidade industrial.

As atividades de preparação de amostras envolveram o quarteamento das amostras e moagem em moinho de barras de laboratório, até a obtenção de um produto com granulação usual da farinha, ou seja, cerca de 90% passante em peneira de 90 $\mu$ m.

O produto de moagem foi classificado granulometricamente por peneiramento a úmido e, nas frações, foram feitas análises químicas por fluorescência de raios-X, e análises mineralógicas por difratometria de raios-X.

Análises petrográficas dos materiais dos depósitos de quartzito e mica xisto do Vieira, filito do Pirizal e argila Coga foram realizadas no Instituto de Geociências-USP.

Os resultados das análises químicas, mineralógicas e petrográficas serão discutidos separadamente. O mapa das áreas estudadas pode ser verificado na Figura 6.



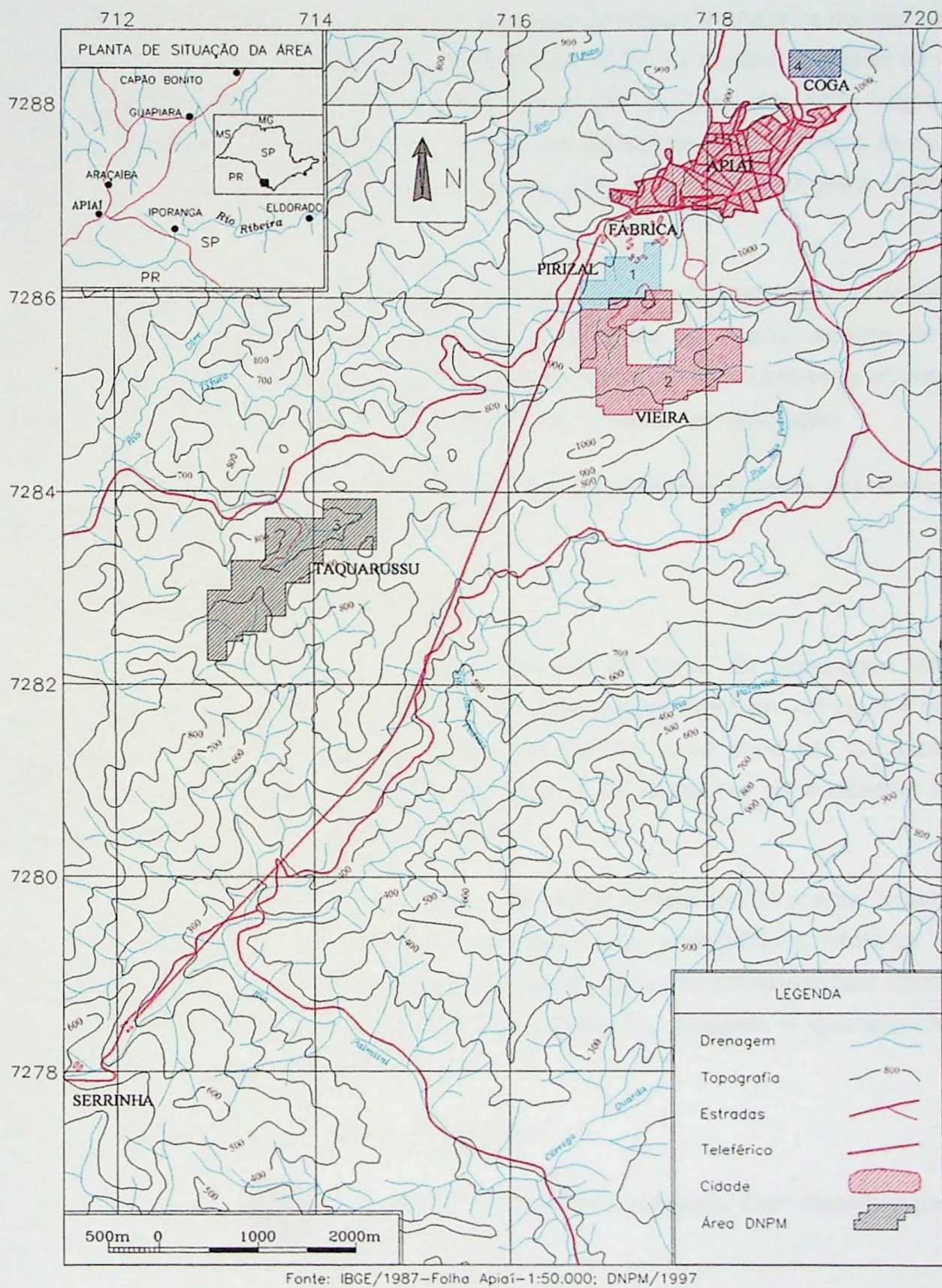


Figura 6 - Mapa de localização das áreas estudadas.



### 5.2.1 Depósito de Calcário do Pirizal

O depósito Pirizal está localizado a sudoeste da cidade de Apiaí, a poucos metros da unidade industrial da Camargo Corrêa Industrial (CCI). O acesso à cidade de Apiaí tem início pela rodovia Castello Branco até o município de Sorocaba, onde segue pela SP-270 até o município de Itapetininga. Partindo-se de Itapetininga, o acesso se dá pela rodovia SP-127 até Capão Bonito, e em seguida, pela rodovia SP-250 até a cidade de Apiaí (Figura 6).

A unidade industrial vem, desde o início de sua produção, fazendo uso do minério carbonático da jazida Serrinha, localizada no município de Itaoca. Apesar da boa qualidade do minério carbonático presente nesta jazida, o seu transporte através de teleférico vem se constituindo num fator econômico de grande preocupação.

Localizado a cerca de 500m a sul da fábrica de cimento, a jazida apresenta área de aproximadamente 20 hectares (200mil m<sup>2</sup>).

#### 5.2.1.1 Amostragem do Depósito Pirizal

A pesquisa mineral foi realizada através de furos de sondagem rotativa convencional, com malha de espaçamento de aproximadamente 50m. A Figura 4 mostra a planta topográfica do depósito do Pirizal em detalhe. Nela pode ser visualizada a distribuição dos pontos de amostragem em planta. As atividades de sondagem foram realizadas pela Geotrend Serviços Geológicos.

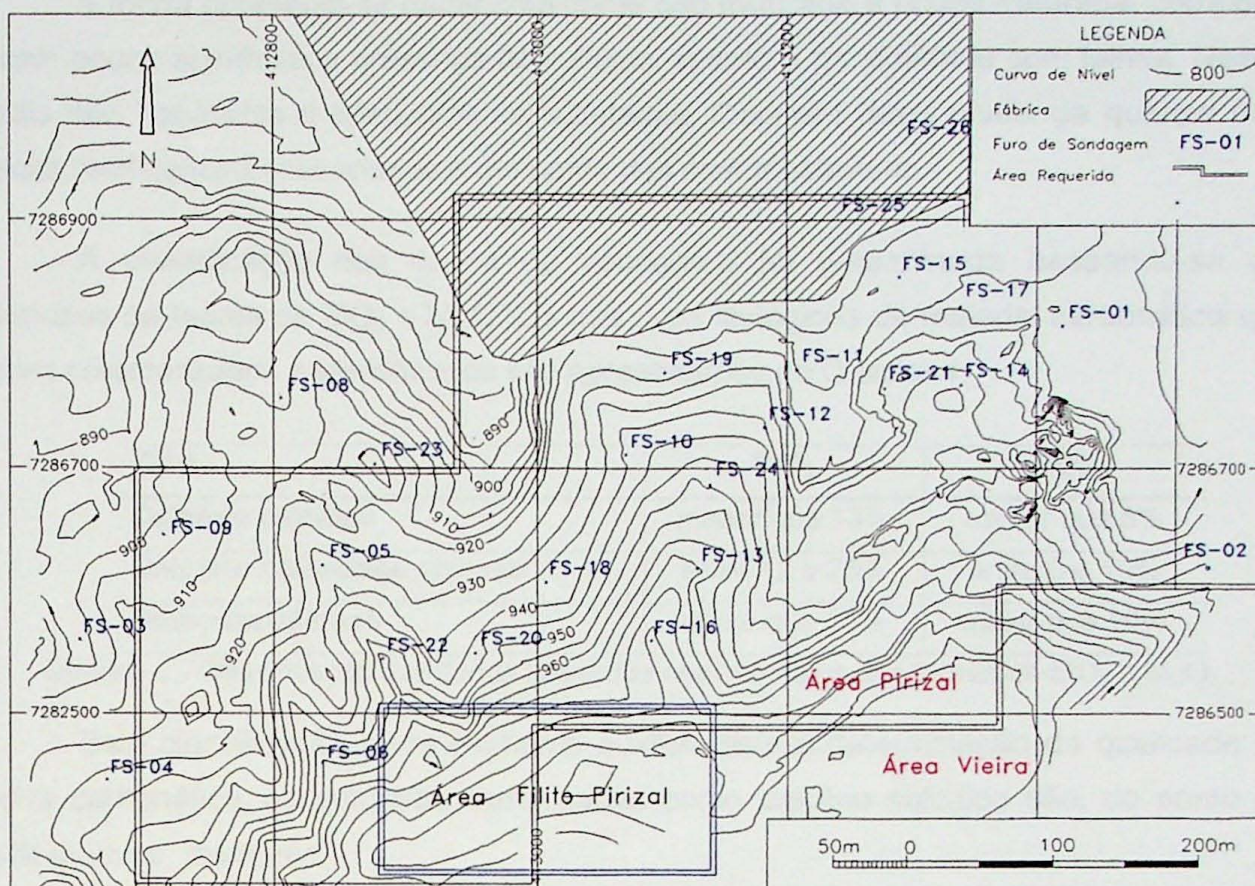
A perfuração realizada com diâmetro NW e BW, foi feita em 26 pontos, totalizando aproximadamente 2.900m de sondagem. Os furos tiveram profundidade média de 110m, com amostragem do material a cada 5m de intervalo, por corte do testemunho utilizando-se bisel. O material amostrado foi preparado (britagem, moagem e quarteamento) e analisado no laboratório da fábrica.

#### 5.2.1.2 Características Químicas do Depósito

As análises químicas foram feitas com a rocha *in natura*, com determinações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O.

Os resultados obtidos foram listados, e em seguida, separados em três litologias distintas, de acordo com a ordem dos teores obtidos para o SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO e MgO (vide Anexo 1).





Fonte: TOPLAN – Topografia e Planejamento – Pirizal – 1998

Figura 7 - Mapa do depósito Pirizal.

As amostras disponíveis para ensaios tecnológicos referem-se à contraparte das enviadas para análise química, e, portanto, se constituem em material representativo de intervalos de 5m de profundidade.

Para a caracterização litológica dos carbonatos e do capeamento do depósito Pirizal, foram considerados os dados de afloramentos e de testemunhos de sondagem. Litologicamente, a rocha carbonática apresenta uma estrutura bandada em superfície e subsuperfície, predominando uma estrutura maciça em profundidade. O bandamento é dado pela alternância de camadas decimétricas de diferentes tipos de calcário; em profundidade predomina o calcário dolomítico silicoso.

A textura do calcário é homogênea, de granulometria fina, apresenta coloração cinza-claro para dolomitos silicosos, cinza para calcários dolomíticos silicosos e cinza-escuro para calcários calcíticos.



A rocha apresenta-se predominantemente não fraturada a pouco fraturada, compacta e com pouca significativa presença de sulfetos, exceto à proximidade com falhas. Nestes locais são fraturadas e relativamente sulfetadas. Ocorrem raros níveis de quartzo com calcita recristalizada associados e concordantes com a estrutura.

A classificação dos dados de sondagem foi determinada baseando-se em intervalos de teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$ . Os três tipos litológicos de material carbonático que foram caracterizados e identificados são apresentados no Quadro 1.

<b>Tipo</b>	<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	<b><math>\text{MgO}</math></b>
<b>Calcário calcítico</b>	menor que 13%	menor que 5%
<b>Calcário dolomítico silicoso</b>	entre 12 e 25%	entre 5 e 10%
<b>Dolomito silicoso</b>	maior que 25%	maior que 10%

Quadro 1 - Classificação dos dados baseados nos intervalos dos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$ .

Esta classificação é um elemento auxiliar para a determinação da qualidade da rocha carbonática, as amostras classificadas como calcário calcítico são, do ponto de vista químico, melhores.

Os resultados obtidos permitem estimar que tais tipos de rochas carbonáticas encontram-se espacialmente distribuídas em níveis ou camadas com forte correlação estrutural.

A camada de capa está representada por quartzo mica xisto, com estrutura acamadada, textura com granulometria variando de fina a média, coloração ocre em superfície e subsuperfície e, em profundidade, apresenta-se pulverulento, com cor preta.

O padrão estrutural da área é anticlinorial, com eixo longitudinal de direção N60E, coincidindo, em campo, com a linha de afloramentos de rocha dolomítica silicosa ao longo do espigão do depósito do Pirizal.

A classificação litoquímica das sondagens dividiu o material amostrado em quatro grandes grupos conforme identificado no Quadro 2.

<b>Tipo</b>	<b>Classificação</b>
I	Camada de capa
II	Calcário Calcítico
III	Calcário Dolomítico Silicoso
IV	Dolomito Silicoso

Quadro 2 - Classificação litoquímica utilizada nos resultados das sondagens.



A classificação baseada nas características químicas das amostras, considerando-se os teores de CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>, foi utilizada na apresentação de perfis verticais de ilustração do depósito (Figura 8 e 9).

Para a realização de análises estatísticas foi considerado o calcário calcítico e o calcário dolomítico silicoso. Os teores considerados na modelagem apresentam-se no Quadro 3.

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Calcário calcítico	CaO > 35% e MgO < 7%
Calcário dolomítico silicoso	CaO < 35% ou MgO > 7%

Quadro 3 - Teores considerados no tratamento estatístico.

A classificação por níveis diferencia o calcário dolomítico ou silicoso que aparece diretamente sob o capeamento e a camada do mesmo litotipo que aparece imediatamente abaixo da primeira camada de calcário calcítico. Do mesmo modo, individualiza as duas camadas de calcário calcítico que normalmente aparecem nos perfis de sondagem.

Deve ser ressaltado que quando ocorrem trechos curtos de um determinado litotipo em um nível de predominância de outro, engloba-se o primeiro no nível predominante.

Devido à complexidade inerente ao depósito, principalmente face às dimensões das camadas e à dificuldade de sua modelagem individual, optou-se pelo enfoque conjunto dos tipos litológicos identificados como calcário dolomítico silicoso e dolomito silicoso. O litotipo resultante foi então denominado "calcário dolomítico silicoso", em função de sua predominância.

### 5.2.1.3 Análises Estatísticas

Através de análises estatísticas envolvendo a população amostral, pode-se observar os resultados químicos médios e desvio-padrão das amostras de sondagem, como é verificado no Quadro 4.

	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
<b>Média dos teores (%)</b>	37,77	5,98	16,91	1,70	1,47	0,49	0,46	0,54
<b>Desvio Padrão (%)</b>	11,42	3,76	12,89	2,76	1,72	0,39	0,30	0,50

Quadro 4 - Resultados químicos médios de toda população amostral.



A análise estatística envolvendo os subconjuntos formados por todas as amostras classificadas segundo os litotipos utilizados na modelagem, sugere aproveitamento dos horizontes, considerando lavra seletiva.

Os resultados obtidos, em termos de teores químicos e variabilidade (desvio-padrão) dos litotipos, são apresentados nos Quadros 5 e 6.

<b>Calcário Calcítico</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
<b>Média dos teores (%)</b>	41,95	4,96	12,66	1,94	0,96	0,44	0,38	0,51
<b>Desvio Padrão (%)</b>	5,44	2,17	6,51	0,66	0,47	0,33	0,19	0,50

Quadro 5 - Teores médios e desvio-padrão do calcário calcítico.

<b>Calcário Dolomítico Silicoso</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
<b>Média dos teores (%)</b>	34,86	6,83	20,25	3,27	1,87	0,54	0,52	0,57
<b>Desvio Padrão (%)</b>	13,26	4,45	15,28	3,47	2,14	0,43	0,34	0,49

Quadro 6 - Teores médios e desvio-padrão do calcário dolomítico silicoso.

O teor de corte utilizado nas estatísticas realizadas foi de 35% para o CaO, sendo o teor máximo de MgO igual a 7%. Se o teor de corte fosse elevado para 40%, todas as amostras com teores de CaO entre 35 e 40% seriam ignoradas, elevando o teor da média. Desta maneira, foi feita uma simulação propondo diferentes teores de corte, que possibilitou verificar a mudança dos teores químicos médios e respectivos desvios-padrão (Quadro 7).

<b>Teor de Corte</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>36</b>
Nº de amostras computadas	142	195	250	292	331
Teor médio de CaO	47,71	46,40	45,22	44,34	43,45
Desvio Padrão de CaO	2,43	2,97	3,48	3,88	4,39
Teor médio de MgO	2,97	3,42	3,80	4,13	4,38
Desvio Padrão de MgO	1,10	1,50	1,58	1,79	1,93
Amostras computadas / total de amostras (%)	28,46	39,08	50,10	58,52	66,33

Quadro 7 - Teor e desvio-padrão das amostras em função da variação dos teores de corte.

Os resultados das análises químicas sistemáticas do depósito Pirizal encontram-se nas planilhas do Anexo 1.

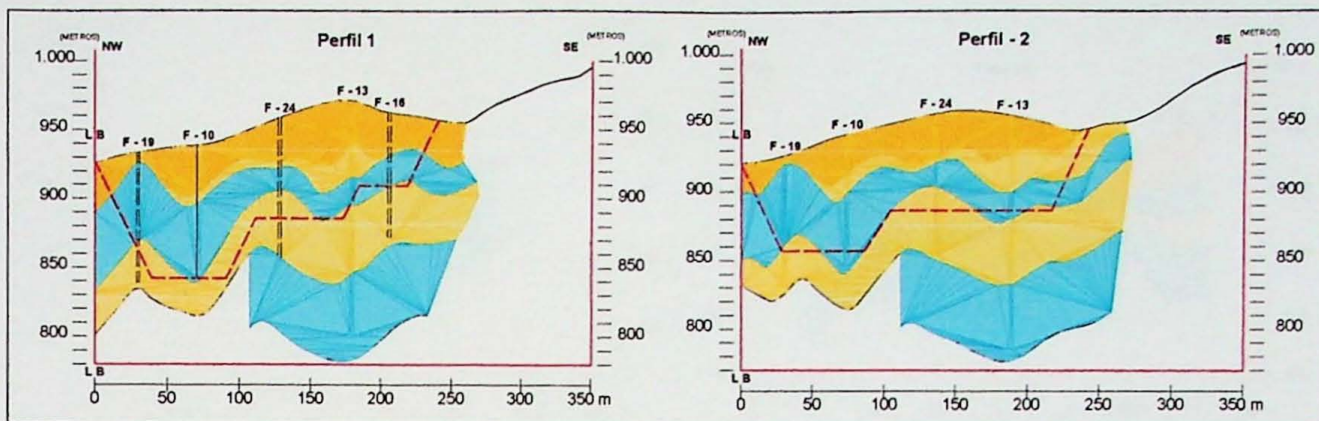
Os resultados obtidos pela análise estatística de toda a população amostral não se mostram favoráveis, indicando ser imprescindível uma lavra seletiva.



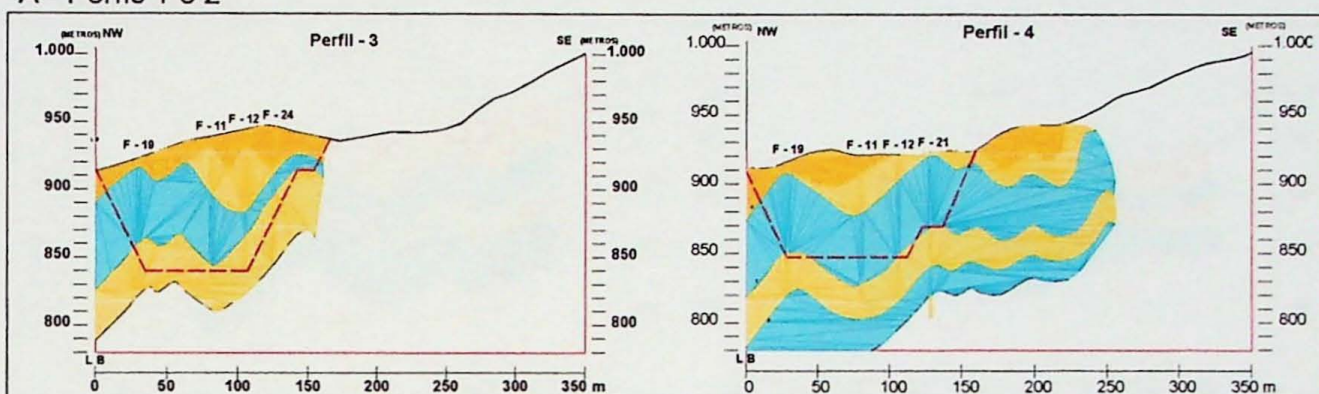
Os horizontes de calcário calcítico apresentam resultados bons, podendo-se sugerir a adição de material dos horizontes de calcário dolomítico silicosos para que se torne compatível com as necessidades da fábrica.

Salienta-se a necessidade de estudos detalhados quanto à viabilidade técnica da formulação de um cru a partir do material resultante de uma lavra seletiva.

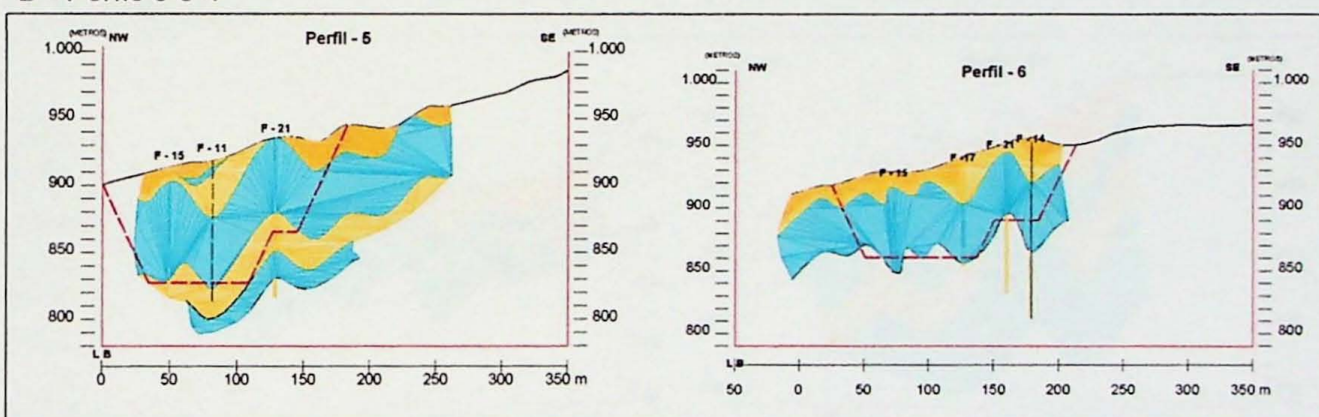




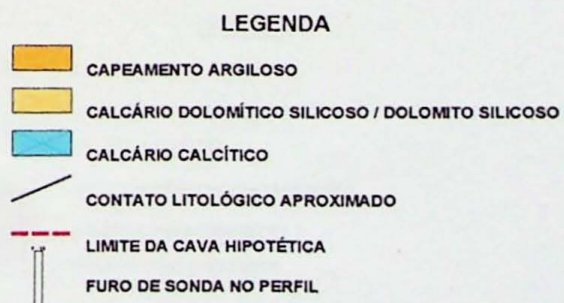
A - Perfis 1 e 2



B - Perfis 3 e 4

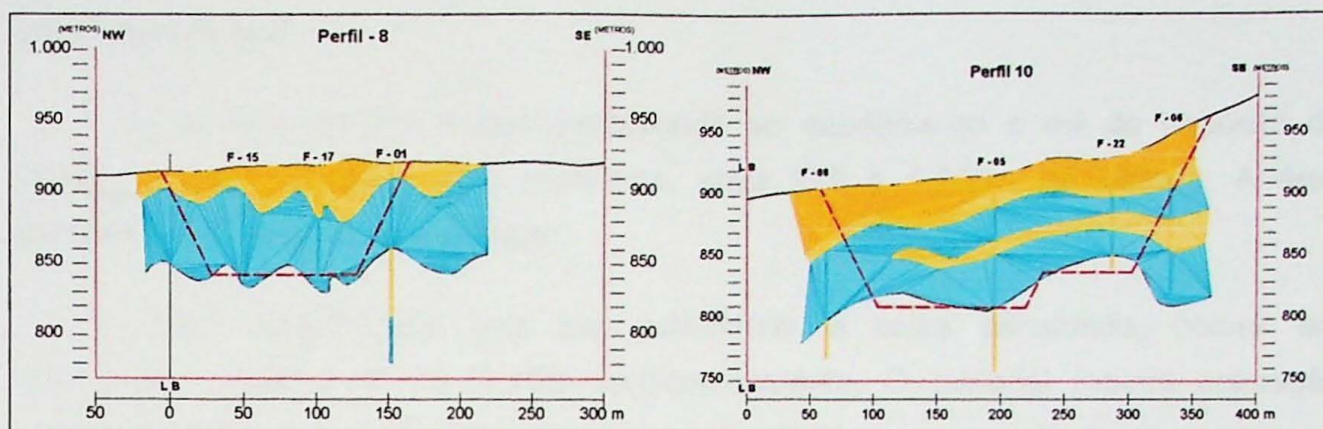


C - Perfis 5 e 6

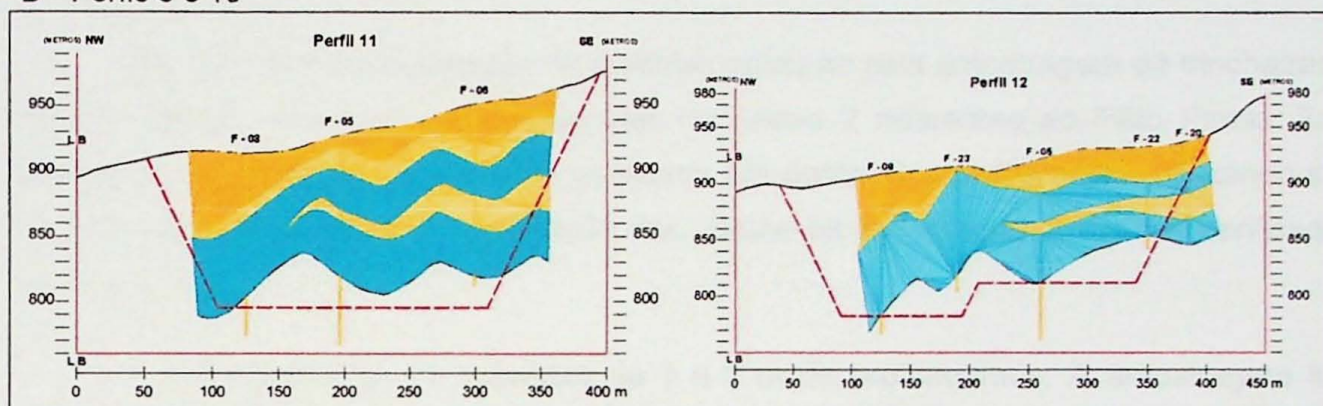


Figuras A, B e C - Perfis do Depósito Pirizal

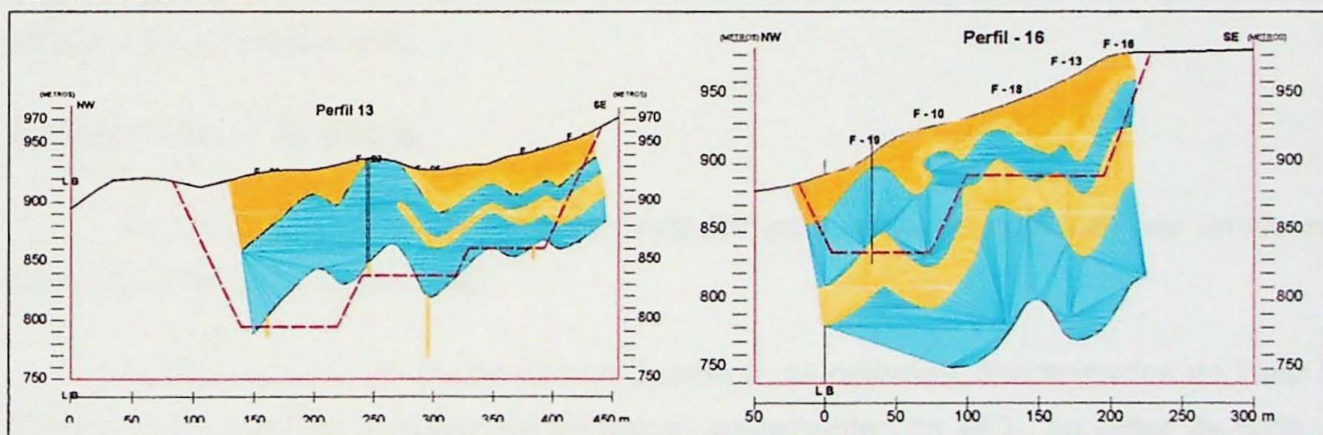




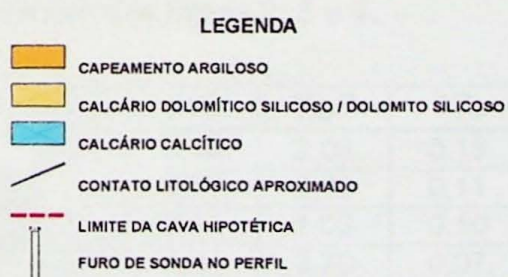
D - Perfis 8 e 10



E - Perfis 11 e 12



F - Perfis 13 e 16



Figuras D, E e F - Perfis do Depósito Pirizal



### 5.2.2 Filito Pirizal

O depósito de filito Pirizal corresponde ao capeamento a sul do depósito de calcário Pirizal nas cotas mais superiores, entre 970 e 1.000m de altitude. A área compreendida é isenta de vegetação.

Sendo caracterizado pela alta porosidade e baixa densidade, ocorre em espessuras variando de 10 a 40m aproximadamente. O material mostra coloração variando de ocre a marrom, apresentando-se pulverulento.

Devido à fácil desagregação do material, optou-se pela amostragem de trincheiras, como pode ser observado nas Fotografias do Anexo 2 referentes ao Filito Pirizal. Foi realizada a abertura de trincheiras e canaletas em quatro áreas diferentes, utilizando-se de uma retro-escavadeira. A localização dos pontos de amostragem pode ser verificada na Figura 7.

Foram escavadas 11 canaletas de 3 a 5 m de profundidade. A amostragem foi feita a cada 0,5m de profundidade, tendo sido o material de cada uma das quatro áreas amostrado separadamente.

#### 5.2.2.1 Análises Químicas

As quatro amostras foram encaminhadas para análises químicas via úmida no laboratório da unidade industrial.

Conforme pode ser observado no Quadro 8, os materiais denominados de Filito 1, Filito 2, Filito 3 e Filito 4 apresentaram teores semelhantes de  $\text{SiO}_2$ , ao redor de 65%, e teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variando de 10 a 15%. O Filito 1 apresentou teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  equivalente a 12,6%, sendo superior aos teores dos Filitos 2, 3 e 4.

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	P.F.
<b>Filito 1</b>	61,50	13,26	12,60	0,44	2,06	0,13	0,06	0,50	7,78
<b>Filito 2</b>	68,68	10,22	9,70	0,70	2,08	0,11	0,04	0,40	6,68
<b>Filito 3</b>	63,74	15,62	9,34	0,44	1,00	0,10	0,02	0,16	7,66
<b>Filito 4</b>	67,22	12,14	9,34	0,44	2,70	0,07	0,04	0,40	7,09

Quadro 8 - Resultados das análises químicas dos materiais do filito Pirizal (teores - % em peso).

O  $\text{SO}_3$  apresentou-se inferior a 0,14% em todas as amostras. A perda ao fogo manteve-se próxima a 7% nas quatro áreas amostradas.



### 5.2.2.2 Composição Mineralógica

Fragmentos de rocha de cada local estudado foram selecionados para a determinação da composição mineralógica através de análises petrográficas. As amostras encaminhadas para análises químicas foram também submetidas aos ensaios de difratometria de raios-X.

Através de análises petrográficas, verificou-se o predomínio de quartzo muito fino em grande quantidade. A matriz é composta por argilominerais, com presença de óxidos de ferro. Observou-se também muscovita em pequenas proporções. Amostras de materiais das quatro áreas podem ser visualizadas nas Fotomicrografias 1 a 6. Foram ilustradas para mostrar a semelhança em relação a granulometria e mineralogia dos materiais nos diferentes pontos de amostragem. A Amostra 1C da Fotomicrografia 1 foi coletada no ponto de amostragem 1C. Utilizou-se o mesmo critério para nomear as outras amostras fotomicrografadas.

Com a difratometria de raios-X, verificou-se a presença de quartzo, caulinita, ilita, goethita, hematita e muscovita.

Devido a características como porosidade e baixa densidade destes materiais, optou-se pela utilização da microscopia eletrônica de varredura para realização de análises químicas pontuais e granulométricas.

Foram selecionadas três amostras para a observação ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) com elétrons retro-espalhados e com microanálises qualitativas (EDS).

Foram obtidas nove imagens das amostras Filito A, Filito B e Filito C. As amostras foram selecionadas em diferentes pontos de amostragem, porém com semelhanças quanto às características físicas (porosidade e densidade). As fotografias do Anexo 2 ilustram a área e ponto de amostragem.

As imagens obtidas na amostra Filito A (Imagem 1) mostraram material com alta porosidade, sendo que o diâmetro dos poros varia de 1 a 5 $\mu$ m, e a granulometria do material é inferior a 45 $\mu$ m. A Imagem 1 mostra os pontos onde foram realizadas análises químicas pontuais. Nos três espectros obtidos (S1, S2 e S3) verificou-se a presença de



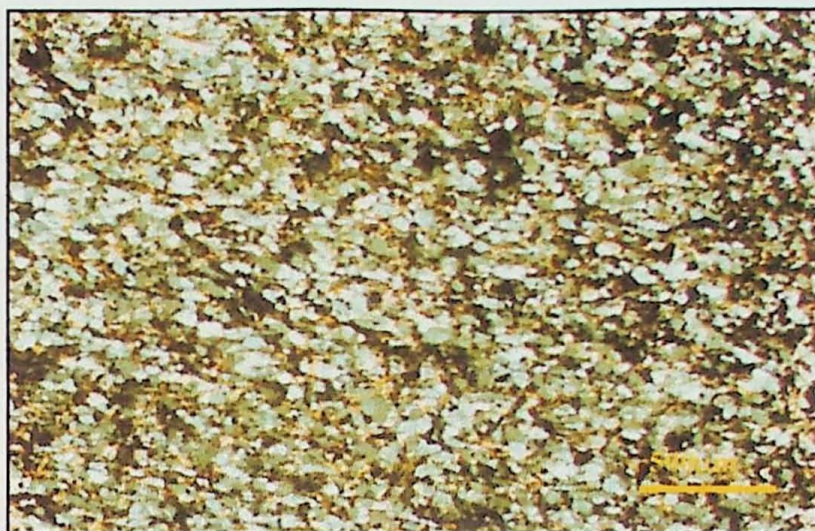
material silico-aluminoso, com possível presença de óxidos de ferro, como mostra o espectro S2, e a presença de MgO, como pode ser observado nos espectros S1 e S3.

A porção localizada à esquerda da Imagem 2 mostra um material mais orientado e com formas mais definidas. Uma análise pontual confirmou a presença de material silico-aluminoso (S4). Uma ampliação desta imagem mostra que a alta porosidade se mantém igual (Imagem 3).

Partindo-se da amostra Filito B, foram obtidas as Imagens 4 e 5. A última imagem, de maior detalhe, mostra a alta porosidade do material e a presença de grãos de quartzo. Os poros variam de 1 a 20 $\mu\text{m}$ , enquanto os grãos de quartzo observados tem dimensões aproximadas de 20 $\mu\text{m}$ .

A amostra C também mostrou alta porosidade, apresentando poros de aproximadamente 5 $\mu\text{m}$ , como é verificado na Imagem 6. O espectro S5 apontou a presença de SiO<sub>2</sub>. A granulometria do material é inferior a 30 $\mu\text{m}$ .





Fotomicrografia 1 - Amostra Filito Pirizal 1C - Presença de grãos muito finos de quartzo, filossilicatos e óxidos. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

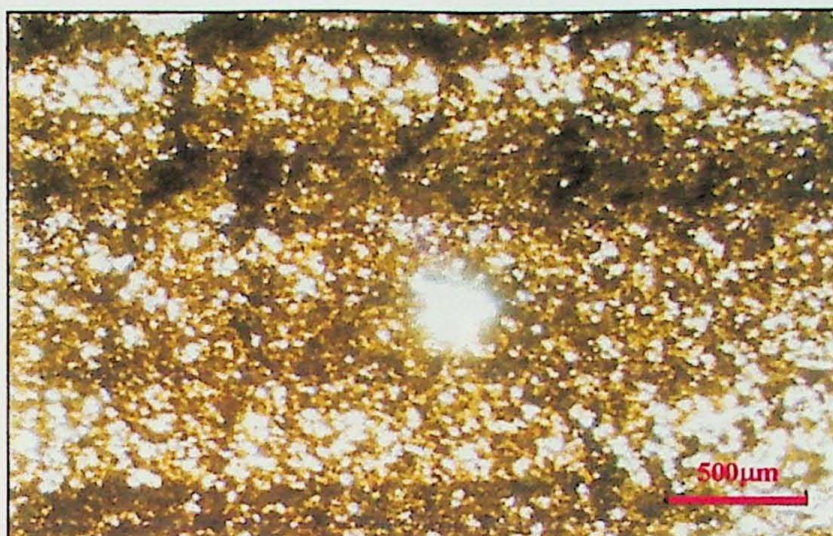


Fotomicrografia 2 - Amostra Filito Pirizal 2A - Presença de porções mais ricas em óxidos. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 3 - Amostra Filito Pirizal 3A - Quartzo muito fino em matriz rica em argilominerais e óxidos. Amostra muito alterada. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

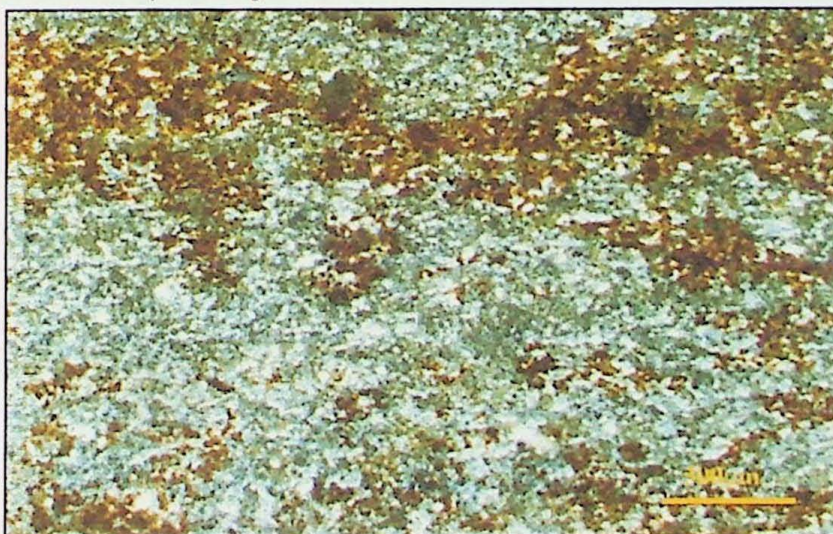




Fotomicrografia 4 - Amostra 3A - 1. Quartzo muito fino e matriz rica em óxidos. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 5 - Amostra 4A - Material rico em quartzo e filossilicatos. Pode-se observar fendas com percolação de óxidos. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 6 - Amostra 4A - 1 - Percolação de óxidos. Quartzo muito fino. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



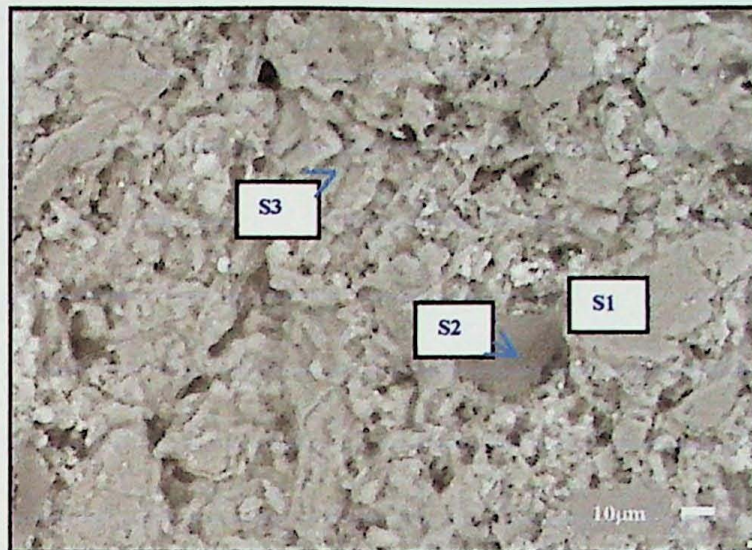
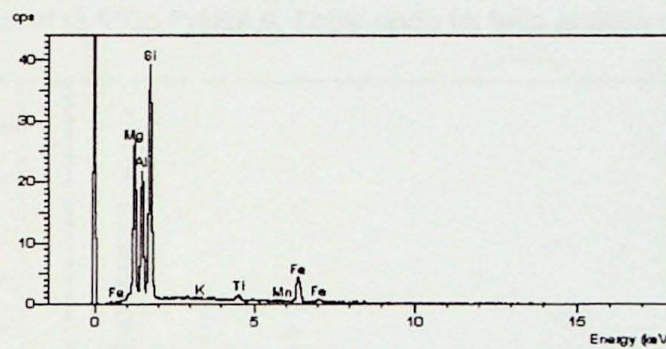
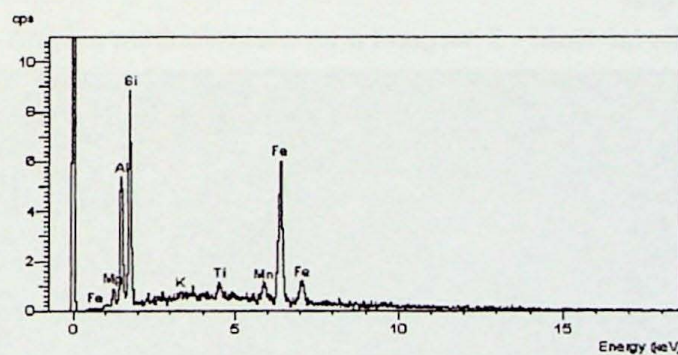


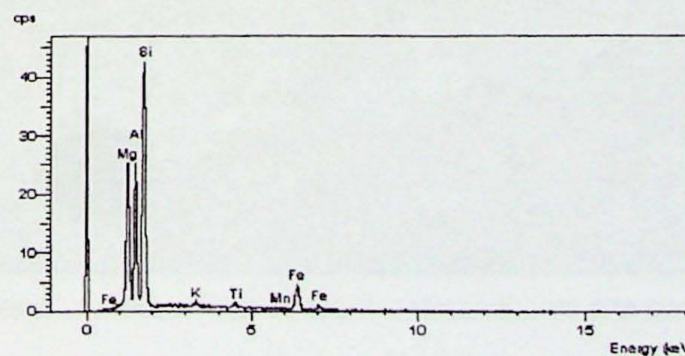
Imagem 1 - Amostra Filito Pirizal A. Locais onde foram feitas Análises químicas pontuais.



Espectro S1 - Análise química pontual referente a Imagem 1 - Material silico-aluminoso com presença de Mg e Fe.



Espectro S2 - Análise química pontual referente a Imagem 1 - Material silico-aluminoso com presença de Fe.



Espectro S3 - Análise química pontual referente a Imagem 1 - Material silico-aluminoso.



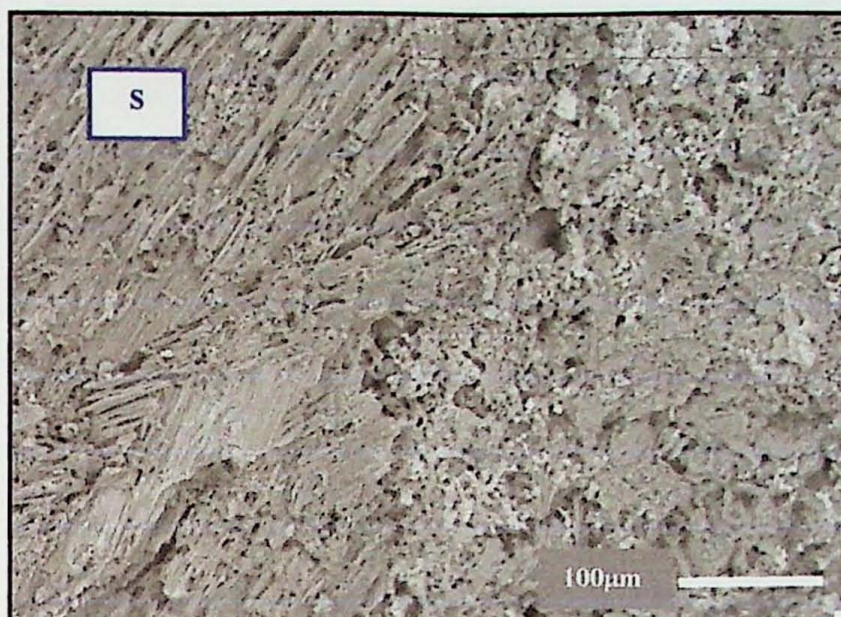
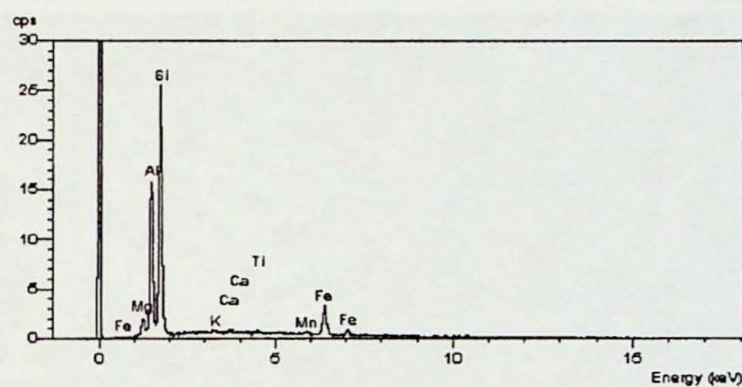


Imagem 2 - Amostra Filito Pirizal A. Local onde foi feito análise química pontual.



Espectro 4 - Análise pontual referente a Imagem 2 - Material silico-aluminoso.



Imagem 3 - Amostra Filito Pirizal A - Material com alta porosidade.



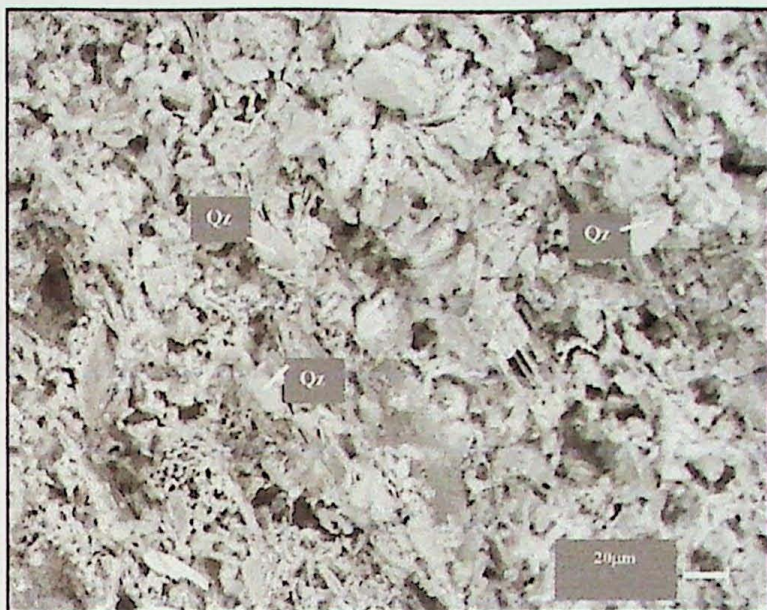
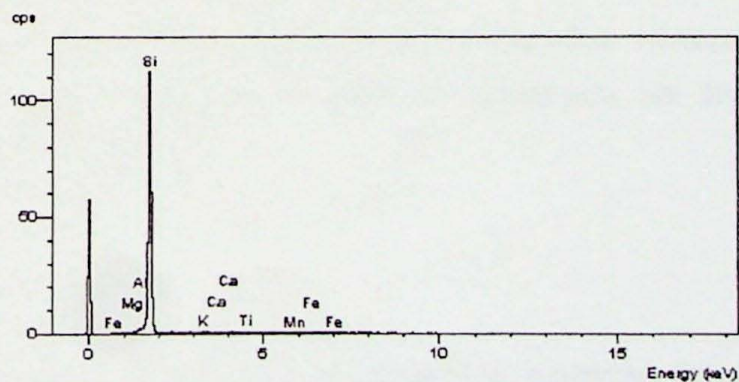


Imagem 4 - Amostra Filito Pirizal B - Material de alta porosidade rico em quartzo muito fino.



Imagem 5 - Amostra Filito Pirizal C. Local onde foi feito análise química pontual. Material de alta porosidade.



Espectro 5 - Análise química pontual referente a Imagem 5. Material rico em quartzo.



### **5.2.3 Depósito Vieira**

O depósito Vieira está localizado a sul da cidade de Apiaí, a aproximadamente 2km da fábrica, próximo do depósito do Pirizal (Figura 6).

Litologicamente composto por mica xistos e quartzitos impuros, este depósito foi subdividido em quatro áreas, Vieira 1, Vieira 2, Vieira 3 e Vieira 4, conforme mostra a Figura 7.

Nas áreas Vieira 1, Vieira 2 e Vieira 3, que são de reflorestamento, foi realizada amostragem através de sondagens com trado manual. Foram efetuados 140 furos de trado, com profundidades variáveis numa malha quadrática de 25m, com amostragens a cada 5m de profundidade. Em contrapartida, na área Vieira 4, a amostragem foi realizada nas frentes de exposição do material, por ser área em lavra.

Através das amostras coletadas foram feitas análises químicas por via úmida no laboratório da unidade industrial.

Sendo uma frente de lavra na área 4 pode-se observar exposições do material. Uma porção da área é composta por um material quartzítico alterado de coloração amarelada; em outra porção da frente de lavra foram observados muscovita xistos alterados, apresentando coloração arroxeada. As fotografias da área Vieira 4 mostram a diferença de aspecto destes materiais em afloramento.

O quartzito e o mica xisto amostrados na área Vieira 4 foram submetidos a análises químicas separadamente.

Os materiais das quatro áreas foram analisados mineralogicamente através da difratometria de raios-X, enquanto o material amostrado na área Vieira 4 foi também submetido a análise petrográfica.

#### **5.2.3.1 Composição Química**

Através da média das análises químicas das amostras nas áreas Vieira 1, Vieira 2 e Vieira 3, chegou-se aos resultados apresentados na Quadro 9.



	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-2</sup>	Sr <sup>-2</sup>	PF
<b>Vieira 1</b>	0,10	77,00	8,25	0,49	7,51	0,51	0,21	0,56	<0,10	<0,10	0,15	<0,10	<0,10	5,01
<b>Vieira 2</b>	0,19	55,00	22,30	0,33	9,90	1,17	0,21	2,40	0,63	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	7,37
<b>Vieira 3</b>	0,27	60,80	17,70	0,59	9,37	0,84	0,36	2,62	<0,10	<0,10	0,20	<0,10	<0,10	6,86
<b>Vieira 4</b>	<0,10	71,70	13,40	0,20	6,27	0,64	<0,10	2,69	0,37	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	3,86

Quadro 9 - Resultados de Análises Químicas dos materiais do depósito Vieira (teores - % em peso).

A área Vieira 1, que apresenta material arenoso decomposto, com granulometria fina, coloração escura e umidade média de 13%, mostrou teores de SiO<sub>2</sub> superiores a 75% e teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ao redor de 8%.

Já nas áreas Vieira 2 e Vieira 3, caracterizadas por apresentar material argiloso decomposto, granulometria muito fina, coloração clara e umidade média de 18%, obtiveram-se teores de SiO<sub>2</sub> superiores a 66% e inferiores a 75%, com teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mais elevados em relação à área Vieira 1, estando próximo a 15%.

Em cada área foi selecionada uma amostra representativa para a determinação da composição mineralógica, tendo sido também realizadas análises químicas (FRX).

As amostras apresentaram diferenças significativas quanto aos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e perda ao fogo. Para as da área Vieira 2 e Vieira 3, os teores de SiO<sub>2</sub> foram respectivamente 55,0 e 60,8%; os de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 22,3 e 17,7% e os de perda ao fogo, 7,4 e 6,9%. Já as amostras Vieira 1 e Vieira 4 apresentaram teores de SiO<sub>2</sub> de respectivamente 77,0 e 71,7%. Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variam entre 9,4 e 9,9%, respectivamente para as amostras das áreas Vieira 3 e Vieira 2, e entre 6,3 e 7,5% para as amostras das áreas Vieira 4 e Vieira 1.

### 5.2.3.2 Composição Mineralógica

As composições mineralógicas dos produtos de moagem das amostras estudadas são apresentadas no Quadro 10, baseadas em identificações por difratometria de raios-X, conjugada com dados de microscopia óptica e análises químicas.

A composição mineralógica das amostras estudadas é bastante variável quanto à proporção relativa de seus principais constituintes: para as amostras Vieira 2 e Vieira 3, a proporção em peso de quartzo é de 26 e 36%, respectivamente, atingindo 53 e 66% para as amostras Vieira 4 e Vieira 1. As estimativas da composição granulométrica dos produtos de moagem são apresentadas no Anexo 3.



Para as amostras Vieira 1 e Vieira 4, as proporções em peso de argilominerais (mica, muscovita, caulinita e talco) são de 22 e 39%, respectivamente, enquanto para as amostras Vieira 3 e Vieira 2, o conteúdo desses minerais é de 52 e 61% em peso, respectivamente. A proporção de óxidos de ferro situa-se entre 7,5% (Vieira 4) e 12% em peso (Vieira 2 e Vieira 3).

Amostra	Mineralogia (% em peso)						
	quartzo	muscovita	caulinita <sup>2</sup>	talco	argilom. <sup>1</sup>	óx.ferro	outros
Vieira 1	66	6,3	16	Tr	22	9,2	0,4
Vieira 2	26	26	35	Tr	61	12	0,3
Vieira 3	36	29	23	Tr	52	11	0,6
Vieira 4	53	29	9,2	0,6	39	7,5	0,2

<sup>1</sup>argilom.= mica+caulinita+gibbsite+talco

<sup>2</sup>caulinita+gibbsite

Quadro 10 - Composições mineralógicas das amostras do depósito Vieira.

As composições mineralógicas das amostras da área Vieira 4 foram também baseadas em identificações por microscopia óptica de luz transmitida. Nos afloramentos da área Vieira 4 foi possível amostrar materiais com características diferentes. As Fotomicrografias 7 a 11 mostram diferenças entre os materiais amostrados na porção mais rica em muscovita xisto na frente de lavra. São observados muscovita xistos com pequena quantidade de grãos de quartzo e minerais opacos, podendo-se encontrar ilmenita com menores dimensões e magnetita com granulometria grossa, como pode ser observado nas Fotomicrografias 8, 9, e 11.

A Fotomicrografia 12 mostra um quartzito típico da frente de lavra, reconhecido por apresentar difícil desagregação. Já a Fotomicrografia 7, representa o material composicionalmente transicional entre os descritos. Além de apresentar-se rico em quartzo, a muscovita pode ser verificada. A composição química do quartzito e muscovita xisto da área Vieira 4 está apresentada no Quadro 11.

O quartzito amostrado na área Vieira 4 pode ser observado nas fotografias A (à esquerda), B e C; enquanto o mica xisto pode ser visualizado nas fotografias A (à direita).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
Mica Xisto	67,7	17,1	6,29	<0,10	0,41	0,46	0,8	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10
Quartzito	74,2	13,4	5,52	<0,10	0,47	0,3	0,69	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Quadro 11 - Composição química do mica xisto e quartzito da Área Vieira 4 (teores - % em peso).



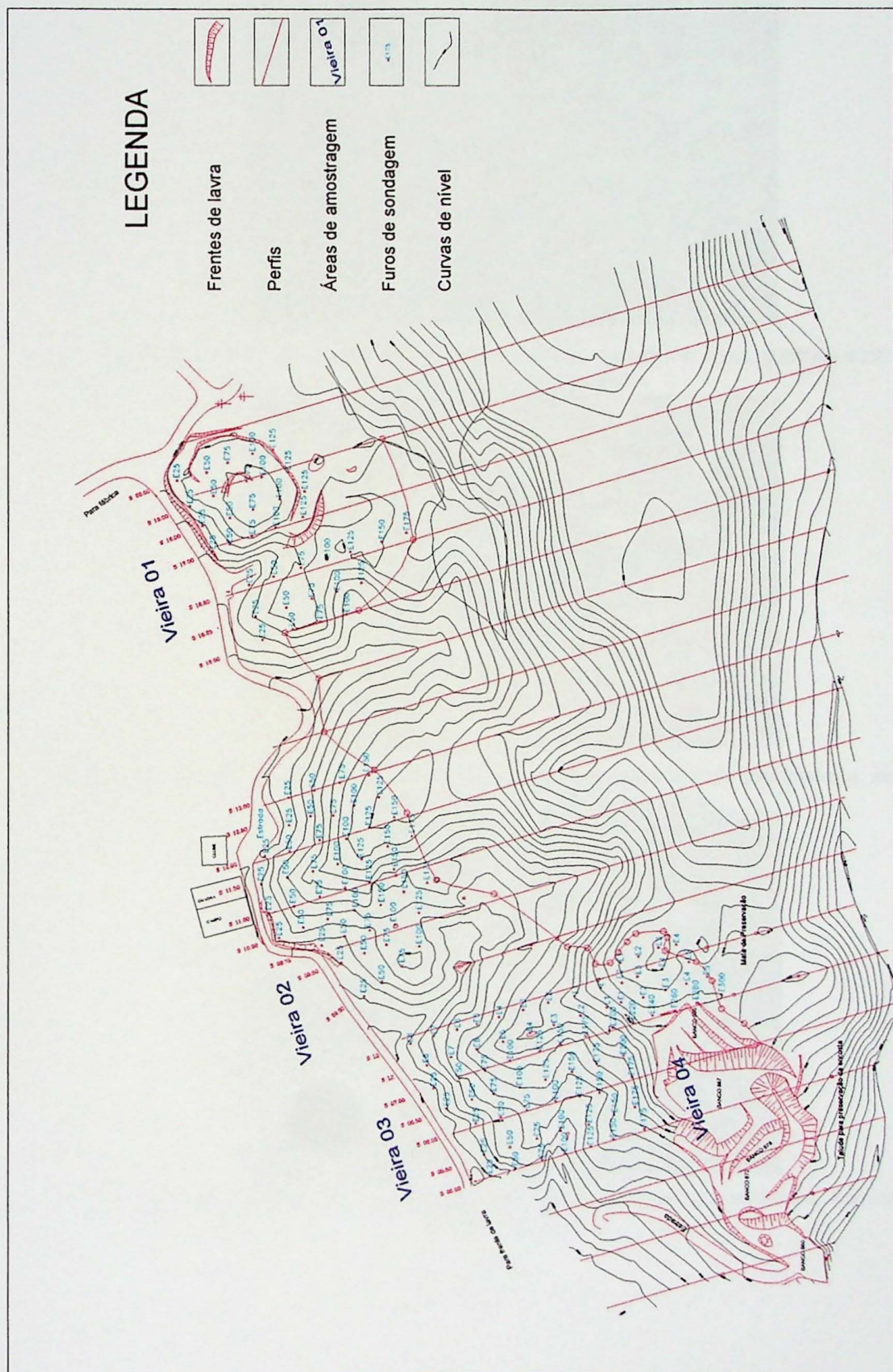
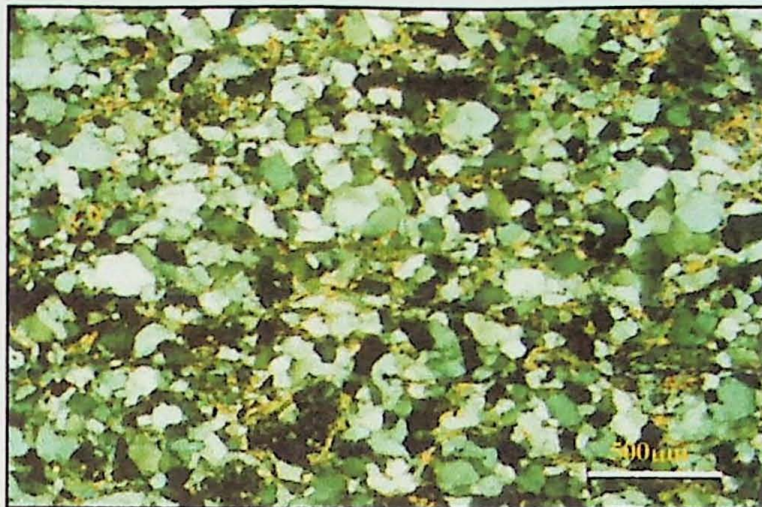


Figura 6 - Área do depósito Vieira - Escala 1 : 5.000 - Áreas Vieira 1, Vieira 2, Vieira 3 e Vieira 4.





Fotomicrografia 7 - Muscovita-quartzo xisto; Minerais acessórios: rutilo, goethita e zircão.  
Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

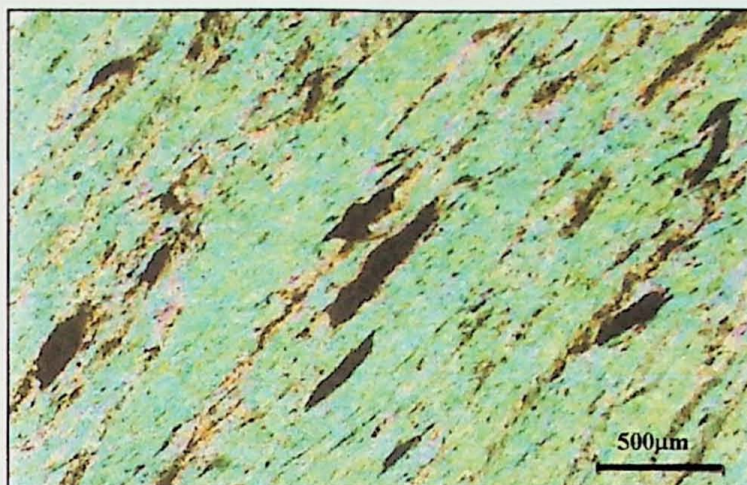


Fotomicrografia 8 - Quartzo-muscovita xisto com leitos de quartzo xisto com ilmenita, magnetita e turmalina. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

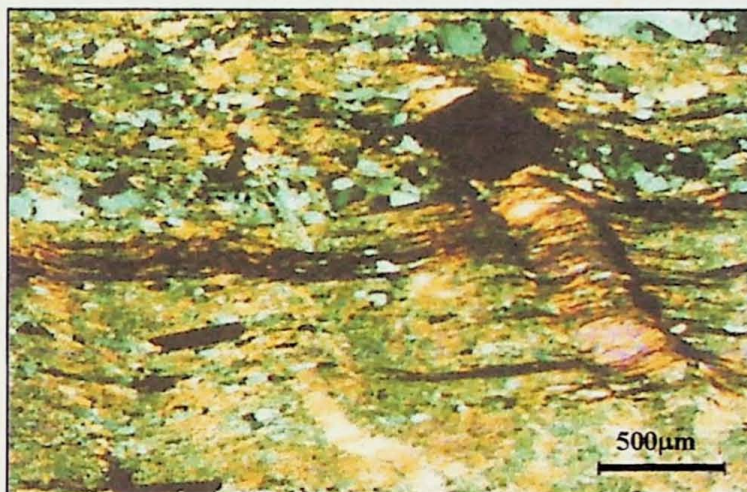


Fotomicrografia 9 - Quartzo-muscovita xisto com ilmenita, magnetita e turmalina. Aumento: 5x.  
Nicóis cruzados.





Fotomicrografia 10 - Muscovita xisto com turmalina e ilmenita. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 11 - Quartzo-muscovita xisto com ilmenita, turmalina e magnetita. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 12 - Quartzito com muscovita, opacos e turmalina. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



#### 5.2.4 Argila Coga

O depósito de argila Coga está localizado a 3km a nordeste da unidade industrial. O material em estudo corresponde a argila arenosa proveniente de alteração intempérica de um maciço granítico pouco conhecido. Apresenta alto teor de caulinita, porém o quartzo tem granulometria muito grossa, caracterizando-o como material arenoso.

##### 5.2.4.1 Composição Química

A amostragem do material foi realizada em afloramentos de frentes de exposição, como pode ser observado nas fotografias referentes ao depósito de argila Coga, no Anexo 2. A área do depósito de argila Coga se encontra no perímetro urbano.

A argila amostrada apresentou teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 22,1% e de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 8,18%, superiores aos teores do mica xisto Vieira, e teores de  $\text{SiO}_2$  de 56,1%. O Quadro 12 mostra a composição química do material.

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	CaO	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Cl}^-$	$\text{F}^-$	$\text{S}^-$	Sr
56,1	22,1	8,18	<0,10	0,87	0,40	1,77	<0,12	<0,10	0,10	<0,10	<0,10

Quadro 12 - Composição Química da amostra do depósito Coga (teores - % em peso).

##### 5.2.4.2 Composição Mineralógica

Após amostragens realizadas em dois afloramentos, o material foi impregnado com resina e laminado, possibilitando a visualização da granulometria dos grãos de quartzo e identificação de feldspato, filossilicatos e óxidos. Os grãos de quartzo grossos podem facilmente ser observados, sendo sua granulometria superior a  $250\mu\text{m}$ . As fotomicrografias mostram as características granulométricas das amostras Coga 1 e Coga 2, em aumento de 5x com nicóis cruzados.

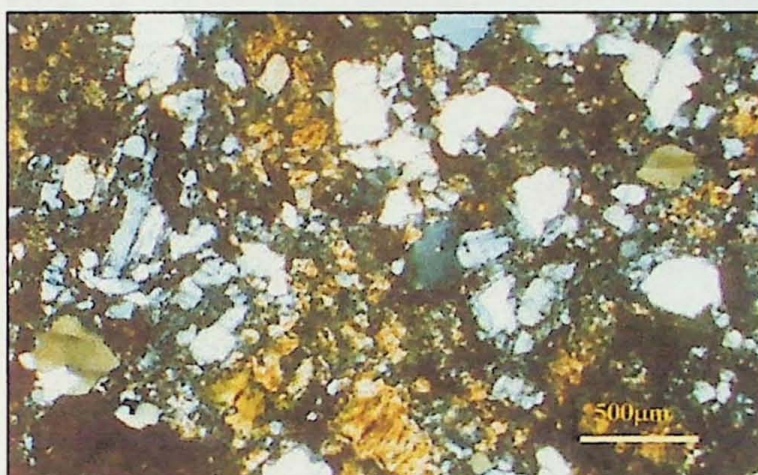
De acordo com as análises mineralógicas por difratometria de raios-X, pode-se observar no Quadro 13 a composição mineralógica da argila Coga, que apresenta como maiores constituintes caulinita (48% em peso) e quartzo (25% em peso), e subordinadamente, feldspato (10% em peso) e mica (7% em peso). Constituintes menores são goethita (6%), magnetita (2% em peso), ilmenita e rutilo (2% em peso).



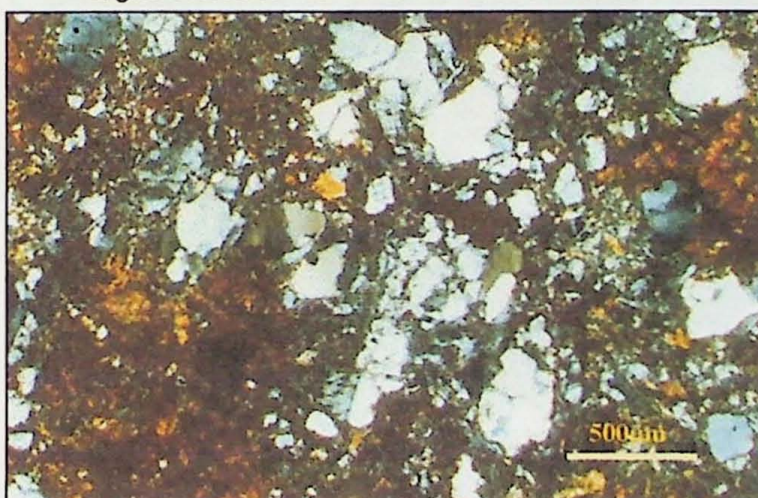
A caulinita apresenta-se concentrada nas frações inferiores a 635#, enquanto o quartzo concentra-se nas frações superiores a 120#.

Fração	% peso		Minerais (% em peso)					
	retida	acumul.	caulinita	quartzo	feldspato	mica	ox. ferro	rutilo
<b>+120#</b>	1,5	1,5	9	75	10	3	2	2
<b>-120 +200#</b>	13,2	14,7	14	51	22	8	3	2
<b>-200 +325#</b>	16,9	31,6	30	32	21	10	4	2
<b>-325 +635#</b>	20,4	52	38	33	11	10	7	1
<b>-635#</b>	48	100	69	10	2	5	12	1
<b>Total</b>	100		48	25	10	7	8	2

Quadro 13 - Composição mineralógica dos produtos de moagem do depósito Coga.

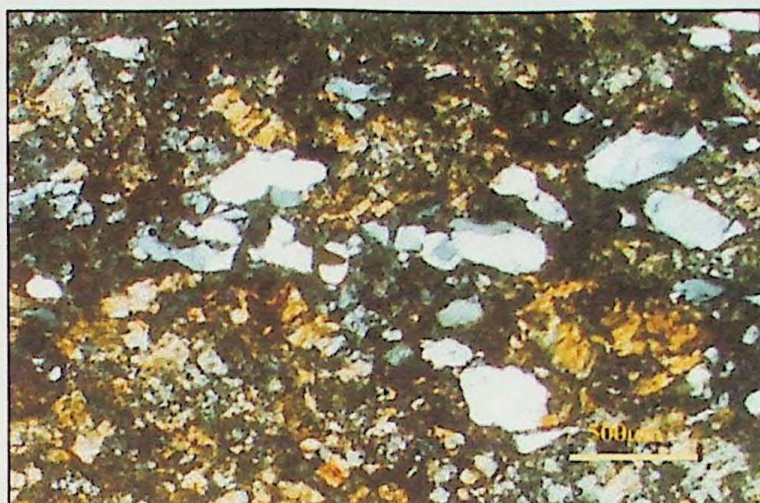


Fotomicrografia 13 - Amostra Coga 1A - Feldspato, quartzo e micas em matriz rica em argilominerais. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

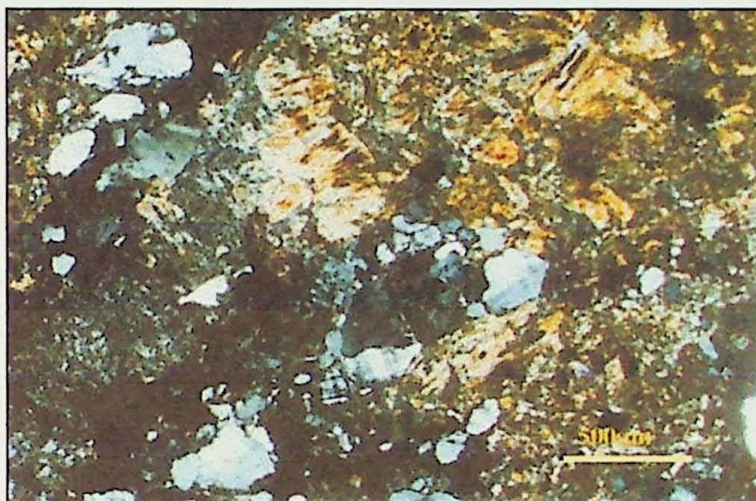


Fotomicrografia 14 - Amostra Coga 1B - Grãos de quartzo grossos, superiores a 200µm. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.

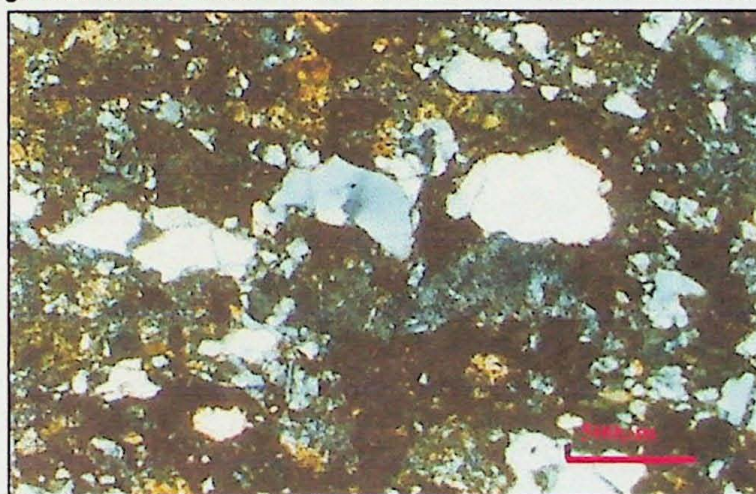




Fotomicrografia 15 - Amostra Coga 1C - Grãos grossos de quartzo em matriz rica em filossilicatos. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 16 - Amostra Coga 2A - Mica, feldspato e quartzo em matriz rica em argilominerais e óxidos de ferro. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 17 - Amostra Coga 2B. Aumento: 5x. Nicóis cruzados.



### 5.2.5 Depósito Taquarussu

O depósito de calcário Taquarussu localiza-se a sudeste da cidade de Apiaí, a aproximadamente 7km da fábrica. A área onde os afloramentos se encontram corresponde a uma antiga jazida para extração de brita, antes utilizada pela prefeitura de Apiaí. Por se tratar de um calcário reconhecidamente calcítico foram feitos estudos de reconhecimento buscando a partir de uma amostragem do material em afloramento determinar teores químicos.

Após análises químicas foi constatado que o calcário apresenta teor médio de CaO em torno de 48,9%, e MgO de 0,56%. Valores obtidos nas análises químicas são verificados no Quadro 14. De acordo com o quadro referente ao calcário Taquarussu no Anexo 3, pode-se verificar que o teor de CaO é menor nas frações retidas em 120#, enquanto os teores de SiO<sub>2</sub> e de MgO são maiores nestas frações.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
5,64	2,16	0,80	<0,10	0,56	48,9	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,27

Quadro 14 - Composição química do material amostrado no depósito Taquarussu (teores - % em peso).

A composição mineralógica da amostra é representada, essencialmente, por calcita (91% em peso) com mica e quartzo subordinados, (3% e 6% em peso respectivamente), e traços de clorita (Tabela 3). Observou-se que a mica e quartzo se concentram na fração granulométrica acima de 120#.

calcita	quartzo	mica	clorita
91	6	3	traços

Quadro 15 - Composição mineralógica do material amostrado no depósito Taquarussu (% em peso).

Este material foi estudado com o objetivo de ser utilizado como calcário aditivo e eventualmente corretivo da composição da farinha.

A amostragem de material do depósito Taquarussu foi feita através da coleta de 100kg de material, em caminhamentos realizados perpendicularmente ao acamamento, como pode ser observado na fotografia referente ao depósito Taquarussu, no Anexo 2.



## **6. ENSAIOS DE CLINQUERIZAÇÃO**

A aptidão à clinquerização consiste na maior ou menor capacidade que uma farinha tem de se transformar num clínquer de boa qualidade, dentro de condições técnico-econômicas viáveis. Os principais fatores que afetam a aptidão a clinquerização de farinhas são as composições química e mineralógica e a granulometria.

Em vista da dificuldade de reproduzir em laboratório a complexidade industrial, desenvolveram-se ensaios segundo procedimento da Associação Brasileira de Cimento Portland que permitem qualificar as farinhas de melhor desempenho. Farinhas compostas a partir de matérias-primas diferentes foram feitas respeitando os valores de módulos de saturação exigidos.

Para a avaliação de queimabilidade, foram confeccionados 'pelets' a partir da farinha. Após a calcinação destes às temperaturas de 1.350, 1.400, 1.450 e 1.500°C, foram determinados os conteúdos de cal livre residual e calculado o índice de queimabilidade da farinha. Quanto maior este índice, mais difícil de queimar é a farinha.

Utilizando-se as farinhas compostas em laboratório, realizaram-se ensaios de determinação de finura e conteúdo de grãos grossos de quartzo e calcário. Esta determinação baseia-se em ensaios de peneiramento, seguidos por dissoluções com ácido clorídrico, e determinação da quantidade de material residual.

### **6.1 Métodos de Ensaios**

O estudo da aptidão à clinquerização de uma farinha tem por objetivo avaliar o comportamento desse material frente ao processo de sinterização do clínquer portland, fixando-se os parâmetros relacionados às condições de queima e resfriamento.

A queimabilidade de uma farinha pode ser determinada através de sua sinterização em forno de laboratório, sendo definida como o valor dado pelo teor de cal livre remanescente no clínquer após o processo (quanto maior o teor de cal livre, menor é a queimabilidade).

Pode-se, também, estimar a queimabilidade de uma farinha utilizando-se fórmulas empíricas, desde que se conheçam alguns dados referentes à sua composição química e aos teores de partículas grossas de alguns minerais constituintes.

A utilização dos procedimentos de queima em laboratório e a previsão da queimabilidade proporcionam informações não apenas quanto ao “porquê” dos problemas de queimabilidade, mas também de “como” as matérias-primas podem ser



alteradas de forma a otimizar o processo de clinquerização, melhorando a qualidade do produto final e reduzindo os custos de produção.

Tão importante quanto as características relativas às matérias-primas na fabricação do clínquer portland é a adequação do processo industrial a essas particularidades. A adição de corretivos químicos, moagem e queima mais enérgicas da farinha, entre outros, são medidas aplicáveis e intimamente dependentes das características químico-mineralógicas dessas matérias-primas.

Nesse contexto, se o material de partida apresenta características mais favoráveis à queima, mais brandas serão as condições do processo e, conseqüentemente, menores serão os desgastes de equipamentos e o consumo energético.

Fundamentando-se em estudos experimentais, foram avaliadas amostras de duas farinhas distintas, identificando-se aquela mais apta ao processo de sinterização e os fatores relacionados às matérias-primas mais significativos nesse processo.

## 6.2 Seleção da Farinha

Esta etapa do trabalho constou da seleção de duas farinhas, que foram formuladas a partir dos dados químicos e mineralógicos das matérias-primas.

Optou-se pela utilização de matérias-primas tecnicamente melhores, sendo utilizado o parâmetro da granulometria e também localização do depósito.

Buscando-se resultados possivelmente comparativos, utilizou-se matéria-prima da área Vieira 1 e Vieira 2 para a montagem de uma farinha, e para a outra farinha foi utilizado o mesmo material do Vieira, porém com acréscimo de filito do Pirizal. A farinha composta de filito foi chamada de F2, enquanto a farinha composta somente de material do depósito do Vieira foi denominada de F1.

O calcário utilizado foi o mesmo para a confecção das duas farinhas, assim como o minério de ferro. Utilizou-se o calcário proveniente da mina Serrinha, atualmente em lavra. A amostragem foi feita no britador da fábrica. O Quadro 16 mostra os resultados de análises químicas por via úmida do calcário e do minério de ferro.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
<b>Calcário</b>	3,57	0,87	1,17	49,83	1,97	0,30	0,03	0,25
<b>Minério de Ferro</b>	7,02	2,28	66,93	8,46	6,22	2,41	0,05	0,10

Quadro 16 - Análises Químicas do Calcário e Minério de Ferro utilizados nas farinhas (teores - % em peso).

O balanceamento das farinhas foi feito satisfazendo o FSC (Fator de Saturação em Cálcio), MS (Módulo de Sílica) e MA (Módulo de Alumina ou Módulo de Fundente),



sendo seus valores baseados nos valores utilizados pela unidade industrial. No Quadro 17 são apresentadas as porcentagens de cada matéria-prima na farinha. Também podem ser verificados os valores do resíduo na peneira #170 para cada amostra após serem submetidas ao mesmo tempo de moagem em moinho de laboratório da unidade industrial.

Matérias-primas	Farinha F1 (% em peso)	Farinha F2 (% em peso)
Calcário	84,8	84,7
Quartzito e Mica Xisto (Vieira 1 e 2)	13,9	10,9
Filito (Pirizal)	0,0	3,4
Minério de Ferro	1,4	1,0
Total	100,0	100,0
Resíduo #170	14,6	12,9

Quadro 17 - Dosagem das matérias-primas para a composição das farinhas F1 e F2.

Procurou-se manter o FSC, MS e MA com diferenças pouco significativas entre as duas amostras, sendo estes inferiores a 0,15% (Quadro 18).

	F1	F2
SiO <sub>2</sub>	13,51	13,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,58	2,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,45	2,31
CaO	43,01	42,71
MgO	1,31	1,36
SO <sub>3</sub>	0,4	0,39
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,06
K <sub>2</sub> O	0,44	0,43
FSC(*)	101,28	101,33
MS(**)	2,69	2,70
MA(***)	1,05	1,15
Resíduo #170	14,6	12,91

Quadro 18 - Análises Químicas das Farinhas (teores - % em peso)

F1 = Vieira1 + Vieira2

F2 = Vieira1 + Vieira2 + Filito

$$(*) \text{ FSC} = \frac{100\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,2\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$(**) \text{ MS} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$(***) \text{ MA} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$



### 6.3 Ensaios Realizados

Para a análise do comportamento das farinhas de clínquer frente ao processo de sinterização, efetuou-se a subdivisão dos ensaios em duas etapas:

- etapa 1: estudos químicos e mineralógicos das farinhas e,
- etapa 2: estudos de clínqueres obtidos em laboratório.

#### 6.3.1 Estudos químicos e mineralógicos das farinhas

As duas amostras de farinha foram submetidas a análises químicas convencionais por via úmida, no laboratório da unidade industrial (Quadro 18).

A caracterização mineralógica das farinhas selecionadas foi feita através da quantificação de partículas grossas quartzosas ( $>45\mu\text{m}$ ) e calcários ( $>125\mu\text{m}$ ).

Os procedimentos adotados baseados em CENTURIONE (1993), são descritos a seguir:

- **quantificação de grãos de quartzo grossos:**

1. peneirar 15,000g de farinha em peneira  $45\mu\text{m}$  (nº 325), via úmida, usando jato d'água.
2. secar o resíduo da peneira e pesar;
3. tratar o resíduo da peneira no 325 com 30 ml de HCl em 150 ml de água destilada. Aquecer até a ebulição e agitar por 30 minutos;
4. filtrar o resíduo em papel filtro nº 50 através de um funil "Buckner". Secar e pesar;
5. Raspar esse resíduo e peneirar a seco (peneira nº 325), pesando as frações  $R_3$  ( $>45\mu\text{m}$ ) e  $R_4$  ( $<45\mu\text{m}$ );
8. calcular a porcentagem de quartzo grosseiro maior que  $45\mu\text{m}$

- **quantificação de grãos grossos de calcário:**

1. peneirar 80,000g de farinha em peneira  $125\mu\text{m}$  (nº 120) por via úmida, usando jato d'água;
2. secar o resíduo da peneira e pesar ( $R_1$ );
3. tratar o resíduo da peneira (nº 120) em 80 ml de HCl em 400 ml de água destilada. Aquecer até a ebulição e agitar por 30 minutos (a temperatura média é de  $80^\circ\text{C}$ , aproximadamente);
4. filtrar resíduo em papel de filtro no 50 através de um funil "Buckner". Secar e pesar ( $R_2$ );



5. o teor de carbonato grosso é dado por  $R_1 \times (W - R_2) / 100$ , em que:  $R_1$  = resíduo de peneiramento ( $>125\mu\text{m}$ );  $R_2$  = resíduo de dissolução; e,  $w$  = massa inicial da farinha (80,000g).

Deve-se enfatizar que o teor de calcário grosso é dado pela porcentagem de material grosso dissolvida em ácido.

### **6.3.2 'Pelets' sinterizados em laboratório**

Foram efetuadas queimas em laboratório de 'pelets' confeccionados com as farinhas de diferentes matérias-primas.

- **confecção dos 'pelets'**

Para cada amostra de farinha, efetuou-se manualmente a confecção de 30 'pelets' com cerca de 3g e 1cm de diâmetro cada. Para a trabalhabilidade do material e a obtenção de uma consistência adequada dos 'pelets', adicionou-se cerca de 20% em massa de água destilada. Posteriormente efetuou-se a secagem desses 'pelets' em estufa a 110°C, por um período mínimo de duas horas.

- **sinterização dos 'pelets' em forno de laboratório:**

Os 'pelets' confeccionados na etapa anterior (30 para cada amostra de farinha) foram subdivididos em cinco grupos de seis 'pelets' cada. Depois de secos, os 'pelets' foram colocados em uma cápsula de porcelana e calcinados em forno mufla a 600°C durante 30 minutos para a retirada de toda água livre e estrutural. Após resfriados, os 'pelets' foram calcinados no mesmo forno em temperaturas de 1.350, 1.400, 1.450 e 1.500°C. Após a sinterização, os 'pelets' foram resfriados rapidamente com o auxílio de um ventilador.

- **determinação do teor de cal livre:**

Após calcinados, os 'pelets' de cada uma das temperaturas foram moídos separadamente em duas etapas, sendo a primeira realizada em moinho de discos e a segunda etapa em almofariz de ágata.

Após a moagem, os teores de cal livre foram determinados quimicamente por volumetria, sendo efetuada dissolução a quente ( $\sim 80^\circ\text{C}$ ) por 30 minutos do material pulverizado em etileno glicol. Para a titulação da solução foi utilizado HCl (0,1N em água). O procedimento de determinação de cal livre residual foi determinado em duplicata para cada temperatura.



- **estudo microscópico qualitativo**

Para o estudo microscópico qualitativo foram elaboradas duas seções polidas contendo metade de dois 'pelets' para cada amostra. Utilizou-se 'pelets' sinterizados a temperatura de 1450°C, por serem os mais representativos do processo industrial. As amostras dos 'pelets' sinterizados foram submetidas a ensaios microscópicos qualitativos, utilizando-se ampliações de 62,5 a 250 vezes e ataques químicos com .

#### 6.4 Resultados dos Ensaio

Com relação à influência da granulometria da matéria-prima, mais precisamente dos grãos carbonáticos e quartzosos no processo de clínquerização, verificou-se que os teores de grãos calcários grossos das duas amostras analisadas mostraram valores não muito elevados e aceitáveis pela literatura (até 6%). O Quadro 19 mostra os resultados da quantificação de grãos grossos de calcário nas farinhas por peneiramento (125µm), por dissolução seletiva (>125µm), porcentagem de material retido na peneira 170 (88µm), na peneira 200 (75µm) e teor de quartzo grosso (>45µm) após dissolução e peneiramento.

Peneiramento	Farinha F1 (% em peso)	Farinha F2 (% em peso)
120 (125µm)	4,00	4,84
170 (88µm)	13,71	11,83
200 (75µm)	19,38	16,59
Dissolução Seletiva (125µm)	83,82	80,87

Quadro 19 - Análises da farinha com peneiramento e dissolução.

Através de ensaios de dissolução seguido de peneiramento, os grãos de quartzo grosso foram quantificados, verificando-se uma maior porcentagem destes na farinha F1, ressaltando um aspecto desfavorável em relação a F2. A farinha F1 apresentou 7,94% de material retido na peneira 325# (45µm), enquanto a farinha F2 obteve 6,8% de quartzo retido.

Em seqüência (Quadro 20) são apresentados os resultados dos ensaios efetuados nas amostras de farinha e dos 'pelets' de laboratório.

Temperatura de queima (°C)	Teor de Cal Livre (% média)	
	F1	F2
1.350	9,22	15,38
1.400	7,41	8,09
1.450	5,68	5,67
1.500	4,41	4,07

Quadro 20 – Teor (em peso) de Cal livre das Farinhas F1 e F2



#### 6.4.1 Cálculo do Índice de Queimabilidade (IQ)

O índice de queimabilidade da farinha (IQ) foi determinado partindo-se dos teores de cal livre, sendo definido pelas equações apresentadas a seguir:

Índice de Queimabilidade (IQ) =  $A / B \cdot 3,73$ , onde:

$A = \% \text{ cal livre }_{1.350^{\circ}\text{C}} + \text{cal livre }_{1.400^{\circ}\text{C}} + 2 \cdot \% \text{ cal livre }_{1.450^{\circ}\text{C}} + 3 \cdot \% \text{ cal livre }_{1.500^{\circ}\text{C}} ;$

$B = \sqrt[4]{(\% \text{ cal livre }_{1.350^{\circ}} - \% \text{ cal livre }_{1.500^{\circ}\text{C}})}$

A partir da equação acima descrita, foram determinados os índices de queimabilidade das duas farinhas (Quadro 21):

	Farinha F1	Farinha F2
Índice de Queimabilidade	103,82	95,58

Quadro 21 - Índice de Queimabilidade das duas farinhas.

Uma vez calculado o IQ é possível classificar a farinha em função de sua queimabilidade. O Quadro 22 apresenta a classificação.

IQ	Classificação
Até 60	Muito fácil
60 a 80	Fácil
80 a 100	Normal
100 a 120	Pouco difícil
120 a 140	Difícil
140 a 160	Muito difícil
Acima de 160	Extremamente difícil

Quadro 22 - Classificação da farinha quanto à aptidão à clinquerização

Com os resultados obtidos verificou-se nitidamente a influência da composição mineralógica e do conteúdo de grãos grossos de quartzo na aptidão à clinquerização de duas farinhas distintas. A farinha F2 apresenta maior quantidade de quartzo fino (filito).

As farinhas estudadas apresentam quimismo muito semelhante, como é observado pelos módulos das duas farinhas. Sendo a diferença entre o FSC, MS e MA das farinhas inferior a 0,15%, foi possível verificar a influência da granulometria da farinha.

Quanto à granulometria, verificou-se que os grãos grossos de quartzo devem estar estreitamente ligados à aptidão à clinquerização. A farinha F1, composta de quartzito e muscovita xisto, obteve queimabilidade pouco difícil, segundo referências da ABCP. Em



contrapartida, a farinha F2, formulada com quartzito, muscovita xisto e filito, obteve queimabilidade normal.

A presença de material com quartzo na forma muito fina é de grande relevância para o processo de formação de clínquer. Deve-se ressaltar que o filito fez parte da composição da farinha F2 na porcentagem de 3,4%.

#### 6.4.2 Características dos 'pelets'

Foram obtidas curvas difratométricas para determinação dos constituintes mineralógicos formados. As Figuras 9 e 10 mostram a presença dos principais constituintes do clínquer portland nos 'pelets' obtidos a partir da sinterização das farinhas F1 e F2.

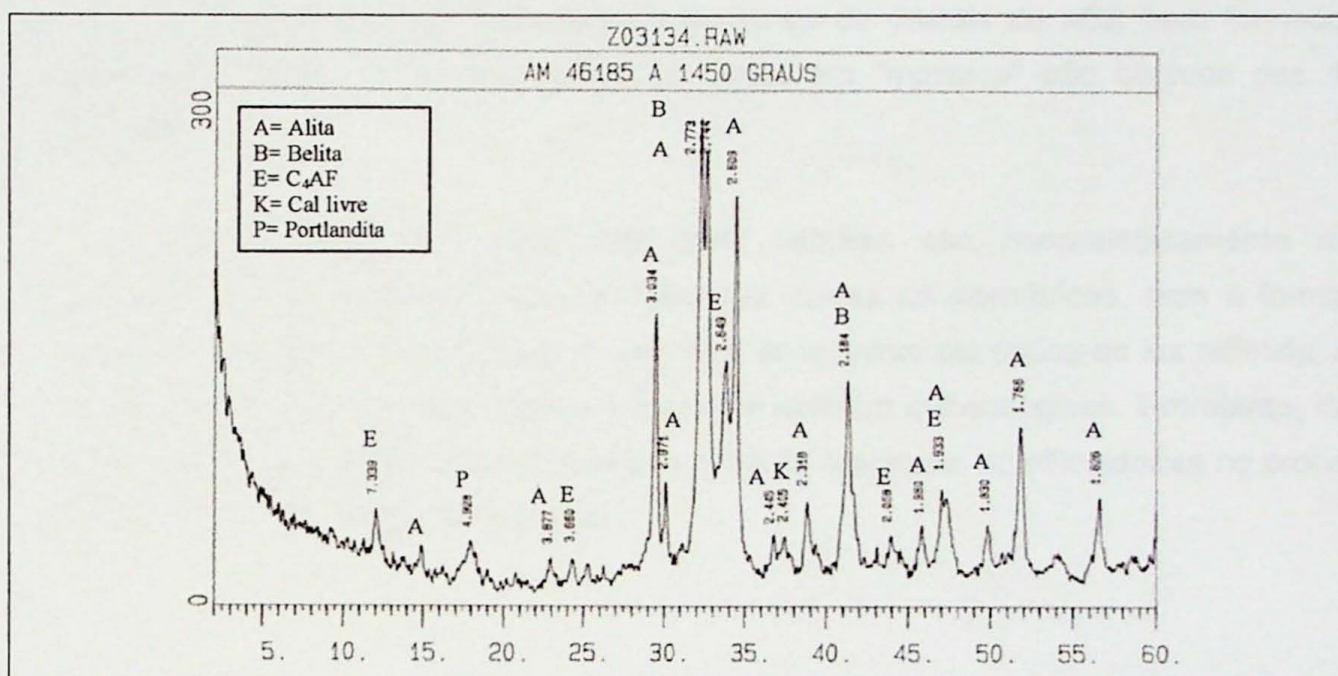


Figura 9 - Curva difratométrica da amostra de 'pelets' formados a partir da farinha F1.

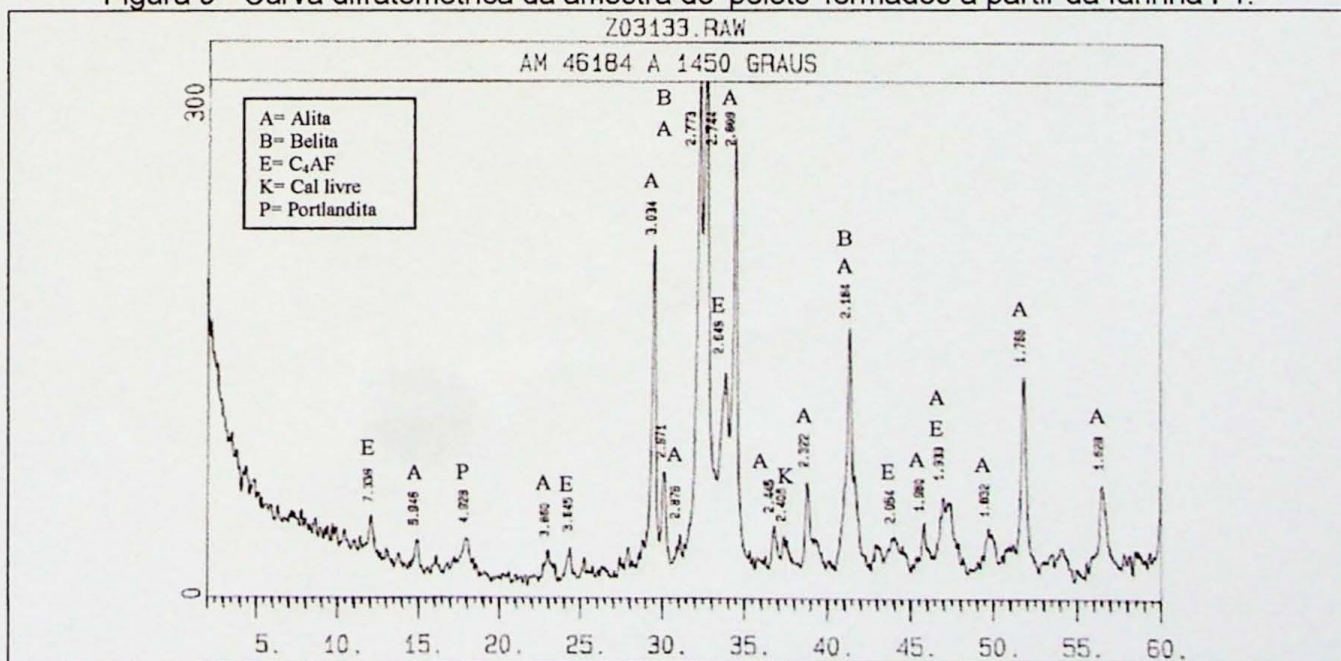


Figura 10 - Curva difratométrica da amostra de 'pelets' formados a partir da farinha F2.



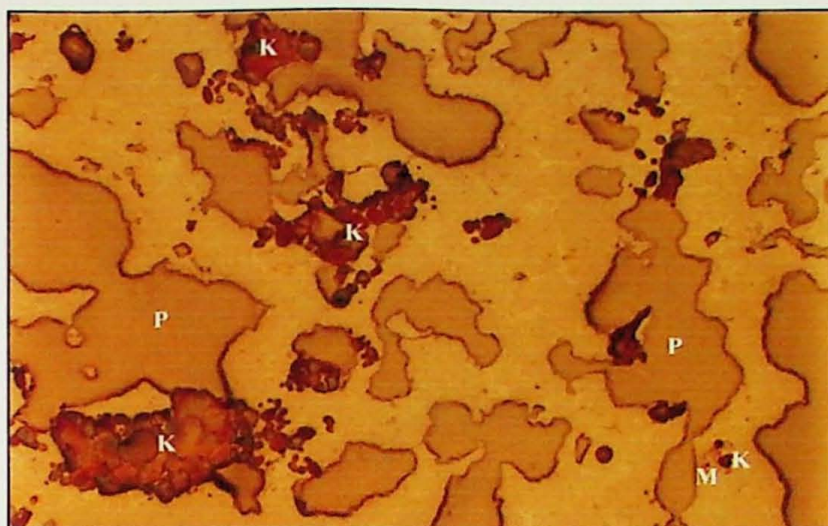
Apesar do processo de sinterização dos 'pelets' em laboratório serem diferentes em relação ao processo industrial, a microscopia mostrou a formação de texturas e estruturas muito semelhantes as do clínquer portland, indicando que as reações de clinquerização foram completas.

Observando-se as Fotomicrografias a seguir, pode-se verificar a presença de cristais bem desenvolvidos, com os principais constituintes mineralógicos do clínquer. As Fotomicrografias 18 a 23 são referentes aos 'pelets' formados a partir da farinha F1, enquanto as Fotomicrografias 24 a 29 são referentes aos formados a partir da farinha F2. Abaixo das fotomicrografias pode-se verificar as respectivas descrições.

Nas duas amostras verifica-se a presença de cristais de alita bem formados e freqüentes zonas de cal livre. Zonas de belita em "mosaico" são comuns nas duas amostras.

As amostras de 'pelets' das duas farinhas são mineralogicamente muito semelhantes, como foi observado através das curvas difratométricas, com a formação das mesmas fases mineralógicas, e através e da microscopia óptica de luz refletida, com a visualização das mesmas feições texturais e também mineralógicas. Entretanto, deve-se ressaltar que apesar das semelhanças entre as amostras, as dificuldades no processo de sinterização foi bastante diferente.

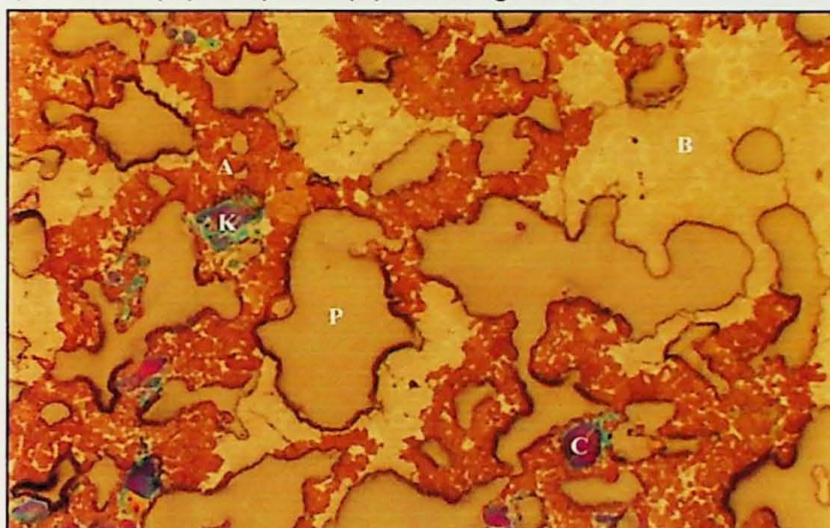




Ataque: KOH + sacarose

Aumento: 125X

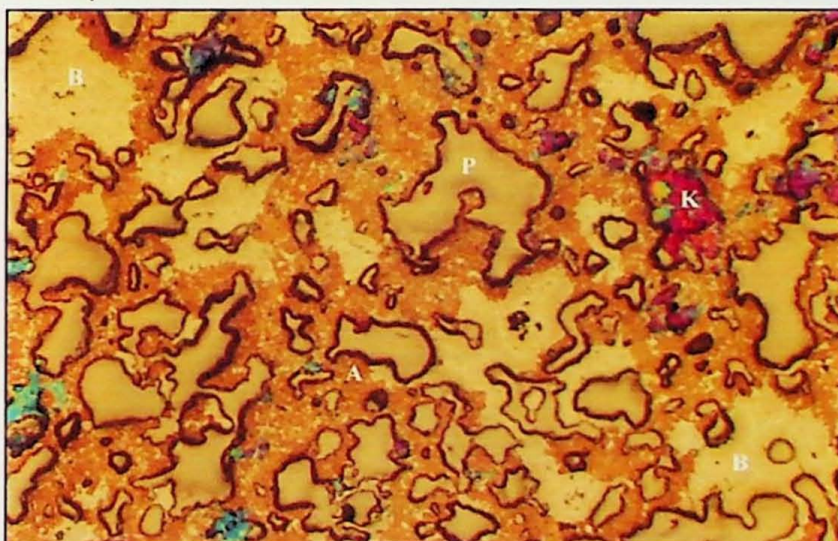
Fotomicrografia 18 - Aspecto geral da amostra F1, observando-se cristais de cal livre (K) principalmente agrupados em zonas e alguns associados à cristais de periclásio (M). Os poros (P) são irregulares.



Ataque: sulfato de magnésio

Aumento: 125X

Fotomicrografia 19: Aspecto geral da amostra F1, observando-se distribuição em zonas dos cristais de alita (A) e belita (B). Zonas de cal livre (C) encontram-se dispersas e freqüentes na amostra.

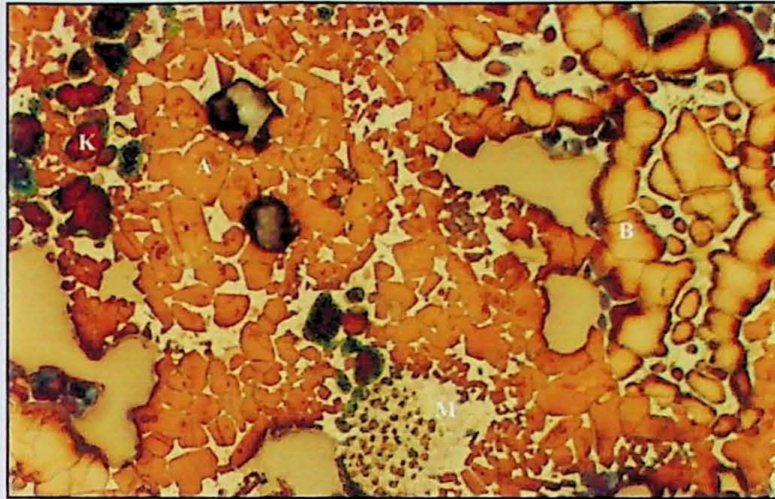


Ataque: Sulfato de magnésio

Aumento: 62,5X

Fotomicrografia 20: Aspecto geral da amostra F1, observando-se a distribuição dos poros (P) e das zonas de alita e belita. As zonas de cal livre (K) são freqüentes e dispersas no clínquer.

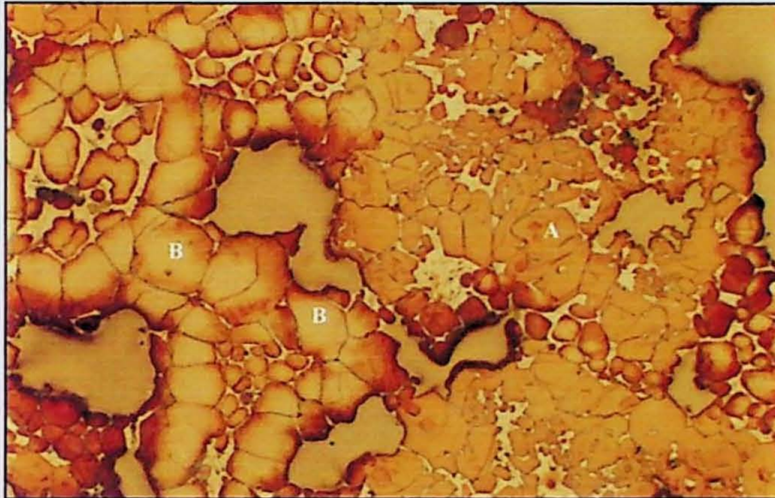




Ataque: HNO<sub>3</sub>

Aumento: 250X

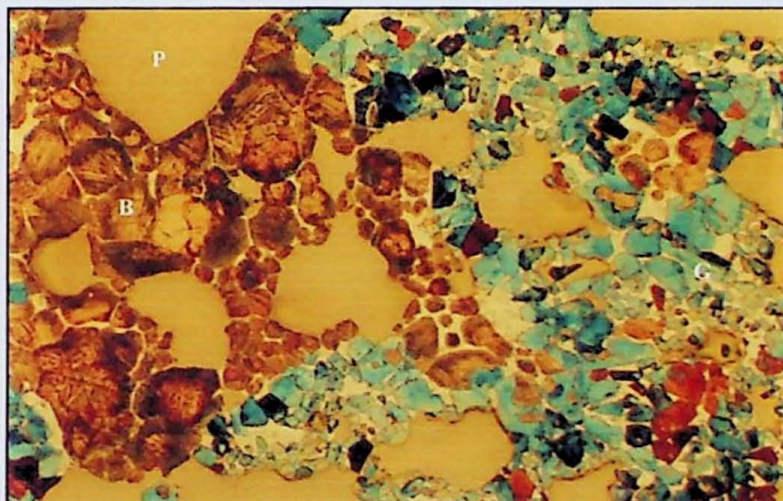
Fotomicrografia 21: Cristais pseudo-hexagonais de alita, junto à uma zona de cristais de belita geminada (B) e zonas de periclásio (M) e cal livre. Amostra F1.



Ataque: HNO<sub>3</sub>

Aumento: 250X

Fotomicrografia 22: Zonas de belita (B) firmemente imbricadas ("textura de mosaico") indicando moagem inadequada de grãos silicosos associada a cristais sub-idiomórficos a idiomórficos de alita (A).

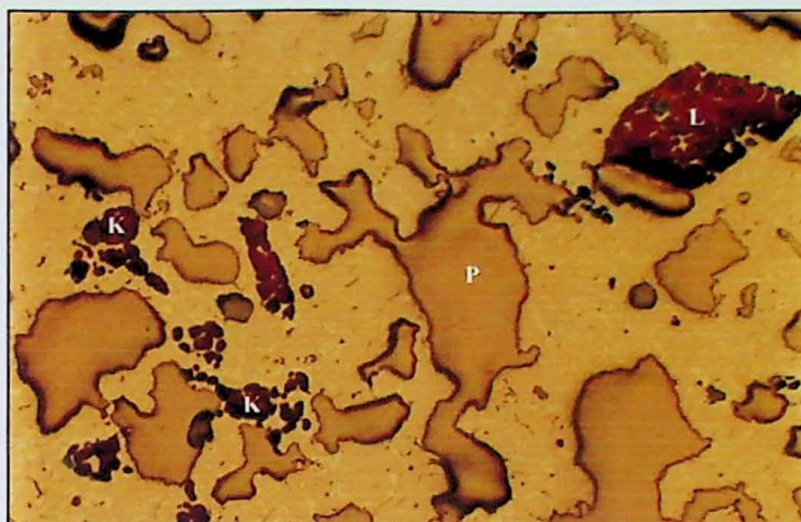


Ataque: Cloreto de amônia

Aumento: 250X

Fotomicrografia 23: Zonas de belita (B) geminada com textura em "mosaico" e poro central (P), indicando grão original quartzoso. Os cristais de alita (A) são pseudo-hexagonais, com inclusões de belita e alguns com geminação similar a Carlsbad (G).

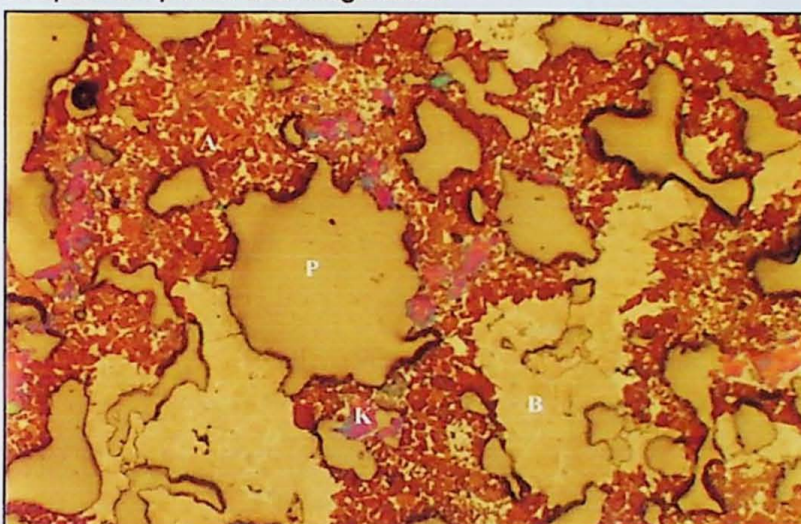




Ataque: água

Aumento: 125X

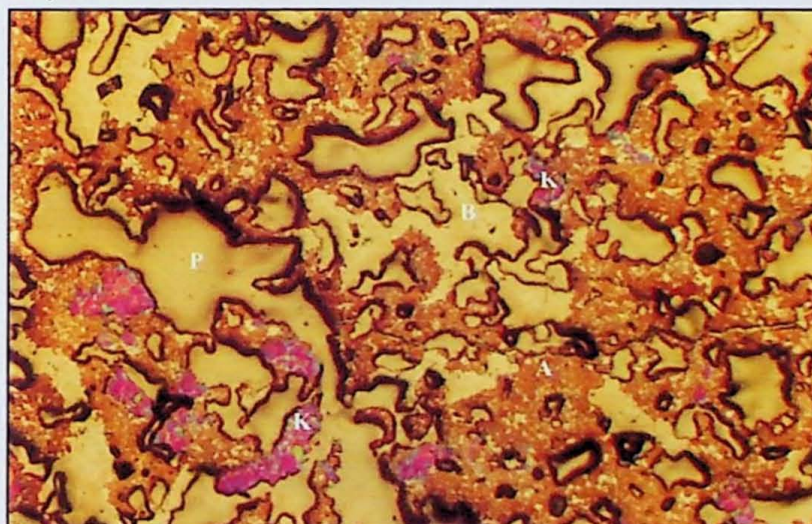
Fotomicrografia 24: Aspecto geral da amostra F2, onde podem ser observados cristais de cal livre (K) principalmente agrupados em zonas e também com formato pseudo-romboédrico, indicando grão original de calcita (L) de aproximadamente 300 $\mu$ m. Os poros são irregulares.



Ataque: sulfato de magnésio

Aumento: 125X

Fotomicrografia 25: Aspecto geral da amostra F2, observando-se distribuição dos cristais de alita (A) e belita (B) em zonas. A cal livre (K) pode ser encontrada em zonas e dispersas na amostra.

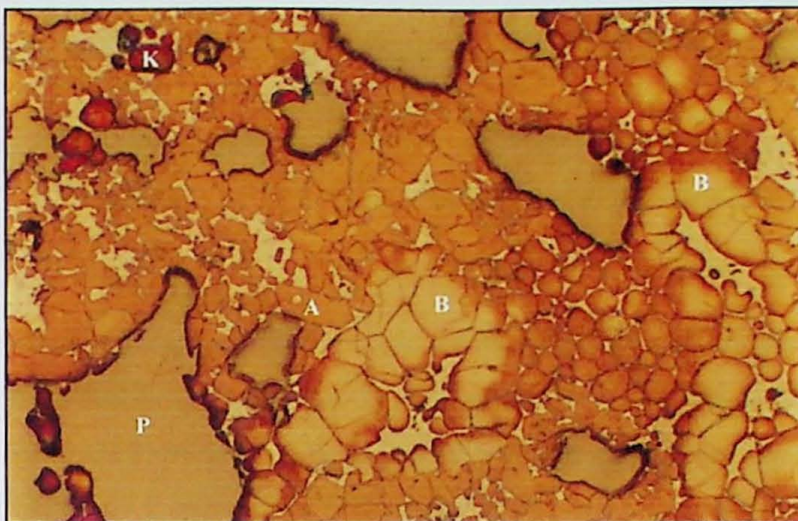


Ataque: sulfato de magnésio

Aumento: 62,5X

Fotomicrografia 26 - Aspecto geral da amostra F2, observando-se a distribuição dos poros interligados (P), zonas de alita (A) e belita (B). As zonas de cal livre são freqüentes e dispersas no clínquer.

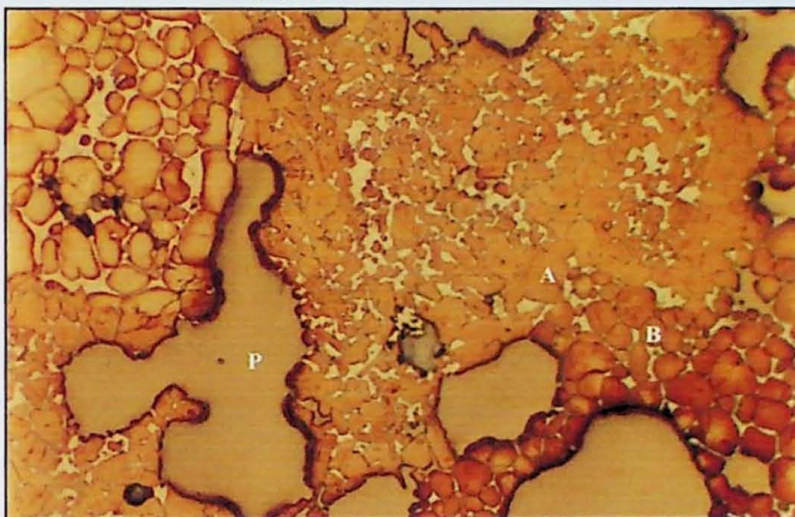




Ataque: sulfato de magnésio

Aumento: 62,5X

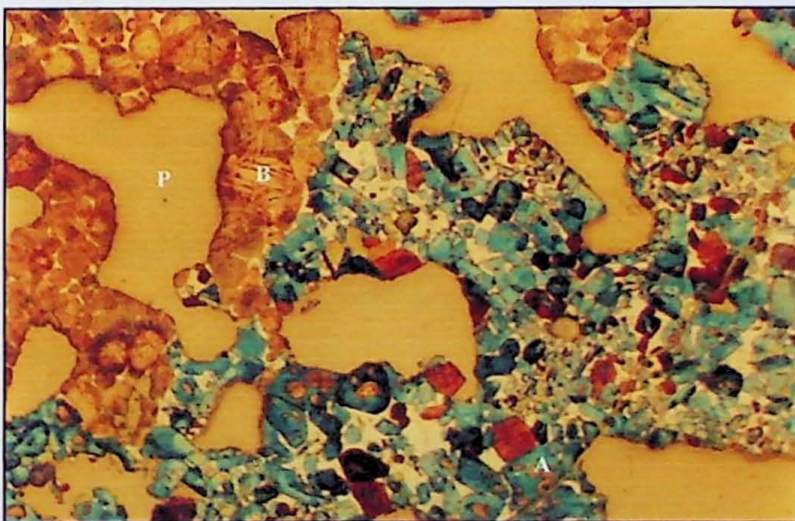
Fotomicrografia 27: 'Pelet' F2 mostrando cristais hexagonais de alita (A) e zonas de belita (B). Os cristais de cal livre (K) apresentam-se dispersos.



Ataque: HNO<sub>3</sub>

Aumento: 250X

Fotomicrografia 28: Zonas de belita (B) arredondadas e dispersas associadas a cristais de alita hexagonais.



Ataque: cloreto de amônio

Aumento: 250X

Fotomicrografia 29: Zonas de belita (B) com geminação polissintética e textura em "mosaico" e poros (P). Os cristais de alita apresentam-se pseudo-hexagonais, com inclusões de belita.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Uma farinha para fabricação de clínquer portland é composta segundo o Fator de Saturação de Cal (FSC), Módulo de Sílica (MS) e Módulo de Alumina (MA) pré-estabelecidos pela unidade industrial.

Com base nessa premissiva, foram estudados o filito Pirizal, o mica xisto e quartzito Vieira, pertencentes ao Subgrupo Lajeado do Grupo Açungui, com a finalidade de ajustar o MS e MA de duas farinhas experimentais, segundo valores pré-estabelecidos pela Camargo Corrêa Industrial (FSC= 101,0 MS= 2,7 e MA= 1,1).

As matérias-primas do Vieira são suficientes para um bom balanceamento químico da farinha, entretanto, a presença de importante parcela de quartzo grosso (superior a  $45\mu\text{m}$ ) onera o processo industrial quanto ao consumo de energia na moagem e na sinterização da farinha. O filito Pirizal embora com composição química semelhante à composição do mica xisto e quartzito do Vieira, tem granulometria mais fina.

A queima dessas farinhas em laboratório produziram “clínqueres” (‘pelets’) com características mineralógicas e texturais similares, porém a farinha produzida com o filito apresentou queimabilidade mais fácil do que a farinha composta apenas com o quartzito e mica xisto.

Do ponto de vista industrial, portanto, uma farinha composta com filito poderá representar um menor consumo energético durante a queima.

Os demais materiais estudados mostraram-se inadequados por diferentes motivos. A argila Coga estudada não foi utilizada na confecção das farinhas porque mostrou uma granulometria inadequada (com muito quartzo grosso). O calcário do Pirizal apresentou níveis calcíticos e dolomíticos silicosos. Esse depósito é complexo e de exploração economicamente por ora indefinida, uma vez que apenas uma lavra seletiva tornaria este depósito viável para fabricação de cimento.

De uma forma mais superficial caracterizou-se o calcário Taquarussu, o qual merece estudos mais aprofundados em função de seu alto teor de cálcio.



É importante ressaltar que o filito Pirizal não fazia parte deste projeto, tendo sido incluído em função de suas características favoráveis como matéria-prima para composição de farinha. Este depósito encontra-se numa área isenta de vegetação, podendo propiciar uma lavra com pequeno impacto ambiental. A descoberta da possibilidade de utilização do filito como matéria-prima para fabricação de cimento portland se deu exclusivamente graças a realização do trabalho de formatura, já que até então era apenas um capeamento de uma parte do calcário Pirizal.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) - 1984 - Curso de microscopia de clínquer de cimento portland. Divisão de Tecnologia do Cimento. São Paulo.
- BIGARELLA, J. J. - 1956 - Contribuição ao estudo dos calcários do Estado do Paraná. IBPT, Bol. Nº37, Curitiba.
- CAMPANHA, G. A. C. - 1991 - Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, Tese de Doutorado - IG - USP.
- CENTURIONE, S. L. - 1993 - Influência das características das matérias-primas no processo de sinterização do clínquer portland. São Paulo, Dissertação de Mestrado - IG - USP.
- CHATTERJEE, A. K. - 1979 - A review of diagnostic interrelations: the physicochemical characteristics of raw materials and the reactivity of raw mixes. Pit & Quarry, p. 103-105, September.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) - 1972 - Projeto calcário para cimento. São Paulo.
- DUDA, W. H. - 1977 - Cement data book. Berlin: Bauverlag GmbH.
- GOUDA, G. R. - 1977 - Cement raw materials, their effect on fuel consumption. Rock Products, Chicago, v. 80, nº10, p. 60-64, oct.
- KIHARA, Y. - 1973 - Estudo mineralógico de clínquer de cimento portland. São Paulo, (Dissertação de Mestrado - IG - USP).
- KIHARA, Y.; BATTAGIN, A. F.; MARCIANO JR., E. & SHUKUZAWA, J. K. - 1983 - Aptidão à clínquerização de farinhas de cimento; fator de controle e qualidade do cimento. São Paulo: ABCP. (ET-48).



- MELLO, I. S. De C. - 1995 - Geologia e aspectos metalogenéticos do Maciço Itaoca, Vale do Ribeira - SP e PR. São Paulo. 168p. (USP - Instituto de Geociências - Tese de Doutorado).
- SANT'AGOSTINO, L. M. & KAHN, H. - 1997 - Metodologia para caracterização tecnológica de matérias primas minerais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/69 (ISSN 0104-0553), 30p. 1997.
- SANTAMARIA, F. S. - 1982 - Composición químico-mineralógica de las materias primas y ahorro de energia en la industria del cemento. Materiales de Construcción, Madrid, nº 186, p. 61-77, Abr./Jun.
- SCHÄFER, H. V. - 1987 - Assesment of raw materials for the cement industry. Word Cement, London, v. 18, nº7, p.273-283, Sept.
- THEISEN, K. - 1992 - The influence of raw mix burnability on cement clinker. World Cement, London, v. 23, nº 8, p. 17-23, Aug.



## **Anexo 1**

Listagem das Análises Químicas em Furos de  
Sondagem (teores - % em peso)  
Calcário Pirizal



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
1	267	42,48	0,68	16,27	1,63	2,42	0,31	0,66	0,50
1	268	43,45	3,47	12,26	1,20	0,97	0,64	0,31	0,17
1	269	48,20	2,64	5,12	0,75	0,72	0,83	0,17	0,17
1	270	48,58	2,73	4,21	1,03	1,01	0,78	0,25	0,17
1	271	47,22	2,07	8,25	0,73	0,56	0,56	0,20	0,17
1	272	46,10	1,74	10,00	1,69	1,10	1,04	0,37	0,25
1	273	46,57	1,91	10,73	0,61	0,50	0,30	0,22	0,08
1	274	44,65	3,13	10,68	1,14	0,94	0,72	0,25	0,17
1	275	52,07	1,31	2,84	0,43	0,29	0,53	0,08	0,01
1	276	48,47	2,22	5,46	0,56	0,56	0,42	0,17	0,12
1	277	37,15	5,61	15,81	1,97	1,17	1,14	0,57	0,17
1	278	33,40	6,88	24,83	1,82	1,26	0,67	0,67	0,25
1	279	39,96	5,78	11,97	1,22	1,11	0,69	0,36	0,25
1	280	36,24	6,44	23,80	1,61	1,18	0,89	0,40	0,25
1	281	40,55	6,09	12,57	1,00	0,86	0,64	0,31	0,12
1	282	27,78	9,98	28,08	2,06	1,28	0,83	0,86	0,17
1	283	35,20	80,70	22,11	1,97	1,23	0,61	0,56	0,18
1	284	21,48	11,54	44,73	3,34	2,07	1,11	1,29	0,83
1	285	40,58	4,53	16,13	1,34	0,70	0,43	0,51	0,17
1	286	35,43	7,08	20,13	1,74	1,10	0,73	0,65	0,17
1	287	48,37	1,24	8,47	0,44	0,39	0,67	0,08	0,17
1	288	47,44	2,26	9,07	0,49	0,35	0,35	0,30	0,01
1	289	47,91	2,51	7,26	0,55	0,36	0,52	0,17	0,01
1	290	46,60	2,49	6,90	0,72	0,37	0,49	0,12	0,06
2	72	21,10	12,35	30,67	2,60	2,20	1,08	0,99	0,02
2	73	17,17	13,17	35,60	3,16	3,05	0,90	1,50	0,06
2	74	20,42	13,33	28,15	3,88	2,98	1,48	1,53	0,08
2	75	20,84	11,92	31,78	3,71	2,83	0,88	1,83	0,06
2	76	21,32	10,82	32,95	3,94	3,18	0,95	1,76	0,03
2	77	16,43	12,05	39,04	4,93	3,35	1,11	1,96	0,03
2	78	39,24	5,73	9,27	3,59	3,02	1,16	1,54	0,01
3	52	43,38	3,54	13,25	1,56	1,75	0,79	0,33	0,12
3	53	41,76	3,33	16,73	1,65	1,15	0,71	0,47	0,12
3	54	46,58	2,55	8,50	1,63	1,08	1,25	0,30	0,07
3	55	47,39	2,87	7,72	1,18	0,94	0,91	0,30	0,03
3	56	36,60	3,59	5,77	1,50	0,97	0,89	0,44	0,04
3	57	38,04	5,32	24,30	1,64	1,14	0,80	0,41	0,08
3	58	38,55	4,42	20,51	2,11	1,16	1,27	0,27	0,05
3	59	49,49	1,87	5,99	0,94	0,54	0,80	0,24	0,03
3	60	46,65	2,22	10,79	1,03	0,60	0,82	0,33	0,05
3	61	46,69	2,85	9,66	1,05	0,83	0,52	0,28	0,03
3	62	38,13	5,23	18,54	2,41	1,82	1,10	0,70	0,10
3	63	36,17	3,90	20,48	3,52	1,84	2,44	0,70	0,13
3	64	48,19	1,72	8,34	0,71	0,52	0,71	0,16	0,02
3	65	44,26	2,78	12,44	1,53	0,84	1,28	0,33	0,03
3	66	30,67	6,02	30,09	3,19	2,26	1,24	1,02	0,11
3	67	47,93	2,14	6,16	0,85	0,60	0,85	0,22	0,03
3	68	52,76	1,01	2,07	0,54	0,32	0,75	0,08	0,01
3	69	43,68	3,07	13,36	1,37	1,04	0,85	0,49	0,05



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
3	70	42,17	5,38	12,90	1,42	1,04	0,83	0,40	0,05
3	71	40,10	5,32	16,90	1,85	1,16	0,85	0,60	0,09
4	81	36,66	6,87	18,70	2,24	1,18	1,38	0,62	1,29
4	82	43,69	3,69	13,63	0,98	0,54	0,93	0,13	0,53
4	83	40,03	3,52	20,36	1,06	0,56	1,38	0,11	0,44
4	84	27,63	13,57	26,52	2,13	1,38	1,10	0,73	0,57
4	85	43,85	4,58	11,36	1,16	0,83	1,22	0,19	0,25
4	86	29,74	9,84	28,45	2,43	2,07	1,77	0,59	1,47
4	87	31,91	7,91	27,69	1,94	1,11	1,34	0,51	0,93
4	88	29,70	10,53	27,59	2,16	1,35	1,36	0,68	0,33
4	89	36,09	8,32	18,84	1,79	1,18	1,11	0,52	0,45
4	90	31,85	11,15	23,42	2,07	1,27	0,91	0,84	0,33
4	91	31,89	9,74	24,67	2,00	1,23	1,03	0,59	1,41
4	92	31,34	10,41	23,05	2,31	1,43	1,28	0,65	0,89
4	93	28,70	11,46	24,87	2,76	1,52	1,53	1,41	0,88
4	94	30,16	10,14	29,07	2,01	1,13	1,17	0,85	0,32
4	95	34,93	9,72	18,24	2,09	1,60	1,26	0,66	0,70
4	96	33,18	7,43	25,11	3,08	1,40	1,34	0,54	0,64
4	97	41,49	4,39	15,92	1,25	0,97	0,85	0,37	1,11
4	98	42,71	4,36	14,67	1,20	0,95	0,93	0,19	0,28
5	99	41,82	4,84	13,22	2,08	1,42	1,61	0,22	0,21
5	100	33,31	4,67	27,23	3,03	2,04	1,56	0,88	0,17
5	101	34,28	6,10	25,15	2,26	1,87	1,33	0,57	0,15
5	102	43,99	3,85	10,85	1,79	1,37	1,31	0,45	0,17
5	103	47,76	2,74	6,92	1,26	0,76	1,32	0,25	0,08
5	104	46,04	3,15	8,65	1,75	0,94	1,58	0,28	0,04
5	105	45,35	3,33	9,58	1,66	0,90	1,36	0,30	0,42
5	106	45,34	2,67	10,86	1,48	0,98	1,31	0,28	0,12
5	107	43,75	3,10	12,86	1,42	1,00	0,89	0,39	0,83
5	108	31,70	4,47	22,02	4,34	3,18	2,28	1,15	1,80
5	109	40,25	4,58	16,34	2,30	1,63	1,27	0,61	1,00
5	110	48,35	2,27	5,67	1,39	0,82	1,55	0,30	0,29
5	111	40,35	4,36	16,31	2,33	1,19	1,61	0,44	0,63
5	112	34,20	6,13	22,87	2,44	2,36	1,20	0,62	0,67
5	113	48,27	2,71	6,05	1,67	0,93	1,61	0,25	0,17
5	114	53,41	1,01	0,03	0,89	0,31	1,34	0,08	0,01
5	115	51,09	0,82	4,67	0,85	0,27	1,29	0,05	0,01
5	116	51,23	1,64	1,94	1,20	0,42	1,82	0,14	0,08
5	117	40,03	5,34	15,40	2,11	1,18	1,67	0,63	0,17
5	118	44,22	3,80	11,07	1,45	0,93	1,26	0,27	0,08
5	119	39,98	5,04	14,14	2,12	1,60	1,90	0,41	0,58
5	120	40,85	5,51	12,83	1,84	0,96	1,67	0,36	0,92
5	121	46,19	3,55	6,95	1,49	0,82	1,68	0,19	0,33
5	122	27,04	11,81	27,15	3,12	1,92	1,48	1,00	0,58
5	123	45,59	4,46	15,19	1,40	0,84	1,32	0,28	0,17
5	124	38,38	6,82	16,64	2,00	1,26	1,32	0,47	0,42
5	125	45,27	4,12	9,54	1,40	0,60	1,26	0,30	0,04
5	126	45,42	3,33	8,55	1,78	0,92	1,69	0,33	0,50
5	127	26,90	11,40	32,93	2,48	1,46	1,35	0,59	0,21



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
5	128	20,75	13,13	40,38	2,75	1,79	1,32	0,63	0,67
6	135	44,42	5,04	10,69	1,42	0,70	0,33	0,47	0,24
6	136	39,79	6,32	16,03	2,07	0,95	0,36	0,68	0,28
6	137	39,73	4,04	14,25	2,25	1,39	0,79	0,38	2,62
6	138	42,78	3,85	11,58	1,77	0,94	0,88	0,34	0,80
6	139	48,49	2,64	6,11	0,72	0,38	0,39	0,09	0,24
6	140	43,52	5,63	9,79	1,60	0,66	0,49	0,30	0,08
6	141	45,79	4,29	8,69	1,23	0,58	0,44	0,28	0,18
6	142	49,79	2,58	4,31	0,81	0,48	0,20	0,23	0,01
6	143	48,47	2,64	6,24	0,91	0,49	0,28	0,21	0,17
6	144	33,83	7,92	22,81	1,90	1,01	0,45	0,43	1,97
6	145	18,30	13,76	43,16	3,79	2,20	0,63	0,97	0,35
6	146	33,96	6,67	25,22	2,15	1,62	0,51	0,41	0,38
6	147	32,39	10,56	22,58	1,85	0,89	0,36	0,30	0,21
6	148	36,51	8,19	18,70	1,66	1,03	0,31	0,39	0,21
6	149	48,96	2,86	5,34	0,85	0,58	0,24	0,23	0,21
6	150	51,16	1,87	3,88	0,51	0,33	0,23	0,09	0,01
6	151	48,30	3,24	6,30	0,99	0,40	0,34	0,16	0,20
6	152	43,28	4,01	18,23	1,48	0,70	0,37	0,35	0,27
6	153	41,77	5,14	13,61	1,60	0,93	0,48	0,36	0,30
6	154	41,80	5,01	12,46	1,83	1,11	0,45	0,39	1,46
6	155	45,91	3,89	8,73	1,13	0,89	0,34	0,23	0,40
8	156	23,80	14,23	31,63	3,85	1,96	0,46	0,70	0,65
8	157	46,52	3,14	9,07	1,09	0,49	0,36	0,18	0,05
8	158	37,08	5,19	21,68	2,26	1,22	0,73	0,42	0,58
8	159	44,50	3,46	12,65	1,35	0,75	0,44	0,37	0,01
8	160	41,99	5,27	10,20	2,16	1,52	0,58	0,40	0,50
8	161	48,69	3,34	4,78	1,06	0,67	0,50	0,19	0,25
8	162	49,85	2,73	4,78	0,54	0,39	0,44	0,16	0,05
8	163	38,05	8,69	18,44	2,72	1,25	0,30	1,01	0,01
8	164	49,37	2,05	6,70	0,47	0,22	0,16	0,09	0,01
8	165	50,84	2,09	3,80	0,74	0,33	0,32	0,09	0,12
8	166	50,72	1,75	4,85	0,76	0,35	0,26	0,07	0,15
8	167	50,24	2,24	4,35	0,88	0,44	0,52	0,14	0,12
8	168	46,49	3,78	8,35	1,23	0,60	0,36	0,32	0,45
8	169	42,96	5,11	11,72	1,65	0,91	0,42	0,44	0,49
8	170	46,44	4,24	7,70	1,16	0,63	0,39	0,21	0,18
8	171	43,23	5,20	12,99	1,19	0,68	0,29	0,24	0,15
8	172	30,62	11,32	24,76	2,52	1,40	0,37	0,59	0,46
8	173	34,45	9,33	18,57	2,57	1,14	0,73	0,77	0,67
8	174	42,92	4,56	14,15	1,09	0,77	0,43	0,22	0,29
9	175	33,97	9,46	21,74	2,18	0,97	0,45	0,74	0,08
9	176	41,03	7,25	11,83	1,64	0,73	0,45	0,65	0,08
9	177	42,26	9,74	7,64	1,94	1,18	0,46	0,46	0,23
9	178	38,15	8,68	19,85	1,71	0,78	0,37	0,43	0,01
9	179	21,42	16,06	31,68	3,26	1,53	0,64	1,10	0,33
9	180	33,84	10,08	21,57	1,95	1,08	0,55	0,49	0,12
9	181	35,01	10,27	19,27	1,87	1,13	0,35	0,48	0,08
9	182	31,45	10,68	23,44	2,87	1,19	0,37	0,89	0,08



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
9	183	34,27	10,20	19,39	1,71	1,10	0,34	0,47	0,62
9	184	24,42	15,90	24,95	3,35	1,85	0,49	1,51	0,12
9	185	27,37	13,43	23,34	3,15	1,67	0,37	1,32	0,18
9	186	35,07	5,40	24,73	1,58	0,72	0,34	0,40	0,25
9	187	33,93	8,75	19,68	2,40	1,24	0,54	0,68	0,25
9	188	49,26	4,70	10,13	1,13	1,62	0,43	0,26	0,31
9	189	39,80	7,86	11,52	2,03	0,96	0,59	0,53	0,17
9	190	35,77	8,71	11,10	2,23	1,10	0,88	0,65	0,18
9	191	33,14	12,49	11,26	2,58	1,91	0,71	0,49	0,42
10	192	5,78	15,36	64,94	3,62	2,28	1,36	0,38	1,19
10	193	41,13	4,40	15,04	2,07	0,94	1,42	0,21	0,82
10	194	36,37	8,81	17,87	1,96	0,80	1,00	0,26	0,21
10	195	50,97	1,65	3,00	1,21	0,25	1,35	0,07	0,01
10	196	51,82	1,20	2,79	0,96	0,17	1,12	0,02	0,01
10	197	51,88	1,33	1,77	1,45	0,21	1,38	0,07	0,01
10	198	37,34	7,04	15,91	2,48	0,77	1,08	0,41	0,80
10	199	44,80	4,47	8,83	2,13	0,60	1,07	0,21	0,01
10	200	40,74	5,22	12,63	2,43	0,82	1,11	0,46	1,21
10	201	37,46	6,17	17,33	2,41	0,95	1,19	0,50	1,23
10	202	47,83	3,04	5,06	1,63	0,65	1,24	0,14	0,60
10	203	47,00	3,34	5,46	1,60	0,65	1,01	0,23	0,97
10	204	42,65	4,28	11,81	2,07	0,80	1,14	0,20	0,95
10	205	46,73	3,54	6,13	1,72	0,70	1,12	0,21	0,79
11	71	43,10	3,92	13,93	1,22	0,55	0,14	0,33	0,12
11	78	50,96	1,84	3,17	0,91	0,31	0,12	0,34	0,04
11	80	43,91	4,84	9,40	1,72	0,69	0,35	0,33	0,37
11	82	47,39	3,38	5,48	1,30	0,50	0,23	0,39	0,22
11	84	41,21	5,62	11,65	2,28	1,07	0,42	0,34	0,67
11	86	47,85	3,22	6,50	1,14	0,43	0,19	0,33	0,08
11	87	53,27	1,45	1,08	0,65	0,19	0,04	0,34	0,01
11	88	45,55	4,11	6,98	1,52	0,79	0,28	0,34	0,82
11	90	41,65	5,93	11,32	2,00	0,80	0,44	0,33	0,54
11	75	33,00	9,34	24,88	2,66	1,42	0,29	0,26	1,16
11	76	38,45	11,20	12,36	1,54	0,87	0,28	0,32	0,13
11	77	37,35	9,59	15,78	2,34	1,16	0,38	0,32	0,64
11	79	37,33	7,90	17,02	2,36	0,92	0,41	0,32	0,36
11	81	35,96	8,34	18,38	2,73	1,23	0,51	0,33	0,77
11	83	37,60	6,09	18,57	2,80	1,08	0,39	0,34	0,70
11	85	34,03	6,82	22,22	2,99	1,45	0,44	0,27	1,19
11	89	33,46	8,30	23,30	3,15	1,22	0,52	0,27	1,00
11	73	21,17	18,54	35,17	4,93	2,74	1,01	0,27	1,46
11	74	23,99	17,34	30,75	4,40	2,74	0,59	0,25	1,76
12	91	40,14	6,11	13,18	2,37	1,00	0,38	0,34	0,78
12	92	40,95	5,94	12,75	2,26	0,94	0,28	0,34	0,71
12	93	41,89	6,73	10,75	1,86	0,90	0,38	0,33	0,59
12	95	45,69	4,38	7,73	1,59	0,66	0,21	0,31	0,39
12	102	42,62	5,29	11,18	2,08	0,76	0,31	0,33	0,41
12	104	42,07	3,32	12,91	2,23	1,05	0,31	0,32	1,22
12	105	46,90	3,87	6,56	1,36	0,47	0,30	0,33	0,05
12	110	48,53	2,95	4,75	1,22	0,71	0,14	0,32	0,65
12	94	38,37	9,08	13,90	2,14	0,97	0,45	0,32	0,46
12	96	36,10	9,06	16,50	3,17	1,42	0,52	0,32	0,88
12	97	33,99	10,18	19,69	3,31	1,50	0,43	0,33	0,96
12	98	37,21	7,89	16,77	2,68	1,33	0,44	0,33	0,98



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
12	99	33,28	10,08	20,78	3,06	1,45	0,45	0,26	1,12
12	100	33,05	8,27	24,26	3,12	1,24	0,38	0,27	1,01
12	101	38,87	6,62	15,60	2,46	0,92	0,46	0,31	0,47
12	103	39,98	6,56	13,81	2,24	0,90	0,44	0,33	0,48
12	106	29,25	13,79	28,17	2,39	1,23	0,58	0,24	0,50
12	107	21,98	17,81	33,80	5,02	2,53	0,89	0,27	1,44
12	108	22,86	17,50	35,79	4,16	2,18	0,57	0,26	1,24
12	109	27,59	14,99	25,72	3,40	1,92	0,59	0,26	1,33
13	144	41,88	3,31	14,45	2,52	1,50	0,34	0,25	0,25
13	148	40,05	3,31	15,30	3,12	1,72	0,48	0,33	0,66
13	149	44,28	2,25	11,03	2,39	1,22	0,32	0,34	0,48
13	150	44,28	1,59	11,78	2,39	1,00	0,32	0,35	0,46
13	151	42,87	2,47	12,46	2,68	1,29	0,44	0,34	0,55
13	156	41,94	3,90	12,60	2,43	1,50	0,22	0,23	0,91
13	157	40,84	3,83	13,99	2,18	1,17	0,34	0,39	0,53
13	163	42,11	3,61	14,66	1,82	0,96	0,23	0,28	0,56
13	164	46,41	2,66	7,80	1,61	0,74	0,24	0,34	0,35
13	166	48,59	2,24	5,70	1,26	0,74	0,19	0,34	0,46
13	167	40,48	4,65	13,52	2,81	1,65	0,38	0,33	1,25
13	168	39,84	4,76	14,85	2,88	1,43	0,37	0,33	1,16
13	169	52,28	1,05	2,61	0,62	0,30	0,03	0,12	0,05
13	170	49,75	1,81	4,59	1,06	0,45	0,13	0,24	0,31
13	171	42,90	4,11	11,19	1,90	0,95	0,35	0,28	0,96
13	145	37,16	4,54	17,94	4,33	0,96	0,63	0,33	0,13
13	146	35,07	4,54	20,07	4,16	1,97	0,59	0,26	0,46
13	147	37,77	4,35	18,61	3,72	2,02	0,55	0,24	0,50
13	152	39,13	4,17	16,08	2,79	1,55	0,47	0,26	0,76
13	154	35,78	4,55	19,18	3,25	1,91	0,59	0,32	1,17
13	155	38,37	4,46	16,58	3,04	1,82	0,52	0,33	1,28
13	158	38,51	4,98	14,94	3,43	1,58	0,49	0,35	1,04
13	159	36,28	2,57	20,66	2,54	1,40	0,36	0,26	0,96
13	160	38,28	5,93	15,92	2,70	1,64	0,36	0,33	1,02
13	161	33,38	7,68	20,42	3,84	2,31	0,68	0,30	1,39
13	162	37,66	4,94	17,78	3,21	1,86	0,39	0,33	1,28
13	165	38,73	4,81	13,63	3,65	1,58	0,71	0,34	1,22
13	153	31,43	6,92	24,63	4,29	2,43	0,77	0,25	0,91
14	115	45,01	2,96	9,60	2,28	1,19	0,32	0,15	0,75
14	116	42,55	3,78	12,47	2,29	1,09	0,31	0,34	0,70
14	118	43,06	3,88	12,47	2,54	1,19	0,31	0,26	0,72
14	121	43,06	3,88	12,47	2,54	1,19	0,31	0,26	0,72
14	123	44,98	3,22	9,45	1,98	1,16	0,33	0,34	0,87
14	126	49,77	1,64	5,58	0,96	0,60	0,16	0,11	0,36
14	127	51,08	1,70	3,39	0,71	0,42	0,14	0,12	0,18
14	129	43,26	3,94	13,34	1,65	0,71	0,24	0,33	0,32
14	131	41,63	5,60	11,99	1,83	0,97	0,50	0,16	0,59
14	132	41,77	5,13	11,80	1,37	0,91	0,33	0,17	0,74
14	137	43,13	4,86	11,36	1,97	0,86	0,24	0,33	0,47
14	111	34,72	6,40	19,71	3,47	2,06	0,61	0,26	1,00
14	112	34,65	4,66	23,42	3,37	1,51	0,40	0,44	0,88
14	113	36,09	4,89	20,32	2,85	2,00	0,40	0,39	1,44
14	114	36,71	4,62	19,84	3,12	2,64	0,43	0,33	1,65
14	117	36,40	5,91	19,09	2,52	1,73	0,38	0,26	1,26
14	119	39,15	3,96	14,96	3,94	1,76	0,55	0,36	1,66
14	120	36,40	5,91	19,09	2,52	1,73	0,38	0,26	1,26
14	122	39,15	3,96	14,96	3,94	1,76	0,55	0,36	1,66
14	124	39,74	4,54	17,72	2,19	1,58	0,28	0,21	0,95
14	125	36,40	5,49	18,63	3,07	1,69	0,46	0,34	1,45
14	128	39,27	5,52	14,03	2,90	1,26	0,48	0,35	0,93



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
14	134	36,44	7,24	19,37	2,67	2,40	0,62	0,19	2,05
14	135	34,76	8,65	20,14	2,66	1,25	0,75	0,25	0,86
14	136	34,36	7,38	19,82	2,69	1,51	0,67	0,26	0,99
15	190	45,75	3,71	10,57	1,57	0,71	0,26	0,10	0,45
15	191	41,69	5,14	12,01	2,30	0,95	0,49	0,33	0,58
15	193	42,17	5,03	11,67	2,24	0,86	0,41	0,33	0,61
15	194	45,74	3,72	9,45	1,10	0,73	0,33	0,11	0,52
15	195	53,44	1,03	0,83	0,66	0,17	0,03	0,34	0,01
15	196	51,73	1,69	1,95	0,84	0,26	0,10	0,34	0,07
15	197	43,27	4,68	10,11	1,89	0,77	0,38	0,34	0,54
15	199	42,94	5,86	9,79	1,84	0,72	0,44	0,37	0,45
15	200	46,51	4,04	6,88	1,35	0,50	0,27	0,31	0,21
15	201	46,83	3,65	6,11	1,53	0,52	0,34	0,34	0,30
15	202	47,35	3,40	5,04	1,38	0,54	0,31	0,34	0,38
15	203	45,16	4,96	6,33	1,69	0,70	0,34	0,36	0,56
15	204	44,27	6,54	6,05	1,86	0,80	0,46	0,33	0,58
15	192	35,57	8,38	19,76	2,80	1,22	0,47	0,34	0,68
15	198	38,15	6,27	16,07	2,60	1,14	0,59	0,33	1,00
15	189	29,49	10,72	28,39	3,70	1,62	0,60	0,26	1,36
16	177	46,79	1,25	7,99	2,31	1,17	0,31	0,34	0,03
16	178	43,14	2,00	11,93	3,13	1,51	0,48	0,34	0,07
16	179	40,28	2,07	16,50	3,36	1,92	0,40	0,34	0,14
16	180	47,64	1,75	7,04	1,82	1,00	0,23	0,31	0,11
16	183	36,39	4,52	18,73	3,92	2,12	0,60	0,33	0,48
16	184	35,61	4,32	20,42	3,66	2,03	0,57	0,26	0,65
16	186	39,55	1,88	17,33	4,02	1,60	0,71	0,33	0,05
16	187	36,39	2,07	23,55	3,23	1,59	0,66	0,10	0,43
16	181	23,12	7,85	37,18	6,23	3,14	1,01	0,33	0,18
16	182	24,95	7,81	34,05	6,48	2,73	0,95	0,41	0,47
16	185	26,08	1,92	48,00	3,66	1,93	0,59	0,24	0,32
17	206	41,17	5,77	11,68	2,27	0,94	0,36	0,34	0,65
17	210	41,89	6,26	11,49	1,93	0,86	0,29	0,33	0,50
17	212	42,51	5,32	10,81	2,07	0,94	0,43	0,33	0,68
17	213	40,86	4,71	14,21	2,30	1,08	0,31	0,34	0,34
17	214	47,13	3,56	6,90	1,28	0,47	0,21	0,33	0,03
17	215	45,03	4,55	8,87	1,59	0,62	0,18	0,32	0,30
17	216	49,68	2,06	5,32	0,76	0,32	0,13	0,33	0,01
17	217	48,17	2,80	6,33	1,24	0,51	0,20	0,31	0,23
17	219	52,27	1,41	2,68	0,68	0,27	0,05	0,34	0,01
17	207	35,33	9,03	17,81	3,22	1,37	0,64	0,33	0,91
17	208	37,57	7,62	17,24	2,40	1,03	0,41	0,34	0,57
17	211	32,24	9,31	21,50	3,09	1,72	0,52	0,27	1,54
17	218	38,65	7,59	14,39	2,23	1,24	0,53	0,32	0,84
17	209	31,64	13,91	19,93	2,51	1,30	0,59	0,25	0,64
18	224	47,62	3,82	6,66	1,18	0,88	0,20	0,33	0,05
18	225	42,84	5,54	11,07	1,97	0,67	0,31	0,33	0,21
18	226	49,75	2,57	4,30	1,00	0,95	0,13	0,33	0,02
18	227	41,32	5,85	12,98	1,97	1,39	0,48	0,33	0,25
18	235	45,32	4,48	7,84	1,72	0,71	0,36	0,33	0,48
18	236	51,83	1,83	3,04	0,78	0,30	0,10	0,34	0,03
18	237	46,95	3,61	7,96	1,33	0,51	0,23	0,34	0,13
18	238	48,03	3,98	5,08	1,25	0,50	0,18	0,34	0,15
18	241	41,49	3,87	14,55	1,73	3,01	0,29	0,33	0,42
18	242	50,13	2,34	3,94	0,95	0,33	0,13	0,34	0,01
18	243	46,84	3,97	6,97	1,36	0,50	0,29	0,34	0,18
18	245	44,38	4,45	9,16	1,65	0,70	0,31	0,33	0,39
18	248	48,01	3,11	6,19	1,31	0,54	0,22	0,34	0,32
18	249	47,79	3,55	6,71	1,14	0,43	0,14	0,34	0,11



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
18	251	46,52	3,55	8,58	1,25	0,63	0,22	0,33	0,19
18	222	35,12	6,63	21,72	2,40	1,05	0,51	0,25	0,47
18	223	36,70	5,05	18,24	3,07	1,10	0,63	0,26	0,81
18	231	36,89	8,35	16,51	2,82	1,73	0,60	0,33	1,53
18	232	38,99	9,28	15,49	1,57	0,89	0,14	0,32	0,27
18	234	34,82	10,60	18,60	2,60	1,42	0,63	0,32	0,81
18	239	39,82	7,33	12,83	1,76	1,90	0,36	0,32	0,41
18	240	35,49	8,79	17,41	2,94	1,43	0,63	0,32	1,12
18	244	32,76	8,35	20,47	2,56	2,73	0,58	0,26	2,71
18	246	38,63	5,79	17,11	2,57	1,06	0,42	0,33	0,64
18	247	36,47	6,31	19,14	2,85	1,26	0,51	0,34	0,95
18	250	35,73	7,59	19,11	2,59	1,04	0,51	0,26	0,89
18	228	27,57	13,70	29,00	3,22	1,63	0,71	0,25	0,71
18	229	23,68	16,74	30,17	4,49	2,54	1,14	0,24	1,39
18	230	25,62	15,69	22,27	4,02	3,22	0,77	0,25	2,19
18	233	29,94	14,71	23,37	3,08	1,68	0,38	0,25	0,89
19	253	40,86	5,41	13,67	2,38	0,87	0,60	0,33	0,65
19	254	45,34	4,64	8,01	1,58	0,61	0,37	0,33	0,23
19	255	45,20	5,06	7,38	1,44	0,55	0,33	0,33	0,21
19	256	41,97	6,09	11,92	1,96	0,73	0,34	0,33	0,33
19	257	44,79	4,30	8,65	1,75	0,63	0,33	0,34	0,39
19	259	43,67	4,86	8,79	1,80	0,74	0,31	0,33	0,41
19	260	43,79	4,45	9,31	1,74	0,76	0,36	0,33	0,44
19	261	47,65	3,91	4,95	1,32	0,73	0,26	0,34	0,71
19	262	44,17	4,76	9,84	1,45	0,67	0,28	0,33	0,35
19	263	40,06	6,55	13,74	2,04	0,97	0,38	0,33	0,64
19	269	41,07	5,12	14,00	2,34	1,12	0,36	0,32	0,20
19	258	38,83	5,82	16,68	2,50	1,06	0,37	0,34	0,57
19	264	35,83	8,67	18,13	2,63	1,42	0,55	0,26	1,08
19	265	38,73	8,59	13,02	2,66	1,02	0,50	0,33	0,64
19	266	37,26	8,10	16,12	2,55	1,34	0,66	0,32	0,80
19	267	37,67	7,46	17,67	2,47	1,21	0,48	0,32	0,51
19	268	34,86	7,05	20,11	2,81	1,99	0,43	0,25	0,39
20	276	44,01	3,23	11,70	1,83	0,81	0,33	0,34	0,52
20	277	50,64	1,44	4,40	1,21	0,44	0,09	0,35	0,24
20	278	43,23	3,87	10,00	2,20	0,87	0,40	0,35	0,85
20	282	42,18	5,95	10,32	1,81	0,94	0,30	0,34	0,66
20	283	41,67	4,92	10,28	2,27	1,27	0,34	0,34	1,44
20	286	43,20	3,56	11,06	2,08	0,80	0,32	0,34	0,68
20	287	46,05	3,82	7,91	1,57	0,61	0,19	0,33	0,30
20	288	46,27	3,98	7,63	1,39	0,47	0,29	0,33	0,06
20	274	37,09	5,79	18,85	2,33	1,33	0,34	0,25	0,84
20	275	32,85	7,25	19,52	4,25	2,36	0,67	0,28	1,86
20	279	34,83	7,92	19,93	3,03	1,42	0,46	0,34	1,00
20	280	33,13	10,15	20,19	2,88	1,36	0,47	0,26	0,82
20	281	39,12	7,29	14,11	1,99	0,93	0,36	0,33	0,42
20	284	33,96	9,00	19,14	3,01	1,51	0,67	0,26	1,07
20	285	39,63	5,56	14,96	2,21	1,02	0,32	0,33	0,56
21	290	41,46	3,41	13,24	2,41	1,33	0,37	0,33	0,92
21	291	40,01	4,75	14,43	2,43	1,22	0,36	0,34	0,76
21	292	46,55	2,44	9,34	1,35	0,63	0,21	0,33	0,15
21	293	45,22	2,58	9,88	1,74	0,70	0,30	0,34	0,34
21	294	44,67	3,15	10,16	1,85	0,91	0,28	0,33	0,54
21	295	40,45	3,83	13,28	3,48	1,18	0,47	0,35	0,82
21	296	44,97	2,77	9,06	1,96	0,95	0,32	0,20	0,70
21	297	41,07	4,10	13,66	2,14	1,08	0,25	0,33	0,56
21	298	42,48	3,97	11,74	2,32	1,05	0,25	0,34	0,84
21	299	48,07	2,59	5,85	1,61	0,55	0,21	0,35	0,39



Análises Químicas - Pirizal

FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
21	300	42,13	4,48	11,66	2,17	0,80	0,32	0,34	0,57
21	305	40,75	5,73	13,08	2,12	0,87	0,42	0,33	0,48
21	306	40,33	5,92	13,55	2,16	0,93	0,37	0,33	0,53
21	307	40,46	4,13	15,14	2,39	0,96	0,33	0,34	0,79
21	308	48,41	3,04	5,70	1,16	0,42	0,16	0,34	0,08
21	309	44,93	4,98	8,94	1,76	0,60	0,18	0,33	0,15
21	301	39,01	6,43	14,49	2,40	1,23	0,41	0,34	1,13
21	302	38,66	6,79	14,97	2,42	1,03	0,34	0,34	0,73
21	303	38,50	6,12	15,52	2,42	1,45	0,49	0,33	1,18
21	304	32,51	8,43	21,19	3,15	2,02	0,55	0,26	1,81
21	310	39,89	6,91	14,10	1,94	1,20	0,36	0,33	1,21
21	311	24,70	16,56	30,43	4,19	2,43	0,79	0,26	0,57
21	312	25,73	15,27	29,11	3,71	1,98	0,56	0,26	1,09
21	313	20,19	16,55	38,82	5,51	2,91	0,72	0,28	1,70
22	354	0,32	0,30	54,06	22,40	12,66	0,68	0,99	nd
22	355	0,31	0,61	64,16	16,10	9,20	0,41	0,05	nd
22	356	0,31	0,69	64,72	15,76	8,72	0,75	0,07	nd
22	357	0,31	1,02	67,68	12,89	8,61	1,32	0,10	nd
22	358	39,60	3,36	17,68	2,49	1,04	0,42	0,33	0,36
22	359	42,32	3,58	12,56	2,15	0,78	0,38	0,33	0,45
22	360	47,58	3,34	6,41	1,20	0,38	0,17	0,32	0,06
22	361	47,08	4,00	6,92	1,34	0,45	0,28	0,32	0,11
22	362	33,07	10,60	23,49	2,15	1,00	0,43	0,24	0,58
22	363	24,82	16,55	29,29	4,03	2,30	0,82	0,24	1,60
22	364	26,16	14,21	30,72	3,53	2,15	0,52	0,24	1,41
22	365	34,73	10,88	17,87	2,37	1,20	0,33	0,31	0,48
22	366	42,47	5,86	11,27	1,53	0,71	0,30	0,31	0,28
22	367	51,92	1,58	2,54	0,79	0,26	0,06	0,32	0,06
22	368	51,69	2,06	2,93	0,93	0,26	0,05	0,32	0,03
22	369	45,02	4,57	9,02	1,57	0,63	0,27	0,31	0,30
22	370	35,46	9,01	18,05	2,49	1,06	0,42	0,31	0,44
22	371	39,45	6,42	14,02	2,48	0,99	0,49	0,31	0,63
23	389	36,76	9,20	18,42	1,90	1,07	0,29	0,31	0,28
23	390	46,80	3,50	6,94	1,50	0,64	0,27	0,32	0,44
23	391	51,14	2,06	3,32	0,93	0,29	0,14	0,32	0,01
23	392	45,95	4,40	7,14	1,45	0,57	0,28	0,32	0,23
23	393	33,65	9,40	20,21	2,84	1,35	0,44	0,25	1,01
23	394	50,69	1,96	3,76	0,84	0,29	0,10	0,32	0,02
23	395	40,79	6,22	13,36	2,19	0,84	0,42	0,32	0,47
23	396	36,67	9,08	15,45	2,79	1,21	0,54	0,31	0,75
23	397	46,12	3,85	6,98	1,39	0,65	0,25	0,32	0,37
23	398	43,33	4,29	10,95	1,81	0,65	0,36	0,32	0,38
23	399	44,46	4,83	6,91	2,03	0,86	0,51	0,32	0,76
23	400	41,59	5,13	12,00	2,35	0,94	0,58	0,31	0,59
23	500	35,52	6,66	19,05	2,86	1,29	0,71	0,26	1,09
23	501	51,38	2,16	2,09	0,84	0,38	0,15	0,32	0,17
23	502	52,38	1,71	1,89	0,74	0,23	0,05	0,32	0,01
23	503	42,35	6,04	10,23	2,30	0,83	0,43	0,32	0,57
23	504	45,92	4,62	6,17	1,74	0,66	0,44	0,32	0,47
23	505	42,38	6,26	10,37	1,97	0,72	0,38	0,31	0,37
23	506	42,44	5,56	12,64	1,57	0,56	0,31	0,31	0,17
23	507	46,02	4,29	8,61	1,59	0,53	0,24	0,32	0,26
24	373	37,35	4,44	19,74	3,10	1,27	0,39	0,33	0,68
24	374	42,26	4,18	11,48	2,32	1,43	0,31	0,32	0,93
24	375	43,52	3,80	11,79	1,77	0,85	0,25	0,32	0,39
24	376	43,71	3,89	10,94	1,79	0,92	0,22	0,32	0,54
24	377	41,56	4,71	12,21	2,82	1,13	0,44	0,33	0,85
24	378	40,08	5,46	14,58	2,37	0,93	0,35	0,32	0,63



FURO	Nº	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Na2O	K2O	SO3-
24	379	40,19	6,89	12,25	2,43	0,99	0,39	0,33	0,71
24	380	35,81	8,31	17,47	2,77	1,24	0,51	0,32	0,86
24	381	39,43	7,81	13,51	1,91	1,00	0,41	0,31	0,56
24	382	40,31	7,45	12,75	1,88	0,86	0,37	0,32	0,42
24	383	38,12	7,45	13,27	2,95	1,19	0,56	0,31	0,90
24	384	32,59	11,43	20,20	2,61	1,31	0,56	0,25	0,86
24	385	33,81	8,10	19,68	2,84	2,27	0,38	0,26	2,28
24	386	36,33	7,41	17,28	2,77	1,26	0,62	0,33	0,83
24	387	38,82	5,93	15,26	2,42	1,06	0,46	0,33	0,79
25	522	41,17	5,89	11,21	2,52	0,98	0,61	0,31	0,65
25	523	35,99	6,77	18,91	2,97	1,33	0,57	0,33	0,91
25	524	44,44	4,93	8,22	1,68	0,67	0,38	0,29	0,35
25	525	43,44	4,90	9,87	1,74	0,79	0,40	0,29	0,56
25	526	36,37	6,05	19,64	2,73	1,19	0,45	0,33	0,73
25	527	49,42	2,92	3,77	0,99	0,36	0,17	0,31	0,01
25	528	47,09	3,31	6,48	1,34	0,43	0,22	0,32	0,14
25	529	43,48	4,79	9,01	1,86	0,67	0,44	0,30	0,35
25	530	39,77	5,51	15,68	2,13	0,90	0,33	0,31	0,53
25	531	39,31	5,57	14,63	2,55	1,10	0,50	0,33	0,83
25	532	46,66	3,88	7,32	1,32	0,43	0,20	0,30	0,11
25	533	42,91	5,10	9,65	1,95	0,82	0,49	0,32	0,49
25	534	40,02	6,75	12,75	2,32	0,79	0,44	0,30	0,34
25	535	43,80	4,90	9,33	1,92	0,77	0,28	0,33	0,59
25	536	38,75	7,79	14,41	2,46	0,86	0,51	0,30	0,27
25	537	42,18	7,47	9,20	1,72	0,68	0,40	0,28	0,20
25	538	43,02	6,96	7,95	1,71	0,94	0,30	0,28	0,84
25	539	28,50	14,90	26,67	3,00	1,27	0,60	0,23	0,45
25	540	34,42	10,78	18,35	2,94	1,17	0,58	0,28	0,52
26	509	29,43	15,23	19,74	2,84	1,47	0,68	0,19	0,65
26	510	34,23	11,47	17,32	2,47	1,14	0,58	0,25	0,28
26	511	28,37	16,64	20,28	3,07	1,56	0,73	0,19	0,62
26	512	24,35	20,21	26,19	3,48	1,84	1,00	0,17	0,70
26	513	34,97	10,61	19,00	2,24	0,97	0,44	0,24	0,19
26	514	41,42	7,79	10,05	1,70	0,71	0,44	0,26	0,12
26	515	40,77	6,14	10,17	1,74	0,68	0,38	0,27	0,18
26	516	41,48	5,75	11,84	1,96	0,71	0,42	0,30	0,20
26	517	34,63	9,21	17,64	2,80	1,17	0,53	0,32	0,39
26	518	33,67	11,90	16,80	3,01	1,17	0,65	0,28	0,35
26	519	32,20	11,28	20,64	3,27	1,31	0,58	0,29	0,76
26	520	33,42	11,44	19,45	3,33	1,35	0,56	0,31	0,66



## **Anexo 2**

**Ilustrações fotográficas das áreas Vieira, Filito  
Pirizal, Argila Coga e Calcário Taquarussu**

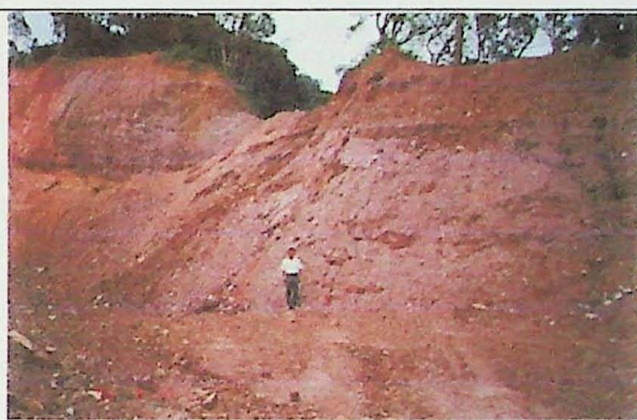




Fotografia 1 - Visão geral depósito Vieira - Área 4 - em lavra.



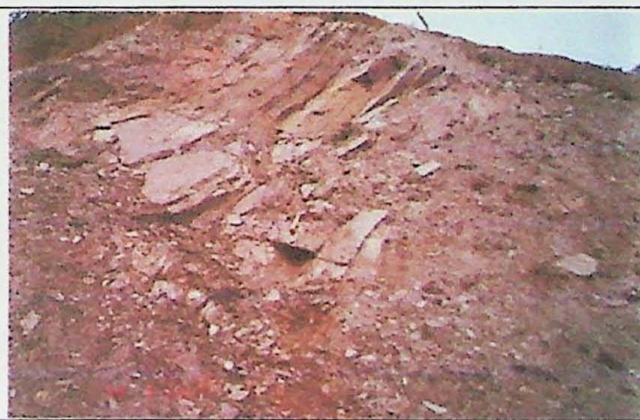
Fotografia 2 - Área de amostragem do quartzito utilizado para microscopia óptica.



Fotografia 4 - Área de amostragem do mica-xisto utilizado para microscopia óptica.



Fotografia 3 - Detalhe do afloramento onde o quartzito foi amostrado.



Fotografia 5 - Detalhe do afloramento onde o mica-xisto foi amostrado.

Fotografias da área do depósito de quartzito e mica-xisto Vieira.

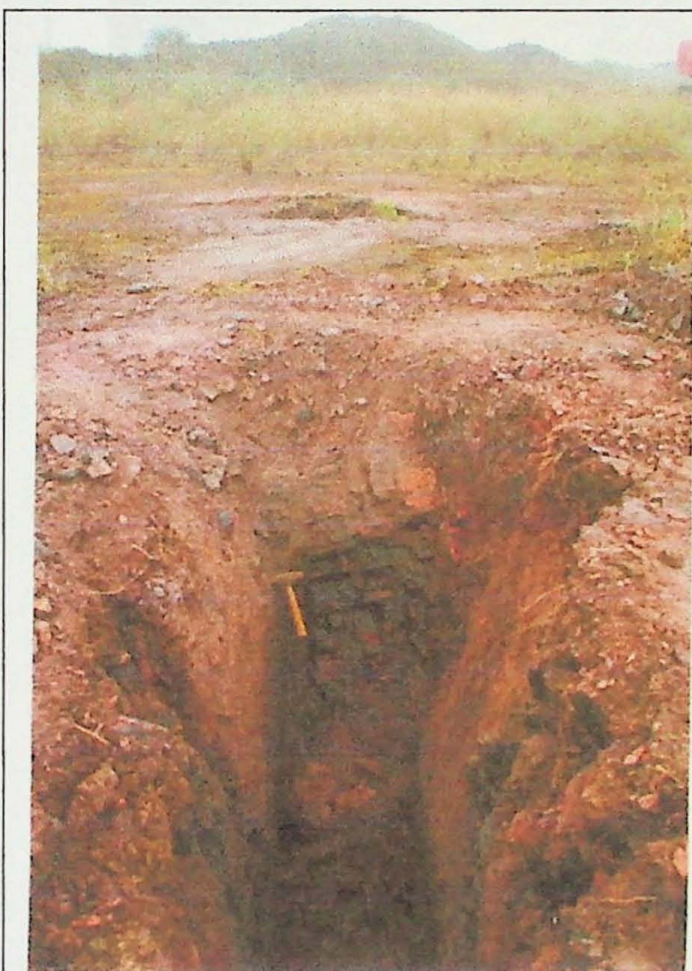




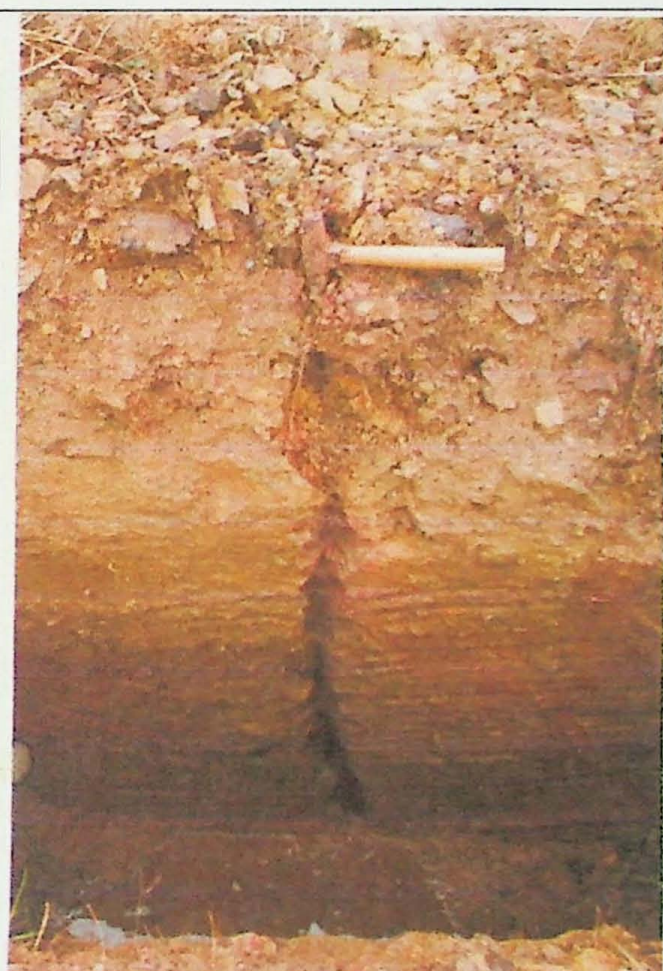
Fotografia 6 - Trincheira 1.



Fotografia 7 - Trincheira 2.



Fotografia 8 - Trincheira 1 - Aspecto geral.



Fotografia 9 - Tipo de canaleta feita em todas as trincheiras para amostragem a cada 0,5m de profundidade.

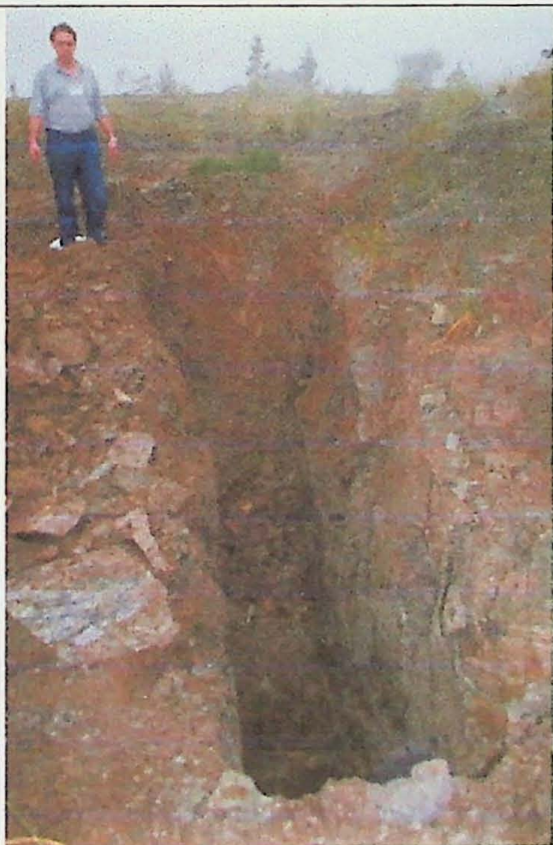
Fotografias na área do depósito de filito Pirizal.



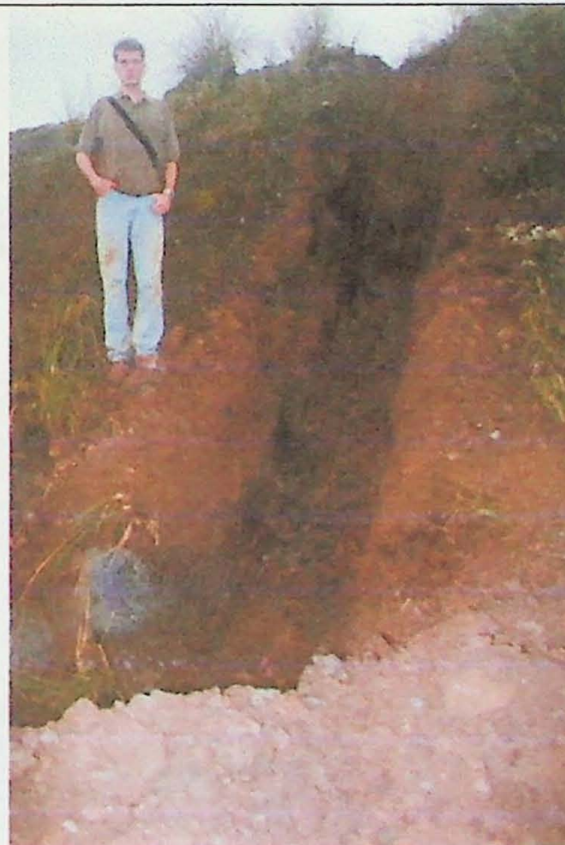


Fotografia 10 - acima - canaletas de amostragem na Trincheira 3.

Fotografia 11 - à esquerda - utilização de retro-escavadeira na abertura das trincheiras. Trincheira 3.



Fotografia 12 - Trincheira 3A.



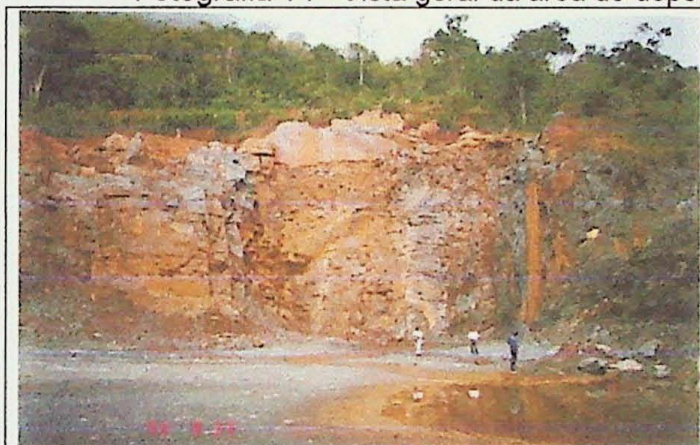
Fotografia 13 - Trincheira 3B.

Fotografias na área do depósito de filito Pirizal.





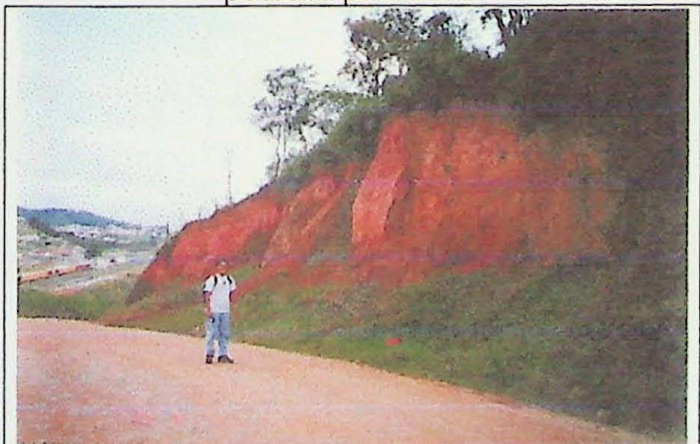
Fotografia 14 - Vista geral da área do depósito de filito Pirizal - ausência de vegetação.



Fotografia 15 - Vista geral da área de amostragem do depósito Taquarussu - antiga pedreira para brita.



Fotografia 16 - Vista do acamamento com mergulho subvertical - detalhe da fotografia anterior.



Fotografia 17 - Vista parcial do depósito de argila Coga - proximidade do perímetro urbano.



Fotografia 18 - Afloramento onde o material foi amostrado para petrografia.

Fotografias das áreas do depósito de filito Pirizal, calcário Taquarussu e argila Coga.



## Anexo 3

Resultados de Distribuições Mineralógica e Granuloquímica (% em peso)



## Composição Mineralógica dos Produtos de Moagem

### Calcário Taquaruçu

Fração	% peso		Minerais (%)			
	retida	acumul.	calcita	mica	quartzo	clorita
+120#	0,8	0,8	83	12	5	<0,5
-120 +200#	14,3	15,2	91	6	3	<0,5
-200 +325#	24,2	39,4	93	5	2	<0,5
-325 +635#	30,4	69,8	90	6	3	<0,5
-635#	30,2	100	89	7	3	1
Total	100		91	6	3	<0,5

### Mica xisto Vieira (amostras para petrografia)

Fração	% peso		Minerais (%)					
	retida	acumul.	quartzo	mica	caulinita	ox. ferro	feldspato	ilmenita
+120#	0,8	0,8	65	13	9	3	2	7
-120 +200#	22,9	23,7	74	13	8	3	1	1
-200 +325#	24,4	48,1	59	21	16	3	1	<0,5
-325 +635#	24,7	72,8	45	31	18	5	<0,5	<0,5
-635#	27,2	100	22	32	30	16	<0,5	<0,5
Total	100		49	24	18	7	<0,5	<0,5

### Quartzito Vieira (amostras para petrografia)

Fração	% peso		Minerais (%)					
	retida	acumul.	quartzo	caulinita	mica	ox. ferro	feldspato	ilmenita
+120#	0,6	0,6	83	3,5	5,7	1,6	1	5,2
-120 +200#	22	22,6	88	4	5,2	1,9	<0,5	1
-200 +325#	24,2	46,7	73	21	1,1	3,4	<0,5	<0,5
-325 +635#	23,3	70,1	57	18	22	2,5	<0,5	<0,5
-635#	30	100	19	40	27	13	<0,5	<0,5
Total	100		56	22	15	5,9	<0,5	<0,5

### Argila Coga

Fração	% peso		Minerais (%)					
	retida	acumul.	caulinita	quartzo	feldspato	mica	ox. ferro	rutilo
+120#	1,5	1,5	9	75	10	3	2	2
-120 +200#	13,2	14,7	14	51	22	8	3	2
-200 +325#	16,9	31,6	30	32	21	10	4	2
-325 +635#	20,4	52	38	33	11	10	7	1
-635#	48	100	69	10	2	5	12	1
Total	100		48	25	10	7	8	2



# Calcário Taquarussu

Fração	%peso		TEORES (%)													
	retida	acumulul	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
+120#	0,8	0,8	10,3	4,56	1,07	<0,10	0,88	45,5	0,15	0,11	0,79	0,31	<0,10	<0,10	0,1	0,28
-120 +200#	14,3	15,2	5,48	2,41	0,82	<0,10	0,59	48,5	<0,10	<0,10	0,42	0,19	<0,10	<0,10	<0,10	0,28
-200 +325#	24,2	39,4	4,08	1,85	0,84	<0,10	0,52	49	<0,10	<0,10	0,35	0,15	<0,10	<0,10	<0,10	0,27
-325 +635#	30,4	69,8	5,67	2,37	0,96	<0,10	0,57	48,3	<0,10	<0,10	0,43	0,16	<0,10	<0,10	<0,10	0,26
-635#	30,2	100	6,21	2,79	1,76	<0,10	0,62	49	0,11	0,11	0,29	0,25	<0,10	<0,10	0,1	0,28
Total calculado	100		5,46	2,39	1,15	<0,10	0,58	48,7	<0,10	<0,10	0,37	0,19	<0,10	<0,10	<0,10	0,27
Total dosado			5,64	2,16	<0,10	<0,10	0,56	48,9	<0,10	<0,10	0,4	0,17	<0,10	<0,10	<0,10	0,27

Fração	%peso		DISTRIBUIÇÃO (%)													
	retida	acumul	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
+120#	0,8	0,8	1,55	1,56	0,76	...	1,25	0,77	...	...	1,75	1,34	...	...	...	0,85
-120 +200#	14,3	15,2	14,4	14,4	10,2	...	14,6	14,3	...	...	16,3	14,3	...	...	...	14,7
-200 +325#	24,2	39,4	18,1	18,7	17,6	...	21,8	24,4	...	...	22,9	19,1	...	...	...	23,9
-325 +635#	30,4	69,8	31,6	30,1	25,3	...	30	30,2	...	...	35,4	25,6	...	...	...	29,7
-635#	30,2	100	34,4	35,2	46,1	...	32,4	30,4	...	...	23,7	39,7	...	...	...	30,8
Total	100		100	100	100	...	100	100	...	...	100	100	...	...	...	100



Distribuição Granuloquímica dos Produtos de Moagem

Argila Coga

Fração	%peso retida	%peso acumul	TEORES (%)													
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
+120#	1,5	1,5	79,9	5,51	2,05	0,16	1,84	0,38	1,82	0,14	2,02	0,05	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
-120 +200#	13,2	14,7	70,1	11,2	3,08	0,12	1,91	0,38	2,14	0,13	4,34	0,11	<0,10	0,1	<0,10	<0,10
-200 +325#	16,9	31,6	64,9	18,6	4,39	<0,10	1,94	0,4	2,03	0,11	4,81	0,11	<0,10	0,14	<0,10	<0,10
-325 +635#	20,4	52	62,5	19,5	5,6	<0,10	1,67	0,45	1,41	0,1	2,97	0,07	<0,10	0,11	<0,10	<0,10
-635#	48	100	47,1	27,7	10	<0,10	0,78	0,46	1,43	0,3	1,04	0,05	<0,10	0,18	<0,10	<0,10
Total calculado	100		56,8	22	7,1	<0,10	1,32	0,44	1,63	0,2	2,52	0,07	<0,10	...	<0,10	<0,10
Total dosado			56,1	22,1	8,18	<0,10	0,87	0,4	1,77	0,12	2,48	0,07	<0,10	0,1	<0,10	<0,10

Fração	%peso retida acumul	DISTRIBUIÇÃO (%)													
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	S <sup>-</sup>	Sr <sup>-</sup>
+120#	1,5	2,11	0,38	0,43	...	2,09	1,31	1,68	1,04	1,2	1,04	...	...	...	...
-120 +200#	13,2	16,3	6,73	5,73	...	19,1	11,5	17,4	8,49	22,7	20,1	...	...	...	...
-200 +325#	16,9	19,4	14,3	10,5	...	24,8	15,5	21,1	9,21	32,3	25,8	...	...	...	...
-325 +635#	20,4	22,5	18,1	16,1	...	25,8	21,1	17,7	10,1	24	19,8	...	...	...	...
-635#	48	39,8	60,5	67,3	...	28,3	50,6	42,2	71,2	19,8	33,2	...	...	...	...
Total	100	100	100	100	...	100	100	100	100	100	100	...	...	...	...



