

unesp - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOLOGIA REGIONAL**

TESE DE DOUTORADO

**“CARACTERIZAÇÃO DE UMA JAZIDA VISANDO A GARANTIA DA
QUALIDADE DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA INDÚSTRIA
CERÂMICA DE REVESTIMENTOS”**

Marcos Roberto Masson

**Orientador: Prof. Dr. Antenor Zanardo
Co - Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Sturaro**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO (SP)

2002

553 Masson, Marcos Roberto
M421c Caracterização de uma jazida visando a garantia da qualidade de
matérias-primas para indústria cerâmica de revestimentos /
 Marcos Roberto Masson. – Rio Claro : [s.n.], 2002
 206 f. : il.

 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Antenor Zanardo
 Co-orientador: José Ricardo Sturaro

 1. Geologia econômica. 2. Matéria-Prima Cerâmica.
 3. Estatística. 4. Geoestatística. 5. Mineração. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

BANCA EXAMINADORA

Marcos Roberto Masson

Rio Claro, ____ de _____ de 2002

Resultado _____

A Deus, a minha
família, em especial
a minha mãe e meu
pai

Agradecimentos

Deixo meus sinceros agradecimentos para:

Prof. Dr. Antenor Zanardo, meu orientador, pelos 11 anos que me atura pacientemente, sempre solícito e pronto a dar uma luz na hora certa;

Prof. Dr. José Ricardo Sturaro, que tem conseguido a façanha de me ensinar os meandros da geoestatísticas;

Professores do curso de pós graduação em Geociências da UNESP/Rio Claro que sempre têm contribuído, em especial a Prof.(a) Dr.(a) Maria Margarita Torres Moreno;

Prof. Dr. Antonio Carlos Girodo pelas inestimáveis dicas sobre os assuntos de geoestatística e estacionarização de jazidas, além do envio de material didático bastante útil para a revisão bibliográfica deste volume;

Incefra – Indústria Cerâmica Fragnani Ltda, pelo apoio e confiança, sem os quais esta pesquisa ainda seria um sonho frustrado em minha mente. Em especial nas pessoas do Sr. Waldemar Fragnani e seu filho Ricardo Luis Fragnani;

Participantes da banca examinadora pelo aceite ao convite, um tanto quanto de última hora;

Amigos do grupo de pesquisa, pelo convívio e auxílio mútuos, Helber R. Thomazella, Sérgio Ricardo Christofolletti, Marcos H. O. Sousa e demais companheiros do curso de pós graduação como Alessandro Batezelli, entre outros, pessoas que em sua maioria convivo desde 1991, amigos sempre dispostos a colaborar;

Amigo doutorando Rubens C. Monteiro pela inestimável ajuda com várias figuras da revisão bibliográfica de geoestatística;

Minha irmã, Fernanda Paula Masson pelo auxílio imprescindível com os trabalhos de montagem dos exemplares impresso, em todas as fases de entrega, desde a qualificação até os volumes finais;

Demais pessoas que de alguma forma contribuíram, mas que por ventura não tenham sido citadas aqui, não são menos importantes para a concretização deste trabalho.

Deixo ainda uma menção muito especial ao nome do saudoso Prof. Dr. José Vicente Valarelli, um dos precursores desde grupo de pesquisa e que infelizmente nos deixou cedo demais....

SUMÁRIO

Índice	i
Índice de Figuras	vi
Índice de Quadros	viii
Resumo	ix
Abstract	x

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. OBJETIVOS	9
4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	10
5. METODOLOGIA	12
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	91
8. CONCLUSÕES	193
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196

ANEXO 1 – Difrações de raios – x

ANEXO 2 – Continuação do quadro 05

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. OBJETIVOS	9
4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	10
5. METODOLOGIA	12
5.1. Aspectos Gerais	12
5.2. Detalhamento	12
5.2.1. Caracterização da jazida	12
5.2.2. Estudo da variabilidade do processo industrial	13
5.3. Atividades específicas para cada etapa de trabalho	13
5.3.1. Jazida	13
5.3.1.1. Amostragem	13
5.3.1.2. Análises Laboratoriais	14
5.3.1.3. Análises Químicas por Fluorescência de raios - X	15
5.3.1.4. Análise Mineralógica Qualitativa	15
5.3.1.5. Análise Granulométrica	15
5.3.1.6. Caracterização Cerâmica	16
5.3.2. Processo Industrial	17
5.3.2.1. Amostragem da Massa a granel	17
5.3.2.2. Análises das amostras a granel da massa cerâmica	17
5.3.2.3. Amostragem dos Produtos prensado e acabado	17
5.3.2.4. Análise dos Produtos Prensados e Acabados	18
5.4. Tratamento dos Dados	18
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
6.1. Nomenclatura	20
6.1.1. Aspectos Gerais	20
6.1.2. Definições Básicas	20
6.1.3. Nomenclatura Petrográfica e Mineralógica	23
6.1.3.1. Rochas sedimentares clásticas	23
6.1.3.2. Minerais de Argila ou Argilominerais	24
6.2. Geologia Regional	26
6.2.1. Aspectos Gerais	26

6.2.2. Evolução dos Conhecimentos	27
6.2.3. Litoestratigrafia Regional	29
6.2.3.1. Grupo Passa Dois	29
6.2.3.1.1. Posição na Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná	29
6.2.3.1.2. Descrição das Unidades	30
Generalidades	30
Formação Irati	33
Membro Taquaral	33
Membro Assistência	34
Formação Corumbataí	34
6.2.4. Trabalhos Anteriores Específicos ao Setor Mineral	35
6.2.4.1. Aspectos Gerais	35
6.2.4.2. Relação dos Trabalhos Anteriores	35
6.3. Métodos para Caracterização de Depósitos Minerais	42
6.3.1. Aspectos Gerais	42
6.3.2. Principais Métodos para Quantificação de dados Geológicos	43
6.3.2.1. Métodos Convencionais	43
6.3.2.2. Métodos Estatísticos	45
6.3.2.2.1. Estatística Univariada	45
6.3.2.2.2. Métodos Estatísticos Multivariados	50
Regressão Múltipla	50
Análise de Agrupamentos	52
Análise de componentes Principais	53
6.3.2.2.3. Métodos Geoestatísticos	53
Variograma	55
6.3.3. Modelagem Digital Bi e Tridimensional	63
6.3.3.1. Aspectos Gerais	63
6.3.3.2. Modelagem Bidimensional (2D)	64
6.3.3.3. Modelagem Tridimensional (3D)	71
6.4. Tecnologia Cerâmica	73
6.4.1. Aspectos Gerais	73
6.4.2. Etapas de Produção Cerâmica Via Seca	74
6.4.2.1. Cominuição	74
6.4.2.2. Classificação Granulométrica	77

6.4.2.3. Granulação	77
6.4.2.4. Conformação	79
6.4.2.5. Secagem	81
6.4.2.6. Queima	82
6.5. Controle De Qualidade	85
6.5.1. Aspectos Gerais	85
6.5.2. Ferramentas da Qualidade	86
6.5.2.1. Histogramas	88
6.5.2.2. Gráficos de Controle	88
6.5.2.3. Gráficos de Pareto	90
6.5.2.4. Diagramas de Dispersão ou de Correlação	90
7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	91
7.1. Caracterização do Depósito	91
7.1.1. Considerações Gerais	91
7.1.2. Mapeamento Geológico de superfície da Jazida	91
7.1.2.1. Levantamentos Topográficos de Detalhe	92
7.1.2.2. Mapa Geológico de Superfície	94
7.1.3. Mapeamento de Frente de lavra	94
7.1.3.1. Aspectos Gerais	94
7.1.3.2. Descrição das Unidades Individualizadas na Coluna Tipo	99
7.1.3.3. Perfil Geológico de Frente de Lavra	110
7.1.3.4. Discussão dos Resultados do Mapeamento Geológico	110
7.1.3.5. Nova Divisão da Jazida com Base no Mapa Obtido	110
7.1.4. Resultados das Análises Laboratoriais	112
7.1.4.1. Resultados das Análises Químicas	113
7.1.4.2. Avaliação Estatística Básica das Variáveis Químicas	113
Análise Histográfica	116
7.1.4.3. Discussão dos Resultados Estatísticos para a Química	117
7.1.4.4. Resultados das Análises Mineralógicas	118
7.1.4.5. Discussão dos Resultados Mineralógicos	120
7.1.4.6. Resultados dos Ensaio Físico-Cerâmicos	120
7.1.4.7. Avaliação Estatística Básica das Variáveis Cerâmicas	121
Análise Histográfica	124
7.1.4.8. Discussão dos Resultados Estatísticos para Dados Químicos	125

7.1.5. Análise Estatística Multivariada	126
7.1.5.1. Regressão Múltipla para Análises Químicas	126
7.1.5.2. Análise de Agrupamento para Análises Químicas	128
7.1.5.3. Análise das Componentes Principais para Análises Química	128
7.1.5.4. Discussão dos Resultados da Estatística Multivariada para Análises Químicas	131
7.1.5.5. Regressão Múltipla dos Dados Físicos	131
7.1.5.6. Análise de Agrupamento Múltipla dos Dados Físicos	133
7.1.5.7. Análise das Componentes Principais Múltipla dos Dados Físicos	135
7.1.5.8. Discussão dos resultados da Estatística Multivariada para os Dados Físicos	136
7.1.6. Modelagem 2D e 3D das Variáveis Analisadas	136
7.1.6.1. Aspectos Gerais	136
7.1.6.2. Modelagem 2D das Variáveis Químicas	137
7.1.6.3. Discussão dos Resultados - Variáveis Química	143
7.1.6.4. Modelagem 2D - Variáveis Cerâmicas	143
7.1.6.5. Discussão dos Resultados - Variáveis Física	148
7.1.7. Consequências dos Resultados Obtidos	149
7.1.7.1. Aspectos Gerais	149
7.2. Estudo da Variabilidade de Processo	157
7.2.1. Aspectos Gerais	157
7.2.2. Avaliação da variabilidade da Massa	158
7.2.2.1. Plano de Amostragem em Série	158
7.2.2.2. Tratamento dos Dados	159
7.2.2.2.1. Estatística Básica e Análise Histográfica	159
Análise Histográfica	161
7.2.2.2.2. Análise Estatística Multivariada	162
Regressão Múltipla	162
Análise das Componentes Principais – PCA	163
7.2.2.2.3. Análise de Variabilidade Temporal da Massa	164
Gráficos de Linha	164
Cartas de Controle	167
Análise Variográfica	172
Variogramas da Série 1 (S1)	173

Variogramas da Série 2 (S2)	177
Variogramas da Série 3 (S3)	180
7.2.2.2.4. Discussão e Comparação dos Resultados para Variabilidade temporal da massa	183
7.2.3. Avaliação da Variabilidade do Produto Prensado	185
Cartas de Controle	186
7.2.3.1. Discussão dos resultados para Variabilidade do Produto Prensado	187
7.2.4. Avaliação da Variabilidade do Produto Acabado	188
Cartas de Controle	188
7.2.4.1. Discussão dos Resultados para Variabilidade do Produto Acabado	189
8. CONCLUSÕES	193
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Gráficos para variação ao longo do período amostrado, dos teores de elementos maiores (porcentagem em peso de óxidos)	06
Figura 02 – Mapa de Localização	11
Figura 03 – Pontos de amostragem ao longo do processo	19
Figura 04 – Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná	31
Figura 05 – Faixa de Afloramentos do Grupo Passa dois na BP	32
Figura 06 – Principais Pólos de Cerâmica Vermelha no Estado de SP	37
Figura 07 – Elementos básicos de um variograma	55
Figura 08 – Comportamento na vizinhança da origem	56
Figura 09 – Principais modelos de variogramas (autorizados)	57
Figura 10 – Regra das trocas graduais (vista em perfil).	66
Figura 11 – Regra dos pontos próximos (vista em perfil).	66
Figura 12 – (a) Interpolação com parâmetros <i>default</i> - (b) Interpolação com ajustes nos parâmetros	70
Figura 13 – (a) Parâmetros Default (b) Estr. local (c) Estr. Regional	70
Figura 14 – Visualização em 3D de um volume contaminado, com mapeamento por codificação de cores para os diferentes níveis de contaminação, representados em isosuperfícies.	73
Figura 15 – Equipamento para cominuição.	75
Figura 16 – Diagrama esquemático de moinhos de mandíbula e rotativo.	76
Figura 17– diagrama esquemático de um moinho de bolas, mostrando movimento em cascata de A para B.	76
Figura 18 – Distribuição da densidade num molde sob várias condições de prensagem.	80
Figura 19 – Variação na forma dos grânulos e distribuição bimodal do tamanho de poros durante a compactação.	81
Figura 20 – Sinterização (pó de níquel).	84
Figura 21 – Carta de Controle mostrando uma situação sob controle estatístico (a) e fora de controle (b).	89
Figura 22 – Modelo topográfico da cava estuda	93
Figura 23 – Mapa geológico da cava estudada	95
Figura 24 – Posição no perfil das amostras coletadas.	98
Figura 25 – Coluna litofaciológica - C3 – da cava estudada	100
Figura 26 – Perfil geológico da cava estudada	111
Figura 27 – Coluna estratigráfica com a indicação da mineralogia.	119
Figura 28 – Dendrograma para as análises químicas	129
Figura 29 – Dendrograma para os ensaios físicos	134
Figura 30 – Modelagem 2D para a variável SiO ₂	138
Figura 31 – Modelagem 2D para a variável Al ₂ O ₃	139
Figura 32 – Modelagem 2D para a variável Na ₂ O	140
Figura 33 – Modelagem 2D para a variável K ₂ O	141
Figura 34 – Modelagem 2D para a variável LOI	142
Figura 35 – Modelagem 2D para a variável R (Gra)	145
Figura 36 – Modelagem 2D para a variável MRF	146
Figura 37 – Modelagem 2D para a variável AA	147
Figura 38 – com reconstituição topográfica do relevo pretérito à implantação da lavra	150
Figura 39 – Malha de sondagem	151

Figura 40 – Padrão de malha de sondagem adequado para definir os padrões variográficos à pequena escala (curta distância). Notar a amostragem em cruz sugerida para um trecho selecionado do depósito mineral.	153
Figura 41 – Gráfico de linha – S1 - para variável LOI.	166
Figura 42 – Gráfico de linha – S2- variável LOI.	166
Figura 43 – Gráfico de linha – S3- variável LOI.	166
Figura 44 – Variograma SiO ₂ – S1	174
Figura 45 – Variograma para SiO ₂ , modelado com efeito pepita de 83.9, potência 2 e inclinação de 0,3 – Modelo Potência. –S1	174
Figura 46 – variograma do Al ₂ O ₃ –S1	174
Figura 47 – variograma do LOI – S1	175
Figura 48 – variograma do K ₂ O – S1	176
Figura 49 – Variograma do fator granulométrico (R).	176
Figura 50 – Variograma para o SiO ₂ – S2	177
Figura 51 – varigrama para Al ₂ O ₃ – S2	177
Figura 52 – variograma para o LOI – S2	178
Figura 53 – Variograma para o K ₂ O – S2	178
Figura 54 – Variograma para o fator granulométrico (R) – S2.	178
Figura 55 – Variograma para (R) modelado com efeito de pepita=36.37; range ou alcance=320;77 sill ou patamar de 30,28; - Modelo Exponencial.	179
Figura 56 – Variograma para o SiO ₂ – S3	180
Figura 57 – Variograma para o Al ₂ O ₃ – S3	180
Figura 58 – Variograma para o LOI – S3	181
Figura 59 – Variograma para o K ₂ O – S3.	181
Figura 60 – Variograma para o MgO – S3	182
Figura 61 – Variograma para o Na ₂ O – S3.	182
Figura 62 – Variograma para o fator granulométrico (R).	183
Figura 63 – Carta de controle do MRF- seco para o período do mês 11 de 2000 (amostragem de 4 em 4 horas durante 13 dias).	186
Figura 64 – Carta de controle para o MRF - verde do período do mês 08 de 2001(amostragem de 3 em 3 horas durante 4 dias).	186
Figura 65 – Variação da umidade na prensa para o mesmo período de 08/2001 contemplado na carta do MRF a verde (amostragem de 3 em 3 horas durante 4 dias).	187
Figura 66 – Carta de controle para o MRF após queima no período de 13/10 a 09/11/2001 – (Massa antiga).	188
Figura 67 – Carta de controle para o MRF após queima no período de 16/11/2001 a 08/01/2002. (Massa preparada a partir do novo método de lavra baseado na compartimentação em 5 camadas).	189
Figura 68 – Evolução dos resultados de processo para diferentes tipos de massas (antigas e novas).	190

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 01 – Pólos paulistas de cerâmica vermelha: produção, matérias-primas e produtos.	38
Quadro 02 – Formas de prensagem a seco.	80
Quadro 03 – Resultados análises químicas	114
Quadro 04 – Estatística descritiva dos dados químicos	115
Quadro 05 – resultados ensaios físicos	122
Quadro 06 – Estatística descritiva dos dados físicos	123
Quadro 07 – Resumo da regressão múltipla para variável dependente: R (gra) (proporção de finos)	127
Quadro 08 – Resumo da regressão múltipla para variável dependente: LOI – Perda ao Fogo.	127
Quadro 09 – Principais componentes extraídas e carga em cada fator Usando a granulometria na base de dados.	130
Quadro 10 – Principais componentes extraídas e carga em cada fator Sem a presença da granulometria na base de dados.	130
Quadro 11 – Resumo da regressão múltipla para a variável dependente R (gra) – Proporção de finos na granulometria.	132
Quadro 12 – Resumo da regressão múltipla para a variável dependente Perda ao Fogo (%).	132
Quadro 13 – Principais componentes extraídas e carga em cada fator Sem padronização.	135
Quadro 14 – Estatística descritiva para os dados químicos de amostragem em série temporal	160
Quadro 15 – Regressão Múltipla com Variável Dependente R – (S3)	162
Quadro 16 – Regressão Múltipla com Variável Dependente LOI – (S3)	163
Quadro 17 – Análise de PCA – S3	164

RESUMO

O projeto consiste na aplicação de métodos de caracterização de jazidas em um depósito mineral de matérias-primas para indústria cerâmica de pisos e revestimento. Este estudo demonstra que, ao contrário do que muitos pregavam anteriormente, este tipo de jazida possui variações significativas e que existe uma forte necessidade de utilização dos métodos quantitativos e qualitativos para o controle de qualidade das matérias-primas da massa cerâmica e dessa forma alavancar a competitividade dos produtos no mercado nacional e para exportação. Os principais resultados apresentados são a avaliação bidimensional das variações existentes em uma frente de lavra em operação, tanto do ponto de vista químico quanto físico e as variações das propriedades da matéria-prima ao longo do tempo, em diferentes pontos do processo produtivo até a sua influência relativa nas características dos produtos finais obtidos. Para tanto, foram utilizadas ferramentas da estatística uni e multivariada e também a análise variográfica temporal, neste caso uma ferramenta da geoestatística.

Palavras Chave: 1. Geologia econômica; 2. Matérias-Primas Cerâmicas; 3. Estatística; 4. Geoestatística; 5. Mineração.

ABSTRACT

The project consists in the application of mine characterization methods in a mineral deposit of raw material for the ceramic tile industry. This study shows that in opposition of general opinion so far, this type of mine has significant variations and that is strongly recommended the use of quantitative and qualitative methods in order to improve the quality control of ceramic raw material, thus to enhance product competitiveness in national and international markets. The most important results presented are the two dimensional variation existing in a open pit mine in operation, both by the chemistry and physics standpoint, and the variations of raw material properties along time, in different points of the productive process, until its relative influence in the end products characteristics obtained. For this study, tools of uni and multivarieted statistics were utilized and also temporal variografic analyses, the last one, a geostatistical tool.

Key words: 1. Economic Geology; 2. Ceramics Raw Materials; 3.Estatistic; 4.Geoestatistic; 5. Mining.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto do projeto institucional intitulado *Qualidade em Cerâmica Vermelha* desenvolvido no programa de pós-graduação em Geociências da UNESP – Rio Claro, vem esta pesquisa detalhar um dos pontos cruciais ligados ao tema em apreço, no caso, a caracterização de jazidas e minas para subsidiar os planos de lavra, visando à garantia de qualidade dos produtos obtidos.

A pesquisa ora apresentada possui uma vertente de natureza acadêmica mas, ao mesmo tempo, preocupa-se com um problema de natureza tecnológica de aplicação bastante imediata.

Ressalta-se, ainda, a possibilidade de integração entre universidade e indústria, atividade que é considerada fator diferencial em alguns países, mas que no Brasil é ainda relativamente pouco executada, tendo sido essa a tônica da atuação deste grupo de pesquisa.

A empresa ligada diretamente a este projeto é a Indústria Cerâmica Fragnani Ltda (Incefra – Pisos & Revestimentos Cerâmicos), que responde por uma das maiores produções individuais de pisos e revestimentos cerâmicos do Brasil, pelo processo via seca, fazendo parte de um dos mais importantes pólos cerâmicos do país. A foto 01 mostra uma vista geral das instalações industriais da empresa.

Esta empresa é uma das que possuem maiores investimentos na área de qualidade dentro deste setor, tendo sido recentemente a primeira do Brasil a obter a certificação ISO-9002 no seu segmento. Faz parte, atualmente, de um grupo empresarial, dentro do qual existe uma empresa que cuida especificamente do segmento de mineração. Os trabalhos de pesquisa desenvolvem-se em conjunto, tanto com a unidade de mineração quanto com a indústria cerâmica propriamente dita, que utiliza a matéria-prima fornecida pela primeira.

A pesquisa em questão, ao longo do seu desenvolvimento, contribuiu de certa forma para a obtenção do referido certificado de qualidade, devido às técnicas de avaliação estatística utilizadas, as quais têm sido incorporadas ao sistemas de controle de qualidade da empresa.

O pólo cerâmico do qual faz parte a indústria cerâmica em foco responde, hoje, por cerca de 50% da produção nacional de revestimentos cerâmicos. No entanto, o Brasil ainda encontra dificuldades para exportação, mesmo sendo o quarto maior produtor mundial do setor.

Dentro desse contexto, a Incefra é uma das empresas que mais exportam em função de seus investimentos em qualidade. A empresa vem agora apoiar esta pesquisa que visa melhorar as condições de homogeneidade da sua massa cerâmica.



Foto 1: Instalações industriais da Incefra – Indústria Cerâmica Fragnani Ltda. Na foto podem ser vistos, à esquerda, os pátios de secagem de argila e, à direita, as pilhas de homogeneização.

2. JUSTIFICATIVAS

Destaca-se, inicialmente, como justificativa básica para esta pesquisa, a necessidade de melhoria de qualidade para aumentar a competitividade das empresas do setor de revestimentos cerâmicos, tanto no mercado interno como no mercado internacional. Este foi o fator preponderante que influenciou na decisão da empresa envolvida de apoiar diretamente tal projeto, sendo que o Grupo INCEFRA poderá tornar-se referência para as demais empresas do pólo nos caminhos para alcançar essa qualidade.

O estudo aqui proposto para auxiliar nesta busca é resultado da atuação do presente grupo de pesquisa junto ao pólo cerâmico em questão, através do desenvolvimento de diversos mestrados e doutorados que vêm sendo focados nos seus principais problemas.

Dentro das pesquisas realizadas nos últimos anos, e especificamente em Masson (1998), detectou-se a necessidade fundamental de estudos visando ao entendimento da variabilidade das características de interesse para o controle de qualidade das matérias-primas utilizadas, por ser tal controle um dos fatores decisivos para a qualidade dos produtos.

O fato fica evidente considerando-se que, apesar dos maciços investimentos efetuados pelo setor nos últimos anos, no tocante a equipamentos e tecnologia de produção industrial, os problemas de qualidade dos produtos ainda persistem, levantando a hipótese de que isto ocorra por conta da falta de qualidade das matérias-primas.

No entanto, acredita-se, também, que a falta de qualidade dessas matérias-primas seja, na verdade, uma falta de controle de qualidade das mesmas, não significando, portanto, que a qualidade intrínseca do material não seja satisfatória.

Assim, o problema reside em como trabalhar com a matéria-prima existente em abundância na região e não, simplesmente, em mudar de matéria-prima, como tem acontecido em alguns casos.

A falta de controle de qualidade é evidenciada pela atual não-utilização, no processo produtivo mineral, de técnicas adequadas para sua caracterização, exploração e homogeneização, sendo que este projeto aborda os dois primeiros pontos citados da produção mineral (caracterização e exploração) além das características de variabilidade do processo industrial.

Com esta abordagem pretende sugerir as bases metodológicas iniciais para melhor execução das etapas iniciais desta cadeia produtiva (tecnologia mineral), fundamentais na garantia de qualidade dos produtos industriais em foco.

Assim, a necessidade desta pesquisa é fruto da constatação, obtida em pesquisas anteriores, de que existe, hoje, nas empresas que cuidam da exploração e beneficiamento das matérias-primas para revestimentos de base vermelha, uma grave deficiência quanto à garantia de homogeneidade de seu produto, no caso, o pó fornecido para as indústrias cerâmicas.

Essa deficiência parece não ser exclusividade das indústrias brasileiras do setor, uma vez que a questão é tema de discussão, inclusive nos países líderes de mercado, como no caso da Espanha, por exemplo.

A esse respeito, Sanchez *et al.* (1996) colocam que as pesquisas do ITC – Instituto de Tecnologia Cerâmica de Castellon/Espanha apontaram, para as empresas daquele país, basicamente dois fatores que influem diretamente na falta de homogeneidade nas características dessas matérias-primas, a saber: deficiências nos trabalhos de caracterização e exploração das jazidas, e deficiências nas técnicas de homogeneização das remessas desses materiais.

No caso das indústrias nacionais, tais variações nas características das matérias-primas utilizadas têm resultado em freqüentes problemas apontados no controle de qualidade de produto acabado das empresas.

Essas variações da massa seriam responsáveis por variações nas características cerâmicas dos produtos como resistência, absorção d'água, variações de forma (bitolas e calibres fora de especificação, trapézios) etc., além do surgimento de defeitos que podem também estar relacionados com a composição da massa, como as trincas, por exemplo, fato discutido em Masson *et al.* (1997), Masson (1998), e na literatura cerâmica em geral.

Por outro lado, existe um mito apregoadado por alguns profissionais ligados ao setor, de que as jazidas utilizadas na região são homogêneas e não seriam responsáveis, salvo exceções locais, pelos problemas de qualidade. Esse tema é abordado mais profundamente em capítulo posterior e foi apresentado e discutido em Masson *et al.* (2000a).

Depara-se, então, com um impasse: de um lado os problemas de qualidade detectados no controle de produto acabado das empresas do pólo cerâmico em questão e que sofrem com constantes problemas de produção, em geral atribuídos

às matérias-primas; de outro, o “mito da homogeneidade e similaridade das jazidas”, que tem inibido o investimento de alguns empresários melhorias nesta etapa do processo.

Assim, para justificar a realização desta pesquisa seria importante verificar se as massas produzidas pelas empresas do pólo, de um modo geral, realmente apresentam variações ao longo do tempo, o que subsidiaria a interpretação de que os problemas de qualidade podem estar, em parte, ligados à massa. Para tanto, recorre-se a um dos resultados obtidos na dissertação de mestrado do presente autor (Masson 1998) e aqui apresentado na figura 1.

Nesta figura, pode-se verificar claramente que, para amostras coletadas a intervalos em torno de 48h na empresa UNICER – uma fornecedora local de massa cerâmica –, os teores dos elementos químicos variam razoavelmente (e.g.: K, Na, Si, Al, etc.).

Como todas as empresas do pólo usam a mesma formação geológica e nenhuma faz trabalhos efetivos de homogeneização, esses resultados podem ser considerados, ao menos, como um indicador das variações de massa para o pólo como um todo.

É notório, na literatura cerâmica, que variações na composição química que está atrelada a variações na composição mineralógica implicam em variações nas características cerâmicas dos produtos, e isso, portanto, impediria sua estabilização e padronização em torno de valores aceitáveis, mesmo que os equipamentos das cerâmicas operem sob controle.

Apenas a título de exemplo cita-se Barba *et Al.* (1997), onde está demonstrada a grande influência das variações mineralógicas (as quais normalmente são acompanhadas de variações químicas), nas propriedades cerâmicas dos produtos prensados (densidade, resistência, etc) e acabados (absorção de água, resistência, retração linear, etc.).

Porém, ainda não se tem uma comprovação quantitativa de que tais variações ocorrem devido às heterogeneidades das jazidas nem do valor das magnitudes dessa influência, pois em Masson (1998) não havia um controle da posição de origem de cada remessa diária, e não há outro trabalho neste sentido publicado na literatura cerâmica nacional.

Também não se têm ainda estudos sistemáticos feitos nesse material para orientar na seleção dos melhores indicadores e parâmetros de controle a serem utilizados em trabalhos de rotina de lavra.

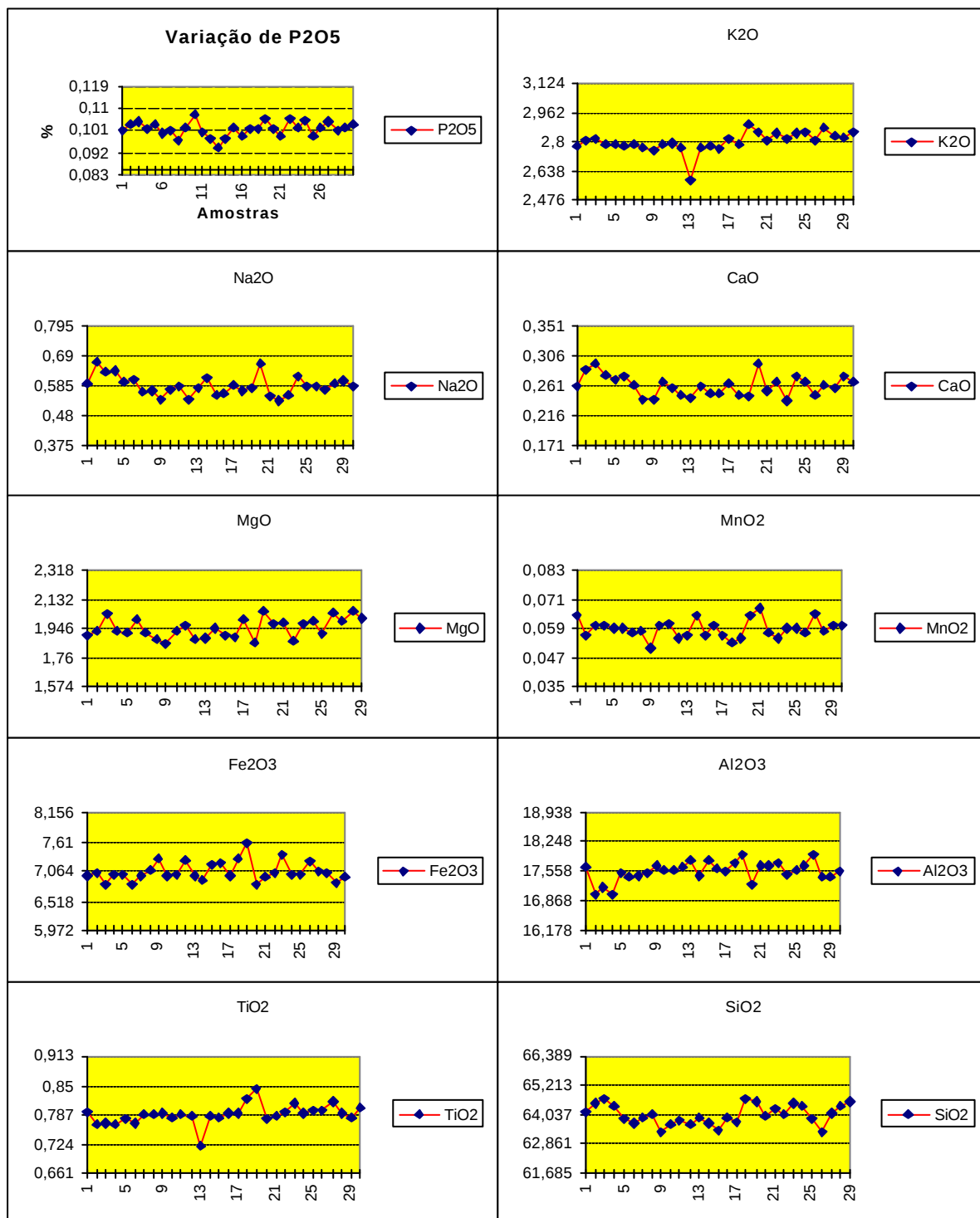


Figura 1: Gráficos para variação ao longo do período amostrado, dos teores de elementos maiores apresentados na forma de porcentagem em peso de óxidos (Modificado de Masson, 1998).

Existem apenas informações empíricas providas do meio industrial cerâmico, indicando que a retração linear seria um bom parâmetro de controle para as jazidas, mas não existe nenhum estudo científico em escala de jazida, já publicado, que apresente a comparação desse parâmetro com os demais para oferecer uma comprovação científica.

Sobre o exposto no último parágrafo, é importante frisar que, na presente pesquisa, não se despreza o conhecimento prático e empírico, ao contrário, por vezes ele é o único ponto de partida para formulação de hipóteses a serem checadas.

Contudo, via de regra, a proposta é sempre validar cientificamente qualquer proposição ou hipótese inicial, antes de enunciá-la como válida para um determinado domínio geológico ou operacional pré-definido, uma vez que o compromisso maior aqui é com o rigor científico, único caminho para se estabelecerem regras gerais, modelos ou metodologias passíveis de aplicação de forma ampla no setor estudado.

Além dos dados apresentados em Masson (1998), resultados obtidos por outros doutorandos do grupo de pesquisa e apresentados em suas dissertações de mestrado também podem ser explorados como indicativos da existência de variações nas jazidas. Podem ser destacados os resultados de Christofolletti (1998) para 12 amostras coletadas na jazida Cruzeiro e de Gaspar Jr. (1998) para 7 amostras coletadas na jazida Peruchi (hoje paralisada), ambos em dissertações de mestrado desenvolvidas neste grupo de pesquisa.

Nos dois casos, apesar do número reduzido de amostras, ficam evidentes as diferenças entre os seus resultados, fato que poderia ser justificado por serem as amostras oriundas de níveis diferentes.

Porém, no caso específico do trabalho de Christofolletti (1998), existem análises químicas com resultados muito diferentes entre si para amostras coletadas em um mesmo nível, numa mesma frente de lavra, mas em períodos diferentes.

Esse fato deve ser considerado pelo menos como uma indicação de que podem ocorrer variações significativas em um mesmo nível da jazida (mesmo não se descartando qualquer possível erro de amostragem).

O exposto vem reforçar a necessidade de verificar de forma mais sistemática a existência dessas variações, o que é proposto na presente pesquisa, sendo que os

dados acima também vêm contradizer, ao menos de forma qualitativa, o “mito da homogeneidade”.

Ressalta-se, ainda, que um trabalho planejado de lavra tem como consequência direta um aproveitamento mais racional dos recursos, o que traz benefícios claros também ao meio ambiente, citando-se como exemplo a natural diminuição dos casos de abandono de jazidas sem a completa recuperação local.

Por fim, ressalta-se que as técnicas de caracterização de jazidas e controle de processo, propostas e detalhadas em itens posteriores, não são aqui apresentadas como fruto deste trabalho de pesquisa, pois se constituem técnicas já consagradas, ficando para esta pesquisa o trabalho de demonstrar a sua necessidade e aplicabilidade no setor em foco, que ainda não se utiliza delas em sua produção.

3. OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa se resumem a comprovar ou refutar de forma qualitativa e quantitativa as seguintes hipóteses:

1ª Hipótese • Existem variações verticais e laterais significativas nas jazidas, e existem reflexos dessas variações em várias etapas do processo e nos produtos acabados, o que deverá ser demonstrado por meio de estudos geológicos e estatísticos a serem desenvolvidos na jazida e no processo industrial.

2ª Hipótese • As técnicas para caracterização geológica de jazidas e de controle estatístico de processos são necessárias e aplicáveis no setor em estudo, para detectar e minimizar os problemas existentes no caso de a hipótese 1 ser verdadeira.

Como resultado da verificação das hipóteses acima, o setor em estudo contará com uma indicação segura da viabilidade ou não de efetuar investimentos para caracterização de jazidas e controle estatístico de processos para diminuir perdas na produção do setor.

As proposições acima não ignoram o fato de que nem todos os problemas de produto acabado são derivados apenas das variações das matérias-primas utilizadas, mas parte deles tem sua origem no próprio processo industrial.

Por outro lado, parte-se do princípio de que boa parte desses problemas podem estar relacionados com as referidas variações de matérias-primas e é isto o que se quer demonstrar.

4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A empresa conveniada com este projeto é a Incefra – Indústria Cerâmica Fragnani Ltda., sediada na Cidade de Cordeirópolis, cerca de 17 km a sudeste de Rio Claro, pela Via Washington Luiz (SP-310), às margens da estrada do Barro Preto S/N, em torno de 2 Km a oeste da Rodovia citada acima.

A Jazida ou mina em foco está situada às margens da mesma estrada do Barro Preto S/N, 3 Km além das instalações industriais, no sentido norte (Figura 2).

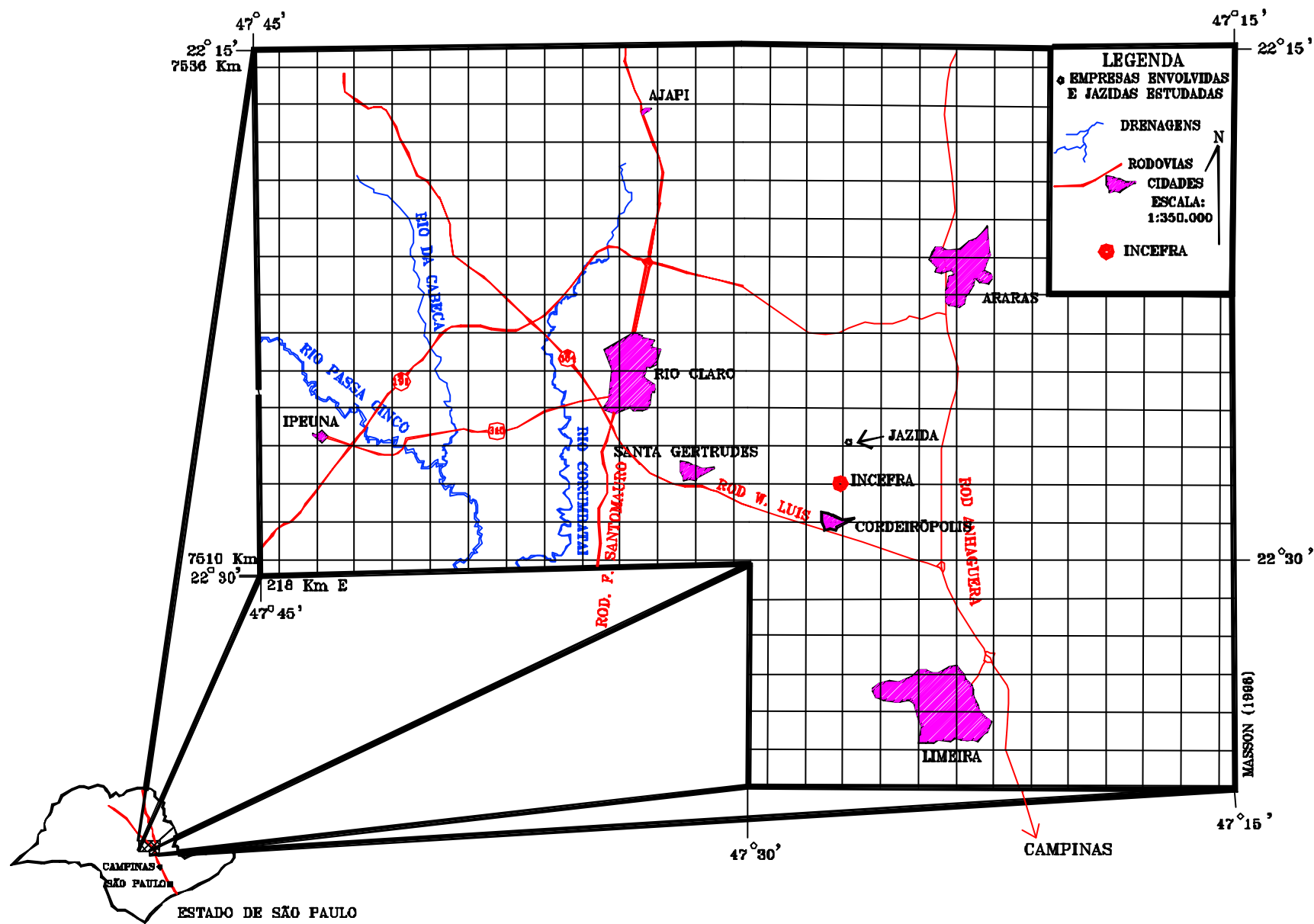


Figura 02: Mapa de Localização

5. METODOLOGIA

5.1. Aspectos Gerais

A metodologia geral de trabalho utilizada consistiu na seguinte seqüência de atividades básicas:

- 1) Avaliação preliminar dos objetos de estudo (jazida; processo cerâmico e produtos obtidos);
- 2) Amostragem em diferentes pontos do processo (jazida; massa a granel; produto prensado e produto acabado);
- 3) Descrição qualitativa dos objetos amostrados (quando necessário);
- 4) Análises laboratoriais das amostras coletadas;
- 5) Tratamento estatístico dos dados obtidos no item anterior;
- 6) Mapeamento/modelagem dos dados com base nos resultados qualitativos e quantitativos obtidos nos itens 3, 4 e 5 desta seqüência;
- 7) Apresentação dos resultados e das conclusões.

5.2. Detalhamento

Abaixo, são apresentadas de forma mais detalhada as atividades desenvolvidas para avaliar a variabilidade da jazida e do processo, as quais foram distribuídas em duas frentes de trabalho (jazida e processo industrial), como segue:

5.2.1. Caracterização da jazida

O foco de trabalho no processo de caracterização da jazida contemplada nesta pesquisa foi a análise da variabilidade/continuidade espacial da jazida através de:

- Descrições faciológicas das frentes de lavra;
- Amostragem manual de frente de lavra e em malha;
- Aplicação de Análise Estatística Básica Univariada para avaliação das características básicas das variáveis obtidas;

- Análise Estatística Multivariada para compartimentação de domínios similares no corpo de minério (tipologia de minério);

Os grupos de variáveis estudados foram:

- ✓ **Composições:** química; mineralógica e granulométrica.
- ✓ **Características físico - cerâmicas**

5.2.2. Estudo da variabilidade do processo industrial

Este estudo esteve focado na massa cerâmica e no produto e não nos equipamentos e na mão-de-obra, o que fugiria ao escopo deste trabalho. Subdivide-se o estudo em três pontos como segue:

- 1) Amostragem da massa cerâmica, visando aplicar a análise de variabilidade e homogeneidade para a mesma;
- 2) Amostragem sistemática do produto prensado, no intuito de descrever a variabilidade das propriedades do compacto a verde;
- 3) Amostragem sistemática do produto acabado para avaliar a variabilidade de suas propriedades cerâmicas .

5.3. Atividades específicas para cada etapa de trabalho

5.3.1. Jazida

Atacando uma das pontas do processo produtivo que é a jazida de onde vêm as matérias-primas utilizadas para a base cerâmica, os trabalhos realizados são detalhados nos próximos itens.

5.3.1.1. Amostragem

Esta etapa foi dividida em duas fases:

- Amostragem manual pelo método de calha: Os resultados desta fase foram usados neste trabalho para demonstrar as hipóteses propostas nos seus objetivos .
- Amostragem de testemunho de sondagem: Esta fase de amostragem está em desenvolvimento, como consequência dos resultados do primeiro método, sendo aqui apresentados apenas os resultados iniciais deste trabalho. Isto porque o processo completo de caracterização da jazida excede, no tempo, o período de realização da pesquisa, que foca a fase inicial relacionada com as comprovações de variabilidades significativas, as quais justificam a continuidade dos trabalhos.

As duas fases de amostragem acima apresentadas foram precedidas por etapas de locação dos pontos de amostragem por meio de levantamento topográfico, com auxílio do equipamento topográfico Estação Total. Contrataram-se terceiros para a realização desses trabalhos.

Para a etapa de sondagem, propriamente dita, foi contratada empresa especializada, e o método adotado tem sido o de avanço inicial por trado nas porções mais alteradas e de avanço com sonda rotativa nos níveis mais profundos e endurecidos por cimentação (litificados).

Após a amostragem, as amostras primárias da primeira fase de amostragem foram homogeneizadas e quarteadas por método sem viés, usando-se para isso quarteador tipo Jones, de modo a ser obtida uma série de amostras secundárias representativas das primárias, e foram, então, encaminhadas para análise.

5.3.1.2. Análises Laboratoriais

Foram analisadas as amostras de cada nível, sem efetuar misturas, pois este projeto não se propõe ao estudo da preparação e/ou formulação de massas, mas

sim ao estudo da variabilidade de seus componentes. Os ensaios realizados foram os seguintes:

5.3.1.3. Análises Químicas por Fluorescência de raios-x

Foram dosados os elementos maiores em equipamento marca Phillips, modelo PW 2510 do DPM/UNESP/RC, com capacidade para análise de até 100 amostras com troca automática, em um período de aproximadamente 8 horas.

5.3.1.4. Análise Mineralógica Qualitativa

A mineralogia foi determinada por difração de raios-x em aparelho Siemens D5000 do DPM/UNESP/RC, e como os resultados obtidos são apenas qualitativos, não foi feito estudo estatístico com estes dados.

5.3.1.5. Análise Granulométrica

Foi utilizado o método de classificação em peneiras com vibrador marca Granutest com peneiras nas malhas ANBT – 40; 60; 80; 100; 120; 170. O material foi umidificado para cerca de 9% de umidade.

Alguns testes foram feitos também pelo método via úmida.

O método geral aqui utilizado difere um pouco do método convencional, pois o objetivo é verificar as diferentes susceptividades à moagem, e como no processo industrial via seca não ocorre dispersão significativa de partículas as amostras são tomadas tal qual saem da moagem laboratorial e colocadas diretamente no sistema de peneiramento por vibração, sempre sem fazer desagregação prévia para não descaracterizar a distribuição granulométrica de moagem.

Para os estudos estatísticos foi obtido então o índice R (Gra) denominado aqui de fator granulométrico que é obtido fazendo-se a divisão dos teores de grãos finos pelos teores de grãos grossos presentes na amostra. Os finos foram considerados como a soma das malhas 170 e passante (fundo) e para os grossos foi

considerada a soma das malhas 40 e 60, a razão direta entre estas somas é o índice R (Gra) ou fator granulométrico como é por vezes denominado ao longo do texto.

5.3.1.6. Caracterização Cerâmica

Os ensaios cerâmicos nas amostras da primeira fase de amostragem na jazida foram executados em laboratório externo. As amostras da segunda fase (sondagem) serão analisadas no laboratório de massas, montado recentemente, com auxílio deste autor, na própria indústria.

A conformação dos corpos de prova deu-se por prensagem, de acordo com os métodos usuais correntes na literatura especializada, como em Barba (1997).

A queima dos corpos de prova foi feita no forno industrial da Incefra para um primeiro lote de amostras (coluna C3 – central – vide capítulo 7 - Resultados) e um segundo lote de amostras foi queimado em forno de laboratório marca Maitec modelo FSQC –1300, com curva ajustada para simular a curva industrial usada na Incefra no mesmo período.

Como pode ser visto com mais detalhes no capítulo 7, os resultados são coerentes e equivalentes entre si, sem trazerem prejuízo às conclusões .

Os ensaios físicos, selecionados para caracterização cerâmica, foram aqueles considerados mais importantes, com base nos itens de controles de produtos recomendados na literatura pertinente (Ex. Barba *et al.* 1997) e, geralmente, utilizados pelas empresas.

Alguns destes itens são usados para classificar os produtos com relação às especificações das normas técnicas (ABNT - NBR 13817 e 13818) e para realizar ajustes de processo quando necessários. São eles:

- Absorção d'água **(AA)**;
- Módulo de Resistência a Flexão **(MRF)**;
- Massa Específica Aparente **(MEA)**;
- Retração linear **(RL)**;
- Perda ao Fogo **(PF)**;
- Limite de Plasticidade **(LP)** e Índice de Plasticidade **(IP)**.

5.3.2. Processo Industrial

5.3.2.1. Amostragem da massa a granel

A amostragem do produto a granel, realizada em esteira nas saídas dos silos que alimentam as prensas da fábrica, foi executada segundo o formalismo de Gy (Gy, 1995), visando detectar estruturas sistemáticas e presença de correlação temporal nos dados, para avaliar homogeneidade e variabilidade da massa.

5.3.2.2. Análise das amostras a granel da massa cerâmica

Nas amostras coletadas na saída dos silos (figura 3 - ponto 2), foram feitas apenas análises químicas, com o mesmo equipamento de fluorescência citado anteriormente e a análise granulométrica, neste caso, com as peneiras ABNT 35; 60; 120 e 230. O método foi o via úmida (com lavagem) para avaliação mais precisa da distribuição de partículas resultantes do processo de moagem, sem desagregação prévia.

O índice R (Gra) foi calculado da mesma forma que indicado no item **5.3.1.5.**, mas, neste caso, como grãos finos foi consideradas a soma das malhas 230 e passante (fundo) e como grãos grossos foi considerada a soma das malhas 35 e 60.

5.3.2.3. Amostragem dos produtos prensado e acabado

A amostragem dos produtos prensados e produtos acabados (figura 3 - pontos 3 e 4, respectivamente) seguiram as condições de amostragem existentes em fábrica, uma vez que foram usadas para uma avaliação preliminar da variabilidade do processo. Estes resultados também poderão ser usados para adequar as frequências de amostragens futuras aos parâmetros reais de variabilidade do referido processo.

5.3.2.4. Análise dos produtos prensados e acabados

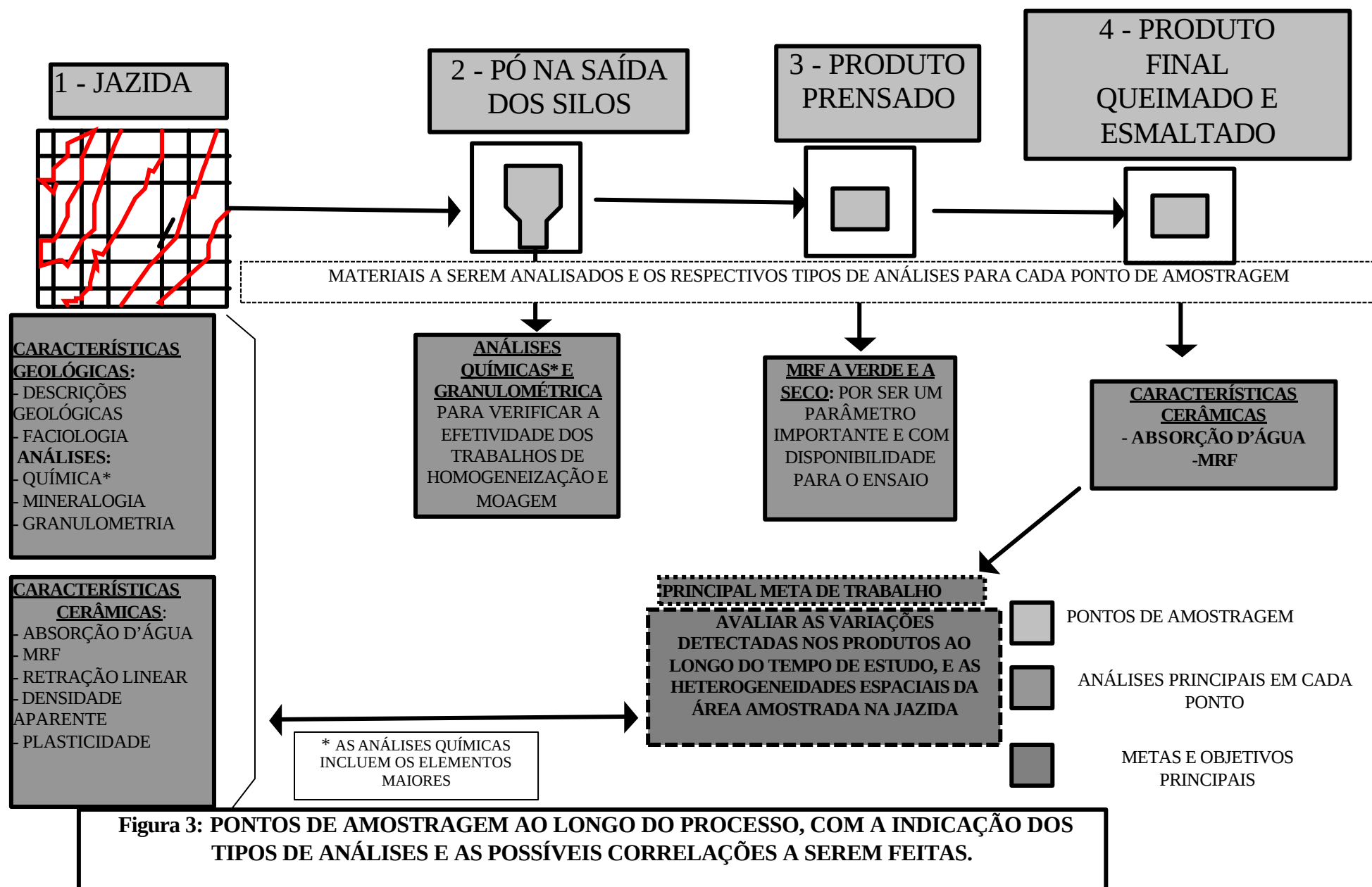
Os produtos prensados foram analisados pelos métodos de ensaios físico-cerâmicos, a saber: Módulo de Ruptura à Flexão - MRF a verde e a seco, com a respectiva umidade da massa no mesmo período. Já nos produtos acabados foram usados os ensaios físicos de Absorção de Água - A.A. e MRF.

5.4. Tratamento dos Dados

Os resultados das análises das amostras das jazidas são tratados por meio de programas estatísticos (Ex.: MVSP; Estatística; Excel) para descrição das variáveis em estudo, no intuito de determinar se elas seguem uma distribuição normal ou não e as estatísticas do conjunto de dados de cada variável.

São usados, também, programas para estudos geoestatísticos, em especial os experimentos e as análises variográficas. Como exemplo destes últimos, citam-se os programas Geoeas e Variowin para modelagem variográfica.

Os programas ISATIS ou GSLIB podem ser usados para os trabalhos de krigagem e DATAMINE ou Vulcan para geração do modelo de blocos, sendo que tais atividades serão implementadas posteriormente, durante o desenvolvimento da lavra, com base nos resultados preliminares obtidos nesta pesquisa.



6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1. Nomenclatura

Em função da grande diversidade de termos utilizados esta seção vem apresentar as principais definições de termos e nomenclaturas utilizadas ao longo do texto, de forma a facilitar o entendimento.

6.1.1. Aspectos Gerais

Este trabalho possui aspectos ligados a diferentes áreas do conhecimento e tem recebido apoio de profissionais ligados a essas diferentes áreas, tais como geologia, geoestatística, engenharia de materiais (cerâmica) e engenharia de minas, entre outras.

Para facilitar o acesso de diferentes leitores, faz-se necessário o estabelecimento de algumas definições e das principais terminologias específicas utilizadas no texto e não definidas em capítulos posteriores.

As definições abaixo se restringem ao contexto desta pesquisa, sem se preocuparem com a definição formal ou etimológica das palavras.

6.1.2. Definições Básicas

Matéria-prima: O termo matéria-prima é usado muitas vezes ao longo do texto e com significados diferentes, a depender do contexto, podendo referir-se ao minério bruto ou ROM – do inglês - Rum Of Mine, ou ao produto beneficiado em qualquer uma de suas etapas de preparo, sendo o ideal limitar o uso do termo até a etapa de moagem, uma vez que após esta fase já pode ser empregado o termo massa, lembrando que neste trabalho o termo matéria-prima refere-se ao material usado para preparação da base cerâmica, e não às matérias-primas usadas nas fases de decoração do suporte.

Argila: A matéria-prima definida acima pode ser denominada como argila no setor em foco, que é o termo mais usado no meio cerâmico, apesar de tecnicamente tratar-se de uma associação de siltitos e argilitos com camadas superiores

compostas por argilas de alteração, resultantes desses termos litológicos. A definição mineralógica de argilas é dada em item específico.

Pó cerâmico, massa cerâmica ou simplesmente massa: Após a exploração, é feita a homogeneização de diferentes tipos de minérios existentes na jazida ou oriundos de diferentes jazidas, a depender da empresa. Posteriormente ocorre o beneficiamento destas matérias-primas (moagem a seco e umidificação). Nesse ponto, a matéria-prima cerâmica já pode ser denominada de: pó cerâmico, ou simplesmente pó; massa cerâmica, ou simplesmente massa, sendo todos estes termos permutáveis entre si no jargão industrial e utilizados com o mesmo significado.

Ao longo do texto, dá-se preferência aos termos massa ou massa cerâmica, mas, eventualmente, pode ser usado também o termo pó para ressaltar essa condição naquele contexto.

Produto e Produto Final ou Produto Acabado: O termo produto pode referir-se a diversas etapas da lavra, do beneficiamento ou da produção industrial para designar o material resultante daquela etapa unitária de processo; o termo produto final ou produto acabado refere-se, via de regra, aos pisos e revestimentos cerâmicos, que são o objetivo final do processo industrial em foco, nos demais casos podem ser usados os termos adjetivados como produto da lavra, produto da moagem, etc., para facilitar o entendimento.

Revestimentos Cerâmicos: Para o CTCPF (2000), o termo Revestimento possui, no Brasil, três significados distintos, a saber:

- ✓ Acabamento arquitetônico multiestrato para paredes e pavimentos (eng. civil);
- ✓ O capeamento do multiestrato que pode ser de cerâmica, de PVC de Borracha etc. (linguagem comercial sentido amplo); ou então,
- ✓ A cerâmica esmaltada moderna, própria para paredes (linguagem comercial em sentido restrito).

Assim, fica difícil determinar o mais correto mas, no entanto, dentro do contexto deste trabalho, o termo mais apropriado seria revestimento usado especificamente como a terceira definição acima, de acordo com o uso comercial em

sentido restrito (capeamento cerâmico para parede), uma vez que as outras duas referem-se, também, aos demais extratos do acabamento, e/ou a outros materiais que não a cerâmica, por outro lado, a indústria estudada produz também piso para pavimento.

Pisos: Por sua vez, o termo “piso” ou “pisos” também é ambíguo podendo referir-se tanto ao multiestrato quanto exclusivamente à cerâmica esmaltada ou como sinônimo de chão.

Placa ou Placa Cerâmica: Estes termos têm sido usados mais recentemente, inclusive nos textos de algumas normas técnicas para cerâmica, mas também segundo CTCPF (2000) é um termo muito genérico e portanto deve ser utilizado com cuidado.

Assim, neste trabalho, eventualmente é usado por simplificação apenas o termo genérico “Revestimento”, sempre com o sentido do capeamento do multiestrato de natureza exclusivamente cerâmica e esmaltada; nos locais em que é necessário maior rigor, é usada a associação pisos e revestimentos, também no mesmo sentido cerâmico que são, enfim, os produtos fabricados pela empresa participante das pesquisas e também pelo pólo cerâmico de que ela faz parte.

Caracterização: O termo é usado aqui para designar o conjunto de atividades que envolvem a Interpretação Geológica, Estimativa Geoestatística e Visualização Gráfica, aplicáveis em diversas situações de trabalhos geológicos (jazidas; formações; plumas de contaminação subterrânea, etc. Esta é a definição dada por Houlding (1994) e é seguida aqui por englobar todo o escopo central desta pesquisa.

Modelagem: O termo modelagem não possui, aqui, o sentido de modelagem numérica ou simulação baseada em cálculo diferencial, mas apenas o sentido de geração de um modelo gráfico e digitalizado dos objetos geológicos que devem ser visualizados. Esta definição também está em acordo com o conceito de modelagem apresentado por Houlding (*op. cit.*).

6.1.3. Nomenclatura Petrográfica e Mineralógica

6.1.3.1. Rochas sedimentares clásticas

Geneticamente falando, as jazidas explotadas pelos fornecedores de matérias-primas da região estudada são do tipo sedimentares lutáceas (granulometria fina, depositadas predominantemente por decantação e/ou retrabalhamento em águas de profundidades médias a pequenas; no caso em questão, pertencem a ambiente marinho raso mas, em geral, depositados abaixo do nível inferior de ondas normais), intercaladas a níveis de arenitos finos e carbonatos sin-sedimentares e de preenchimento (dissolvidos e reprecipitados em fases diagenéticas ou pós-diagenéticas eventualmente associados à sílica).

Entre os tipos lutáceos aparecem, do ponto de vista petrográfico, folhelhos, argilitos e siltitos, sendo os dois primeiros, rochas de fração argila ($<0,004\text{mm}$), segundo Wentworth (1922), ou segundo outros autores ($<0,002\text{mm}$), ou seja, ($<2\mu\text{m}$), com laminação visível e deslocamento em folhas (folhelhos) ou laminação incipiente a maciços (argilitos), sendo que os siltitos, pela classificação de Wentworth (*op. cit.*) seriam as variedades compostas por grãos de tamanho entre argila ($0,004\text{mm}$) e areia muito fina ($0,0312\text{mm}$).

Para a nomenclatura citada, é interessante ressaltar que alguma confusão se faz, às vezes, com relação ao termo argila, quando utilizado de forma indiscriminada. Na verdade, esta denominação deve restringir-se formalmente apenas para materiais inconsolidados depositados em várzeas recentes, lagos ou mares (plataforma e mar adentro), além de produtos de alteração *in situ* (supérgena ou hidrotermal). Portanto, não são considerados materiais rochosos, mas simplesmente sedimentos inconsolidados.

Por outro lado, argilitos, folhelhos e siltitos são rochas, para qualquer ambiente deposicional original, pois foram litificadas, ou seja, passaram pelo processo de diagênese no qual elas foram compactadas, sendo que parte da água e do ar foram expulsos e vários processos de cimentação ocorreram.

Vale lembrar que alguns destes tipos litológicos são denominados indistintamente de “taguás” no meio cerâmico, sendo apenas associados a termos pouco mais arenosos; no entanto, a definição é vaga e o termo não existe na classificação litológica formal.

Os termos argilas e taguás podem ser utilizados dentro dos contextos comercial e industrial a eles ligados, uma vez que estão consagrados no meio cerâmico, no entanto, em trabalhos técnicos específicos, devem vir acompanhados dos termos da nomenclatura oficial citados acima, pois embutem informações importantes, inclusive com implicações para seu uso.

Nesses casos, os jargões ou nomes comerciais usados amiúde no meio cerâmico podem ser citados e relacionados quando possível com os nomes oficiais, para facilitar o entendimento dos trabalhos por parte de toda a comunidade interessada.

A diferenciação entre um e outro termo litológico específico deve ser feita em função das características texturais e estruturais já descritas acima. Embora existam variações sutis de autor para autor quanto a essas definições, optou-se pela forma mais utilizada pela comunidade geológica, e mesmo sendo difícil citar um autor específico como postulador, ainda assim parece ser a mais clara e adequada para se trabalhar.

6.1.3.2. Minerais de Argila ou Argilominerais

A denominação de “minerais de argila” possui duplo sentido, ou seja, refere-se aos minerais presentes na natureza na chamada fração argila ($<2\mu\text{m}$ ou $<4\mu\text{m}$ segundo Wentworth (*op. cit.*) ou refere-se (*sensu strictu*) a minerais do grupo dos filossilicatos presentes numa amostra de ocorrência comum em rochas argilosas, mas também podendo ser encontrados cristais de argilominerais maiores que $2\mu\text{m}$ ou $4\mu\text{m}$, fora, portanto, da fração argila.

Segundo Velde (1995) a dubiedade remonta ao final do século XIX, quando os pesquisadores não possuíam meios para determinar a natureza exata dos minerais dessa ordem de grandeza e, portanto, eram simplesmente os chamavam de minerais de argila por estarem compondo esse material.

Em função disto, por muito tempo os materiais naturais de origem sedimentar ou alteração, com granulometria muito fina, foram motivo de controvérsias, inclusive, para alguns autores, quanto à fração a ser utilizada como referência. Ponderava-se se deveria ser a menor que $4\mu\text{m}$ ou a menor que $2\mu\text{m}$.

Sousa Santos (1989) considera o argumento da composição bom para se justificar a utilização do limite abaixo de $2\mu\text{m}$ para argila, afirmando que nessa fração os não-argilominerais são normalmente ausentes.

Todavia, Velde (*op. cit.*) também utiliza esse mesmo limite ($<2\mu\text{m}$), mas pondera que o termo argilomineral foi usado indistintamente até que, com o advento da difração de raios-X, tornou-se possível constatar que de 10 a 20% ou mais, das composições das argilas e/ou argilitos naturais não são constituídos por argilominerais “sensu strictu”, mas sim por quartzo, carbonatos, óxidos metálicos, todos no tamanho argila ($<2\mu\text{m}$).

De qualquer forma, para facilitar, o termo “minerais de argila” poderia ser usado para referir-se ao conjunto dos minerais presentes na fração argila, e o termo argilominerais deveria ser reservado aos minerais da família dos filossilicatos¹. Chamley (1989) apresenta uma revisão bastante completa sobre os diferentes tipos de argilominerais.

Do ponto de vista estrutural e cristaloquímico, as unidades básicas compostas por uma “folha” tetraédrica (com cátions em coordenação tetraédrica em relação ao oxigênio), mais uma folha octaédrica (com cátions em coordenação octaédrica em relação ao oxigênio) são denominadas de estrutura em camadas do tipo 1:1 (ou T.O.).

Por outro lado, quando a seqüência periódica básica de empilhamento das camadas é composta por um “sandwich” com duas folhas T (tetraédricas) e uma folha O (octaédrica), a estrutura em camadas é dita do tipo 2:1 ou (T.O.T.) e assim por diante, para outras eventuais combinações possíveis.

As características acima são importantes para a determinação do tipo mineral presente; contudo, tal determinação é mais eficaz quando são utilizadas as variações conhecidas, que ocorrem ou não, quando esses minerais são glicolados e/ou aquecidos. Um resumo geral dessas informações básicas para determinação dos argilo-minerais pode ser encontrado em Deer *et al.* (1966).

Para finalizar, é necessário mencionar o grupo dos argilominerais interestratificados, que são compostos pela associação dos citados acima, de forma regular ou irregular. Um resumo das possibilidades composicionais desta categoria pode ser consultado em Chamley (*op. cit.*).

¹ Sugestão do autor

6.2. Geologia Regional

Apesar de os estudos terem sido concentrados em uma única jazida e portanto possuir caráter bastante localizado, é importante apresentar o contexto geológico no qual esta jazida está inserida, o que é feito nos itens a seguir.

6.2.1. Aspectos Gerais

Os estudos sobre os sedimentos da Bacia do Paraná, entre os quais se encontra a formação de interesse deste projeto, remontam ao início do século XX; no entanto, a seguir são relacionados apenas os trabalhos realizados na Formação Corumbataí e, principalmente, aqueles que enfocam a região das jazidas de matéria-prima utilizada pelas cerâmicas, ou próximo delas, até onde se considera como área de influência.

Assim, os dados levantados anteriormente e aqui mencionados resumidamente foram relacionados segundo sua maior utilidade prática na orientação dos estudos a serem desenvolvidos nas lavras.

É oportuno citar que, com relação à nomenclatura, optou-se por adotar o termo Formação Corumbataí, ainda que existam alguns autores que prefiram o termo Formação Estrada Nova, em detrimento de Formação Corumbataí porque era assim originalmente denominada para as seções-tipo da região Sul do país no clássico trabalho de White (1908), tendo sido o termo também adotado, posteriormente, para as unidades correlatas do Estado de São Paulo.

Acrescenta-se que neste trabalho de White (*op. cit.*) aparece a primeira sistematização geral dos sedimentos da bacia em que a Formação Estrada Nova é incluída na Série Passa Dois.

Contudo, dadas às diferenças faciológicas do conjunto, o termo Formação Corumbataí parece mais adequado para a faixa de afloramentos no Estado de São Paulo, além do que é largamente utilizado por muitos pesquisadores da geologia sedimentar. Ao que tudo indica, o termo foi utilizado pela primeira vez pela Comissão Geográfica e Geológica, em 1916.

No texto que segue, conserva-se o termo Formação Estrada Nova dentro das citações de trabalhos que assim o apresentaram. Os trabalhos são listados em ordem cronológica, a partir da década de 50, tendo sido evitada a maior parte

daqueles estritamente relacionados à paleontologia, pois sua relação é apenas indireta aos objetivos pretendidos, ficando aqui registrados apenas os considerados mais importantes no contexto desta pesquisa.

Todavia, não se despreza o fato de que os conteúdos fósseis possam representar impurezas localizadas em meio ao material siliciclástico, com influência para a heterogeneidade composicional das massas cerâmicas, além do que os níveis fossilíferos poderão ser testados como guias bioestratigráficos, em trabalhos futuros de correlação regional entre as diferentes jazidas e o mapeamento tecnológico da formação.

6.2.2. Evolução dos Conhecimentos

Mendes (1952) apresenta um trabalho de cunho paleontológico, para a Formação Corumbataí na região-tipo, nas imediações do rio homônimo. São feitas, além de estudos paleontológicos, considerações sobre a estratigrafia local e suas possíveis correlações dentro do Estado e com os níveis ocorrentes nos estados da Região Sul. A Formação Corumbataí aparece como pertencente à Série Passa Dois e sobreposta pela Formação Botucatu, da Série São Bento.

Almeida & Barbosa (1953) realizaram um levantamento detalhado da geologia das folhas de Piracicaba e Rio Claro, levantando toda a coluna geológica aflorante nesta faixa. É utilizado o termo Formação Estrada Nova, que é colocada na "Série" Passa Dois e, segundo estes autores, está sobreposta pela unidade Arenito Pirambóia, da Série São Bento. A composição faciológica é apresentada com certo detalhamento e são ainda apresentadas considerações estruturais sobre feições domificadas e análises químicas dos níveis calcíticos encontrados.

A partir do trabalho de Mendes (1961), a Série Passa Dois foi reclassificada para a categoria de Grupo Passa Dois, saindo, portanto, de uma classificação cronoestratigráfica para uma litoestratigráfica, o que, neste caso, é o mais apropriado.

Landim (1967) realizou diversas descrições de estruturas sedimentares e um zoneamento paleontológico, além de análises da natureza dos contatos basal e de topo do Grupo. Conclui por assumir o nome Formação Corumbataí em função de as fácies características da Formação Estrada Nova na Região Sul serem aqui, ausentes ou de pouca expressão.

Entre as estruturas mais comuns, o autor destaca a presença de estratificações rítmicas paralelas, onduladas e lenticulares. Cita, também, estruturas pós-deposicionais entre outras.

Para Landim (1970), a espessura da Formação Corumbataí na sua faixa de afloramentos do Estado de São Paulo é de cerca de 130m, sendo que para a região de Rio Claro esse valor é tomado como máximo, com adelgaçamento para Norte. Nas imediações de Leme e Pirassununga já se apresenta com algo em torno de 60 m de espessura.

Em trabalho de integração de dados regionais, obtidos por mapeamentos anteriores na região centro-leste e nordeste do Estado de São Paulo, no início da década de 70, Soares & Landim (1973) apresentam parte do Grupo Passa Dois, composto pelas formações Irati e Estrada Nova (Corumbataí) mais a Formação Tatuí do grupo sotoposto, como pertencentes a um ciclo pós-glacial, recobrando, portanto, as rochas da Formação Itararé, pertencentes a um ciclo glacial. Parte do grupo Passa Dois (Irati mais Membro Serra Alta) seria representação de uma fase parálica da plataforma de sedimentação deste ciclo pós-glacial.

Para esses autores, a Formação Estrada Nova (Corumbataí) se estende a norte até a cidade de Tambaú, ocorrendo ainda entre as cidades de Santa Rosa do Viterbo e a Vila de São Pedro (Bacia do Rio Pardo).

Soares *et al.* (1974) colocam o Grupo Passa Dois como uma "seqüência delta" e representante do último ciclo tectono-sedimentar do Paleozóico.

Gama Jr. (1979a) elaborou um estudo de detalhamento faciológico para o Grupo Passa Dois, de caráter regional (Estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná), a fim de estabelecer um modelo deposicional, através de comparação com províncias de sedimentação moderna, e apresentado em termos geomórficos (fisiograficamente).

Um segundo trabalho é apresentado, então, por Gama Jr. (1979b), dando continuidade a essa linha de pesquisa, colocando novas evidências das proposições apresentadas no trabalho acima, as quais, contudo, não são totalmente aceitas até o momento, havendo muitos contra-argumentos a elas.

Em apostila do curso "Estratigrafia do Nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná", Landim *et al.* (1980) realizaram um interessante trabalho de compilação das informações até então acumuladas para aquela faixa de afloramentos. O curso visava à atualização técnica para profissionais envolvidos com as pesquisas de

petróleo na Bacia e que eram desenvolvidas naquela época. O enfoque principal foi dado aos aspectos genéticos das diferentes unidades aflorantes.

Sousa (1985) faz uma extensa revisão bibliográfica sobre o Grupo Passa Dois no Estado, em trabalho com ênfase na faciologia das formações Estrada Nova e Corumbataí. A associação faciológica da Formação Corumbataí é interpretada, para o Estado de São Paulo, como indicativa de um sistema de macro-marés que evoluiu de condições marinhas profundas para mais rasas.

Sousa (*op. cit.*) apresenta uma série de colunas estratigráficas levantadas ao longo das principais estradas que ligam as cidades de Rio Claro, Piracicaba, Araras, Ipeúna, e região. Estas colunas eram a informação mais detalhada sobre a região em estudo, existente até o início dos trabalhos do presente grupo de pesquisa, em 1996.

Matos (1995) estuda a natureza do contato de topo da Formação Corumbataí com a Formação Pirambóia, na região de Rio Claro. Nesta linha, o autor faz considerações sobre as características da transição do ambiente de deposição marinho de plataforma da Formação Corumbataí para o continental eólico da Formação Pirambóia, posição nem sempre aceita para região, uma vez que a maioria dos autores descreve o referido contato como sendo do tipo erosivo, portanto não-transicional e, provavelmente, com hiato deposicional.

6.2.3. Litoestratigrafia Regional

6.2.3.1. Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois é a unidade litoestratigráfica na qual está localizada a Formação Corumbataí que é lavrada na jazida em estudo, assim, os textos a seguir resumem os dados mais importantes desta unidade regional.

6.2.3.1.1. Posição na Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná

Muitas são as propostas de empilhamento e correlação entre as diferentes regiões de ocorrência para a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná, variando de autor para autor considerado. Apenas a título de ilustração e não entrando no mérito

de qual seria a melhor versão oferecida até o momento, vê-se na figura 04 uma dessas versões, que representa de forma clara as unidades conhecidas.

As várias figuras encontradas na literatura, inclusive esta acima citada, possuem certas particularidades que poderiam ser contestadas, tanto em termos da proposta de empilhamento, quanto com relação à nomenclatura utilizada; no entanto, tais detalhes fogem ao escopo do presente e, por ora, não serão discutidos.

Pelos mesmos motivos acima, não serão descritas, uma a uma, as unidades aflorantes na área de estudo, mas somente aquelas do Grupo Passa Dois (Irati e Corumbataí), em função de sua relevância para o projeto, pois são as unidades normalmente aflorantes nas cavas das lavras fornecedoras de matérias-primas para as empresas do setor em foco.

6.2.3.1.2. Descrição das Unidades

Generalidades

O Grupo Passa Dois, definido originalmente na Região Sul do país, possui lá um empilhamento diferenciado daquele encontrado no Estado de São Paulo.

Com relação à área em estudo, nos itens seguintes são discutidas as unidades que ali ocorrem e suas subdivisões, sendo abordados apenas os aspectos considerados mais relevantes.

A extensão total do Grupo Passa Dois é em torno de 1.000.000 km², segundo Mendes (1967) – Figura 05. Sua faixa de afloramentos é estreita e alongada com afloramentos descontínuos (Petri & Fúlfaro 1983).

A espessura do Grupo varia muito, dependendo da região considerada, indo desde 100 até 1200 m, na sua parte mais espessa (Sousa, 1985).

Segundo Souza (*op. cit.*), a maior espessura encontrada no Estado de São Paulo até o momento é de 936 m, em Presidente Epitácio.

Mendes (1967) considera que a espessura do Grupo Passa Dois aumenta em direção ao canal do rio Paraná.

Com relação ao empilhamento e à natureza dos contatos, o Grupo Passa Dois está sobreposto no Estado de São Paulo ao Grupo Tubarão, de forma concordante para Fúlfaro (1970 e 1971), Landim & Fúlfaro (1972) entre outros.

Cronoes.		LITOESTRATIGRAFIA			
Fm. Juro-Cretácio	Fm. Quat.				
		PARANÁ/S. CATARINA	SÃO PAULO	GO - MT	R. G. do SUL
P E R M I A N O	Gr. São Bento	FM Bauri	FM Rio Claro	FM Cachoeirinha	
		FM Calad	FM Bauri	FM Bauri	
		FM Serra Geral	FM Calad	FM Calad	
		FM Botucatu	FM Serra Geral	FM Serra Geral	FM Serra Geral
		FM Pirambéa	FM Botucatu	FM Botucatu	FM Botucatu
			FM Pirambéa	FM Pirambéa	FM Pirambéa
		FM Rio do Oeste			FM Rio do Oeste
		MB. M. Pelado			
		MB. Serrinha			
		FM Teresina	FM Corumbataí	FM Corumbataí	FM Teresina
P E R M I A N O	Grupo Passa Dois	FM Serra Alta			FM Serra Alta
		FM Irati	FM Irati	FM Irati	FM Irati
		MB. Assistência	MB. Assist.		
		MB. Taquaral	MB. Taquar.		
		FM Palermo	FM Palermo	FM Palermo	FM Palermo
		FM Rio Bonito	FM Rio Bonito		FM Rio Bonito
		MB. Siderópolis	MB. Paraguru		
		MB. Paraguru			
		MB. Triunfo			
		FM Rio do Sul			FM Rio do Sul
Devon.	Super Grupo Tubarão	Grupo Itararé	Grupo Itararé	FM Agulhas	FM Rio do Sul
		Grupo Faráha	FM Ponta Grossa	FM Ponta Grossa	FM Ponta Grossa
		Grupo Itararé	FM Fornos	FM Fornos	FM Fornos
		Grupo Itararé	FM Fornos	FM Fornos	FM Fornos

Fig. 04: Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. Schneider et. al. (1974)

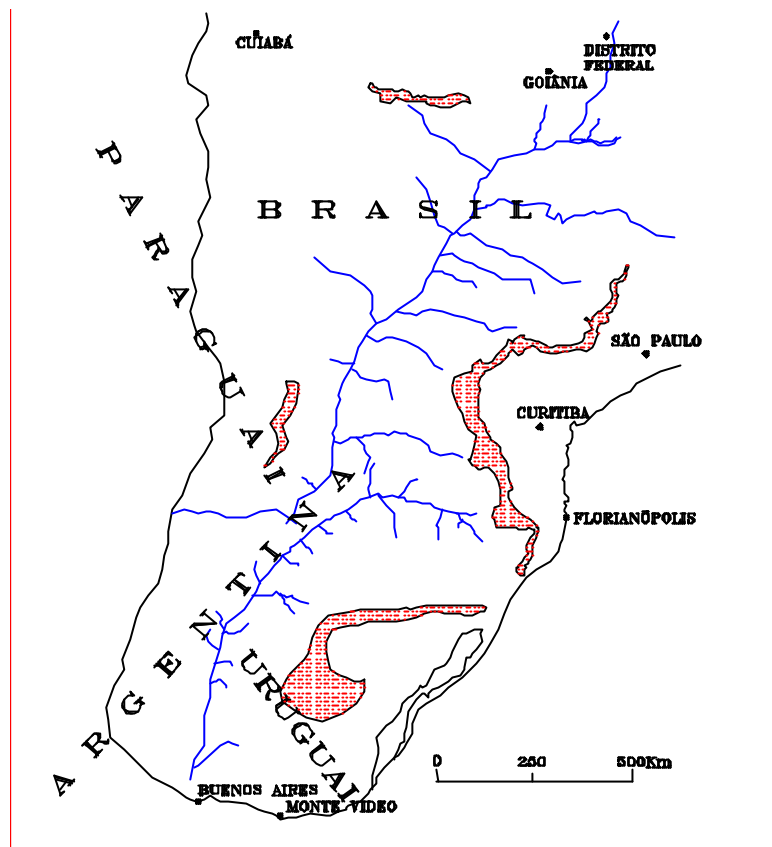


Figura 06: Esquemas das faixas de afloramentos do Grupo Passa Dois na Bacia do Paraná (MENDES, 1967).

Por outro lado (Barbosa & Gomes, 1958) apresentam relações discordantes entre as duas unidades na região do Rio Corumbataí (SP), onde ocorrem conglomerados basais. Para Soares & Landim (1973), essas e outras feições discordantes devem ser localizadas, sem um significado estratigráfico maior.

O contato superior é considerado do tipo erosivo pela maioria dos autores que o estudaram, tendo sido descritas relações concordantes apenas na Região Sul do país. Contudo, para Vieira (1973) e Ricomini *et al.* (1984) a passagem superior é concordante na Região Sul até localidades do Estado do Paraná e passa a ser discordante apenas próximo do Estado de São Paulo seguindo, assim, para o seu interior, ou seja, para Norte e Oeste.

Em trabalho mais recente, Matos (1995) questiona a natureza francamente erosiva com grande hiato de tempo para a passagem da Formação Corumbataí para a Formação Pirambóia, admitindo apenas que, na passagem do ambiente marinho da Formação Corumbataí para o eólico da Formação Pirambóia, ocorre um recuo na sedimentação marinha com retirada de algum material, mas sem formação de solo, o que indicaria um período de tempo não muito grande conforme apontado.

A idade do grupo é motivo de discussão, mas parece que o mais aceito é sua inserção no topo do Paleozóico, com deposição iniciando-se no final do Permiano

inferior e estendendo-se até o topo do Permiano superior, ou seja, algo em torno de 270 a 250 m.a. para todo o intervalo.

Formação Irati

Essa formação é subdividida em dois membros, a saber: Membro Taquaral (inferior) e, sobreposto a este, o Membro Assistência (superior).

Membro Taquaral

Composto por folhelhos siltosos variando de cinza claro até escuro, com uma fácies basal representada por um conglomerado silexítico (fácies Ibicatu), Barbosa & Gomes (1958) e Hashiro (1991).

Ragonha (1978) identifica a presença de vários conteúdos fósseis, a citar, peixes *chondrichthyes* e *osteichthyes*, entre outros, além de confirmar a ocorrência de *Clarkecaris* (crustáceos) já descritos anteriormente por outros autores.

Membro Assistência

A porção da Formação Irati foi estudada por diversos autores, no entanto, uma boa compartimentação para o Estado de São Paulo é apresentada por Hashiro (*op. cit.*) que a divide em 4 sucessões sedimentares. A inferior corresponde, em parte, a rochas depositadas quimicamente (precipitação), configurando um pacote de carbonatos dolomíticos. Esta é sucedida por um pacote composto por folhelhos lamosos sem betume e calcarenitos dolomíticos, em bancos de aproximadamente 4 m de espessura. Os dois níveis superiores são compostos por ritmitos representados pela intercalação de calcarenitos dolomíticos e folhelhos betuminosos.

Vários fósseis já foram descritos, mas o mais importante é, sem dúvida, o *Stereosternus tumidum* (mesossauros).

Os minerais mais comuns são os argilominerais, sílex e piritas das fácies de folhelhos e dolomita, calcita, calcedônia e sílex, compondo normalmente as fácies carbonáticas.

Para Hashiro (*op. cit.*), a Formação Irati faz parte de um sistema deposicional de plataforma com oscilação do nível eustático marinho durante sua deposição.

Formação Corumbataí

Com espessura local não ultrapassando os 200m, ocorre, segundo Petri & Coimbra (1982), numa faixa distribuída geograficamente a partir do arco de Ponta Grossa, estendendo-se a Norte em direção ao Estado de São Paulo.

A partir deste arco, as fácies (ou formações) Teresina e Serrinha, existentes no Paraná e Santa Catarina não são mais individualizáveis. O pacote da Formação Corumbataí situa-se entre os sedimentos da Formação Serra Alta e os da Formação Pirambóia, sendo que a primeira se adelgaça para Norte até desaparecer, ao que se sabe, nas proximidades da cidade de Piracicaba e a partir daí a Formação Corumbataí assenta-se diretamente sobre a Formação Irati.

Na área de estudo, a Formação Corumbataí, dada por Petri & Coimbra (*op. cit.*) é uma associação de siltitos e argilitos roxos, verdes, castanhos e chocolates, com intercalações de arenitos finos, calcarenitos e leitos ou níveis de sílex relacionados a coquinas. Aparecem verdadeiros ritmitos, dados pela alternância de lâminas de siltitos e argilitos.

As estruturas singenéticas normalmente encontradas são as seguintes: estratificações irregulares, microlaminações cruzadas, laminações por migração de marcas de onduladas, gretas de contração, estruturas de sobrecarga e deslize, como citadas por Petri & Coimbra (*op. cit.*).

O ambiente de sedimentação é um sistema de planície de marés, para Landim *et al.*(1980). Ao passo que Sousa (1985) corrobora esta colocação acrescentando que o conjunto das fácies existentes nas Formações Corumbataí e Estrada Nova indica um sistema de macro-marés.

Os argilo-minerais presentes são identificados por Rodrigues & Quadros (1976), em trabalho que realiza correlações entre os tipos de argilo-minerais e o teor de Boro, visando à comprovação do caráter marinho da formação.

6.2.4. Trabalhos Anteriores Específicos ao Setor Mineral

6.2.4.1. Aspectos Gerais

Os trabalhos relacionados a seguir estão especialmente relacionados com prospecção, pesquisa e aproveitamento mineral no Estado de São Paulo, com

ênfase para matérias-primas cerâmicas e, portanto, os mais relacionados com a presente pesquisa.

Ainda assim, destaca-se a notória escassez de pesquisas específicas da mesma natureza, sendo que as mais próximas deste trabalho são aquelas geradas nos últimos anos, dentro do presente grupo de pesquisa.

6.2.4.2. Relação dos Trabalhos Anteriores

Os primeiros trabalhos de grande porte, relacionados à prospecção mineral na região, visavam à busca de petróleo, ainda nas décadas de 40 e 50, como por exemplo, Almeida & Barbosa (1953) e Barbosa & Gomes (1958), ambos na região de Rio Claro, Piracicaba e Charqueada.

Nas décadas seguintes, algumas pesquisas do setor mineral, relacionadas ou não ao petróleo e de caráter mais regional, puderam ser feitas no Estado. A seguir, é relacionada a maior parte delas, cujas informações podem ser importantes para pesquisas futuras no campo de matérias-primas cerâmicas.

Ramos & Formoso (1975) apresentam alguns difratogramas que correspondem a 15 amostras estudadas nessa formação, em 4 poços do Estado de São Paulo. Os minerais determinados foram, predominantemente, montmorilonitas seguidas por illitas, ocorrendo, subordinadamente, cloritas e interestratificados (10-14 M), segundo a notação de Millot (1964).

Ressaltam, também, que montmorilonitas e cloritas nunca ocorrem associados (mutuamente exclusivos) nas amostras analisadas.

No projeto, “A Borda Leste da Bacia do Paraná”, realizado pela CPRM sob encomenda do DNPM, (Aboarrage e Lopes, 1986) apresentam uma avaliação econômica geral dos bens minerais para toda a extensão Leste da bacia, desde o Rio Grande do Sul até São Paulo. Para este último estado foram apresentadas algumas ocorrências potenciais para argilas especiais, mas os depósitos para uso cerâmico convencional não foram estudados.

Motta (1991) fez uma extensa avaliação para quase todo o Estado de São Paulo do potencial de argilas plásticas para cerâmica branca. Apresenta, além da localização e de mapas das ocorrências, uma revisão conceitual e uma série de resultados de ensaios tecnológicos para avaliação da qualidade das amostras e sua

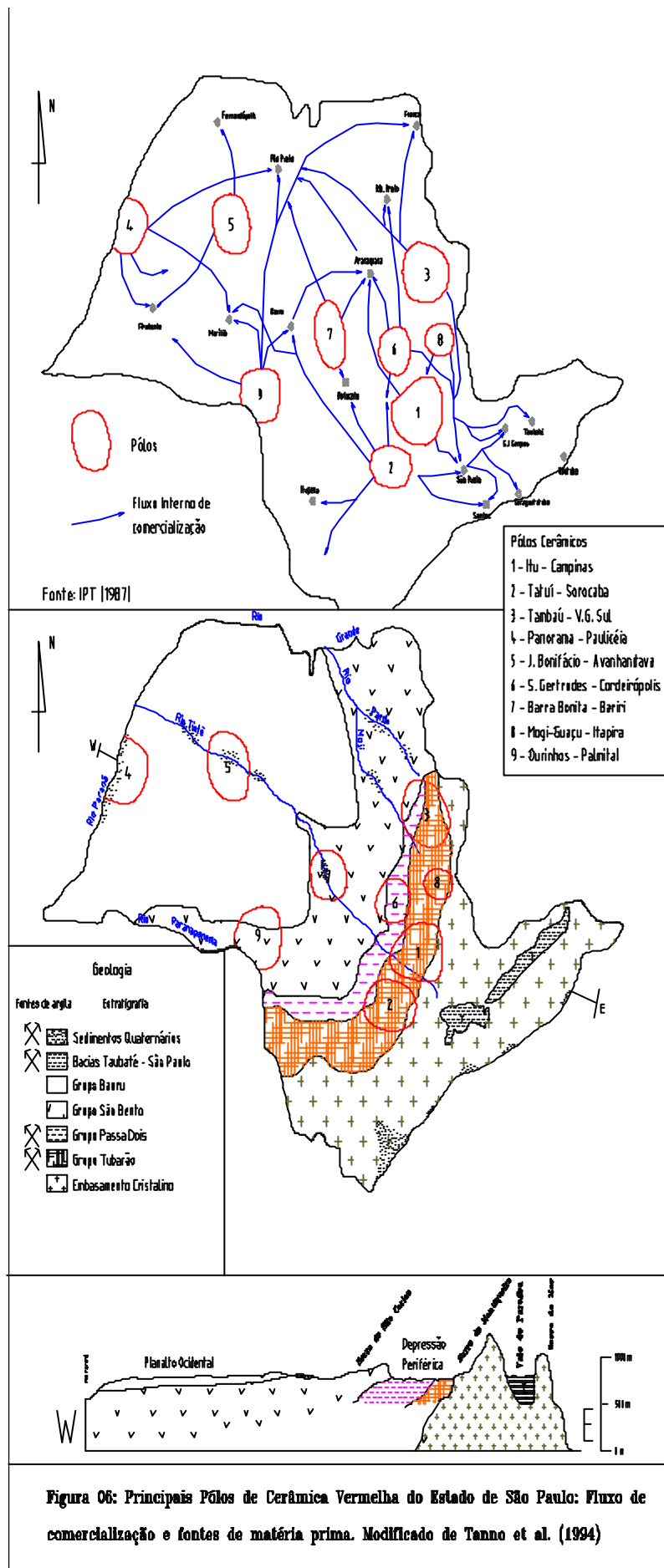
adequação ao uso. Contudo, este tipo de matéria-prima (Ball Clay) não é utilizado na pesquisa em andamento.

Melo *et al.* (1994) apresentam os resultados de prospecção mineral de wollastonita no Vale do Ribeira, com avaliação final positiva para o aproveitamento desse bem por parte das indústrias cerâmicas das regiões Sul e Sudeste do país com ganho econômico em relação ao similar importado ou sintético.

Uma revisão sobre os pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo, com vistas aos aspectos geológicos e econômicos foi apresentada por Tanno *et al.* (1994).

A figura 06 mostra a distribuição dos referidos pólos, e o resumo dos dados levantados é apresentado no quadro 01.

O trabalho chama a atenção para a carência de estudos relativos à tipologia, reservas e caracterização tecnológica, bem como ao mercado consumidor e sua especificação.



MATERIAS PRIMAS				
POLOS CERÂMICOS Consumo de argila (m ³ / mês)	SITUAÇÃO GEOMORFO LÓGICA	PROVENIÊNCIA GEOLÓGICA	PROPRIEDADES CERÂMICAS	PRODUTOS
Itu – Campinas (169.890)		- Subgrupo Itararé		
Tatuí – Sorocaba (49.765)		- Formação Tatuí		
Tambaú – Vargem (36.126)				
Sta. Gertrudes – Cordeirópolis (32.215)		- Formação Corumbataí		
Mogi-Guaçu – Itapira (12.125)	Depressão Periférica: Zona deprimida na borda da Bacia do Paraná, com relevo de colinas portadoras de rochas pelíticas utilizadas nas cerâmicas.	- Sedimentos Quaternários (subordinados)	Os taguás apresentam mais óxidos fundentes, resultando produtos mais resistentes e com menor absorção d'água a baixa temperatura. A argila de várzea é usada em mistura, melhorando a conformação a seco das peças.	- tijolos - blocos - telhas - tubos - elementos vazados e - pisos.
Panorama – Paulicéia (35.800)	Planalto Ocidental: região de relevo suave, com vales abertos, onde se encontram as argilas de várzeas utilizadas nas cerâmicas.	Sedimentos quaternários dos rios Paraná, Tietê e Paranapanema.	A argila de várzea contém mais matéria orgânica, propiciando uma maior absorção d'água e menor resistência das peças, podendo comprometer a fabricação de telhas sem mistura adequada com taguás.	- tijolos - blocos - lajes e - telhas.
José Bonifácio – Avanhadava (34.101)				
Barra Bonita – Bariri (20.460)				
Ourinhos – Palmital (11.800)				

Quadro 01: Pólos paulistas de cerâmica vermelha: produção, matérias-primas e produtos (Tanno et al. 1994).

Foi apresentada uma tese de doutoramento por Ferreira (1995), centrada nas características dos mercados produtores e consumidores de areia industrial no

Estado de São Paulo. É afirmado que o uso desse material para revestimento cerâmico é praticamente restrito à produção de azulejos, sendo que seus principais consumidores são as indústrias de fundição.

Tanno (1995) apresenta dissertação de mestrado sobre argilas esmectíticas da região de Franca, com ênfase nas características tecnológicas e nos condicionantes geológicos para três ocorrências distintas.

A partir do ano de 1998, foram apresentadas as primeiras dissertações de mestrado do grupo *Qualidade em Cerâmica Vermelha*, as quais são, até o momento, as fontes de informação mais detalhada sobre pesquisa mineral aplicada ao pólo cerâmico em questão, com foco centrado nas matérias-primas produzidas a partir da formação Corumbataí. Sendo assim, tais pesquisas são apresentadas a seguir:

Christofolletti (1999) apresenta os resultados obtidos estudando os níveis da formação Corumbataí, explotados na jazida Calcário Cruzeiro, na cidade de Limeira. Esta mineração explora as argilas da Formação Corumbataí para fornecimento a diversas indústrias cerâmicas da região.

Os trabalhos de amostragem concentraram-se em uma frente de lavra relativamente restrita em relação ao conjunto da jazida; no entanto, o trabalho mostra a presença de variações verticais e sugere a presença de variações horizontais.

É apresentada também uma correlação entre as características geológicas e estratigráficas dos diferentes níveis ou camadas estudadas e as propriedades químicas, mineralógicas e cerâmicas. O trabalho apresenta, também, testes de formulação entre os diferentes níveis mostrando que as diferenças litoestratigráficas e composicionais desses níveis influem nas questões ligadas à formulação das massas.

Gaspar Jr. (1999) apresenta trabalho de cunho similar ao citado acima, mas neste caso, usando amostras coletadas em diferentes níveis de uma frente de lavra da jazida Peruchi, hoje desativada por questões ambientais. Os resultados dessa jazida estão em acordo com os obtidos por Christofolletti (*op. cit.*), com relação às variações nela existentes e com os problemas de formulação.

Sousa (1999) realizou testes de adição dos calcários e folhelhos da formação Irati como aditivos na massa cerâmica básica utilizada pelas indústrias da região. Os resultados indicaram que pequenos teores de calcário poderiam ser usados, mas a contaminação de folhelhos betuminosos é danosa. Esse trabalho está sendo

aperfeiçoado em tese de doutorado, em desenvolvimento pelo mesmo autor, no sentido de separar aquelas impurezas.

Thomazella (1999) estudou o tema ligado ao sazonalidade ou descanso das argilas ao ar livre antes de seu emprego industrial. A técnica já conhecida e indispensável em vários ramos da indústria cerâmica é também utilizada nas indústrias do pólo estudado, mas carecia, até então, de informações explicando os mecanismos do processo e de dados para sua otimização.

Os resultados apresentados contribuem grandemente para uma melhor compreensão dos processos físico-químicos envolvidos mas, dada à complexidade do tema, seria necessário um aprofundamento do estudo para possibilitar sua otimização.

Melo Grego (1999) desenvolve metodologia para aplicação de resíduos de filtração da indústria de cosméticos como aditivos na produção de blocos cerâmicos estruturais.

Masson (1998) concentrou sua pesquisa nas causas dos defeitos dos produtos cerâmicos que têm como matéria-prima os materiais da formação Corumbataí. Os resultados demonstram a forte influência da presença de compostos orgânicos (naturais ou artificiais) no surgimento de bolhas negras (ou “verrugas” no jargão de fábrica) nas peças de revestimento cerâmico.

Outro foco do trabalho foi a verificação das variações químicas da massa cerâmica ao longo do tempo, cujos resultados já foram discutidos anteriormente, a partir da figura 1 (capítulo 2).

A jazida estudada em Masson (*op. cit.*) apresenta uma estruturação típica em três camadas principais, sendo que essa configuração tem sido usada por muitos de forma equivocada como se todas as jazidas da região pudessem encaixar-se neste modelo, o que não é uma verdade técnica.

A questão é que, apesar de a maioria delas apresentar essa estruturação com relação ao grau de alteração crescente em direção ao topo, isto não é uma regra geral e não significa que todas possuam os mesmos três níveis, podendo ser em número maior ou menor, a depender do grau de exposição e de alteração alcançados.

Além disso, existem também as diferentes associações dos níveis estratigráficos que podem estar aflorando em cada local, sem falar das condições de evolução recente, controladas por aspectos neotectônicos e geomorfológicos.

Neste sentido, visando discutir o “mito da extrema similaridade” entre as diferentes jazidas da região (somam algo em torno de 15 jazidas e minas), Masson *et al.* (2000a) apresentam trabalho demonstrando as grandes diferenças existentes entre elas, ilustradas em diversas colunas litoestratigráficas.

As colunas citadas foram levantadas em três jazidas distintas, estudadas naquele trabalho, com as respectivas litofácies e assembléias de fácies delimitadas. No trabalho é possível observar as diferenças estratigráficas e litofaciológicas existentes entre as jazidas e também as variações verticais existentes numa mesma jazida, inclusive dentro de níveis considerados, até então, homogêneos pelos responsáveis pela lavra.

Christofolletti *et al.* (2000) apresentam as respectivas caracterizações tecnológicas de cada fácies presentes nas colunas citadas acima, demonstrando que as variações litofaciológicas implicam, em muitos casos, em diferenças no comportamento tecnológico cerâmico.

Como não é muito fácil de ser detectada uma tendência de correlação lógica entre os resultados tecnológicos e as litofácies delimitadas, Masson *et al.* (2000b) desenvolveram um trabalho de cunho estatístico para verificar tais correlações, ficando claro, no trabalho, haver um controle das variações tecnológicas, de acordo com diferentes assembléias de fácies existentes em cada local.

Os trabalhos de reconhecimento e mapeamento regional da faixa de afloramentos da formação Corumbataí, onde estão instaladas as principais jazidas e minas explotadas pelo pólo cerâmico estudado, são o foco de uma tese de doutorado atualmente em desenvolvimento por Christofolletti (no prelo).

Motta (2000), dando continuidade à sua linha de pesquisa de matérias-primas para cerâmica tradicional, por processo via úmida e queima dura, apresenta uma série de novas alternativas para o setor no Estado de São Paulo, demonstrando a viabilidade de produção com fontes de matérias-primas nobres e relativamente próximas dos grandes centros consumidores.

Souza *et al.* (2000) apresentam uma proposta para controle de qualidade de matérias-primas para revestimentos. O trabalho baseia-se, fundamentalmente, em dois trabalhos publicados na Espanha e que tratam do controle de qualidade de matérias-prima para revestimentos e processos de homogeneização de argilas.

O trabalho de Souza *et al.* (*op. cit.*) é bastante oportuno e, de certa forma, aplicável por tratar de questões relacionadas com o controle de exploração,

homogeneização e recebimento das matérias-primas; no entanto fica relativamente prejudicado em função de um dos trabalhos que serviram como fonte de informações conter alguns erros conceituais graves, enunciando regras e conceitos que já estão ultrapassados há muito tempo na indústria mineral.

Em trabalho focando técnicas para seleção de matérias-primas com base na sua composição química, Torres Moreno *et al.* (2000) demonstram ser possível estimar com um certo grau de segurança o provável grupo de absorção d'água de uma argila para revestimento cerâmico, a partir das relações existentes entre as somas dos óxidos alcalinos mais cálcio versus a soma da sílica mais alumina. Todo o trabalho foi desenvolvido com amostras coletadas em diferentes locais e diferentes níveis estratigráficos da formação Corumbataí, na região do pólo cerâmico estudado.

Essa técnica pode ser útil para pré-seleção de argilas a serem utilizadas em uma formulação de massas cerâmicas.

Trabalhos de geologia visando ao estudo de matérias-primas industriais não-metálicas têm sido também realizados em outros estados do país, contudo fogem à abrangência anteriormente proposta para esta seção.

6.3. Métodos para Caracterização de Depósitos Minerais

Os métodos já consagrados nos diversos setores de mineração para caracterização de jazidas visando posterior lavra eficiente das mesmas configuram a principal fonte metodológica para o presente estudo, que, entre outros objetivos, visa verificar a sua adequação ao setor cerâmico em estudo no qual as mesmas ainda não utilizadas de forma integral, daí a importância da revisão a seguir.

6.3.1. Aspectos Gerais

Em vista dos principais objetivos deste projeto, já discutidos anteriormente, será necessária, além das técnicas de geologia de campo, a utilização de técnicas para tratar quantitativamente os dados a serem obtidos e conseguir modelos digitais para facilitar a visualização dos resultados e direcionar decisões de projetos futuros.

Na área de quantificação, existe uma série de métodos, entre os quais são utilizados os considerados mais adequados; no entanto, a título de revisão e comparação, é apresentado a seguir um resumo desses métodos e suas

possibilidades de aplicação. Posteriormente, são feitas breves considerações sobre modelos digitais.

6.3.2. Principais Métodos para Quantificação de dados Geológicos

Os métodos de avaliação de depósitos minerais são agrupados por Guerra (1988) em três grandes grupos, a saber:

- Métodos Convencionais
- Métodos Estatísticos (baseados na Estatística Clássica - de Gauss - Moivre)
- Métodos Geoestatísticos

Nessa revisão é adotada esta mesma divisão, mas com a inclusão de métodos baseados na análise estatística multivariada, não discutidos por Guerra (*op. cit.*). Tais métodos foram incluídos em função de sua utilidade em trabalhos preliminares de compartimentação, zoneografia e tipologia de depósitos minerais.

Os métodos de cada grupo citado acima são resumidos nos itens seguintes.

6.3.2.1. Métodos Convencionais

Os principais métodos convencionais apontados por Guerra (*op. cit.*) são:

- Isolinhas
- Polígonos
- Seções transversais
- Triângulos
- Inverso da distância e inverso do quadrado da distância (ou IQD)

O mesmo autor cita ainda que as principais vantagens desses métodos são os baixos custos de aplicação, agilidade e utilidade para definir as bordas dos depósitos.

Como principais desvantagens têm a alta dependência do operador (técnico), a dependência de grande conhecimento geológico prévio do depósito (o que normalmente não é possível por questões de custo) e a elevada incerteza em

relação aos teores, o que traz problemas durante a exploração propriamente dita, além da insegurança gerada para com os investidores em relação à estimativa de reservas.

Dentre os métodos convencionais citados, Guerra (*op. cit.*) destaca os métodos de inverso da distância e do quadrado da distância como os mais confiáveis, principalmente por levarem em conta as amostras externas ao bloco a ser estimado e não só as internas, o que de certo modo evita sobre e subestimativas da variável a ser avaliada.

Contudo, existem também nesses métodos de inverso da distância muitas desvantagens que, a depender do grau de precisão desejado, inviabilizam sua utilização. Entre elas, Guerra (*op. cit.*) destaca que não levam em conta as considerações geológicas do depósito e intrínsecas ao minério como anisotropias e variabilidade da jazida e, além disso, também não levam em conta fatores geométricos ligados ao plano de lavra como tamanho e forma dos blocos, entre outros problemas.

Guerra (*op. cit.*) esclarece ainda que o método IQD é justificado pela hipótese do potencial químico, a qual postula que as atrações são inversamente proporcionais ao quadrado da distância e a maioria dos depósitos seriam formados por intercâmbio iônico ou por diferença de potencial químico, o que implica que suas variações ocorreriam de acordo com o inverso do quadrado da distância.

Neste ponto, é importante salientar que, para o caso de minerais industriais – em especial de aplicação cerâmica –, os parâmetros de interesse medidos podem ser índices físicos, cujas causas de variações nas jazidas podem estar ligadas a fatores não necessariamente vinculados à hipótese do potencial iônico.

No entanto, sabe-se que algumas empresas do ramo cerâmico têm utilizado esse método na operação de lavra para estimar parâmetros como retração de queima, por exemplo, e desta forma podem estar incorrendo em estimativas com um erro associado, o que seria evitado com o uso de outro método mais adequado.

Sameshima & Yamamoto (1996) apresentam um estudo comparativo entre diversos métodos de interpolação numérica. Utilizam o termo IPD – Inverso da Potência da Distância, por ser a designação genérica para o método, no qual o IQD – Inverso do quadrado da Distância é apenas uma realização particular da função. Os autores salientam que as potências mais elevadas realçam valores extremos enquanto que as baixas tendem a suavizá-los.

Sameshima & Yamamoto (*op. cit.*) comentam o fato de a realização particular de potência quadrática ter-se tornado a mais usada, sem que haja, porém uma justificativa coerente para tanto.

6.3.2.2. Métodos Estatísticos

6.3.2.2.1. Estatística Univariada

Os métodos estatísticos são usados em mineração para avaliação de reserva e estimação de parâmetros desde o final do século XIX, mas intensificou-se após a segunda guerra mundial, Guerra (1988).

É importante salientar que Guerra (*op. cit.*) limita-se a apresentar e discutir os métodos estatísticos univariados, sendo as considerações a seguir um breve resumo das considerações desse autor sob este enfoque, sendo que no item seguinte são discutidas as questões ligadas à estatística multivariada.

O emprego dos métodos estatísticos na mineração foi desenvolvido e consagrado, principalmente, na escola mineira norte-americana, tendo perdido terreno apenas após o surgimento e a consolidação da metodologia devida à escola sul-africana, que culminou com o surgimento da geoestatística. Guerra (*op. cit.*).

Entre as principais vantagens desse método, o autor acima destaca a possibilidade do cálculo do erro de estimativa associado, o que nunca é possível com os métodos convencionais.

As desvantagens estão ligadas ao fato de o método não levar em conta as relações espaciais entre as amostras, como posição e suporte, além de não levar em conta também as características espaciais das variáveis estudadas, como anisotropias, continuidade, tendências, estacionaridade, etc Guerra (*op. cit.*). Outro problema levantado por Guerra (*op. cit.*) é a diversidade de notações usadas por diferentes autores para designar o mesmo parâmetro.

Para finalizar, é preciso deixar claro que, apesar de não ser atualmente a metodologia mais indicada para realizar todo o trabalho de avaliação de um depósito mineral, a estatística básica univariada deve sempre ser usada inicialmente, a fim de avaliar as características básicas das variáveis a serem estudadas. Esse é o passo inicial recomendado para anteceder a geoestatística formal.

A seguir, é apresentado um breve resumo da estatística básica univariada, baseada parcialmente em Girodo e Claret (1998) e iniciando por estabelecer algumas definições básicas sobre o assunto, como segue:

Experimentos aleatórios: são aqueles que, ao serem repetidos em condições idênticas, produzem resultados diferentes. Embora não se consiga dizer, a priori, o resultado que irá ocorrer em um determinado experimento, pode-se descrever o conjunto de todos os resultados possíveis que poderão advir.

As variações dos resultados, de experimento para experimento, são devidas a muitas causas que não se podem controlar, as quais são denominadas “acaso”.

Alguns exemplos de experimentos aleatórios são:

- Números obtidos com lançamento de dados;
- Lançar moeda para, e após o repouso, verificar a face voltada para cima, etc.

Duas condições devem ser impostas por tratar-se de estatística clássica:

- 1) Os experimentos podem ser indefinidamente repetidos;
- 2) Os experimentos são independentes (o resultado de um experimento não pode ser influenciado pelo resultado daqueles eventos precedentes).

Como será demonstrado posteriormente, em geoestatística, por princípio, essas duas condições não são normalmente atendidas, salvo casos particulares em que a segunda condição pode ser eventualmente atendida (variáveis sem continuidade espacial/temporal).

Espaço Amostral: (indicado por Ω , ou eventualmente por $\{X\}$): é o conjunto formado por todos os resultados possíveis do experimento aleatório.

Exemplos:

Moeda: $\Omega = \{K, C\}$, onde K = cara e C = coroa

Dado: $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

Uma moeda é lançada até que o resultado K ocorra pela primeira vez: $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. Obs: esse espaço amostral é infinito.

Teor de uma lasca de minério de Ferro: $\{X\} = \left\{ \frac{X}{X} \Omega[0,100\% Fe] \right\}$; reparar neste último caso que o teor pode variar de forma contínua, desde o valor mínimo até o máximo de 100% Fe.

Evento: é qualquer subconjunto do espaço amostral. Em geral, indica-se o evento por uma letra maiúscula do alfabeto latino A, B, C, D...

Diz-se que um evento A ocorre se, realizado o experimento aleatório, o resultado obtido pertence a A. Quando o evento considerado possui um único elemento ele é denominado “evento elementar” ($\#A=1$).

Probabilidades: A probabilidade pode ser entendida como um número $p(a_i)$ ou p_i associado a cada elementar a_i de um espaço amostral.

$$1^\circ. 0 \leq p_i \leq 1$$

$$2^\circ. \sum p_i = 1 \quad \text{para } i \text{ pertencente } \Omega = (1, 2, 3, \dots, n)$$

Em seguida, seja A um evento qualquer de Ω . Define-se Probabilidade do evento A (indicada por $P(A)$) da seguinte maneira:

$$1^\circ. \text{ Se } A = \emptyset, \quad p(A) = 0$$

$$2^\circ. \text{ Se } A \neq \emptyset, \quad p(A) = \sum_{a_i \in A} p_i$$

Uma das noções fundamentais da Teoria das Probabilidades é a de variável aleatória (V.A.). Denomina-se **V.A.** uma grandeza que pode, em uma experiência, assumir uma gama de valores possíveis, porém desconhecidos *a priori*.

Alguns exemplos de V.A. são:

- a soma de pontos obtidos com o lançamento de dois dados;
- o número de gols em uma partida de futebol;
- a distância de um tiro ao centro do alvo;

- o tempo que um determinado atleta irá gastar para percorrer o percurso de uma maratona.

Para uma descrição sucinta de uma V.A. podem usados os parâmetros numéricos abaixo:

- **Média** (ou primeiro momento central): É uma das medidas de **tendência central** de uma V.A., onde x é o valor mais provável da variável considerada, sendo definido como:

$$\mu_x = E(x)$$

Lê-se $E(x)$ como “esperança matemática” de V.A. x , calculando-se da seguinte forma:

V.A.X discreta:
$$\mu_x = E(x) = \sum_i x_i f(x_i)$$

V.A.X contínua:
$$\mu_x = E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$$

Outras medidas de tendência central são:

Moda: Valor ou elemento de um evento qualquer, que mais ocorre ou que ocorre repetidas vezes. Não ocorre necessariamente em todos os experimentos aleatórios.

Mediana: valor ou elemento de um evento que está em posição exatamente intermediária (central) entre o primeiro e o último elemento do conjunto, desde que organizado em ordem de grandeza (rol de dados). Se o conjunto possui um número total par de elementos, a mediana será a média aritmética dos dois elementos centrais e adjacentes entre si.

- **Variância** (ou segundo momento central) da V.A.X. e definido como:

$$\mu_2 x = \sigma^2 x = \text{VAR}(X) = E[X - E(X)]^2 = E[X - \mu_1 x]^2$$

Para V.A.X discreta:
$$\sigma^2 x = \sum (x_i - \mu_1 x)^2 p(x_i)$$

Para V.A.X contínua:
$$\sigma^2 x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_1 x)^2 p(x) dx$$

- **Desvio Padrão:** O desvio padrão será a raiz quadrada da variância como segue:

$$\sigma(x) = \sigma_X = \sqrt{\text{VAR}(x)} = \sqrt{\sigma_X^2}$$

- **Momentos centrais de ordem superior** (momento de ordem ≥ 3)

$$\mu_{kx} = E[(X - \mu_1 X)^k]$$

Para V.A.X discreta:

$$m_{kx} = \sum_i (x_i - m_1 x)^k p(x_i)$$

Para V.A.X contínua:

$$\mu_{kx} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_1 x)^k p(x) dx$$

O momento de 3ª ordem tem a ver com simetria e o de 4ª ordem relaciona-se com a agudez do pico.

Para análise destes problemas normalmente toma-se:

Coeficiente de Assimetria ou Skewness: $SK(x) = \frac{\mu_3 X}{\sigma_X^3}$

Coeficiente de Curtose ou Kurtosis: $KV(x) = \frac{\mu_4 X}{\sigma_X^4}$

Importância dos dois últimos parâmetros:

- Para uma distribuição eminentemente normal, o SK e o KV serão praticamente iguais a zero segundo o modelo de Fisher e iguais a 3 segundo Pearson;
- Para distribuições de frequência do tipo lognormal, por exemplo, o SK será positivo e assim por diante.
- Assim, estes parâmetros são boas indicações da normalidade das V.As. em estudo, sendo que os cálculos de estimativas, em geral, devem levar em conta a natureza da distribuição para evitar erros no resultado do processo.

Outros parâmetros importantes são:

- **Coeficiente de variação** da V.AX (Pearson)

$$\mu_x = \frac{\sigma_x}{\mu_{1x}}$$

- **Covariância**

O conceito de variância (para uma variável aleatória) pode ser estendido para duas variáveis aleatórias, resultando na covariância, ou seja, a forma com que duas variáveis aleatórias variam conjuntamente.

Sejam x e y, duas V. As, e assim pode-se escrever:

$$\text{COV}(x, y) = \sigma_{xy} = E\{[x - \mu_{1x}][y - \mu_{1y}]\}$$

As experiências das covariâncias das V. As. discretas e contínuas escrevem-se com dupla somatória ou dupla integral e com a função f(x,y) bivariável.

Por fim, define-se o **coeficiente de correlação** entre as VAs x e y, pela expressão:

$$\rho_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{VAR}_{(x)}} \cdot \sqrt{\text{VAR}_{(y)}}} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

6.3.2.2.2. Métodos Estatísticos Multivariados

Os textos a seguir configuram apenas um resumo sobre o assunto, baseado principalmente em Landim (1997), existindo também vasta literatura a respeito.

Dentre as diversas técnicas de análise estatística multivariada, serão abordadas aqui apenas aquelas utilizadas efetivamente na análise dos dados da pesquisa, quais sejam:

- ✓) Regressão Múltipla
- ✓ Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*)
- ✓ Análise de Componentes Principais

REGRESSÃO MÚLTIPLA

Quando se utiliza a técnica estatística de regressão, é comum recorrer-se à regressão linear simples, onde tem-se $y_i = a + bx_i + e_i$, utilizando-se somente uma

variável dependente (y) e uma independente (x), com os coeficiente a e b e o seu erro e ..

Em muitos casos, contudo, o erro e acaba sendo mais importante que a explicação da correlação explicada pela variável (x). Assim, é necessário acrescentar, simultaneamente, à estrutura analítica outras variáveis envolvidas, configurando uma análise de Regressão Múltipla que poderá explicar de forma mais eficiente a variabilidade de (y).

Para reduzir a variabilidade é possível fazer:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + e_2$$

sendo a_0 , a_1 e a_2 calculados e $e_2 < e_1$.

Assim, incorporando progressivamente outras variáveis independentes, pode-se avaliar a importância de cada uma delas na explicação da variabilidade da variável dependente.

A medida da “explicação” dada pelas variáveis independentes é dada por um coeficiente R^2 , que é:

$$R^2 = \frac{(\text{variância de Y explicada pela regressão})}{(\text{variância total})} = \frac{S_{y^*}^2}{S_y^2}$$

variando de 0 a 1 e fornecendo uma medida dimensional da qualidade do ajuste do modelo de regressão linear múltipla aos dados.

Se esse coeficiente for próximo a 1, significa que as variáveis X 's escolhidas pelo usuário são responsáveis, quase que totalmente, pela variabilidade de Y , podendo indicar um bom modelo. Caso contrário, esse coeficiente será próximo a zero.

Segundo Landim (1997), e com base no já exposto, é possível afirmar que uma importante aplicação desta técnica é a escolha das variáveis independentes (x) mais úteis para a previsão de uma variável dependente (y).

Por fim, é preciso esclarecer que este tópico foi incluído nesta seção por questão didática mas, a rigor, essa técnica não passa de uma análise univariada, em que são usadas várias variáveis simultaneamente, fazendo-se o estudo de uma única variável Y em função das variáveis independentes e não várias variáveis contra outras tantas variáveis, num espaço matemático multidimensional, como no caso de uma análise estritamente multivariada.

ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

A Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*) permite a classificação de amostras/casos (modo Q) e/ou variáveis (modo R) por matriz de similaridades ou distância. É uma das metodologias mais utilizadas para classificar dados observados em uma estrutura com significado interpretativo e é um método de classificação em agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço n-dimensional, em um número conveniente de grupos por uma matriz de similaridades.

O resultado final, longe de possuir um significado por si só, necessita da análise interpretativa cuidadosa por parte do especialista que aplica a técnica para, a partir daí, extrair conclusões lógicas quanto à natureza e ao significado físico ou prático dos agrupamentos obtidos.

O tipo de agrupamento utilizado nesta pesquisa é apresentado na forma gráfica do Dendrograma.

O algoritmo de Agrupamento Conjunto (*Joining* ou *Tree Clustering*) tem o propósito de juntar objetos em agrupamentos sucessivamente maiores, usando algumas medidas de similaridade ou distância, e seu resultado típico é apresentado em um gráfico o dendrograma, que é uma árvore de classificação hierarquizada.

O método de agrupamento dos objetos analisados (as amostras ou as variáveis) pode ser por similaridade ou por distância desses objetos, as quais podem ser baseadas em dimensões simples ou múltiplas. A classificação dos coeficientes de similaridade que podem ser usados é feita segundo as medidas de: (1) distância ou separação angular entre pontos; (2) correlação entre pares de valores e (3) associação entre pares de caracteres qualitativos.

Quando se quer verificar o agrupamento dos casos ou amostras disponíveis, utiliza-se o modo (Q). Quando se deseja verificar a associação ou agrupamento entre as variáveis em estudo, utiliza-se o modo (R), sendo ambos de fácil seleção nos programas especialistas disponíveis.

As regras de ligação dos objetos podem seguir uma das seguintes regras listadas: *Ligação Simples (Vizinho mais Próximo)*; *Ligação Completa (Vizinho Adicional)*; *Média Não Ponderada de Grupo Pareado (UPGMA)*; *Média Ponderada de Grupo Pareado (WPGMA)*, onde o peso é o número de pares contido em cada grupo; *Centróide Ponderado de Grupo Pareado (UPGMC)*; *Centróide Ponderado de Grupo Pareado (WPGMC ou Mediano)*; e *Método de Ward*, que utiliza análise de

variância na abordagem para avaliar a distância dos agrupamentos, geralmente muito eficiente, mas tendendo a criar grupos muito pequenos.

A descrição e a aplicação de cada uma destas regras podem ser encontradas em Landim (1997), em Davis (1986) e em outras tantas fontes que versam sobre o assunto.

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

O objetivo da Análise de Componentes Principais ou simplesmente PCA, como é conhecida internacionalmente, visa interpretar estruturas de um conjunto de dados multivariados, a partir de sua matriz de variâncias-covariâncias.

Dessa forma, é possível a ordenação de variáveis e casos em fatores que explicam sucessivamente a maior variabilidade dos dados com sentido físico atribuído aos vetores.

Na verdade, esse método é apenas uma modalidade de análise multivariada dentro do grupo denominado Análise Fatorial (não confundir com análise fatorial da álgebra) e que se subdivide em: Análise das Componentes Principais e Análise dos Fatores.

A partir de Landim (1997), conclui-se que as principais aplicações das técnicas de PCA são:

1. Reduzir o número de variáveis;
2. Classificar as variáveis de acordo com as estruturas de correlação existentes entre elas;
3. Ordenar as variáveis ou casos que, aparecem sucessivamente, de acordo com o grau de importância que cada uma exerce sobre a variabilidade dos conjunto de dados.

Os métodos de cálculo também podem ser divididos em modo (R) e modo (Q), como no caso da análise de agrupamentos.

6.3.2.2.3. Métodos Geoestatísticos

Guerra (1988) traz uma rápida explanação sobre as origens da geoestatística, na qual os principais pontos discutidos pelo referido autor são apresentados a seguir.

Cabe a George Matheron (1963) a idealização da geostatística para resolver problemas de Geologia e Mineração. Os trabalhos de Matheron foram subsidiados pelos trabalhos estatísticos de Krige e Sichel, da escola Sul-Africana, realizados entre 1947 e 1960, nas minas de ouro do Rand, bem como por Wijs, entre 1952 e 1953, sobre jazidas uraníferas, ambos na África do Sul .

Por outro lado, o sucesso da formalização teórica de Matheron foi conseguido porque seus colaboradores tiveram êxito em adotar e aplicar o seu desenvolvimento probabilístico nos casos concretos das minas da África do Sul. Entre estes colaboradores destacam-se vários geólogos e engenheiros de minas como: J.Serra; A. Journel; Ch. Huijbregts e A. Marechal, entre outros.

É importante destacar que a Geoestatística está baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas (V.R.) que consiste em uma função que varia de um lugar para outro no espaço, com certa aparência de continuidade, ou seja, as variáveis que se enquadram nesta função assumem valores que, de algum modo, estão relacionados entre si, de amostra para amostra, de acordo com a sua posição espacial.

Em função disto, as condições impostas pela estatística clássica e anunciadas anteriormente não são atendidas pela geoestatística. Isso porque, desde que coletada uma amostra para análise, é impossível reamostrar o mesmo ponto e, mesmo que se colete outra amostra extremamente próxima da primeira, a segunda condição não tem como ser atendida pois as amostras coletadas em diferentes pontos apresentam interdependência entre si, o que equivale a dizer que os eventos também apresentarão essa mesma interdependência mútua.

Para constatar esta presença de relação espacial entre as amostras e desta forma saber se a geoestatística convém ser aplicada, as ferramentas da própria geoestatística devem ser usadas para verificar se a variável em estudo é ou não regionalizada, ou seja, se apresenta continuidade espacial, pois, caso contrário, não se justifica o uso da técnica, podendo, então, fazer-se uso dos métodos clássicos.

O conjunto das atividades para efetuação de uma análise geoestatística básica de dados pode ser dividida em dois grandes grupos perfeitamente relacionados entre si, a saber:

- 1) Análise Variográfica ou variografia
- 2) Estimativas por meio das técnicas de Krigagem

Além destes tópicos a geoestatística aborda outros mais avançados e não abordados aqui como: os métodos não lineares; simulação condicional, e segundo Girodo e Claret (1998) possui hoje largo espectro de aplicações, atendendo à várias ciências, entre elas as ciências do solo; meio ambiente; meteorológicas e integrando-se também com a Teoria dos Fractais de Mandelbot.

Em geoestatística, está sendo estudado o comportamento de uma Variável Regionalizada que pode ser entendida matematicamente como uma realização de uma função aleatória F.A.. Dentro desse contexto, o estudo de uma V.R. pode ser realizado por meio da função variograma.

De modo geral, os resultados obtidos com a variografia são usados, posteriormente, na parametrização da estimação a ser desenvolvida com as técnicas de krigagem. Como a presente pesquisa não contempla a fase de aplicação das técnicas de krigagem, a seguir será realizada apenas uma revisão sobre os principais aspectos característicos da variografia.

Variograma

A Função variograma ou, mais corretamente, semi-variograma, pode ser definida pela expressão abaixo:

$$g(h) = \frac{1}{2} E[y(x+h) - y(x)]$$

Onde: $y(x+h)$ e $y(x)$ são os teores verificados nos pontos, separados pela distância h e E = Esperança matemática.

Mais à frente esta definição será retomada, partindo-se do formalismo da qual deriva.

A representação gráfica genérica de um variograma pode ser observada na figura 07.

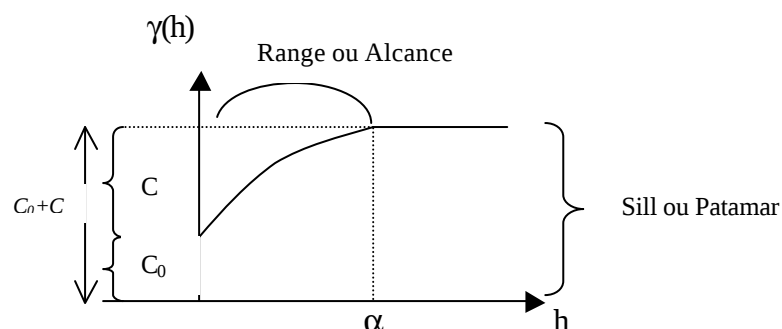


Figura 07: Elementos básicos de um variograma. Modificado de Guerra (1998)

A figura 08, a seguir, demonstra os principais comportamentos na origem que um variograma pode apresentar e que são importantes para a sua interpretação:

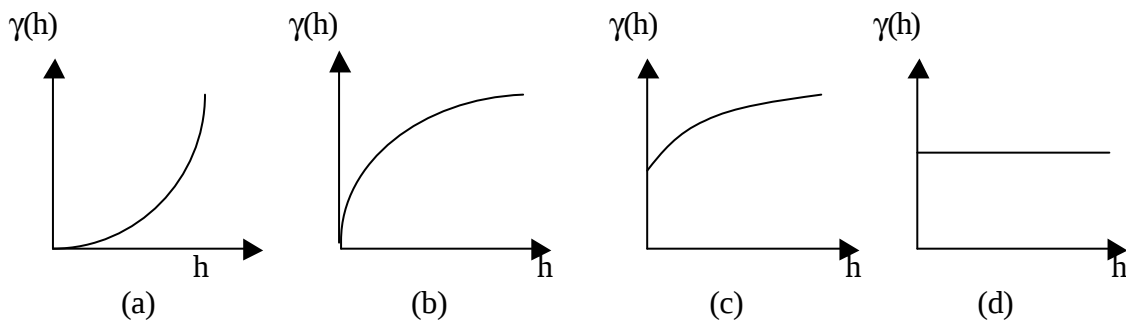
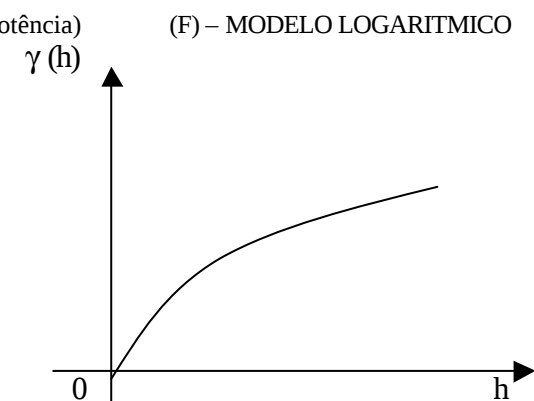
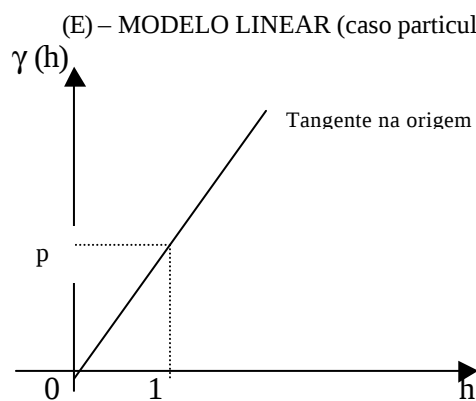
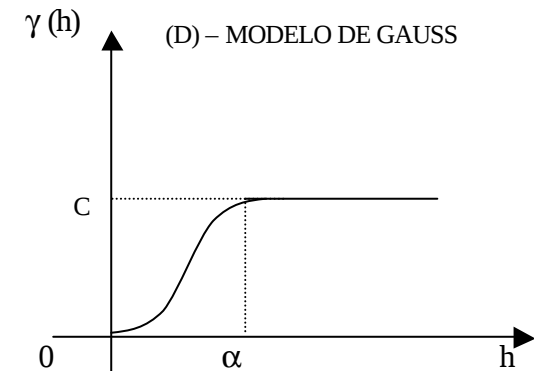
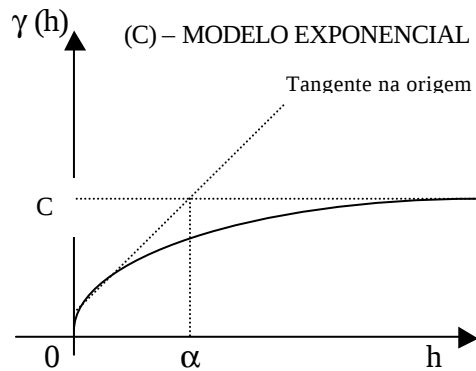
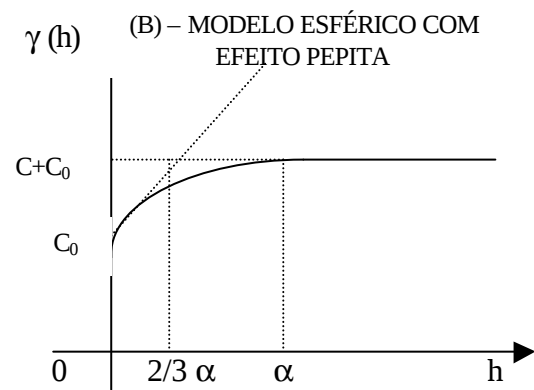
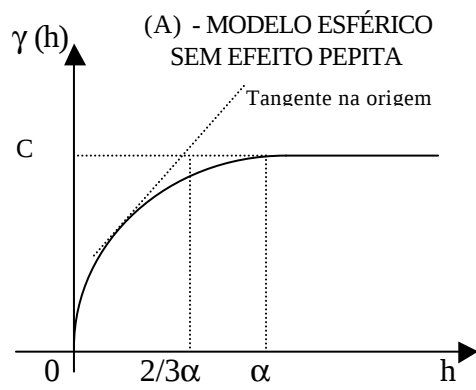


Figura 08: Comportamento na vizinhança da origem de quatro tipos de variogramas. Modificado de Guerra (1988)

Segundo Girodo e Claret (1998) um variograma pode ser:

- a) **Variograma real:** reporta-se ao variograma idealizado da FA quando se consideram os infinitos pontos (argumentos) das V.As envolvidas. O ideal seria estar de posse deste modelo variográfico perfeito para levar a cabo as estimações. Ocorre, no entanto, que o variograma é inacessível, pois para levantá-lo deveriam ser feitas infinitas análises, além de ajustar uma função que percorresse, sem se desviar, os infinitos pontos em função de h .
- b) **Variograma experimental:** o que se obtém na prática é um variograma discreto, constituído por pontos em distâncias específicas, a partir de uma amostragem bastante fragmentária. Observa-se ainda que os pontos experimentais serão gravados de desvios maiores ou menores, em função do volume estatístico das informações, de fugas locais de estacionaridade, etc.
- c) **Variograma teórico (ajustado):** o que se obtém na prática operacional da Geoestatística é um variograma dito teórico ou ajustado. O termo teórico é justificado porque, para tanto, se empregam funções teóricas de cálculo. O termo ajustado porque faz-se passar esta função o mais próximo possível dos pontos experimentais.

Os principais modelos de variogramas teóricos são apresentados na figura 09 a seguir:



(G) - Modelo potência

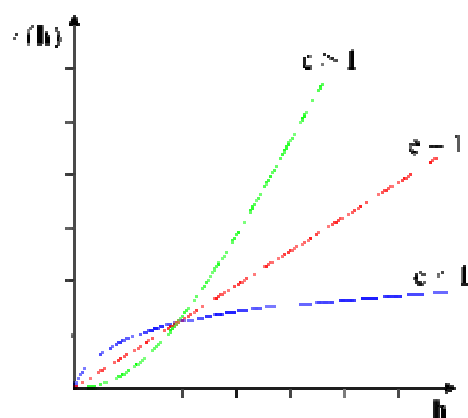


Figura 09: principais modelos de variogramas (autorizados). Modificado de Guerra (1988).

Como o estudo variográfico depende do profundo conhecimento das Variáveis Regionalizadas, complementa-se que as mesmas possuem as seguintes características:

- (a) localização e suporte;
- (b) continuidade/descontinuidade;
- (c) anisotropia;
- (d) transição.

O entendimento destas características se faz necessário para uma correta interpretação da função semivariograma obtida.

A definição dessas características, apresentada na sequência, é baseada em Girodo e Claret (1998), mas tem suas origens bibliográficas nos fundadores da geoestatística, o mesmo valendo para as hipóteses restritivas apresentadas na sequência.

Localização e suporte: as V.R. são distribuídas em determinados domínios “geográficos”, denominados campos ou domínios geométricos, normalmente homogêneos.

As variáveis são analisadas (ou estimadas) em volumes físicos finitos (intervalos de sondagens, amostras de canaletas, plena seção de um poço) denominados suportes. Os suportes dependem de tamanho, forma e orientação.

Continuidade/descontinuidade: Examinando-se inúmeros depósitos minerais, sua maioria mostra que se encontra, com maior probabilidade, minério rico perto de minério rico e minério pobre perto de minério pobre. As jazidas estruturam-se em função dos processos genéticos que lhes deram origem, com reflexos na continuidade/descontinuidade das mineralizações. Girodo e Claret (*op. cit.*) lembram, ainda, que esse aspecto foi descrito de forma muito detalhada por Jean Sena, nos primórdios da Geoestatística (há trinta anos), para os depósitos de ferro de Loraine (França) e se encontra relatado em quase todos os textos de Geoestatística.

Alguns pontos sobre a continuidade/ descontinuidade das funções que descrevem as V.Rs. precisam ser considerados:

- 1) A função cresce à medida que aumenta a distância h considerada;
- 2) Quando as amostras se encontram em lentes diferentes, os teores são distintos, e a função apresenta saltos de descontinuidade;
- 3) Conjunto desses saltos em distância similar reflete um embricamento estrutural;
- 4) Mesmo em distâncias pequenas a função considerada normalmente não se anula, isto é:

$$\lim_{h \geq 0} [2 - \rho(h)] = \lim_{h \geq 0} \{E[y(x+h) - y(x)]^2\} = 2 \quad C_0 \neq 0$$

Esta constante C_0 é uma medida de descontinuidade dos teores na origem e denomina-se **efeito de pepita**.

Anisotropia: O andamento da função é diferente para diferentes direções. Tomando-se, por exemplo, um depósito sedimentar estratificado, os teores variam mais bruscamente em direções perpendiculares aos estratos, do que paralelamente aos mesmos. Isto reflete a anisotropia do objeto em estudo.

Transitividade: À medida que h cresce, os teores tendem a ser cada vez mais díspares, aumentando a diferença entre eles e, por conseqüência, a função $2\rho(h)$. Todavia, tal aumento não se processa indefinidamente e a função se estabiliza, à medida que os teores deixam de ser correlacionados um com o outro.

Finalmente, não se pode encerrar o assunto sem antes apresentar as condições restritivas para a aplicação do método, e que se referem basicamente à estacionaridade da função, o que pode ser entendido como a manutenção das probabilidades de correlação entre as variáveis no espaço, sem que haja aumento direcional na média dos valores medidos; caso contrário, dispõe-se de uma função não-estacionária e, portanto, com tendência direcional também conhecida por deriva (fenômenos não-estacionários) Guerra (1988), o que remete para as técnicas de krigagem universal.

As leis de estacionaridade são as seguintes, seguindo o modelo de Girodo e Claret (1998):

a) Estacionaridade estrita (ou de 1ª ordem)

Enunciado que deve ser aceito sem discussão: “Uma FA é estritamente estacionária, quando sua lei de probabilidade é invariante por translação”.

Nestas condições, tem-se:

$$E[y(x)] = m(x) = E[y(x+h)] = m_{x+h} = m,$$

constante, qualquer que seja o ponto de apoio.

Observação: Essa hipótese, sozinha, todavia é muito fraca para proceder as avaliações. Há que se colocar hipóteses mais fortes, como o que vem a seguir:

b) Estacionaridade de 2ª ordem

Definição: Uma FA é estacionária de 2ª ordem quando atende a duas condições:

- 1) Existe $E[y(x)] = m$, para qualquer ponto de apoio x , e esta (esperança) não depende de x .

Observação: Em outras palavras, falou-se até aqui que uma FA é estacionária de 2ª ordem quando é estacionária de primeira ordem.

A segunda condição, todavia, é a seguinte:

- 2) Existe a covariância, $COV[y(x), y(x+h)]$, também denotada por $C(h)$, a qual é independente do ponto x , dependendo apenas de h . **Observação:** daí a notação $C(h)$.

Desenvolvendo-se a covariância e aplicando-se todos as hipóteses simplificadoras, retro referidas, vem:

$$\begin{aligned} COV[y(x), y(x+h)] &= C(h) = E\{[y(x) - m_x][y(x+h) - m_{x+h}]\} = \\ &= E\{y(x) \cdot y(x+h) - m_x y(x+h) + m_{x+h} y(x) - m_x m_{x+h}\} = \\ &= E\{y(x) \cdot y(x+h) - m^2\}, \text{ pois,} \\ m_x &= m_{x+h} = m = E[y(x)] = E[y(x+h)] \end{aligned}$$

Tem-se, então, em resumo:

$$E[y(x)] = m$$

$$C(h) = E[y(x) \cdot y(x+h)] - m^2 \quad (**)$$

Convém, agora, notar o seguinte:

$$\text{Para } h = 0 \Rightarrow C(0) = E\{[y(x)]^2\} - m^2 \quad (*)$$

E ainda por outro lado:

$$\text{VAR}[y(x)] = E\{[y(x)]^2\} - m^2$$

Portanto: $\text{VAR}[y(x)] = C(0)$ e por esta razão é chamada “variância a priori”.

Conclusão: A existência de $C(h)$ implica a existência de $C(0)$ variância a priori que é um caso particular de covariância.

Observação importante: se não existir $C(0)$, não existe também $C(h)$ pois, provavelmente, essa deve ser definida para todos os valores de h .

Definição: Função variograma ou mais corretamente, semi-variograma: é dada pela expressão abaixo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[y(x+h) - y(x)]^2$$

Todos os símbolos, já foram definidos anteriormente.

Teorema: Dentro do contexto de estacionaridade de segunda ordem, vale a relação:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h)$$

Demonstração:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= \frac{1}{2}E[y(x+h) - y(x)]^2 = \frac{1}{2}E\{[y(x+h)]^2 - 2y(x+h) \cdot y(x) + [y(x)]^2\} \\ &= \frac{1}{2}E[y(x+h)]^2 + \frac{1}{2}E[y(x)]^2 - E[y(x+h) \cdot y(x)] \end{aligned}$$

Fazendo-se as substituições indicadas por (*) e (**), vem, imeditamente:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h)$$

Observação: Deixa-se bem claro que a estacionaridade de 2ª ordem implica a existência de uma variância a priori $C(0)$ finita, o que nem sempre se verifica.

De fato, tomando-se a relação de De Wijs:

$$\sigma^2\left(\frac{v}{V}\right) = \alpha \ln\left(\frac{v}{V}\right), \text{ onde } v \subset V \subset \text{jazida}$$

tem-se:

$$\lim_{V \rightarrow \infty} \sigma^2\left(\frac{v}{V}\right) = \infty$$

Há, pois, a necessidade de uma terceira hipótese na geoestatística, para tratar estes tipos de depósitos, conforme se expõe a seguir:

c) Hipótese intrínseca

Admite-se:

$$m(h) = E[y(x+h) - y(x)] \text{ com incrementos estacionários, e:}$$

$$(h) = E[y(x+h) - y(x)]^2, \text{ independente do ponto de apoio } x, \text{ dependente tão somente de } h.$$

Por fim, convém notar que as hipóteses de estacionaridade estrita, estacionaridade de 2ª ordem e hipótese intrínseca são sucessivamente mais fortes.

Vale salientar que a modelagem variográfica realizada nesta pesquisa concentrou-se, até o momento, nas amostras de material a granel do fluxo contínuo de produção, segundo o formalismo de Gy; é, portanto, uma análise variográfica temporal, definida por Gy como campo da cronoestatística (Gy, 1992).

Salvo pela mudança de notação, onde a função semivariograma fica definida com a letra t no lugar de h , todas as demais considerações acima são igualmente válidas.

Contudo, precisa ser destacado que na cronoestatística os modelos sem patamar e que, portanto, revelam fenômenos não-estacionários são mais comuns que no caso de depósitos minerais.

O tema geoestatística é por demais vasto para ser aqui esgotado, tendo esta breve revisão mal arranhado seus principais pontos. Maiores informações podem ser encontradas nas bibliografias já citadas e também em texto não menos importantes como os de David (1977); Valente (1982); Issaks & Srivastava (1989); Wackernagel (1995), entre muitos outros.

6.3.3. Modelagem Digital Bi e Tridimensional

6.3.3.1. Aspectos Gerais

As questões relacionadas com a modelagem digital de imagens têm uma forte relação com os itens anteriores, uma vez que em geociências nem sempre se dispõe de dados contínuos para a preparação dos modelos.

Como a modelagem final de um objeto qualquer passa, na maioria das vezes, pela necessidade de gerar uma superfície contínua para visualização, faz-se necessário o uso de técnicas de interpolação as quais se baseiam nos métodos discutidos no item 6.3.2.

Contudo, nos trabalhos de modelagem, as necessidades são outras e variam de caso a caso. Assim sendo, o uso das técnicas pode ser bastante diferente, principalmente no que diz respeito à seleção do método de interpolação a ser usado.

A importância de abordar o tema modelagem digital nesta pesquisa é indiscutível, seja pela própria definição do termo **Caracterização** que intitula a mesma (vide item 6.1 – Nomenclatura), quanto pela real necessidade de uso das técnicas aqui descritas para a apresentação dos resultados, no capítulo 7.

A seguir, são apresentados os conceitos básicos das técnicas, divididos em dois grandes grupos, a saber, modelagem 2D e modelagem 3D.

6.3.3.2. Modelagem Bidimensional (2D)

Os métodos para modelagem 2D em geociências são também conhecidos pela sigla MDT – Modelagem Digital de Terreno. Todo o trabalho consiste na geração de uma malha inicial que é então usada como suporte para as demais seqüências da modelagem até a obtenção do modelo final.

Em geral, a malha inicial parte de uma grade de dados (amostras com valores pontuais das formas que se deseja modelar) que são então interpolados para geração de isolinhas e, posteriormente, pelo entrelaçamento das isolinhas, a partir das técnicas de geração de superfícies, são geradas as MTDs.

Segundo Masson e Czajkowski (1999), isolinha, superfícies, contorno ou curvas de isovalores são elementos gráficos gerados por interpolação e que unem pontos de mesmo valor. Muitos tipos de dados com informação espacial podem gerar mapas de isovalores, entre eles os dados topográficos. Como informação espacial, entende-se que os dados tenham informações sobre sua localização, usualmente referidas como coordenadas X-Y ou coordenadas L-O (X) e N-S (Y).

A dimensão Z é utilizada para representar a magnitude da variável medida que, para dados topográficos, é o valor da elevação no ponto amostrado. A construção das curvas de isovalores, nesse caso, constitui o mapa topográfico Masson e Czajkowski, (*op. cit.*).

O ato de interpolar, propriamente dito, consiste em estimar o valor assumido por uma variável em um ponto desconhecido, a partir de amostras coletadas ou análises, *in situ*, no objeto em estudo, seja ele água, ar, solo, rocha, entidades biológicas, etc..

A depender do tipo de estudo, o processo pode abranger um espaço a 1, 2, 3 ou 4 dimensões, sendo que nesse último caso é levada em conta a variação de posição de um objeto estudado no espaço 3D por unidade de tempo.

Neste ponto é importante salientar que muitos autores e profissionais da área de modelagem tendem a classificar o trabalho de geração de MDTs como uma modelagem 3D. Ora, essa classificação não tem sentido lógico porque um objeto para possuir três dimensões precisa, necessariamente, de três coordenadas de posição para cada ponto discretizado no espaço que define o modelo.

Por sua parte, uma MDT possui, sempre e invariavelmente, apenas duas coordenadas de posição sendo a terceira (a coordenada Z citada acima) a variável

que se está modelando no espaço. O produto obtido é apenas um plano em duas dimensões que mostra, em suas ondulações no espaço, o comportamento da variável modelada.

Desta forma a imagem que se vê não é a forma 3D (volumétrica) assumida pela variável no espaço, mas apenas os traços de interseção das diferentes isosuperfícies da variável com o plano de referência, no caso a superfície do terreno onde foram coletadas as amostras, cada qual com uma coordenada do tipo x e y associada.

Por analogia e generalização, se esse fosse um modelo 3D, então modelos volumétricos de objetos geológicos, como apresentados no próximo item, teriam que ser classificados como quadridimensionais, o que, por princípio, é impossível.

Diante deste quadro, alguns autores, para tentar amenizar o desvio de nomenclatura, apresentam MDTs como sendo modelos em 2.5D. Difícil aceitar... ou é possível imaginar um objeto descrito matematicamente por duas dimensões e **meia**? Ou afinal, o que é meia dimensão?.

Para finalizar, conclui-se por dizer que uma MDT não pode ser um modelo 3D da variável como um todo, pois, se assim for, onde estão as três dimensões espaciais da variável? A variável apresenta apenas uma, no caso, o seu valor medido ponto a ponto; o suporte geométrico (espacial) apenas duas, no caso, as coordenadas x e y .

Mesmo para o caso de se estar modelando a variável topográfica, ou seja o relevo, não se pode chamar o modelo final de tridimensional apesar de neste caso a dimensão Z é ser uma dimensão espacial e portanto, alguns autores a chamam de **superfície 3D**, porém isso não existe, uma superfície é sempre uma superfície, mesmo que ela apresente ondulações ou deformações no espaço, da mesma forma que uma linha terá sempre apenas uma dimensão, mesmo que deformada no espaço, como uma espiral por exemplo.

É importante salientar finalmente que uma variável qualquer a ser modelada em MDT (por exemplo, teor de um contaminante no solo), normalmente pode ser modelada em 3D, bastando para isso coletar amostras em diferentes profundidades em um mesmo ponto de coordenadas x e y ; então existirão três coordenadas de posição em cada ponto e uma informação da variável medida, o que, agora sim, configura um modelo em 3D (vide item seguinte).

Quanto ao critério analítico que fundamenta o método, a seguinte classificação é aceita:

Regra das trocas graduais, representada na figura 10 mostrando a situação mais simples possível, que é uma interpolação no espaço unidimensional (linha), por um algoritmo linear simples, mas que está relacionada a alguns dos métodos convencionais como triangulação e mínima curvatura e, de certa forma, com a krigagem.

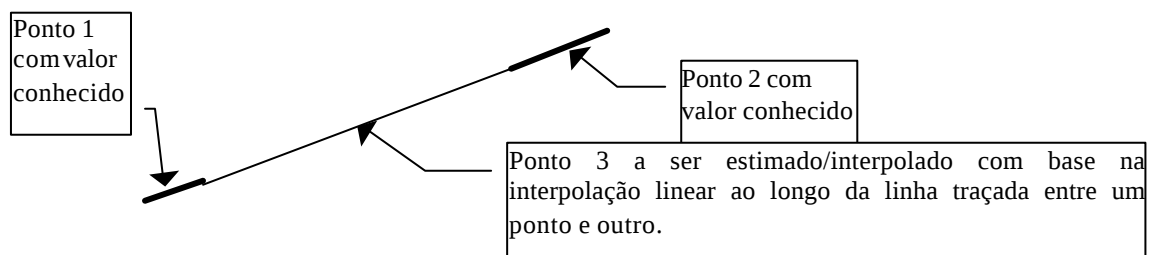


Figura 10: Regra das trocas graduais (vista em perfil).

Regra dos pontos mais próximos representada na figura 11, na qual o método dos polígonos é o exemplo típico.

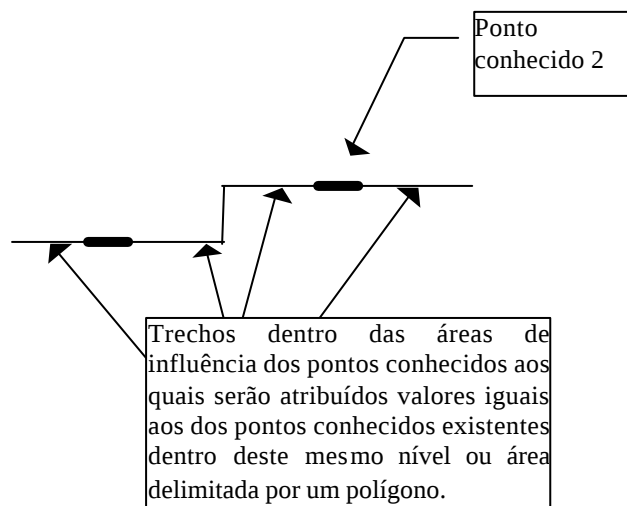


Figura 11: Regra dos pontos próximos (vista em perfil).

Estes conceitos são importantes na escolha do método, pois, com eles, é possível saber previamente se o interpolador a ser usado tenderá a gerar superfícies modeladas mais suaves (Regra das trocas graduais) ou com variações abruptas (degraus) (Regra dos pontos mais próximos).

A **interpolação** propriamente dita é utilizada para calcular uma superfície entre os dados existentes. As superfícies são modeladas a partir dos seguintes métodos matemáticos (*Krajewski & Gibbs, 1996 in Masson e Czajkowski, op. cit.*):

1. TRIANGULAÇÃO: compreende métodos que conectam os pontos amostrados através de triângulos e, então, interpolam os valores entre eles. Estes métodos são considerados **métodos de estimação diretos**, pois os contornos derivam do padrão original dos dados. Não permite a extrapolação, as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada. Consistem, tais métodos, nos seguintes passos:

1. Pares de dados são unidos por linhas retas para formação de uma rede triangular (*triangular network*);
2. Uma equação matemática (algoritmo) é utilizada para ajustar uma superfície através dos pontos de dados. Uma variedade de algoritmos para triangulação encontra-se disponível, mas os mais utilizados são a triangulação linear e a de Delaunay.
3. Pontos estimados de igual valor (isovalores, *contours*) entre os dados medidos e posicionados nos vértices dos triângulos são conectados para os intervalos especificados.

2. GRIDDING: compreende métodos que sobrepõem uma malha, rede ou grade regular (*grid*) sobre a área estudada e calculam os valores nos nós² (*grid nodes*) das células³ da grade com base nos valores dos pontos amostrados. Os griddings são considerados **métodos de estimação indiretos**, uma vez que os contornos são construídos a partir dos dados estimados para os nós da grade e não a partir dos dados originais. Em contrapartida, a maioria desses algoritmos permite tanto a interpolação quanto a extrapolação de valores. Consistem nos seguintes passos:

1. Uma grade, rede ou malha regular imaginária é sobreposta aos pontos existentes de dados;

² **Nó** (*node*) é o ponto central de uma célula ou o vértice da mesma, ponto para o qual um valor é estimado. Ao utilizar um computador, o usuário pode não ter controle da localização do nó (*Krajewski & Gibbs, 1996 in Masson e Czajkowski, op. cit.*).

³ **Célula** (*cell*) é uma unidade de área correspondente a cada parte de uma grade, rede ou malha (*grid mesh*).

2. Um algoritmo matemático é utilizado para ajustar uma superfície através dos dados estimados para os nós. Há um grande número de algoritmos que pode ser utilizado para estimar os valores de Z dos nós das células, e o resultado é um número correspondentemente grande de superfícies que podem ser geradas. As equações podem variar de simples relações lineares a complexos fractais. Os algoritmos mais utilizados são o **inverso ponderado da distância**, a **krigagem**, as **superfícies de tendência** e a **mínima curvatura**⁴.
3. Os pontos estimados de igual valor entre os valores estimados para os nós da grade são conectados, segundo os intervalos especificados.

Comentários:

1 - A divisão acima foi feita pelos autores citados com base no protocolo operacional de alguns *softwares*; entretanto, é importante salientar que, via de regra, os métodos de interpolação não dependem de um “grid” para conseguir a interpolação propriamente dita, que pode ser feita para qualquer ponto desejado, dentro da área de influência das amostras existentes, e alguns softwares contam com a possibilidade de escolha dos pontos onde se deseja obter a estimação/interpolação.

2 - O “grid” é um recurso padronizado para que seja possível traçar as isolinhas e gerar, então, a superfície ou MDT (produto da modelagem).

Por outro lado, como citado anteriormente, o “grid” ou grade pode ser usado com qualquer método de interpolação e não só com os métodos apresentados acima dentro da divisão *Griding*. A prova disto é que o programa *Surfer for Windows*, por exemplo, usa o método de triangulação com o recurso de *gridding*, em desacordo com a classificação acima.

3 - Ressalta-se que os resultados obtidos podem ser grandemente influenciados pela maneira como o usuário seleciona e/ou especifica os seguintes controles:

- Parâmetros da grade: tamanho, forma e orientação das células

⁴ Segundo *Watson (1992)*, esses 3 últimos métodos podem ser classificados como **Métodos de Funções Ajustadas**, pois, como será visto a seguir, a geração das superfícies estimadas baseia-se em funções que são ajustadas aos dados.

- Parâmetros de busca: tamanho, forma e orientação da área pesquisada para seleção de pontos dentre os amostrados que entram no cálculo da estimação
- Algoritmos matemáticos utilizados

Como discutido por (Krajewski & Gibbs, 1996 in Masson e Czajkowski, *op. cit.*) uma série de problemas estão associados com o processo de geração de MDTs, sendo que a imagem final obtida nem sempre é fiel ao objeto real que está sendo modelado digitalmente.

Por outro lado, os parâmetros supracitados podem influenciar de tal modo nos resultados que o seu controle adequado pode minimizar ou até eliminar alguns dos problemas apontados pelos autores acima, como por exemplo:

Áreas com nenhum dado podem ser eliminadas da grade, uma vez que não existindo dados suficientes não há significado em interpolar naquela região, já que o resultado pode ser completamente falso. Dessa forma é melhor não apresentar o resultado para aquela porção do que apresentar um resultado irreal.

Os chamados *artifacts* por (Krajewski & Gibbs, 1996 in Masson e Czajkowski, *op. cit.*) que são formas irreais geradas naturalmente a partir da interpolação dos dados, podem ser minimizados ou até eliminados com o ajuste adequado de parâmetros como: raio de busca, compartimentação adequada do elipsóide de busca, número mínimo de dados aceitos por compartimento, etc., como pode ser verificado nos mapas de isolinhas abaixo (Figura 12) onde foram usadas as mesmas bases de dados, interpolando-as por IQD (inverso do quadrado da distância). No entanto, trabalhando-se com os controladores adequados, pode-se verificar o desaparecimento de quase todos os *artifacts* (figura 12 (a)), que surgiram quando foram usados os parâmetros *default* do programa (figura 12 (b)).

Alerta-se que a alteração dos parâmetros não deve ser feita aleatoriamente ou por tentativa e erro, pois o resultado final pode ser “bonito”, mas estar **errado**, portando, o caminho é conhecer adequadamente a variável estudada, tanto do ponto de vista do entendimento do tipo de fenômeno que se está modelando (conhecimento técnico), como também é fundamental o conhecimento do comportamento espacial da variável (se há continuidade espacial ou não; em havendo continuidade, qual o alcance espacial dessa continuidade, etc.), o que foi feito no exemplo acima, por meio de estudo variográfico.

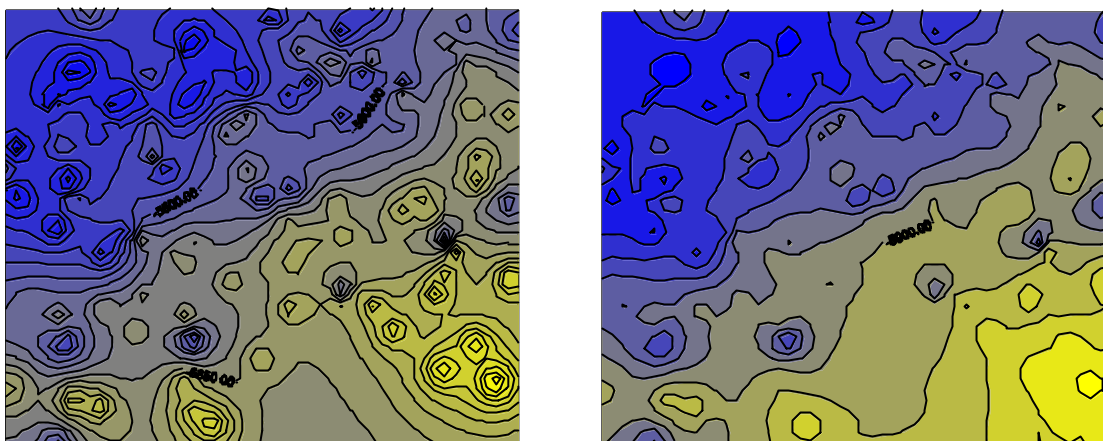


Figura 12: (a) Interpolação com parâmetros *default* - (b) Interpolação com ajustes nos parâmetros

Obs.: Nos dois casos foi usado o método de interpolação IQD sobre a mesma base de dados

Outro exemplo do que foi exposto é agora apresentado com o uso da krigagem da Geoestatística como método de interpolação e, neste caso, quando um variograma é adequadamente elaborado, a estimativa por krigagem resultante é freqüentemente reconhecida como sendo a melhor – linear e não tendenciosa estimativa (BLUE = best, linear, unbiased estimate) –, que pode ser calculada.

A figura 13 apresenta a comparação entre mapas de isolinhas gerados a partir da interpolação de uma mesma base de dados, usando-se inicialmente os parâmetros *default* do programa utilizado e, depois, inserindo-se os parâmetros obtidos da análise variográfica.

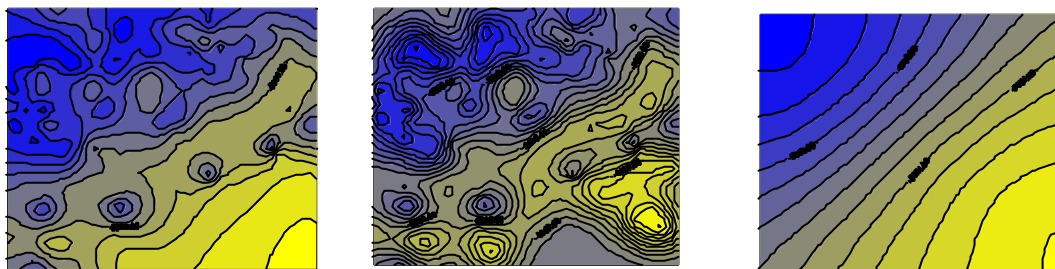


Figura 13: (a) Parâmetros Default

(b) Estrutura local

(c) Estrutura Regional

A base de dados usada refere-se à elevação do terreno (topografia), e configura-se num caso especial de variável, pois além de correlação espacial estacionária (sem tendência para uma dada direção) e resultante dos fenômenos que geram as variações locais (no caso, o modelado topográfico local), dados topográficos também podem, em muitas situações, apresentar uma tendência regional marcante, do inglês *drift* ou *deriva* como tem sido traduzida.

Essas duas estruturas diferentes (local e regional) estão presentes na base de dados usada e durante a krigagem foram então usados os parâmetros

variográficos da variação local na figura 13 (b) (comportamento na origem) e da tendência regional na figura 13 (c), ficando claro nesses casos que a modelagem não é tão simples. No entanto, é possível, com mais algum trabalho, fazer a modelagem levando-se em conta as duas estruturas.

Notar na figura 13 (c) que o mapa resultante é similar àquele que seria obtido se fosse usada a Análise de Superfície de Tendência.

6.3.3.3. Modelagem Tridimensional (3D)

Em caracterização de jazidas, que é o tema central desta pesquisa, um dos passos importantes para a obtenção do plano de lavra operacional é a modelagem tridimensional da jazida estudada, configurada pela geração de imagens digitais das variáveis e dos objetos de interesse.

Existem, portanto, dois aspectos relacionados à modelagem: a modelagem numérica das variáveis de interesse, tendo sido discutidos, no sub-item precedente sobre quantificação, os aspectos matemáticos relacionados e a modelagem digital dos objetos geológicos.

A seguir, são apresentadas, apenas a título de exemplo, imagens obtidas a partir da modelagem de objetos geológicos e a partir da modelagem numérica de variáveis para esclarecer essas diferenças.

As questões relacionadas às técnicas de geração destas imagens não são aqui aprofundadas, uma vez que os resultados da pesquisa apresentam a fase de modelagem 2D, discutida com algum detalhe no sub-item anterior. Uma boa exposição dessas técnicas pode ser encontrada em diversas literaturas pertinentes, sugerindo-se para consulta inicial o livro de Houlding (1994).

Com relação ao modelamento 3D para a jazida em estudo, alguns ensaios preliminares foram realizados, mas não são aqui apresentados pois ainda não representam um modelo confiável, o que só poderá ser feito a partir do momento em que os resultados das amostras coletas por sondagem foram obtidos, o que ainda não ocorreu por uma série de motivos discutidos em item posterior.

Além da visualização das formas e estruturas geológicas, é preciso modelar também as variáveis de interesse (métodos estatísticos e geoestatísticos), para direcionar os planos de lavra.

É importante salientar que o modelo geológico gerado, parte das descrições e interpretações do técnico envolvido (normalmente o geólogo da mina), sendo que essa modelagem geológica depende da experiência e do conhecimento do técnico em questão.

Por sua vez, os resultados da modelagem geológica são usados de forma interativa, para auxiliar na parametrização da modelagem numérica geoestatística. Uma modelagem geológica incorreta ou inadequada irá acarretar erros de estimativa de reservas, teores ou qualquer parâmetro usado na orientação da lavra.

Finalmente, após a obtenção dos dois modelos (visual e numérico) deve ocorrer a sobreposição em 3D das duas informações, gerando o que se convencionou chamar de modelo de blocos, resultado da interação entre a interpretação geológica e a modelagem geoestatística.

Para finalizar esta seção, apenas resta exemplificar a modelagem de uma variável no espaço 3D. Como discutido no sub-item anterior existe uma controvérsia sobre o que seja uma modelagem realmente 3D. A figura 14 mostra um modelo realmente tridimensional de uma variável, no caso, teor de um contaminante de sub-superfície, sendo que a geologia local não é representada, mas apenas a pluma de contaminação.

Notar que os valores modelados são diferenciados por cores, de acordo com a intensidade do teor de contaminação e, também, que não se referem apenas à superfície do volume modelado, uma vez que os recursos do programa de modelagem dão acesso aos valores assumidos pela variável, em qualquer ponto do modelo, seja na superfície visualizada na figura, seja em seu interior.

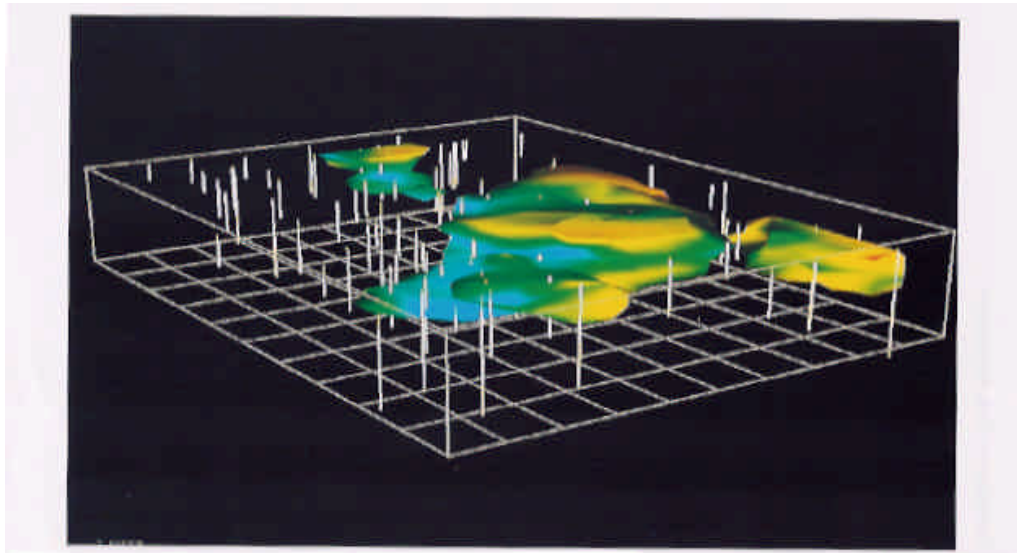


Figura 14: Visualização em 3D de um volume contaminado, com mapeamento por codificação de cores para os diferentes níveis de contaminação, representados em isosuperfícies. Modificado de Houlding (1994).

6.4. Tecnologia Cerâmica

Os aspectos ligados à tecnologia cerâmica são discutidos nos próximos itens em função do setor estudado e apresentados em seus aspectos mais importantes tendo como objetivo principal trazer informações básicas para aqueles que ainda não têm intimidade com o assunto, mas servindo também como uma revisão e consulta preliminar para o desenvolvimento desta pesquisa e de outras que a seguirem nesta linha.

6.4.1. Aspectos Gerais

A abordagem nesta seção restringe-se aos fatores mais importantes, relacionados à produção industrial de revestimentos cerâmicos (beneficiamento/industrialização), enfocando, sempre que possível, o processo via seca, por ser este o utilizado nas empresas que usam as matérias-primas estudadas nesta pesquisa. No entanto, são descritas as condições teóricas genéricas e não as atualmente utilizadas em uma empresa específica.

6.4.2. Etapas de Produção Cerâmica Via Seca

6.4.2.1. Cominuição

Entende-se por cominuição a redução no tamanho das partículas a serem utilizadas na confecção da massa cerâmica. Essa redução pode ser, segundo Norton (1973), conseguida por diversas maneiras: compressão, impacto por compressão, desgastes nas arestas (nibbling), impacto, abrasão, raspagem (shredding).

Ainda segundo esse mesmo autor, a energia necessária para cominuição é proporcional à nova superfície específica obtida, portanto, quando se desejam dimensões reduzidas, há aumento considerável de tempo e da potência gastos, o que influi nos custos. Forma e distribuição variam com o material e o tipo de máquina usados.

A figura 15 apresenta diversos tipos de equipamentos usados para a cominuição.

Uma vista em detalhe dos principais tipos utilizados na prática é dada por Reed (1988) e aqui estão apresentados nas figuras 16 e 17. Notar nessas últimas duas figuras, que os aparelhos estão distribuídos na seqüência de diminuição do tamanho de partículas. Os moinhos de martelo ou de bola, normalmente não são usados em conjunto, fazendo-se, em geral, a opção por um deles a depender do processo de fabricação utilizado.

Os moinhos de martelo são usados no processamento por via seca, enquanto que os de bola são comuns no processo de moagem por via úmida, porém também podem se usados para moagem a seco. No processo via seca são usados também moinhos do tipo pendulares em associação com os moinhos de martelo, os quais não são ilustrados aqui.

A granulometria do material moído nos sistemas via seca com martelos e pendulares é, via de regra, mais grossa que a atingida pelos sistemas em via úmida, sejam de bolas ou de barras.

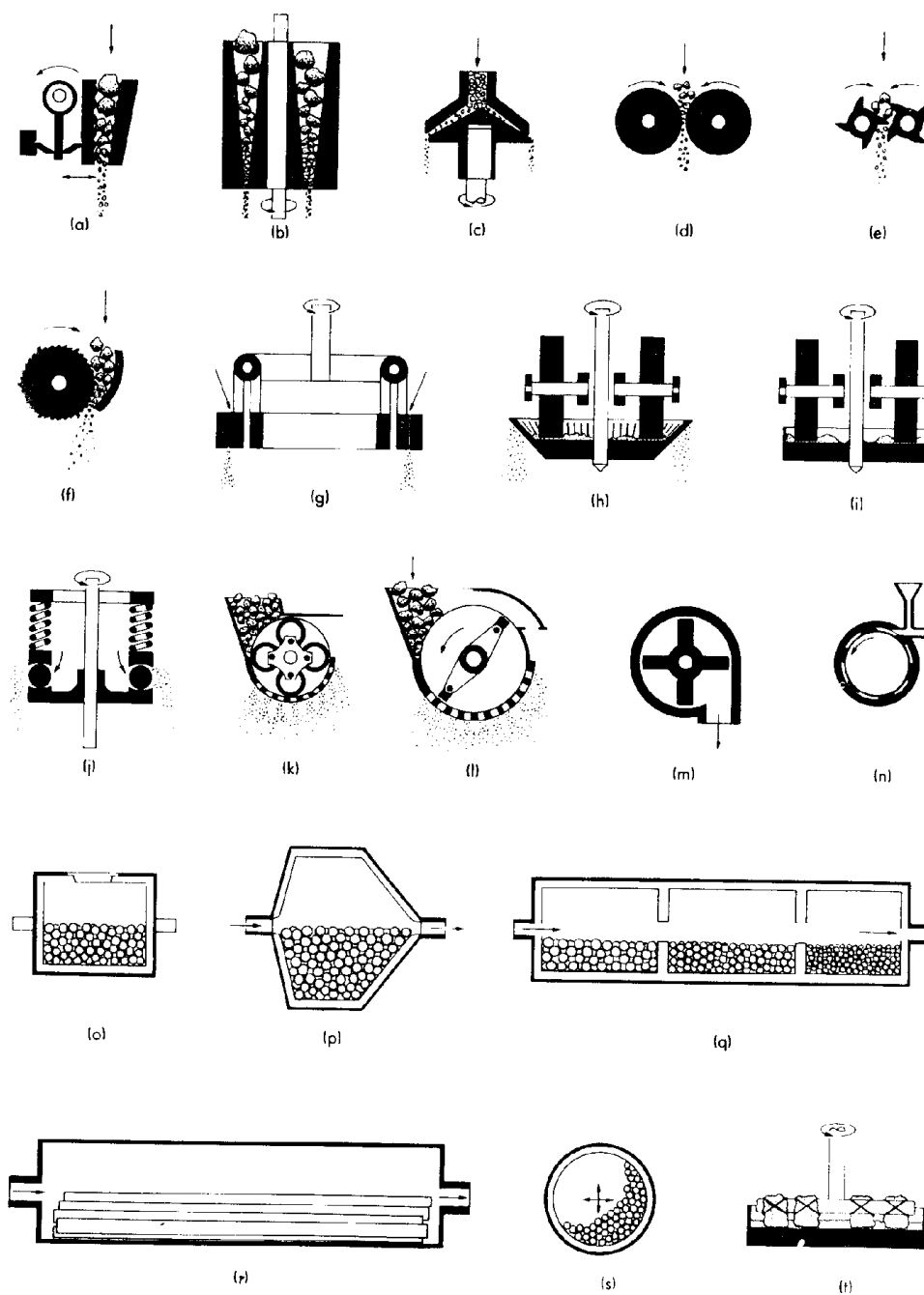


Figura 15: Equipamento para cominuição: a) britador de mandíbula; b) britador giratório; c) britador de cone; d) britador de rolo macio; e) britador de rolo dentado; f) britador de rolo simples; g) laminador; h) galga seca; i) galga molhada; j) laminador B e W; k) britador de cilindro anelado; l) britador de martelos; m) ventoinha; n) pulverizador a vapor; o) moinho de bolas para composição de massas; p) moinho contínuo de bolas; q) britador com rolos tubulares; r) moinho de barras; s) moinho de bolas vibratórias; t) moinho de fricção. Norton (1973).

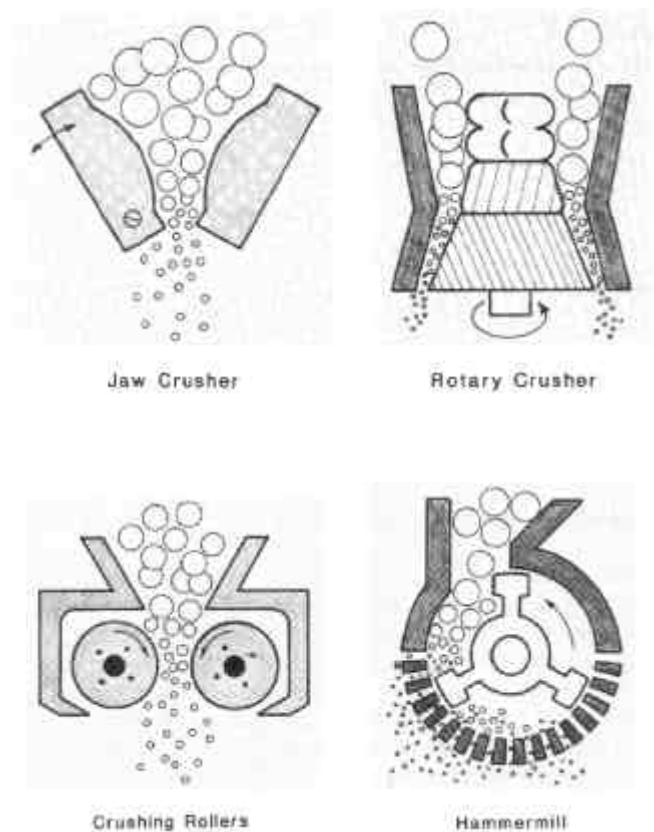


Figura 16: Diagrama esquemático de moinhos de mandíbula e rotativo, (no alto da figura), e de rolos e de martelo em baixo. Reed (1988).

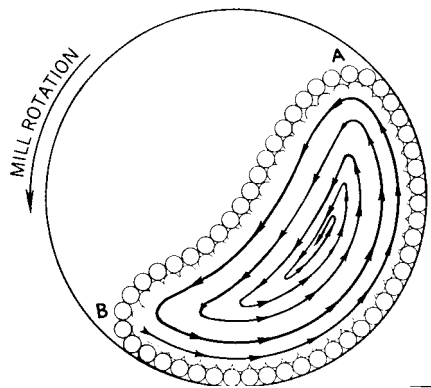


Figura 17: diagrama esquemático de um moinho de bolas, mostrando movimento em cascata de A para B. Reed (1988).

Ao longo da última década, vem sendo desenvolvido um novo sistema de moagem via seca que permite a obtenção de pós quase tão finos quanto os obtidos nos sistemas de moagem a úmido. Neste sentido, Nassetti *et al.* (1992) apresentam trabalho comparativo entre os sistemas de moagem a seco e a úmido, com ênfase no novo sistema de moagem, no caso o moinho vertical a rolos.

Sobre as vantagens e desvantagens deste novo sistema Lolli *et al.* (2000) apresentam trabalho demonstrando que a técnica, apesar de possuir algumas restrições, permite a fabricação de produtos que se aproximam daqueles obtidos no processo via úmida.

6.4.2.2. Classificação Granulométrica

Depois de moído, o pó deve ser classificado de acordo com a faixa granulométrica com a qual se deseja trabalhar, o que varia com o tipo e a qualidade do produto a ser produzido.

Vários métodos podem ser utilizados para a classificação, sendo os mais comuns, o peneiramento, hidrociclonagem, classificadores a ar, centrifugação e filtração, entre outros. O processo escolhido depende de vários fatores, entre eles, se será utilizado via úmida ou seca na seqüência da produção. Segundo Norton (1973), quando se usa o produto final moído, no estado seco, é mais econômico moer a seco para evitar secagem posterior; nesse caso, a classificação também poderia ser a seco (peneiramento a seco e classificação a ar, por exemplo).

Por outro lado, quando se deseja maior eficiência e um pó mais fino, são recomendados os métodos de classificação via úmida como o hidrociclone, por exemplo, lembrando que a diferenciação no processo continua para a etapa seguinte, de granulação que, como será visto, pode ser de dois tipos também.

No caso da produção de revestimentos por via seca, o sistema de classificação utilizado é o peneiramento e, em caso de moagem, com moinho pendular do tipo duplo clone, é possível fazer uma classificação a ar, dentro deste sistema.

Em geral, os produtos retidos nas classificações são retornados para o processo de moagem até que se tornem passantes do sistema de classificação adotado.

6.4.2.3. Granulação

Normalmente, são almejados pós muito finos (a proporção de partículas nas dimensões de tamanho argila variam de acordo com o sistema de moagem utilizado,

via seca ou via úmida, tempos de moagem, etc.), pois, assim, a sinterização é favorecida.

Todavia, quanto mais fino está o pó, mais problemática será sua conformação por prensagem. Em função disto, é necessário que o pó esteja disposto na forma de pequenos agregados chamados grânulos, muito maiores que as partículas individuais do pó. Desta forma, os mecanismos de preenchimento do molde e conformação por prensagem serão mais eficientes.

Ao processo de transformação do pó simples em um granulado dá-se o nome de granulação.

Existem dois mecanismos principais que podem ser usados para a granulação e um deles é a peletização ou granulação por spray que, segundo Reed (1988), pode ser obtida por meio de aspersão (spray) de um líquido (água ou uma solução com ligante) sobre um tanque contendo o pó seco que é agitado continuamente, a fim de se atingir todo o material.

A outra técnica descrita por Reed (*op. cit.*) e utilizada com muita frequência é a de Spray-drying (secagem por aspersão de gotículas), na qual uma suspensão concentrada (do inglês: slurry, e em português: barbotina), contendo o material a ser granulado, é injetada em uma câmara quente, em cujo interior forma-se um “spray” composto por gotículas dessa suspensão. À medida que as gotas se deslocam dentro do ar aquecido no interior da câmara, elas secam e caem na forma de grânulos.

A primeira técnica é a mais barata, entretanto, a segunda é mais eficiente, e seu produto (grânulos) é mais homogêneo, o que implicará em um corpo cerâmico de melhor qualidade.

Uma terceira técnica ainda menos eficiente, mas muito barata é o sistema de umidificação, no qual o pó cai por gravidade através do equipamento de umidificação, onde ocorre a aspersão de água contra a corrente descendente de pó seco. O produto final é um pó umidificado, com presença de grânulos irregulares e mal formados, embora permitindo condições mínimas de prensagem e conformação.

Rocha *et al.* (1995) apresentam uma comparação entre o método convencionalmente utilizado pelo pólo cerâmico da região de Rio Claro, Santa Gertrudes e Cordeirópolis, que consiste na utilização de moinho de martelo e

pendulares e umidificação, e o método em estudo pelos autores, no qual são utilizados moinhos pendulares e equipamento especial de microgranulação.

Os resultados são favoráveis ao método em estudo que, embora eficiente, exige algum investimento inicial, provavelmente recuperável em médio prazo, a julgar pela eficiência evidenciada nos dados do artigo.

Um trabalho comparativo sobre as diferenças, vantagens e desvantagens de se utilizar um processo via seca ou úmida entre as etapas de moagem e granulação é apresentado por Quinteiro *et al.* (1995) que ressalta a melhor qualidade geral do produto final via úmida, mas aponta a potencialidade do processo via seca quanto à sua economia de energia e até ganhos na resistência evidenciados pelos módulos de ruptura maiores que os obtidos pelo outro processo. Todavia, parece que na indústria brasileira, ainda não se está conseguindo a maior eficiência do processo via seca, quando comparado com outros países, o que sugere a necessidade de maiores investimentos em tecnologia e mão-de-obra especializada.

Por fim, uma quarta possibilidade introduzida é a granulação por leito fluidizado que é uma técnica para produção via seca que vem ganhando espaço, sendo que o seu uso em associação com os moinhos verticais a rolos, citados anteriormente, tem trazido resultados satisfatórios, como pode ser visto em Lolli (*op. cit.*). A maior restrição dessa associação é o montante do investimento inicial, muito maior que o das demais técnicas aplicadas atualmente em via seca.

6.4.2.4. Conformação

Vários são os métodos utilizados para conformação de corpos cerâmicos, citando-se os seguintes exemplos: prensagem, extrusão, colagem, injeção, etc.

Limita-se, aqui, à descrição do método de prensagem por ser o mais utilizado na produção de pisos e revestimentos cerâmicos.

Entre os sistemas de conformação por prensagem, o utilizado pelas indústrias de revestimento cerâmico é aquele através de prensas hidráulicas rápidas. Segundo Norton (1973), as pressões utilizadas variam de algumas dezenas de kgf/cm², até algo em torno de 7x10³kgf/cm² para refratários especiais.

Reed (1988) apresenta um quadro que sintetiza os tipos de prensagem a seco, quanto ao movimento do molde (quadro 02), e o efeito de cada tipo pode ser observado no esquema de Norton (1975) – (figura 18). Apesar de dita a seco, a

conformação por prensagem necessita uma certa quantidade de líquidos que, segundo Norton (*op. cit.*), fica em torno de 5 a 15%, dependendo do processo.

Tipo	Die	Top Punch	Bottom Punch
Ação Simples	Fixo	Móvel	Fixo
Ação Dupla	Fixo	Móvel	Móvel
Floating Die	Móveis	Móvel	Fixo

Quadro 02: Formas de prensagem a seco Reed (1988).

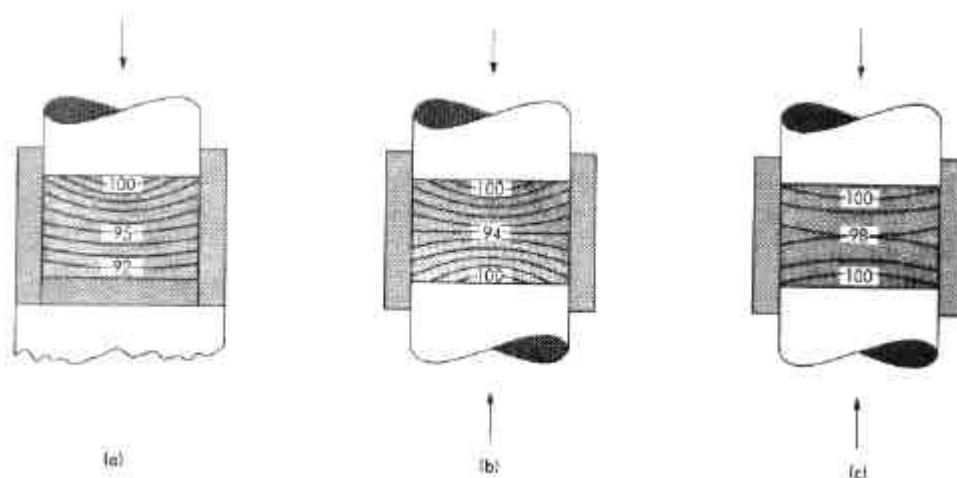


Figura 18: Distribuição da densidade num molde sob várias condições de prensagem: a) prensado de um lado; b) prensado dos dois lados; c) prensado dos dois lados com lubrificante. Norton (1973).

Existe uma seqüência através da qual o adensamento do material é atingido, descrita por Reed (*op. cit.*) e apresentada a seguir.

O processo todo possui uma grande riqueza de detalhes, mas, resumidamente, consiste em três estágios básicos: no primeiro, ocorre deslizamento e rearranjo das partículas que compõem os grânulos, sendo deformados com a conseqüente redução inicial dos poros e o aumento dos contatos intergranulares. Nesse estágio os interstícios entre os grânulos ainda são muito maiores que a média da porosidade dentro dos próprios grânulos, e estes, em geral, ainda estão inteiros.

Num segundo estágio, os grânulos são deformados e fraturados, reduzindo sensivelmente o volume dos interstícios intergranulares. O terceiro e último estágio começa a partir do momento em que as maiores pressões aplicadas causam deslizamento, rearranjo e fraturamento das partículas existentes no interior dos grânulos.

Atinge-se, assim, uma configuração de empacotamento denso. Contudo, alguns interstícios entre os grânulos maiores ou mais duros, e dentro dos grânulos ainda persistem (serão fechados em parte na sinterização, com exceção de poros intragrão mineral, ou seja, poros intracristalinos). Um esboço resumido do descrito acima pode ser visto na figura 19.

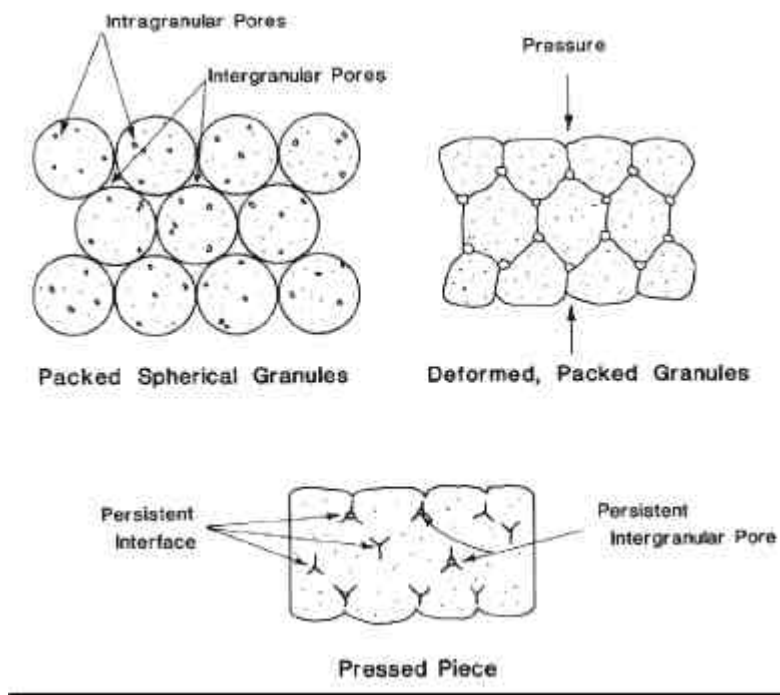


Figura 19: Variação na forma dos grânulos e distribuição bimodal do tamanho de poros durante a compactação. Reed (1988).

O ar existente no material é expulso durante a prensagem e seus efeitos podem dar origem a certos defeitos como esfoliações, por exemplo.

6.4.2.5. Secagem

Após a conformação, há a necessidade de eliminar parte da umidade restante, configurando a secagem. Esta pode ser feita ao ar livre, em barracões (mais usados em cerâmicas estrutural e artesanal) ou secadores rotativos, nos quais o material é passado em processo contínuo por meio de esteiras (Reed, 1988). Existem, também, câmaras fixas de secagem. No caso de revestimentos cerâmicos é utilizado o secador com sistema de fluxo contínuo.

O processo de secagem pode ser fundamental para uma boa qualidade da peça, portanto, é necessário entender os fatores que nele influem, a começar pelo

fluxo interno de umidade na peça que, segundo Norton (*op. cit.*), deve começar , principalmente, a partir do interior da peça através de canais finos intercomunicados (capilaridade), em direção à superfície.

Norton (1973) cita três variáveis de influência que poderiam ser alteradas: permeabilidade, gradiente de umidade e viscosidade da água.

Destas, a de maior eficiência para aumentar a vazão e, assim, acelerar a secagem, sem comprometer a qualidade da peça, é a viscosidade da água. que diminui com o aumento da temperatura.

Um outro fator, não citado por Norton (*op. cit.*) é a velocidade de circulação do ar no secador, que aumentando, aumenta a taxa de retirada de água da superfície das peças por unidade de tempo.

Outros fatores estão relacionados com a secagem, como a retração das peças, por exemplo, mas não serão, por ora, discutidos. Vale a pena mencionar que Scherer (1990) apresenta uma revisão interessante sobre os conceitos de secagem, traçando relações importantes entre tais mecanismos e o aparecimento de tensões que podem causar (e muitas vezes causam) problemas de empenamento nas peças durante a secagem, contados entre os diferentes defeitos e problemas que podem aparecer nas diferentes fases do processo de secagem.

6.4.2.6. Queima

Após a aplicação de engobe e da decoração através das técnicas destinadas para tanto, e da cobertura de esmalte (vidrado), o produto é então queimado. Durante esse processo, as peças preparadas ao longo das etapas anteriores são então transformadas em um corpo cerâmico, propriamente dito, configurando o produto final que se deseja obter.

Existem dois processos básicos de queima que são utilizados hoje pelas indústrias cerâmicas de revestimentos: o processo de biqueima e o de monoqueima. No primeiro, a base cerâmica é queimada em uma etapa do processo e a aplicação de decoração e esmalte é queimada em outra etapa. Nesse processo, as possibilidades da qualidade dos efeitos decorativos são muito maiores, mas o custo é também bem maior.

No caso do processo monoqueima, a aplicação do esmalte é feita sobre a peça compactada e seca e, então, o conjunto é queimado em uma única etapa

contínua. Este processo é mais rápido e mais barato, mas não possui as mesmas possibilidades de acabamento existentes no biqueima. Neste trabalho, são estudados os produtos cerâmicos produzidos pelo sistema monoqueima.

Muitas são as transformações que ocorrem durante a fase de queima, mas três delas podem ser listadas como fundamentais, com base em Reed (1988) e Van Vlack (1984):

- Perda de água intersticial e outros resíduos de aditivos que, possivelmente, não saíram na secagem, e queima de matéria orgânica, por vezes presente;
- Transformações mineralógicas como a própria perda d'água estrutural; reações entre os componentes presentes, gerando novas fases, saída de gases, etc., além de transformações polimórficas de determinadas fases presentes;
- Sinterização: processo através do qual ocorre o aumento considerável de resistência da peça e, em geral, é acompanhada por adensamento da microestrutura através do fechamento de poros. O fenômeno se dá por transferência e rearranjo de átomos, que pode ocorrer na presença, ou não, de uma pequena fase líquida formada pela ação dos fundentes. No primeiro caso, o processo se dá unicamente pelo fenômeno de difusão atômica.

Em Masson (1998) podem ser encontrados mais alguns detalhes sobre o tema, como uma compilação das principais transformações de fases mineralógicas que podem ocorrer durante o processo de queima de alguns produtos cerâmicos.

Por fim é importante salientar que o aumento da resistência dos produtos cerâmicos durante a queima é conferido pela formação de “pescoços” (Figura 20) formados devido à difusão ou translocação atômica entre os grãos, e pelo próprio adensamento (fechamento de poros provocado pelo empuxo capilar que é gerado pela formação da fase líquida e pode ser entendido como a atração entre os grãos, de forma a ocupar os espaços vazios existentes).

A energia envolvida no processo de sinterização é distribuída termodinamicamente na concorrência entre dois mecanismos, a saber: a própria densificação (desejada) e o crescimento de grãos, normalmente, não desejado, mas até certo ponto inevitável.

A figura 20 a seguir foi escolhida por mostrar de forma clara a formação dos pescoços e demais detalhes da sinterização, contudo o material na figura é um metal e não um material cerâmico.

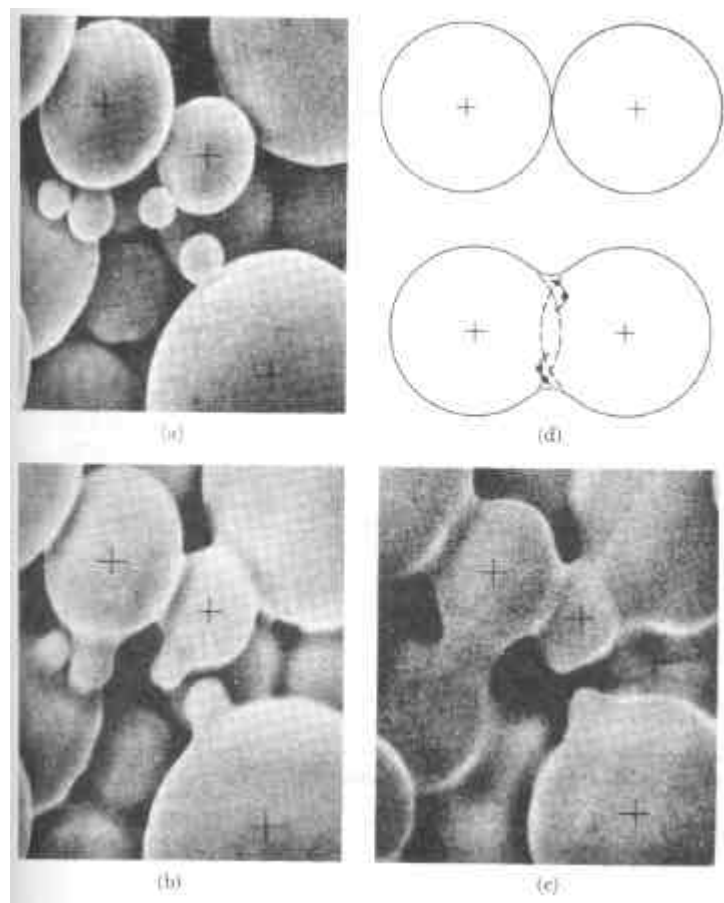


Figura 20: Sinterização (pó de níquel). Os pontos iniciais de contato em (a) se tornam áreas de contato em (b) e em (c) enquanto aquecidos a 1100°C . (d). Os átomos se difundem dos pontos de contato para aumentar área de contato (lacunas se difundem na direção oposta). As partículas de pó se movem bem unidas e a quantidade de superfície de partículas se reduz. (R. M. Fulrath, - Divisão de Pesquisa Inorgânica do Laboratório Lawrence de Radiação – Universidade da Califórnia, Berkeley, *in* Van Vlack (1984).

As características do pó, favoráveis à boa sinterização em que predomina o adensamento ao crescimento de grãos, são: a granulometria, que deve ser a mais fina possível, mas há que se ponderar as dificuldades de conformação geradas neste caso; a distribuição granulométrica, pois as diferenças de tamanho entre os grãos favorecem o crescimento dos maiores e, uma vez que predomine o crescimento de grão, o adensamento na sinterização ficará prejudicado, como citado acima, devendo, portanto, ser o mais fechada possível (pouca variação de tamanho). Por outro lado, para um bom empacotamento durante a prensagem, deve existir uma certa distribuição granulométrica, deparando-se, dessa forma, novamente com fatores antagônicos entre si.

Por fim, a própria composição influi no processo, como a presença de fundentes para formar a fase líquida, desejável em cerâmica tradicional, mas não

muito desejável em cerâmicas especiais. Neste último caso, normalmente, a sinterização é buscada unicamente por meio da difusão iônica. Muitas outras particularidades envolvem o tema sinterização mas não serão abordadas aqui.

Os principais defeitos de fabricação que podem surgir durante cada uma dessas etapas do processo descritas acima são abordados em detalhes em Masson (1998) a partir de uma extensa revisão da literatura existente.

6.5. Controle De Qualidade

Os temas ligados à qualidade são bastante amplos, mas algumas muitas ferramentas e conceitos desta área permeiam os trabalhos executados e os resultados obtidos neste estudo, então se faz necessário uma rápida revisão sobre o assunto, como segue.

6.5.1. Aspectos Gerais

Entre as atividades traçadas para desenvolver o presente estudo está a análise da variabilidade do produto ao longo do processo industrial. Para tanto, é impossível ignorar a existência de ferramentas consagradas internacionalmente para monitoramento e controle de processo industrial e que portanto podem ser aqui utilizadas.

Essas ferramentas são parte do ramo da ciência aplicada, denominada Estatística Industrial. Do ponto de vista formal, a estatística industrial faz parte e deriva diretamente da estatística clássica, uma vez que tem sua base calcada no conceito de distribuição de frequências de Gauss – Moivre e nos demais conceitos estatísticos já discutidos anteriormente.

Porém, para uso industrial foi desenvolvida, a partir destes conceitos clássicos, uma série de ferramentas específicas para as diferentes necessidades de fábrica, as quais se agrupam em categorias, segundo as diferentes necessidades industriais. As principais são:

- 1) ferramentas para desenvolvimento de planos de amostragem industrial;
- 2) ferramentas para análise de capacidade de processo e
- 3) ferramentas da Qualidade;

Além das ferramentas específicas acima, outras de uso genérico também podem ser aproveitadas em estudos estatísticos industriais como: Técnicas de Planejamento de Experimentos derivadas do Método de Tagushi; Análise de Reprodutibilidade, Repetibilidade e Linearidade de equipamentos e ensaios laboratoriais; Análise de Séries Temporais, etc.

Das categorias listadas, será aqui abordada a do tipo 3, sendo que a mesma também se subdivide em grupos, sendo um deles selecionado para uso.

Salienta-se que os estudos desta pesquisa, utilizando estas ferramentas clássicas, são acompanhados do uso de outras ferramentas ainda pouco conhecidas no meio industrial, como o caso da cronoestatística.

A utilização desta gama de ferramentas clássicas é hoje adotada em grandes empresas, entre elas no setor de mineração de grande porte e pode ser considerada como o braço gerencial e operacional do que se convencionou chamar de Administração Científica.

Nesta linha, Masson *et al.* (1997) consideram que o ato de gerenciar/administrar uma empresa está diretamente ligado à necessidade de se estabelecerem objetivos, fornecer as condições para sua obtenção e análise dos resultados e promover os redirecionamentos, quando necessário.

Nada disso é possível sem a medição e os registros do desempenho dos setores envolvidos. Para tanto, o uso das ferramentas da qualidade é extremamente indicado, desde que haja o devido entendimento e treinamento das técnicas envolvidas, sabendo-se que existem muitos grupos de ferramentas, como os citados acima, cada qual com um grau de aprofundamento distinto, (Masson *et al. op. cit.*).

6.5.2. Ferramentas da Qualidade

De acordo com Paladini (1995), existem três grupos fundamentais de Ferramentas da Qualidade, aplicados à gestão da qualidade:

1- Ferramentas Tradicionais da Qualidade: institui melhorias, a partir de um prévio conhecimento do processo estabelecido.

2- Ferramentas baseadas em novos sistemas de produção: as melhorias fluem juntamente com a organização do processo.

3- Novas Ferramentas da Qualidade: a partir da otimização do processo, as melhorias surgem.

De acordo com os objetivos estabelecidos pelo presente estudo, buscando conhecimento adequado do processo, e a partir daí, melhorá-lo e usufruir dele como diferencial competitivo, é interessante lançar-se mão inicialmente de algumas das **Ferramentas Tradicionais da Qualidade** que, segundo Paladini (*op. cit.*), são as seguintes:

- 1. Diagrama de Causa – Efeito também denominado gráfico de Ishikawa, o nome de seu criador;**
- 2. Histogramas;**
- 3. Cartas de Controle;**
- 4. Folhas de Checagem;**
- 5. Gráficos de Pareto;**
- 6. Fluxogramas;**
- 7. Diagramas de Dispersão ou de Correlação.**

É importante salientar aqui que algumas dessas ferramentas são diretamente derivadas da estatística clássica, como as de números 2 e 7, outras são derivadas dos procedimentos clássicos de O&M - Organização e Métodos e de PPCP – Planejamento, Programação e Controle de Produção, como as de números 4 e 6 e outras ainda foram desenvolvidas especificamente no ambiente industrial ou de pesquisa com o intuito de controle de qualidade, caso das de números 1, 3. A de número 5 foi desenvolvida para fins de estudos sócio - econômicos, mas é hoje uma das mais importantes no controle de qualidade.

De todas elas, a pilastra central de um bom controle de qualidade é sem dúvida, a ferramenta de número 3 – Cartas de Controle.

A seguir são discutidas com algum detalhe as ferramentas selecionadas para uso nesta pesquisa.

6.5.2.1. Histogramas

Esta ferramenta, utilizada na análise histográfica ou histografia, poderia ter sido discutida anteriormente no conjunto dos métodos estatísticos univariados, mas ficou reservada para esta seção, em função do contexto industrial em que está sendo usada, ainda que na própria metodologia de avaliação de jazidas, com outro enfoque, ela também esteja sendo utilizada.

Para o contexto de avaliação de jazidas, o objetivo maior do histograma é avaliar a natureza da distribuição de frequência da variável; em controle de qualidade, graças ao teorema do limite central, o tipo distribuição não é tão importante, salvo em casos extremos, desde que mantido no tempo, sendo importante, sim, avaliar a amplitude da dispersão e a variação do campo numérico abrangido pela dispersão dos dados ao longo do tempo.

Esta ferramenta constitui-se em um gráfico de barras formado por um conjunto de retângulos unidos lado a lado, com bases localizadas sobre o eixo horizontal, de tal modo que seus pontos médios coincidam com os pontos médios dos intervalos de classe, que apresentam valores assumidos por uma incógnita (variável) de interesse (Kume, 1985). Os intervalos possuem, cada um, uma barra vertical com área proporcional ao número de observações na amostra com valores concernentes ao intervalo apropriado ou simétrico.

Histogramas podem ser confeccionados através de um “*software estatístico*”, oferecendo simplicidade e precisão, ou de modo convencional, traçando a altura de cada barra proporcionalmente ao número examinado de amostras correspondentes aos valores no intervalo.

6.5.2.2. Cartas de Controle

Segundo Kume (*op. Cit.*) estes gráficos têm a sua origem na década de 1920, nos trabalhos de W. A. Shewhart do Bells Telephone Laboratory. Os Gráficos de Controle apresentam, de forma visual, características da qualidade avaliada ou mensurada a partir de dados coletados, escritos em função da amostra ou incógnita temporal. São constituídos de: linha média ($\bar{L}_M$); limite superior de controle ($\bar{L}_{SC}$), acima da linha média; limite inferior de controle (L_{IC}), abaixo da linha média.

O comportamento da variável é demonstrado através de curvas, que determinam a sua evolução histórica e a tendência futura (Paladini, 1995).

As figura 21 (a) e 21 (b) apresentam um modelo básico de carta de controle.

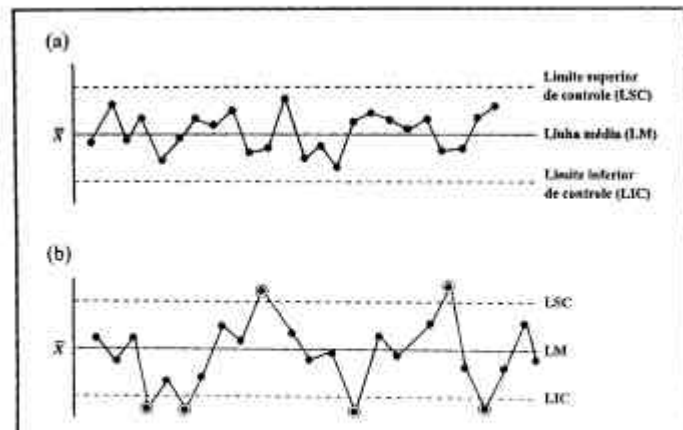


Figura 21: Carta de Controle mostrando uma situação sob controle estatístico (a) e fora de controle (b), denotado pelos pontos acima de LSC e abaixo de LIC . Modificado de Kume (1985).

Produtos ou serviços sofrem variações na qualidade, por fatores ambientais, diferenças entre máquinas, matérias-primas fora de especificação, fornecedores diferentes, etc; estas variações originam-se de causas comuns (*aleatórias*) ou causas especiais (*assinaláveis*), Kume (*op. cit.*).

Segundo Kume (*op. cit.*) as cartas de controle podem ser divididos em:

Cartas de Controle para variáveis

- gráfico de média $\bar{x}$;
- gráfico de amplitude R ;
- gráfico de desvio padrão s e
- gráfico de medidas individuais x .

Cartas de Controle para Atributos:

- gráfico de proporção de defeitos p e
- gráfico do número de defeitos c .

6.5.2.3. Gráficos de Pareto

São gráficos de barras verticais classificados, ou seja, os dados são dispostos de maneira decrescente, dos de maior ocorrência para os de menor ocorrência, e foi desenvolvido pelo economista italiano *Vilfredo Pareto*, no século XIX, baseado em observações de que a maior parte da renda do país estava ao alcance de um pequeno fragmento da sociedade (Kume, 1995).

O princípio de *Pareto* institui que os obstáculos como falhas de máquinas, reclamações de clientes, retrabalho em produtos não-conformes, acidentes no trabalho, entregas fora do prazo, etc.; são denominados como perdas. Estas perdas, classificam-se em duas categorias: “*poucos vitais*” e “*muitos triviais*”, Kume (*op. cit.*).

Os *poucos vitais*, representam perdas substanciais à empresa, apesar de serem em número reduzido; porém os muitos triviais, apesar de serem em grande número, representam perdas menos expressivas para empresa. Este princípio demonstra que, independentemente da quantidade de problemas reconhecidos, a solução de, pelo menos 10% deles, configura a redução de 80 ou 90% das perdas; portanto, a atenção deve estar voltada aos *poucos vitais*, e em segundo plano aos *muitos triviais*.

6.5.2.4. Diagramas de Dispersão ou de Correlação

São diagramas que têm como ponto fundamental a análise da relação entre duas incógnitas (variáveis), através de técnicas gráficas, num sistema cartesiano de coordenadas no espaço em duas dimensões. As questões matemáticas relacionadas a essa ferramenta foram tratadas nos itens relativos à análise estatística não sendo, portanto, aqui retomadas. A ferramenta é novamente citada apenas devido à sua importância analítica e por ser uma das Ferramentas Tradicionais da Qualidade, utilizadas efetivamente nesta pesquisa.

7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Como resultados da pesquisa são apresentados nos próximos itens o conjunto de análises, modelagens e interpretações realizadas ao longo de seu desenvolvimento, de forma compartimentada de acordo com a etapa do ciclo produtivo estudado, a começar pela jazida, passando pelo beneficiamento e preparação da massa e findando com o processo industrial cerâmico propriamente dito.

7.1. Caracterização do Depósito

7.1.1. Considerações Gerais

Inicialmente, são apresentados os resultados dos trabalhos de campo com mapeamento de superfície, levantamento e descrição de colunas estratigráficas e mapeamento de frente de lavra.

Além disso, são apresentados também os seguintes modelos e mapas: MDTs – Modelos Digitais do Terreno, elaborados para as imediações da jazida; modelos geológicos e tecnológicos em 2D.

Os MDTs mostram as formas de relevo e relações de contatos geológicos em superfície; os modelos 2D demonstram os contatos geológicos de frente de lavra e a distribuição espacial aproximada das variáveis estudadas.

Por fim, são apresentados os resultados das análises químicas e físicas das amostras coletadas durante a fase de campo, com os respectivos tratamentos de dados.

7.1.2. Mapeamento Geológico de Superfície da Jazida

Os trabalhos de campo tiveram início no final de 1999, iniciando-se pelo levantamento topográfico das frentes de lavra utilizadas, com posterior levantamento de colunas litoestratigráficas, e amostragens ao longo dessas colunas. Em seguida, foi feito um levantamento no entorno da jazida para delimitar os diversos domínios presentes, sempre com controle topográfico para garantir a precisão dos resultados.

7.1.2.1. Levantamentos Topográficos de Detalhe

Para a realização de um mapeamento de jazida, em escala de detalhe, as informações topográficas de domínio público em escalas regionais não são suficientes. Em função disto, para o mapeamento foram utilizados dados topográficos de detalhe já existentes na empresa em relatórios de licenciamento ambiental, além do que foram desenvolvidos trabalhos adicionais de detalhe, específicos para o mapeamento e amostragens.

Todas essas informações topográficas foram, então, compiladas para a obtenção dos modelos topográficos de detalhe da jazida. A seqüência dos trabalhos é aqui apresentada.

Os levantamentos topográficos iniciais das frentes de lavra foram feitos com o recurso de prancheta, mas o método, ao ser aferido posteriormente, apresentou um erro sistemático em torno de 3 metros e um erro absoluto localizado, em torno de 5 metros. Esta aferição foi feita por topógrafo experiente, usando equipamento topográfico do tipo estação total.

Em função dessas discrepâncias, o método de prancheta foi substituído pela estação total, com os trabalhos desenvolvidos por empresa especializada. A estação total foi usada para o levantamento topográfico das frentes de lavra; para a locação dos contatos litofaciológicos delimitados nos mapeamentos das colunas; para a delimitação dos diversos domínios da jazida e entornos e, finalmente, para locação de furos de sondagem e canais ou canaletas de amostragem manual.

Os levantamentos topográficos realizados foram, então, casados com os levantamentos topográficos preexistentes da jazida, operação essa de grande dificuldade, em virtude das grandes diferenças de amarrações e sistemas de coordenadas utilizados pelos diferentes topógrafos que trabalharam na área.

O resultado dessa integração de informação vem sendo ajustado à geologia e transformado em MDTs específicas para a área da cava principal. Aqui são apresentados os modelos topográficos obtidos em superfície 3D, sem o ajuste final com a geologia, o que será elaborado na continuidade dos trabalhos. A superfície 3D obtida é apresentada na figura 22.

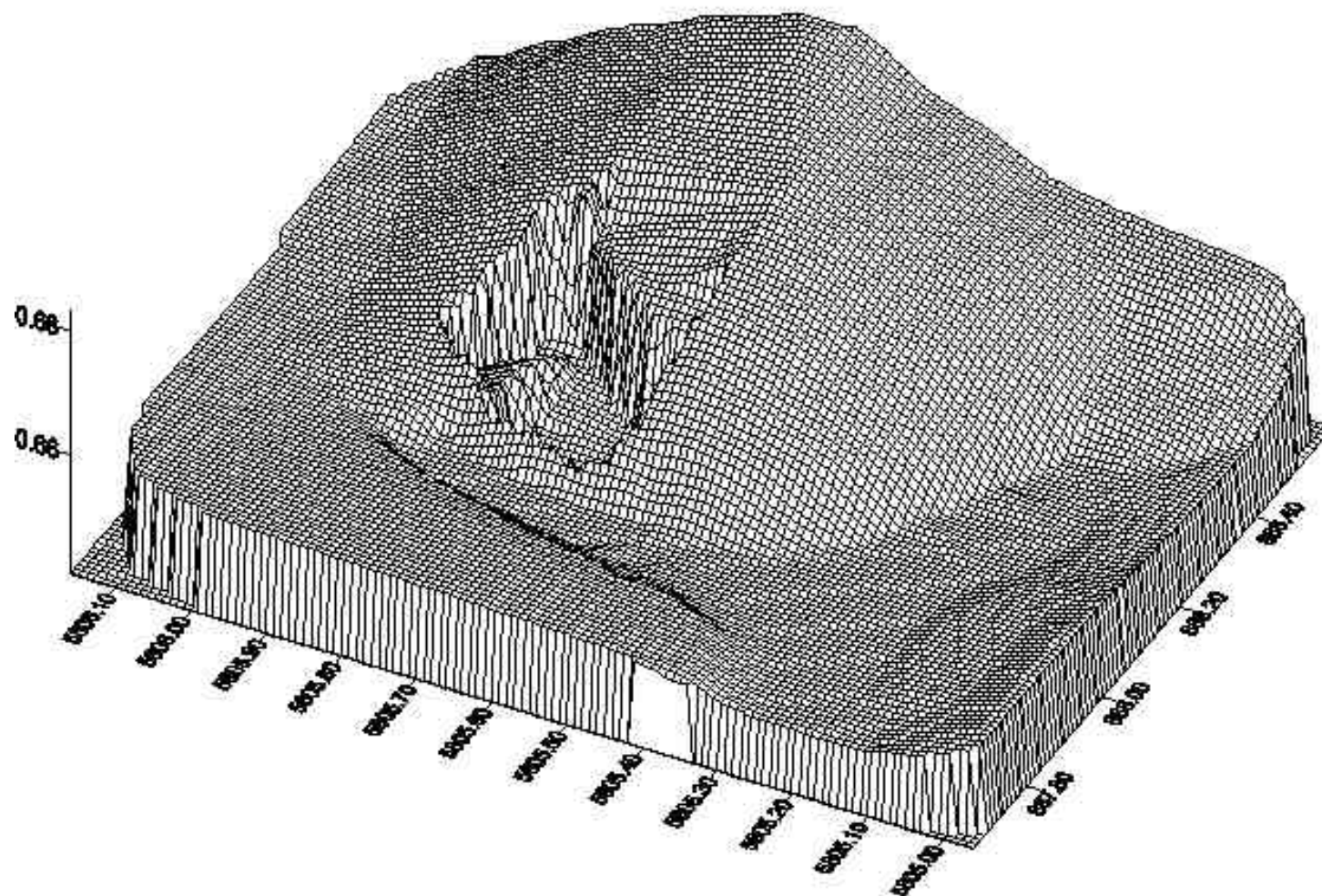


Figura 22: Detalhe da meia encosta onde está situada a cava, a ser usada em modelagem posterior (MDT).

7.1.2.2. Mapa Geológico de Superfície

O mapa geológico de superfície é, na verdade, uma representação fiel dos diversos domínios encontrados na jazida, ou seja: a área lavrada atualmente, com a indicação dos contatos litofaciológicos encontrados; as áreas ainda não mapeadas, mas com afloramento da Formação Corumbataí; as áreas decapeadas, mas ainda não lavradas e as áreas com coberturas vegetais de plantações de cana e soja, nas quais o solo é uma alteração *in situ* do próprio Corumbataí.

A figura 23 apresenta este mapa local, no qual não aparecem as estruturas um pouco mais afastadas, como um grande dique de diabásio situado mais a nordeste desta área. Esse dique aparece no modelo digital da região da jazida, mostrado anteriormente.

7.1.3. Mapeamento de Frente de Lavra

7.1.3.1. Aspectos Gerais

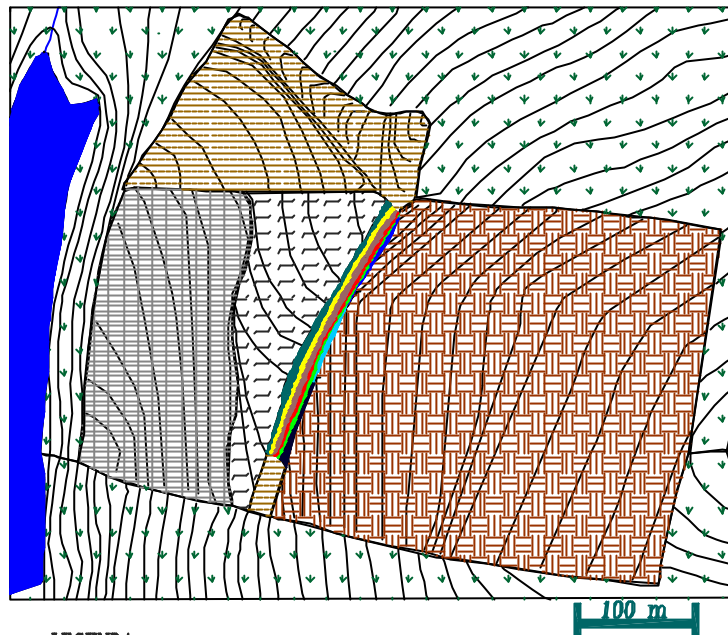
Para a realização dos trabalhos de descrição geológica e amostragem para ensaios laboratoriais, era necessário acesso a todo o perfil exposto na frente de lavra em operação (foto 2), para facilitar as descrições e permitir a coleta sistemática de amostras contínuas, ou seja, pelo método de calha (chamadas amostras de canaleta ou de canal).

Porém, como pode ser visto na foto 02 e nas MDTs apresentadas anteriormente, a frente de lavra era, na época, bastante íngreme e não havia bancadas, devido ao método de lavra utilizado.

Tal situação tornava quase impossível a coleta de amostras. Para evitar operações de risco e/ou pouco práticas, optou-se pela abertura de três trincheiras com auxílio de trator de esteira com lâmina, marca Caterpillar, modelo D8L.

As trincheiras são mostradas na foto 03, na qual pode ser notado que o novo declive obtido em cada trincheira era em torno de 45°, possibilitando, então, os trabalhos de descrição das colunas e da amostragem.

A numeração e a respectiva posição no perfil das amostras coletadas podem ser visualizadas na figura 24.



LEGENDA

-  Área vegetada com plantações, e com presença de solos da formação Corumbataí.
-  Área decaçada até o topo do corpo de minério explorável: fm Corumbataí.
-  Áreas com afloramentos da fm Corumbataí, ainda não mapeadas em detalhe.
-  Frente de lavra mapeada, mostrando as variações litofaciológicas locais.
-  Limite inferior do corpo de minério explorável, constituído por um leito de 30cm de bonebed de coloração escura.
-  Nível de siltito acinzentado, extremamente duro e cimentado, inadequado ao uso até o momento.
-  Parte da represa formada no Ribeirão Águas claras.

Figura 23: MAPA GEOLOGICO PRELIMINAR DA ÁREA DA CAVA PRINCIPAL



Foto 2 : vista geral da frente de lavra em sua configuração até o início de 2000. A nova configuração é mostrada mais adiante



Foto 3 : Vista aérea da frente de lavra após abertura de trincheiras para facilitar descrições geológicas e amostragem.

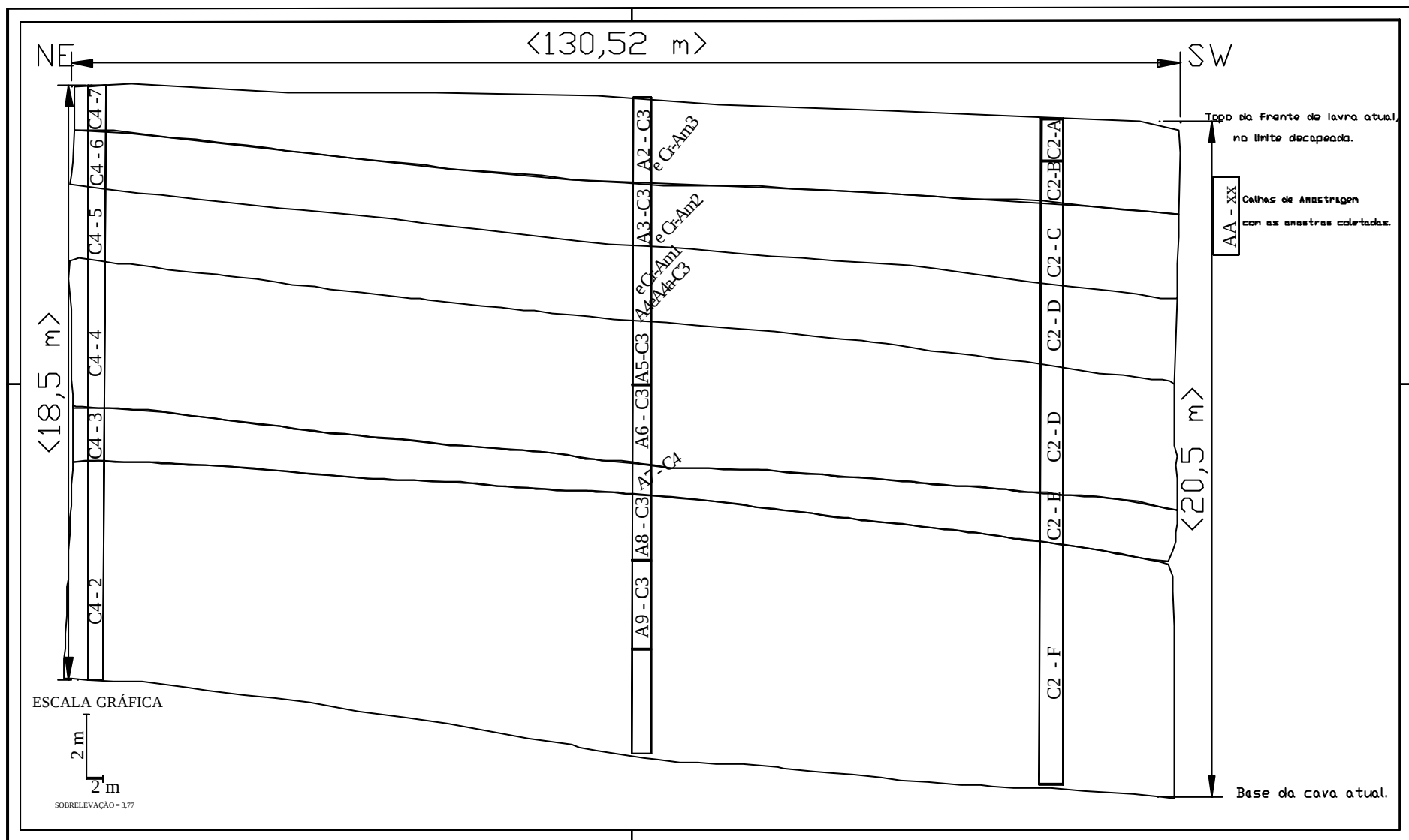


Figura 24: Posicionamento das amostras coletadas.
Total de 25 amostra analisadas, distribuidas em três canais de amostragem.

Com base nas descrições de campo, foram elaboradas colunas litofaciológicas (figura 25) e, a partir da correlação entre elas, foi possível a elaboração de um perfil de toda a frente de lavra mapeada, apresentado no item seguinte.

Na coluna são apresentadas, simultaneamente, as compartimentações usadas anteriormente nos trabalhos de lavra, na qual havia uma divisão vertical da jazida em três grandes pacotes, e uma nova divisão em 5 camadas, obtida de acordo com as características litofaciológicas e de alteração identificadas.

7.1.3.2. Descrição das Unidades Individualizadas na Coluna Tipo

A descrição sucinta das 5 camadas individualizadas é apresentada a seguir, da base para o topo, sendo que a identificação das camadas é decrescente neste sentido:

Camada 3

A denominação local dessa camada é a de argila cinza ou argila dura.

Esta é a primeira camada explotada da base para topo da jazida. Trata-se de um siltito médio, esverdeado quando seco e levemente arroxado quando úmido, muito resistente ao golpe de martelo e com tendência relativamente moderada ao empastilhamento, quanto exposto ao ar livre por um período de alguns meses.

Intercalam-se níveis isolados e contínuos na lateral com 2 a 3 centímetros de espessura, de coloração esbranquiçada, sotopostos ou sobrepostos a níveis centimétricos a milimétricos, com argila marrom muito úmida, resultado de alteração. Esse fato ocorre, muito provavelmente, por oscilação do freático e concentração de seus efeitos nas faixas com quebra de capilaridade, como é o caso desses níveis que são mais siltosos a ligeiramente arenosos.

A estrutura é de laminação plana milimétrica incipiente a localmente maciça, com raros níveis esbranquiçados lenticulares e alongados de granulometria ligeiramente mais grossa (silte médio).

No topo da camada ocorre um nível com cerca de 1,4 metros de espessura dentro do qual ocorrem três ou quatro associações desses níveis mais siltosos a arenosos com leitos de argila marrom e úmida associados. A foto 04 mostra um desses níveis em detalhe.

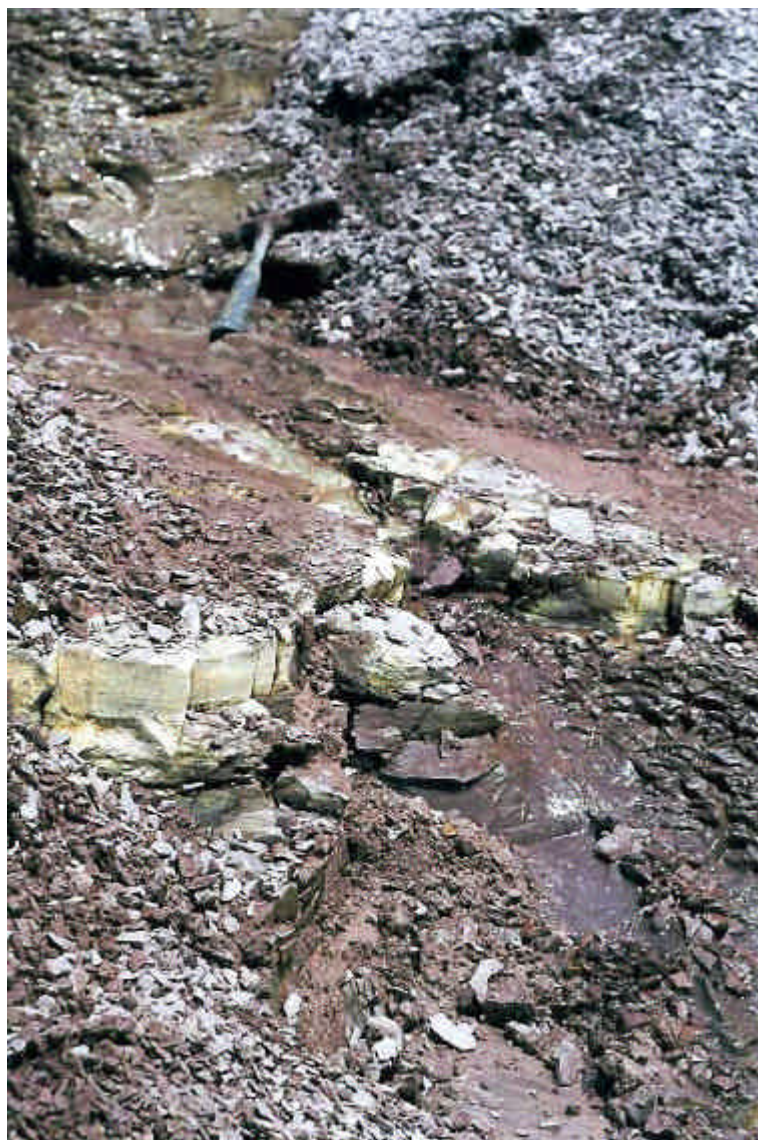


Foto 04: Detalhe de um nível de siltito arenoso, com estruturas sin-sedimentares de tração e energia pouco maior que o contexto geral possível *lenticular bedding*. *Obs.:* Essa última estrutura não pode ser vista na foto.

A foto 05 mostra o topo exposto de um destes leitos silto-arenosos, com feições que lembram paleogretas de contração preenchidas (a confirmar).



foto 05: Vista de topo da mesma camada da foto 4, agora mostrando a presença de estruturas em forma de possíveis paleogretas de contração.

A tenacidade dessa rocha pode ser atribuída à presença de cimentação de sílica nos interstícios granulares. É comum a presença de cristais de muscovita, visíveis à lupa de bolso.

Outra característica comum nesse pacote é a ocorrência de fragmentos fossilíferos, constituídos, principalmente, por escamas e restos de conchas e dentes de peixes.

Aparecem, também, raros níveis contínuos e milimétricos com conteúdo fossilífero tipo *bone bed*.

Eventualmente, é observada uma estrutura radial milimétrica a centimétrica, aparentando uma estrutura de dissolução de algum cristal formado durante a diagênese ou depois dela.

O fraturamento é intenso, com algumas direções preenchidas por veios de sílica de espessura de poucos centímetros, com boa quantidade de argilas de alteração associadas.

Camada 2b

Este material é chamado localmente de argila roxa, compreendendo, na verdade, uma certa variedade de materiais com diferentes graus de alteração; portanto, a argila roxa na denominação de fábrica corresponde aqui às camadas 2b e 2a e 1b.

No caso dessa camada 2b, o material é composto por siltitos médios a finos, arroxeados, muito empastilhados e de fácil desagregação, ficando com tom levemente acinzentado nas porções mais secas, conforme foto 06. Localmente, aparecem bancos de silito mais argiloso. A estrutura é laminada fina com alternâncias de lâminas mais visíveis e trechos incipientes a maciços.

Os fragmentos resultantes são relativamente duros, mas mais macios que os fragmentos da camada 3. São muito mais raros os cristais de muscovita e o material é um pouco mais úmido que a camada inferior. Os fragmentos e as lascas resultantes da quebra são quase sempre prismáticos e alongados, e o material é intensamente fraturado.

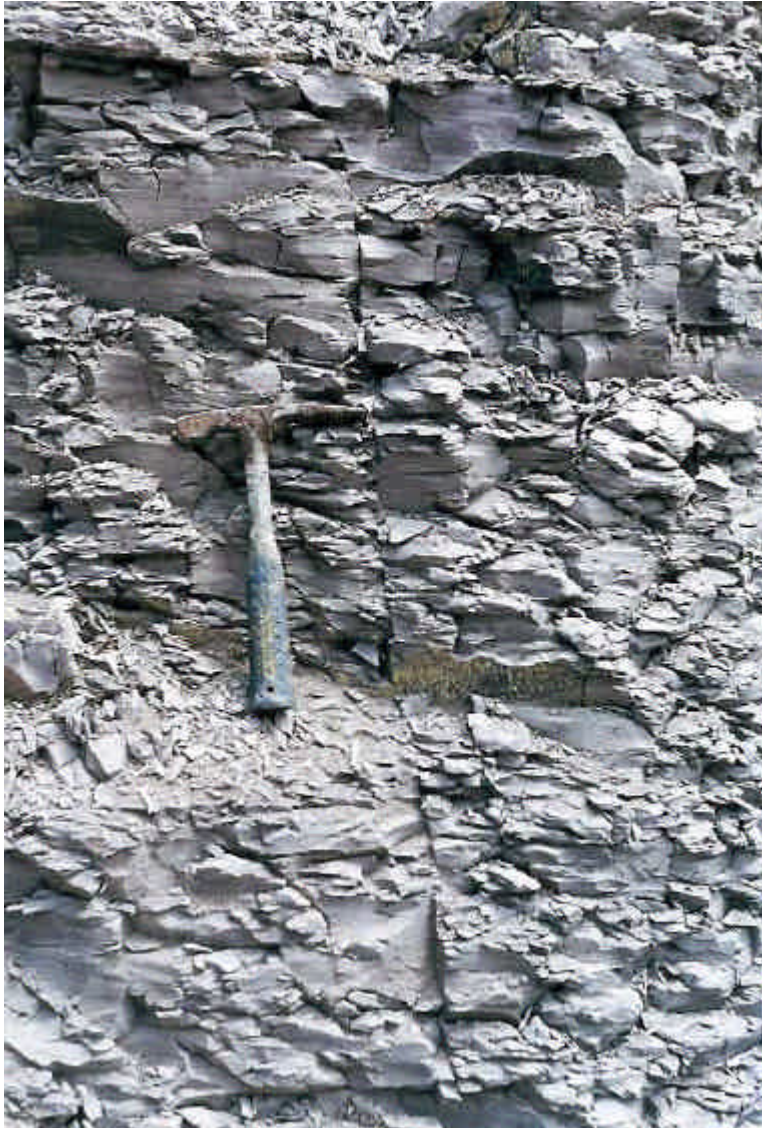


Foto 06: Siltitos arroxeados, levemente acinzentados da camada 2b.

Localmente, aparecem fraturas preenchidas com veios de sílica associada a uma massa argilosa amarronzada de alteração, com espessuras que variam de poucos milímetros a centímetros (foto 07), até espessuras com cerca de 15 a 20 centímetros (foto 08).



Foto 07: Preenchimentos de fraturas com espessuras milimétricas a centimétricas . Predomínio de Sílica.

Níveis esbranquiçados com material silte arenoso aparecem eventualmente e são acompanhados de camada centimétrica a milimétrica de argilas de alteração com coloração marrom.

Também aparecem níveis milimétricos com conteúdo fossilífero tipo *bone bed*.



Foto 08: Preenchimento de fraturas com veios de sílica envoltos em matriz areno-argilosa de alteração. A espessura total atinge cerca de 15 a 20 cm e as placas de sílica individuais chegam a 2cm de espessura.

Camada 2a

Sotoposta ao nível anterior, sem que haja um limite muito nítido observável, a camada 2a é marcada por intercalação centimétrica a decimétrica entre níveis do tipo camada 2b e níveis mais argilosos e plásticos até que, no topo da camada, ocorre um nível bem mais plástico que o restante do material da jazida, com cerca de 1,7 metros de espessura.

A camada 2a possui coloração que vai de mais avermelhada a marrom chocolate (foto 09) e, quando secas, as intercalações menos plásticas ficam arroxeadas claro, sendo que as estruturas sin-sedimentares são praticamente idênticas às da camada três.



Foto 09: Detalhe da camada 2a, constituída por siltitos médios a finos, mais úmidos e mais porosos que os da camada 2b.

A coloração geral pouco mais escura indica maior porosidade aberta (secundária), preenchida por umidade, enquanto que as camadas mais inferiores possuem cada vez menos porosidade aberta à medida em que se desce no perfil. Os poros nas camadas inferiores estão preenchidos por diferentes graus de cimentação (fatos a serem confirmados por estudos de microscopia eletrônica).

Camada 1b

O topo da jazida é marcado pela presença de material alterado, bem mais mole que os demais, mas não necessariamente mais plástico, e foi dividido em dois subníveis, o 1b descrito aqui e o 1a.

O subnível 1b é composto por siltitos alterados, argilosos e de coloração marrom chocolate avermelhado, aderentes e com alguns sinais de percolação redutora deixando manchas esverdeadas e esbranquiçadas. Ao secar também empastilha, mas em fragmentos menores.

As camadas possuem uma estruturação preservada da rocha original, liberando pedaços úmidos e moles de forma tabular.

Camada 1a

A camada 1a é o topo do pacote de minério, marcada à primeira vista pela presença de muitas porções que vão de esbranquiçadas a esverdeadas em meio ao material marrom chocolate, ao longo das descontinuidades do material.

Esse material provavelmente possui uma porcentagem de caulinita maior que as camadas do restante da jazida, o que precisará ser confirmado com difrações de raios - X, na continuidade dos trabalhos.

É ainda mais mole que a camada 1b e libera pedaços irregulares e pegajosos mas, quando secos, são um pouco friáveis, ficando as porções de cor marrom chocolate com uma coloração rosada clara.

O material pode ser classificado como uma argila de alteração de rocha sedimentar, e não mais como uma rocha propriamente dita, possuindo granulometria de silte argiloso a argila.

São comuns os veios de sílica centimétricos a decimétricos cortando estas porções superiores compostas pelas camadas 1a e 1b.

A foto 10 ilustra as camadas 1a e 1b, sendo que nela pode ser visto, ao alto, que parte da camada 1a já foi escarificada e amontoadada para o descanso. Atualmente, ao lavrar a camada 1a, *in situ*, essa *parte solta* é lavrada ao mesmo tempo.



Foto 10: Visão geral das camadas 1a e 1b. Notar que ambas são compostas pelo material mais alterado do topo da jazida, mas a camada de cima (1a) possui mais sinais de caulinitização.

7.1.3.3. Perfil Geológico de Frente de Lavra

Como o mapa geral do entorno da cava é uma exposição, em planta, da jazida, e os contatos entre camadas e entre limites litofaciológicos são subhorizontais, a visualização dessas camadas fica prejudicada no mapa, mesmo que seja impresso em escala adequada.

Em função disso, optou-se por uma outra forma de apresentação – desta vez como perfil da frente de lavra – que é o resultado da interpretação geológica das relações entre as três colunas litofaciológicas levantadas.

Para melhor compreensão, é sugerida inicialmente uma consulta à foto 02, tirada no sentido de NW para SE, em vista frontal à frente de lavra mapeada e que é o mesmo ponto de vista do perfil apresentado na figura 26, no qual podem ser visualizadas com muito mais facilidade as diferentes litofácies discriminadas na jazida.

7.1.3.4. Discussão dos Resultados do Mapeamento Geológico

Como pode ser visto no perfil da figura 26, as camadas não são completamente tabulares, possuindo estruturas em cunha de grande escala. Estas estruturas não podem ser observadas à primeira vista em campo, mas apenas após o mapeamento e a preparação do perfil.

7.1.3.5. Nova Divisão da Jazida com Base nos Resultados Obtidos

Os mapas e perfis acima demonstraram que, ao invés do sistema em três camadas usado anteriormente, a jazida pode ser dividida em cinco níveis distintos, sendo tal divisão preferível para sua exploração seletiva.

Com base nessas informações, foi estabelecido o novo plano de lavra – agora em cinco camadas –, sendo também feita a transição do sistema de lavra usado anteriormente, e que pode ser definido basicamente como um *Strip Mining*, para um sistema clássico em bancadas.

Este novo sistema favorece os trabalhos de lavra com menor contaminação entre os níveis, diminuição dos erros de lavra e diminuição da ação da erosão em épocas de chuvas, e com maior segurança no trabalho. A nova configuração da cava obtida após a implantação do novo sistema é mostrada na foto 11.

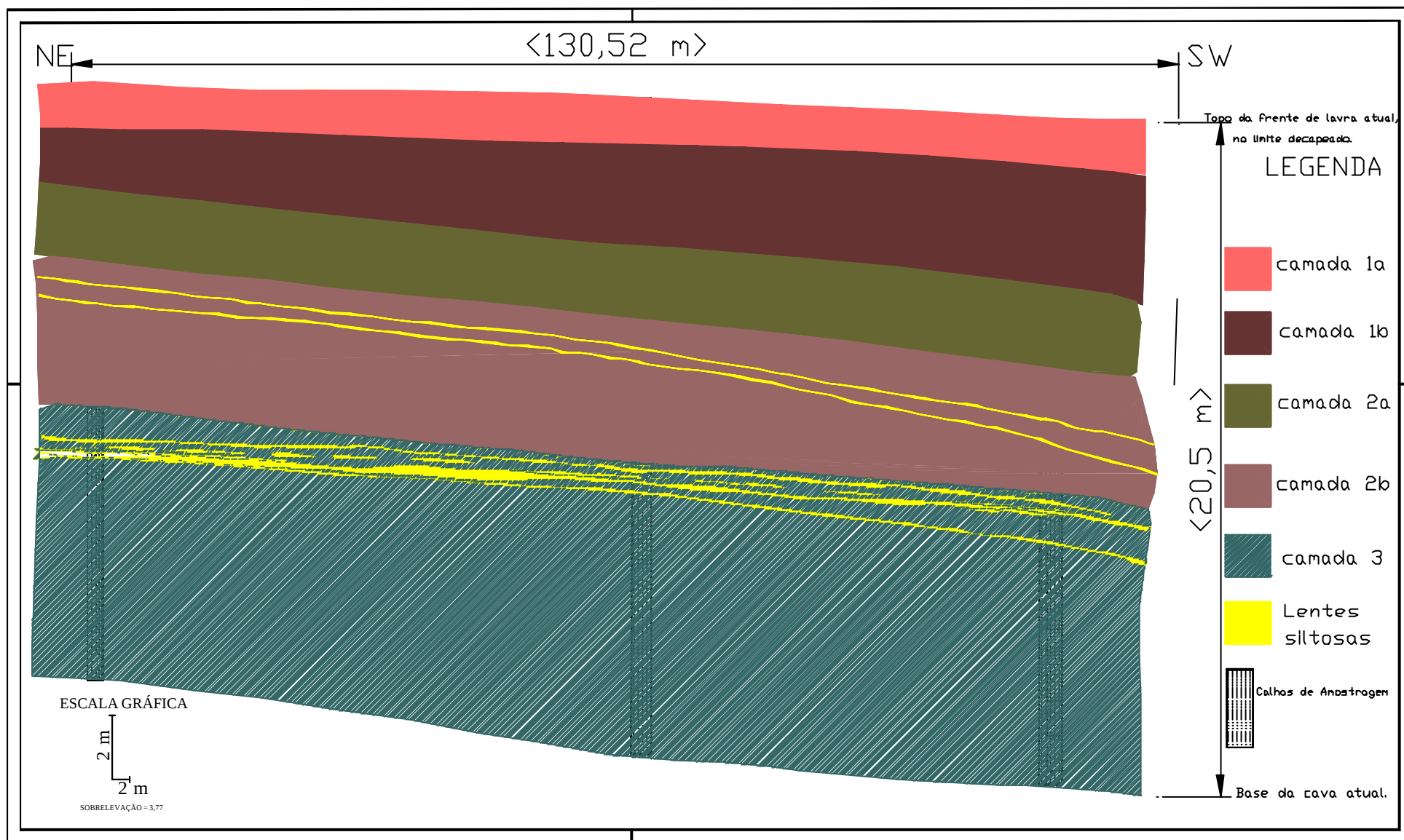


Figura 26: Perfil geológico gerado pelo mapeamento de frente de lava
FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000.



Foto 11: cava após a implantação do sistema de bancadas. Notar que há um número maior de bancadas que o de níveis individualizados, mas este é um recurso operacional para facilitar os trabalhos de lavra. O aumento relativo de custo de lavra é absorvido pelos ganhos em qualidade e versatilidade operacional já comprovados em produção.

7.1.4. Resultados das Análises Laboratoriais

Os resultados laboratoriais obtidos para as amostras da jazida são apresentados ao longo dos próximos itens, mostrando, respectivamente, as análises químicas e os ensaios cerâmicos realizados. A sequência de exposição parte sempre com a apresentação dos dados, indo, em seguida para os diferentes tratamentos quantitativos ou qualitativos efetuados.

Alerta-se para o fato de que os resultados representados pela sigla LOI do inglês - *Lost on Fire* se referem ao ensaio de perda ao fogo, realizado dentro da rotina laboratorial de análise química por fluorescência, onde esses resultados são usados nos cálculos de fechamento. Reservou-se, assim, a sigla PF para o ensaio de Perda ao Fogo, realizado de forma independente da análise química e em paralelo com os demais ensaios físicos, em laboratório externo à universidade. Isso

foi feito apenas para diferenciar a fonte das informações em cada base de dados apresentada.

7.1.4.1. Resultados das Análises Químicas

As amostras analisadas por fluorescência de raios- X estão listadas no quadro 03, com os respectivos resultados para os elementos mais o LOI. De modo geral, este quadro traz os resultados químicos das mesmas amostras com ensaios cerâmicos, aparecendo também algumas amostras sem correspondência que foram usadas apenas para um controle inicial de amostragem, não havendo necessidade de encaminhá-las para os ensaios cerâmicos.

7.1.4.2. Avaliação Estatística Básica das Variáveis Químicas

Como em todo trabalho de caracterização de jazidas, o estudo aqui começa pela avaliação do comportamento estatístico básico das variáveis envolvidas. Para tanto, o quadro 04 mostra o resumo da estatística descritiva das variáveis químicas.

Entre as características principais, destacam-se:

- 1) As médias apresentadas estão, de modo geral, dentro das encontradas regionalmente para a Formação Corumbataí, destacando-se apenas a sílica com uma média de 67,42%, ligeiramente alta, o que a princípio não configura um problema.
- 2) Os elementos com maior variância são a sílica e o alumínio, e entre os álcalis fundentes a maior variância é apresentada pelo sódio, observando-se que o potássio, principal fundente presente, possui uma variância muito baixa.
- 3) Quanto à forma das distribuições, nenhum elemento se mostra perfeitamente normal, destacando-se como mais significativas uma anomalia positiva na curtose do cálcio, e assimetrias positivas e negativas para sódio e potássio, respectivamente.
- 4) As maiores amplitudes de valores foram encontradas para a sílica e para o alumínio e, secundariamente, para o ferro, cálcio, sódio e o LOI.

Quadro 03: Análises químicas das amostras coletadas na frente de lavra estudada

amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Soma
PLAST AM1	63,20	18,25	6,99	0,01	1,17	0,06	0,15	2,46	0,09	7,09	100,19
PLAST AM2	66,33	16,25	6,20	0,02	1,38	0,10	0,27	2,55	0,08	6,22	100,08
PLAST AM3	65,81	16,88	6,17	0,01	1,18	0,07	0,19	2,48	0,11	6,38	99,99
CR AM3	65,17	17,17	6,34	0,01	1,44	0,08	0,21	3,02	0,10	6,13	100,35
CR AM2	65,53	16,76	5,62	0,02	1,77	0,14	0,28	3,31	0,09	6,14	100,35
CR AM1	67,44	14,95	5,61	0,03	2,00	0,21	0,26	3,29	0,09	6,16	100,68
C4-7	65,68	15,78	6,54	0,02	1,59	0,08	0,26	3,25	0,13	5,92	100,00
C4-6	67,68	15,37	5,76	0,03	1,64	0,12	0,17	2,84	0,11	6,07	100,39
C4-5	69,01	14,18	5,31	0,03	1,98	0,23	0,26	3,03	0,09	5,51	100,22
C4-4	68,60	13,60	5,31	0,03	2,16	0,43	0,54	3,25	0,17	5,33	100,00
C4-3	68,82	13,82	4,94	0,07	2,15	0,53	0,69	3,18	0,17	5,08	100,01
C4-2	69,34	13,76	5,19	0,04	2,32	0,48	0,67	3,43	0,16	4,76	100,71
C2-E3	67,64	13,24	5,15	0,08	2,31	1,43	1,62	2,82	0,73	4,42	99,99
C2-E2	68,45	13,76	5,10	0,06	2,13	1,00	1,32	3,17	0,48	4,34	100,37
C2-E1	67,76	13,25	5,07	0,08	2,19	1,65	1,59	2,88	0,89	4,32	100,22
C2-D	69,84	13,95	5,22	0,05	1,72	0,27	0,74	3,26	0,06	4,68	100,36
C2-C	66,74	15,51	5,62	0,05	1,86	0,29	0,32	3,33	0,12	5,55	100,02
C2-B	66,61	15,74	5,62	0,06	1,85	0,27	0,30	3,36	0,12	5,65	100,21
C2-A	65,14	17,61	6,15	0,01	1,49	0,08	0,17	3,06	0,07	5,99	100,45
A9-C3	69,51	13,21	5,13	0,05	2,41	0,63	1,26	3,31	0,22	4,18	100,46
A8-C3	67,83	13,74	5,42	0,03	2,41	0,78	0,98	3,41	0,37	4,50	100,03
A7-C3	67,92	14,02	5,23	0,07	2,37	0,90	1,03	3,31	0,42	4,72	100,55
A6-C3	68,36	13,92	5,44	0,04	2,32	0,50	0,92	3,45	0,16	4,62	100,31
A5-C3	69,66	13,55	5,04	0,10	1,90	0,76	0,71	3,08	0,42	4,75	100,53
A4a-C3	68,44	14,63	5,51	0,08	2,00	0,22	0,22	3,27	0,06	4,97	100,00
A4-C3	68,63	14,47	5,47	0,06	1,96	0,22	0,22	3,24	0,06	5,16	100,09
A2-C3	66,34	16,65	5,77	0,02	1,61	0,11	0,16	3,00	0,12	5,68	100,13
A1-C3	65,52	17,23	6,26	0,01	1,40	0,06	0,16	2,92	0,07	5,71	100,05

Obs.: - Sem o TiO₂

- Resultados em porcentagem em peso dos elementos apresentados na forma de óxidos.

Quadro 04: Estatística descritiva das análises químicas

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Média	67,418	0,619	15,044	0,043	5,613	1,883	0,417	0,560	3,106	5,358
Erro padrão	0,348	0,012	0,289	0,005	0,098	0,071	0,079	0,087	0,053	0,144
Mediana	67,717	0,595	14,554	0,035	5,492	1,929	0,247	0,292	3,212	5,424
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	1,706	0,065	1,530	0,028	0,517	0,376	0,419	0,460	0,278	0,764
Variância da amostra	2,912	0,004	2,341	0,001	0,268	0,142	0,176	0,211	0,077	0,583
Curtose	-0,062	-0,955	-1,019	-0,776	0,323	-0,944	2,158	0,058	0,377	-0,819
Assimetria	-0,614	0,628	0,563	0,530	0,949	-0,313	1,582	1,093	-1,044	0,221
Intervalo	6,642	0,216	5,035	0,097	2,051	1,244	1,590	1,476	0,990	2,903
Mínimo	63,200	0,535	13,213	0,007	4,936	1,171	0,056	0,149	2,462	4,184
Máximo	69,841	0,752	18,248	0,105	6,987	2,415	1,646	1,625	3,453	7,087
Contagem	24,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
Nível de confiança(95,0%)	0,721	0,025	0,593	0,011	0,201	0,146	0,162	0,178	0,108	0,296

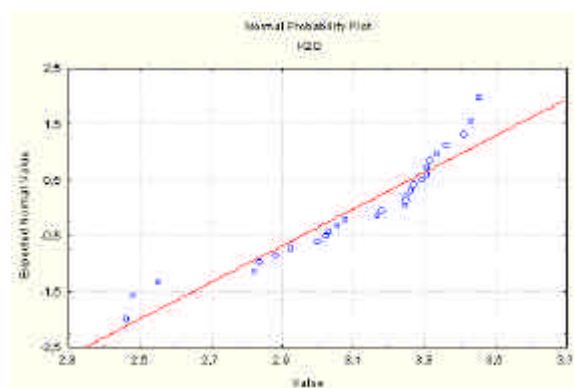
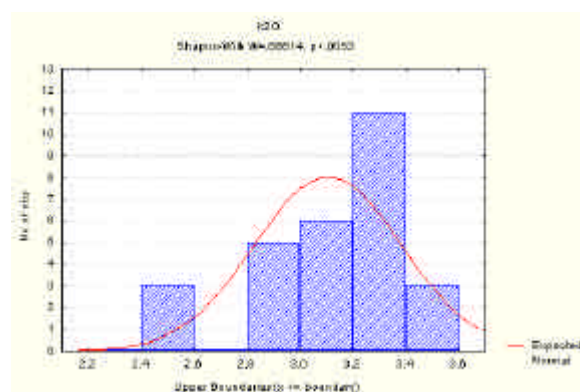
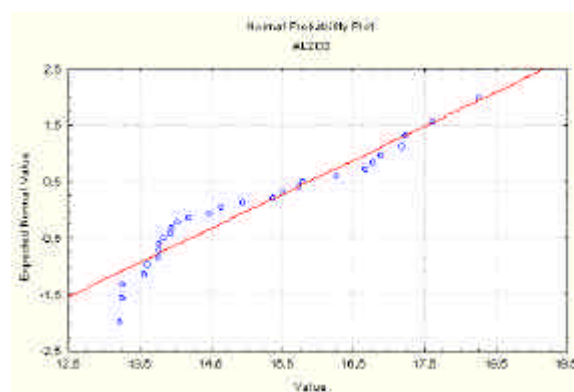
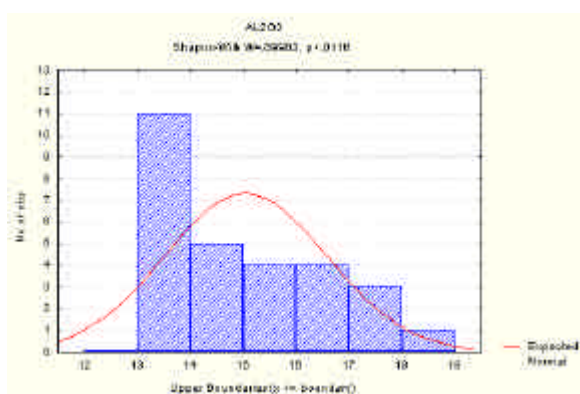
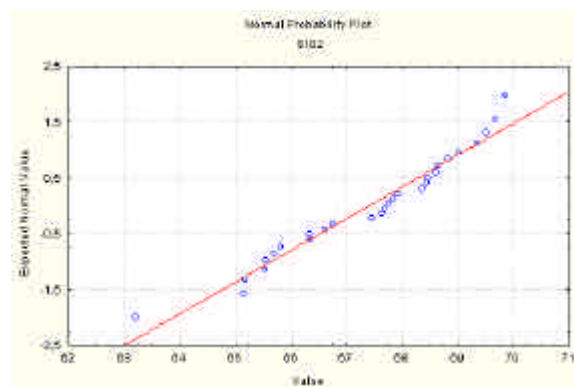
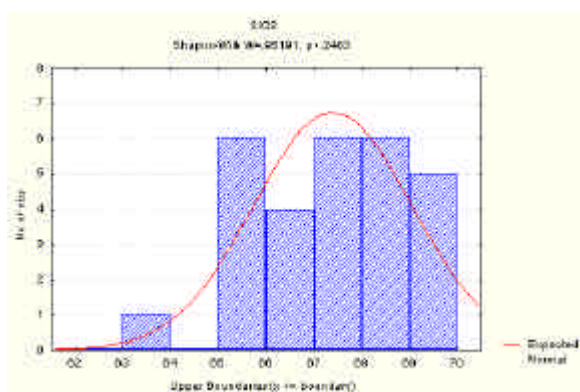
Obs: - Assimetria: 0 = normal; > 0 = (+); < 0 = (-)

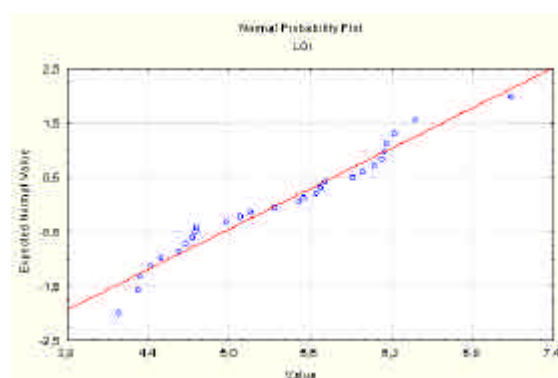
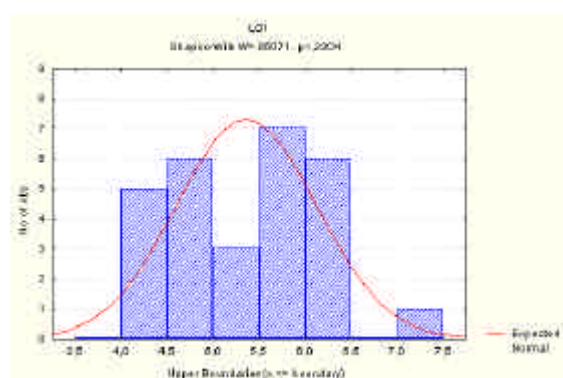
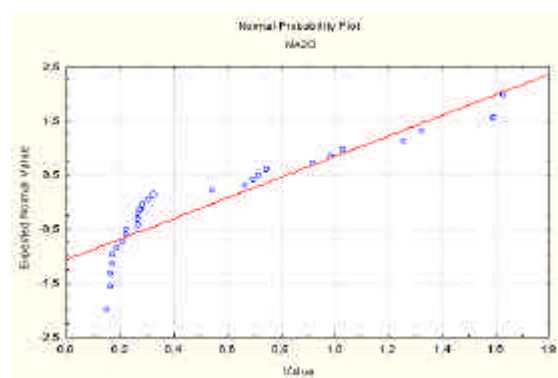
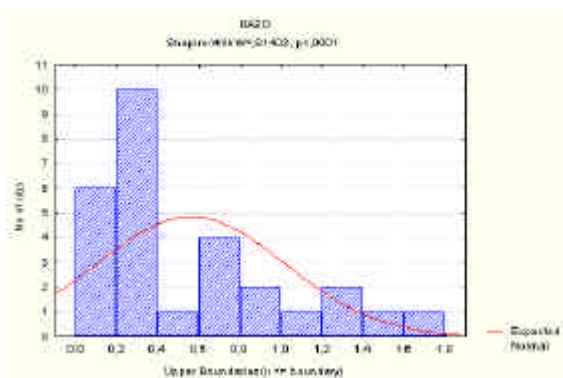
- Curtose: 0 = mesocúrtica; > 0 = leptocúrtica; < 0 = platicúrtica

- Resultados: em porcentagem em peso dos elementos apresentados na forma de óxidos.

Análise Histográfica

Por ser difícil visualizar todas as características de uma distribuição de frequências apenas a partir da estatística descritiva, a seguir são apresentados os histogramas das principais variáveis químicas, associados aos respectivos gráficos de probabilidade normal.





A observação conjunta dos gráficos de cada variável acima (histograma e probabilidade normal) denota que, em geral, as variáveis se distanciam um pouco da distribuição normal de Gauss, em especial a sílica e o alumínio, seguidos pelo sódio e pelo potássio.

Notar também que o sódio e o potássio apresentam, claramente, assimetrias opostas, o que já havia sido constatado nos dados da estatística descrita.

7.1.4.3. Discussão dos Resultados Estatísticos para a Química

Os desvios da normalidade apresentados pelas variáveis químicas, provavelmente, estão ligados aos processo que controlam a distribuição dos elementos, ao longo do perfil amostrado. Os resultados são consistentes do ponto de vista analítico, contudo, exceção seja feita para os resultados obtidos com o manganês, que apresenta uma variância muito baixa – o que pode ser atribuído ao fato de os teores encontrados estarem muito próximos do limite de detecção do aparelho –, resultando em valores muito similares entre si e que estão refletindo

apenas o teor médio provável, não se revelando, porém, como um elemento de influência direta nos produtos em foco.

As considerações relativas ao comportamento das distribuições possuem aplicação direta na parametrização das variáveis durante os estudos geoestatísticos que servirão de base para o desenvolvimento dos planos de lavra, uma vez que distribuições diferentes da normal exigem cuidados especiais durante a modelagem numérica, para obtenção dos parâmetros de estimação em pontos não-amostrados da jazida.

7.1.4.4. Resultados das Análises Mineralógicas

Foram selecionadas as amostras da coluna C3 (figura 25) para a análise mineralógica por difração de raios-X. A escolha de apenas uma coluna se justifica porque os ensaios não são quantitativos e, portanto, seria muito difícil detectar variações mineralógicas laterais. No entanto, tal detecção poderá ainda ser realizada futuramente nas amostras de alguns furos de sondagem já obtidas, uma vez que se considera muito provável que elas ocorram também lateralmente.

Os argilominerais encontrados mostram uma diferenciação vertical marcante em que os minerais do grupo da caulinita ocorrem concentrados nas porções de topo, aparecendo os minerais do grupo das esmectitas (montmorilonitas e nontronita) nas porções média a basal, com concentração no topo das camadas mais duras; a illita aparece em todo o perfil.

Os minerais quartzo e a hematita distribuem-se, sistematicamente, ao longo de todo o perfil, da base ao topo, também ocorrendo traços de minerais do grupo dos feldspatos e dos óxidos como rutilo e goethita.

A distribuição aproximada dos minerais presentes é apresentada na figura 27, em relação à coluna estratigráfica amostrada. Notar que, em certos casos, é indicada uma distribuição constante ao longo do perfil, apenas em função de ter sido mais difícil neles estimar a provável quantidade relativa em cada trecho.

Já para os diferentes argilominerais foi possível estabelecer a variação relativa provável com base nos difratogramas obtidos e que podem ser consultados no anexo 1.

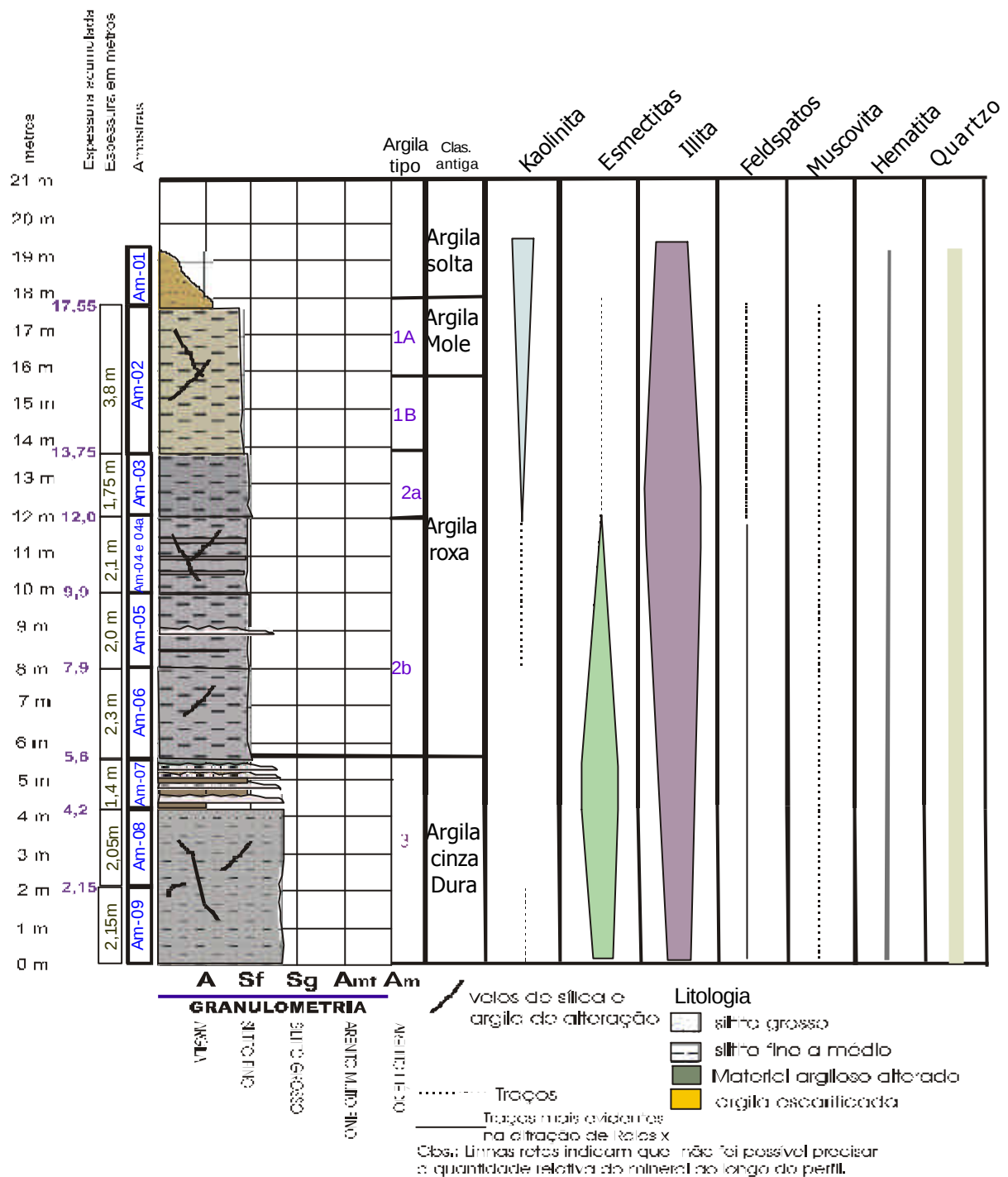


Figura 27: Distribuição da mineralogia no perfil

7.1.4.5. Discussão dos Resultados Mineralógicos

A distribuição vertical dos argilominerais constatada está de acordo com o modelo geral de alteração de rochas sedimentares pelíticas em climas tropicais, como apresentado por Chamley (1989) e Velde (1995), entre outros. De modo geral, o argilomineral presente é a illita, comum em rochas sedimentares detríticas, com área fonte cristalina félsica (composições graníticas em geral).

Nesses casos, o filossilicato presente no sedimento é normalmente a mica muscovita (normalmente muito fina, ou seja, uma serissita) e também a caulinita. Com a evolução dos processos diagenéticos ocorre a degradação da estrutura da muscovita fina, com perda de parte dos potássios estruturais, levando os sedimentos pelíticos mais antigos a serem enriquecidos em illita.

Devido à implantação posterior dos processos de alteração supérgena, a illita tende a ser lixiviada, perdendo mais potássio e chegando à caulinita. O potássio e outros elementos translocados no perfil seguem percolando em soluções até níveis mais impermeáveis, concentrando-se na forma de gel que, por fim, devido à estagnação local, permite a nucleação dos minerais do grupo das esmectitas.

Chamley (*op. cit.*) e Velde (*op. cit.*) descrevem detalhadamente tais processos, considerados válidos para a jazida em estudo.

As implicações para o processo cerâmico dessas variações mineralógicas verticais são significativas (implicam variações de plasticidade, higroscopia, etc.) e, em alguns casos, podem ser danosas. Podendo tais variações acontecer também na lateral, como citado acima, o fato será verificado em pesquisas posteriores, uma vez que existem fortes indícios de sua ocorrência.

7.1.4.6. Resultados dos Ensaios Físico-Cerâmicos

De acordo com a metodologia apresentada, a mesma estrutura geral de análise dos dados químicos é aplicada aos dados físicos, passando-se agora à apresentação desses resultados.

A base de dados obtida com os ensaios cerâmicos é apresentada no quadro 05, no qual pode ser observado que nem todos os ensaios físicos foram executados para todas as amostras coletadas.

Ainda que idealmente fosse mais interessante que todos os ensaios tivessem sido executados para todas as amostras, isso não foi possível devido a questões ligadas a contratempos laboratoriais inevitáveis que não serão detalhados aqui.

Por outro lado, os dados obtidos já foram mais do que suficientes para atender aos propósitos estabelecidos. Esta base de dados foi utilizada, favorecendo o maior número de ensaios possível, comuns a todas as amostras, quando se estava estudando a relação entre os tipos de ensaios; o mesmo se fez favorecendo o maior número possível de amostras com ensaios em comum quando se estava estudando a relação entre as amostras.

Essas bases secundárias não são aqui expostas, mas podem ser facilmente deduzidas da observação do quadro 05.

7.1.4.7. Avaliação Estatística Básica das Variáveis Cerâmicas

O resumo estatístico das variáveis cerâmicas nas amostras analisadas até o momento é apresentado mais à frente, no quadro 06.

De grande destaque nesses resultados é a alta variância para os ensaios de Módulo de Ruptura à Flexão - MRF queimado (MRFq) e para o limite de plasticidade (LP), tendo este último também os valores mais discrepantes nos resultados de assimetria e curtose. No geral, todos os resultados apresentam algum desvio para estes dois últimos parâmetros estatísticos, mas em intensidades moderadas.

Quadro 05: Ensaios físicos das amostras coletadas na frente de lavra estudada

AMOSTRA	AA (%)	PA(%)	PT(%)	MEA (g/cm ²)	MEAs (g/cm ²)	MRFc (N/mm ²)	MRFs (N/mm ²)	MRFq (N/mm ²)	LP (%)	IP	MEAs(PÓ) (g/cm ²)	MEAc(PÓ) (g/cm ²)
C2-A	8,68	18,14	21,37	2,092	2,555	0,71	1,58	34,11	30,04	1,36	X	X
C2-B	6,3	13,67	18,34	2,172	2,516	0,76	1,47	36,57	29,2	1,39	X	X
C2-C	7,24	15,29	20,61	2,112	2,493	0,67	1,07	29,47	21,8	1,47	X	X
C2-D	7,52	15,65	21,67	2,083	2,47	0,45	0,97	28,33	25	1,4	X	X
C2-F	7,78	16,25	21,44	2,09	2,495	0,31	0,69	21,75	26,74	1,57	X	X
C2-E1	6,56	13,94	20,09	2,126	2,47	0,42	1,42	20,55	21,95	1,47	X	X
C2-E2	6,45	13,88	19,02	2,154	2,501	0,35	1,44	25,88	22,4	1,43	X	X
C2-E3	6,87	14,54	20,41	2,117	2,477	0,34	1,25	23,27	21,51	1,5	X	X
C3-A1	6,7	14,64	17,88	2,185	2,559	X	X	32,33	30,27	1,3	0,92	1,213
C3-A2	4,83	10,8	15,87	2,238	2,509	X	X	35,87	29,53	1,45	0,878	1,145
C3-A3	6,27	13,3	20,14	2,124	2,45	X	X	24,23	43,38	1,59	0,911	1,229
C3-A4	4,3	9,52	16,74	2,215	2,448	X	X	30,08	28,48	1,54	0,93	1,187
C3-A4a	4,65	10,24	17,16	2,203	2,455	X	X	29,68	26,8	1,45	0,875	1,179
C3-A5	7,4	15,25	22,52	2,061	2,432	X	X	23,34	27,01	1,44	0,958	1,307
C3-A6	7,01	14,79	20,63	2,111	2,478	X	X	23,36	25,21	1,52	0,916	1,279
C3-A7	5,27	11,36	18,91	2,157	2,433	X	X	25,03	24,38	1,55	0,917	1,264
C3-A8	6,06	12,92	19,87	2,132	2,448	X	X	22,98	22,8	1,43	1,043	1,346
C3-A9	7,11	14,87	21,3	2,093	2,459	X	X	21,88	21,95	1,5	1,005	1,436
C4-7	7,26	15,62	19,08	2,152	2,551	0,62	1,27	35,04	30,04	1,52	X	X
C4-6	7,64	16,05	20,99	2,102	2,504	0,52	0,98	27,29	28,21	1,54	X	X
C4-5	4,35	9,7	16,15	2,23	2,47	0,68	1,18	22,29	26,9	1,55	X	X
C4-4	6,87	14,54	20,41	2,117	2,477	0,59	2,02	22,57	24,53	1,55	X	X
C4-3	6,45	13,88	19,02	2,154	2,501	0,53	1,61	25,48	23,46	1,63	X	X
C4-2	6,56	13,94	20,09	2,126	2,47	0,51	1,03	26,00	24,69	1,41	X	X

Abreviaturas: AA = absorção de Água – PA = Porosidade Aparente – PT = Porosidade Total - MEA;s;c = Massa Específica Aparente; solta; compactada - MRFc;s;q = Módulo de Resistência à Flexão Crú; Seco e Queimado – LP = Limite de Plasticidade – IP = Índice de Plasticidade - RLp;s;q; = Prensado; Seco e Queimado; R(gra) = Índice de proporção entre finos e grossos nos ensaios granulométricos. Temperatura queima = 1145 ° C.

Quadro 06: Estatísticas descritiva dos ensaios físicos

	R(gra)	PF(%)	AA (%)	MEA (g/cm ²)	MEAs (g/cm ²)	MRFc (N/mm ²)	MRFs (N/mm ²)	MRFq (N/mm ²)	LP (%)	IP
Média	1,285	6,194	6,505	2,139	2,484	0,533	1,284	26,974	26,512	1,482
Erro padrão	0,154	0,272	0,230	0,010	0,007	0,039	0,090	0,997	0,944	0,016
Mediana	1,190	5,960	6,630	2,126	2,477	0,525	1,260	25,680	25,975	1,485
moda	1,460	5,960	6,560	2,126	2,470	#N/D	#N/D	#N/D	30,040	1,550
Desvio padrão	0,754	1,333	1,125	0,048	0,036	0,145	0,337	4,883	4,624	0,079
Variância da amostra	0,568	1,777	1,265	0,002	0,001	0,021	0,114	23,848	21,382	0,006
Curtose	2,445	-0,238	-0,029	-0,360	-0,037	-1,182	0,539	-0,712	6,968	-0,171
Assimetria	1,315	0,483	-0,566	0,616	0,697	-0,073	0,409	0,703	2,112	-0,308
Intervalo	3,210	5,080	4,380	0,177	0,127	0,450	1,330	16,020	21,870	0,330
Mínimo	0,260	4,170	4,300	2,061	2,432	0,310	0,690	20,550	21,510	1,300
Máximo	3,470	9,250	8,680	2,238	2,559	0,760	2,020	36,570	43,380	1,630
Contagem	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	14,000	14,000	24,000	24,000	24,000
Nível de confiança(95,0%)	0,318	0,563	0,475	0,020	0,015	0,084	0,195	2,062	1,953	0,033
Continuação...	RLp(%)	RLs(%)	RLq(%)	RLt(%)						
Média	0,293	-0,324	-7,071	-7,028						
Erro padrão	0,022	0,062	0,331	0,317						
Mediana	0,325	-0,240	-7,025	-7,255						
moda	0,330	-0,200	#N/D	-8,470						
Desvio padrão	0,083	0,230	1,237	1,187						
Variância da amostra	0,007	0,053	1,531	1,408						
Curtose	0,259	1,646	-1,187	-0,874						
Assimetria	-1,120	-1,141	0,359	0,553						
Intervalo	0,270	0,860	3,550	3,460						
Mínimo	0,110	-0,900	-8,670	-8,470						
Máximo	0,380	-0,040	-5,120	-5,010						
Contagem	14,000	14,000	14,000	14,000						
Nível de confiança(95,0%)	0,048	0,133	0,714	0,685						

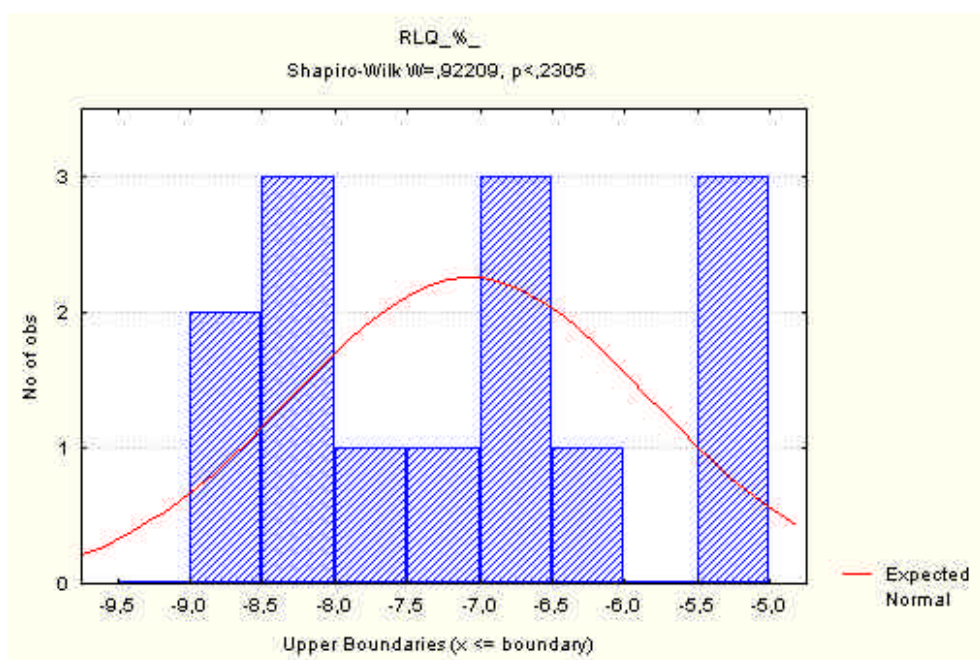
Obs: - Assimetria: 0 = normal; > 0 = (+); < 0 = (-)

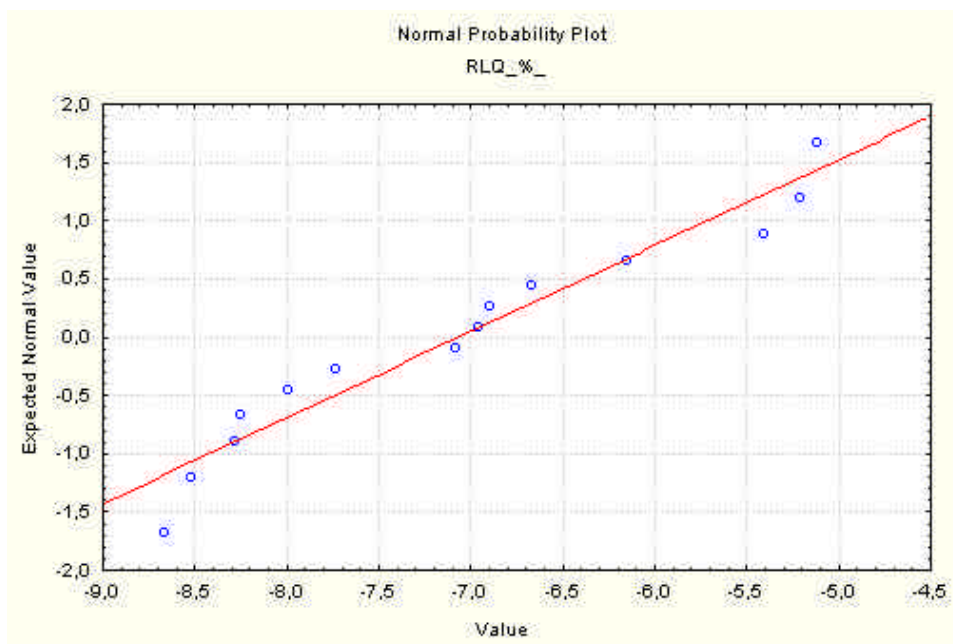
- Curtose: 0 = mesocúrtica; > 0 = leptocúrtica; < 0 = platicúrtica

Abreviaturas: AA = absorção de Água – PA = Porosidade Aparente – PT = Porosidade Total - MEA;s;c = Massa Específica Aparente; solta; compactada - MRFc;s;q = Módulo de Resistência à Flexão Crú; Seco e Queimado – LP = Limite de Plasticidade – IP = Índice de Plasticidade - RLp;s;q; = Prensado; Seco e Queimado; R(gra) = Índice de proporção entre finos e grossos nos ensaios granulométricos. Temperatura queima = 1145 ° C.

Análise Histográfica

As análise gráfica por meio de histogramas e curvas de probabilidade normal, mostram mais facilmente os desvios da normalidade, e outros problemas como “Ilhas” de resultados isolados nos histogramas das variáveis MRF seco e retração linear de queima, além de estruturas de possível bimodalidade dos dados nos histogramas das variáveis MRFq e retração linear de queima, sendo este último apresentado como exemplo (histograma e gráfico de probabilidade normal respectivamente).





7.1.4.8. Discussão dos Resultados Estatísticos para Dados Físicos

Os resultados poderiam indicar que certos ensaios não são, a princípio, muito recomendados para uso em rotina, devido ao seu comportamento anômalo; no entanto, será preciso verificar isto na continuidade do desenvolvimento da jazida.

Um fato a ser considerado é que distribuições bimodais ou multimodais e “ilhas” de dados indicam misturas de populações e, portanto, podem estar refletindo apenas as diferenças existentes entre os diferentes grupos de amostras, oriundos das diferentes camadas individualizadas e amostradas na jazida.

É importante esclarecer que a base de dados utilizada nesta análise contou apenas com as amostras das colunas C2 e C4, que foram queimadas em um mesmo forno de laboratório, não sendo este, portanto, um motivo para justificar a mistura nos dados.

Outro ponto a ser comentado é a amplitude de algumas variáveis, como a absorção d’água, por exemplo, que é de 4,38%, e levando-se em conta o desvio padrão que é de 1,12, conclui-se que essa amplitude poderá atingir até cerca de 6,7% para o restante da jazida, considerando que a variável possui distribuição quase normal, como é indicado pelos valores de assimetria e curtose.

Uma amplitude de 6,7% é muito próxima da amplitude dos dados de fábrica para os ensaios de rotina no produto final, sendo que a diferença de centralização (média mais alta nas amostras da jazida) não pode ser levada em conta por

enquanto, pois a estatística clássica aplicada até o momento não permite estabelecer uma relação entre os resultados e os volumes ou tonelagens envolvidos.

Apenas será possível estabelecer tais relações a partir da base de dados de sondagem e com aplicação da geoestatística (que trata os dados de forma georreferenciada e considerando o volume das amostras e o alcance volumétrico dos resultados na jazida, ou seja, o volume de influência de cada amostra).

Outro ponto é o número reduzido de amostras em relação ao conjunto da jazida, o que é normal para uma etapa de amostragem preliminar.

Para se tentar esclarecer um pouco mais as tendências à bimodalidade de alguns resultados físicos obtidos até agora e entender melhor as relações entre os dados químicos, no próximo item é feita uma análise multivariada dos dados, sendo esse um caminho melhor do que separar os dados por camadas para análise de cada grupo separado, o que acarretaria uma redução muito grande no número de amostras computadas.

7.1.5. Análise Estatística Multivariada

7.1.5.1. Regressão Múltipla para Análises Químicas

A primeira análise multivariada efetuada foi a regressão múltipla que – como já discutido anteriormente – não é um teste multivariado *sensu strictu*, mas pode ajudar a entender a relação entre as variáveis – quadros 07 e 08.

Um dos objetivos principais dessa análise é estudar, entre os ensaios simples que podem ser feitos em fábrica, no caso granulometria e perda ao fogo, qual deles é mais representativo das variações químicas existentes.

Os resultados numéricos indicam que a sílica, o alumínio e o cálcio são os elementos mais explicados indiretamente pela variação granulométrica e pela perda ao fogo, sendo a granulometria, aparentemente, mais eficiente para o controle.

Quadro 07: Resumo da regressão múltipla para variável dependente: R (gra) (proporção de finos)						
R= ,85173805 R²= ,72545771 Adjusted R²= ,42346120						
F(11,10)=2,4022 p<,08925 Std.Error of estimate: ,55624						
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(10)	p-level
Intercpt			-72,4974	66,63437	-1,08799	0,302126
SiO2	1,010341	1,227028	0,541632	0,657795	0,823405	0,429477
Al2O3	1,875217	1,145248	1,047621	0,639812	1,63739	0,13259
Fe2O3	-0,28865	1,052458	-0,50456	1,839695	-0,27426	0,789464
TiO2	0,105284	0,960712	1,314335	11,9933	0,109589	0,914903
MnO	0,294045	0,320043	8,078236	8,792478	0,918767	0,379845
MgO	0,063268	0,614583	0,146868	1,426676	0,102944	0,920043
CaO	2,130167	3,118248	3,578862	5,238922	0,683129	0,510042
Na2O	0,671402	0,897078	1,02443	1,368768	0,748433	0,471435
K2O	0,807908	0,341027	3,056847	1,290329	2,369045	0,039341
P2O5	-0,81411	2,046638	-2,6494	6,660482	-0,39778	0,699153
LOI	1,850681	0,758231	2,269542	0,92984	2,440788	0,034802

Quadro 08: Resumo da regressão múltipla para variável dependente: LOI – Perda ao Fogo						
R= ,98492355 R²= ,97007440 Adjusted R²= ,93715625						
F(11,10)=29,469 p<,00000 Std.Error of estimate: ,14975						
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(10)	p-level
Intercpt			45,9827	12,1851	3,773683	0,003639
GRA	0,201728	0,082649	0,164497	0,067395	2,440788	0,034802
SiO2	-0,94066	0,294543	-0,41121	0,128759	-3,19362	0,009595
Al2O3	-0,96519	0,296877	-0,4397	0,135245	-3,25115	0,008704
Fe2O3	-0,25981	0,338963	-0,37033	0,483155	-0,76648	0,461099
TiO2	-0,07509	0,316484	-0,76439	3,22174	-0,23726	0,817245
MnO	-0,1114	0,104241	-2,49569	2,335257	-1,0687	0,310323
MgO	-0,14094	0,198062	-0,2668	0,37492	-0,71161	0,492975
CaO	-1,26468	0,974369	-1,73262	1,334899	-1,29794	0,223445
Na2O	-0,49267	0,261457	-0,61299	0,325307	-1,88434	0,088886
K2O	-0,27716	0,110045	-0,85513	0,339529	-2,51856	0,030462
P2O5	0,527144	0,660314	1,398902	1,7523	0,798323	0,443229

7.1.5.2. Análise de Agrupamento para Análises Químicas

Um outro objetivo é verificar a relação entre as amostras, o que pode dar uma boa indicação do número de camadas existentes na jazida e, portanto, comprovar se a divisão anteriormente adotada com base nos dados geológicos de campo tem, de fato, respaldo numérico.

O dendrograma dos agrupamentos para os casos (amostras) é apresentado na figura 28.

Os resultados mostram, efetivamente, apenas uma grande subdivisão que coincide, de um lado, com os grupos de camadas mais moles e de outro, com os grupos de camadas mais duras.

Grupo 1 - Camadas mais moles: amostras C4-7; C2-C; C3-A2; C4-6; C2-B; C2-A e C3-A1. (Amostras das camadas 1a; 1b e parte solta de cima);

Grupo 2 – Camadas mais duras: amostras C4-5; C3-A4a; C3-A4; C4-3; C4-2; C2-D; C3-A5; C3A9; C2E3; C2E1; C2E2; C3A6 e C3-A8. (Amostras das camadas 2a; 2b e 3).

Uma configuração um pouco diferente foi obtida com os resultados dos ensaios cerâmicos.

7.1.5.3. Análise das Componentes Principais (PCA) para Química

Aprofundando a análise multivariada, agora buscando justificar quais as variáveis que mais explicam a variabilidade do conjunto e que mais influenciam na configuração dos agrupamentos obtidos, optou-se pela análise de PCA. Os quadros 09 e 10 apresentam os resultados com e sem a granulometria na base de dados, respectivamente.

Quadro 09: Principais componentes extraídas e carga em cada fator					
Usando a granulometria na base de dados.					
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5
GRA	-0,19	0,14	0,954	-0,015	-0,003
SiO2	0,631	0,641	0,012	-0,273	0,135
Al2O3	-0,637	0,242	-0,141	-0,637	0,063
Fe2O3	-0,187	0,01	-0,177	0,216	-0,269
TiO2	-0,026	0,002	-0,021	0,013	-0,028
MnO	0,008	-0,005	0,012	-0,009	0,022
MgO	0,124	-0,128	0,101	0,113	-0,376
CaO	0,13	-0,413	0,12	-0,102	0,358
Na2O	0,162	-0,422	0,071	-0,261	0,041
K2O	0,021	0,063	0,079	0,039	-0,616
P2O5	0,049	-0,233	0,045	-0,027	0,282
LOI	-0,25	0,296	-0,026	0,616	0,417

Quadro 10: Principais componentes extraídas e carga em cada fator					
Sem a presença da granulometria na base de dados					
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5
SiO2	0,644	0,63	-0,273	0,135	-0,086
Al2O3	-0,648	0,262	-0,636	0,063	0,15
Fe2O3	-0,193	0,029	0,202	-0,273	-0,762
TiO2	-0,027	0,004	0,011	-0,029	-0,097
MnO	0,008	-0,006	-0,008	0,022	0,022
MgO	0,128	-0,138	0,12	-0,374	0,489
CaO	0,133	-0,425	-0,098	0,359	0,127
Na2O	0,164	-0,429	-0,262	0,041	-0,188
K2O	0,023	0,055	0,046	-0,614	0,223
P2O5	0,05	-0,238	-0,027	0,282	-0,032
LOI	-0,253	0,3	0,62	0,418	0,195

Os resultados da análise de componentes principais mostram que as variáveis que mais controlam a variabilidade da base de dados, dentro do primeiro fator de importância, são a sílica e a alumina e, secundariamente, o LOI, independentemente da presença da granulometria na análise que, quando usada, aparece logo em seguida das três citadas acima em ordem de importância.

Para o segundo fator aparecem, então, os álcalis cálcio e sódio, ficando o potássio representativo apenas no quarto fator carregado.

7.1.5.4. Discussão dos Resultados da Estatística Multivariada para Análises Químicas

Em linhas gerais, os resultados mais importantes acima são indicação de que é possível utilizar a granulometria ou, eventualmente, a perda ao fogo para uma boa inferência das variações químicas da jazida, principalmente para os elementos sílica, alumínio e cálcio, no caso, relações até certo ponto já conhecidas (sílica x granulometria; cálcio x perda ao fogo, quando na forma de carbonatos) e, além disso, está também vinculado o sódio, ainda que em menor grau.

Por outro lado, o potássio mostrou-se, em todas as análises, o elemento menos correlacionado com as demais variáveis, entre os elementos de maior importância do ponto de vista cerâmico, tendo sido evidenciada uma baixa correlação geral e alguma relação a partir do quarto fator do PCA, o que nem é possível representar graficamente em conjunto com os três primeiros fatores, para visualização, pois resultaria numa representação em quatro dimensões.

7.1.5.5. Regressão Múltipla dos Dados Físicos

Para completar a análise estatística multivariada das amostras obtidas na jazida é preciso avaliar, também, os dados de ensaios cerâmicos, iniciando aqui novamente pela regressão múltipla, apresentada nos quadros a seguir.

O quadro 11 traz os resultados para a variável dependente granulometria (na forma de proporção de finos – R(gra), e o quadro 12 os resultados para a variável dependente perda ao fogo (PF).

A regressão ou correlação múltipla demonstra que a variável dependente granulometria, representada pela proporção simples de finos obtida dos ensaios granulométricos, pode ser explicada pelas variações da retração linear de queima (RLQ); da retração linear total (RLT) e da resistência a seco (MRFs). O mesmo ocorre com a perda ao fogo como dependente, a primeira, contudo, sendo aparentemente mais correlacionada com as demais. Para os demais ensaios, as variáveis não se mostram tão eficientes.

Quadro 11: Resumo da regressão múltipla para a variável dependente R (gra) – Proporção de finos na granulometria.					
R= ,99955614 R²= ,99911248 Adjusted R²= ,98846224					
F(12,1)=93,811 p<,08053 Std.Error of estimate: ,08962					
		St. Err.		St. Err.	
	BETA	of BETA	B	of B	t(1)
Intercpt			35,0812	10,4346	3,362008
PF %	1,275165	0,375816	0,878999	0,259058	3,393056
AA %	-0,42616	0,184814	-0,36088	0,156505	-2,30588
MEA	-0,53314	0,192091	-11,3051	4,073227	-2,77546
MRFC	-0,07673	0,341441	-0,44025	1,959144	-0,22472
MRFS	1,158399	0,330519	2,865174	0,817502	3,50479
MRFQ	-0,29262	0,208064	-0,04745	0,03374	-1,40638
LP	-0,56873	0,181407	-0,15392	0,049094	-3,13509
IP	-0,62637	0,122829	-6,57438	1,289208	-5,09955
RLP %	-0,63588	0,260872	-6,36634	2,611828	-2,4375
RLS %	-0,24095	0,08145	-0,87269	0,294997	-2,9583
RLQ %	-9,1357	2,840847	-6,16021	1,915586	-3,21584
RLT %	8,813244	2,583698	6,196032	1,816434	3,411097

Quadro 12: Resumo da regressão múltipla para a variável dependente Perda ao Fogo (%)					
R= ,99974887 R²= ,99949781 Adjusted R²= ,99347147					
F(12,1)=165,86 p<,06061 Std.Error of estimate: ,09780					
		St. Err.		St. Err.	
	BETA	Of BETA	B	of B	t(1)
Intercpt			-39,0184	8,530431	-4,57402
R GRÂ	0,72154	0,212652	1,046738	0,308494	3,393056
AA %	0,323182	0,132829	0,397027	0,163179	2,433073
MEA	0,408864	0,120591	12,57736	3,709581	3,390508
MRFC	0,124104	0,232155	1,033034	1,932446	0,534573
MRFS	-0,90356	0,068466	-3,24211	0,245666	-13,1972
MRFQ	0,251145	0,099353	0,059081	0,023373	2,527798
LP	0,446207	0,050423	0,175183	0,019796	8,849315
IP	0,474837	0,071191	7,23013	1,083996	6,669886
RLP %	0,512945	0,064696	7,450175	0,939667	7,92853
RLS %	0,179223	0,066968	0,941671	0,351862	2,676253
RLQ %	7,165835	0,665597	7,009686	0,651093	10,76603
RLT %	-6,88324	0,590652	-7,02019	0,602403	-11,6536

7.1.5.6. Análise de Agrupamento para Dados Físicos

Voltando a verificar a compartimentação geológica realizada, foi preparado um dendrograma (figura 29) mostrando as associações para a análise das variáveis cerâmicas com agrupamento dos casos (amostras).

Como pode ser visto na figura 29 os resultados do agrupamento dos casos (amostras) para os ensaios físicos são mais discriminantes e mostram a real existência dos cinco grupos de amostras, cada um representando uma das camadas geológicas individualizadas na fase de campo.

Os grupos são os seguintes:

- 1) Uma primeira grande subdivisão agrupando de um lado as amostras das camadas mais moles e de outro as das camadas mais duras, como no caso dos resultados químicos.
- 2) Dentro desses grupos estão as subdivisões secundárias, representado as cinco camadas da base para o topo, mais uma camada intermediária entre a camada 3 e a 2b, amostrada por apresentar alguns níveis de granulometria diferenciada das demais (observações de campo) como segue:

Camada 3: grupo das amostras C2-E3; C3-A9; C3-A8; C2-E1;

Pequena camada diferenciada entre 3 e 2b: Grupo das amostras C4-2; C3-A7; C4-3; C2-E2;

Camada 2b: grupo das amostras C4-4; C3-A6; C3-A5; C2-F;

Camada 2a: grupo das amostras C3-A4a; C3-A4

Camada 1b: grupo das amostras C4-6; C2-D; C2-C

Camada1a: grupo das amostras C3-A1; C3-A2; C2-B; C4-7; C2A

Como pode ser notado, existem algumas exceções ou discrepâncias contaminando alguns grupos, o que é melhor entendido na modelagem espacial 2D das variáveis cerâmicas, apresentada em item posterior e que estão associadas às variações laterais da jazida.

Por outro lado os agrupamentos poderiam não ter aparecido como para o caso das análises, e se ocorrem aqui não terá sido por coincidência.

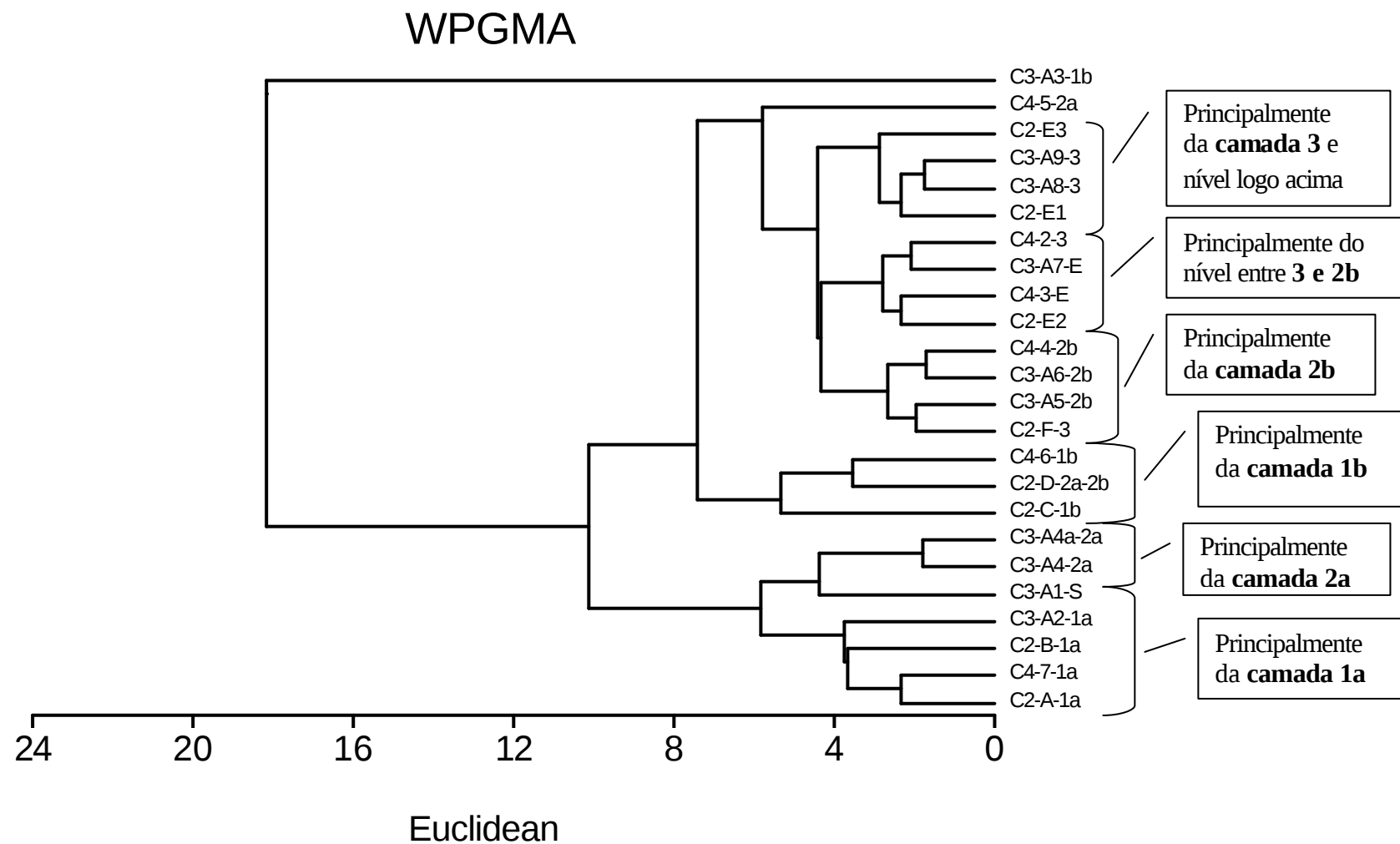


Figura 29: Dendrograma para agrupamento das amostras pelos ensaios físicos (Os códigos da camadas estão logo após o número das amostras - 3; 2b; 2a; 1b; 1a , E para a camada entre 3 e 2b e S para o material solto acima de 1^a).

7.1.5.7. Análise das Componentes Principais para Dados Físicos

Da mesma forma que feito anteriormente, a análise das componentes principais é usada para verificar quais variáveis cerâmicas estão controlando variabilidade e agrupamentos.

Para o caso em questão, o método foi usado com e sem padronização das unidades da base de dados (quadro 13), o que não tinha sentido ser feito para o caso anterior das análises químicas.

Quadro 13: Principais componentes extraídas e carga em cada fator					
Sem padronização					
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5
R(grâ)	0,033	-0,1	0,073	0,181	0,973
PF(%)	0,158	-0,102	0,317	0,838	-0,218
AA (%)	0,163	0,004	0,86	-0,421	-0,002
MEA	0,054	0,001	0,195	0,069	-0,003
MEAs	0,062	0,001	0,227	0,081	-0,004
MRFq	0,692	-0,68	-0,19	-0,137	-0,051
LP	0,679	0,719	-0,133	0,011	0,057
IP	0,037	0,021	0,111	0,242	-0,004
Com Dados Padronizados					
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5
R(grâ)	0,02	0,232	0,273	-0,005	-0,001
PF(%)	0,055	0,6	0,707	-0,012	-0,004
AA (%)	0,067	0,747	-0,653	-0,015	-0,005
MEA	0,524	-0,167	0	-0,118	-0,037
MEAs	0,813	0	0	-0,183	-0,057
MRFq	0,065	0	0	-0,015	-0,005
LP	0,067	0	0	-0,015	0,998
IP	0,22	0	0	0,976	0

Os resultados mostram que os fatores de grande variabilidade individual predominam nos resultados sem padronização, mas para os dados padronizados, as variáveis de densidade (MEA e MEAs) predominam como controladoras da variabilidade do conjunto e devem ter grande influência no agrupamento dos dados.

7.1.5.8. Discussão dos Resultados da Estatística Multivariada para os Dados Físicos

Seguem os fatos a destacar da análise multivariada :

As variáveis granulométricas (proporção de finos) e de densidade (massa específica aparente) são as mais representativas do conjunto de dados e poderão ser priorizadas em controles futuros da jazida, sendo também a perda ao fogo uma opção secundária.

A análise de agrupamento das amostras para os ensaios físicos é sustentação à subdivisão geológica de campo, mas aponta algumas exceções (vide modelagem 2D para detalhes).

7.1.6. Modelagem 2D e 3D das Variáveis Analisadas

7.1.6.1. Aspectos Gerais

Uma lavra realmente eficaz deve permitir a elaboração de planos de homogeneização que garantam constância de alimentação na planta industrial.

Essa constância de alimentação não se refere exatamente às quantidades, mas sim à qualidade do minério, o que se traduz por homogeneidade química e física. Para que isso seja obtido é necessário um trabalho de amostragem sistemática, de preferência por sondagem.

Assim, se o plano de lavra atualmente na jazida em estudo ainda não é o ideal, é porque as informações tecnológicas dos ensaios obtidos com as amostras de frente de lavra permitem apenas uma compartimentação vertical em camadas. Será necessário desenvolver um modelo discretizado em blocos de lavra para cada camada, com base nas técnicas propostas anteriormente para que se possa estabilizar as variáveis em questão.

Apesar desses problemas, é possível utilizar os dados geológicos e tecnológicos para elaborar uma interpretação inicial da distribuição espacial dessas variáveis cerâmicas, de forma a demonstrar as hipóteses de trabalho da pesquisa, ou seja, verificar a continuidade lateral do minério ou, em outras palavras, avaliar as

variações laterais da jazida, uma vez que o tratamento numérico apresentado nos itens anteriores permitiu apenas visualizar mais claramente as variações verticais.

Diante do exposto, foram então elaborados modelos em duas dimensões das distribuições das principais variáveis analisadas (tanto químicas quanto cerâmicas). Esses modelos – que não devem ser confundidos com perfis geológicos – são apresentados ao longo dos próximos sub itens, a partir da figura 30 até a figura 34 para as variáveis químicas e da figura 35 à figura 37 para as variáveis cerâmicas. Os comentários de cada grupo de variáveis apresentam-se agrupados ao final de cada um deles.

7.1.6.2. Modelagem 2D das Variáveis Químicas

As variáveis químicas modeladas em 2D para a frente de lavra amostrada foram nas formas de óxidos em porcentagem em peso: Sílica (SiO_2); Alumina (Al_2O_3); Sódio (Na_2O); Potássio (K_2O) e a perda ao fogo (LOI).

O método de interpolação usado neste caso é o manual, com base na análise visual e interpretação geológica da distribuição das variáveis. Esse método é usado classicamente quando os dados não suportam uma modelagem numérica estatística – como é o caso – dado ao número relativamente pequeno de amostras (cerca de 25) e a sua distribuição em calhas irregularmente espaçadas e não em malha.

É importante frisar que os estudos de boa parte dos depósitos minerais conhecidos iniciaram-se a partir de técnicas geológicas básicas semelhantes, para depois serem intensificados com técnicas mais apuradas.

A escolha dos intervalos individualizados nos modelos foi guiada por critérios como a amplitude de variação de cada variável e que se considerou como potencialmente provável para influenciar no processo produtivo, ou seja, se uma variável possui pouca variação poderiam ser utilizados intervalos de dados bastante estreitos para destacar o pouco de variação existente, mas o efeito dessa variação seria praticamente inócuo para o processo industrial, em vista do que o modelo não teria sentido prático.

De um modo geral, procurou-se tratar a questão com o máximo de bom senso possível.

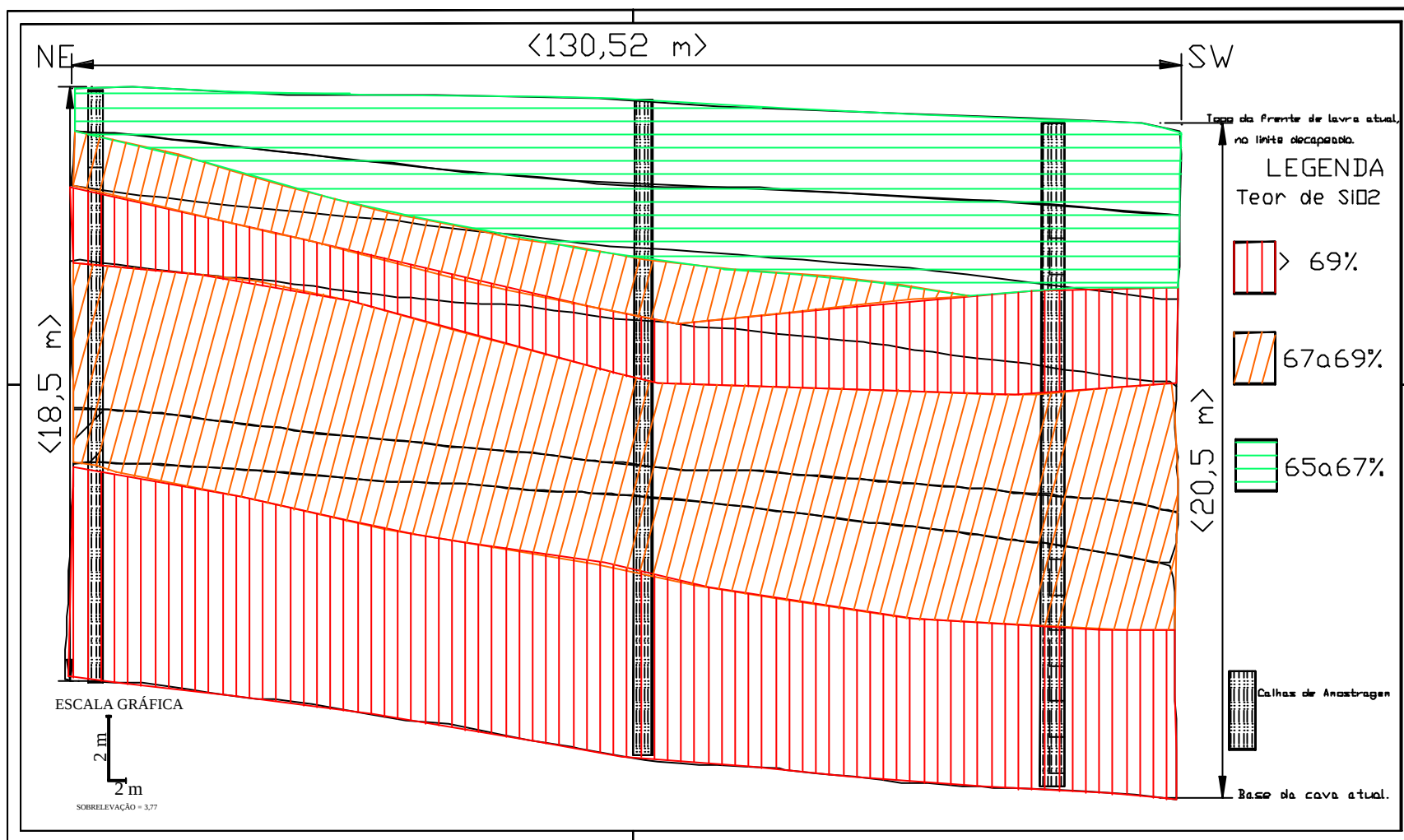


Figura 30: Distribuição da Variável SiO₂, representada em duas dimensões.

FRETE DE LAVRA EM 01/04/2000; Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.

Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.

Análises químicas realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM - IGCE - UNESP/RC

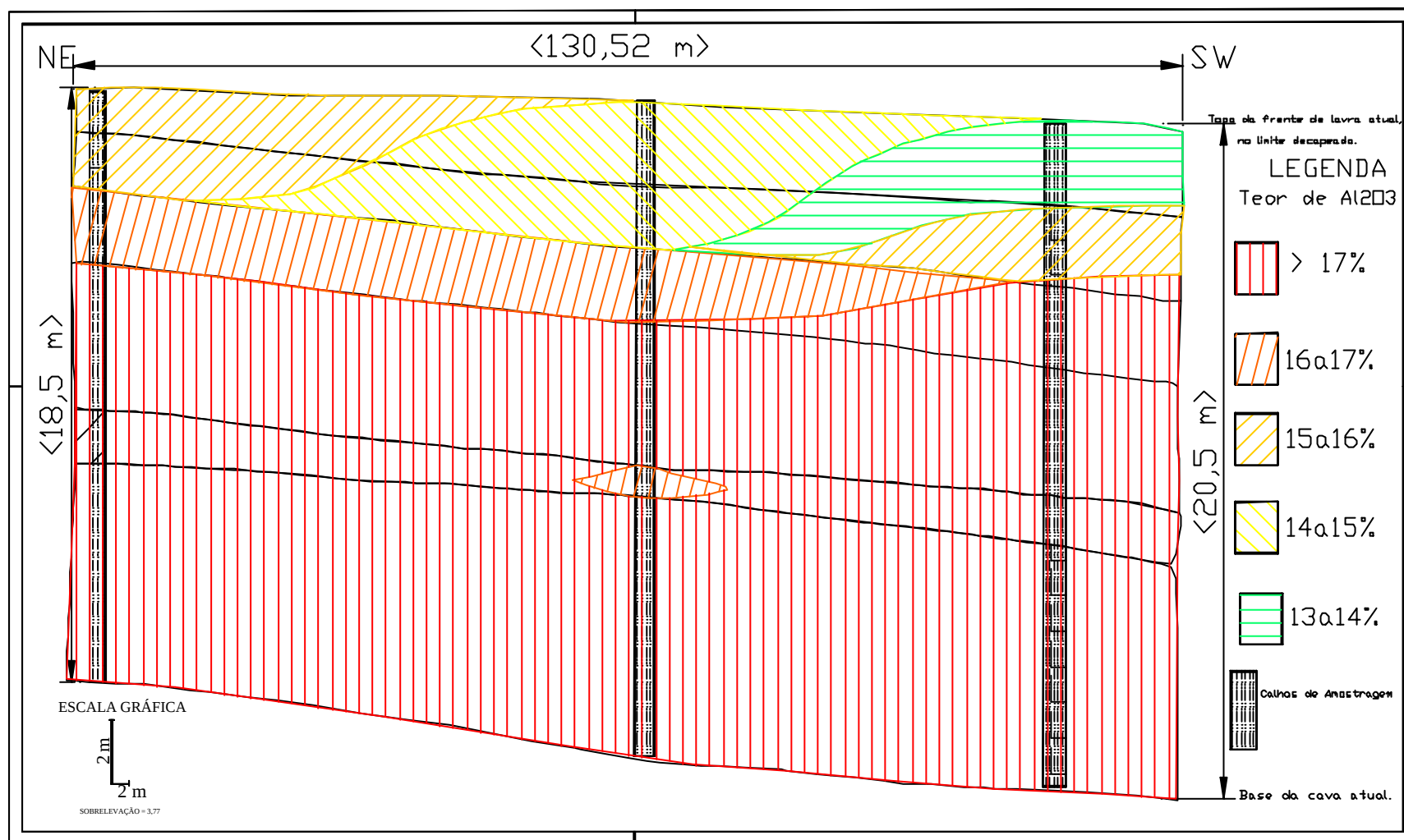


Figura 31: Distribuição da Variável Al_2O_3 , representada em duas dimensões.

FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000,1 Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.

Total de 25 amostra analisadas, distribuidas em três canais de amostragem.

Análises químicas realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM - IGCE - UNESP/RC

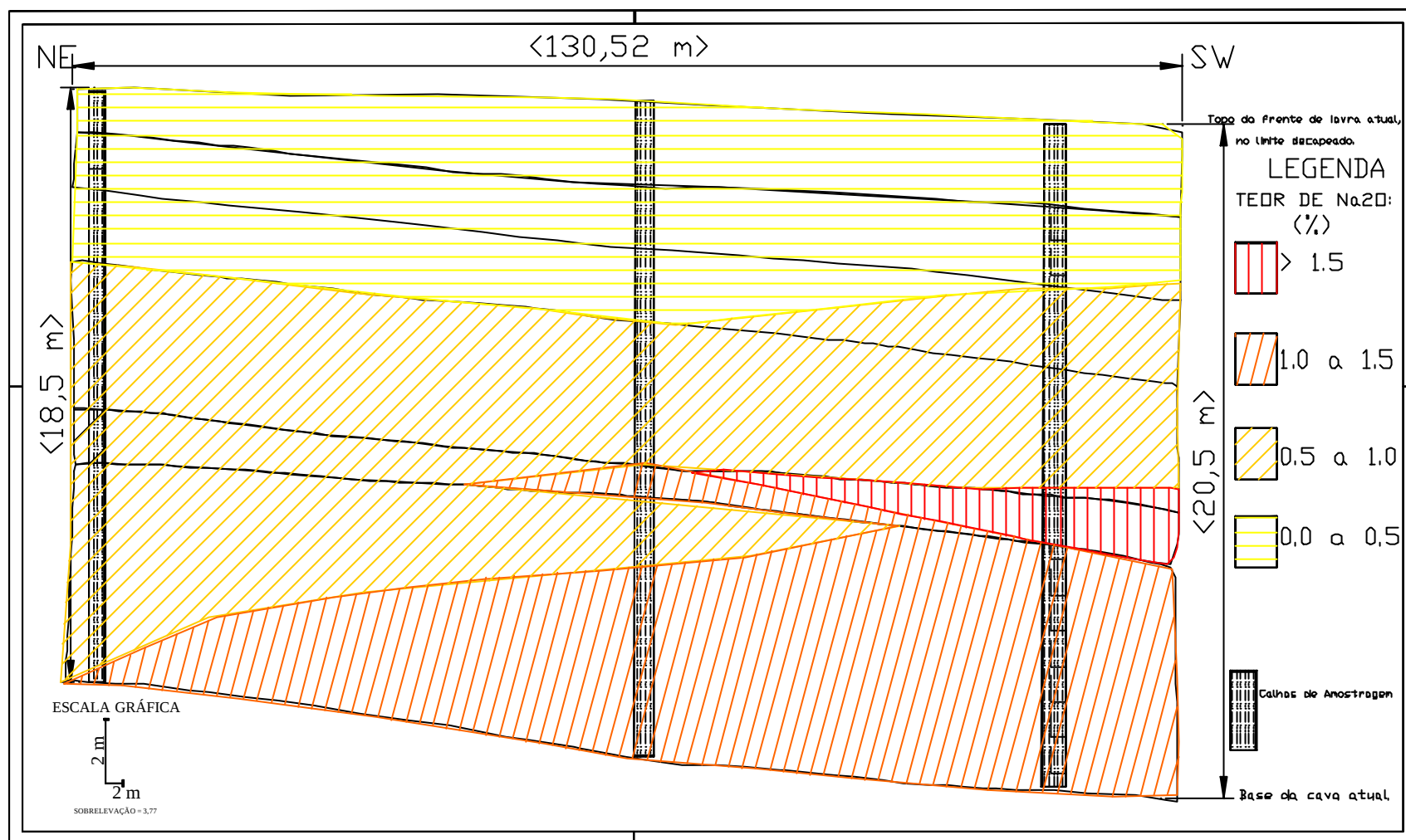


Figura 32: Distribuição da Variável Na_2O , representada em duas dimensões.

FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000: Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.

Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.

Análises químicas realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM - IGCE - UNESP/RC

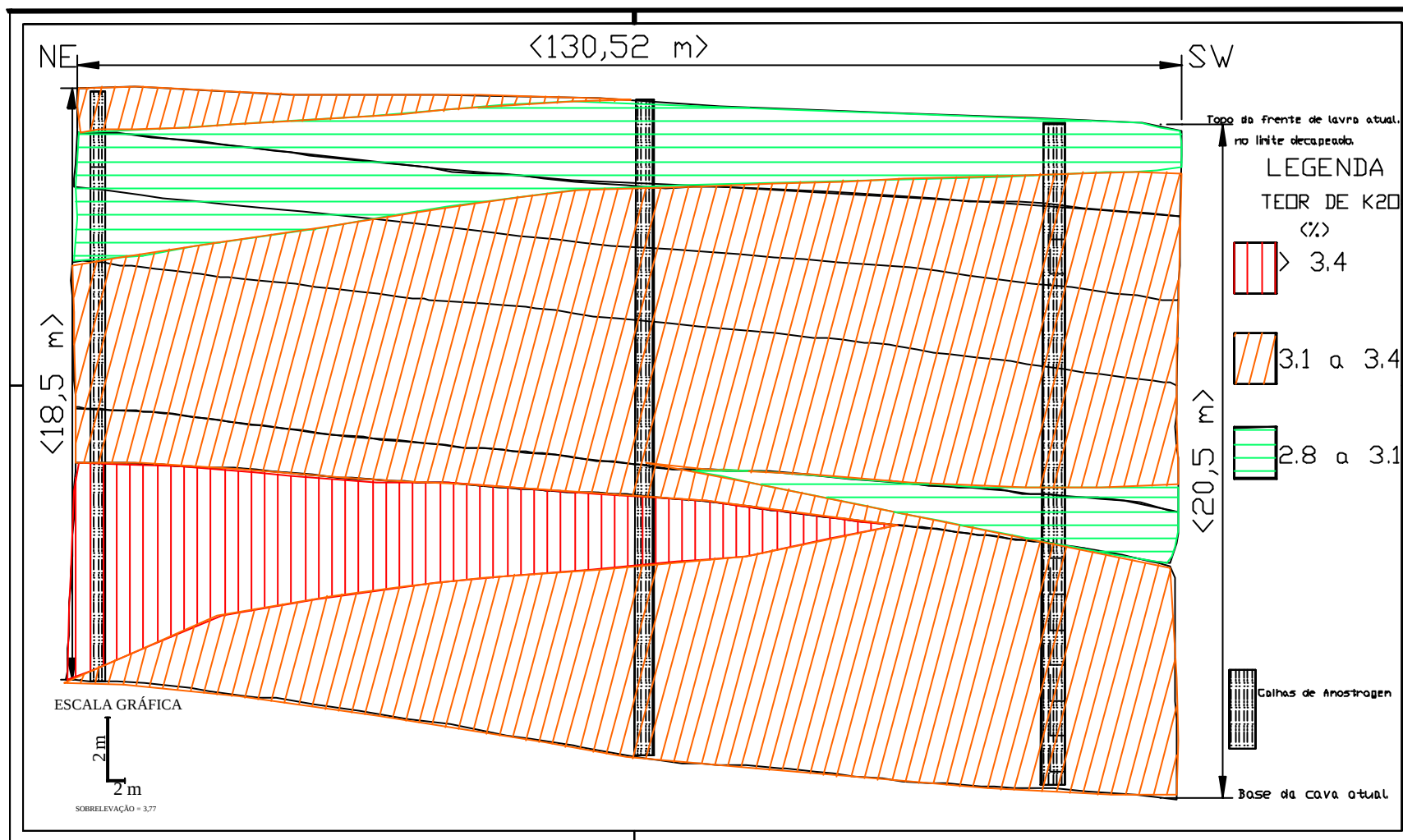


Figura 33: Distribuição da Variável K₂O, representada em duas dimensões.

FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000. Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.

Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.

Análises químicas realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM - IGCE - UNESP/RC

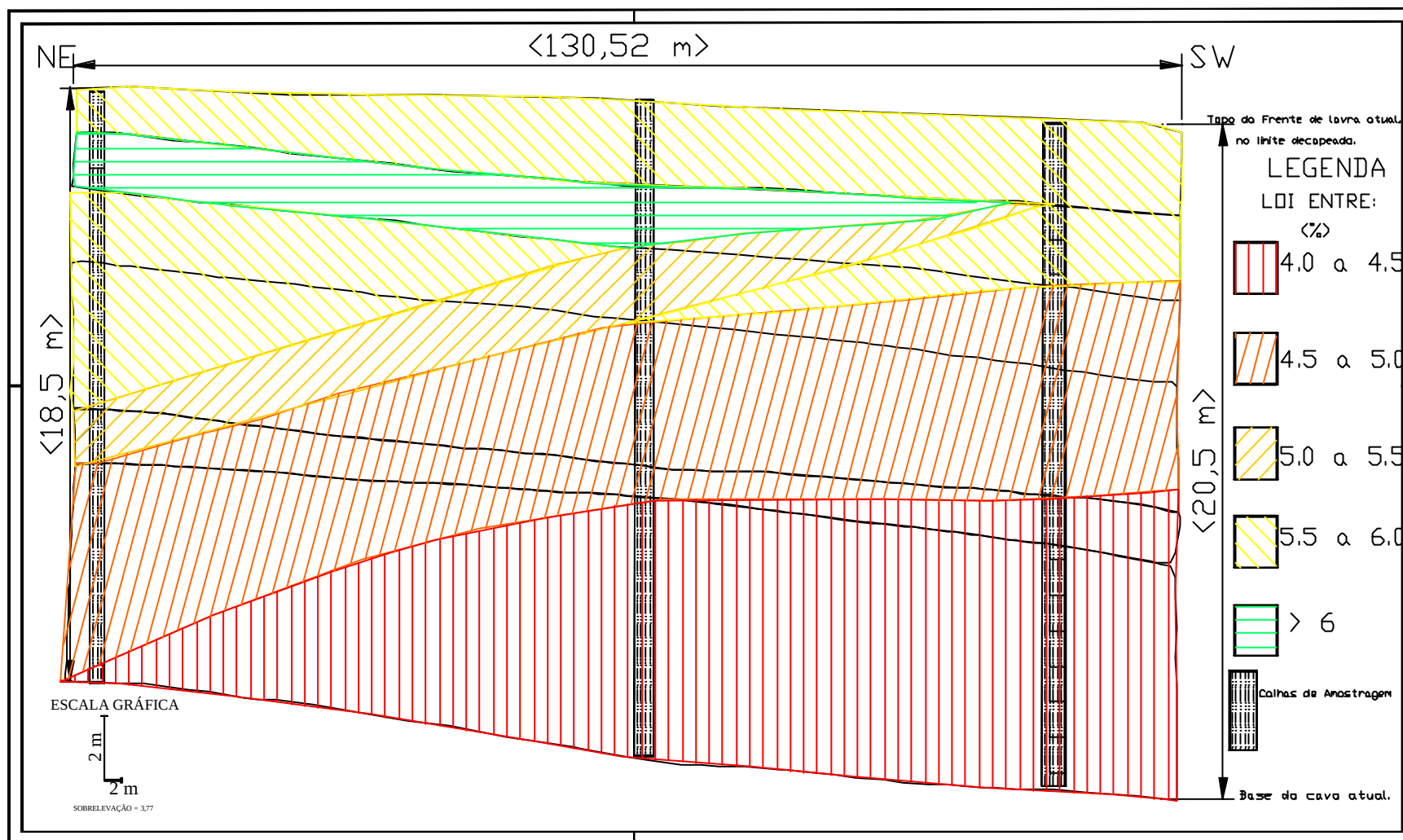


Figura 34: Distribuição da Variável LDI - lost on fire (perda ao fogo), representada em duas dimensões. FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000. Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico. Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem. Análises químicas realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM - IGCE - UNESP/RC

7.1.6.3. Discussão dos Resultados - Variáveis Química

As figuras anteriores mostram que a distribuição espacial das variáveis químicas não é muito irregular, mas, em geral, as camadas geológicas preestabelecidas são truncadas pelas variações. A sílica é um bom exemplo disso.

A alumina, por sua vez, é um caso interessante. Como foi constatado na análise estatística básica, ela possui uma das maiores variâncias do grupo; no entanto, no modelo 2D é possível perceber que tal variação está muito mais concentrada nas camadas de topo, sendo toda a parte média a inferior do perfil mais homogênea para essa variável.

A questão acima explica-se devido ao fato de que a maior parte das variações encontradas pode ser atribuída aos processos de alteração supérgena provocada pela percolação de água e controlada pelas condições geoquímicas do perfil (potenciais de Eh e Ph dominantes). Como se sabe, o alumínio possui mobilidade química muito baixa nas condições convencionais da maioria dos perfis de alteração. Dessa forma, a sua mobilização concentra-se apenas nas partes mais superficiais e mais sujeitas à influência de fatores ácidos orgânicos que podem reduzir os valores de Ph e Eh, facilitando um pouco a mobilização do alumínio.

Já os elementos mais solúveis em ampla faixa de condições de Eh e Ph, como é o caso dos álcalis, apresentam maior distribuição e variação no perfil. Nota-se para o Sódio e para o Potássio a influência dos fluxos aquosos verticais e laterais, acompanhando o mergulho regional das camadas (contatos geológicos em preto nas figuras).

O LOI, como está associado com todo o conjunto de elementos e minerais presentes, também mostra uma variação mais significativa.

No geral, destaca-se o truncamento das camadas, inclusive delimitando seus domínios laterais para diversas variáveis.

7.1.6.4. Modelagem 2D - Variáveis Cerâmicas

As variáveis cerâmicas escolhidas para serem modeladas em 2D foram: o fator granulométrico (proporção de finos em relação aos grossos (R)); a resistência após queima (MRFq) e a absorção de água, em função de suas importâncias para controle de processo e controles de produto acabado, respectivamente.

A modelagem das demais variáveis se tornaria redundante e inútil, uma vez que com essas já é possível demonstrar o necessário, deixando a modelagem mais completa para os dados de sondagem que serão muito mais precisos e úteis. Lembrando que boa parte desse trecho da jazida aqui modelado já foi extraído, não se justificam detalhamentos, salvo se o que foi feito não tivesse permitido esclarecer as hipóteses de trabalho, o que não é o caso, como pode ser visto em seguida nas figuras 35 a 37.

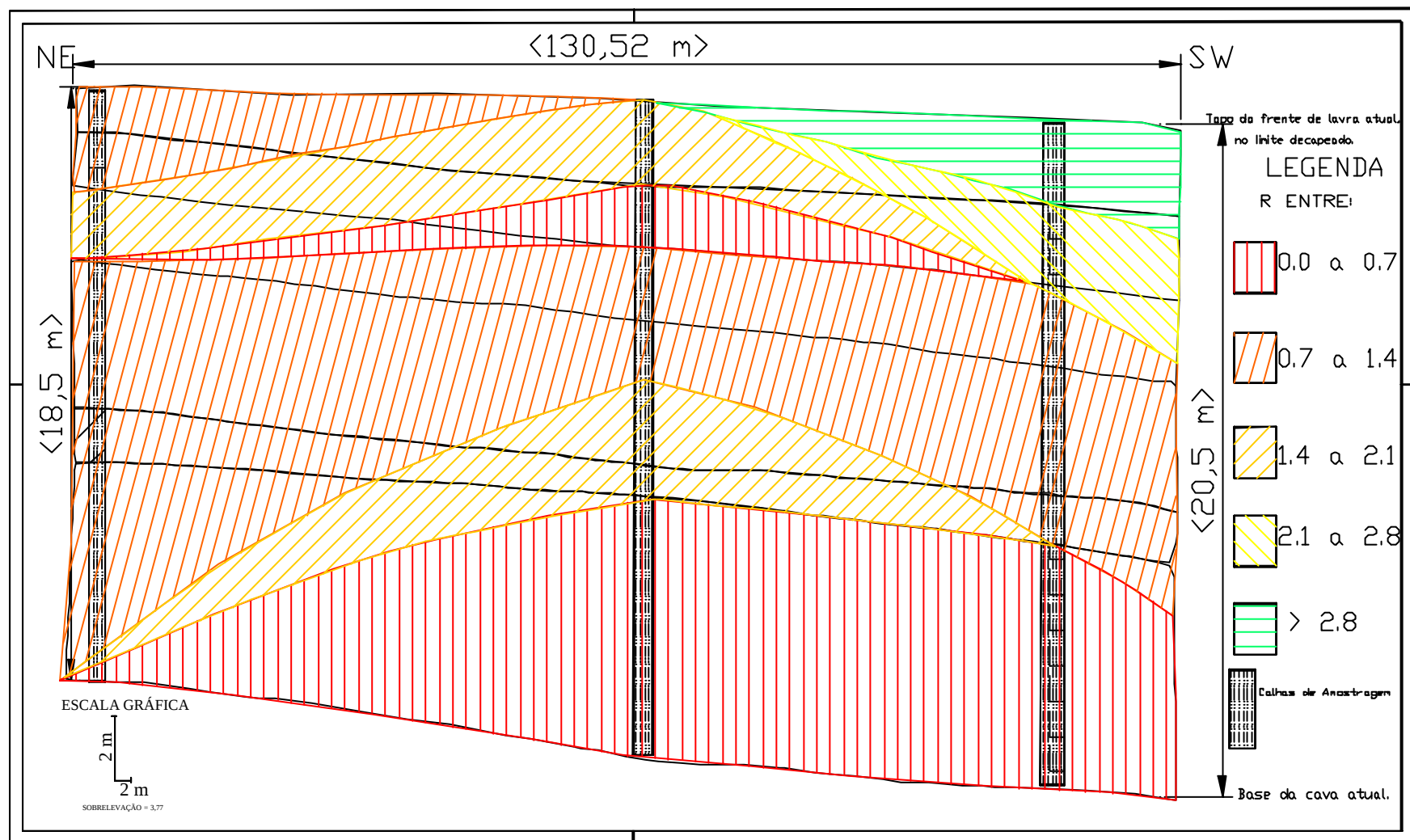


Figura 35: Distribuição da Variável R - (Proporção de finos), representada em duas dimensões.
 FRETE DE LAVRA EM 01/04/2000.1. Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.
 Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.
 Ensaios realizados no Laboratório de Ensaios Cerâmicos do Sindicato de Santa Gertrudes.

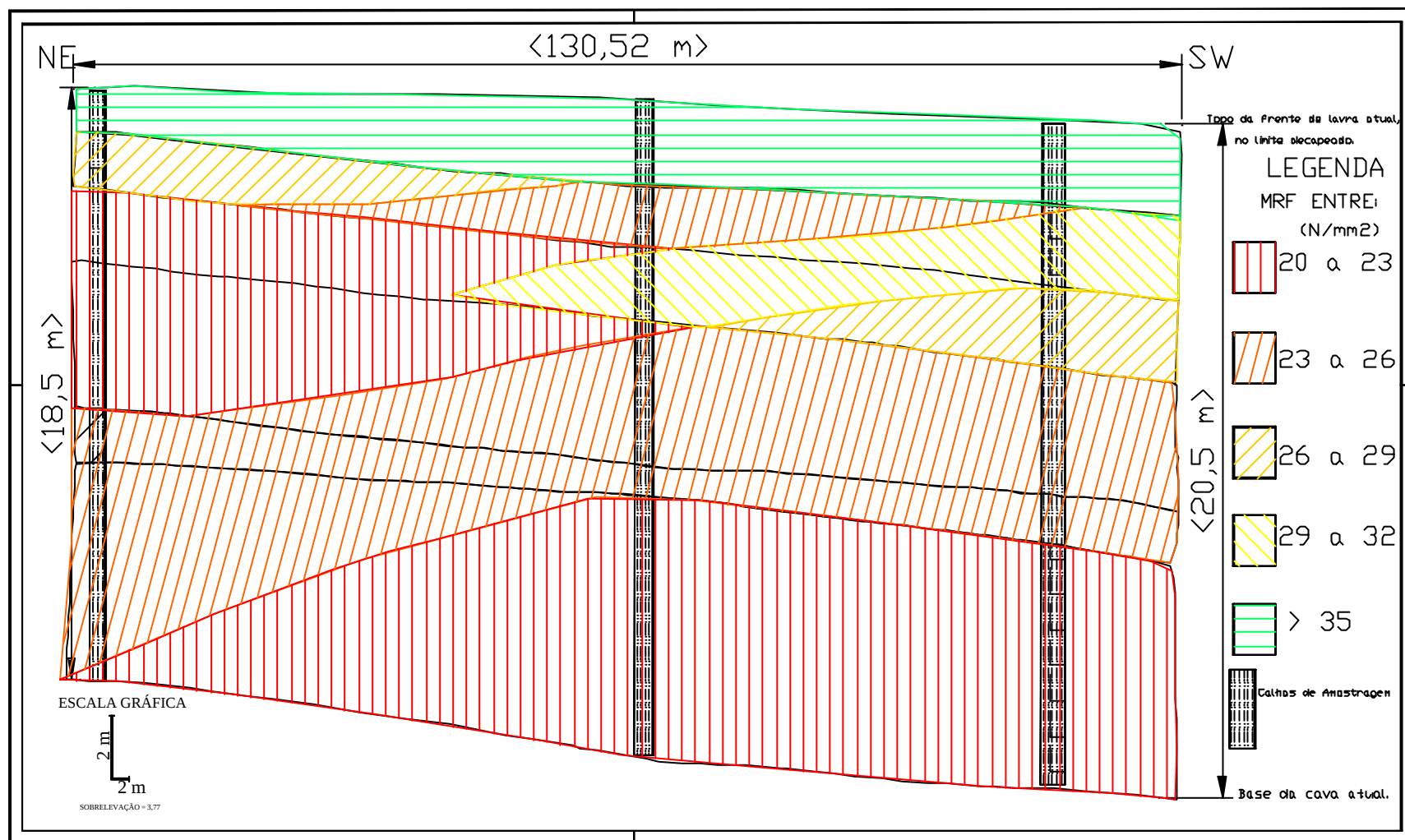


Figura 36: Distribuição da Variável MRF - Módulo de Resistência à Flexão, representada em duas dimensões.
 FRETE DE LAVRA EM 01/04/2000, Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.
 Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.
 Ensaios realizados no Laboratório de Ensaios Cerâmicos do Sindicato de Santa Gertrudes.

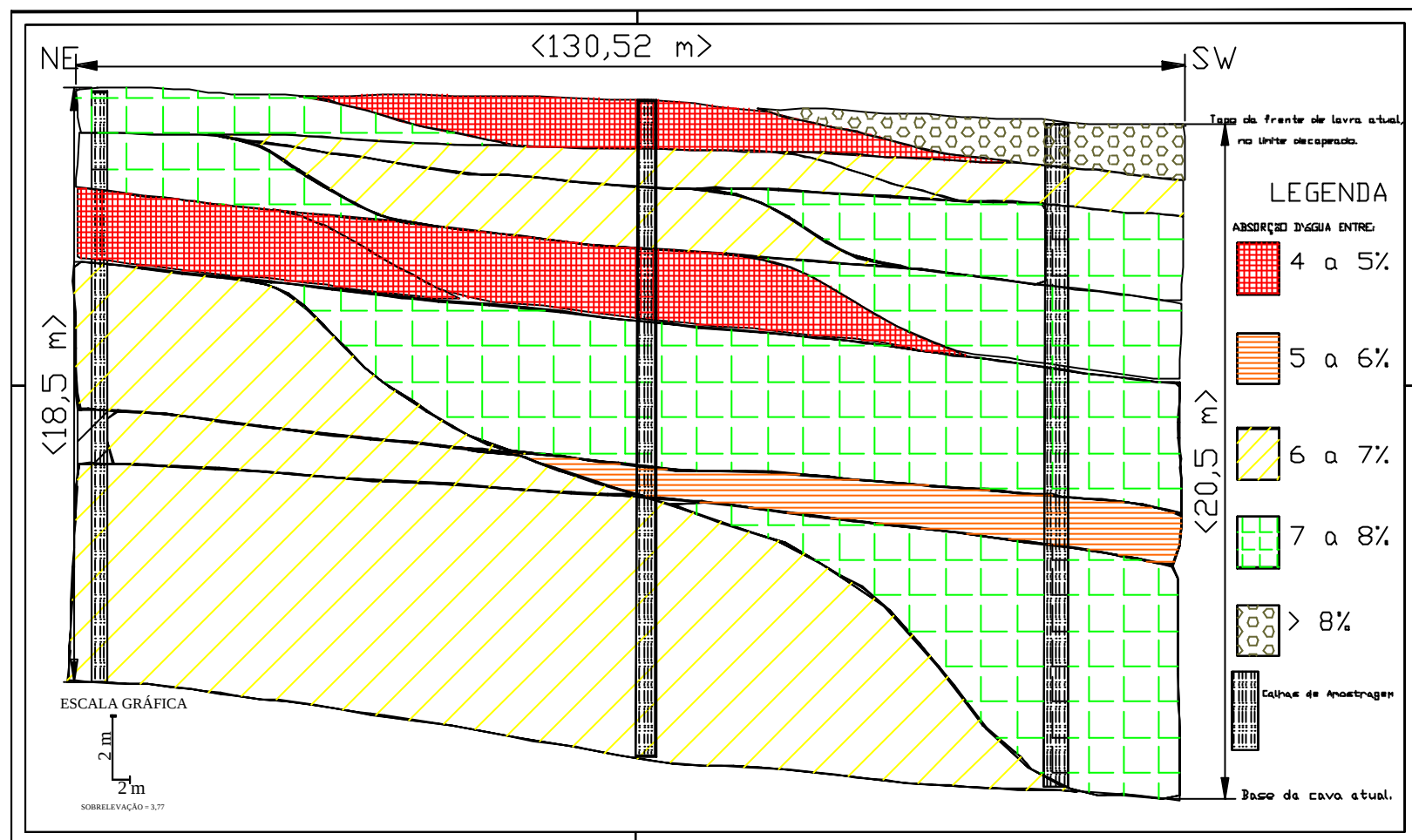


Figura 37: Distribuição da Variável Absorção de Água, representada em duas dimensões.

FRENTE DE LAVRA EM 01/04/2000; Compartimentação baseada no mapeamento geológico/tecnológico.

Total de 25 amostra analisadas, distribuídas em três canais de amostragem.

Ensaios realizados no Laboratório de Ensaios Cerâmicos do Sindicato de Santa Gertrudes, e queimadas simultaneamente em um forno da Indústria Cerâmica Fragnani Ltda.

7.1.6.5. Discussão dos Resultados - Variáveis Física

Da mesma forma que na análise estatística multivariada, os dados físicos apresentam-se mais discriminantes. Nas variáveis modeladas, é possível notar agora uma compartimentação maior dos valores assumidos nos diferentes domínios do campo modelado, estratificando-se na vertical, mas apresentando sempre um truncamento lateral em relação ao acamamento sedimentar regional.

Aí está a explicação espacial e georreferenciada para as contaminações dos vários grupos obtidos na análise multivariada que mostravam uma tendência em camadas, mas sempre englobando no grupo alguma amostra oriunda de outra camada.

Analisando agora todo o conjunto modelado (química e física), é notório um padrão curvado truncante e, aparentemente, pervasivo às camadas geológicas.

Era preciso, então, encontrar uma explicação geológica genética para tal padrão. Notou-se que o padrão poderia seguir aproximadamente a forma do relevo mais acima. Para verificar isto, foi preciso reconstituir em perfil o relevo local que havia antes do corte para lavra, o que foi possível com base nos mapas topográficos preexistentes.

A figura 38 apresenta esta reconstituição do relevo, associada com uma das variáveis representativas do padrão geral. Nota-se uma forte coincidência em posição, mas a curvatura do relevo é menos acentuada que do padrão de variação, o que pode ser atribuído ao fato de a evolução mais recente da topografia (holoceno) ter feito com que os processos erosivos superassem a evolução da alteração do perfil, estando o relevo mais plano.

Considera-se, então, que os padrões apresentados pelas variáveis tenham forte influência dos processos de alteração supérgena, controlados por sua vez pelos condicionantes geomorfológicos.

Neste sentido, Masson (1999) apresentou trabalho no qual foi levantada, entre outras, a hipótese de que os principais controladores das possíveis variações das jazidas de matéria-prima cerâmica da região estudada seriam os processos de alteração supérgena.

Apesar do exposto, nota-se também que existem exceções, como no caso da variável absorção d'água, que mostra um padrão oposto ao das demais variáveis

estudadas. Esse é um problema a ser estudado mais a fundo nos dados de sondagem, para verificar se realmente se reproduz.

De qualquer forma, já pode ser notado nos dados atuais que o padrão da sílica é mais próximo do padrão de acamamento que pode estar controlando a distribuição dessa variável (a sílica possui uma taxa baixa de solubilidade quase independente das variações de Ph e Eh do perfil). Assim, essa variável estaria mais intocada pela alteração supérgena e controlada pela estratigrafia original.

A absorção d'água, por sua vez, pode estar associada à variação da sílica mais do que a outros fatores (fato a ser investigado, mas que é bastante plausível, a princípio).

Para finalizar este item é importante lembrar que ainda não estão disponíveis os dados que permitirão a apresentação de um modelo tridimensional preciso da jazida, pois dependem dos resultados das análises de amostras coletadas por sondagem, o que ainda não foi realizado.

7.1.7. Conseqüências dos Resultados Obtidos

7.1.7.1. Aspectos Gerais

O foco central desta pesquisa é, sem dúvida, a aplicação de técnicas de amostragem por sondagem, por ser a maneira mais confiável para obter amostras de corpos de minério *in situ*.

A etapa de campanha de sondagem deve, portanto, receber especial importância em qualquer empreendimento mineiro, pois erros cometidos nessa etapa do trabalho podem comprometer todo o investimento empregado e os prejudicar os resultados esperados.

Em geral, uma campanha de sondagem para pesquisa operacional de uma jazida qualquer deve abranger todo o corpo de minério, dentro da área em concessão de lavra; contudo, este não é um trabalho de rotina, mas sim uma pesquisa que visa demonstrar a aplicabilidade das técnicas propostas em um segmento que ainda não faz uso rotineiro delas.

Assim, foi delimitada uma área piloto de 1000m² dentro da qual se estabeleceu uma malha de sondagem com configuração tal que permitisse verificar todos os aspectos geoestatísticos das variáveis estudadas, figura 39.

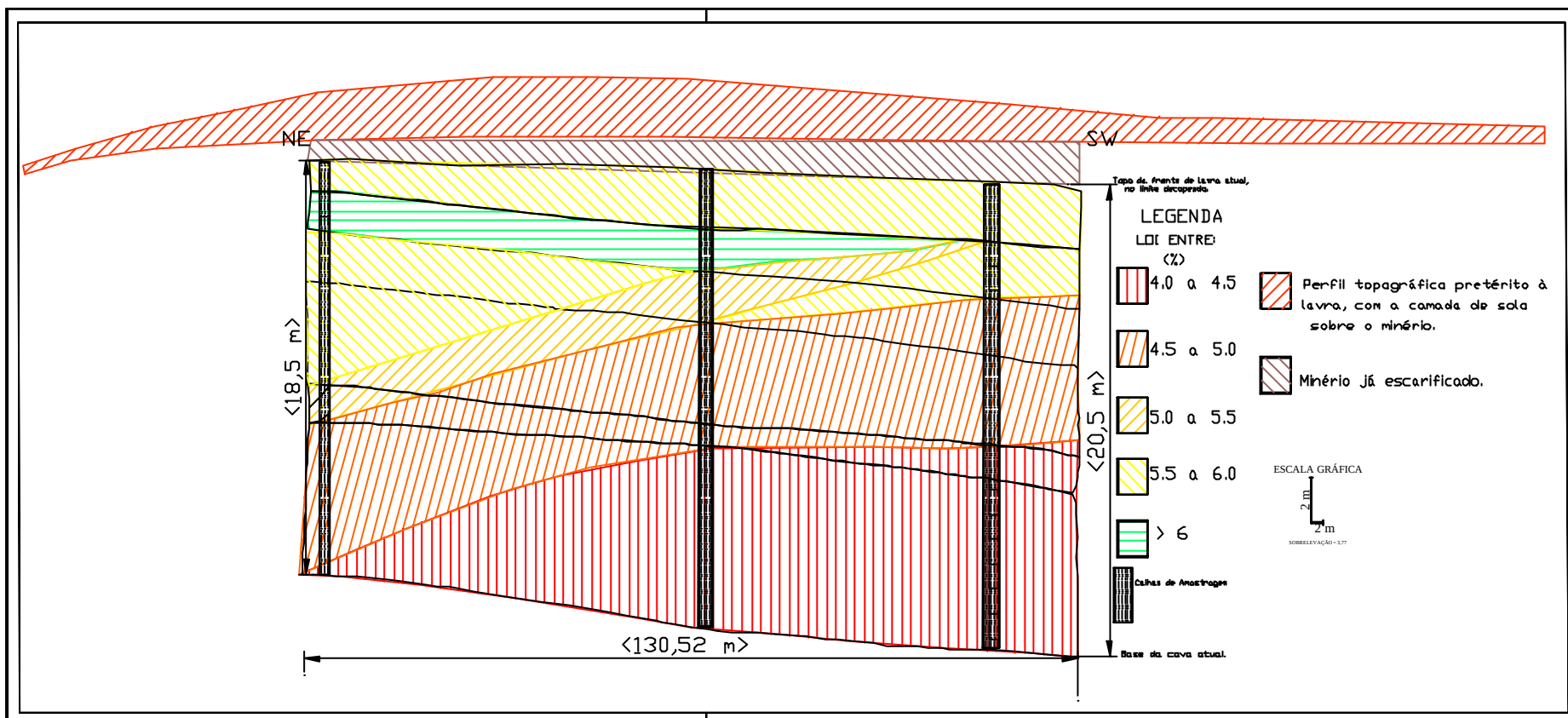


FIGURA 38: Comparação entre topografia reconstituída e a variável LQI <Perda ao Fogo>.

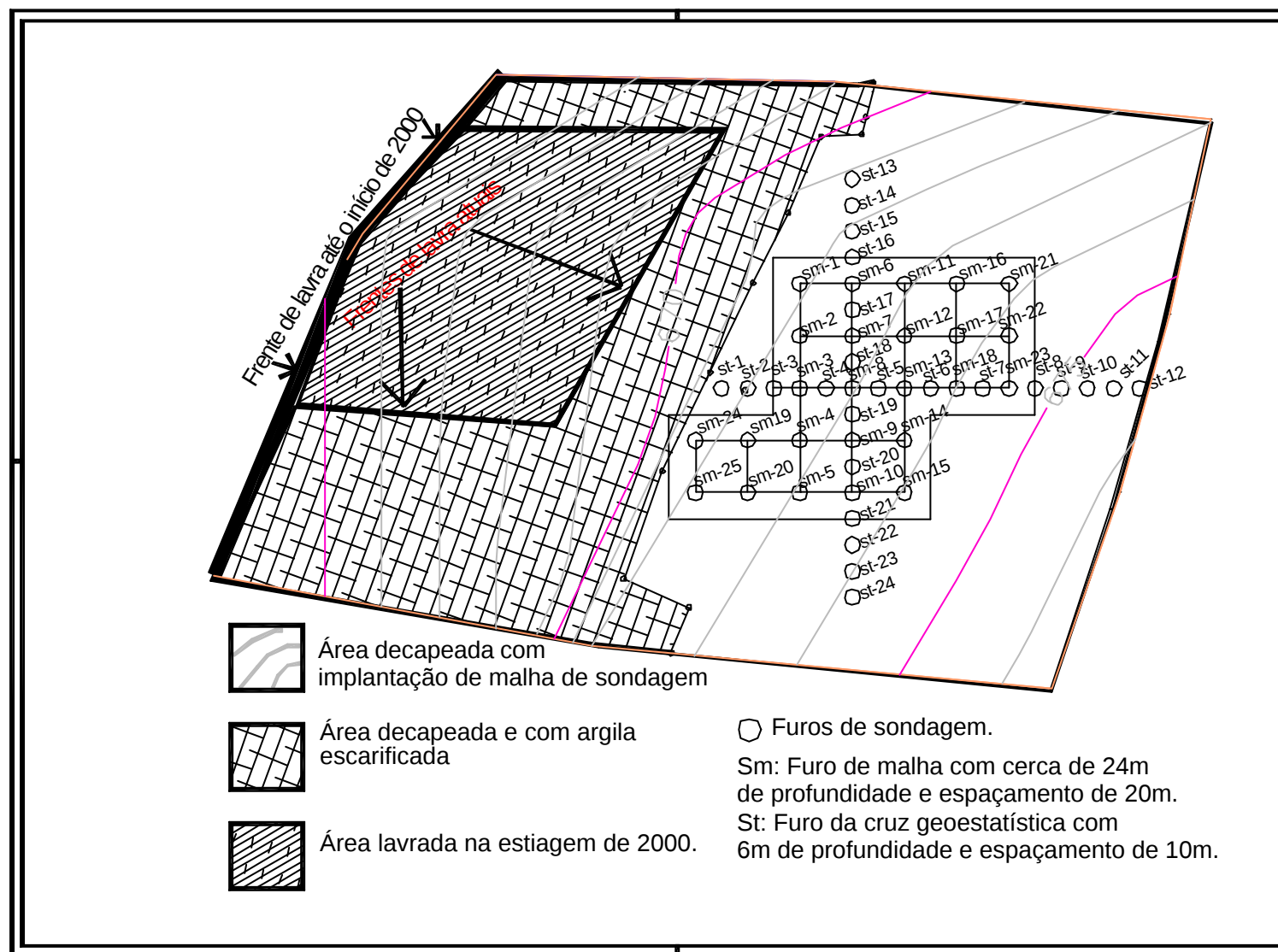


Figura 39: Detalhe da malha de sondagem

Na figura 39, é possível observar que o plano de sondagem é constituído por uma malha de sondagem quadrada com espaçamento de 20m (leg). Essa malha foi dimensionada de acordo com as unidades de produção diárias que, por avaliação inicial, podem ser consideradas como um BDL - (Bloco De Lavra) de 10X10Xespessura de cada camada.

Com a malha de 20x20 poderão, então, ser obtidos valores krigados para um BDL de até 10x10, ou seja, BDL com lado igual à metade do espaçamento da malha, sem que haja problemas de erro excessivo de estimação, como recomendado por Sameshima & Yamamoto (1996).

A profundidade de sondagem de cada furo varia de 20 a 24 metros, a depender da sua localização, tendo como limite de sondagem o nível com *bonebed* que marca o limite inferior atual do depósito.

Além da malha de sondagem 20x20, foi implantada também uma estrutura de sondagem em cruz, com espaçamento de 10x10. O objetivo dessa cruz de sondagem é a modelagem variográfica para estruturas próximas à origem do variograma, ou seja, para verificação do efeito de pepita em curta distância.

A profundidade desses furos em cruz é de seis metros, uma vez que os estudos preliminares mostraram ser as camadas de topo as que apresentam maior variabilidade lateral, sendo, portanto mais propícias a apresentar um efeito pepita alto a curta distância (menor continuidade espacial dos fenômenos regionalizados e maior variabilidade aleatória).

Essa análise é de vital importância para que não ocorram erros de modelagem variográfica, o que comprometeria toda a estrutura de krigagem posterior. A técnica foi necessária, pois nunca foram feitos estudos de sondagem e avaliação geoestatística dentro dessa província mineral, motivo pelo qual não existem parâmetros iniciais para aplicação das técnicas geoestatísticas.

O sistema em cruz é conhecido por cruz geoestatística, sugerido inicialmente por David (1977), figura 40, com a recomendação de que um dos braços da cruz siga aproximadamente uma das direções de maior continuidade do minério, e o outro a de menor. Essa recomendação é para o caso de haver anisotropia detectada.



Figura 40: Padrão de malha de sondagem adequado para definir os padrões variográficos à pequena escala (curta distância). Notar a amostragem em cruz sugerida para um trecho selecionado do depósito mineral. Modificado de David (1977).

Como no caso em questão esses dados ainda não estão disponíveis, foram seguidas direções teoricamente potenciais para serem controladoras de extremos de anisotropia, com base no conhecimento geológico do depósito.

Tanto o espaçamento de 10x10 como as direções escolhidas para os braços da cruz tiveram subsídios gerados pelos trabalhos de descrição, amostragem e análises preliminares apresentados e discutidos mais acima.

Apesar de aparentemente pequena, a área do plano piloto corresponde a um volume de minério suficiente para cerca de três anos de produção a um ritmo de aproximadamente 1.400.000 m²/mês o que, em termos relativos, vem a ser uma das maiores produções individuais de revestimento via seca.

A sondagem adotada é do tipo mista, composta por sondagem a trado manual nos primeiros 10 a 12 metros de profundidade, no trecho onde a sondagem rotativa não se mostrou eficiente quanto ao quesito de recuperação, não ultrapassando 40%.

Já o trado, recupera mais de 95%, com o empecilho da destruição da estrutura, o que pode ser contornado com alguma experiência de descrição dos materiais.

A partir da profundidade de 10 a 12 metros até o final dos furos, o método adotado é a sondagem rotativa com broca de vídea, barrilhete duplo com diâmetro de testemunho Nx, ficando a recuperação média em torno de 70 a 80%.

A área onde está sendo desenvolvida a campanha de sondagem pode ser vista em detalhe na foto 12.



Foto 12: Nesta foto pode ser vista, da direita para a esquerda: a área lavrada, seguida pelas bancadas mostradas na foto 11, a área com argila solta escarificada e a área apenas decapeada, onde foi implantada a malha de sondagem.

7.1.7.2. Resultados Obtidos com as Sondagens até o Momento

A foto 13 mostra, como exemplo, uma parte de amostras de sondagem a trado do furo 21, no trecho de 0 a 1,61 metros. Nas caixas de amostras do tipo vista na foto podem ser observadas as variações texturais e de coloração, presentes ao longo do furo.



Foto 13: Sondagem a trado do furo sm 21. Trecho de 0,0 a 2,36m. Notar em 1,48m passagem por veio de sílica semelhante ao da foto 08 tirada na frente de lavra.

Um exemplo de testemunho obtido com sondagem rotativa é apresentado na foto 14, em que é possível notar a grande continuidade do testemunho em certos trechos e a existência de níveis mais fraturados e/ou friáveis em outros.



Foto 14: Trecho com testemunho de sondagem rotativa em diâmetro Nx.

7.1.7.3. Estágio Atual dos Trabalhos de Sondagem

Os trabalhos de sondagem foram finalizados e atualmente as amostras obtidas estão em fase de análise no laboratório de ensaios físicos montado na empresa em foco ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Os resultados serão publicados posteriormente.

7.2. Estudo da Variabilidade de Processo

7.2.1. Aspectos Gerais

De acordo com os objetivos propostos, apenas a avaliação das variações da jazida não seria suficiente para concluir esta pesquisa, porque se faz necessário avaliar o quanto as variações detectadas da jazida são sentidas no processo e nos produtos cerâmicos obtidos com a sua utilização.

Todos os resultados foram obtidos a partir do processo industrial convencional que é usado na indústria em foco e nas demais cerâmicas do pólo industrial ao qual esta pertence, tanto para as técnicas de lavra e homogeneização, quanto para a produção industrial (moagem e demais etapas do processo cerâmico).

Dentro desse contexto, um dos grandes problemas para qualquer planta industrial é a variabilidade da matéria-prima utilizada que, via de regra, se não estiver sob controle provocará perdas no processo, tanto maiores quanto maior for o grau de variação dessa matéria-prima.

É claro que variações de regulação de processo também causam problemas, mas a prática de fábrica mostra que, normalmente, ajustes e regulações são feitos quando alguma coisa mudou nos resultados do processo.

Descartadas as variações naturais provocadas por desgaste de equipamentos, ou por falta de aferição, o que normalmente é controlado na maioria das empresas que possuem um trabalho de engenharia da qualidade bem desenvolvido, variações súbitas e inesperadas podem ser atribuídas às matérias-primas.

Este é um dos pontos básicos desta pesquisa e, sabendo-se que os problemas de variações nos resultados do processo citados acima são muito comuns nas empresas do pólo, resta avaliar a natureza dessas variações e compará-las com as variações encontradas nas jazidas.

7.2.2. Avaliação da Variabilidade da Massa

7.2.2.1. Plano de Amostragem em Série

Foram dimensionadas três séries básicas de amostragem para permitir a análise variográfica temporal a ser usada com a finalidade de avaliar a variabilidade/homogeneidade da massa cerâmica.

As estruturas dessas séries de amostragem são apresentadas abaixo, lembrando que não podem ser usadas como modelo para nenhum outro processo, nem do mesmo setor, uma vez que o seu dimensionamento leva em conta todas as características específicas de cada processo e das matérias-primas usadas. A implicação do não-dimensionamento adequado do plano de amostragem seria a completa ineficácia das análises subseqüentes.

Destaca-se que os planos usados começam, aqui, por espaçamentos de amostragem o mais denso possível para avaliar o comportamento da variabilidade de forma completa, como se faz em amostragem geoestatística, na qual se avalia o efeito pepita (comportamento na origem).

A não-adoção deste caminho poderia acarretar em uma avaliação incompleta e, apesar de os espaçamentos serem muito densos, isso se faz necessário porque é a primeira vez em que se aplica a técnica de variografia para avaliar o comportamento de homogeneidade em massa cerâmica, ou, ao menos, foi o que se constatou no contexto bibliográfico internacional pesquisado até o momento.

Plano de amostragem em série utilizado:

1ª série ou S1:

Amostras com mínimo de 600g

30 amostras 1 a cada 1s

2ª série ou S2:

Amostras com mínimo de 400g

50 amostras 1 a cada 30s

3ª série ou S3:

Amostras com mínimo de 600g

40 amostras 1 a cada 90 minutos total de 60 horas.

Como pode ser visto, o plano perfaz um total de 120 amostras coletadas em séries temporais. Nestas amostras foram feitas análises químicas e granulométricas.

As análises estatísticas básicas iniciais apresentam apenas os resultados para a série 3 (S3), o que será esclarecido somente ao final do capítulo, isto porque, para este estudo temporal, a sequência de apresentação dos dados segue o grau de aprofundamento das técnicas usadas mas não coincide com a sequência real de etapas que foi utilizada no tratamento dos dados.

7.2.2.2. Tratamento dos Dados

7.2.2.2.1. Estatística Básica e Análise Histográfica

A apresentação dos resultados é iniciada pela estatística descritiva da base de dados, formada por resultados químicos dos elementos maiores e fator granulométrico (variável R). Por analogia com os resultados obtidos para a jazida, considera-se que os resultados apresentados para os dados químicos seriam mais acentuados, caso fossem feitos ensaios cerâmicos das mesmas amostras.

O quadro 14 mostra o resumo da estatística descritiva.

Os resultados do quadro 14 denotam que as médias encontradas nos processo são muito próximas das médias da jazida, como seria lógico se esperar e mostram variações químicas menores que na jazida, fato justificável por dois motivos básicos:

- 1) Existem os processos de homogeneização utilizados, que separam a jazida do processo e mesmo não sendo muito eficientes, tendem a atenuar a variabilidade do material. Além disso, cada etapa unitária de processamento (moagem, carga, descarga etc), pode funcionar como um atenuador passivo de variabilidade, explicado matematicamente pelo Impulso de Dirac, Valente (1982).
- 2) Por outro lado, considera-se mais plausível que o tamanho das estruturas de variação presentes na jazida gere campos de homogeneidade maiores que o campo amostral alcançado pelas 60 horas de amostragem, situando-se dentro de um núcleo mais ou menos homogêneo. Isto será avaliado mais adiante.

Quadro 14: Estatística descritiva das análises químicas (S-3) (Amostragem em série da massa cerâmica)

	R	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Média	30,080	66,856	0,709	14,301	5,604	0,050	1,990	0,448	0,815	3,051	0,179	6,011
Erro padrão	0,972	0,095	0,003	0,022	0,010	0,000	0,004	0,002	0,007	0,006	0,001	0,126
Mediana	29,290	66,695	0,705	14,285	5,610	0,050	1,990	0,450	0,810	3,050	0,180	6,205
Modo	24,420	67,470	0,690	14,260	5,570	0,050	1,990	0,450	0,800	3,040	0,180	6,840
Desvio padrão	6,150	0,603	0,018	0,138	0,063	0,003	0,023	0,011	0,044	0,035	0,007	0,798
Variância da amostra	37,827	0,363	0,000	0,019	0,004	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,638
Curtose	15,848	-1,786	-0,806	-0,518	-0,103	11,718	-0,602	-0,814	26,443	1,323	-0,871	-1,842
Assimetria	3,244	-0,002	0,565	0,232	-0,492	-0,994	0,026	-0,013	4,697	0,802	0,215	-0,015
Intervalo	39,230	1,810	0,060	0,560	0,260	0,020	0,090	0,040	0,290	0,170	0,020	2,420
Mínimo	21,600	65,870	0,690	14,030	5,450	0,040	1,950	0,430	0,770	2,990	0,170	4,970
Máximo	60,830	67,680	0,750	14,590	5,710	0,060	2,040	0,470	1,060	3,160	0,190	7,390
Soma	1203,180	2674,240	28,340	572,030	224,150	1,990	79,600	17,900	32,590	122,040	7,140	240,420
Contagem	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
Nível de confiança(95,0%)	1,967	0,193	0,006	0,044	0,020	0,001	0,007	0,004	0,014	0,011	0,002	0,255

Obs: - Assimetria: 0 = normal; > 0 = (+); < 0 = (-)

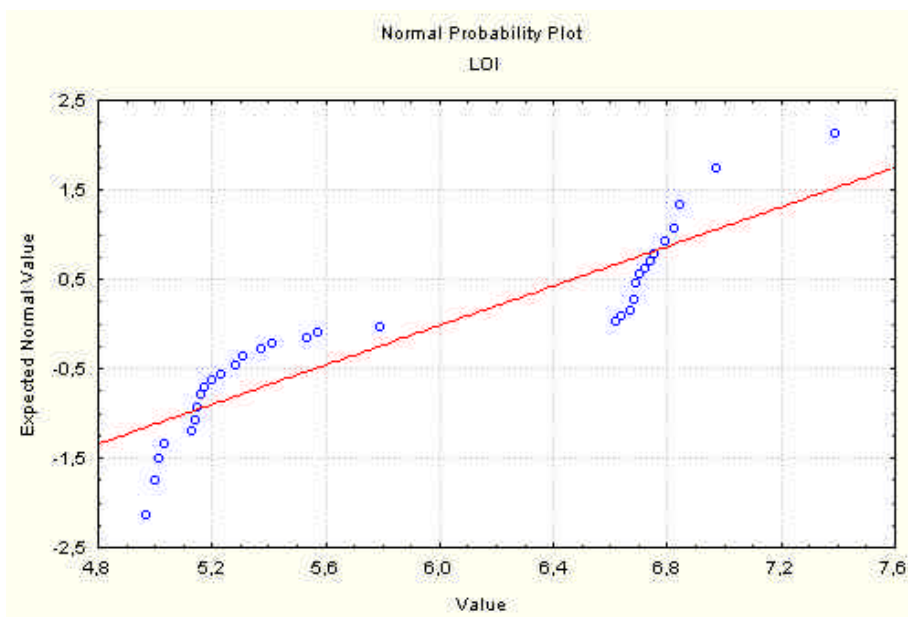
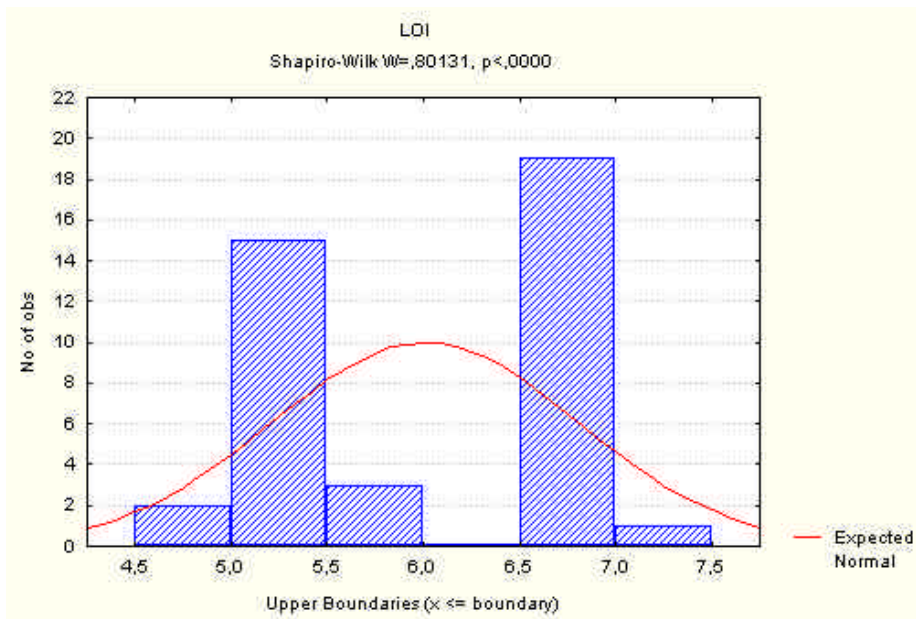
- Curtose: 0 = mesocúrtica; > 0 = leptocúrtica; < 0 = platicúrtica

- Resultados: em porcentagem em peso dos elementos apresentados na forma de óxidos.

Análise Histográfica

Os fatores mais importantes a serem destacados dos resultados gráficos desta análise são uma forte tendência à bimodalidade e presença de “ilhas” de dados isolados das variáveis, indicando possível mistura de populações.

A título de exemplo apresenta-se o histograma e gráfico de probabilidade normal respectivamente, para a variável Perda ao Fogo (LOI).



7.2.2.2. Análise Estatística Multivariada

O principal intuito da análise multivariada desta base de dados é verificar se as relações encontradas na jazida se mantêm no processo, e com o propósito de reforçar a seleção de variáveis para controles futuros. A base de dados utilizada é a da série 3 ou simplesmente S3, como será utilizado.

Regressão Múltipla

Os resultados da análise de regressão múltipla para a série 3 podem ser observados nos quadros 15 e 16, notando-se imediatamente que, tendo a variável granulométrica como dependente, as mesmas relações de forte correlação são encontradas com a sílica, a alumina, podendo ser incluída também a variável ferro, além das variáveis potássio sódio e magnésio; no entanto, o cálcio não é tão significativo. As mesmas variáveis podem ser citadas para a condição de perda ao fogo como variável dependente.

R e LOI são fortemente correlacionadas entre si, mas as relações de dependência são aparentemente mais fortes entre a química e o fator granulométrico.

Quadro 15: Regressão Múltipla com Variável Dependente R – Base de Dados – (S3)						
R= ,67234487 R²= ,45204762 Adjusted R²= ,23678061						
F(11,28)=2,0999 p<,05550 Std.Error of estimate: 5,3733						
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(28)	p-level
Intercpt			-14461,2	4314,234	-3,35197	0,002311
SIO2	14,47554	4,361917	147,7391	44,51826	3,318618	0,002518
TIO2	-0,06169	0,217032	-21,3635	75,15847	-0,28425	0,778313
AL2O3	3,126863	1,046691	138,4331	46,3393	2,98738	0,005795
FE2O3	1,447586	0,465203	140,8497	45,26416	3,111726	0,004253
MNO	0,110843	0,2078	223,31	418,6458	0,53341	0,597959
MGO	0,790827	0,318066	206,8923	83,21094	2,486359	0,01914
CAO	0,300685	0,40124	144,4275	192,7269	0,749389	0,459873
NA2O	0,82673	0,363948	115,5487	50,86749	2,271562	0,030994
K2O	0,683185	0,33168	121,3889	58,93328	2,059769	0,048826
P2O5	0,184331	0,354815	172,0944	331,2606	0,519513	0,607486
LOI	18,93265	5,560731	145,9731	42,87393	3,404704	0,002018

Quadro 16: Regressão Múltipla com Variável Dependente LOI – Base de Dados – (S3)						
R= ,99977618 R²= ,99955242 Adjusted R²= ,99937658						
F(11,28)=5684,6 p<,00000 Std.Error of estimate: ,01992						
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(28)	p-level
Intercpt			100,1377	0,496678	201,6152	1,4E-45
R	0,015465	0,004542	0,002006	0,000589	3,404704	0,002018
SIO2	-0,77468	0,014852	-1,02547	0,01966	-52,1608	1,94E-29
TIO2	-0,00291	0,006187	-0,13057	0,277908	-0,46983	0,642114
AL2O3	-0,17829	0,006697	-1,02375	0,038455	-26,6221	2E-21
FE2O3	-0,07084	0,007661	-0,89396	0,096676	-9,24698	5,26E-10
MNO	-0,00532	0,005884	-1,38997	1,537435	-0,90409	0,373663
MGO	-0,02879	0,008442	-0,97692	0,286464	-3,41027	0,001989
CAO	-0,00058	0,011581	-0,03644	0,721502	-0,05051	0,960074
NA2O	-0,05362	0,005046	-0,97193	0,091481	-10,6244	2,49E-11
K2O	-0,03878	0,007054	-0,89376	0,162558	-5,4981	7,12E-06
P2O5	-0,01552	0,009758	-1,8795	1,1816	-1,59064	0,122919

Análise das Componentes Principais - PCA

Os resultados do quadro 17 mostram que, novamente, a sílica e a alumina são os componentes mais importantes para explicar a variabilidade da base de dados, mas agora aparecem também os álcalis magnésio e potássio com algum destaque.

Nos fatores seguintes, em ordem de importância, emergem o potássio, o sódio e a granulometria como controladores de variabilidade e, portanto, com importância conjugada aos demais.

Um fato interessante a ser observado é que, logo no segundo fator, aparece o fósforo como principal controlador nesta direção vetorial.

No geral, pode-se dizer que para as variáveis de processo, os elementos se mostram mais vinculados entre si, isto ocorrendo devido à pequena distância entre as amostras, em relação ao espaçamento de amostragem usado na jazida, lembrando sempre que as variações espaciais lá presentes se transformam em variações temporais no processo industrial.

Outro aspecto é que no procedimento PCA e, portanto, multivariado, o LOI se apresenta mais significativo que a granulometria, a qual havia se destacado na correlação múltipla.

Quadro 17: Análise de PCA – S3			
Factor Loadings (Unrotated) (base-S3.sta)			
Extraction: Principal components			
(Marked loadings are > ,700000)			
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
R	-0,16057	-0,27845	0,465783
SIO2	0,961865	0,080923	0,094217
TIO2	0,507431	0,355694	-0,40445
AL2O3	0,721479	0,357303	-0,03045
FE2O3	0,68042	0,334944	-0,26295
MNO	0,277275	-0,11801	-0,77187
MGO	0,75297	-0,03684	0,457996
CAO	0,530212	-0,77205	0,014494
NA2O	0,152959	-0,6253	-0,2472
K2O	0,646277	-0,24758	0,472489
P2O5	0,199674	-0,79971	-0,32439
LOI	-0,98586	-0,0978	-0,04969
Expl.Var	4,569783	2,163189	1,657286
Prp.Totl	0,380815	0,180266	0,138107

7.2.2.2.3. Análise de Variabilidade Temporal da Massa

Finalmente, após a análise estatística clássica, é possível ingressar na avaliação temporal dos dados coletados em série, campos da análise de séries temporais, e da cronoestatística, um dos frutos mais novos da geoestatística.

Serão analisadas as principais variáveis das três séries de amostras, no caso, S1, S2 e S3.

Gráficos de Linha

Classicamente, a análise de dados em série é efetuada por meio da análise de séries temporais mas, por vários motivos não detalhados aqui, optou-se pela análise variográfica temporal da cronoestatística de Gy (Gy 1992).

Porém, para exemplificar como seria uma série temporal não-decomposta, são apresentados gráficos de linha nas figuras 41, 42 e 43 para as três séries em estudo, respectivamente, nos quais a variável escolhida para exemplo foi o LOI.

Como pode ser visto, séries temporais nada mais são que dados coletados e apresentados cronologicamente, de acordo com a sequência de coleta; já a análise de séries temporais passaria pela decomposição das diferentes estruturas

existentes, podendo ser usadas inclusive funções autoestruturantes para avaliar a autocorrelação entre os dados.

Esse procedimento clássico não será adotado porque, sob vários aspectos funcionais, a função semivariograma é a mais eficiente para esse tipo de análise. Os gráficos de linhas seguintes permitem visualizar a distribuição pura dos dados ao longo do tempo.

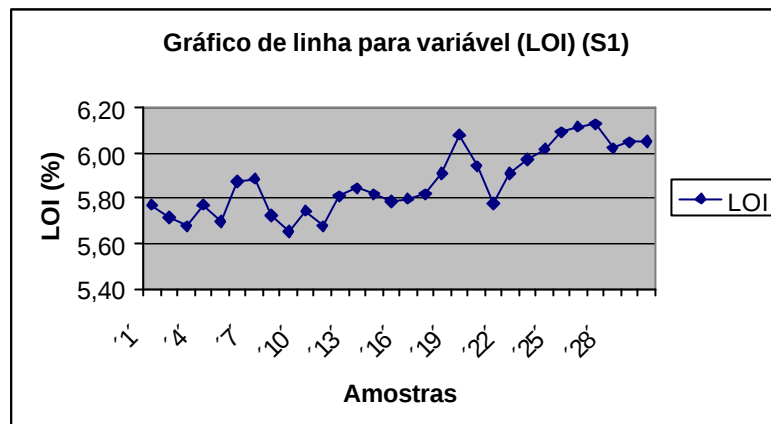


Figura 41: Gráfico de linha – S1 - para variável LOI.

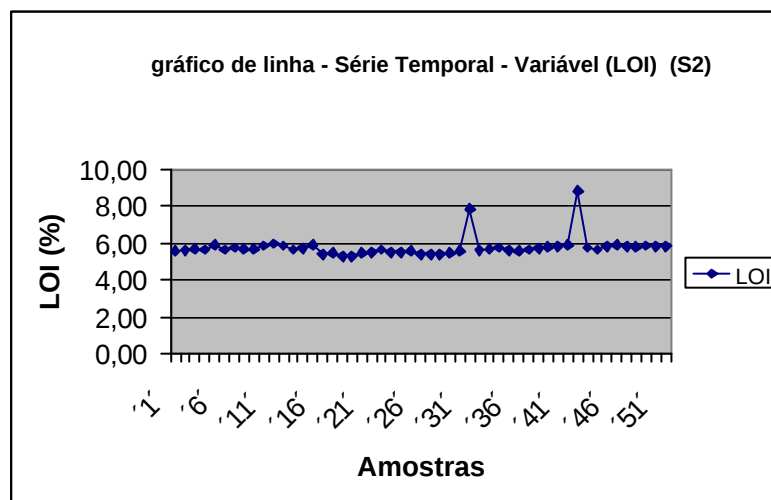


Figura 42: Gráfico de linha – S2- variável LOI.

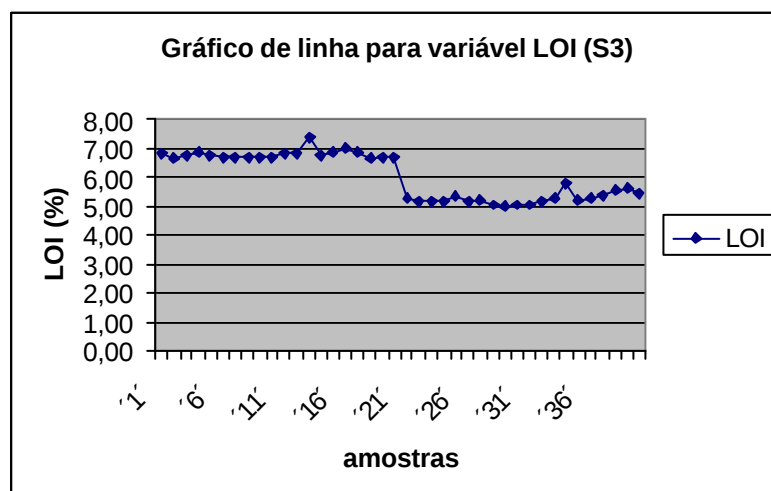


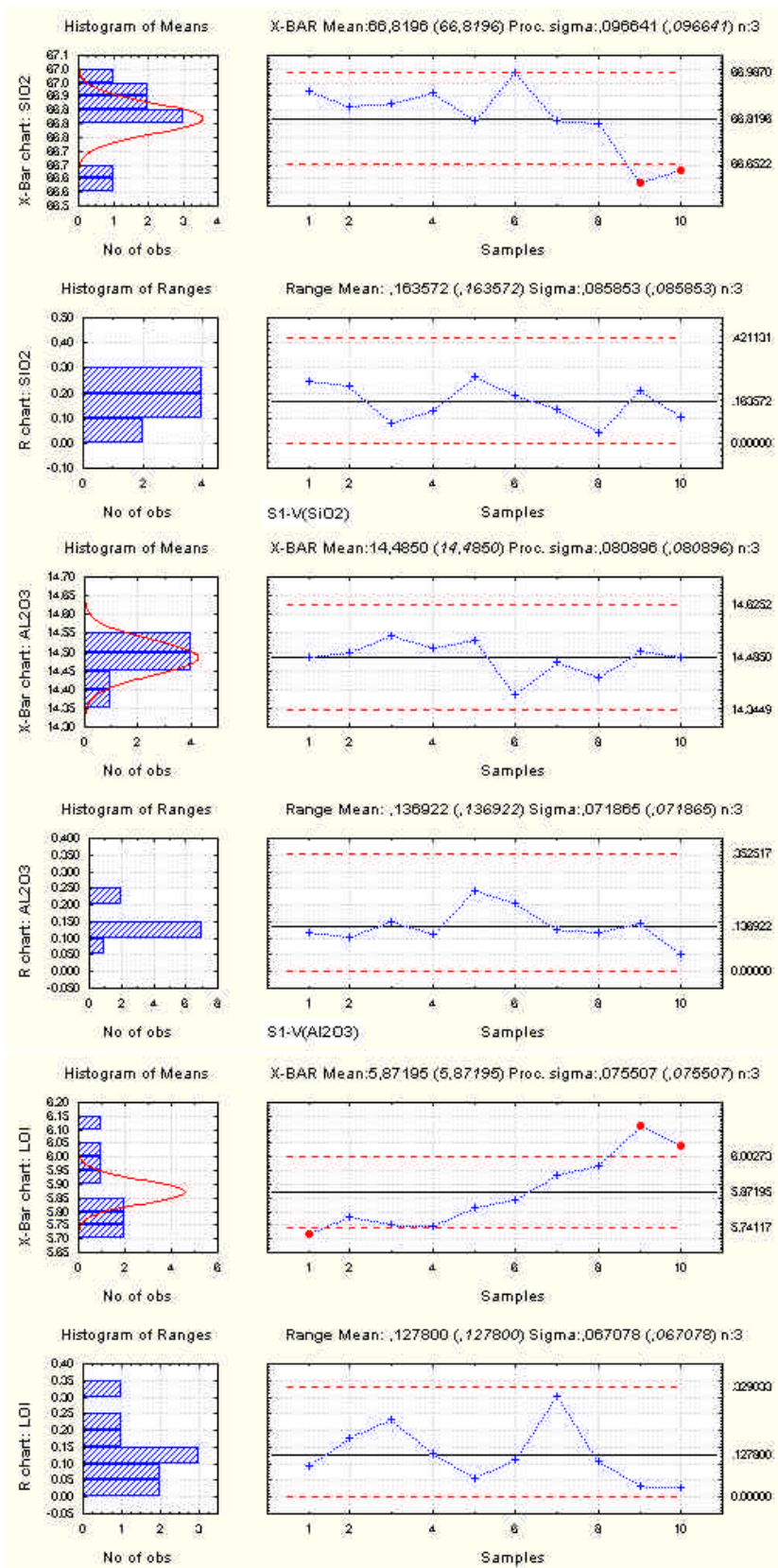
Figura 43: Gráfico de linha – S3- variável LOI.

Cartas de Controle

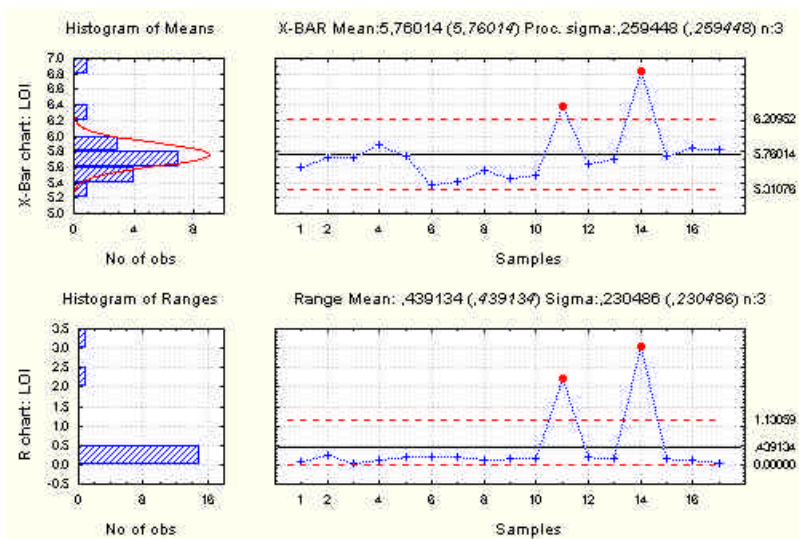
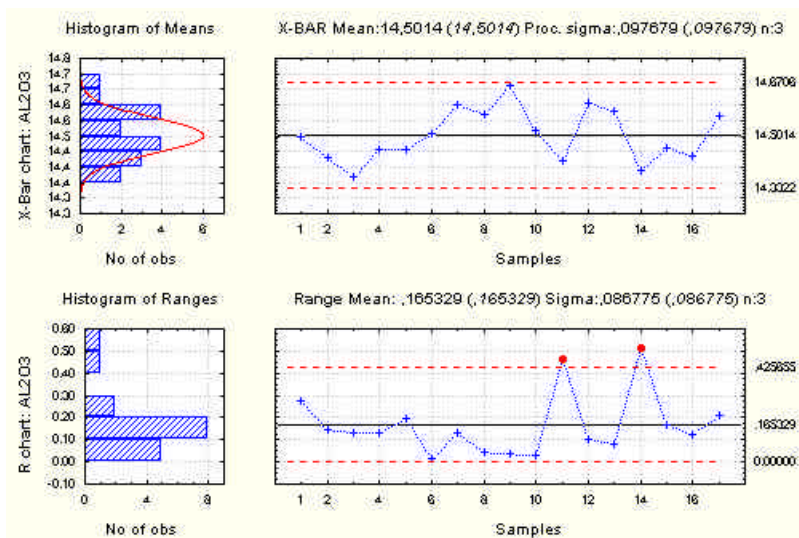
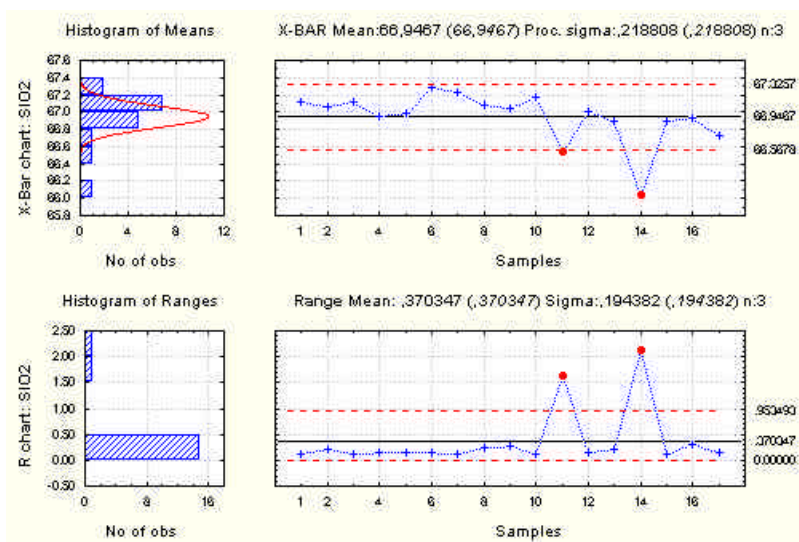
No ambiente industrial, seja ele qual for, as cartas de controle são o principal meio estatístico de se controlar uma variável. Assim, é oportuno avaliar as variáveis em estudo também por meio dessa técnica para, posteriormente, usar a análise variográfica.

Na sequência, são apresentadas cartas de controle para as S1, S2 e S3, contemplando em S1 e S2 apenas as variáveis sílica, alumina e LOI, seguindo a indicação da análise multivariada. Para S3, outras variáveis também foram estudadas.

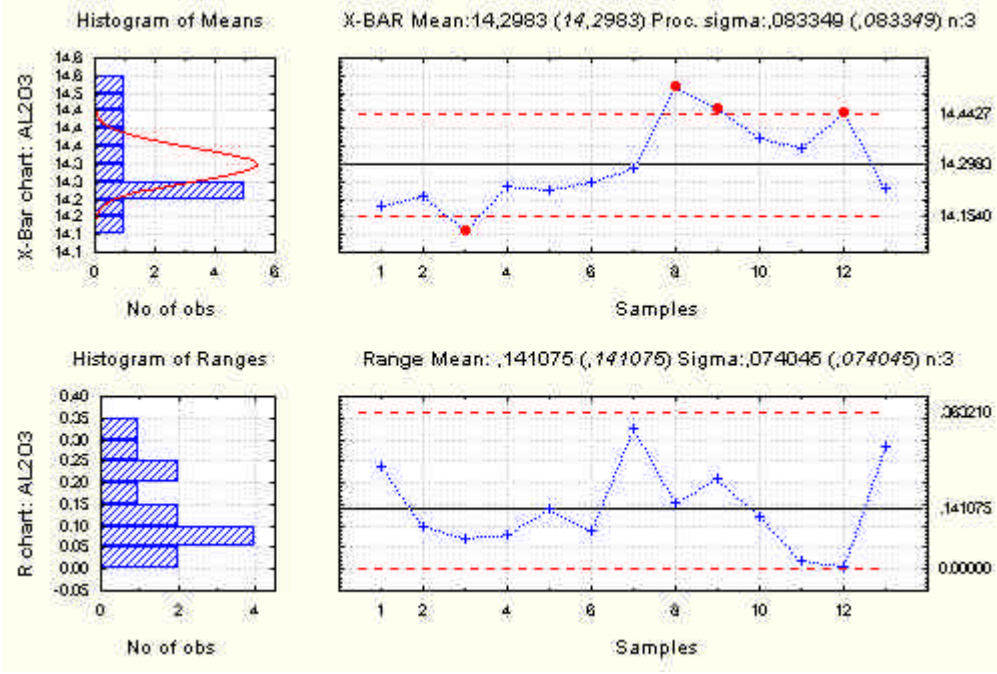
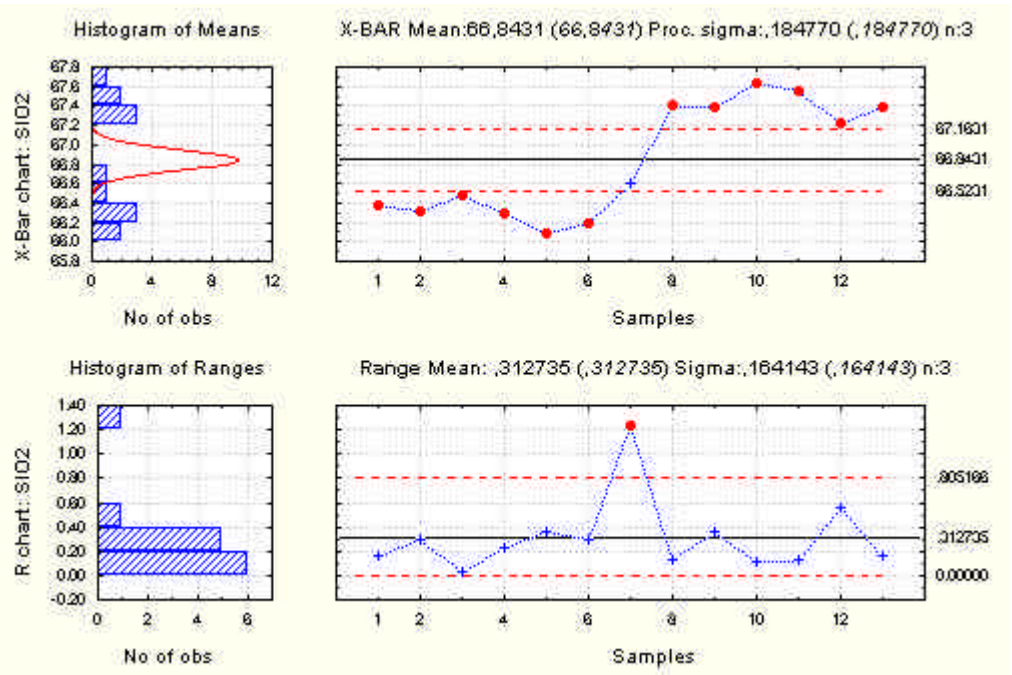
Cartas de controle de S1 para, respectivamente, SiO₂ – Al₂O₃ – LOI

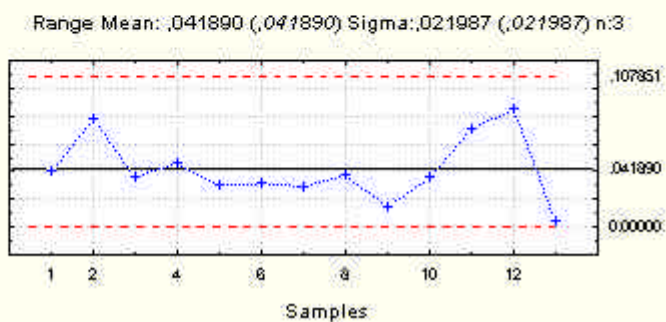
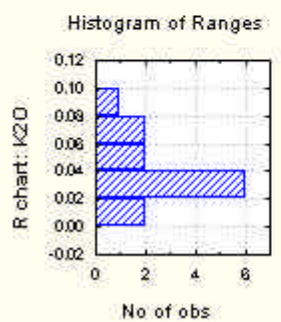
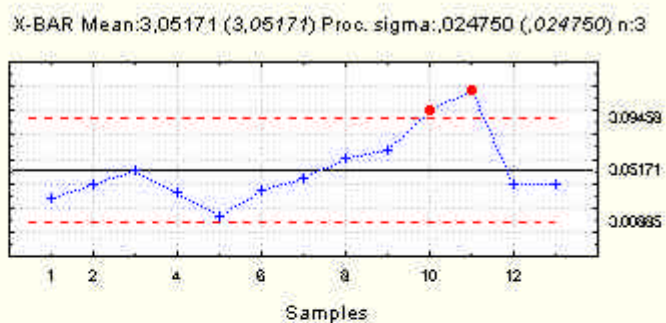
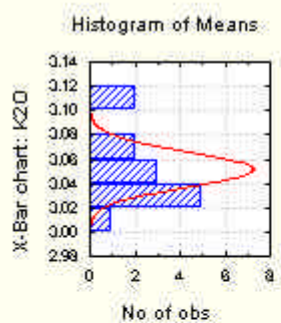
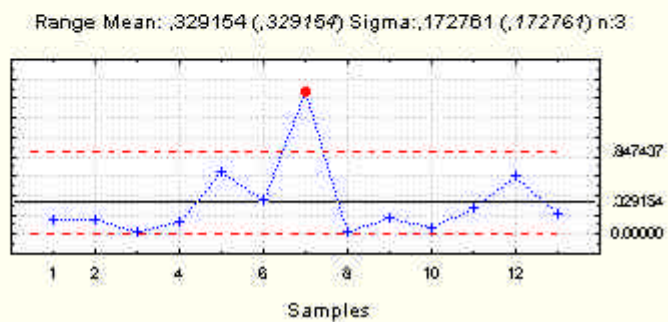
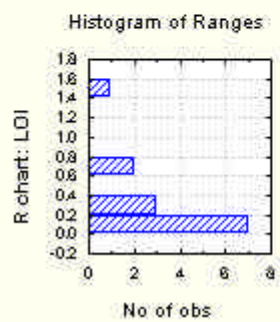
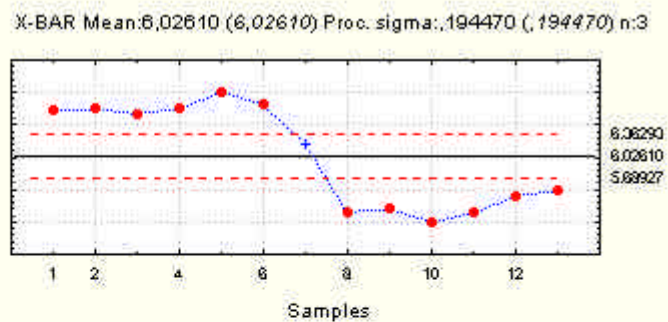
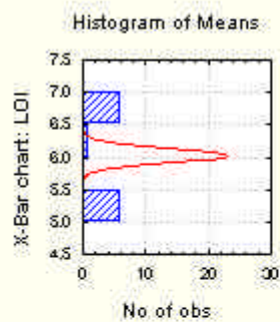


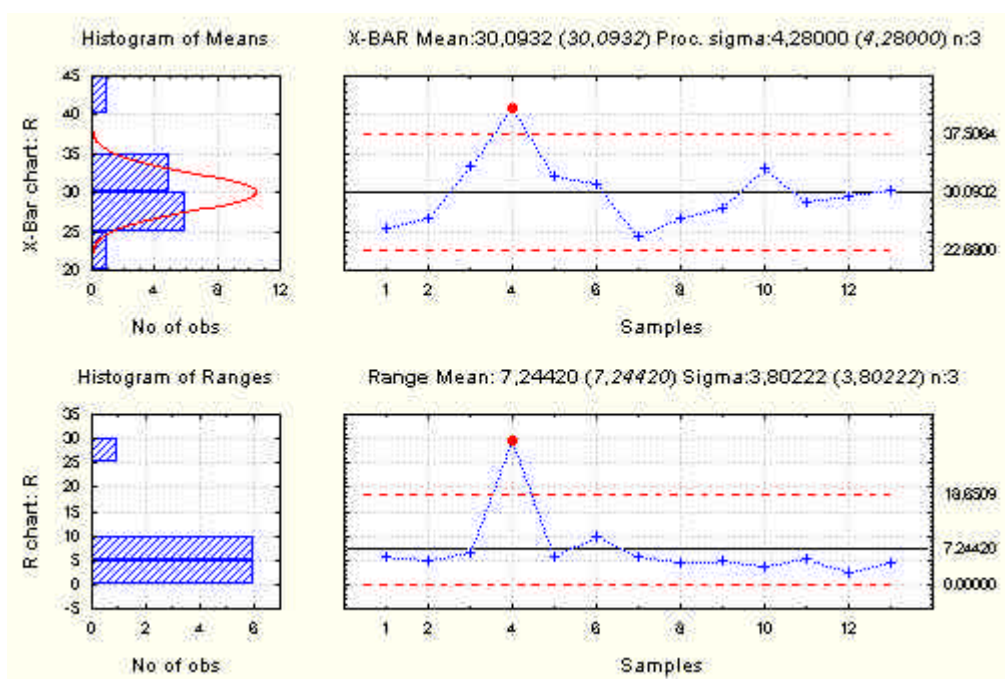
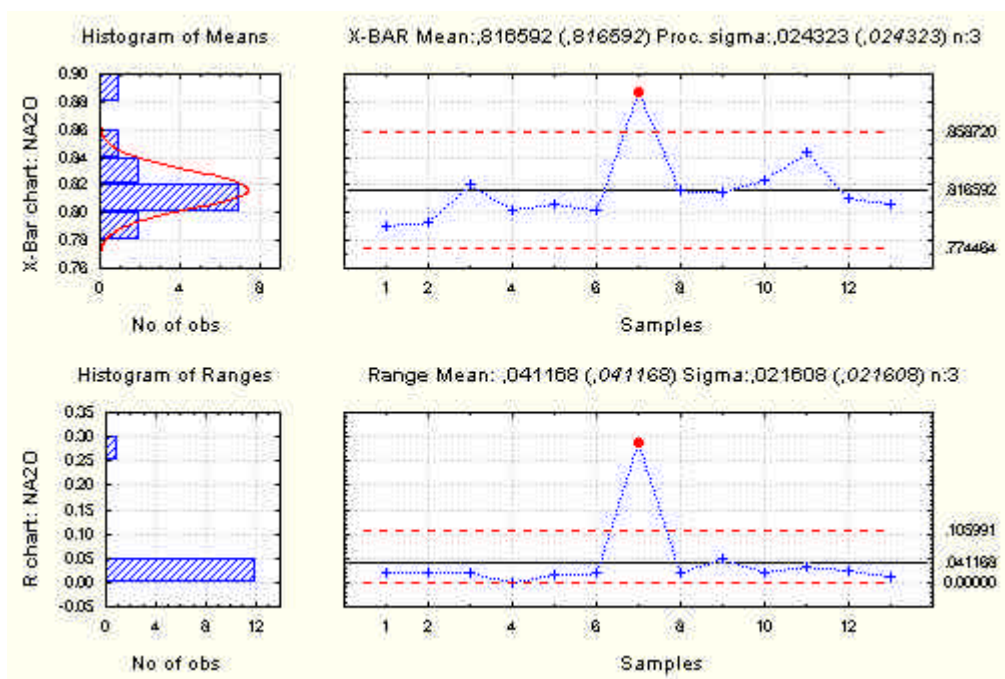
Cartas de controle de S2 para, respectivamente, SiO₂ – Al₂O₃ – LOI.



Cartas de controle de S3 para, respectivamente, SiO2 – Al2O3 – LOI – K2O – Na2O – R.







Análise Variográfica - Variogramas

Para tentar esclarecer os pontos relacionados com as variações temporais detectadas nos gráficos de linha e mais claramente nas cartas de controle, é utilizada agora a análise variográfica temporal para as três séries de dados, com maior ênfase à série 3 (S3).

Análise Variográfica para S1

Durante um procedimento de análise variográfica de dados temporais em processo industrial, uma infinidade de questões pode ser abordada a partir das diferentes configurações e dos dados apresentados pelo variograma. Contudo, o aspecto mais importante a ser observado nos variogramas obtidos é quanto à presença ou não de continuidade ou autocorrelação na base de dados.

Por princípio, se as estruturas da jazida não são atenuadas durante o processo, elas aparecem como estruturas contínuas nos variogramas da matéria-prima, indicando falta de homogeneidade.

A matéria-prima suficientemente homogênea deve apresentar variogramas aleatórios puros, (Gy ,1992), indicando que toda a estruturação foi quebrada pelos processos de homogeneização. As considerações feitas a seguir partem sempre desse princípio básico.

Variogramas da Série 1 (S1)

Todos os variogramas da S1 foram preparados para um campo de 15 lags e são apresentados para a sílica, a alumina e o LOI.

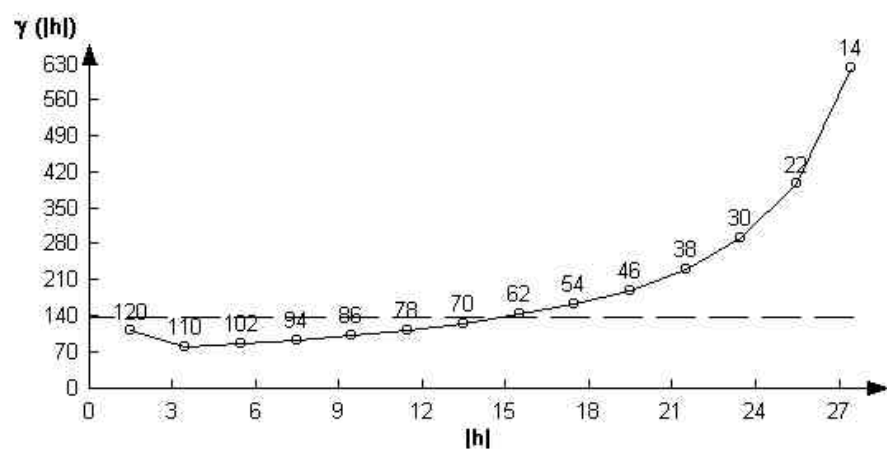


Figura 44: Variograma SiO₂ – S1

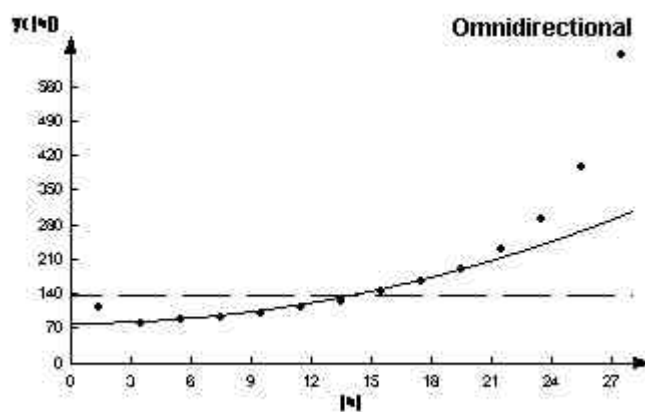


Figura 45: Variograma para SiO₂, modelado com efeito pepita de 83.9, potência 2 e inclinação de 0,3 – Modelo Potência. –S1

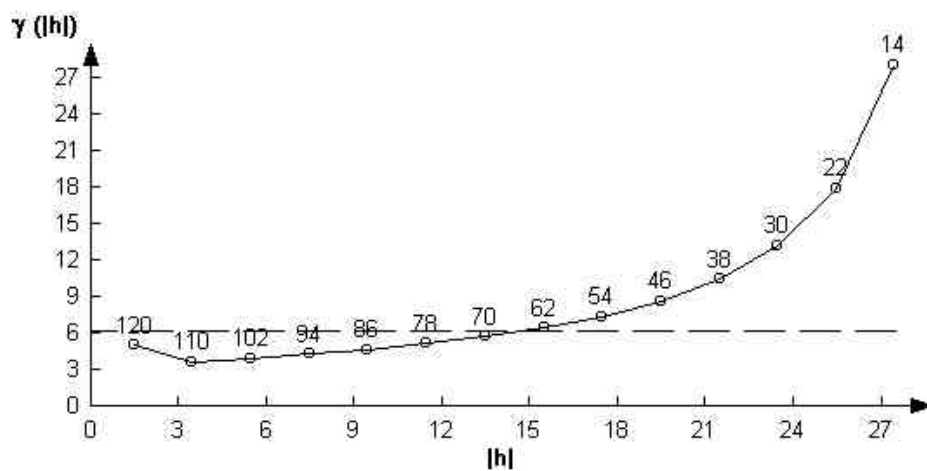


Figura 46: variograma do Al₂O₃ –S1

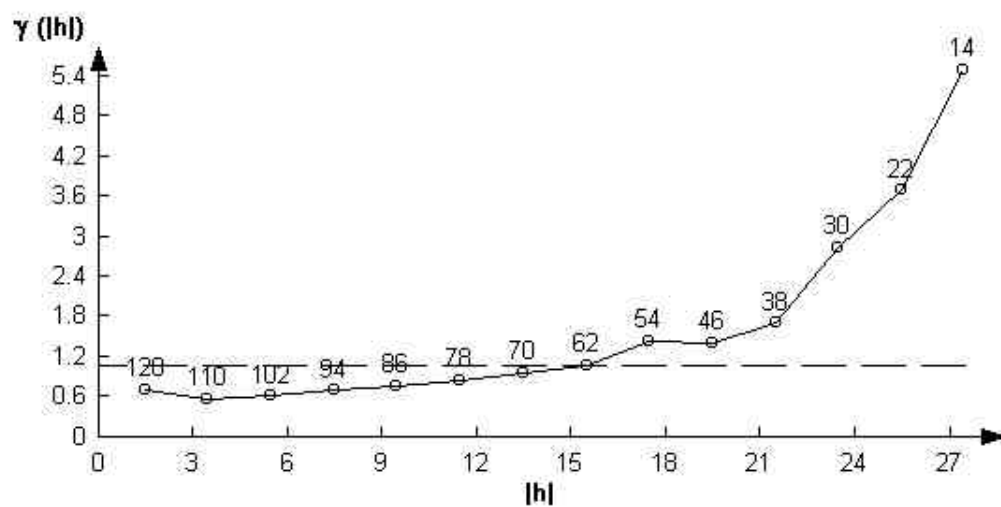


Figura 47: variograma do LOI – S1

Os variogramas para a sílica, a alumina e o LOI apresentam padrões semelhantes e, como exemplo, foi modelada a sílica, em que o modelo variográfico que mais se aproxima é o tipo Potência de grau 2.

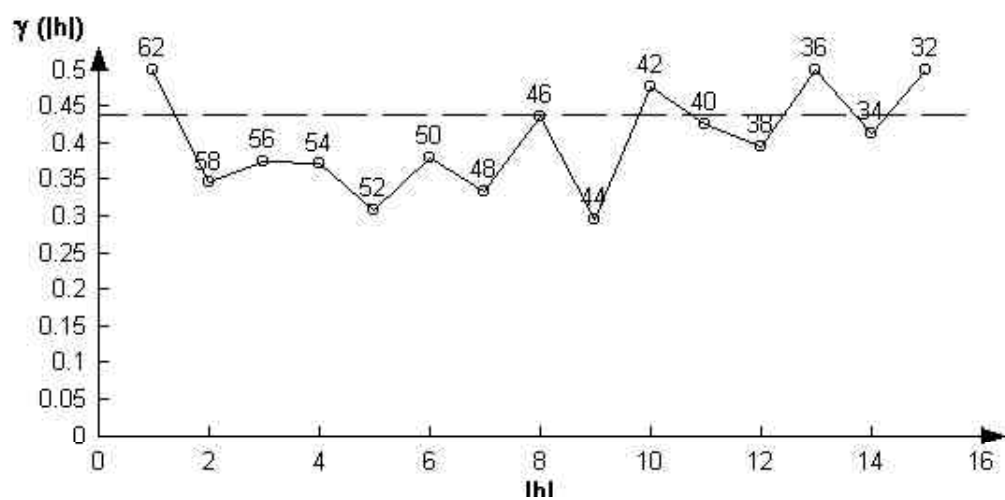


Figura 48: variograma do K2O – S1

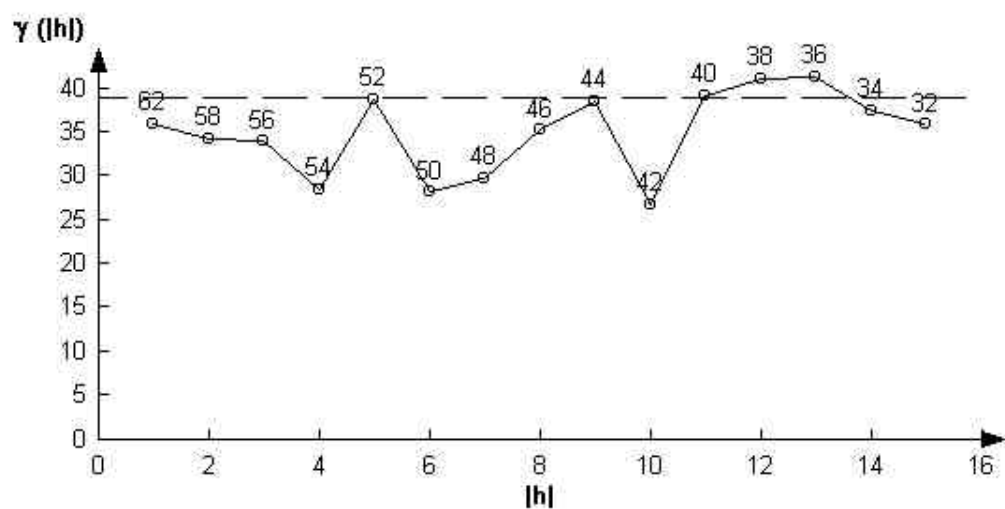


Figura 49: Variograma do fator granulométrico (R).

Os variogramas do potássio e de R são aparentemente aleatórios, mas podem estar associados a fenômenos cíclicos não detectados devido ao tamanho reduzido do campo amostral.

Variogramas da Série 2 (S2)

Todos os variogramas da S2 foram preparados para um campo de 25 lags e são apresentados para a sílica, a alumina, o LOI , o potássio e o fator (R).

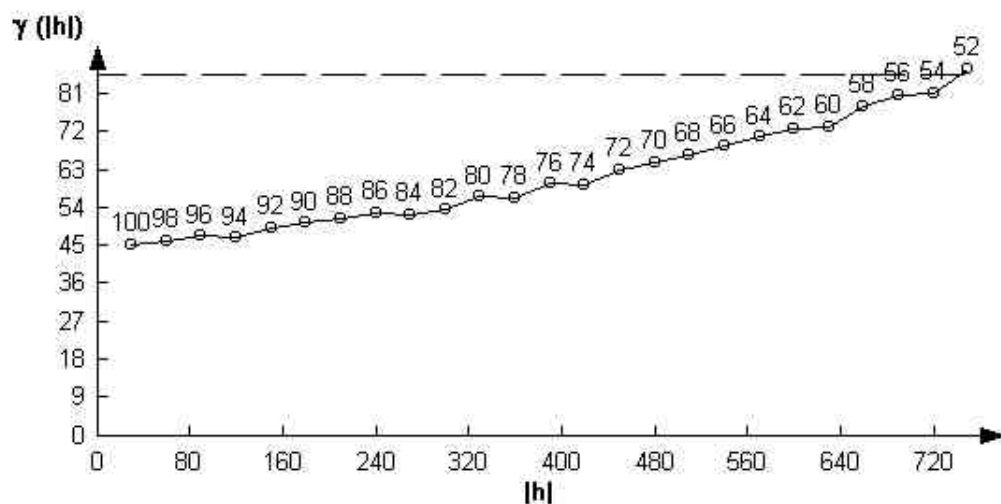


Figura 50: Variograma para o SiO₂ – S2

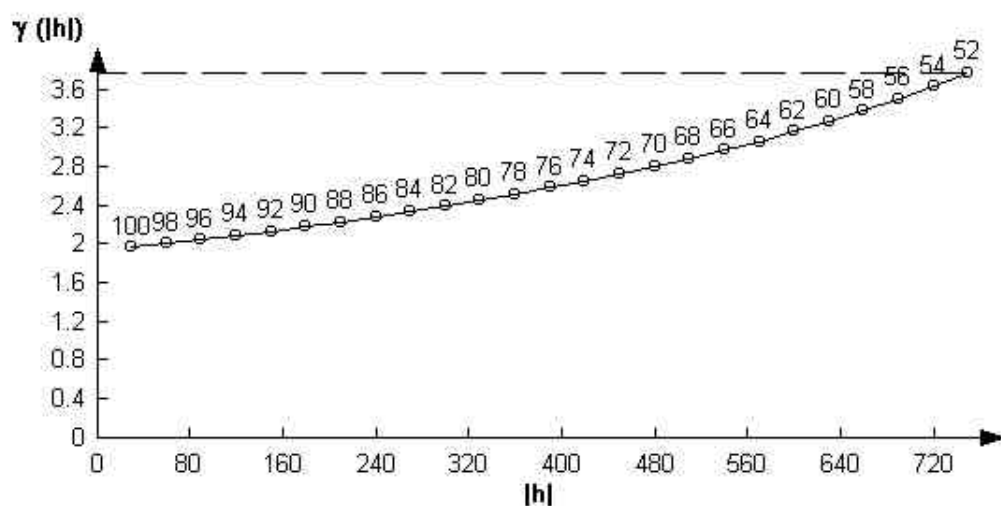


Figura 51: varigrama para Al₂O₃ – S2

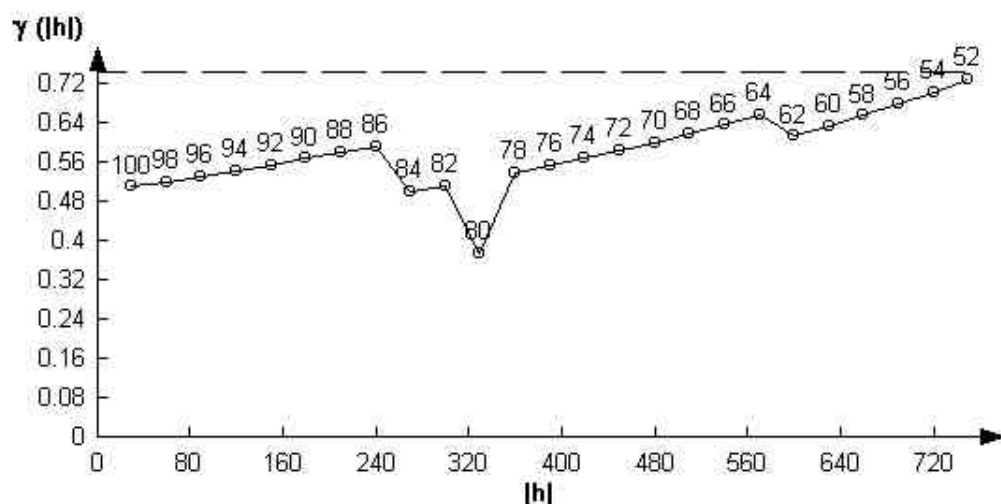


Figura 52: variograma para o LOI – S2

Os variogramas para sílica, alumina e LOI da série 2 apresentam o mesmo comportamento que os da série 1; contudo, o modelo potência está agora mais configurado e com potências próximas ou pouco acima do grau 1 (praticamente lineares).

Outro ponto importante é a estrutura que surge no variograma da figura 52 – LOI – S2, interpretado como efeito *trou* e que sugere uma mudança brusca na amostra (ou seja, presença de duas populações).

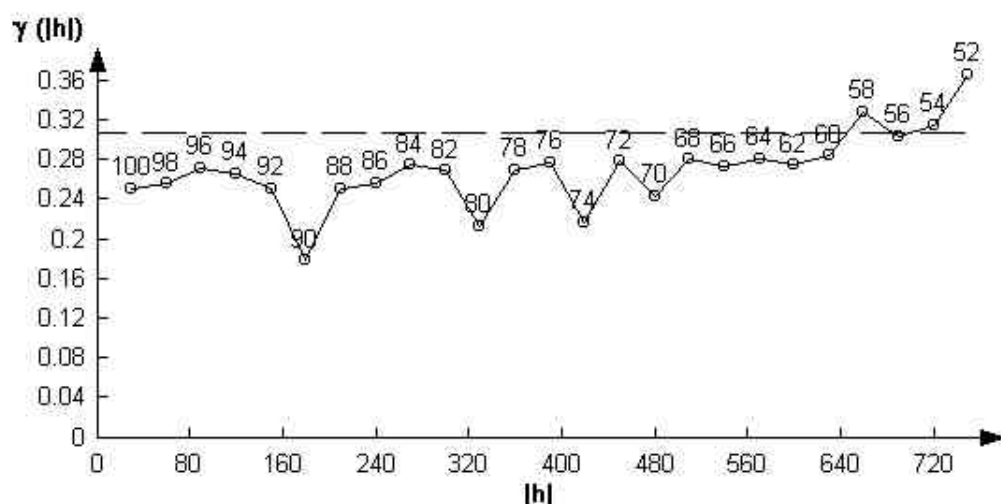


Figura 53: Variograma para o K2O – S2

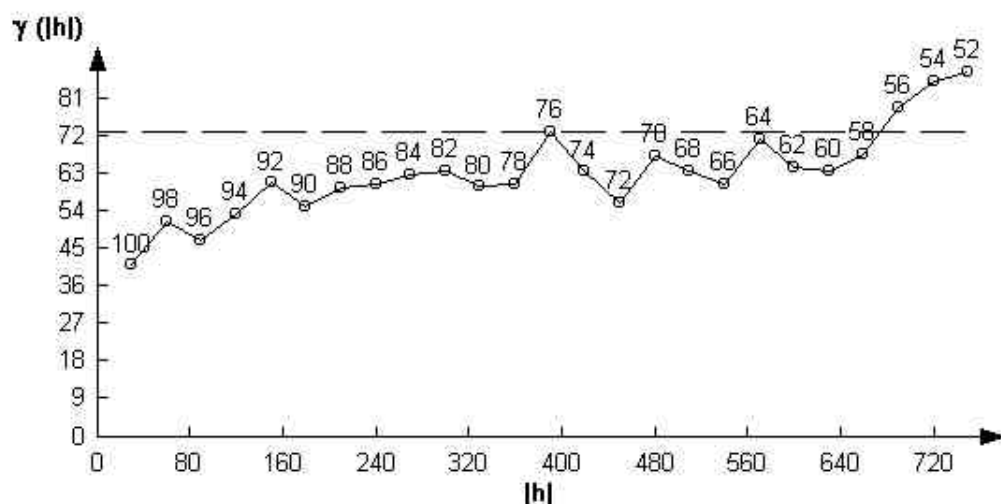


Figura 54: Variograma para o fator granulométrico (R) – S2.

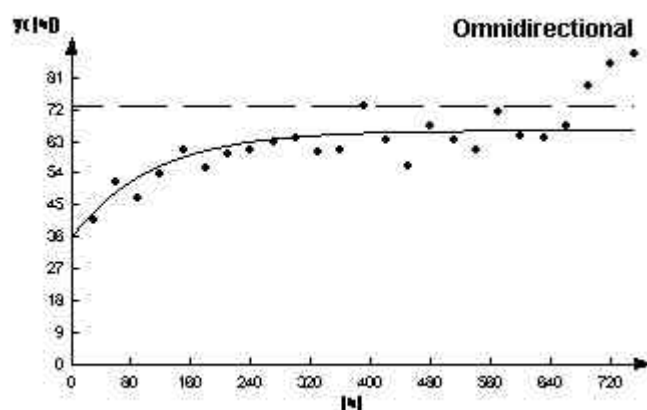


Figura 55: Variograma para (R) modelado com efeito de pepita=36,37; range ou alcance=320;77 sill ou patamar de 30,28; - Modelo Exponencial.

O variograma para o potássio de S2, figura 53, apresenta ainda uma aparência aleatória, mas o aspecto cíclico parece emergir, embora uma componente de atenuação não permita ainda caracterizá-lo como tal.

Enfim, o fator R de S2 apresenta um variograma tipicamente estruturado em modelo exponencial, sendo que a sua modelagem é apresentada na figura 55. Notar o alcance com cerca de 320 segundos, ou seja, algo em torno de 5 minutos, a partir do qual as amostras perdem a autocorrelação.

Variogramas da Série 3 (S3)

Todos os variogramas da S3 foram preparados para um campo de 20 lags e são apresentados para a sílica, a alumina, o LOI ,o potássio, o sódio e o fator (R).

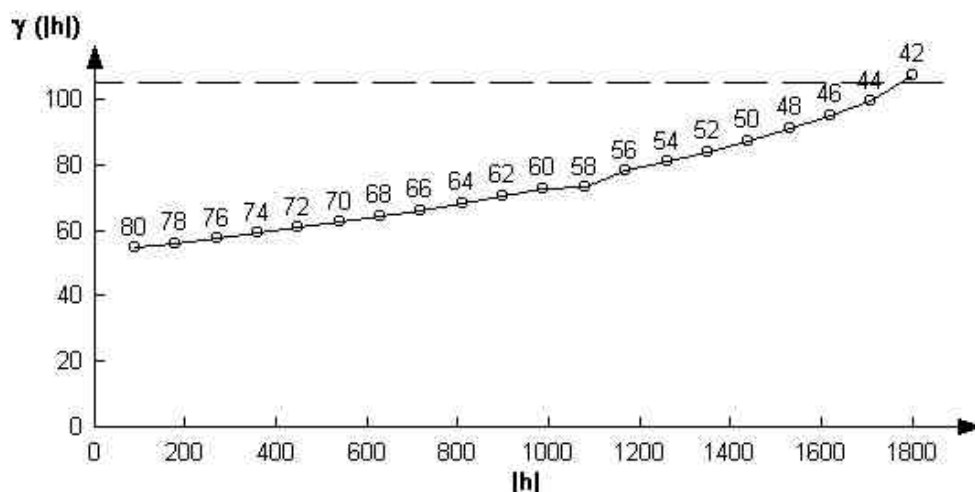


Figura 56: Variograma para o SiO₂ – S3

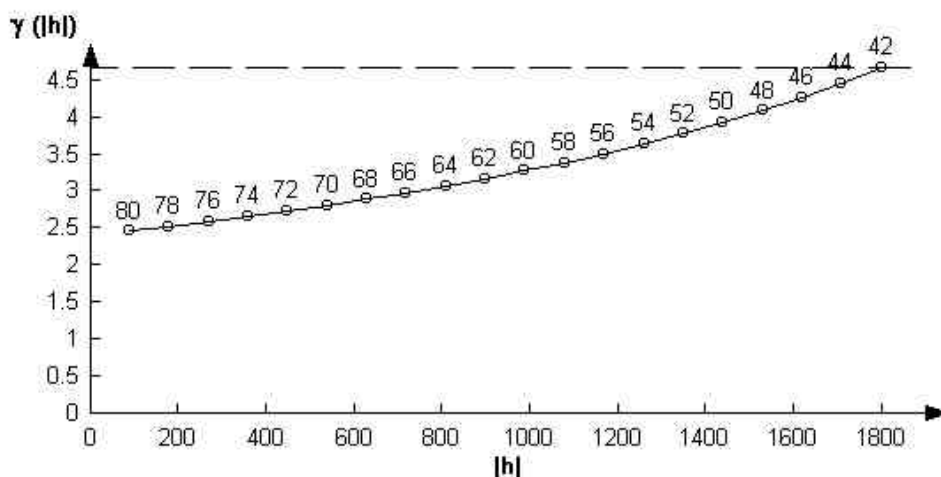


Figura 57: Variograma para o Al₂O₃ – S3

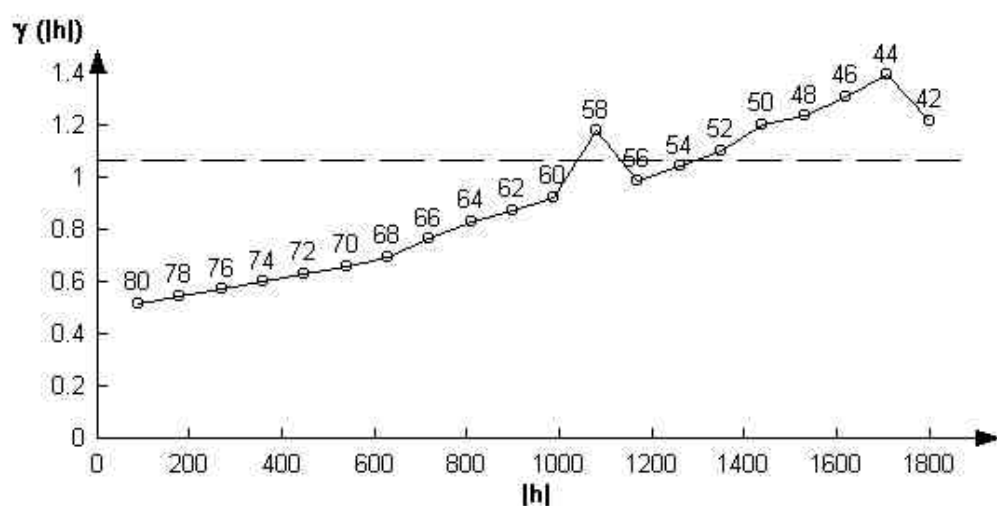


Figura 58: Variograma para o LOI – S3

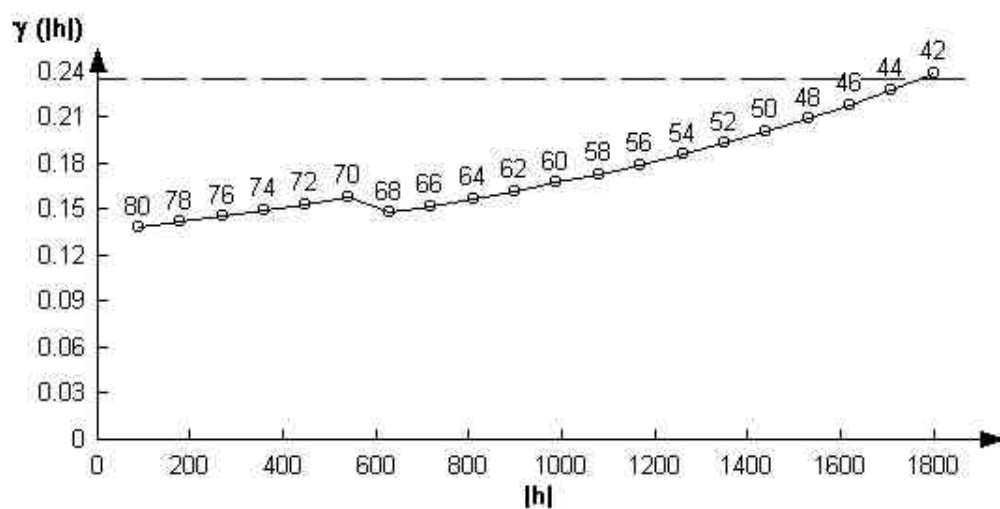


Figura 59: Variograma para o K2O – S3.

Os variogramas para sílica, alumina e LOI da série 3 e, entrando agora o potássio para este grupo, apresentam aquele mesmo padrão linear do modelo potência, observado nas séries 1 e 2.

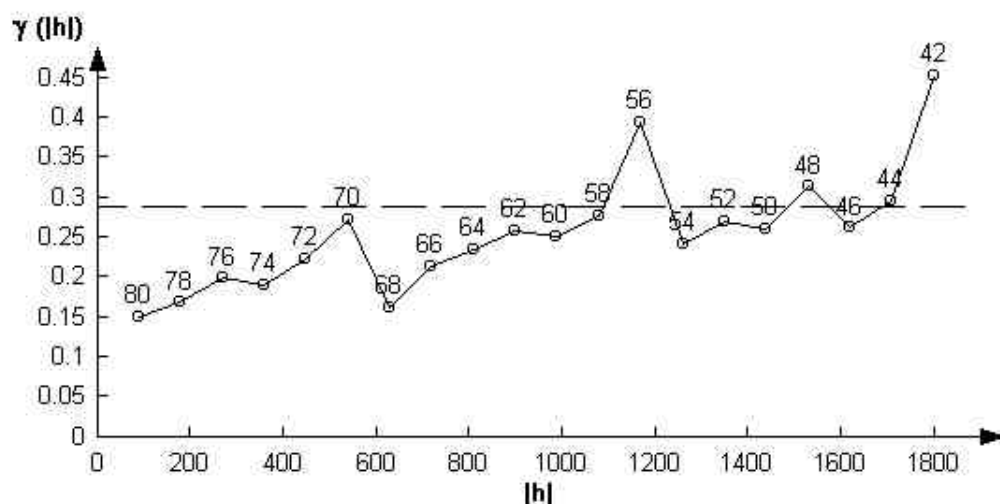


Figura 60: Variograma para o MgO – S3

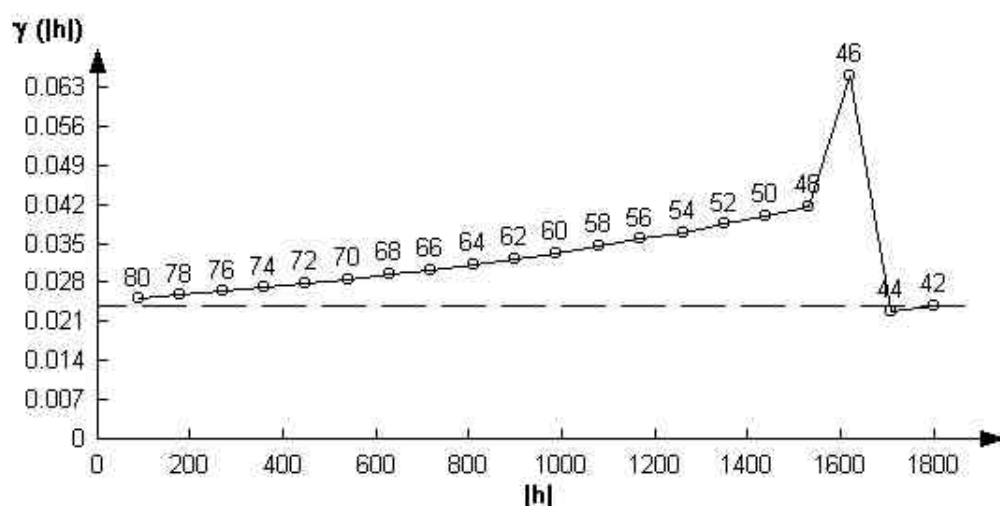


Figura 61: Variograma para o Na2O – S3.

O variograma para o magnésio de S3 é bastante complexo, apresentando algumas estruturas superpostas, mas o destaque é dado a uma estrutura cíclica com período praticamente exato de 10 horas.

Já o variograma do sódio de S3 mostra que este elemento apresenta uma variância alta, acima da variância a priori.

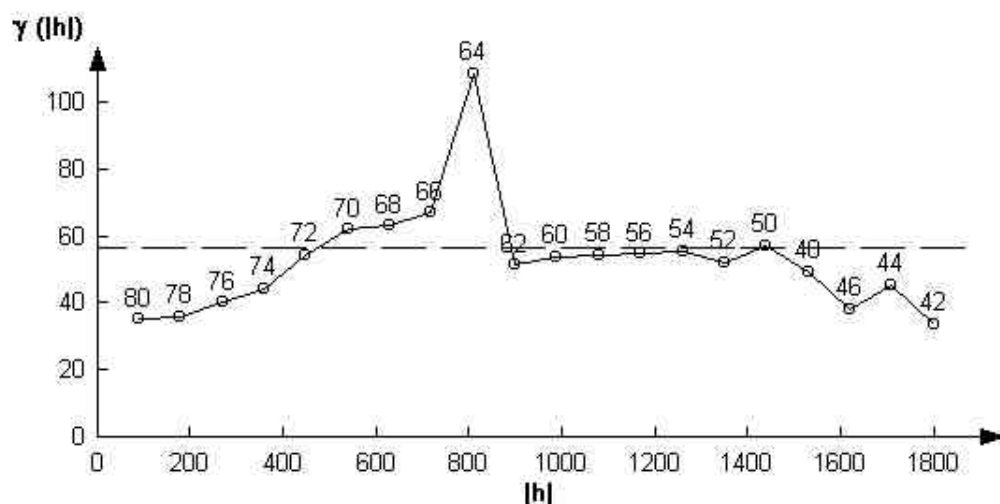


Figura 62: Variograma para o fator granulométrico (R).

O variograma do fator R de S3 se encaixa ao modelo potência, e é uma exceção entre os demais da série 3, possuindo o menor alcance dentre eles.

7.2.2.2.4. Discussão e Comparação dos Resultados para Variabilidade Temporal

As cartas de controle apresentadas mostram algumas características não visualizadas nos gráficos de linha, nos quais só era possível perceber a tendência ao longo do tempo.

As tendências ascendentes e descendentes são visíveis, também, nas cartas de controle mas, além disso, pode-se perceber também que:

- 1) Muitas variáveis estão fora de controle estatístico, apresentando valores externos às linhas limites de controle as quais marcam a amplitude máxima que os dados poderiam atingir, se contidos na região estatisticamente mais provável, segundo a distribuição de Gauss, ou seja, três desvios padrões acima e abaixo da média amostral;
- 2) Por outro lado, a variabilidade também é alta, mesmo quando não há pontos fora de controle;
- 3) A distribuição temporal dos dados em torno da média é normalmente estruturada ao longo do tempo e, em alguns casos, mostra clara mistura de população, como em S3, fato já sugerido anteriormente nos histogramas;

- 4) Para esta pesquisa, o fato mais importante a ser destacado é um claro aumento na variabilidade e na falta de controle estatístico, a partir de S1 até S3;
- 5) A constatação acima mostra que à medida que se amplia o campo amostral fica mais fácil visualizar uma estrutura de variação com ordem de grandeza muito maior que os campos amostras fechados máximo de 30 minutos de amostragem, sendo este um dos motivos por que não se detalharam os dados de S1 e S2 anteriormente, pois resultaria numa análise pouco discriminante;
- 6) As cartas de controle não se mostram eficientes, no caso estudado, para determinar a amplitude das estruturas de variação.

A visão geral da análise variográfica mostra que as variáveis sílica, alumina e LOI possuem muitas características comuns entre todas as séries, estando a diferenciação nos álcalis e na granulometria.

Essas últimas variáveis mostram um grau de estruturação crescente à medida que evoluem da série 1 para a série 3. Interessante que, nas cartas de controle, o mesmo padrão foi observado, mas do ponto de vista da variabilidade, estabilidade estatística e centralização na média, que são efeitos do que se vê nos variogramas.

A estruturação crescente nos variogramas indica que, para espaçamentos muito apertados de amostragem para o material em questão, as amostras são tomadas em campos mais ou menos homogêneos e, portanto, implicam variogramas menos estruturados como discutido inicialmente. À medida que o espaçamento das amostras aumenta, as estruturas (heterogeneidades da massa) começam a aparecer.

Contudo, percebe-se que ainda não se atingiu o espaçamento e a amplitude ideal do campo amostral, para que se possam obter todas as características das heterogeneidades presentes.

Podem surgir questionamentos do tipo:

— E quanto aos elementos que estão sempre apresentando comportamento linear?

Pois bem, eles estão refletindo apenas as segregações de processo, uma vez que, dificilmente, uma jazida mineral apresenta estruturas tão lineares assim. A linearidade é, neste caso, característica de processos mecânicos como moagem, descarga de silos etc, que inserem uma componente de segregação muito forte,

sentida principalmente para o quartzo e cristais ou agregados policristalinos maiores presentes, com muita argila na composição (alumina).

— Mas se o potássio está na argila por que não apresenta o mesmo padrão, acompanhando a alumina?

Para este caso, a mesma pergunta deveria ser feita, então, na estatística básica, uma vez que potássio e alumina também não apresentam uma forte correlação linear.

Por outro lado, se a variabilidade do potássio fosse oriunda de erros analíticos ou de amostragem, isso não justificaria as estruturas com autocorrelação apresentadas, mas seriam variações aleatórias.

É possível, porém bastante complexo, elaborar planos futuros de amostragem que contornem o problema da superposição das estruturas de autocorrelação, geradas pelo processamento industrial.

Para finalizar, é interessante notar que as estruturas lineares captadas pelos variogramas não foram, de um modo geral, captadas pelos gráficos de linhas, nem tampouco pelas cartas de controle, salvo exceções.

A explicação para o fato é simples: aquelas não são funções autoestruturantes como o variograma e, portanto, não detectam com facilidade estruturas de autocorrelação. Assim uma opção seria usar a função covariância na análise de séries temporais, mas existem restrições para o seu uso, não encontradas no uso dos variogramas.

Em função das características de maior autocorrelação nos dados da série 3, justifica-se a concentração das análises estatísticas anteriores para esta série de amostras.

7.2.3. Avaliação da Variabilidade do Produto Prensado

Para completar as metas de trabalho propostas na metodologia, é preciso, ao menos, efetuar uma breve avaliação das características dos produtos, para verificar se tudo o que foi visto até agora na jazida e na massa cerâmica pode ter alguma influência na variabilidade das características de interesse nos mesmos, começando aqui pelos produtos após a prensagem, utilizando-se para isso da ferramenta da qualidade carta de controle, sendo os resultados apresentados a seguir.

Cartas de Controle

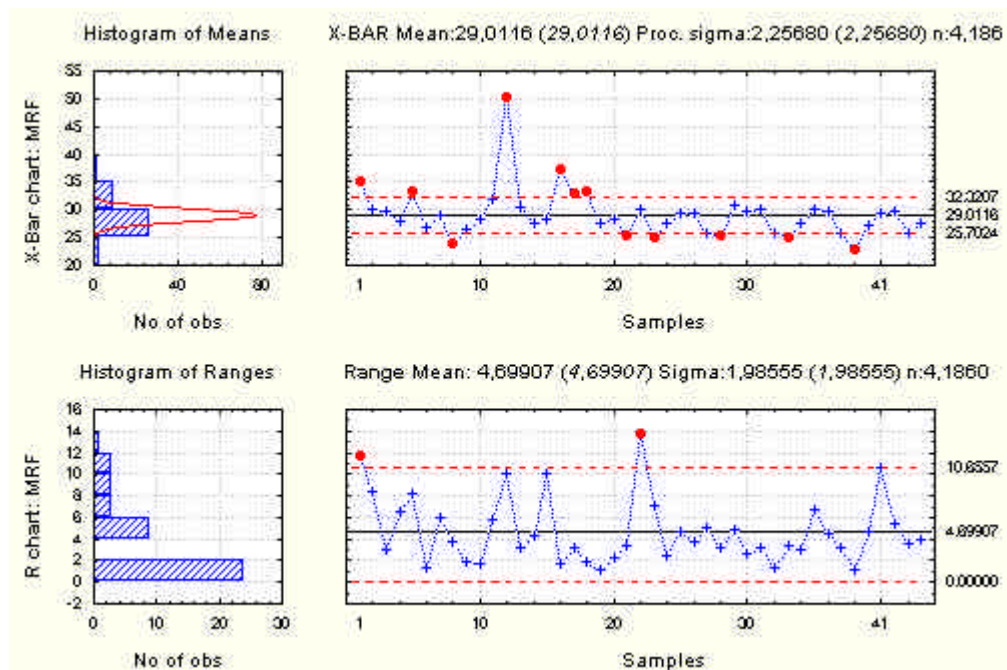


Figura 63: Carta de controle do MRF- seco para o período do mês 11 de 2000 (amostragem de 4 em 4 horas durante 13 dias).

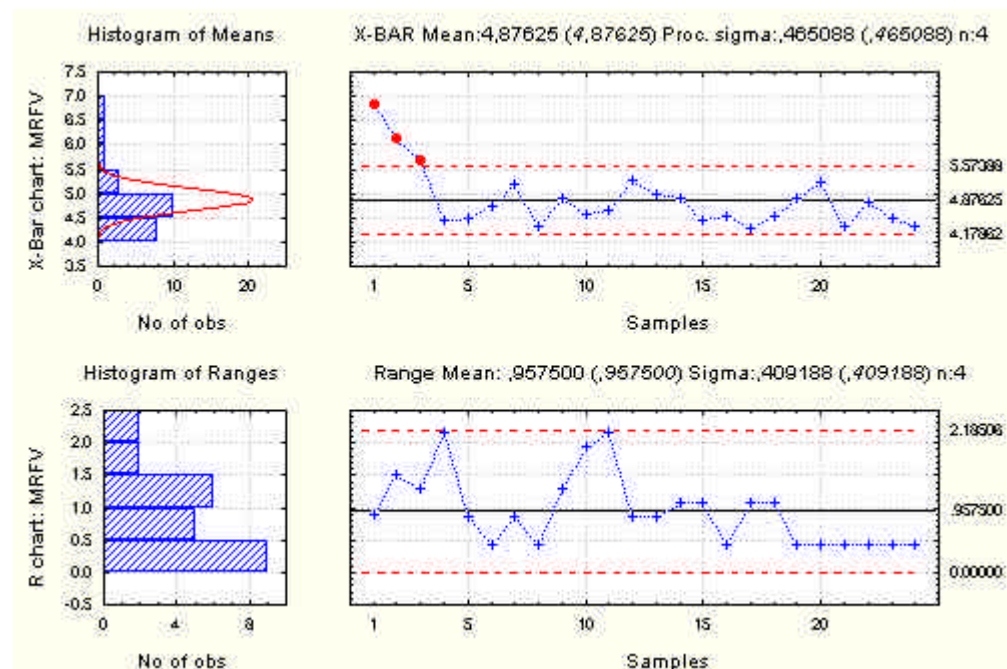


Figura 64: Carta de controle para o MRF - verde do período do mês 08 de 2001(amostragem de 3 em 3 horas durante 4 dias).

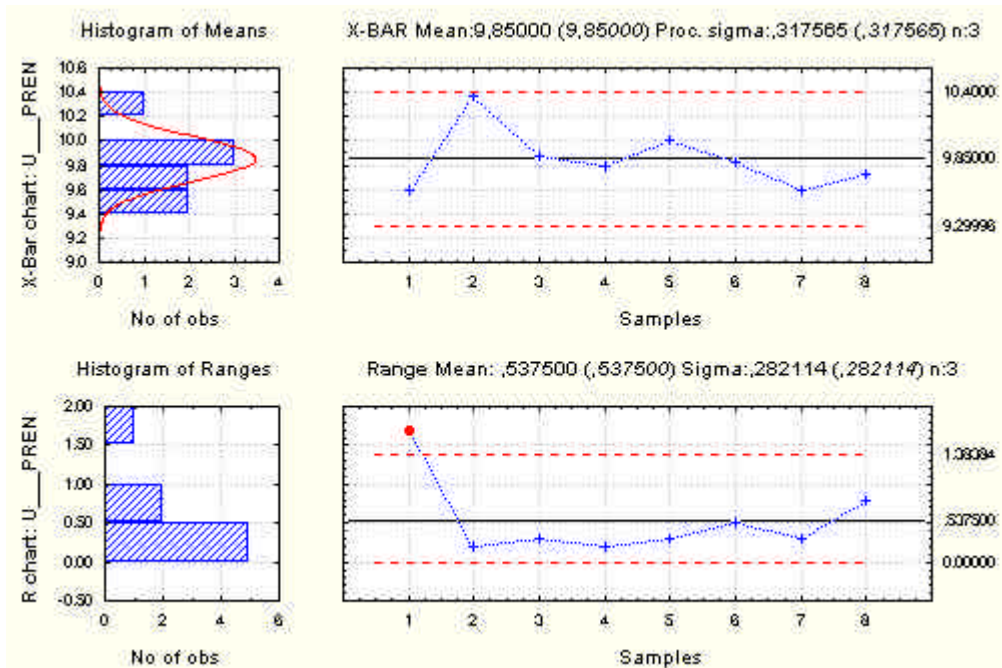


Figura 65: Variação da umidade na prensa para o mesmo período de 08/2001 contemplado na carta do MRF a verde (amostragem de 3 em 3 horas durante 4 dias).

7.2.3.1. Discussão dos resultados para Variabilidade do Produto Pressado

A carta de controle para o MRF a seco, da figura 63, mostra uma grande variabilidade nos dados, com muitos pontos fora de controle estatístico.

As cartas das figuras 64 e 65 mostram uma condição um pouco melhor, mas ainda ocorrem pontos fora de controle e o MRF a verde mostra, além dos pontos fora de controle, estruturas não-aleatórias que implicam em variação na qualidade.

Os pontos fora de controle do MRF, figura 64, não podem ser explicados pela variação da umidade da massa, pois a carta de controle obtida para esse período não mostra pontos fora de controle no gráfico da média, mas apenas no de variabilidade. Isso, ao menos, para a estrutura de amostragem que foi possível executar.

7.2.4. Avaliação da Variabilidade do Produto Acabado

Cartas de Controle

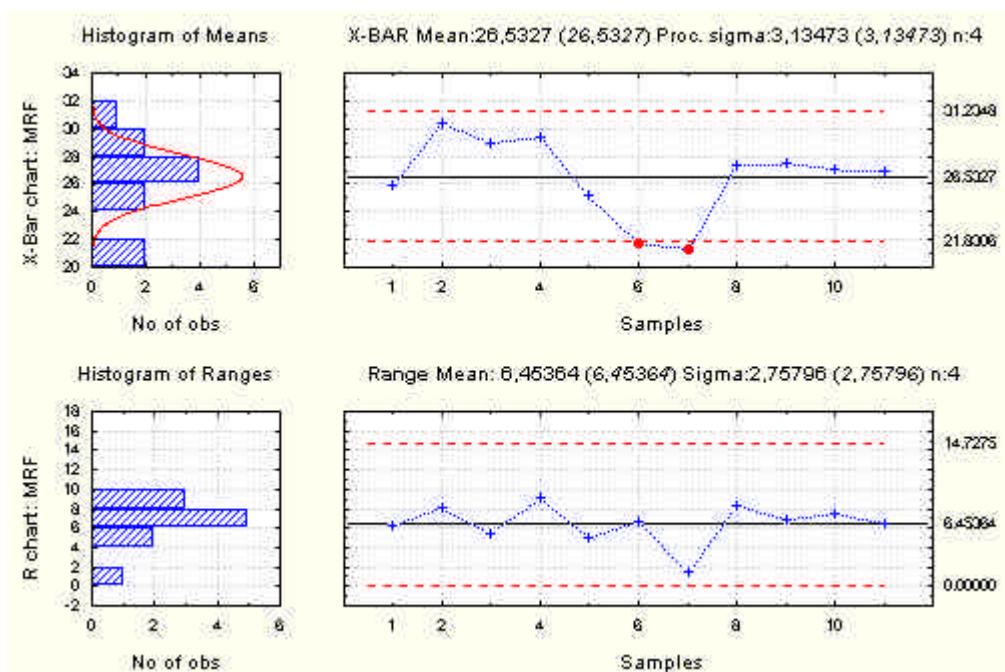


Figura 66: Carta de controle para o MRF após queima no período de 13/10 a 09/11/2001 –(Massa antiga).

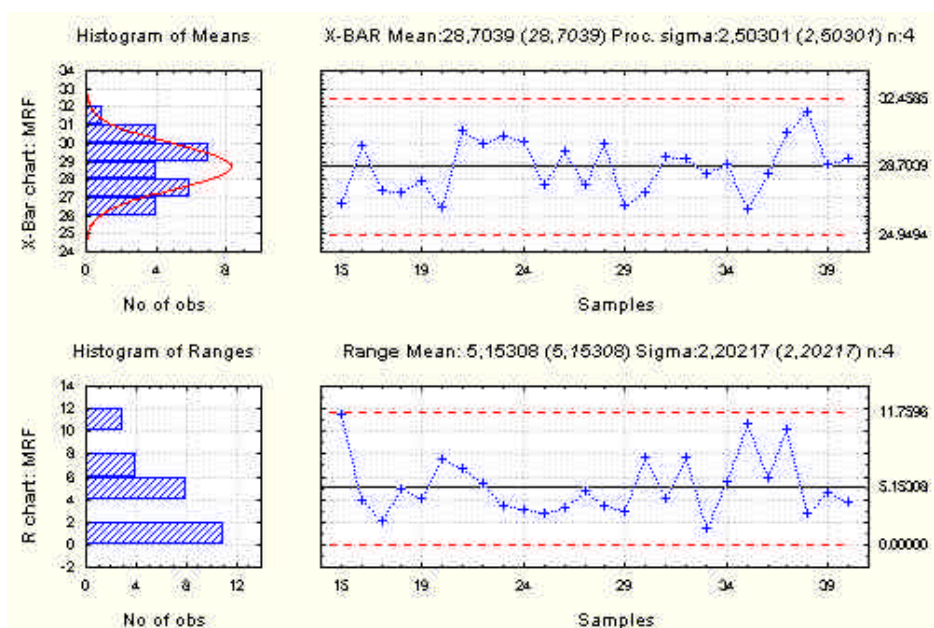


Figura 67: Carta de controle para o MRF após queima no período de 16/11/2001 a 08/01/2002. (Massa preparada a partir do novo método de lavra baseado na compartimentação em 5 camadas).

7.2.4.1. Discussão dos Resultados para Variabilidade do Produto Acabado

A avaliação do produto acabado, também para a variável MRF mas, neste caso, do produto após queima, pôde ser realizada justamente no período em que terminou a massa existente em estoque. Após alguns problemas iniciais, entrou em produção a massa com a nova formulação, gerada a partir da compartimentação da jazida em 5 camadas, obtida a partir dos resultados desta pesquisa.

O gráfico para a massa antiga apresenta, como anteriormente, pontos ainda fora de controle estatístico e uma configuração geral pouco aleatória.

É possível notar que, pela primeira vez entre os períodos analisados, se obteve um período sob controle — apresentado na carta de controle da massa nova — que não mostra pontos fora de controle estatístico, tendo sido avaliado um grande período de quase três meses.

No mesmo período, foram observados dados como bitolas e calibres, problemas antes muito comuns e que, durante o período de uso da massa nova apresentaram uma marcante tendência de queda.

Para ilustrar este fato a figura 68 mostra a evolução dos resultados de bitola e calibre medidos na máquina de escolha automática das linhas de produção. A figura mostra uma divisão em quatro fases, a saber: na primeira fase estão os resultados

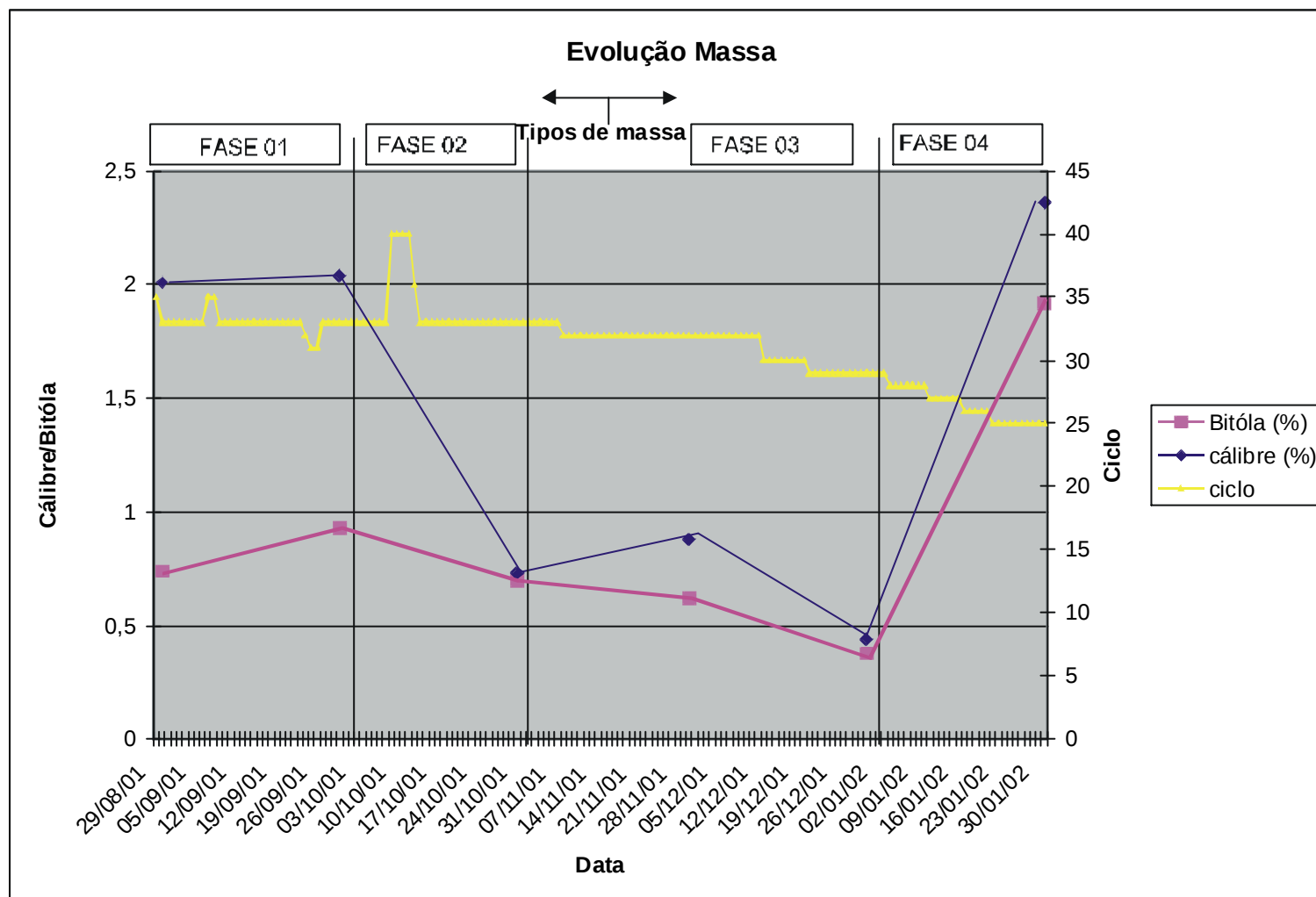


Figura 68: Evolução dos resultados de processo para diferentes tipos de massas (antigas e novas). Fase 1: massa antiga; fase 2: 60% massa antiga + 40% massa nova; fase 3: 100% massa nova e fase 4: massa com diversas fontes externas de matéria-prima. Obs.: A massa nova é aquela preparada apenas com matérias-primas lavradas pelo método seletivo implantado.

do período de massa antiga; a segunda fase mostra os resultados de um período intermediário no qual foram utilizados na formulação cerca de 60% de materiais dos estoques antigos com 40% de materiais provindos do novo método de lavra seletiva; na terceira fase foram usados apenas estoques do material lavrado no método novo seletivo e na quarta fase, por motivos logísticos e intempéries, foram incorporadas várias matérias-primas oriundas de diferentes fornecedores externos, até a normalização dos estoques.

Notar na figura 68 que o ciclo de queima (em amarelo) foi sendo acelerado ao longo das fases, mas somente influenciou nos resultados da fase quatro quando, ao mesmo tempo em que utilizavam-se matérias-primas de fornecedores externos o ciclo atingiu a sua maior velocidade.

Portanto, ao longo do período analisado foram usados diferentes ajustes de fábrica, partindo-se de ciclos longos com cerca de 35 minutos até ciclos de 29 minutos, sem que os índices de bitola e calibre tiveram a sua maior tendência de queda na fase 3 quando foram utilizadas apenas matérias-primas lavradas de forma seletiva, e a tendência se manteve mesmo quando o ciclo foi acelerado até certo ponto.

Um outro ponto importante a ser destacado é que a massa nova passou a ser composta com apenas 4 das cinco argilas individualizadas, pois, após um período de 4 meses de estudos, ficou evidente que a matéria-prima da camada 2b era a principal causadora de problemas de quebra pós-queima, historicamente comuns nos produtos da empresa em foco, e agravado no primeiro lote de massa preparado com as 5 camadas em função de uma variação local da jazida.

Aparentemente, ocorre uma variação lateral na jazida, o que agrava o problema na direção atual de avanço nas frentes de lavra.

A separação das 5 camadas foi efetuada, sem que se soubesse ser uma delas a causa dos problemas de quebra, fazendo-se a separação apenas com base, inicialmente, em critérios geológicos, depois confirmados pela análise estatística multivariada.

Contudo, sem a separação realizada, teria sido praticamente impossível detectar o problema, no caso, muito sutil do ponto de vista analítico, mas desastroso em fábrica, chegando a provocar quebras de 100% do produto final, logo na saída do forno, em dispositivo do tipo passa-não-passa com carga uniaxial.

Felizmente esta foi uma contribuição adicional da pesquisa, que não estava prevista no projeto inicial.

Finalmente, deve-se esclarecer que a maior estabilidade apresentada pela massa nova e constatada na carta de controle e demais controles dimensionais de processo, é resultado da maior seletividade mineira, fator trivial em todos os ramos da mineração em que, ao se trabalhar com as diferentes tipologias de minério individualmente, os procedimentos de homogeneização e dosagem são muito favorecidos.

Neste sentido, sabe-se que, em cerâmica, pequenas variações de dosagem entre tipos diferentes de matérias-primas, ainda que sejam de mesma natureza (argilas industriais, por exemplo), podem provocar variações significativas nas características físicas que qualificam os produtos finais, como discutido em detalhes por Melchiades *et al.* (1997).

Atualmente a formulação da massa não foi mantida em função da demanda, e de problemas operacionais com a jazida, tendo forçado a empresa voltar a adquirir uma parte da matéria-prima necessária em fornecedores externos.

Novos estudos de mudança de método de lavra e do uso de tipos minerais alternativos não lavrados até então nesta jazida estão atualmente em andamento, com o intuito de devolver a auto-suficiência de matéria-prima para a base cerâmica à indústria em questão, sendo que os resultados destes estudos poderão ser publicados em futuro próximo.

8. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que está confirmada a primeira hipótese de trabalho proposta na pesquisa, desfazendo-se, assim, o mito da suposta homogeneidade lateral das jazidas da região, usadas para massa cerâmica de pisos e revestimentos.

Como decorrência da comprovação da hipótese 1, a segunda hipótese proposta fica automaticamente confirmada, no tocante à necessidade de investimentos para a execução de trabalhos mais detalhados e técnicos no campo de caracterização geológica formal das jazidas do pólo cerâmico, no qual se insere a pesquisa.

A eficácia e a aplicabilidade das técnicas utilizadas no setor estudado, as quais normalmente são empregadas no segmento de mineração em geral, ficam também demonstradas por meio dos resultados da pesquisa, uma vez que foram usadas técnicas conhecidas, mas que ainda não haviam sido aplicadas em conjunto no setor de matérias-primas para massa cerâmica de revestimentos via seca.

Uma série de conclusões específicas pode ainda ser listada e, em seu conjunto, subsidiam as afirmações retromencionadas.

Jazida:

- 1) Foram encontradas, na jazida, variações verticais e laterais de intensidade significativa quanto à influência nas características de qualidade do produto cerâmico, em especial nos resultados de ensaios físicos;
- 2) O mapeamento geológico, incluindo todas as atividades de campo apresentadas, mostrou-se de vital importância para o sucesso das demais etapas subseqüentes, em especial no tocante ao balizamento da amostragem;
- 3) Os critérios de campo usados para delimitação da amostragem tiveram maior confirmação na mineralogia e na análise de agrupamento multivariada, do que nos resultados químicos;
- 4) Os ensaios físicos apresentaram-se muito mais eficazes na discriminação da variabilidade da jazida do que as análises químicas;

- 5) Os ensaios de perda ao fogo e granulometria mostraram-se bastante adequados para serem utilizados durante os trabalhos de desenvolvimento e parametrização da jazida, por apresentarem boa correlação com a maioria dos demais ensaios físicos e com a própria química;
- 6) As medidas de densidade do compacto a verde (MEA) e densidade da massa (MEAs) definiram-se como os maiores controladores de variabilidade do conjunto de dados estudado e serão também avaliadas com mais cuidado durante o desenvolvimento da lavra;

Variabilidade da Massa dentro do processamento industrial convencional preexistente:

- 1) Os estudos variográficos, combinados com o método clássico de cartas de controle, mostraram-se de especial aplicabilidade no setor, tendo sido úteis em dois aspectos básicos:
 - a) Detecção de estruturas temporais não-aleatórias na massa, que comprovam a pouca eficiência da homogeneização realizada convencionalmente e a vinculação dessas variações com as variações da jazida;
 - b) Possibilidade de avaliação também das características de heterogeneidade geradas pelo próprio processo.
- 2) Os espaçamentos utilizados para amostragem da massa cerâmica apresentaram-se muito densos para avaliação variográfica das variações globais da massa, sendo, porém, adequados para avaliação do comportamento na origem e das condições de processo. A escolha dos espaçamentos densos não poderia acontecer de outra forma por ser a primeira vez que se desenvolvia um estudo deste tipo no setor.
- 3) Futuramente, poderão ser executados estudos variográficos da massa, por longos períodos, utilizando ensaios de fácil execução em fábrica.

Produtos Prensados e Após Queima:

Infelizmente, em função de uma série de contratempos operacionais e de força maior, os estudos dos produtos na fábrica não foram tão aprofundados quando se desejava inicialmente mas, mesmo assim, constatou-se o seguinte:

- 1) As características de interesse cerâmico, avaliadas nos produtos prensados e queimados, mostraram-se com variabilidade muito alta e pouco centrados na média amostral, para vários períodos de amostragens efetuadas;
- 2) Contudo, no período em que se passou a produzir, usando a nova metodologia de lavra seletiva resultante desta pesquisa, as características se estabilizaram, e isto para uma ampla faixa de ciclos de queima e de temperaturas de queima testadas em fábrica.

Diante de tudo o que foi obtido, resta comentar que o trabalho desenvolvido abordou, simultaneamente, muitos aspectos relacionados a diferentes etapas do processo cerâmico e não se tem a pretensão de que um único ramo profissional possa, de forma satisfatória, atender a todas as demandas apontadas na pesquisa.

O Brasil pode e deve, como quarto maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos, aumentar muito as suas exportações e tem potencial humano e de matérias-primas adequados para fazer prosperar ainda mais a produção, desde que o produto possua, ao menos, uma boa qualidade intrínseca.

Para isso, os resultados aqui obtidos apontam um caminho técnico e que deve, necessariamente, contar com a participação conjunta de profissionais das diversas áreas afins (geologia; eng. de minas; eng. de materiais; eng. de produção e de qualidade; etc.), para que se possa atingir uma característica comum de qualidade intrínseca no produto brasileiro, de forma a alavancar as exportações e permitir o aumento ordenado e racional da produção.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1997. NBR 13817:1997. Placas Cerâmicas para Revestimentos - Classificação, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1997. NBR 13818:1997. Placas Cerâmicas para Revestimentos - Especificação e Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro.
- ABORRAGE, A.M. & LOPES, R.C. 1986. Projeto a borda leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Relatório final. DNPM, CPRM, 18v.
- ALMEIDA, F.F.M. de & BARBOSA, O. 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Bol. DNPM-DGM, **143**: 96p., Rio de Janeiro.
- AMARANTE JR, A. s.d.. Revestimentos Cerâmicos - Tecnologia (Moagem, Moinhos, Granulometria). Apostila curso de tecnologia cerâmica. Sind. das Ind. da Const. e Mob. de St. Gert. 34p.
- AMORÓS, J. L. A.; PORCAR, V. B.; FUENTES, A. B.; NAVARRO, J. E. E.; BENLLOCH, A. E.; MEDALL, F. N. 1991. Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos, Valência. Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas-AICE & Instituto de Tecnología Cerámica-ITC. Universitat de Valência.169p.
- BARBA, A.; BELTRÁN, V.; FELIU, C.; GARCÍA, J.; GINÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, V. 1997. Materias Primas para la Fabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas. Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas-AICE & Instituto de Tecnología Cerámica-ITC. Universitat de Valência. 291p.

- BARBOSA, O. & GOMES, F. de A. 1958. Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. Brasil. Bol. DNPM-DGM, **171**: 40p. Rio de Janeiro.

- BERNARDES, L.J.L.; VITTI, E.D.; VARGAS, V. 1996. A Formação de defeitos em Pisos e Revestimentos Cerâmicos. Cerâmica, São Paulo, 43 (275) P. 190-193, Mai/jun.

- CHAMLEY, H. 1989. **Clay sedimentology**. Berlin. Springer-Verlag. 563p.

- CHORLET, S. 1994. Eliminación del fenómeno de corazón negro en los ciclos de cocción rápida. bol. Soc. Esp. Cerám. vidrio, 33 (33) p. 149-150.

- CHRISTOFOLETTI, S.R., 1999. Matéria Prima Cerâmica da Jazida Cruzeiro, Limeira, SP. Rio Claro. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP.

- CHRISTOFOLETTI, S.R.; MASSON, M.R.; THOMAZELLA, H.R.; FUGIE, A; MORENO, M. M. T; VALARELLI, J.V.; *in memorian*. 2000. Mapeamento e Caracterização Geológica/Tecnológica da Formação Corumbataí Com Vistas ao seu Emprego na Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte II - Caracterização tecnológica e sua correlação com a geologia. Cong. Br.Cer. São Pedro – SP. (Inédito).

- CTCPF – CORPO TÉCNICO DA CERÂMICA PORTO FERREIRA. 2000 – Análise Crítica das Novas Normas Técnicas de Revestimento Cerâmico: Parte 1. Cerâmica Industrial, 5 (1) Janeiro/Fevereiro.

- DAVID, M., 1977. **Geoestatistical ore reserve estimation**, amsterdam. Elsevier. 364p.

- DAVID, M., 1988. **Handbook of applied advanced geoestatistical ore reserve estimation**, amsterdam. Elsevier. 216p.

- DAVIS, J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. (2ed.) John Wiley & Sons, Inc. New York, 646 pp.
- DEER, F.R.S; HOWIE, R.A. & ZUMMAN, J. 1966. **An introduction to the rock forming minerals**. 1^a ed. London. Longman. 528p.
- ECOLE DE MINES DE PARIS. 1997 – ISATIS – The Geostatistical Key. Versão para IBM/RISC 6000, France: Geovariances. V3.0.2.
- ESCARDINO, A.; SÁNCHEZ, E.; ENRIQUE, J.E.; BELTRÁN, V. 1993. Comportamiento de las pastas de cocci3n roja y blanca durante el proceso de fabricaci3n de baldosas cerámicas (Influencia sobre las carcterísticas del producto). Técnica Cerámica, 219, p.794-802.
- FERREIRA, G.C. 1995. Estudo dos mercados produtor e consumidor de areia industrial de São Paulo. Rio Claro, Tese de Doutorado, IGCE/UNESP, 142p.
- FULFARO, V.J. 1970. Contribuiç3n à geologia da regi3o de Angatuba, Estado de São Paulo. Div. Geol. Miner. DNPM-DGM. Rio de Janeiro. Bol., **254**: 83p., 33fig.
- FULFARO, V.J. 1971. Evoluç3o tectônica e paleogeográfica da Bacia Sedimentar do Paraná pelo “trend surface analysis”. Tese de Livre Docência. IG-SP. Bol. Esc. Eng. São Carlos, **14**: 112p.
- GAMA JR., E. 1979a. A sedimentaç3o do Rio Passa Dois (exclusive Formaç3o Irati): um modelo geomórfico. Rev. Bras. Geoc. **9**(1): p.1-16.
- GAMA JR., E. 1979b. Sistemas deposicionais do Grupo Passa Dois. *In: Atas...II Simp. Reg. Geol.*, Rio Claro, SP, **1**: p.195-200.
- GASPAR Jr, L. A. 1999. Caracterizaç3o das Matérias-Primas Cerâmicas da Jazida Peruchi, SP. Rio Claro. Dissertaç3o de Mestrado, IGCE/UNESP.

- GIRODO, A. C. & CLARET, A. A. C. 1998. Curso Rápido de Geoestatística e Planejamento Mineiro. Apostila. Sociedade Brasileira de Geologia. Belo Horizonte (MG).
- GOMES, C. S. F. 1990. **Minerais industriais - matérias-primas cerâmicas**. 1ed. Aveiro, Instituto Nacional de Investigação Científica. 247p.
- GREGO, M.I.B. – 1998 – Estudo dos efeitos da aditivção de argilas com tortas de filtração para produzir blocos de vedação. Dissertação de Mestrado, UNESP, Rio Claro. 108p.
- GUERRA, P. A. G. 1988. **Geoestatística operacional**. Brasília, Ministério da Minas e Energia. DNPM. 145p.
- GY, P. 1992. **Sampling of Heterogeneous and Dynamic Material Systems**. Elsevier. Holanda, 652p.
- HASHIRO, J. 1991. Litotipos, associações faciográficas e sistemas deposicionais da Formação Irati no estado de São Paulo. SP. Dis. Mestr. IG/USP, ?p.
- HOULDING, S.W. 1994. 3D Geoscience Modeling. Computer Techniques for Geological Characterization. Springer-Verlag, Berlin. 309p.
- ISSAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. 1989. **Applied Geoestistics**. Oxford University Press, New York, 561p.
- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. 1978. **Mining Geoestistics**. London, Academic Press, 600p.
- KINGERY, W.D.; BOWEN, H.K.; UHLMANN, D.R. 1976. **Introduction to ceramics**. 2ed. New York, John Wiley & Sons, 1032p.
- KOCH Jr. G.S. & LINK, R.F. 1971. Statistical Analysis of Geological Data. John Wiley & Sons, Inc. New York. 438pp.

- KIRSCH, H. 1972. **Mineralogia aplicada**. 1ª ed. Trad. FRANCO, R.R. São Paulo, Polígono. 291p.

- KUME, H. 1985. Statistical Methods for Quality Improvement. AOTS – The Association for Overseas Technical Scholarship. Tokyo, 231pp.

- LANDIM, P.M.B. 1967. O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP). DNPM-DGM. Boletim 252.

- LANDIM, P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois (P) na bacia do Rio Corumbataí. Brasil. DNPM-DGM. Boletim **252**: 103p.

- LANDIM, P.M.B. & FULFARO, V.J. 1972. Trend-surface analysis of Carboniferous and Permian thickness data from Paraná Basin. *Anais...Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, **44**: p.187-196 (suplemento).

- LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C. & GAMA JR., E.G. 1980. Estratigrafia do Nordeste da Bacia do Paraná. Curso de Especialização. Rio Claro. IPT-UNESP. 69p.

- LANDIM, P.M.B. 1997 – Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados. Apostila. Laboratório de Geomatemática – Publicação didática nº 5 (reeditada). 50p.

- LOLLI, L.; NASSETTI, G.; MARINO, L.F.B. 2000 – A Preparação a Seco de Massas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial*, 5 (2) Março/Abril.

- MASSON, M.R.; SILVA, C.S.C.; GOES, V.A.; SASSAKI, M.S.; CAMILO, R.A.; MARTINS, W.C.L.; QUIRINO, J.C. 1997. O Estágio Atual da Qualidade Total e demais Sistemas da Qualidade no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes - Cordeirópolis (SP). Rio Claro. Monografia de Pós-Graduação em Administração da Qualidade. FAAP. 110P.

- MASSON, M.R. (1998). Rochas da Formação Corumbataí Como Matéria-Prima para Indústria Cerâmica: Sua Influência na Qualidade dos Produtos. Rio Claro. Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP, 143p.

- MASSON, M.R.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; THOMAZELLA, H.R.; FUGIE, A.; ZANARDO, A.; ALEGRE, V. 2000a. Mapeamento e Caracterização Geológica/Tecnológica da Formação Corumbataí Com Vistas ao seu Emprego na Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte I - Geologia E Correlação Entre As Minas E Jazidas Estudadas. Cong. Br.Cer. São Pedro – SP. (Inédito).

- MASSON, M. R. & CZAJKOWSKI, S. 1999. **MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA MODELAGEM DE SUPERFÍCIES**. Apostila interna preparada para alunos do curso de pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, UNESP/RC.

- MASSON, M.R.; THOMAZELLA, H.R.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; ZANARDO, A.; 2000b. Análise Estatística Multivariada Aplicada ao Mapeamento Regional e Caracterização/Compartimentação de Jazidas de Matérias-Primas para Revestimentos Cerâmicos Via Seca. Cong. Br.Cer. São Pedro – SP. (Inédito).

- MATHERON, G. 1963 – Principles of Geostatistics. Economic geology; V. 58, p. 1246-66.

- MATOS, S.L.F. 1995. O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. São Paulo, Dis. de Mestrado. Inst. Geoc./USP, 110p.

- MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. 1997. A curva de Gresificação: Parte II. Cerâmica Industrial. 02 (01/02) Janeiro/Abril.

- MELLO, I.S.C.; MOTTA, J.F.M. & OKAGAWA, H. 1994. Wollastonita do Vale do Ribeira, SP: uma nova perspectiva para a indústria cerâmica do sul e sudeste brasileiro. In: Congr. Bras. Cer. 38, Blumenau, 1994. *Anais...Blumenau ABC*, **1**: p.409-414.

- MENDES, J.C. 1952. A Formação Corumbataí na região do rio Corumbataí (estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr., Univ. São Paulo, **145** (Geol., 8): 119p., 4 est.

- MENDES, J.C. 1961. Algumas considerações sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná. Bol. Paranaense Geogr., **4/5**: p.3-33.

- MENDES, J.C. 1967. The Passa Dois Group (The Brazilian Portion of Paraná basin). *In*: BIGARELLA, J.J; BECKER, R.D.; PINTO, I.D. (eds.). Problems in Brazilian Gondwana geology. Curitiba, Cons. Nac. Pesq., Centro Invest. Gondwana, Inst. Geol. (UFP). Comis. Carta Geol. Paraná, p.166-199.

- MILLOT, G. 1964. **Géologie des argiles**. 1^a ed. Paris, Masson. 499p.

- MINERAL INDUSTRIES COMPUTING LIMITED. 1996 – DAMINE – The minig software. Versão para SUN/Solaris 2.5.1. England: references Manuals Users Guide and Tutorials. 1(1), V.3.7. Update 4.

- MOTTA, J.F.M. 1991. Avaliação do potencial geológico para argilas plásticas para cerâmica branca do estado de São Paulo. Rio Claro, Dissertação de Mestrado. IGCE/UNESP, 177p.

- MOTTA, J.F.M. 2000 – As matérias-primas cerâmicas e o estudo de três casos de rochas fundentes. Tese de doutorado. UNESP, Rio Claro. 208p.

- NASSETTI, G.; PALMONARI, C. 1992 – Dry Fine-Grinding & granulation vs Wet Grinding & Spray Drying for the Preparation of a Redware Mix for Fast Single-Fired Vitrified Tile – Publication Expected on Cer. Eng. Sci. Proc. Paper Presented at the American Ceramic Society's 94th Annual Meeting and Exposition, Minneapolis (USA), April 12-16.

- NORTON, F.H. 1973. **Introdução à tecnologia cerâmica**. 1^a ed. Trad. SOUZA, J.V. São Paulo. Ed. Edgar Blücher Ltda. 324p.

- OLIVEIRA SOUSA, M. H. (1999). Utilização das rochas da formação Irati como aditivos na massa cerâmica de revestimento do pólo de Santa Gertrudes. Rio Claro. Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP, 149p.

- PALADINI, E. P., 1995, **Gestão da Qualidade no Processo: A qualidade na produção de bens e serviços**, São Paulo, Editora Atlas S.A., 1 ed., 286 p.;

- PANATIER, Y. 1996 – VARIOWIN – Software for Spatial Data Analysis in 2D. New York: springer, Institute of Mineralogy, University of Lausanne. 91p.

- PETRI, S. & COIMBRA, A.M. 1982. Estruturas sedimentares das Formação Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para elucidação dos seus paleoambientes geradores. V Congr. Latinoamer. Geol. Tomo II. Buenos Aires, Argentina, p.353-371.

- PETRI, S.; FÚLFARO J.V. 1983 – Geologia do Brasil. 1ª ed. Editora da Universidade de São Paulo. 631p.

- QUINTEIRO, E.; CASTRAL JR., J.; PINATTI, A. & BOSCHI, A.O. 1995. Estudo comparativo de massas de revestimento para processamento via seca e via úmida. In: Congr. Bras. Cer. 39. Águas de Lindóia, 1995. *Anais...Águas de Lindóia ABC*. 2: p.434-439.

- RAGONHA, E.W. 1978. Condrichytes do Membro Taquaral (Formação Irati) no Estado de São Paulo. Dis. Mestr. apresentada ao Dep^{to} de Paleontologia e Estratigrafia do Inst. Geoc. da USP.

- RAMOS, A.N. & FORMOSO, M.L.L. 1975. Argilo-minerais de rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro. CENPES-DIVEX-PETROBRÁS. Sessão: Exploração de Petróleo, 9: 46p.

- REED, J.S. 1988. **Introduction on the principles of ceramic processing**. 1ª ed. New York, John Wiley & Sons. 486p.

- RODRIGUES, R. & QUADROS, L.P. 1976. Mineralogia das argilas e teor de Boro das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. *In: XXIV Congr. Bras. Geol. Ouro Preto (MG), 1976. Anais...Ouro Preto. SBG, 2: p.351-380.*

- ROCHA, R.; BERNARDES, L.J.C. & VITTI, E.D. 1995. Estudo comparativo de granulação de uma argila por via seca, para produção de pisos cerâmicos. *In: Congr. Bras. Cer. 39. Águas de Lindóia. Anais...Águas de Lindóia ABC. 2: p.427-433.*

- ROHN, R. 1995. Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná. São Paulo, Tese de Doutorado. IG-USP. 175p.

- SACMI, TÉCNICOS DA; Cerâmica Industrial. 1997,02, 17-22.

- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J.; GINÉS, F.; NEGRE, F. 1996. Aspectos a serem melhorados nas características e homogeneidade da argilas vermelhas empregadas na fabricação de placas cerâmicas. ITC/AICE, Espanha. *in: Cerâmica Industrial, 01 (03) Julho/Agosto.*

- SCHERER, G.W. 1990. Theory of drying. J. Am. Cer. Soc., **73**(1): p.3-14.

- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMARI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *Anais...XXVIII Congr. Bras. Geol., 1: p.41-45.*

- SOARES, P.C. & LANDIM, P.M.B. 1973. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. *In: XXVII Congr. Bras. Geol., Aracajú (SE). Anais...Aracajú, 1: p.243-256.*

- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. & FULFARO, V.J. 1974. Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. *In: XXVIII Congr. Bras. Geol. Aracajú (SE), Anais...Aracajú (SE), 4: p.61-85.*

- SOUSA, S. H. M. 1985. Fácies Sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo, Diss. Mestrado, IG - USP, São Paulo, 142 p.

- SOUZA, P.E.C.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M.M.T.; CARVALHO, S.G. 2000 – Proposta de Controle da Matéria-Prima Mineral Utilizada na Indústria de Revestimento Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 5 (1) Janeiro/Fevereiro.

- SOUZA SANTOS, P. 1975. **Ciência e tecnologia de argilas**. SP. 1ed. Edgar Blücher Ltda. 2v. 802p.

- SOUZA SANTOS, P. 1989. **Ciência e tecnologia de argilas**. SP. 2ed. Edgar Blücher Ltda. 3v. 1089p.

- SPIEGEL, M. R. 1993. **Estatística**. 3ed. Makron Books Ltda/McGraw-Hill Ltda. 643p.

- STURARO, J.R. 1988. Estudos do Comportamento Espacial de Variáveis Geológicas e Hidrogeológicas da Área Urbana de Ribeirão Preto – SP. Dissertação de Mestrado. USP/São Carlos. 124pp.

- STURARO, J.R. 1988. Mapeamento geoestatístico de Propriedades Geológicas-Geotécnicas Obtidas de Sondagens de Simples Reconhecimento. Tese de Doutorado. USP/São Carlos. 1994. 183pp.

- TANNO, L.C.; MOTTA, J.F.M. & CABRAL JR., M. 1994. Pólos de cerâmica vermelha do estado de São Paulo: aspectos geológicos econômicos. *In: Congr. Bras. Cer. 38*. Blumenau, 1994. *Anais...Blumenau ABC*, **1**: p.378-383.

- TANNO, L.C. 1995. Geologia e características tecnológicas das argilas esmectíticas da região de Franca-SP. São Paulo, Dis. Mestr. IG/USP. 85p.

- THOMAZELLA, H.R. 1999. Sazonamento de Argilas para Indústria Cerâmica. Rio Claro. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP.

- VALENTE, J.M.G.P. 1982 – Geomatematica – Lições de Geoestatística. Ouro Preto: Fundação Gorceix. 8V.

- VAN VLACK, L. H. 1984. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 4ed. Trad. Monteiro, E. Rio de Janeiro, Campus. 567 p.

- VELDE, 1995. **Origin and mineralogy of clays**. 1^a ed. Berlin. Springer-Verlag. 334p.

- VIEIRA, A.J. 1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. *In: XXVII Congr. Bras. Geol., Aracajú (SE). Anais...Aracajú, 3:* p.259-277.

- WACKERNAGEL, H. 1995 – Multivariate Geoestistics: An introduction on with applications. Berlin; Heidelberg; New York;....Spring-Verlag. 256p.

- WENTWORTH, G. K. 1922. A Scale Grade and Class Terms of Clastic Sediments . J. Geol. 30, 377.

- WHITE, I.C. 1908. Relatório sobre as “Coal Measures” e rochas associadas ao sul do Brasil. Pte. I Com. Est. Carvão de Pedra, relatório final, p. 1-201.