UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005875

ESTUDO COMPARATIVO DAS JAZIDAS DE BAUXITA
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG
MICROMORFOLOGIA, GEOQUÍMICA, GEOMORFOLOGIA E
SENSORIAMENTO REMOTO

Cesar Augusto Chicarino Varajão

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome
Presidente:	<u>Dr. Adilson Carvalho</u>
Examinadores:	<u>Dr. Adilson A. de Abreu</u>
	<u>Dr^a Maria C. T. Groke</u>

ass.

São Paulo
1988

à memória de meu avô

Alexandre Ari Chicarino,
e à de meu pai

Ary Leme Varajão

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS	xv
AGRADECIMENTOS	xix
RESUMO	xxiii
ABSTRACT	xxv
APRESENTAÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - O QUADRO FÍSICO	2
1.1 - GEOLOGIA REGIONAL	3
1.2 - GEOMORFOLOGIA	12
1.2.1 - Trabalhos anteriores	12
1.2.2 - Análise morfométrica do Quadrilátero Ferrífero	23
1.2.2.1 - Coleta de dados	24
1.2.2.2 - Quantificação do relevo	24
1.2.2.3 - Os níveis altimétricos	27
1.2.2.4 - O controle litto-estrutural dos níveis altimétricos	30

1.2.2.5 - Os níveis altimétricos e as superfícies de aplainamento	37
1.2.2.6 - Conclusões	42
1.2.3 - Considerações sobre a evolução morfogénica do Quadrilátero Ferrífero	42

CAPÍTULO II - OS DEPÓSITOS DE BAUXITA DO QUADRILÁTERO

FERRÍFERO	45
2.1 - TRABALHOS ANTERIORES	48
2.1.1 - Protominério transportado	48
2.1.2 - Protominério "in situ"	51
2.2 - METODOLOGIA UTILIZADA PARA O ESTUDO DAS JAZIDAS DE BAUXITA.....	66
2.2.1 - Cadastramento dos depósitos	66
2.2.2 - Coleta de dados pré-existentes	66
2.2.3 - Reconhecimento dos depósitos	67
2.2.4 - Tipo de estudo efetuado	67
2.2.4.1 - Análises químicas	67
2.2.4.2 - Difractometria de raios-x	68
2.2.4.3 - Confecção de lâminas delgadas e impregnação de amostras	69

2.2.5 - Descrição das amostras	73
2.2.6 - Integração e análise dos dados obtidos	73
2.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE BAUXITA	75
2.3.1 - Contexto geológico - geomorfológico	75
2.3.2 - Caracterização segundo as fácies estruturais	79
2.3.3 - Composição mineralógica	81
2.3.4 - Composição química	82
2.3.5 - Classificação em função das características químicas e escolha dos depósitos tipo	84
2.4 - ESTUDO DOS DEPÓSITOS TIPO	88
2.4.1 - Morro do Fraga	88
2.4.1.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das fácies	88
2.4.1.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies	103
2.4.1.3 - Conclusões	105
2.4.2 - Dama 9 - Morro do Fraga.....	106
2.4.2.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das fácies	106
2.4.2.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies	116
2.4.2.3 - Conclusões	117

2.4.3 - Macaquinho	117
2.4.3.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das fácies	119
2.4.3.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies	126
2.4.3.3 - Conclusões	127
2.4.4 - Batatal	129
2.4.4.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das unidades	129
2.4.4.2 - Características químicas e mineralógicas das unidades	142
2.4.4.3 - Conclusões	144
2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DOS DEPÓSITOS	145
2.5.1 - Protominério	145
2.5.2 - Morfogênese e mineralização. Idade dos depósitos	152
CAPÍTULO III - DISCRIMINAÇÃO DE DEPÓSITOS BAUXÍTICOS NA COBERTURA LATERÍTICA DA SERRA DA ÁGUA LIMPA (SINCLINAL DO GANDARELA), ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS TM ("THEMATIC MAPPER") DO LANDSAT 5	
3.1 - IMAGENS DE SATÉLITE	156
3.2 - TÉCNICAS DE REALCE	160

3.2.1 - Ampliação de contraste	160
3.2.2 - Composição colorida	161
3.2.3 - Divisão de bandas	162
3.2.4 - Componentes principais	163
3.3 - O IMAGEADOR MULTIESPECTRAL TM	164
3.4 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	164
3.5 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS TM	169
3.6 - AVALIAÇÃO DAS IMAGENS TM REALÇADAS	170
3.7 - CONCLUSÕES	171
SUMÁRIO DAS CONCLUSÕES	173
FOTOGRAFIAS	177
BIBLIOGRAFIA	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	- Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero	4
Figura 1.2	- Histograma de N (20x20), do Quadrilátero Ferrífero	25
Figura 1.3	- Histograma de A (10x10) do Quadrilátero Ferrífero	26
Figura 1.4	- Histograma de A/N (10x10) do Quadrilátero Ferrífero	28
Figura 1.5	- Histograma de NxA (10x10) do Quadrilátero Ferrífero	29
Figura 1.6	- Histograma de NxA do Quadrilátero Ferrífero	31
Figura 1.7	- Histograma de N (10x10) das Quadrículas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba	33
Figura 1.8	- Histograma de A (10x10) das Quadrículas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba	34
Figura 1.9	- Histograma de NxA (10x10) das Quadrículas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba	35
Figura 1.10	- Bloco-diagrama das Quadrículas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba	36
Figura 1.11	- Histograma de N (10x10) das Quadrículas Rio Acima	

e Gandarela	38
Figura 1.12 - Histograma de A (10x10) das Quadrículas Rio Acima e Gandarela	39
Figura 1.13 - Histograma de NxA (10x10) das Quadrículas Rio Acima e Gandarela	40
Figura 1.14 - Bloco-diagrama das Quadrículas Rio Acima e Gandarela.....	41
Figura 2.1 - Mapa Índice do Quadrilátero Ferrífero mostrando a localização e nomes das quadrículas mapeadas e, a localização das jazidas de bauxita	47
Figura 2.2 - Corte geológico do platô do Conta História	52
Figura 2.3 - Corte geológico da Jazida Morro da Arataca	53
Figura 2.4 - Corte geológico mostrando as encaixantes da jazida bauxita do Morro do Cruzeiro	55
Figura 2.5 - Corte esquemático mostrando a primeira etapa de impregnação de uma amostra de bauxita utilizando-se resina	72
Figura 2.6 - Distribuição das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função da altitude	77
Figura 2.7 - Classificação das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função das unidades geomorfológicas às quais encontram-se associadas ...	

.....	78
Figura 2.8 - Caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero segundo as fácies estruturais presentes nos perfis	80
Figura 2.9 - Caracterização química das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função dos principais elementos constituintes	86
Figura 2.10 - Mapa geológico dos arredores do Morro do Fraga	89
Figura 2.11 - Mapa topográfico do Morro do Fraga, contendo a localização da topossequência estudada e dama 9 ...	90
Figura 2.12 - Distribuição das fácies estruturais ao longo da topossequência N-S, Jazida Morro do Fraga	91
Figura 2.13 - Aspecto micromorfológico do contato entre as partes vermelho escuro e vermelho claro, do plasma da fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga ...	94
Figura 2.14 - Aspecto micromorfológico dos cutans de iluviação ferruginosos que se encontram preenchendo as cavidades macroscópicas da fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga	95
Figura 2.15 - Aspecto micromorfológico da fácies bauxita friável, Jazida Morro do Fraga	98

- Figura 2.16 - Aspecto micromorfológico da diferenciação por deferruginização dos diferentes tipos de plasma, fácies maciça Al-Fe, Jazida Morro do Fraga100
- Figura 2.17 - Aspecto micromorfológico de uma frente de ferruginização, fácies maciça Al-Fe, Jazida Morro do Fraga101
- Figura 2.18 - Composição química e mineralógica das fácies bauxíticas presentes na topossequência N-S, Jazida Morro do Fraga104
- Figura 2.19 - Composição química e mineralógica das fácies bauxíticas presentes no perfil vertical relativo a dama 9, Jazida Morro do Fraga107
- Figura 2.20 - Aspecto micromorfológico da base da fácies maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga109
- Figura 2.21 - Aspecto micromorfológico do topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga110
- Figura 2.22 - Aspecto micromorfológico do topo da fácies bauxita maciça mosqueada, zona de transição para a fácies bauxita com lamelas ferruginosas, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga112
- Figura 2.23 - Aspecto micromorfológico da fácies bauxita com

lamelas ferruginosas, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	113
Figura 2.24 - Aspecto micromorfológico da fácies couraça maciça- Fe mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	115
Figura 2.25 - Mapa geológico dos arredores da Chapada do Ganga, quadrícula Santa Rita Durão, Quadrilátero Ferrífero	118
Figura 2.26 - Mapa topográfico dos arredores da Chapada do Ganga com localização da Jazida de bauxita de Macaquinho e perfil topográfico com sobrelevação realçando a posição da Jazida na borda do Platô	120
Figura 2.27 - Aspecto micromorfológico da fácies pseudobrechóide- friável, Jazida Macaquinho	122
Figura 2.28 - Aspecto micromorfológico de um grão de quartzo corroído, fácies pseudobrechóide-friável, Jazida Macaquinho	123
Figura 2.29 - Aspecto micromorfológico da fácies maciça Al-Fe, mostrando a diferenciação dos plasmas amarelos por deferruginização e uma ferruginização recente associada aos vazios	125
Figura 2.30 - Composição química e mineralógica das fácies bauxíticas, Jazida Macaquinho	128

Figura 2.31 - Mapa geológico dos arredores da Serra do Batatal, quadrícula Capanema, Quadrilátero Ferrífero	130
Figura 2.32 - Mapa topográfico dos arredores da Serra do Batatal, com indicação da jazida de bauxita homônima	131
Figura 2.33 - Perfil topográfico do platô da Serra do Batatal com indicação do corpo de minério	132
Figura 2.34 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies argila mosqueada, Jazida Serra do Batatal	136
Figura 2.35 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal .	139
Figura 2.36 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal .	140
Figura 2.37 - Composição química e mineralógica das unidades descritas no perfil vertical relativo ao poço 18, Jazida Serra do Batatal	143
Figura 2.38 - Mapa da bacia de Fonseca mostrando a extensão aproximada dos depósitos terciários fluviais e	

lacústres da Formação Fonseca, e a localização das Jazidas Faria e Macaquinho	147
Figura 2.39 - Corte esquemático das cristas cimeiras associadas à formação ferrífera, mostrando a relação entre as coberturas superficiais nos arredores das jazidas de bauxita	149
Figura 3.1 - Mapa topográfico da região da Serra da Água Limpa (sinclinal do Gandarela)	157
Figura 3.2 - Regiões espectrais utilizadas pelos diferentes sistemas de sensoriamento remoto	159
Figura 3.3 - Mapa geológico das formações superficiais presentes na área da Serra da Água Limpa, interpretação de fotografias aéreas e interpretação de imagens TM realçadas (divisão de canais e componentes principais)	167

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1	- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero ...	5
Tabela 1.2	- Quadro das superfícies de aplainamento na região SE do Brasil	15
Tabela 1.3	- Quadro das superfícies de aplainamento no Quadrilátero Ferrífero	16
Tabela 1.4	- Idade dos sedimentos Gandarela e Fonseca, com base no conteúdo fossilífero	19
Tabela 1.5	- Níveis de erosão do Quadrilátero Ferrífero	32
Tabela 2.1	- Valores analíticos médios para bauxitas de diferentes províncias	50
Tabela 2.2	- Protominérios das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero na concepção dos diversos autores	58
Tabela 2.3	- Composição química de algumas argilas da quadrícula de Lagoa Grande	61
Tabela 2.4	- Análises químicas de rochas pelíticas de baixo grau metamórfico do Quadrilátero Ferrífero	62
Tabela 2.5	- Síntese das observações relativas ao mudstone e hipóteses genéticas aventadas pelos diversos	

autores	65
Tabela 2.6 - Caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero através de suas altitudes médias e unidades estratigráficas às quais encontram-se associadas	76
Tabela 2.7 - Composição química e mineralógica das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero	83
Tabela 2.8 - Análises de bauxitas de diferentes protominérios	85
Tabela 3.1 - Comparações de certas especificações técnicas entre os sensores MSS e TM do Landsat 5	165
Tabela 3.2 - Composição química e mineralógica das formações superficiais da Serra da Água Limpa	168

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia	2.1	- Vista parcial da Jazida Morro do Fraga	178
Fotografia	2.2	- Fotomicrografia mostrando o contato entre os plasmas vermelho-escuro e vermelho claro, fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga	178
Fotografia	2.3	- Aspecto macroscópico do topo da fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga	179
Fotografia	2.4	- Fotomicrografia da fácies bauxita friável, Jazida Morro do Fraga	179
Fotografia	2.5	- Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginação dos diferentes tipos de plasma, fácies maciça Al- Fe, Jazida Morro do Fraga	180
Fotografia	2.6	- Fotomicrografia mostrando aspectos da corrosão em torno de um grão de quartzo, fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	180
Fotografia	2.7	- Fotomicrografia mostrando as relações entre os plasmas constituintes da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	181

Fotografia 2.8	- Fotomicrografia mostrando o enriquecimento em ferro dos plasmas, no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	181
Fotografia 2.9	- Fotomicrografia mostrando aspectos de deferruginização no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	182
Fotografia 2.10	- Fotomicrografia mostrando zonas de ferruginização no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga	182
Fotografia 2.11	- Vista parcial da Jazida de bauxita Macaquinho	183
Fotografia 2.12	- Fotomicrografia mostrando aspectos da fácies pseudobrechóide-friável, Jazida Macaquinho ...	183
Fotografia 2.13	- Fotomicrografia mostrando a diferenciação dos plasmas amarelos por deferruginização e uma ferruginização recente associada aos vazios	184
Fotografia 2.14	- Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação dos plasmas constituintes da fácies argila mosqueada, Jazida Serra do	

Batatal	184
Fotografia 2.15 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal	185
Fotografia 2.16 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal	185
Fotografia 2.17 - Fotomicrografia mostrando aspectos da transformação de filito em bauxita, Morro da Arataca	186
Fotografia 3.1 - Vista aérea das serras da Água Limpa e Gandarela	186
Fotografia 3.2 - Aspecto de um afloramento de couraça ferruginosa na Serra da Água Limpa	187
Fotografia 3.3 - Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior	187
Fotografia 3.4 - Aspecto de um afloramento de bauxita na Serra da Água Limpa	188
Fotografia 3.5 - Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior	188

Fotografia 3.6	- Aspecto de um afloramento de um solo rico em nódulos de bauxita e contendo blocos esparsos de bauxita, Serra da Água Limpa	189
Fotografia 3.7	- Detalhe do afloramento da foto 3.6, mostrando aspectos do bloco de bauxita	189
Fotografia 3.8	- Detalhe do afloramento da foto 3.6 mostrando aspectos dos nódulos de bauxita	190
Fotografia 3.9	- Aspecto de um afloramento de solo, constituído por nódulos de bauxita e canga	190
Fotografia 3.10	- Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior	191
Fotografia 3.11	- Parte de uma fotografia aérea preto e branco (escala 1:25 000), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela	191
Fotografia 3.12	- Imagem "ratio" (1/4 R, 3/5 G, 4/5 B), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela	192
Fotografia 3.13	- Imagem componentes principais (2457), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela	192

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Adilson Carvalho (IG-USP), que como orientador, desde o primeiro instante, não faltou com seu apoio, incentivo e orientação, ao longo de todo o desenrolar deste trabalho,

ao Prof. Dr. Bruno Boulangé (ORSTOM-IG/USP), pela dedicação com que nos orientou durante os trabalhos de campo, descrição de lâminas delgadas, e que, pacientemente, analisou e sugeriu modificações no texto final deste trabalho,

ao Prof. Adolpho José Melfi (IAG-USP), que, apesar de não estar vinculado diretamente a este trabalho, participou de várias etapas de campo, empenhou-se no sentido de oferecer as condições materiais necessárias para seu desenvolvimento, além de apresentar sugestões e promover a visita de outros pesquisadores à área;

antes de prosseguir com os nossos agradecimentos, gostaríamos de reiterar nossa gratidão e profundo respeito aos professores supra citados, que sobretudo nos ensinaram a importância do trabalho em equipe;

ao Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses (IG-UnB), que nos incentivou e auxiliou quando do desenvolvimento, no INPE, dos trabalhos relativos ao processamento de imagens digitais do Quadrilátero Ferrífero,

aos professores do Instituto de Geociências da USP, em especial ao Dr. Joel Barbugliani Sigolo, Dra. Maria Cristina

Toledo Groke, Dra. Sonia Maria Barros de Oliveira, e à colega Maria Teresa de Nóbrega, que colaboraram com sua experiência em várias discussões ao longo do trabalho,

ao Prof. Dr. Jean Delvigne (ORSTOM-IG/USP), pela inestimável ajuda quando da obtenção das fotomicrografias,

aos professores Dr. Newton Souza Gomes, Ms. Maurício Antonio Carneiro e Marco Antonio Fonseca, do DEGEO-Escola de Minas-UFOP, que nos auxiliaram através da análise crítica de partes do texto,

ao saudoso Prof. Getúlio Vargas Barbosa (IG-UFMG), que tanto nos incentivou no início dos trabalhos, e que lamentavelmente veio a falecer em maio de 1988,

ao Prof. João Henrique Grossi Sad (GEOSOL), que nos auxiliou quando da execução da análise morfométrica do Quadrilátero Ferrífero e ao Prof. Dr. Adilson Avansi Abreu (FFCL-USP), que analisou e apresentou sugestões ao texto relativo a este tópico,

ao Prof. Dr. Daniel Nahon (Universidade Aix-Marseille), pelo incentivo e sugestões apresentadas no início dos trabalhos de campo,

a Profa. Dra. Ida Valetton (Universidade de Hamburg), que nos incentivou nos primeiros trabalhos de campo e nos propiciou a análise química de mais de três dezenas de amostras,

a ALCAN Alumínio do Brasil S.A., pelo inestimável auxílio prestado ao permitir livre acesso aos arquivos e jazidas, pelo apoio dado durante os trabalhos de campo, pelas inúmeras análises químicas efetuadas, e pela ajuda financeira para a

impressão de um grande número de exemplares deste trabalho, permitindo, assim, sua divulgação,

aos funcionários da ALCAN, que tanto nos auxiliaram neste trabalho, em especial ao Geol. Aldo W. Ribeiro Grossi, Geol. Edson Borba, Eng. José Cruz do Carmo Flores, Sr. José Egydio da Silva, Sr. José Mauro Tropia, Eng. Álvaro Francisco Boechat, Sr. Antonio José Almida Andrade, Sr. Geraldo Magela Pereira, Sr. Joaquim Fernandes Sobrinho, Sr. Roque José das Graças, Sr. Leozino Onofre Vieira, Sr. Demétrio Rodrigues de Lima e Sra. Maria Geralda Figueiredo,

aos funcionários do IG-USP, em especial ao Sr. Claudio Hopp, Sr. Samuel Pedro Egydio, Sr. Waldir José Isaias, Srta. Anália Felipe, Sr. Flavio Marinho, Srta. Mirtes Regina M. Fabiano, Sra. Nícia Maria Brandão Zalaf, Srta. Rosana de Cássia Martins Oliveira e à Srta. Rosana Astolfo (IAG-USP),

à MBR - Minerações Brasileiras Reunidas S.A., que gentilmente nos permitiu acesso aos dados e jazidas, e em especial, aos Srs. Geol. José Moreira de Sousa, Eng. José Fontela Jr., Eng. Miguel Lucas Frade, Eng. João Carlos Moreira Gomes, Sr. Fernando Brandão Chaves e Sr. Itamar Batista Gomes,

à Samitri - Mineração Trindade S.A., que, além de permitir o acesso aos arquivos e jazidas, nos forneceu a infraestrutura necessária ao desenvolvimento dos trabalhos na jazida da Serra do Batatal, em especial aos Srs. Geol. José Paulo Barcelos, Geol. Gerd Peter Popinga e Geol. Neunildo Evangelista Gusmão,

às minerações Apolo e CSN (Casa de Pedra), que, também, gentilmente permitiram o acesso aos dados e às suas jazidas,

aos funcionários do DEGEO/Escola de Minas/UFOP, pela prestimosa ajuda prestada, em especial ao Sr. Wanderley Ferreira de Souza, Sr. Wandir Geraldo Maia, Sra. Mara Nel M.T. Faria, Sr. José das Dores Silva, Sr. José Vitorino dos Santos e Sr. João Raimundo de Souza Silva,

aos professores Dr. Hubert M.P. Roeser e Dr. Jório Coelho, coordenadores do Laboratório de Geoquímica do DEGEO/Escola de Minas/UFOP,

aos Srs. Marcílio Andrade Pedrosa e Moacir Américo Cornetti, do Laboratório de Ciência da Computação, DEGEO-DEMIN/Escola de Minas/UFOP,

à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo,

Ao INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, em especial aos Srs. Moacyr Godoy Jr. e Dr. Paulo Roberto Meneses,

à Itacolomy Foto-Ótica (Ouro Preto), em especial aos Srs. José de Sousa Lima e Marcio Eustáquio de Sousa, pela boa vontade e profissionalismo dedicados,

Finalmente, ao Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, por ter propiciado condições para a realização deste trabalho.

RESUMO

O estudo comparativo das jazidas de Bauxita do Quadrilátero Ferrífero revelou que estas apresentam características macroscópicas, estruturais, mineralógicas, químicas e micromorfológicas análogas.

Morfologicamente, encontram-se em diferentes níveis altimétricos, que apresentam um nítido controle lito-estrutural, descartando-se, portanto, a hipótese da associação dos depósitos à superfícies de aplainamento.

Com base nas características químicas e geomorfológicas, efetuou-se a classificação dos depósitos e a escolha dos depósitos-tipo para estudos de detalhe, com ênfase para as características micromorfológicas das fácies.

Somente em dois depósitos (Faria e Macaquinho) pode-se comprovar uma gênese a partir de um protominério sedimentar. Na jazida Morro da Arataca, verificou-se uma filiação a partir de filitos. Entretanto, para a maioria dos depósitos, associados ao Grupo Itabira, atribuiu-se uma gênese a partir de filitos dolomíticos.

Considerando-se o modelo de evolução do relevo adotado, as características semelhantes dos depósitos e a datação relativa dos mesmos, a partir da idade dos sedimentos Gandarela e Fonseca, atribuiu-se uma idade máxima eocênica para os depósitos desta região.

A prospecção de jazidas de bauxita, através da

interpretação de imagens digitais do sensor "thematic mapper" realçadas, revelou um método eficaz, onde foi possível a discriminação das formações superficiais (bauxita, canga, solo).

ABSTRACT

The comparative study of the bauxite deposits of the "Quadrilátero Ferrífero" has shown that those reveal similar structural facies, mineralogical, chemical and morphological characteristics.

In morphological terms, these deposits are related to different altimetric levels which show apparent litho-structural control in such a way that their association with erosion levels can be rejected.

Based on chemical and morphological characteristics, a classification of the deposits was achieved as well as the choice of type deposits to detailed studies, with emphasis to facies micromorphology.

An origin from a sedimentary protore has been established in just two deposits (Faria and Macaquinho). At Batatal and Morro da Arataca, a relation with phyllites was verified. Therefore, for most of the deposits, associated to the Itabira Group, an origin from dolomitic phyllites was established.

Comparing the relative ages of the deposits with Gandarela and Fonseca sediments, and with the adopted model of evolution of the relief, an eocene age can be stated, as the maximum age for the deposits of the region.

The bauxite deposits prospection by means of the Landsat-TM Sensor enhanced images, has proved to be an effective method where the superficial formations (bauxite, iron crust and soil) could be distinguished.

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo um estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, com base nas características químicas, mineralógicas, estruturais e unidades morfológicas associadas.

Para muitos autores os depósitos de bauxita da região se encontram relacionados a superfícies de aplainamento, não havendo, entretanto consenso quanto aos prováveis protominérios.

Em uma primeira etapa (Capítulo I), além da revisão bibliográfica relativa à geologia regional e à geomorfologia, efetuou-se uma análise morfométrica, com o intuito de subsidiar a discussão relativa à existência de superfícies de aplainamento na região.

Em uma segunda etapa (Capítulo II), após a caracterização dos depósitos, efetuou-se a classificação dos mesmos, seguida de um estudo de detalhe dos depósitos-tipo, bem como uma análise da possibilidade de correlação entre os depósitos e as superfícies de aplainamento.

Finalmente, efetuou-se o processamento e a análise de imagens digitais TM ("Thematic Mapper"), com o objetivo de avaliar a aplicação desta técnica, na discriminação de áreas potenciais para a prospecção de novas jazidas.

CAPÍTULO I

O QUADRO FÍSICO

1.1 - GEOLOGIA REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero situa-se na parte central do estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de, aproximadamente, 7.190 Km² (Figura 1.1).

Geologicamente, caracteriza-se por apresentar quatro grandes unidades litoestratigráficas. As rochas mais antigas da região são granitos, gnaisses e migmatitos de idade arqueana, que constituem o embasamento cristalino para as unidades supra-crustais: supergrupos Rio das Velhas, Minas e Itacolomi. O primeiro constitui uma sequência arqueana tipo "greenstone belt" e os demais, de idade proterozóica, são formados por espessos pacotes de rochas metassedimentares.

A estratigrafia da região, primeiramente proposta por HARDER & CHAMBERLIN (1915 a,b), foi reformulada por DORR (1969), a partir de um programa de mapeamento (convênio DNPM - USGS: 1948 - 1965) e, recentemente modificada por LADEIRA (1980), Tabela 1.1.

Embasamento

O conceito de embasamento para o Quadrilátero Ferrífero foi introduzido por MORAES & GUIMARÃES (1930) e GUIMARÃES & LEINZ (1951). Posteriormente, DORR (1969) considerou todas as rochas granito-gnáissicas da região como rochas ígneas intrusivas. Entretanto, LADEIRA (1985), apolando-se em dados geocronológicos pré-existentes, sugere a existência de um embasamento silílico primitivo, com idade mínima de aproximadamente 2,8 Ga..

LEGENDA

- Supergrupo Itacolomi
- Supergrupo Minas (mu), c/Itabirito
- Supergrupo Rio dos Velhos
- Embasamento cristalino
- Rochas ultra-básicas e básicas
- Folha de empurrão

FIG. 1.1 — Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero (Modificado de DORR & BARBOSA 1963).

DNPM - USGS (in DORR, 1969)

Este trabalho (Ladeira, 1974-1979, 1980)

Idade	Série	Grupo	Forma-ção	Litologia	Ambiente Sedimentar	Espessura Máx. (m)	Idade	Super-grupo	Grupo	Forma-ção ou unidade	Litologia	Espessura Máx. (m)
Cretáceo (T) Recente			Sem nome	Canga, areias lacustres e fluviais, argila, cascalho, aluvião e colúvio	Continental	100						
Terciário			Flo-ralho	Sedimentos lacustres e fluviais e linho subordinado	Continental	100					O mesmo que na coluna à esquerda de Dorr	
				Discordância angular e erosiva profunda								
				Área tipo: ortoquartzito e proto-quartzito, conglomerado, <i>grit</i> Facies Santo Antônio: proto-quartzito, filito, quartzito filítico quartzito, conglomerado	Parálico Molassa(?)	2000(?) 1000(?)					Área tipo: ortoquartzito e proto-quartzito, conglomerado, <i>grit</i> Facies Santo Antônio: proto-quartzito, filito, quartzito filítico quartzito, conglomerado	2000(?) 1000(?)
				Discordância angular e discordância erosiva profunda								
				Clorita xisto e filito, metatufos, grauvaça, tilóide, conglomerado, quartzito, alguma formação ferrífera	Eugeo-sinclinal Flysch	3000 +					Discordância angular e discordância erosiva profunda	
				Discordância erosiva local							Clorita xisto e filito, metatufos, grauvaça, tilóide, conglomerado, quartzito, alguma formação ferrífera	3000 +
				Filito e filito grafitoso	Plataforma Estável	150					Discordância erosiva local	
				Ortoquartzito	Plataforma Estável	125						
				Filito quartzoso, filito dolomítico, dolomito silíceo	Plataforma Estável	410						
				Quartzito ferruginoso, quartzito <i>grit</i> , filito, filito ferruginoso, subordinadamente conglomerado e dolomito	Plataforma Estável	600						
				Discordância erosiva local								
				Dolomito, algum calcário, itabirito dolomítico, itabirito, filito dolomítico	Plataforma Estável	600					O mesmo que na coluna à esquerda de Dorr	
				Itabirito (formação ferrífera de facies óxido), itabirito dolomítico, filito e dolomito subordinados	Plataforma Estável	350 +						
				Filito, filito algo grafitoso, subordinadamente metachert, e formação ferrífera de facies óxido	Plataforma Estável	250						
				Facies parállica: ortoquartzito, e <i>grit</i> , conglomerado, filito. Facies tabular: quartzito sericitico, filito quartzoso, protoquartzito	Plataforma Estável	1000 150						
				Discordância erosiva local								
				Filito dolomítico, formação ferrífera (facies óxido), filito quartzoso	Plataforma Estável	300						100
				Ortoquartzito, conglomerado, <i>grit</i> , quartzito conglomerático filito quartzoso subordinado	Prismático Parálico	1000						1000
				Discordância erosiva e angular								
				Protoquartzito, <i>grit</i> , conglomerado, com filito e subgrauvaça subordinados	Eugeo-sinclinal Molassa	400 +						400 +
				Filito, quartzito filito, proto-quartzito, grauvaça, conglomerado basal subordinado	Eugeo-sinclinal Molassa	1400						1400
				Discordância erosiva local e possivelmente angular								
				Filito, em grande parte clorítico, grauvaça, formação ferrífera de facies carbonática, metavulcânicas e subordinadamente, quartzito, tilóides, conglomerado, dolomito. Idade K/Sr em moscovita de 2800 milhões de anos atrás	Eugeo-sinclinal Flysch	4000 +						
				Não há rochas do embasamento expostas no Quadrilátero Ferrífero; todas as rochas graníticas são intrusivas								

Tabela 1.1 - Coluna estratigráfica "padrão" para o Quadrilátero Ferrífero, Brasil, segundo DORR (1969) à esquerda e modificação proposta por LADEIRA (1980), à direita (segundo LADEIRA 1985)

GOMES (1986) efetuou determinações geotermométricas e geobarométricas em rochas de composição metapelítica e calcossilicatada concordantes com a foliação gnáissica, tendo encontrado valores que representam condições metamórficas da fácies alto anfibolito, no limite com a fácies granulito. Segundo este autor, este resultado, comparado à fácies metamórfica de baixo grau (fácies xisto verde), apresentada pelas seqüências supracrustais (GUIMARÃES 1931), permite concluir que a migmatização dos gnaisses é anterior à deposição do Supergrupo Rio das Velhas, o que os caracteriza como embasamento.

Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas (DORR et al. 1957) é formado pelos grupos Nova Lima e Maquiné:

- O Grupo Nova Lima é constituído predominantemente, por rochas metavulcânicas e metassedimentares (clásticas e químicas). LADEIRA (1980) propõe a subdivisão deste grupo, segundo três unidades principais, da base para o topo: a) Unidade Metavulcânica, constituída por rochas ultramáficas, cobertas por basaltos espiífticos intercalados com formação ferrífera bandeada (tipo Algoma), metacherts e filitos grafitosos; esta unidade corresponde ao Grupo Quebra Osso de SCHORSCHER (1979); b) Unidade Metassedimentar Química, contendo intercalações de filitos grafitosos e metabasaltos espiífticos, associados a tufos xistosos e aglomerados; c) Unidade Clástica Superior, constituída por metaconglomerados, quartzitos imaturos, quartzo-xistos e

- O Grupo Maquiné, predominantemente clástico, é dividido em duas formações: a) Formação Palmital (O'ROURKE 1958,

In DORR 1969), inferior, constituída por conglomerado basal polimítico, xistos, filitos, quartzo-xistos e metagrauvacas; e b) Formação Casa Forte (GAIR 1962), superior, constituída por conglomerados polimíticos, quartzito sericítico maciço, quartzito clorítico, intercalados por camadas menores de xistos e filitos.

Conforme sugerido por ALMEIDA (1976) e SCHORSCHER (1976), definido por SCHORSCHER (1978, 1979) e posteriormente por LADEIRA (1980), o Super Grupo Rio das Velhas constitui uma seqüência completa tipo "greenstone belt".

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, Série Minas (DERBY 1906, DORR 1969), repousa em discordância erosiva e angular sobre o Supergrupo Rio das Velhas, e consiste de quatro grupos, da base para o topo, Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba:

- O Grupo Tamanduá foi definido por SIMMONS & MAXWELL (1961) para designar quartzitos variegados que repousam em discordância angular sobre o Supergrupo Rio das Velhas. Segundo SCHORSCHER (1980) e LADEIRA (1980), estes quartzitos se encontram em continuidade estrutural com aqueles do Supergrupo Espinhaço (Série Espinhaço, MORAES RÊGO 1931). Entretanto, como pode-se observar em FOGAÇA (1985), para a maioria dos autores a idade do Supergrupo Espinhaço oscila entre um valor máximo Minas (Proterozóico Inferior) e um valor mínimo pós-Minas (Proterozóico Médio). LADEIRA & VIVEIROS (1984) sugerem uma correlação entre os grupos Tamanduá e Caraça, como uma das proposições de caráter estratigráfico, relativa à hipótese de reestruturação do

Quadrilátero Ferrífero apresentada por estes autores.

Segundo SIMMONS & MAXWELL (1961), o Grupo Tamanduá é constituído, na base pela Formação Cambotas (quartzitos, filitos e xistos) e, no topo, por uma unidade não denominada, que pode ser subdividida em três unidades litológicas: filitos e quartzo-xistos; formação ferrífera filítica e dolomítica; e filitos e dolomitos.

- O Grupo Caraça (DORR et al. 1957) compreende as formações Moeda (WALLACE 1958), constituída por conglomerado basal, quartzitos e filitos, e Batatal (MAXWELL 1958), constituída por filitos sericíticos e filitos grafitosos.

- O Grupo Itabira (HARDER & CHAMBERLIN 1915 a,b; DORR et al. 1957) é constituído, principalmente, por rochas metassedimentares químicas. Compreende as formações Cauê (itabiritos, dolomitos e filitos) e Gandarela (dolomitos, itabiritos dolomíticos, filitos dolomíticos e filitos)

- O Grupo Piracicaba (DORR et al. 1957) recobre o Grupo Itabira em determinados locais, por discordância erosiva e, em outros, o contato é gradacional. Este grupo caracteriza uma sequência transgressiva detrítica e contém, da base para o topo, as seguintes formações: Cercadinho (POMERENE 1958 a), constituída por quartzito ferruginoso, quartzito, filito e dolomito; Fecho do Funil (SIMMONS 1958), constituída por filito quartzoso, filito dolomítico e dolomito silicioso; Tabões (POMERENE 1958 b), constituída por ortoquartzitos; e Barreiro (POMERENE 1958 c), constituída por filito e filito grafitoso.

Grupo Sabará

A Formação Sabará (GAIR 1958) repousa em discordância erosiva sobre as formações do Grupo Piracicaba sendo, constituído por mica-clorita-xistos com intercalações de metagrauvacas e quartzitos. Segundo TEIXEIRA DA COSTA (1961), esta unidade representa o início da orogênese na bacia, marcado por uma discordância erosiva em relação às unidades sotopostas e, pela presença de filitos de origem vulcanossedimentar ("flysch").

LADEIRA (1980) sugeriu a retirada da Formação Sabará do Supergrupo Minas, elevando-a à categoria de grupo, por entender que esta representa uma mudança drástica nas condições de sedimentação em relação ao Supergrupo Minas. Finalmente, LADEIRA & VIVEIROS (1984) propõem a retirada desta unidade por entendê-la como equivalente ao Grupo Nova Lima.

Supergrupo Itacolomi

O Supergrupo Itacolomi, originalmente proposto por GUIMARÃES (1931) como Série Itacolomi, repousa sobre o Grupo Sabará através de uma pequena discordância angular e uma profunda discordância erosiva. Segundo MIRANDA BARBOSA (1968), resulta da deposição em bacias intramontanas relacionadas ao fechamento do Geossinclinal Minas (ambiente deltáico), caracterizando uma sedimentação tipo molassa.

LACOURT (1947) subdividiu o Supergrupo Itacolomi em três unidades: Inferior (quartzitos conglomeráticos), Média (filitos) e Superior (quartzitos). GLÖCKNER (1981) considerou as unidades Média e Superior de LACOURT (1947) como pré-Minas, mantendo apenas a unidade inferior como pertencente ao Supergrupo

Itacolomi, a qual subdividiu em três unidades litofaciológicas: Quartzítica Inferior; Conglomerática Média (conglomerado contendo seixos de itabirito e filito); e Quartzítica Superior. Segundo GLÖCKNER (1981), do ponto de vista estrutural e litofaciológico, os supergrupos Minas e Itacolomi se apresentam muito semelhantes, questionando pois a posição estratigráfica deste.

Metadiabásio, Metagabros, Pegmatitos

Diques de metagabro e metadiabásio, apresentando xistosidade proeminente, ocorrem nos supergrupos Rio das Velhas e Espinhaço; entretanto, não cortam o Supergrupo Minas. Segundo LADEIRA (1980), suas idades não estão bem determinadas, porém, devem estar entre 2.8 e 2.0 B.a., idade mínima, respectivamente, dos supergrupos Rio das Velhas e Minas.

Pegmatitos com idades variando entre 475 e 560 M.a. (HERZ & DUTRA 1958; HERZ 1970, 1978), cortam todas as rochas da região. Segundo HERZ (1970), relacionam-se ao último evento termal (500 M.a.)

Rochas não metamorfizadas

As rochas mais jovens do Quadrilátero Ferrífero são diques de diabásio e possíveis gabros associados. Entretanto, a idade destas rochas persiste, ainda, como uma questão aberta. Segundo DORR (1969), apesar da possibilidade de correlação com diques associados ao vulcanismo basáltico cretácico (aproximadamente 135 M.a., AMARAL et al. 1966), não se deve descartar a hipótese de serem um pouco mais antigas.

Sedimentos semi-consolidados constituem as bacias lacustrinas terciárias Gandarela e Fonseca. Segundo DORR (1969), várias outras acumulações sedimentares terciárias são conhecidas, especialmente nas quadrículas Gandarela, Macacos e Rio Acima. Massas isoladas de argila, não estratificadas, denominadas lamito ("mudstone" - GUILD 1957) são encontradas em diversas partes do Quadrilátero Ferrífero.

Estrutura regional

Segundo DORR (1969), o Quadrilátero Ferrífero constitui uma ilha de estratos dobrados e metamorfizados, em um mar de rochas granito-gnáissicas, onde, após epirogênese e erosão, restaram apenas as raízes das grandes estruturas. A complexa evolução estrutural dessa região decorre da superposição de períodos de deformação e metamorfismo, que mascaram, em muitos casos, as estruturas primárias e são responsáveis por repetições e omissões de unidades. Segundo o autor, as rochas supracrustais mais antigas (Supergrupo Rio das Velhas) sofreram três fases de deformação, relacionadas às orogêneses Rio das Velhas (Jequié), Minas (Transamazônico) e pós-Itacolomi (Brasiliano). Entretanto, trata-se de uma questão controvertida; segundo LADEIRA & VIVEIROS (1984), ocorreram cinco fases de deformação, relacionadas aos períodos orogenéticos, acima citados. Finalmente, segundo DORR (1969), a intensidade da deformação e do metamorfismo diminui de sudoeste para noroeste.

1.2 - GEOMORFOLOGIA

Neste tópico, procurou-se abordar as características geomorfológicas do Quadrilátero Ferrífero, com ênfase especial para o papel do controle litostrutural na evolução do relevo e a questão das superfícies de aplainamento.

Ao longo da evolução do relevo da região ocorreu a formação de vários níveis altimétricos, que aliados a controles litostruturais, constitui um relevo ímpar comparado aos padrões da região sudeste do Brasil. Os geomorfólogos que aí trabalharam procuraram, na maioria das vezes, efetuar correlações entre estes níveis, objetivando a definição de superfícies de aplainamento nesta região.

Em uma primeira etapa, apresenta-se uma retrospectiva das principais contribuições sobre a ocorrência e distribuição das superfícies de aplainamento na região sudeste e, em especial, no Quadrilátero Ferrífero.

Posteriormente, como subsídio à discussão sobre a evolução do relevo da região, efetuou-se uma análise morfométrica da região, enfatizando-se a problemática da correlação entre níveis altimétricos e superfícies de aplainamento.

Finalmente, a partir das análises das contribuições anteriores e da análise morfométrica efetuada, procede-se uma discussão sobre a importância do controle litostrutural na evolução morfogenética da região.

1.2.1 - Trabalhos anteriores

Geomorfologicamente, o Quadrilátero Ferrífero se caracteriza como uma área conspícua, apresentando exemplos didáticos de geomorfologia estrutural, erosão, diferencial e níveis altimétricos.

A caracterização do relevo

O relevo atual foi determinado pela estrutura (HARDER & CHAMBERLIN 1915 a,b; TRICART 1961; BARBOSA & RODRIGUES 1964, 1965, 1967; BARBOSA 1980) e pela erosão diferencial (HARDER & CHAMBERLIN 1915 a,b; JAMES 1933; DE MARTONE 1943 a,b; RUELLAN 1950; FREITAS 1951; TRICART 1961; BARBOSA & RODRIGUES 1964, 1965, 1967; BARBOSA 1966, 1980; DORR 1969; BARBOSA 1980); caracterizada nos grandes traços por uma coincidência entre os grupos Caraça e Itabira e, os relevos mais altos (TRICART 1961, BARBOSA & RODRIGUES 1967). Os quartzitos, mais resistentes, permaneceram como cristas, enquanto que os granitos e gnaisses, devido à sua baixa resistência ao intemperismo, tornaram-se terras baixas (HARDER & CHAMBERLIN 1915 a,b). Os xistos e filitos ocupam uma posição intermediária, normalmente preenchendo sinclinais e anticlinais topograficamente invertidos. Deste modo, o Quadrilátero Ferrífero constitui um mosaico formado por províncias geomorfológicas ligadas diretamente às condições estruturais (BARBOSA & RODRIGUES 1967), nas quais variações na declividade das vertentes (CHRISTOFOLETTI & TAVARES 1976) e, sobretudo, variações altimétricas se relacionam a variações litológicas.

As superfícies de aplainamento

No Quadrilátero Ferrífero, os níveis altimétricos cimeiros encontram-se melhor preservados, principalmente no topo das cristas, o que levou muitos autores a interpretá-los como testemunhos de antigas superfícies de aplainamento. Nos níveis inferiores, os testemunhos são menos importantes em área e a inferência de possíveis superfícies de aplainamento se dá através de planos horizontais imaginários tangentes aos topos das colinas ("somital surface").

Segundo HARDER & CHAMBERLIN (1915 a,b), os topos aplainados das cristas constituiriam restos de um antigo peneplano de idade mesozóica a terciária inferior, que, após soerguido, sofreu intenso processo de erosão diferencial. Posteriormente, JAMES (1933), De MARTONE (1943 a,b), BRAJNIKOV (1947), RUELLAN (1950), FREITAS (1951), KING (1956), AB SÁBER (1954), BARBOSA & RODRIGUES (1965,1967), DORR (1969), MAXWELL (1972), LITCHE (1979) e BARBOSA (1980) abordaram o problema, conforme sintetizado nas Tabelas 1.2 e 1.3, cuja análise revela a existência de alguns pontos consensuais:

- Primeiramente, constata-se uma unanimidade dos diferentes autores, exceto BRAJNIKOV (1947), quanto à idade da superfície cimeira (ou "dos Campos", ou "Gondwânica", etc.), desenvolvida no Cretáceo, sob condições de clima árido, representada em extensas regiões do país por uma importante sedimentação continental correlativa.

Segundo os autores consultados, após a geração da superfície cimeira, ocorreu o soergulimento da Plataforma

Tabela 1.2 - Quadro das superfícies de aplainamento na região SE do Brasil

AUTORES IDADE		JAMES 1933	DE MARTONE 1943	FREITAS 1951	KING 1956	AB'SABER 1964	BIGARELLA & AB'SABER 1964
QUATERNÁRIO	Holoceno	Planaltos Cristalinos	Superfície Neogênica	3º Ciclo	Paraguaçu	Superfície Interplanál- tica	P _{d1} P _{d2} P _{d3}
	Pleistoceno				Velhas		
TERCIÁRIO	Plioceno		Superfície das Cristas Médias (Paleogênica)	Nível A (2º Ciclo)	Sulamericana		
	Mioceno						
	Oligoceno						
	Eoceno						
	Paleoceno						
CRETÁCEO	Superior	Cordilheira de montanhas cris- talinas	Superfície dos Campos	Nível B (1º Ciclo)	Pós-Gondwânica	Superfície cimeira	Pd ₄
	Médio				Gondwânica		
	Inferior						

Tabela 1.3 - Quadro das superfícies de aplainamento no Quadrilátero Ferrífero, relacionando ciclos de erosão e níveis altimétricos (m)

AUTORES IDADE		KING 1956	BARBOSA E RODRIGUES 1965, 1967	DORR 1969	MAXWELL * 1972	LITCH * 1979
QUATERNÁRIO	Holoceno	Paraguaçu	Pediaplano Pós-Pliocênico			
	Pleistoceno					
TERCIÁRIO	Plioceno	Velhas 650	Pediaplano Pliocênico 1200	Velhas 700 - 750	V 700	900
	Mioceno	Sulamericana 900		Sulamericana 850 - 900 1000 - 1100	IV 900 III 1000 - 1100	1000 1300
	Oligoceno					
	Eoceno					
	Paleoceno					
CRETÁCEO	Superior	Pós-Gondwana 1200 - 1300	Sup. cimeira 1500 - 1600	Pós-Gondwana 1250 - 1400	II 1350 - 1500 I 1800	1500
	Médio	Gonduânica 1500 - 1600		1500 - 1650 1750 - 1850 2000 - 2100		1800
	Inferior					2000

* Dados referentes ao Distrito de Alegria

Sulamericana, relacionado ao vulcanismo básico e à ruptura continental (BARBOSA 1965, BRAUN 1971). Entretanto, existe diversidade de opiniões com relação à intensidade do soerguimento, bem como com relação às superfícies geradas posteriormente, por exemplo, a superfície Pós-gondwânica de KING (1956) não encontra correspondência com outros autores. Segundo ALMEIDA (1951), AB SÁBER (1954) e BARBOSA (1965), a plataforma não teria se comportado como um bloco único durante o soerguimento, tratando-se, portanto, de uma epirogênese diferencial.

- Abaixo dos "testemunhos" que restaram da superfície cimeira, encontra-se a superfície de maior expressão geográfica do sudeste do Brasil: a superfície "das Cristas Médias", ou "Paleogênica", ou "Sulamericana". Trata-se de uma superfície imaginária, tangenciando o topo das colinas ("somital surface"), formada no Terciário Inferior. Não há concordância, entre os autores citados, com relação às condições climáticas reinantes durante este intervalo e, ao contrário da superfície Gondwânica, faltam depósitos correlativos a este ciclo de erosão (BIGARELLA & AB SÁBER 1964, BRAUN 1971, BIGARELLA & BECKER 1975).

- O terceiro ponto consensual (Tabela 1.2), refere-se à superfície "Neogênica", ou "Velhas", de idade plio-pleistocênica, formada sob condições de clima semi-árido, e que apresenta extensa sedimentação correlativa: representada nas regiões costeiras pelo Grupo Barreiras (BIGARELLA 1975) e no interior, especialmente acima do paralelo 20, por inúmeras formações terciárias correlacionadas ao tempo Barreiras (SCHOBENHAUS et al. 1984).

Complementando esta abordagem de caráter geral, deve-se ressaltar que, apesar das correlações possíveis entre as "superfícies" definidas pelos diferentes autores (Tabela 1.2), suas interpretações se fundamentam em modelos teóricos distintos.

Níveis altimétricos "versus" superfícies de aplainamento

No caso específico do Quadrilátero Ferrífero, a correlação entre as superfícies de aplainamento perde o caráter consensual, principalmente no que se refere à correlação altimétrica (Tabela 1.3). Além disto, existem diferentes interpretações quanto ao número de níveis altimétricos, bem como quanto à relação destes com as superfícies de aplainamento. Tal fato deve-se às diferentes interpretações morfogenéticas, uma vez que não se pode questionar a existência dos níveis altimétricos. Entretanto, BARBOSA (1980) alerta para o caráter local destes níveis, associados a variações lito-estruturais, e constata a impossibilidade de correlacioná-los regionalmente.

A primeira dificuldade se relaciona à idade dos fósseis contidos nas bacias de Gandarela e Fonseca. KING (1956) interpretou os sedimentos da bacia de Fonseca como depositados em vales escavados na superfície Sulamericana (Chapada do Ganga, Quadrícula Santa Rita Durão), relacionando-os ao ciclo Velhas. Os macrofósseis contidos nos sedimentos Fonseca, tidos a esta época como pliocênicos (Tabela 1.4), favoreciam o modelo de KING (1956). Entretanto, segundo MAXWELL (1972), a Chapada do Ganga se desenvolveu sobre os sedimentos Fonseca, datados posteriormente como eocênicos (LIMA & SALARD-CHEBOLDAEFF 1981), inviabilizando,

Tabela 1.4 - Idade dos sedimentos Gandarela e Fonseca, com base no conteúdo fossilífero

AUTORES/ANO	IDADE	MATERIAL FÓSSIL ESTUDADO	BACIA	
			FONSECA	GANDARELA
1 - GORCEIX (1876)	Quaternário	Folhas	X	
2 - GORCEIX (1884)	Plioceno ou Mioceno Sup.	Folhas	X	X
3 - BERRY (1935)	Plioceno	Folhas	X	
4 - DOLIANITI (1949)	Plioceno	Folhas	X	
5 - DOLIANITI (1950)	Plioceno	Folhas	X	
6 - DUARTE (1956)	Plioceno	Folhas	X	
7 - DUARTE (1956)	Plioceno	Folhas	X	
8 - SOMER & LIMA (1967)	Plioceno ou Mioceno Sup.	Polens	X	
9 - DUARTE (1974)	Plioceno ?	Flor	X	
10 - DUARTE & MELLO FILHA (1980)	Mioceno ?	Folhas, semen tes, polens		X
11 - LIMA & SALARD-CHEBOLDAEFF (1981)	Eoceno	Polens	X	X

pois, o modelo sugerido por KING (1956).

A segunda dificuldade refere-se à cobertura laterítica do Quadrilátero Ferrífero. Devido à existência de níveis estratigráficos ricos em ferro, desenvolveram-se possantes couraças ferruginosas, localmente denominadas por "canga" (GORCEIX 1876), intimamente associadas aos horizontes ferruginosos e adjacências (SIMMONS 1960, TRICART 1961, DORR 1969). BARBOSA (1960) reconheceu três tipos de canga: eluvial, coluvial e aluvial, sendo que o tipo coluvial apresenta maior expressão geográfica.

A questão da idade da canga é polêmica. Historicamente, sempre esteve ligada à idade dos sedimentos terciários Gandarela e Fonseca e, sobretudo, às interpretações morfogenéticas (HARDER & CHAMBERLIN 1915 a,b; GORCEIX 1876; TRICART 1961; BARBOSA 1960).

Segundo TRICART (1961), na área do Sinclinal do Gandarela, podem ser identificados dois tipos de couraça: de platô e de vertente. A primeira, de idade cretácea, encontra-se recobrindo a superfície cimeira, e a segunda recobre as colinas internas do sinclinal, inclusive os sedimentos Gandarela. Para este autor, entre a formação das couraças de platô e vertente, ocorreu um longo período erosivo forçando-o a admitir uma idade pliocênica (tempo Barreiras) para a segunda couraça. No entanto, a idade dos sedimentos, conhecida àquela época, não favorecia tal interpretação (Tabela 1.4). Posteriormente, estudos palinológicos efetuados por LIMA & SALARD-CHEBOLDIAEFF (1981) revelaram uma idade eocênica, corroborando o modelo sugerido por TRICART (1961). Entretanto, este modelo é questionável, uma vez que os diferentes tipos de couraça definidos, relacionam-se a

substratos distintos, respectivamente, formação ferrífera e filitos, cujo posicionamento altimétrico diferenciado poderia ser explicado por uma erosão diferencial e não apenas por ciclos erosivos distintos.

BARBOSA & RODRIGUES (1965, 1967) adotaram um esquema morfogenético análogo ao de TRICART (1961), ou seja, após a formação da superfície cimeira ocorreu um período úmido de grande vigor erosivo, culminando com oscilações progressivas para climas mais secos, até a elaboração de um pediplano pilocênico. Observe-se que (Tabela 1.3), este pediplano corresponde altimetricamente à superfície Pós-gondwânica de KING (1956). Segundo BARBOSA & RODRIGUES (1965, 1967), complementando a evolução do relevo, ocorreu um período erosivo pós-pilocênico que foi responsável pela inversão das estruturas dobradas.

As controvérsias, inerentes às interpretações morfogenéticas acima descritas, revelam a dificuldade de se correlacionar cronologicamente os mesmos níveis altimétricos, quando abordadas segundo os modelos dos diferentes autores.

O Quadrilátero Ferrífero e a Região Sudeste do Brasil

Analogamente ao Quadrilátero Ferrífero, a cronologia dos eventos geológicos na região sudeste do Brasil sempre esteve relacionada à idade dos sedimentos das bacias tectogênicas resultantes da abertura do Atlântico Sul (MELO et al. 1985). Assim sendo, em ambos os casos, a verificação de idades eocênicas, em sedimentos tidos anteriormente como pilocênicos, altera substancialmente as superfícies de aplainamento, definidas

pelos diferentes autores. Para exemplificar, AB SÁBER (1954) e BRAUN (1971) consideraram a superfície das Cristas Médias ou Sulamericana (Terciário Inferior) como formadas anteriormente ao rifteamento da Serra do Mar. Entretanto, segundo MELO et al. (1985), o desenvolvimento das falhas normais de grande rejeito e a conseqüente formação das serras do Mar e da Mantiqueira iniciou-se no Cretáceo Médio. Assim sendo, nesta região as superfícies Gondwana e Sulamericana, corresponderiam a uma única superfície, diferenciada tectonicamente.

Complicações análogas poderiam advir em função de uma epirogênese diferencial da plataforma, fenômeno ainda pouco conhecido.

Se, em termos continentais, a tectônica constitui um problema para as superfícies de aplainamento, regionalmente, a estrutura e a erosão diferencial representam um obstáculo ainda maior à sua compreensão. O Sinclinal da Moeda, borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, constitui um exemplo didático. Neste local, segundo KING (1956), o embasamento cristalino corresponderia à superfície Sulamericana; as cristas do sinclinal (grupos Caraça e Itabira), à superfície Gondwânica; e a calha (Grupo Piracicaba), à superfície Pós-gondwânica. Neste caso, conforme assinalado por BARBOSA & RODRIGUES (1967), os quartzitos constituem "ombros de proteção" aos filitos do Grupo Piracicaba, contra a ação erosiva. Entretanto, estes diferentes níveis altimétricos, apresentando nítido controle lito-estrutural, foram associados a diferentes "superfícies de aplainamento".

Tais considerações são ratificadas, na medida em que se

constata que diversos autores restringiram os restos da superfície cimeira a regiões onde afloram litologias mais resistentes (FREITAS 1951, BARBOSA & RODRIGUES 1965), ou a blocos diferenciados tectonicamente (FREITAS 1951, AB SÁBER 1954, BARBOSA 1965).

Conclusão

A análise global das contribuições relativas a superfícies de aplainamento na região sudeste do Brasil e, particularmente, no Quadrilátero Ferrífero, revela um tema complexo, fundamentado em tópicos, ainda não devidamente esclarecidos, tais como: condições paleo-climáticas, idade das bacias cenozóicas, importância da tectônica pós-cretácica, etc.. Não obstante, a superfície da Plataforma Sulamericana, em sua longa evolução, desde o mesozóico, adquiriu "cicatrices", representadas por coberturas sedimentares e lateríticas, eventos tectônicos e magmáticos, que atestam esta evolução. Entretanto, as tentativas de correlações regionais, fundamentadas em dados altimétricos, revelam-se temerárias, dada a extensão da plataforma e as diversidades tectônicas, estruturais e litológicas, bem como a falta de um melhor conhecimento destes diversos fatores.

1.2.2 - Análise Morfométrica do Quadrilátero Ferrífero

Objetivando o conhecimento quantitativo dos níveis altimétricos do Quadrilátero Ferrífero (Tabela 1.3), efetuou-se um estudo morfométrico dos mapas topográficos, escala 1:25.000,

no qual foram utilizados dois parâmetros: a) freqüência das partes altas e, b) área das partes altas (CLARKE 1966).

A área estudada abrange cerca de quarenta folhas 1:25.000, totalizando cerca de 7.190 Km² (Figura 1.1).

1.2.2.1 - Coleta de dados

A coleta de dados referente à freqüência das partes altas (a), foi efetuada através da contagem dos valores das curvas de nível fechadas, referentes a topos de colinas e platôs. Para o cálculo das áreas das partes altas (b), utilizou-se uma malha milimétrica, desenhada sobre papel ultraphan, que, uma vez colocada sobre uma curva de nível fechada, referente ao topo de uma elevação, procedia-se a contagem do número de milímetros quadrados contidos no interior da mesma.

Entre o valor mínimo de 600 e o máximo de 2070 m, foram contadas 7.457 partes altas, cujo somatório das áreas totalizou cerca de 605 Km², ou seja, 8,4 % da área estudada.

1.2.2.2 - Quantificação do relevo

As figuras 1.2 e 1.3 mostram, respectivamente, histogramas de freqüência de N (número de partes altas) e A (soma das áreas das partes altas), em relação à altitude.

Na figura 1.2, observa-se que N mantém-se elevado entre 800 e 1.100 m, apresenta uma queda acentuada entre 1.200 e 1.600 m e, baixos valores entre 1.700 e 2.000 m.

Na figura 1.3, repetem-se, a grosso modo, os três conjuntos presentes na figura 1.2, apesar da possibilidade de uma melhor identificação de alguns picos.

Figura 1.2 - Histograma de N (20 x 20), do Quadrilátero Ferífero

Figura 1.3 - Histograma de A (10 x 10) do Quadrilátero Ferrífero

Na figura 1.4 (histograma A/N), observa-se uma certa constância na frequência, entre 800 e 1.600 m. Entretanto, a partir de 1.600, apesar do pequeno número de ocorrências (Figura 1.2), as partes preservadas das superfícies cimeiras, associadas às litologias mais resistentes, assumem grande expressão em área.

Estes dados permitem uma melhor compreensão a cerca do relevo do Quadrilátero Ferrífero, na medida em que contribuem para a quantificação das observações, anteriormente efetuadas, sobre a importância da estrutura, da erosão diferencial e, sobretudo, da "coincidência" (sic) entre as litologias mais resistentes e as superfícies cimeiras (vide item 1.2.1). Como corolário, pode-se constatar uma segunda "coincidência", ou seja, as maiores frequências de N (800 a 1100 m) relacionam-se, em verdade, a uma maior expressão em área de xistos, filitos e gnaisses migmatíticos, que, somados aos quartzitos e itabiritos associados as superfícies cimeiras, constituem as rochas mais comuns da região.

1.2.2.3 - Os níveis altimétricos

Após a quantificação dos traços maiores do relevo da região, efetuou-se um tratamento dos dados com o intuito de quantificar regionalmente, através da análise morfométrica, os níveis altimétricos propostos por DORR (1969), Tabelas 1.3 e 1.5.

A figura 1.5, histograma de frequência $N \times A$, mostra que, através deste tipo de associação dos dados coletados, pode-se identificar um grande número de picos, relativos a vários níveis altimétricos. Ao se variar os intervalos das classes (Figura

Figura 1.4 - Histograma de A/N (10 x 10) do Quadrilátero Ferrífero

Figura 1.5 - Histograma de $N \times A$ (10 x 10) do Quadrilátero Ferrífero

1.8), percebe-se uma diminuição do número de níveis altimétricos; os resultados obtidos (850, 1050, 1150 e 1350 m) se aproximam dos valores sugeridos por DORR (1969), Tabela 1.5.

1.2.2.4 - O controle lito-estrutural dos níveis altimétricos

No Quadrilátero Ferrífero, as variações dos níveis altimétricos se encontram intimamente relacionadas a controles litológicos e/ou estruturais. Tal fato pode ser constatado na descrição das "províncias geomorfológicas" de BARBOSA & RODRIGUES (1967).

A fim de melhor ilustrar a importância do controle lito-estrutural sobre as variações de níveis altimétricos na região, efetuou-se uma análise morfométrica setorial das áreas abrangidas pelas quadrículas Lagoa Grande - Piedade do Paraopeba e Rio Acima - Gandarela.

a) Análise morfométrica das quadrículas Lagoa Grande Piedade do Paraopeba

As figuras 1.7, 1.8 e 1.9, apresentam, respectivamente, os histogramas de frequência de N, A e NxA das quadrículas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba. Nestas figuras, podemos observar a existência de três níveis altimétricos predominantes (800-1000, 1300-1400 e 1500 m), relacionados, respectivamente, ao embasamento cristalino (granitos e gnaisses), Grupo Piracicaba (filitos) e Grupo Itabira (Itabiritos). Estas relações podem ser melhor observadas no bloco-diagrama da figura 1.10.

b) Análise morfométrica das quadrículas Rio Acima e

Figura 1.6 - Histograma de N x A do Quadrilátero Ferrífero

Tabela 1.5 - Níveis de erosão no Quadrilátero Ferrífero (cf. DORR, 1969)

Altitude (m)	Área de melhor desenvolvimento	Idade *	Denominação *
2000 - 2100	Serra do Caraça	-	-
1750 - 1850	Serra do Caraça-Itacolomi	-	-
1500 - 1650	Conta História-Tutamea	Triássico	Gondwana
1250 - 1400	Serra do Rolamoça-Sinclinal da Moeda	Cretáceo	Pós-Gondwana
1100 - 1200	Flancos da Serra do Curral	-	-
1000 - 1100	Lagoa Seca-Centro do Sinclinal do Gandarela	-	-
850 - 950	Vale do Rio das Velhas-Chapada do Canga	Terciário Médio	Sul-Americana
700 - 750	Vale Rio das Velhas	Terciário Superior	Velhas

* Segundo KING (1956)

Figura 1.7 - Histograma de N (10 x 10) das quadriculas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba

Figura 1.8 - Histograma de A (10 x 10) das quadriculas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba

Figura 1.9 - Histograma de N x A (10 x 10) das quadrículas Lagoa Grande e Paraopeba

Figura 1.10 - Blocodiagrama das quadriculas Lagoa Grande e Piedade do Paraopeba (Geologia segundo DORR 1969)

Gandarela

As figuras 1.11, 1.12 e 1.13, apresentam, respectivamente, histogramas de frequência de N, A e NxA das quadrículas Rio Acima e Gandarela. Nestas figuras, pode-se observar a existência de, pelo menos, seis níveis altimétricos predominantes (800-900, 1000, 1100, 1150-1250, 1350-1450 e 1600-1650 m). Entretanto, as relações entre estes níveis altimétricos e as variações litológicas não são tão claras como no exemplo anterior, conforme ilustra o bloco-diagrama da figura 1.14. Tal fato se deve a variações litológicas internas nas unidades lito-estratigráficas presentes na área. Notadamente, estas variações se referem a intercalações entre quartzitos e quartzo-xistos do Grupo Maquiné, fato que, aliado à estrutura regional provoca um refinamento no escalonamento dos níveis altimétricos. O Grupo Itabira encontra-se aqui representado por suas duas formações (Cauê e Gandarela), constituindo, respectivamente, a crista da aba NW do Sinclinal do Gandarela (serras da Água Limpa, Maquiné e Lopes) e o relevo irregular localizado no extremo leste da área.

1.2.2.5 - Os níveis altimétricos e as superfícies de aplainamento

A relação entre "níveis altimétricos" e "superfícies de aplainamento", entretanto, deve ser analisada com muita cautela. Ocorre que nas superfícies de aplainamento, definidas pelos diferentes autores (Tabela 1.3), a altimetria apresenta um caráter "relativo", ao contrário dos termos "absolutos" da análise morfométrica. Assim sendo, um determinado nível

Figura 1.11 - Histograma de N (10 x 10) das quadrículas Rio Acima e Gandarela

Figura 1.12 - Histograma de A (10 x 10) das quadículas Rio Acima e Gandarela

Figura 1.13 - Histograma de N x A (10 x 10) das quadrículas Rio Acima e Gandarela

Figura 1.14 - Blocodiagrama das quadriculas Rio Acima e Gandarela (Geologia segundo DORR 1969)

altimétrico, por exemplo 1150, pode-se referir a uma superfície de 1ª, 2ª ou 3ª geração, dependendo da região considerada. Como exemplo, podemos citar as abas do Sinclinal do Gandarela, onde esse nível (1150 m), devido a controles lito-estruturais distintos, constitui superfície de "1ª geração" na aba SE e, de "3ª ou 4ª geração", na aba NW.

1.2.2.6 - Conclusões

A análise morfométrica do Quadrilátero Ferrífero permite observar os seguintes pontos:

- a existência de uma estreita relação de dependência entre níveis altimétricos e variações lito-estruturais;

- através de uma análise quantitativa, obteve-se um aprimoramento dos conhecimentos relativos aos níveis altimétricos do Quadrilátero Ferrífero;

- Finalmente, conforme estabelecido por BARBOSA (1980), a correlação entre níveis altimétricos e superfícies de aplainamento é imprópria e deve ser analisada com muita cautela.

1.2.3 - Considerações sobre a evolução morfogenética do Quadrilátero Ferrífero

Ao longo da evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero, ocorreu uma conjunção especial das variáveis referidas anteriormente (estrutura, litologia, epirogênese e variações climáticas), de maneira a favorecer a formação de um relevo distinto, em relação às áreas adjacentes. As variações litológicas, sobretudo no Supergrupo Minas, aliadas a dobramentos

e falhamentos, foram submetidas a variações climáticas e a atividade erosiva desde o Proterozóico, gerando um mosaico constituído por províncias geomorfológicas com nítido controle litoestrutural, nas quais são comuns feições de relevo invertido, que atestam a evolução da paisagem. Os soerguimentos epirogenéticos pós-cretácicos, experimentados pela Plataforma Sulamericana, acarretaram, no Quadrilátero Ferrífero, o reentalhamento da drenagem, o rejuvenescimento do relevo, com fenômenos de captura associados, bem como o realce das estruturas através dos relevos invertidos.

Cabe ressaltar que este longo período de estabilidade tectônica, de grande importância na evolução do relevo, não é privilégio do Quadrilátero Ferrífero: em todo o mundo, esta é uma das características das áreas que compreendem os cinturões de rochas verdes ("greenstone belts", ANHAEUSSER 1982), representados, na região, pelas unidades do Supergrupo Rio das Velhas.

Uma vez assegurada a estabilidade tectônica, as variações climáticas passaram a gerir a suavização do relevo ("adoucisement du relief"), respaldando e evidenciando as variações lito-estruturais, culminando com a geração de estruturas típicas de relevo invertido, cujos "ombros", constituídos por quartzitos e/ou itabiritos, protegem as bordas das "cristas aplainadas"; interpretadas por muitos autores como restos de uma superfície de aplainamento cimeira. Além disto, nesses locais, desenvolveu-se uma couraça ferruginosa, igualmente resistente a erosão mecânica, cujo desenvolvimento deve ter-se processado entre o Cretáceo Superior e o Mioceno, considerando-se

as interpretações de TRICART (1961) e os dados de LIMA & SALARD-CHEBOLDAEEF (1981).

As cristas aplainadas associadas a quartzitos e itabiritos dominam, em termos macromorfológicos, as "somital surfaces" associadas a xistos e filitos, que, normalmente, encontram-se preenchendo as calhas das estruturas com relevo invertido. Estas superfícies muitas vezes constituem níveis altimétricos elevados; entretanto, nestes casos, encontram-se claramente protegidas pelos "ombros" de quartzitos e/ou itabiritos. Finalmente, temos as "somital surfaces" associadas ao embasamento e que, normalmente, constituem os níveis altimétricos mais baixos do Quadrilátero Ferrífero.

Embora estas três unidades macromorfológicas se encontrem estatisticamente, preferencialmente, associadas aos níveis altimétricos 1450, 1100 e 900 m, respectivamente, a análise morfométrica nos mostra que, apesar da importante influência do fator litológico, o controle estrutural impossibilita uma correlação regional qualitativa entre níveis altimétricos e superfícies de aplainamento; contrariamente ao estabelecido por KING (1956).

Desta perspectiva, a evolução morfogenética do Quadrilátero Ferrífero revela um traço marcante de erosão diferencial, que ao longo do tempo discriminou níveis altimétricos, cuja articulação apresenta um nítido controle litoestrutural. Descarta-se, portanto, a hipótese de que estes níveis altimétricos corresponderiam a superfícies de erosão de diferentes idades.

CAPÍTULO II

OS DEPÓSITOS DE BAUXITA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

No Quadrilátero Ferrífero são conhecidas vinte e quatro jazidas de bauxita (Figura 2.1), cuja gênese tem sido motivo de grande controvérsia. Neste capítulo, numa primeira etapa, procede-se uma síntese das contribuições dos diferentes autores a respeito da gênese do minério, controle geomorfológico, estrutural, litológico etc.

Após o cadastramento, o reconhecimento e o levantamento dos perfis dos diferentes depósitos, foram selecionados quatro, representativos de todo o conjunto, cujos perfis foram estudados com maior detalhe, objetivando o balizamento do estudo proposto.

Finalmente, a partir do somatório das contribuições anteriores e dos dados obtidos neste trabalho, tem-se um segmento de discussão relativa à gênese dos depósitos.

Figura 2.1 - Mapa índice do Quadrilátero Ferrífero mostrando a localização e nomes das quadrículas mapeadas (A) e, a localização das jazidas de bauxita (B).

2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

A análise dos trabalhos elaborados por diversos autores sobre as jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, mostra a existência de dois grupos distintos. O primeiro se refere àqueles que consideram as jazidas de bauxita da região formadas a partir de uma laterização sobre material transportado, e o segundo, para os quais a laterização se deu sobre materiais "in situ".

2.1.1 - Protominério transportado

Segundo FLEISCHER et al. (1968), os depósitos de bauxita do Quadrilátero Ferrífero parecem obedecer a dois tipos de controle distintos, um litológico e outro paleogeográfico. Quanto à litologia, os depósitos apresentam uma preferência marcante pelo Grupo Itabira, numa proporção de 8/12, enquanto que os demais repousam sobre o Grupo Piracicaba, próximos ao contato com o Grupo Itabira. Este fato, de acordo com estes autores, leva a um questionamento do traçado dos contatos. Quanto ao controle paleogeográfico, afirmam que, embora os depósitos estejam associados a paleoplanos, parece não haver preferência por um determinado ciclo, tendo sido encontrados quatro valores modais distintos (950, 1250, 1400 e 1500 m), correspondentes a quatro ciclos distintos de peneplanação. Segundo esses autores esses controles, em sua essência, sugerem fortemente que esses depósitos sejam do tipo transportados.

FLEISCHER & OLIVEIRA (1969), além de ressaltar a associação dos depósitos de bauxita aos paleoplanos, afirmam que o minério não revela a natureza da rocha sotoposta, e nunca é encontrado associado a rochas frescas. O perfil da Jazida da Mutuca (Vargem dos Olhos), descrito por estes autores, da base para o topo: canga-bauxita, canga, bauxita, argila e canga recente, foi por eles interpretado à luz da teoria da biorresistência (ERHART 1967). Segundo esta abordagem, os níveis de canga e bauxita corresponderiam, respectivamente, a uma alternância de períodos de resistência e biotaxia. Com base nesta interpretação e, considerando a associação dos depósitos com o Grupo Itabira, sugeriram que os dolomitos da Formação Gandarela condicionaram a deposição da bauxita, através de armadilhas cársticas. Segundo FLEISCHER & OLIVEIRA (1969), considerando-se que os dolomitos são pobres em minerais micáceos (<10%) e a exclusão "a priori" dos itabiritos, uma evolução "in situ" só poderia estar associada, preferencialmente, aos mica-xistos da Formação Fecho do Funil e, subordinadamente, aos dolomitos do Grupo Itabira. Como esta hipótese não foi confirmada, concluíram que não pode ser esta a origem das bauxitas, optando, por conseguinte, pela hipótese de um protominério transportado.

De acordo com FLEISCHER & OLIVEIRA (1969), as bauxitas da região se caracterizam por um alto teor em Fe_2O_3 e TiO_2 , e um baixo teor em sílica, características que, à luz da teoria da biorresistência, sugerem evolução e retrabalhamento de antigos perfis lateríticos, analogamente ao caso das bauxitas de Provence (França), Tabela 2.1. Deste modo, sugeriram como área fonte as rochas básicas e ultrabásicas do embasamento pré-Minas.

Tabela 2.1 - Valores analíticos médios para bauxitas de diferentes províncias
(Mod. de FLEISCHER & OLIVEIRA 1969)

PROVÍNCIA	MECANISMO DE FORMAÇÃO	Análise Média				
		Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	PPC
Quadrilátero Ferrífero (1)	Sedimentação	45,5	25,4	2,1	2,6	24,4
Poços de Caldas (1)	Residual	56,0	10,8	1,4	6,1	25,7
Guiana Inglesa (2)	Sedimentação	59,39	1,76	1,86	5,49	31,5
Provence - França (3)	Sedimentação	55,4	24,8	3,2	4,8	10,8

VARELLA & ROSALES (1977) sugeriram que a Jazida de bauxita Conta História (Figura 2.2), se originou a partir da laterização de sedimentos argilosos lacustrinos, depositados em paleodepressões. Para estes autores esta hipótese se baseia nos seguintes fatos: a) passagem brusca, na maioria dos casos, do material bauxítico para a formação ferrífera; b) ausência de rochas alumino-silicatadas, tanto na lapa, como nas áreas próximas à Jazida; c) presença de minério de ferro, principalmente nas áreas próximas à lapa, na parte mais profunda da "bacia"; e d) configuração paleogeográfica, mostrando uma depressão de preenchimento lacustre. BÖCHI et al. (1982), igualmente, se referem à Jazida do Conta História, como sendo um platô contendo sedimentos bauxitizados, ricos em alumínio e ferro.

Segundo BÖCHI et al. (1982), a Jazida do Morro da Arataca constitui uma bacia de deposição de, aproximadamente, 200 m de comprimento, apresentando uma camada de conglomerado, sotoposta a sedimentos argilosos bauxitizados (Figura 2.3).

Em trabalhos não publicados, referentes a relatórios de pesquisa de bauxita no Quadrilátero Ferrífero, MAGEDO FILHO (1968) e SOUZA (1977, 1983) admitem a possibilidade de bauxitização a partir de sedimentos lacustres.

Segundo POMERENE (1964), a Jazida de bauxita da Mutuca (Vargem dos Olhos) deriva de depósitos lacustres e de preenchimento de vales, localmente transformados em bauxita.

2.1.2 - Protominério "in situ"

Figura 2.2 - Corte geológico do platô do Conta História (segundo BÜCHI et al. 1982)

Figura 2.3 - Corte geológico da jazida Morro da Arataca (segundo BÜCHI et al. 1982)

Segundo VAZ (1931), a jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro se encontra sobreposta a uma camada de argila ferruginosa, derivada de rochas xistosas do Supergrupo Minas (Figura 2.4). Nesta jazida este autor identificou dois tipos de minério: as "bauxitas típicas", de cor avermelhada, devido ao alto teor de ferro e as "argilas bauxíticas", variedades claras que apresentam baixos teores de ferro. VAZ (1931) destacou a importância dos xistos piríticos existentes nas vizinhanças do Morro do Cruzeiro, como fonte de ácido sulfúrico e sua influência no processo de alteração.

GUIMARÃES & COELHO (1945) e GUIMARÃES (1945) concluíram que a cobertura bauxítica do Morro do Cruzeiro se situa sobre camadas de filito sericítico-hematítico, decomposto em material argiloso. Segundo esses autores, é provável que, no horizonte considerado, a rocha tenha sofrido injeções pegmatíticas, uma vez que o estudo microscópico do minério revelou a presença de raras palhetas de muscovita e alguns grânulos de quartzo. De acordo com GUIMARÃES & COELHO (1945), esta rocha apresenta uma estrutura confusa semelhante a uma rocha pegmatóide decomposta, encontra-se associada à bauxita e intercalada aos filitos Minas, constituindo um horizonte geológico que se estende até as localidades de Hargreaves e Dom Bosco (sudoeste de Ouro Preto). A continuidade destas exposições, também, foi assinalada por FERREIRA (1983) que lhes atribuiu uma gênese a partir do saprólito de rochas vulcânicas ácidas ("mudstone"), com evolução bauxítica "in situ", no caso do Morro do Cruzeiro.

LACOURT (1947) considerou que a cobertura de canga ferruginosa, presente na jazidas Morro do Cruzeiro e Fazenda

a - Argilas	m - Óxidos de manganês
ai - Quartzito Itacaolomi	Q - Quartzito
b - Bauxita	q - Quartzito friável
c - Canga	p - Pirita
ca - Calcário silicoso	s - Xisto argiloso
I - Itabirito	Sg - Xisto grafitoso

Figura 2.4 - Corte geológico mostrando as encaixantes da jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro (Segundo VAZ 1931).

Tesoureiro, dificultou a erosão, permitindo uma laterização especial dos filitos, com formação de bauxita.

DORR (1969) afirma que muitos depósitos de bauxita da região estão relacionados a dolomitos argilosos ou filitos dolomíticos das formações Gandarela e Fecho do Funil e se localizam onde a remoção do produto do intemperismo foi impedida, seja por sua posição no relevo, ou pelo desenvolvimento de uma crosta alumino-ferruginosa. Segundo este autor o Quadrilátero Ferrífero sofreu um processo de erosão intermitente, culminando com a geração de proeminentes superfícies de aplainamento, que controlaram o desenvolvimento de grande parte dos depósitos supérgenos.

Segundo MOORE (1969), no platô da Lagoa Grande (quadrícula Conceição do Rio Acima), ocorre um solo bauxítico ferruginoso, derivado da Formação Gandarela, que grada lateralmente para uma canga limonítica. Na quadrícula de Santa Rita Durão, MAXWELL (1972) observou que os depósitos de bauxita apresentam características genéticas similares às descritas por MOORE (1969): verificou que a maioria dos depósitos se encontra associada a superfícies de aplainamento, e que ocorrem nas bordas das escarpas protegidas por uma cobertura de canga ferruginosa. Segundo MAXWELL (1972), os depósitos de bauxita constituem concentrações superficiais, derivadas de dolomitos e rochas ultramáficas.

Em trabalhos não publicados, pertencentes a companhias de mineração, referentes a relatórios de pesquisa de bauxita no Quadrilátero Ferrífero, vários autores optam por uma bauxitização

"in situ", a partir das litologias, sobre as quais se encontram assentadas (BÖCHI 1959; STAARGARD 1962 a,b; 1963 a,b,c; MACEDO FILHO 1967; GROSSI 1966, 1984; CABRAL 1969 e BÖCHI & MENEZES 1982).

A síntese das contribuições dos diversos autores, referentes aos protominérios das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero (Tabela 2.2), nos mostra as seguintes possibilidades: sedimentos (protominério transportado) e filitos dolomíticos, filitos sericíticos, vulcânicas ácidas e ultramáficas (protominério "in situ").

Cabe ressaltar, entretanto, que a partir da contribuição de FERREIRA (1983), ou seja, a associação bauxita/"mudstone", a questão da gênese das bauxitas da região se relaciona com uma outra não menos controvertida. A gênese destes depósitos, segundo DORR (1969), constitui uma questão aberta, trata-se de massas de argila laterizada, não plástica, não estratificada, afossilífera, mosqueada, contendo grãos de quartzo disseminados (aproximadamente 1% da rocha), podendo atingir 30 m de espessura, 300 m de largura e 2 Km de comprimento, denominada, nos trabalhos de campo, como "mudstone" (GUILD 1957). Segundo DORR (1969) este material nunca grada para o saprólito, não podendo, pois, ser considerado como produto de alteração "in situ", tratando-se portanto, de material transportado.

GUILD (1957) considerou o "mudstone" como produto da alteração final do dolomito, devido à sua associação com a Formação Gandarela. Entretanto, as características deste material, maciço e sem estruturas sedimentares ou metamórficas, não permitem precisar esta gênese. GUILD (1957) atribuiu uma

Tabela 2.2 - Protominérios das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero na concepção dos diversos autores

JAZIDAS		PROTOMINÉRIOS	AUTORES
C	Jardim Canadá	Filitos	MACEDO FILHO (1967)
D	Vargem dos Óculos	Sedimentos	POMERENE (1964), FLEISCHER & OLIVEIRA (1969)
E	Fazenda do Lopes	Sedimentos	MACEDO FILHO (1968)
G	Gandarela	Sedimentos	SOUZA (1983)
J	Dois Irmãos	Xistos, Filitos	CABRAL (1969)
L, M	Faria, Macaquinho	1. Xistos, Filitos	STAARGARD (1963)
		2. Sedimentos	MAXWELL (1972)
N	Fazendão	Filito	BÜCHI (1959)
O	Morro da Arataca	Sedimentos	BÜCHI et al. (1982)
P	Morro do Fraga	Filitos	STAARGARD (1963)
R	Batatal	Filitos	BÜCHI & MENEZES (1982)
S	Conta História	Sedimentos	VARELA & ROSALES (1977)
V	Morro do Cruzeiro	1. Filitos	VAZ (1931), LACOURT (1947), GROSSI (1966)
		2. Filitos, Pegmatitos	GUIMARÃES & COELHO (1945); GUIMARÃES (1945)
		3. Vulcânica Ácida	FERREIRA (1983)
X	Tesoureiro	Xistos	STAARGARD (1962)
Y	Monjolo	Xistos	GROSSI (1984)

origem metavulcânica para uma ocorrência na quadrícula de Jeceaba, onde descreveu grãos de quartzo criptocristalino arredondados (1 a 2 mm), vesículas preenchidas por limonita, sericita orientada e, em menor quantidade, pagloclásio e microclina. Segundo esse autor essa rocha pode ser derivada de um tufo, uma soleira, ou uma derrame ácido; sendo que alguns elementos se assemelham a fragmentos soldados de tufo.

JOHNSON (1962) descreveu uma ocorrência de "mudstone" no Morro do Caxambu (quadrícula Dom Bosco), onde verificou um contato brusco entre esta rocha e a encaixante, e a existência de fragmentos de filito dentro do "mudstone", nas adjacências do contato. Este fato o levou a interpretar esta ocorrência como se tratando de um material transportado, preenchendo um paleocanal.

GAIR (1962) se refere a grãos de quartzo arredondados e a nódulos marrons dispersos no "mudstone", que, localmente, contém fragmentos de itabirito e material ocre, derivado da Formação Cauê. Segundo este autor essa rocha se formou a partir de um fluxo de lama ("mudflow") endurecido; depositado em canais e lagos relacionados a superfícies de aplainamento. Analogamente, segundo POMERENE (1964), este material se originou a partir de intemperismo de dolomitos, contém fragmentos de quartzito e itabirito, e se formou por solifluxão e escorregamento, preenchendo lagos e canais.

WALLACE (1965) mapeou várias ocorrências de "mudstone" na quadrícula Lagoa Grande, cuja maioria recobre a Formação Fecho do Funil e as demais, as outras formações do Grupo Piracicaba e a Formação Gandarela. Nesta área, os depósitos ocorrem na parte

central do platô Moeda, porém, não necessariamente na parte mais baixa; entretanto, foram interpretados como que controlados pela drenagem. Segundo WALLACE (1965), esta rocha apresenta teores elevados de titânio (Tabela 2.3), fato que poderia ser explicado pela erosão recente de depósitos lateríticos da região. Segundo DORR (1969), essa hipótese não é compatível com os teores de titânio apresentado pelas jazidas de bauxita da região, 2,5 % em média, podendo atingir 4 % (Comunicação escrita da ALCAN a J.V.N. DORR II, in WALLACE 1965), além disso, considerou os teores em titânio do "mudstone" anormalmente elevados em relação aos baixos valores apresentados pelos metapelitos da região (Tabela 2.4).

Segundo DORR (1969), a associação preferencial do "mudstone" aos fácies carbonáticos se deve à expressão topográfica normal dessas formações, que proporcionou um ambiente ideal para a deposição do material e sua laterização. Com relação aos elevados teores de titânio, propôs a hipótese de uma contribuição externa, através de cinzas vulcânicas, relacionadas aos vulcanismos (sic) da região sudeste (Araxá, Poços de Caldas, etc.), cuja idade não difere muito da proposta por KING (1956) para a superfície pós-Gondwana. Tal hipótese permitiria explicar o fato dessas ocorrências estarem limitadas a um determinado intervalo altimétrico, relacionado ao ciclo pós-Gondwana (WALLACE 1965, DORR 1969).

Segundo MAXWELL (1972), o "mudstone" ocorre em várias localidades do distrito de Alegria. Em uma das ocorrências estudadas, encontrou zonas lenticulares, concordantes com as encaixantes, contendo seixos dispersos de quartzo, itabirito e filito. Este autor verificou, em seções delgadas, que essa rocha

Tabela 2.3 - Composição química de algumas argilas da quadrícula de Lagoa Grande (Mod. de WALLACE, (1965))

	1	2	3	4	5
SiO ₂	46.44	41.98	45.64	43.11	42.16
TiO ₂	4.34	5.20	4.16	4.73	4.52
Al ₂ O ₃	32.77	36.43	33.15	35.25	36.91
Fe ₂ O ₃	1.75	1.50	1.50	1.50	1.65
PPC	11.73	14.09	12.75	14.00	14.50
Total	97.03	99.20	97.20	98.59	99.74

Tabela 2.4 - Análises químicas de rochas pelíticas de baixo grau metamórfico,
 Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil
 (Modificado de HERZ, 1962)

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	56.1	61.6	62.4	57.3	58.6	61.9	68.8
Al ₂ O ₃	18.8	24.5	19.2	20.4	22.1	19.7	17.0
Fe ₂ O ₃	3.5	1.0	1.7	10.1	2.7	1.7	3.9
FeO	6.6	.1	3.1	1.2	5.8	2.4	.34
MgO	5.0	1.7	2.8	.66	2.2	3.9	.49
CaO	0	0	.12	.18	.13	.03	.01
Na ₂ O	.1	.2	.32	.40	.26	.20	.18
K ₂ O	4.2	6.2	4.9	5.7	3.2	5.4	3.6
TiO ₂	.3	.4	.62	.70	.75	.24	.63
P ₂ O ₅	.06	.09	.06	.16	.09	.05	.05
MnO	.03	0	.02	.02	.16	.02	.02
H ₂ O	5.0	3.8	3.9	2.8	4.1	4.4	3.6
CO ₂			.05	.05	.05	.05	.05
TOTAL	99.7	99.6	99.1	99.6	100.1	99.9	100.1

é constituída por grãos de quartzo angulosos, prismáticos corroídos e fragmentados; grãos dispersos de especlarita, magnetita e numerosos minerais de relevo alto não identificados. Os grãos de quartzo apresentam diâmetro variando entre 0,001 e 1,5 mm. De acordo com este autor, este material se encontra profundamente alterado, dificultando a identificação da rocha original; porém, seu aspecto, sua posição estratigráfica constante no Quadrilátero Ferrífero e os numerosos minerais de relevo alto sugerem tratar-se de tufos associados ao Grupo Itabira e não a fluxos de lama. Tal conclusão se baseia no fato de que em amostras de solos residuais sobre itabiritos, dolomitos e outras rochas, esses minerais de relevo alto não foram encontrados.

Segundo FERREIRA (1983), o "mudstone" constitui saprólito de rocha vulcânica, cujo teor em quartzo (3 a 7 %) sugere desde rocha saturada, até supersaturada em SiO₂. As concreções limoníticas foram interpretadas como estruturas vesiculares, preenchidas por limonita durante o intemperismo, e os fragmentos angulosos de filitos, originalmente descritos por JOHNSON (1962), foram considerados como xenólitos.

Devemos ressaltar, entretanto, que as hipóteses de que o "mudstone" constituiria saprólito de rochas vulcânicas ácidas (MAXWELL 1972, FERREIRA 1983), ou conteria contribuição de cinzas vulcânicas de mesma natureza (DORR 1969), não se coadunam com os elevados teores de titânio encontrados por WALLACE (1965), Tabela 2.3.

As controvérsias relativas à gênese do "mudstone"

(Tabela 2.5), conduzem a uma questão maior: estariam os diversos autores se referindo a um mesmo tipo de material ?. A resposta a esta pergunta não é possível no presente momento, surgirá apenas após um estudo comparativo detalhado de todas as ocorrências de "mudstone".

Tabela 2.5 - Síntese das observações relativas ao *mudstone* e hipóteses genéticas aventadas pelos diversos autores

	OBSERVAÇÕES	GÊNESE	AUTOR
1	Alteração de dolomito	Metassedimentos	GUILD (1959)
2	Quartzo criptocristalino (?) sericita orientada	Metavulcânica	GUILD (1959)
3	Depósitos em paleocanaís	Sedimentar	JOHNSON (1962)
4	<i>Mudflow</i> associado a superfícies de aplainamento	Sedimentar	GAIR (1962)
5	Solifluxão e escorregamento em rios e lagos	Sedimentar	POMERENE (1964)
6	Erosão de perfis lateríticos elevado teor em TiO_2	Sedimentar	WALLACE (1965)
7	Sedimentos com contribuição vul- cânica associados a superfícies de aplainamento	Sedimentar com contribuição vulcânica	DORR (1969)
8	Tufos associados ao Grupo Itabi- ra. Minerais de relevo alto	Metavulcano-sedimentar	MAXWELL (1972)
9	Dique. Quartzo de origem vulcâ- nica	Vulcânica	FERREIRA (1983)

2.2 - METODOLOGIA UTILIZADA PARA O ESTUDO DOS DEPÓSITOS DE BAUXITA

2.2.1 - Cadastramento de depósitos

O cadastramento dos depósitos foi efetuado, fundamentalmente, com base nas referências bibliográficas e, numa segunda fase, através de informações junto às companhias mineradoras que atuam na região, particularmente a ALCAN - Alumínio do Brasil S.A., através de sua subsidiária Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., e nas companhias que exploram minério de ferro, detentoras de manifestos de mina e em cujas áreas ocorrem depósitos de bauxita. Deste modo, foram cadastradas 24 jazidas (Figura 2.1).

Além disso, no Quadrilátero Ferrífero, existem inúmeras ocorrências de bauxita, sendo comum a presença de nódulos gibbsíticos nos solos da região, derivados de rochas ricas em filossilicatos.

As informações sobre as jazidas foram lançadas em mapas topográficos (escalas 1:25 000 e 1:50 000) e, posteriormente, verificadas através de visitas "in loco".

2.2.2 - Coleta de dados pré-existent

Através de contatos com as mineradoras detentoras dos alvarás de lavra das jazidas, foram obtidas informações importantíssimas, tais como: mapas de detalhe das jazidas, perfis geológicos, resultados de análises químicas e mineralógicas. Tais

Informações facilitaram, sobremaneira, a evolução dos trabalhos, permitindo o desenvolvimento de estudos, partindo-se de um conhecimento razoável dos depósitos, principalmente no que se refere à geometria dos corpos e teores de alguns elementos maiores, tais como Al, Fe, Si e Ti.

2.2.3 - Reconhecimento e classificação dos depósitos

Após o cadastramento e a localização dos depósitos, foram realizadas etapas de campo com o objetivo de efetuar o levantamento dos perfis visando uma definição das fácies. Além disso foram coletadas amostras para análise mineralógica por difratometria de raios-x.

Após a caracterização e a classificação dos depósitos, procedeu-se a escolha dos depósitos tipo.

2.2.4 - Tipo de estudo efetuado

No estudo detalhado dos depósitos-tipo, efetuou-se o levantamento de vários perfis verticais, objetivando o conhecimento e a distribuição das fácies. Uma vez conhecida a distribuição das fácies na escala do perfil e da paisagem, procedeu-se a amostragem das fácies de minério anteriormente definidas, tendo sido coletadas amostras para: a) análise química (elementos principais e secundários); b) análise mineralógica por difratometria de raios-x; c) confecção de lâminas delgadas.

2.2.4.1 - Análises químicas

As amostras (amostra total) depois de pulverizadas e homogeneizadas, foram analisadas quimicamente (elementos

principais - 174 amostras e elementos secundários - 144 amostras), nas seguintes instituições: DEGEO/Escola de Minas/UFOP, ALCAN, Universidade de Hamburg e GEOSOL.

Foram analisados os seguintes elementos: Al_2O_3 total, Fe_2O_3 , SiO_2 total e SiO_2 combinada e TiO_2 (principais) e, MnO , Cr , Ni , K_2O , CaO , MgO , Ba , Sr , Ga , V (secundários).

Na ALCAN, Al_2O_3 , SiO_2 total, TiO_2 e Fe_2O_3 foram analisados por fluorescência de raios-x e a SiO_2 combinada por espectrofotometria de absorção atômica.

No DEGEO - Escola de Minas - UFOP, SiO_2 e Al_2O_3 total foram analisados pelo método gravimétrico, Fe_2O_3 , pelo método volumétrico e TiO_2 , pelo método colorimétrico. Nesse mesmo laboratório, os elementos secundários foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, num aparelho Varian, Série AA-475.

2.2.4.2 - Difratometria de raios-x

A difratometria de raios-x se revelou um processo eficaz para o conhecimento da composição mineralógica das diferentes fácies, além de permitir, a grosso modo, uma avaliação das proporções entre os diferentes minerais presentes em cada fácies.

A preparação das amostras, amostra total, consistiu na pulverização em moinho de ágata, homogeneização e posterior confecção das lâminas a serem processadas.

Os difratogramas foram obtidos, no IG-USP, a partir de um difratômetro marca Rigaku, com anodo de Co , operando com 35

Kv, 10 mA, 2° /min; e no DEGEO-Escola de Minas-UFOP, em um difratômetro marca Rigaku, com anodo de Cu, operando com 35 Kv, 15 mA, 4° /min.

A interpretação dos difratogramas (aproximadamente 140) foi baseada nos dados contidos nas tabelas de BROWN (1961) e BERRY (1974).

Além das análises amostra total, foram realizadas cerca de uma dezena de amostras pontuais. Neste caso, para a coleta de material utilizou-se um micro-motor de baixa rotação, destes normalmente utilizados por cirurgiões dentistas, na preparação de cavidades dentárias.

2.2.4.3 - Confeção de lâminas delgadas

Dadas as especificidades dos produtos de alteração superficial estudados, ou seja, material por vezes pouco resistente e localmente friável, a confecção de lâminas delgadas exigiu um procedimento prévio especial, que assegurasse eficiência seja na qualidade das lâminas obtidas, seja nos custos envolvidos. Assim sendo, a técnica de "cozimento em Bálsamo" foi descartada, dado o elevado custo atual deste produto.

Foram realizadas experiências de impregnação das amostras primeiramente utilizando-se verniz (verniz ISO 1210 com diluente ISO 102, numa proporção de 6:4; PARISOT et al. (1985). Entretanto, os resultados foram insatisfatórios, basicamente, devido a dois fatores. Ocorre que nessa técnica, as cavidades maiores não são preenchidas pelo verniz, dada a sua baixa viscosidade. Além disso, considerando que essas cavidades, normalmente, são revestidas e/ou preenchidas, total ou

parcialmente, por diferentes produtos, cuja resistência, via de regra, não é necessariamente a mesma do restante da amostra, o não preenchimento da cavidade pelo verniz, invariavelmente acarreta perdas materiais irrecuperáveis durante a confecção da lâmina, de maneira a comprometer os estudos futuros.

Essas dificuldades foram sanadas com a utilização de uma resina, que, devido à sua maior viscosidade e seu tempo de secagem relativamente rápido, assegura o preenchimento total das cavidades, impedindo eventuais perdas materiais da amostra, quando da confecção da lâmina.

A impregnação das amostras

A técnica de impregnação de amostras utilizando resina, é utilizada rotineiramente no laboratório do IG-USP, entretanto, objetivando uma maior divulgação dessa técnica, encontram-se relacionados abaixo os produtos utilizados e um resumo dos principais procedimentos.

Produtos:

Resina - Polyilite T-208 (pré-acelerada)

Solvente - Monômero de estireno

Acelerador - Peróxido de metil etil cetona

Procedimentos:

a) Secagem das amostras. As amostras a serem impregnadas devem ser colocadas numa estufa, a 60 C, por 48 h;

b) Resfriamento das amostras. Após a secagem, as amostras são colocadas em um dissecador por um período de,

aproximadamente, 12 h. O pequeno espaço do dissecador impede a umidificação das amostras durante o resfriamento:

c) Proporção e mistura dos ingredientes. Colocar num becker 100 ml de resina, 35 ml de solvente e 3 gotas de acelerador. Misturar com bastão durante 2 a 3 min, quando, então, a solução se torna ligeiramente esverdeada;

d) Colocar um pouco de solução impregnadora em cada recipiente, de maneira que, no máximo, 1 cm da amostra fique imersa na solução;

e) Ligar a bomba de vácuo por um período de 2 a 3 min. As amostras devem permanecer submetidas ao vácuo durante aproximadamente 8 h. Ao término deste intervalo, o dissecador é aberto. A adição de nova quantidade de solução impregnadora, deve ser feita de maneira a recobrir a porção da amostra umidecida por capilaridade (Figura 2.5).

As operações descritas neste item devem ser repetidas até o recobrimento total da amostra.

f) Os recipientes, contendo as amostras impregnadas, devem ser colocados em local arejado durante aproximadamente 15 dias, o que constitui um intervalo de tempo normalmente suficiente para a polimerização total da resina;

g) Após o período de polimerização da resina, em temperatura ambiente, é aconselhável, novamente, a permanência das amostras impregnadas numa estufa, a 60 °C, por 48 horas.

Confecção das lâminas

As amostras impregnadas devem ser fatiadas, 3 a 4 fatias, para escolha da porção representativa da feição a ser

Figura 2.5 - Corte esquemático mostrando a primeira etapa de impregnação de uma amostra de bauxita utilizando-se resina.

estudada.

Uma vez definida a porção da amostra que constituirá a lâmina delgada, pode ser necessária, ou não, a reimpregnação da amostra, em função das características do material.

A reimpregnação consiste em colocar sobre uma placa de vidro, recoberta por papel alumínio, a face da amostra que originará a seção delgada, previamente recoberta por uma solução impregnadora (resina 50 %, solvente 50 %, e 2 a 3 gotas de acelerador). Deixar secar por 48 horas.

Após o cumprimento de todas essas etapas, a amostra se encontra devidamente preparada para a confecção da lâmina delgada.

2.2.5 - Descrição das amostras

Objetivando uma uniformização com relação à descrição das amostras, efetuou-se uma descrição macroscópica das amostras relativas às fácies estruturais identificadas nos trabalhos de campo.

Devido ao grande número de feições a serem observadas em cada fácies, durante a descrição microscópica das amostras, deve-se manter um rigoroso controle, uma correlação precisa entre as feições micromorfológicas observadas e as macroscópicas, anteriormente descritas.

2.2.6 - Integração e análise dos dados obtidos

Após a obtenção dos resultados das análises, efetuou-se a descrição dos perfis, de maneira a integrar os dados obtidos nos procedimentos descritos anteriormente, ou seja, somar às

descrições macroscópicas e micromorfológicas os resultados das análises química e mineralógica.

Finalmente, pode-se interpretar as relações genéticas (filiações) entre as fácies e seu significado a nível da paisagem.

Tabela 2.6 - Caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero através de suas altitudes médias e unidades estratigráficas as quais encontram-se associadas

JAZIDA		Altitude (m)	JAZIDA		Altitude (m)
A - Casa de Pedra	1	1350	M - Macaquinho	4	920
B - Serra da Bandeira	1	1500	N - Fazendão	1	890
C - Jardim Canadá	1	1350	O - Morro do Arataca	2	950
D - Vargem dos Óculos	1	1350	P - Morro do Fraga	1	1020
E - Fazenda do Lopes	1	1510	Q - Cata Preta	1	930
F - Maquiné	1	1600	R - Batatal	1	1840
G - Gandarela	1	1640	S - Conta História	1	1550
H - Vigário da Vara	1	1510	T - Serra Ant ^a Pereira	1	1220
I - Fazenda da Vargem	1	1180	U - Serra da Brígida	1	1480
J - Dois Irmãos	1	950	V - Morro do Cruzeiro	2	1210
K - Fazenda do Sapé	1	830	X - Tesoureiro	2	1400
L - Faria	4	920	Y - Monjolo	3	1070

1 - Grupo Itabira
3 - Grupo Nova Lima

2 - Grupo Piracicaba
4 - Sedimentos Terciários Fonseca

2.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE BAUXITA

2.3.1 - O contexto geológico geomorfológico

A distribuição das Jazidas de Bauxita do Quadrilátero Ferrífero, em função da altitude (Tabela 2.6, Figura 2.6), não revela uma preferência por um determinado nível altimétrico, ou superfície de aplainamento, fato que, aliás, já fora constatado por FLEISCHER & OLIVEIRA (1969), considerando treze das vinte e quatro Jazidas aqui estudadas.

Entretanto, a ausência de um controle altimétrico para as Jazidas se contrasta com a nítida associação preferencial dos depósitos ao Grupo Itabira (18/24), Tabela 2.6; secundariamente, três depósitos se encontram associados ao Grupo Piracicaba, um ao grupo Nova Lima e dois depósitos se acham sobre os sedimentos terciários Fonseca.

Com relação ao contexto morfológico, as Jazidas se encontram associadas a três unidades distintas: vertente (15), platô (7) e depressão (2), Figura 2.7. As primeiras se localizam entre as partes média e alta das vertentes, que constituem o reverso ("dip slope") das abas dos sinclinais e anticlinais, preferencialmente mais próximas da alta vertente ou nas vertentes suavizadas das pequenas colinas, presentes nas superfícies cimeiras onduladas.

A Jazida de Vargem dos Olhos se localiza na calha do Sinclinal da Moeda, cujo fundo plano e o relevo invertido configuram uma depressão. Um contexto geomorfológico análogo

Figura 2.7 - Classificação das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função das unidades geomorfológicas às quais encontram-se associadas

Figura 2.6 - Distribuição das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função da altitude.

ocorre na baixa vertente da Jazida Morro do Fraga (Dama 9).

2.3.2 - Caracterização segundo as fácies estruturais

A caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, com base nas fácies estruturais presentes nos respectivos perfis, foi elaborada nos termos propostos por BOCQUIER et al. (1984).

Basicamente, as jazidas de bauxita da região apresentam quatro fácies: maciça, pseudo-brechóide, nodular e solo. Entretanto, a fácies maciça foi dividida em três unidades: fácies bauxita maciça, fácies alumino-ferruginosa maciça e fácies ferro-alumínosa maciça (somente os dois primeiros são utilizados como minério), sendo que a primeira encontra-se sempre na base dos perfis e as demais nas partes superiores (Figura 2.8). Deve-se ressaltar, ainda, que, em alguns depósitos, a fácies pseudo brechóide é substituída, total ou parcialmente, por uma fácies friável.

O grupamento das jazidas, segundo as analogias apresentadas em função das seqüências das diferentes fácies, nos perfis, mostrado na Figura 2.8, revela que para as jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero pode-se adotar um perfil esquemático representativo das mesmas: a) na base dos depósitos, tem-se uma fácies bauxítica maciça ou em estado inicial de degradação, representada pela fácies pseudo-brechóide; b) a parte intermediária dos depósitos normalmente é constituída por uma fácies nodular, acompanhada, ou substituída, no topo, por uma fácies maciça alumino-ferruginosa. No topo dos perfis aparece, comumente, o solo, contendo nódulos de bauxita. Esta unidade,

Figura 2.8 - Caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero segundo as fácies estruturais presentes nos perfis.

eventualmente, encontra-se ausente ou substituída por uma couraça ferro-aluminosa.

2.3.3 - Composição mineralógica

A análise da composição mineralógica das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, tabela 2.7, revela a presença constante de um determinado grupo de minerais: gibbsita, goethita, hematita, quartzo e anatásio. Sendo a gibbsita, obviamente, o mineral mais abundante, enquanto que as proporções relativas entre goethita/hematita e quartzo/anatásio variam nas diferentes jazidas.

Os principais minerais constituintes das jazidas de bauxita desta região se encontram em perfeita consonância com dados conhecidos sobre principais ocorrências deste minério nas demais regiões brasileiras, tais como:

- a) Região Norte - bauxitas derivadas de sedimentos terciários, jazidas de Trombetas, Almerim, Paragominas e Juriti (DENNER & NORTON 1977, GRUBB 1979, ALEVA 1981, KOTSCHOUBEY & TRUCKEMBRODT 1981, SOARES et al. 1984) e bauxita derivada de basaltos, Serra dos Carajás (LEMOS & VILLAS 1983);
- b) Região Sudeste - bauxitas derivadas de rochas alcalinas: jazidas de Poços de Caldas, Passa Quatro, Lavrinhas e Mendanha (SIGOLO 1979, GROKE 1981, SIGOLO & GROKE 1984); bauxitas associadas ao complexo Charnockítico Paraíba do Sul, jazidas de Cataguases, Astolfo Dutra, Rio Pomba, Miraf, Caratinga etc. (ROESER et al. 1984, LOPES 1987);
- c) Região Sul - bauxitas derivadas de rochas alcalinas, jazidas

de Lages (LINDSTEAD 1972, SZUBERT & VERGARA 1975, OLIVEIRA 1985).

Em termos mundiais, analogamente, a associação mineralógica gibbsita-goethita-hematita constitui a maior parte dos depósitos (LELONG et al. 1976). A boehmita ocorre associada à fácies pisolítica (LELONG et al. 1976, PARRON et al. 1983, BOULANGÉ 1983, BOCQUIER et al. 1984), fácies esta que, até o momento, não foi descrita em nenhuma das ocorrências brasileiras conhecidas.

2.3.4 - Composição química

As jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero apresentam uma composição química muito semelhante entre si, com relação aos seus principais elementos constituintes, ou seja, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , e SiO_2 , cujos teores médios são respectivamente: 45.4, 25.0, 2.3 e 1.3 %, números efetivamente representativos dos valores apresentados pelas diferentes jazidas, tabela 2.7.

Entretanto, cabe ressaltar algumas observações importantes:

- a) A Jazida Vargem dos Óculos apresenta os mais altos valores de Al_2O_3 e TiO_2 , entretanto, trata-se de uma concentração relativa, causada por deferruginização (Angélica F. Drummond C. Varajão, comunicação verbal), uma vez que esta jazida apresenta os mais baixos teores de Fe_2O_3 da região. Fenômeno análogo ocorre na baixa vertente da Jazida Morro do Fraga.
- b) As Jazidas Faria e Macaquinho apresentam os mais altos teores de SiO_2 total, entretanto, os valores de SiO_2 combinada se

Tabela 2.7 - Composição química e mineralógica das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG

JAZIDA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA																
		%								ppm								
		Al ₂ O ₃ (T)	Al ₂ O ₃ (A)	SiO ₂ (T)	SiO ₂ (C)	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	HF	MnO	Cr	Ni	K ₂ O	Ca ₂ O	MgO	BaO	Sr	Ga	V
A - Casa de Pedra	G,H,Go,A,Q	41,1	36,3	1,5	1,0	25,7	2,2	23,7	1021	78	40	345	383	323	20	50	134	124
B - Serra da Bandeira	G,Go,H,A,Q	43,6	41,5	2,0	1,4	22,3	2,4	26,8	228	143	36	549	306	195	2124	107	54	434
C - Jardim Canadá	G,H,Q-Go,A	42,6	39,0	1,3	0,9	29,0	2,7	22,9	1001	214	51	311	344	268	1476	120	81	155
D - Vargem dos Óculos	G,H,A,Q	59,0	56,1	1,2	0,4	5,0	4,1	30,5	104	256	48	106	467	348	0,84	129	214	240
E - Fazenda do Lopes	G,Go-H,Q,A	53,5	49,4	1,1	0,6	16,0	2,1	27,7	108	256	31	140	419	290	2150	109	75	188
F - Maquiné	G,H,Q-Go,A	48,7	46,3	2,2	2,0	19,3	2,0	20,0	64	278	30	587	425	198	1771	122	108	340
G - Gandarela	G,Go,Q,Q,H,A	47,9	41,6	2,9	2,0	20,5	2,4	25,7	142	232	42	219	180	255	89	165	80	403
H - Vigário da Vara	G,H,Go,Q,A	45,9	43,3	1,3	0,4	23,2	2,0	27,0	73	135	48	787	260	202	1652	136	90	372
I - Fazenda da Vargem	G,Go,Q,H,A	51,0	47,2	2,4	1,9	15,3	2,3	28,2	174	314	36	597	374	422	708	194	67	275
J - Dois Irmãos	G,Go,Q,H,A	40,4	33,0	1,2	0,1	31,8	2,8	23,0	1053	57	38	222	279	175	1707	164	76	465
K - Fazenda do Sapé	G,H,Go,Q,A	40,7	35,9	1,6	0,8	30,6	2,8	22,9	1062	170	58	77	303	185	1647	115	117	216
L - Faria	G,Go,H,Q,A	40,0	36,4	7,4	0,3	27,5	1,3	22,7	145	78	40	568	648	126	944	20	102	614
M - Macaquinho	G,H,Q,Go,A	48,1	42,9	2,0	0,8	20,4	2,2	27,2	135	266	48	220	272	280	2508	59	99	207
N - Fazenda	G,Go,H,Q,A	43,3	38,5	0,8	0,3	28,6	1,8	25,3	586	178	43	72	170	238	20	71	90	276
O - Morro da Arataca	G,Go,H,Q,A	41,3	31,5	0,7	0,1	31,9	2,0	23,2	205	471	37	262	197	192	178	93	103	278
P - Morro do Fraga	G,H,Q,Go,A	49,3	40,4	0,9	0,5	24,6	2,3	23,0	1309	269	69	86	313	248	20	100	160	310
Q - Cata Preta	G,Go,Q,H,A	48,9	41,9	1,2	0,6	31,5	1,7	26,3	154	235	20	170	171	140	165	35	144	245
R - Batatal	G,H,Q,Go,A	46,8	46,7	1,1	0,1	21,9	2,8	26,5	108	256	31	140	419	290	2150	109	75	188
S - Conta História	G,H,G,Q,A	41,1	38,8	0,7	0,2	31,2	2,4	23,4	71	225	43	111	656	220	3736	119	138	35
T - Serra de Ant ^o Pereira	G,H,Q,A	43,2	41,2	2,2	1,6	28,8	2,0	23,0	1016	264	20	535	435	272	2515	185	45	124
U - Serra da Brígida	G,H,Q,Go,A	48,2	44,1	1,8	0,9	21,1	2,0	26,0	426	300	60	481	144	223	145	129	65	62
V - Morro do Cruzeiro	G,Go,Q,A,H	44,7	37,3	1,2	0,1	25,8	2,7	25,3	278	193	65	251	198	315	294	100	94	93
X - Tesoureiro	G,Go,Q,H,A	37,1	32,2	1,0	0,2	31,7	2,0	26,9	302	128	31	335	464	268	1534	187	58	215
Y - Monjolo	G,H,Go,Q,A	43,2	34,7	0,7	0,2	28,4	2,4	24,2	352	350	62	512	320	112	1121	136	75	434

G, gibbsita; h, hematita; Go, Goethita; A, anatásio; Q, quartzo; (T), total; (A), aproveitável; (C), combinada.

encontram dentro da média. Ocorre que estas jazidas se encontram assentadas sobre sedimentos, fato que explica seus altos teores de quartzo e que as diferencia das demais bauxitas da região.

Os dados referentes aos demais elementos analisados (MnO, Cr, Ni, K₂O, CaO, MgO, BaO, Sr, Ga e V), tabela 2.8, infelizmente não permitem qualquer consideração, uma vez que, há uma variação muito grande, caracterizando, pois, uma distribuição dispersa e anômala.

Entretanto, conforme será mostrado nos tópicos seguintes, o estudo micromorfológico das diferentes fácies estruturais revela que estas não são homogêneas do ponto de vista químico-mineralógico. Tal fato poderia explicar as variações no comportamento dos elementos em questão, uma vez que, nas amostras analisadas (amostra total), os diferentes tipos de "microfácies" podem ter sido mesclados em proporções distintas, causando, pois, o comportamento anômalo destes elementos.

2.3.5 - Classificação em função das características químicas e escolha dos depósitos-tipo

A fim de se obter uma visão da caracterização das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero quanto à composição química dos principais elementos, elaborou-se um diagrama triangular SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ (Figura 2.9), a partir dos dados de milhares de análises químicas, obtidos junto às companhias de mineração que atuam na região.

A análise do padrão de distribuição das jazidas, no diagrama triangular, revelou que estas poderiam ser reunidas em

Tabela 2.8 - Análises(%) de bauxitas de diferentes protominérios

PROTOMINÉRIO	LOCALIDADE	Nº	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂
Sedimentos	Guiana	1	60,0-65,0	1,0-2,0	0,5	2,0-3,0
Sedimentos	Brasil	2	-	-	2,4-5,3	2,9
Sedimentos	Haiti	3	42,5-49,4	20,8-23,5	1,5-5,1	2,3-3,1
Sedimentos	Rep.Dominicana	4	46,2-48,5	19,4-20,0	1,0-2,0	2,5-2,7
Sedimentos	França	5	62,0-65,0	15,0-18,0	6,78	2,8-3,0
Sedimentos	Índia	6	73,4	1,6	2,9	3,0
Basaltos	Brasil	7	44,5	21,2	0,6	4,2
Basalto	Índia	8	64,2	1,2	1,2	2,9
Basalto	Índia	9	54,2	4,2	1,0-7,0	4,3
Nefelina Sienito	Estados Unidos	10	57,0-61,0	1,0-3,5	0,5	1,2-4,4
Nefelina Sienito	Brasil	11	56,1	9,7	2,9	1,1
Nefelina Sienito	Brasil	12	58,25	7,2	2,6	1,2
Charnoquito	Índia	13	53,0	9,4	6,1	1,5
Granulito	Brasil	14	50,4	11,7	0,3	2,5
Dacito	Austrália	15	56,7	10,8	14,9	1,0
Granito	Brasil	16	53,9	3,3	1,7	0,4
Granito	Costa do Marfim	17	57,3	7,9	1,2	0,9
Anfibolito	Costa do Marfim	18	40,5	35	-	2,8
-	Quadrilátero Ferrífero	19	-	-	-	2,5

Fonte: 1- VALETON (1981); 2- DENNER & NORTON (1977); 3- GOLDICH & BERGQUIST, 1948 in VALETON (1972); 4- GOLDISH and BERQUIST, 1947, in VALETON (1972); 5- NIA, 1968, in VALETON (1972); 6- VALETON (1972); 7- LEMOS & VILAS (1983); 8-10- VALETON (1972); 11- ALMEIDA (1977); 12- SIGOLO (1979); 13- VALETON (1972); 14- LOPES (1987); 15- VALETON (1972); 16- GROKE (1981); 17-18- BOULANGÉ (1983); 19- ALCAN, in WALLACE (1983).

Figura 2.9 - Caracterização química das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero em função dos principais elementos constituintes. (I) Tipo Morro do Fraga, (II) Tipo Vargem dos Óculos, (III) Tipo Macaquinho e (IV) Tipo Batatal.

quatro grupos distintos (Figura 2.9). Posto isto, verificou-se que cada grupo, além das características químicas, apresentava outros fatores em comum:

- No Grupo I, encontra-se a maior parte dos depósitos de vertente;

- No Grupo II, encontram-se os depósitos localizados em depressões;

- No Grupo III, encontram-se as Jazidas Faria e Macaquinho, depósitos de platô, que, devido aos teores relativamente altos de SiO_2 , ocupam uma posição peculiar no diagrama; e

- No Grupo IV, encontram-se as demais Jazidas de platô e algumas de vertente, nas quais a fácies friável encontra-se bem desenvolvida.

Assim sendo, deve-se ressaltar que a classificação, proposta acima, apresenta estreita correlação com as unidades morfológicas descritas anteriormente (Item 2.3.1).

Considerando-se a importância da correlação, verificada acima, procedeu-se a escolha de alguns depósitos, que pudessem ser representativos de cada grupo, depósitos-tipo. Assim sendo, foram escolhidos os depósitos: Morro do Fraga (vertente), Dama 9 - Morro do Fraga (depressão), Macaquinho e Batatal (platô).

2.4 - ESTUDO DOS DEPÓSITOS TIPO

2.4.1 - Morro Do Fraga

A jazida de bauxita do Morro do Fraga se localiza na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, a cerca de 7 Km do distrito de Santa Rita Durão, município de Mariana.

Geologicamente, encontra-se sobre a aba invertida do Sinclinal de Santa Rita, assentada sobre litologias do Grupo Itabira. De acordo com MAXWELL (1972), esta estrutura, com eixo segundo NE, apresenta um redobramento, com eixo segundo NW. A jazida em questão localiza-se, mais precisamente, sobre o nariz relativo ao redobramento da aba invertida do Sinclinal de Santa Rita (Figura 2.10).

Morfológicamente, a área é caracterizada por um "hog back" arqueado, preservado por erosão diferencial, devido à presença de itabiritos e de couraças alumino-ferruginosas, desenvolvidas no reverso deste.

Na toposseqüência estudada (Figura 2.11, Foto 2.1), foram reconhecidas quatro fácies com base nas características estruturais; da base para o topo: bauxita maciça, bauxita friável, bauxita maciça alumino-ferruginosa, fácies nodular, recoberta por solo com nódulos de bauxita. A distribuição destas unidades ao longo da toposseqüência encontra-se representada na figura 2.12.

2.4.1.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das

QTca - Canga	mpu - Gr. Piracicaba Indiviso
QTl - Laterita aluminosa	miu - Gr. Itabira Indiviso
mps - Formação Sabará	mcb - Formação Batatal
mpb - Formação Barreiro	mcm - Formação Moeda
mpf - Formação Fecho do Funil	rmu - Gr. Rio das Velhas Indiviso
mpc - Formação Cercadinho	gnm - Embasamento cristalino

Figura 2.10 - Mapa geológico dos arredores do Morro do Fraga
(Modificado de MAXWELL 1972)

Figura 2.11 - Mapa topográfico do Morro do Fraga contendo a localização da topossequência estudada e dama 9.

Figura 2.12 - Distribuição das fácies estruturais ao longo da topossequência N-S, jazida Morro do Fraga.

fácies

a) fácies bauxita maciça

A bauxita maciça constitui uma fácies homogênea, de cor marrom avermelhada, dura (rompe-se com o martelo), porosa a vacuolar. Os poros, na proporção de 10%, tamanho médio (1 a 5 mm) a grande ($> 5\text{mm}$), se encontram distribuídos irregularmente e preenchidos por um material (argilomorfo) de cor marrom-escuro, cujas paredes são revestidas por uma película cinza. Localmente, a porosidade torna-se mais importante e, associada à presença de vacúolos, confere à fácies maciça um aspecto friável.

Microscopicamente, caracteriza-se por apresentar um fundo matricial ("s-matrix", BREWER 1964), contendo minerais passíveis de serem reconhecidos (diâmetro superior a 2μ) e que constituem o esqueleto (BREWER 1964, BOULET 1974). Estes minerais encontram-se envolvidos por um material constituído de partículas muito pequenas (0 a 2μ), não sendo possível determiná-los opticamente, denominado plasma (BREWER 1964; BOULET 1974).

Na fácies bauxita maciça, o esqueleto é constituído por grãos de quartzo ($< 1\%$) e minerais opacos ($< 1\%$), cujos diâmetros podem atingir, respectivamente, 0.8 e 0.2 mm.

O plasma apresenta partes vermelhas-escuras (PVE) e partes vermelhas-claras (PVC).

As partes vermelhas-escuras (PVE) do plasma se caracterizam por seu aspecto uniforme e contínuo, e as partes vermelhas-claras (PVC), se caracterizam por uma trama micronodular.

O contato é difuso, marcado pela diferenciação de

nódulos PCE, envolvidos por partes vermelhas-claras (PVC), que apresentam manchas brancas, nas quais pode-se reconhecer cristais de gibbsita (Figura 2.13, Foto 2.2). Tais características sugerem que o contato PVE/PVC constitui uma frente de deferruginação.

Os vazios (fissuras e bordos de grãos de quartzo corroídos por dissolução) constituem cavidades irregulares (< 5 mm) irregularmente distribuídos nas duas partes do plasma e se encontram total ou parcialmente preenchidos por cristais de gibbsita.

O material marrom-escuro que se encontra preenchendo as cavidades macroscópicas se apresenta em lâminas delgadas com uma coloração negra, sugerindo que este material contenha um alto teor em ferro. As paredes normalmente se encontram atapetadas por cristais de gibbsita (Figura 2.14). Micromorfológicamente, este produto não guarda relações de filiação com o fundo matricial da fácies hospedeira, fato que sugere tratar-se de um material de acumulação oriundo das partes altas do perfil e depositado nas cavidades.

Finalmente, observou-se ao microscópio a presença de zonas pedoturbadas, caracterizadas pela presença de nódulos variegados (< 3 mm) e minerais opacos. Dentre os nódulos destacam-se, por sua homogeneidade, nódulos amarelo-claro (< 2 mm), amarelo-ouro (NAO) em luz polarizada, constituídos por cristais de gibbsita (< 0.02 mm), de cor bege, envolvidos por um plasma amarelo-claro, e nódulos, cuja constituição interna é semelhante às dos plasmas PVE e PVC.

A fácies bauxita maciça caracteriza-se, pois, por

Figura 2.13 - Contato entre os plasmas vermelho escuro e vermelho claro, fácies bauxita maciça, jazida Morro do Fraga.

Figura 2.14 - Aspecto micromorfológica dos cutans de iluviação ferruginosos que encontram-se preenchendo as cavidades macroscópicas do fácies bauxita maciça, jazida Morro do Fraga.

apresentar um esqueleto constituído por grãos de quartzo e minerais opacos, envolvidos por um plasma vermelho-escuro que se transforma por deferruginação em um plasma vermelho-claro.

A nível da topossequência, cabe ressaltar importantes observações, com relação às variações da fácies acima descrita:

- A proporção PVE/PVC é variável, sendo que, na Dama 29, o plasma vermelho-claro (PVC) é praticamente inexistente;

- Na Dama 30, os plasmas PVE e PVC encontram-se substituídos, respectivamente, por um plasma marrom-escuro (PME) e um plasma marrom-claro (PMC), sendo que, infelizmente, não foi possível a observação micromorfológica desta transformação. Entretanto, pode-se verificar, através da análise de difratogramas de raios-x, que os plasmas marrons apresentam teores de hematita e gohetita, maiores e menores, respectivamente, em relação aos plasmas vermelhos.

- Na Dama 31, observou-se a migração, através das fissuras, de um material marrom-escuro plástico, que, após a secagem da amostra, torna-se endurecido. Microscopicamente, este material mostra características micromorfológicas análogas às aquelas apresentadas pelos cutans negros, descritos na fácies bauxita maciça, diferenciando-se, apenas, por não apresentar paredes atapetadas por cristais de gibbsita.

O contato entre as fácies bauxita maciça e bauxita friável normalmente é gradacional, caracterizado por um importante crescimento (30 a 60 %) das partes friáveis, em detrimento dos plasmas PVE e PVC (Foto 2.3).

b) Fácies Bauxita Friável

A bauxita friável constitui uma fácies homogênea, de

cor marrom-escuro, porosa a vacuolar, formada por fragmentos de um material marrom-escuro (argilomorfo), cujas paredes são atapetadas por um material de cor bege. Localmente, são encontrados nódulos e/ou blocos reliquiais da unidade sotoposta.

Microscopicamente, a fácies bauxita friável é constituída por nódulos (35%) envolvidos por cristalárias de gibbsita (50%) e vazios (15%), figura 2.15 e foto 2.4. Parte dos nódulos (70%) são formados por material semelhante ao descrito nas cavidades da fácies sotoposta e parte, por nódulos reliquiais (30%) da fácies bauxita maciça, cujo plasma, nos bordos dos nódulos e nas vizinhanças dos poros, se apresenta mais escuro. Além destas feições, observa-se, também, uma superposição de gerações distintas de cutans de iluviação e cristalárias de gibbsita.

A fácies bauxita friável resulta, pois, de uma remobilização do ferro e do alumínio (destruição da fácies maciça) e de sua redistribuição, expressa através dos nódulos ferruginosos envolvidos por cristalárias de gibbsita.

O contato entre as fácies bauxita friável e a couraça maciça alumino-ferruginosa é brusco, sendo que, a nível da topossequência (Figura 2.12), é irregular, na forma de raízes da fácies maciça alumino-ferruginosa dentro da fácies friável.

c) Fácies maciça alumino-ferruginosa

A couraça bauxítica alumino-ferruginosa é heterogênea, dura, compacta, localmente porosa a vacuolar, constituída por partes marrons-avermelhadas, com manchas amarelas, subordinadamente, manchas vermelhas-escuras e partes marrons-

Figura 2.15 - Aspecto micromorfológico da fácies bauxita fria vel, jazida do Morro do Fraga.

escuras, caracterizadas por seu aspecto friável e por uma porosidade importante (10 %), cujos poros apresentam diâmetro entre 1 e 5 mm (porosidade média) e se encontram revestidos por um material de cor bege; enquanto que nas partes marrons-avermelhadas a porosidade é incipiente, com poros apresentando um diâmetro inferior a 1 mm (porosidade fina).

Microscopicamente, as partes descritas acima foram interpretadas como variações plásmicas, envolvendo um único esqueleto, por sua vez, análogo ao descrito nas unidades sotopostas.

Microscopicamente, as partes marrons-avermelhadas são constituídas por um plasma marrom-escuro que apresenta uma evolução deferruginizante, gerando, sucessivamente, plasmas de cores mais claras: marrom-claro, amarelo-escuro, amarelo-claro e nódulos amarelo-ouro (NAO), figura 2.16 e foto 2.5, que correspondem, respectivamente, às manchas e nódulos amarelos observados macroscopicamente.

As manchas de cor vermelho-escuro correspondem, microscopicamente, a uma invasão dos plasmas acima descritos, caracterizando uma ferruginização, posterior à diferenciação do plasma marrom (Figura 2.17).

As partes marrons-escuras correspondem, microscopicamente a ferro-cutans (ferrans de iluviação) recortados por paredes de gibbsita, apresentando um arranjo em forma de favos. Deve-se ressaltar que este material encontra-se presente apenas na base desta fácies.

Outra feição marcante, observada ao microscópio, refere-se ao aspecto pedoturbado, resultante da superimposição de

Figura 2.16 - Aspecto micromorfológico da diferenciação por deferruginação dos diferentes tipos de plasma, fácies maciça Al-Fe, jazida Morro do Fraga.

Figura 2.17 - Aspecto micromorfológico de uma frente de ferruginação, fácies maciça Al-Fe, jazida Morro do Fraga.

fases de ferruginização e deferruginização. Esta fácies é marcada, ainda, pela presença de zonas de circulação preferencial e pelo aumento, em direção ao topo, do número de nódulos amarelo-ouro (NAO).

Os tipos de plasma observados nesta fácies permitem correlacioná-los àqueles descritos na fácies basal (bauxita maciça). Entretanto, não mostram correlação, por filiação, com a fácies sotoposta (bauxita friável), sugerindo uma evolução descontínua no perfil.

Finalmente, esta unidade se caracteriza por seu aspecto compacto e pela ausência das partes friáveis descritas nas unidades sotopostas. Microscopicamente, apresenta plasmas alumino-ferruginosos caracterizados por uma evolução deferruginizante, na qual, a partir de um plasma marron-escuro, formam-se sucessivamente, plasmas de cores mais claras, culminando com a formação, em grande número, dos nódulos amarelo-ouro (NAO) que, neste horizonte podem ser reconhecidos macroscopicamente.

D) Fácies nodular

Esta unidade se constitui por nódulos (80 %) de couraça alumino-ferruginosa, de forma e tamanho irregulares (1 a 7 cm), arredondados, superfície irregular, cor marrom-avermelhado, cujos espaços intersticiais (20 %) são preenchidos por uma matriz síltico-argilosa de cor marrom-avermelhada, exceto na Dama 21, onde a matriz foi ferruginizada, conferindo a esta unidade um aspecto conglomerático.

Microscopicamente, os nódulos apresentam internamente

as mesmas características descritas na unidade sotoposta (fácies maciça alumino-ferruginosa)

O contato entre as fácies nodular e maciça alumino-ferruginosa (Figura 2.12), é gradacional, podendo-se observar a formação dos nódulos a partir de fissuras no topo da fácies maciça alumino-ferruginosa.

E) Solo

Solo constituído por matriz alumino-ferruginosa de textura arenosa, marrom-escuro, rico em raízes, contendo cristais de quartzo (< 1 mm) e nódulos esparsos (10 %) de constituição interna análoga àquela dos descritos na unidade sotoposta.

2.4.1.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies

Relativamente às características químicas e mineralógicas das fácies descritas na topossequência N-S da Jazida Morro do Fraga (Figura 2.18), podem-se efetuar as seguintes observações:

A transformação da fácies bauxita maciça em bauxita friável é acompanhada de uma transformação hematita/goethita, constatada através de difratogramas de raios-x (amostras pontuais) e um ligeiro aumento no teor de Al, permanecendo a gibbsita como principal mineral constituinte. Os teores de SiO₂ (total e combinada) sofrem uma pequena redução, enquanto que o teor de TiO₂ sofre um ligeiro acréscimo.

Na fácies bauxita maciça alumino-ferruginosa, observa-se um enriquecimento em Fe₂O₃, associado a um empobrecimento relativo em Al₂O₃. O crescimento da relação goethita/hematita

coaduna-se perfeitamente com o tom amarelado desta unidade, em contraposição aos tons avermelhados das unidades sotopostas, onde a hematita aparece com um maior destaque.

Na fácies nodular, inversamente ao descrito na unidade sotoposta, verifica-se um enriquecimento relativo de Al_2O_3 e um empobrecimento de Fe_2O_3 . Observa-se, ainda, que a hematita reassume importância na composição mineralógica, fato que deve ser atribuído à matriz que preenche os espaços intersticiais dos nódulos, uma vez que estes, internamente, possuem as mesmas características mineralógicas e micromorfológicas da unidade sotoposta (fácies maciça alumino-ferruginosa), conforme descrito anteriormente (item 2.4.1.1c).

2.4.1.3 - Conclusões

A análise conjunta das características químicas, mineralógicas estruturais das fácies bauxíticas da Jazida Morro do Fraga revela que, concomitantemente às modificações plásmicas, definidas através do estudo micromorfológico, ocorrem modificações químicas e mineralógicas, analogamente ao verificado por NAHON (1976).

Com relação ao sequenciamento das transformações, ou seja, as filiações entre as fácies, pode-se concluir pela existência de uma discordância, evidenciada pela descontinuidade das feições micromorfológicas entre as fácies bauxita friável e bauxita maciça alumino-ferruginosa. Este fato, aliado a uma possível filiação entre as fácies maciças, separadas pela fácies friável, que por sua vez deriva de uma redistribuição do ferro a

partir da fácies maciça, permite inferir que a fácies bauxita friável foi gerada a partir de uma fase de degradação interna do perfil, analogamente ao definido por LEPRUN (1977).

A exceção das unidades superficiais (fácies nodular e solo), onde é comum a ferruginização dos plasmas pré-existentes, nas demais fácies observa-se o domínio de processos de deferruginização e redistribuição do ferro, gerando plasmas gibbsíticos e ferruginosos, respectivamente.

As fácies estudadas, à exceção da unidade solo, encaixam-se no conjunto glebular definido por BOCQUIER et al. (1984).

2.4.2 - Perfil vertical Dama 9, Morro do Fraga

No perfil vertical relativo à Dama 9, situado na baixa vertente da jazida Morro do Fraga (Figura 2.11), foram reconhecidas três fácies, com base nas características estruturais, da base para o topo: bauxita maciça mosqueada, bauxita mosqueada com lamelas ferruginosas e couraça maciça-ferruginosa mosqueada (Figura 2.19).

2.4.2.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das fácies

a) Fácies bauxita maciça mosqueada

Bauxita homogênea, branca, com zonas amarelas, pouco dura, compacta, porosidade fina a média, esparsamente distribuída. As zonas amarelas se entrelaçam, gerando células de cor branca, conferindo à bauxita um aspecto levemente mosqueado.

A nível do afloramento, observam-se fissuras verticais

Figura 2.19 - Composição química e mineralógica das fácies bauxíticas presentes no perfil vertical relativo a dama 9, jazida Morro do Fraga.

a sub-verticais, preenchidas ou revestidas por material vermelho, sugerindo zonas de percolação de soluções ferruginosas.

Microscopicamente, caracteriza-se por apresentar grãos de quartzo (< 1%), geralmente corroídos (Foto 2.6), normalmente angulosos, com diâmetro máximo de 0.3mm e minerais opacos (< 1%) de forma e tamanho variados, cujo diâmetro máximo é menor que 0.2mm. Estes minerais encontram-se envolvidos em um plasma homogêneo de cor branca com zonas de cor marrom-amarelada, (luz natural, Figura 2.20). Estes plasmas correspondem, respectivamente, às partes macroscopicamente definidas como brancas e amarelas. Observa-se, ainda, a presença de manchas de um plasma vermelho-escuro.

O contato entre os plasmas bege e marrom é brusco, sugerindo que as manchas marrons são reíquias de uma evolução deferruginizante, que culmina com a geração do plasma branco.

Em direção ao topo, observa-se que os plasmas branco e amarelo tornam-se mais escuros, supostamente mais ricos em ferro, adquirindo, respectivamente, as cores bege-amarelo claro e mostarda (Foto 2.7). Pode-se verificar, também, que as zonas mostradas tornam-se mais importantes, apresentando zonas de iluviação (papules), acentuando o aspecto mosqueado desta fácies (Figura 2.21, Foto 2.8).

No topo da fácies bauxita mosqueada, as zonas ferruginosas se alargam, configurando a esta fácies um aspecto lamelar incipiente, e a bauxita adquire uma cor amarela. Microscopicamente, estas modificações se revelam através de uma

Figura 2.20 - Aspecto micromorfológico da base da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, jazida Morro do Fraga.

Figura 2.21 - Aspecto micromorfológico do topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, jazida Morro do Fraga.

acentuação tonal das partes mostarda, tornando-as mais escuras e, também, através do aumento das partes bege-amarelo claro (Figura 2.22).

A fácies bauxita mosqueada caracteriza-se, pois, por uma bauxita pouco dura, branca, com zonas amareladas entrelaçadas que ganham importância em direção ao topo.

b) Fácies bauxita com lamelas ferruginosas

Neste horizonte, observa-se uma acentuação das transformações descritas no topo da unidade sotoposta. As zonas ferruginosas se tornam ainda mais importantes de maneira que o aspecto lamelar torna-se preponderante sobre a feição mosqueada, que, embora menos importante, ainda persiste.

As zonas ferruginosas de estrutura lamelar adquirem uma cor marrom-avermelhada e separam as manchas que aqui se tornam amarelas-escuras, porém, persistindo, ainda, as manchas brancas e amarelas.

Microscopicamente, pode-se confirmar as modificações descritas macroscopicamente, ou seja, a acentuação das transformações descritas no topo da unidade sotoposta. Deste modo, pode-se observar que as zonas ferruginosas (lamelas) apresentam uma cor marrom-escuro ou vermelho-escuro (Figura 2.23). Além disto, o estudo micromorfológico desta fácies permite observar claramente a filiação existente entre as manchas branca, amarela, marrom-claro e mostarda.

Assim sendo, as relações entre estes plasmas, observadas através dos contatos, mostra, como principal evento, uma filiação no sentido dos plasmas de cores mais claras (Foto 2.9), ou seja, uma evolução deferruginizante em direção à base do

Figura 2.22 - Aspecto micromorfológico do topo da fácies bauxita maciça mosqueada, zona de transição para a fácies bauxita com lamelas ferruginosas, perfil vertical dama 9, jazida Morro do Fraga.

2.23 - Aspecto micromorfológico da fácies bauxita com lamelas ferruginosas, perfil vertical dama 9, jazida Morro do Fraga.

perfil. Entretanto, pode-se observar a existência de eventuais zonas de ferruginização (Foto 2.10), interpretadas como um evento mais recente.

c) Fácies couraça maciça-ferruginosa mosqueada

No topo do perfil vertical relativo à Dama 9, tem-se uma couraça ferro-aluminosa, heterogênea, muito dura, porosa (10%), poros com diâmetro variando entre 1 e 5 mm, cor marrom-avermelhada com manchas amarelas e vermelhas, e nódulos vermelhos-escuros circundados por uma auréola de tom mais claro, normalmente na cor mostarda. O material, que se encontra permeando as manchas e que contém os nódulos, apresenta cor marrom-avermelhada e aspecto terroso a micro-nodular.

Microscopicamente, pode-se observar, através dos contatos, as filiações entre os diferentes tipos de plasma: preto/mostarda, mostarda/amarelo, marrom/mostarda, vermelho/amarelo, amarelo/branco, vermelho/branco, etc (Figura 2.24).

As modificações plásmicas verificadas evidenciam um mesmo tipo de transformação, ou seja, uma evolução deferruginizante, na medida em que se tem sempre uma filiação de um plasma mais claro, gerado a partir de um plasma mais escuro.

Nas vizinhanças da Dama 9, além da fácies couraça maciça-ferruginosa mosqueada, são encontrados outros tipos de fácies como a nodular e a maciça-Fe lamelar, capeando as fácies sotopostas, anteriormente descritas.

As fácies de topo, na área de influência da Dama 9, se caracterizam por uma ferruginização (fácies maciça-ferruginosa lamelar e mosqueada) ou por uma degradação (fácies nodular).

Figura 2.24 - Aspecto micromorfológico da fácies couraça ma-
ciça-Fe mosqueada, perfil vertical dama 9, ja-
zida Morro do Fraga.

2.4.2.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies

Com relação às características químicas e mineralógicas das fácies estruturais, descritas no perfil vertical, referente à Dama 9 da jazida de bauxita do Morro do Fraga (Figura 2.19), podem-se efetuar as seguintes considerações:

- A fácies bauxita maciça mosqueada apresenta uma composição química conspícua, com elevados teores de Al_2O_3 (cerca de 59%) e baixos teores de Fe_2O_3 (cerca de 3,5%); fato que, aliado à textura argilomorfa, confere a esta fácies um caráter, tal que, somente na jazida Vargem dos Oculos pode-se encontrar material análogo.

- No caso do perfil da Dama 9, em decorrência da deferruginação da base do perfil, evidenciada nos estudos micromorfológicos, descritos no tópico anterior, observa-se um aumento dos teores de Fe_2O_3 em direção ao topo da fácies bauxita maciça mosqueada (12,7%). Os teores de Fe_2O_3 continuam aumentando em direção ao topo do perfil, de maneira que a fácies sobreposta (bauxita com lamelas ferruginosas) apresenta teores de Fe_2O_3 compatíveis em relação às demais jazidas do Quadrilátero Ferrífero, sendo a goethita o mineral mais importante.

- Com relação ao comportamento do titânio, cabe ressaltar que na base do perfil, onde a deferruginação foi mais importante, os teores de TiO_2 , analogamente ao comportamento do alumínio, sofreram um enriquecimento relativo em função da retirada do ferro. Deste modo, a bauxita maciça mosqueada

apresenta teores de TiO_2 (4.5-5%), que correspondem ao dobro, portanto, da média das bauxitas da região (2.3%), vide Item 2.3.4, tabela 2.7.

2.4.2.3 - Conclusões

Conforme descrito no tópico anterior, as características presentes no perfil da Dama 9 decorrem de um importante evento de deferruginização, cuja explicação pode ser dada em função de sua posição topográfica, uma vez que o perfil em questão se encontra em uma paleodepressão, localizada na baixa vertente (Figura 2.11), onde um eventual impedimento da drenagem propiciou condições redutoras, facilitando a migração do ferro e a conseqüente deferruginação da fácies.

Desta maneira, pode-se explicar o comportamento anômalo deste perfil, em relação às feições observadas nas demais jazidas da região, inclusive a própria jazida Morro do Fraga, na qual encontra-se inserida a Dama 9; exceção feita apenas à fácies bauxítica basal da jazida Vargem dos Óculos, onde ocorrem feições semelhantes.

2.4.3 - Macaquinho

A jazida de bauxita da Fazenda Macaquinho se localiza no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.1), à cerca de 11 Km do distrito de Santa Rita Durão, município de Mariana.

Geologicamente, encontra-se sobre a Chapada do Canga, extenso platô recoberto por couraças que, segundo MAXWELL (1972), foram desenvolvidas a partir da laterização dos sedimentos pertencentes à Formação Fonseca (Figura 2.25), constituída, da

Qal - Aluvião
 QTca - Canga
 QTl - Laterita aluminosa
 mpc - Formação Cercadinho
 gnm - Gnaisses e xistos
 gn - Gnaisses e granitos

Figura 2.25 - Mapa geológico dos arredores da Chapada do Canga, Quadricula Santa Rita Durão, Quadrilátero Ferrífero (Mod. MAXWELL 1972)

base para o topo, por linhitos, sedimentos arenosos e argilosos, fossilíferos (GORCEIX 1884), de idade eocênica (LIMA & SALARD-CHEBOLDAEFF 1981, Tabela 1.4).

A Jazida Macaquinho se situa na borda sul do platô (Figura 2.26), sendo constituída por um corpo de minério uniforme (Foto 2.11), seja quanto à sua espessura (6 m), seja com relação à distribuição das fácies estruturais de couraça presentes no perfil, da base para o topo: fácies pseudobrechóide/friável, fácies maciça alumino-ferruginosa e fácies nodular.

2.4.3.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das fácies.

a) Fácies Pseudobrechóide/Friável

Bauxita marrom-avermelhada, heterogênea, pouco dura a friável, textura granular (areia fina), porosa (5 %), porosidade fina (< 1 mm), poros preenchidos total ou parcialmente por um material bege de aspecto ceroso. Nos locais mais friáveis, ocorre acumulação de um material branco de aspecto cristalino e, finalmente, podem ser identificados pequenos grãos de quartzo (< 1 mm).

Localmente, os volumes marrons-avermelhados predominam sobre as partes friáveis, constituindo blocos e nódulos, separados por material friável. Estas características conferem a esta fácies um aspecto fragmentar, justificando, pois, a denominação fácies bauxita pseudobrechóide-friável.

As partes marrons-avermelhadas correspondem,

I - MAPA TOPOGRÁFICO

2- PERFIL TOPOGRÁFICO $\overline{AB}$

Figura 2.26 - Mapa topográfico dos arredores da Chapada do Canga com localização da jazida de bauxita de Macaquinho (I) e perfil topográfico com sobrelevação realçando a posição da jazida na borda do platô.

microscopicamente, a um conjunto de nódulos reliquiais de um plasma marrom, envolvidos em um plasma amarelo muito poroso (20 %), apresentando duas classes distintas de poros, uma com diâmetro maior que 0.15 mm, e outra menor que 0,02 mm e manchas brancas, que conferem a este plasma um aspecto granular. O conjunto é recortado por fissuras e vazios, correspondentes à porosidade macroscópica acima descrita, preenchidos, total ou parcialmente, por cristais de gibbsita.

Nas partes friáveis, nota-se, macroscopicamente, um aumento de porosidade (10 a 15 %) e, microscopicamente, uma ferruginização dos tipos de plasma descritos acima, gerando nódulos plásmicos de cor marrom-escuro (luz natural) e vermelha (luz polarizada), circundados por cristais de gibbsita e Fe-cutans de iluviação, formando uma mistura de proporções variadas (Figura 2.27, Foto 2.12); sugerindo, pois, uma redistribuição do Fe em direção aos nódulos plásmicos, gerando volumes internodulares deferruginizados, ricos em gibbsita.

Microscopicamente, a fácies pseudo-brechóide-friável revela-se de difícil descrição, face a seu aspecto altamente pedoturbado, caracterizado por zonas de circulação preferencial, nas quais podem ser identificadas, pelo menos, três gerações de Fe-cutans de iluviação, e duas de cristalárias gibbsíticas.

Finalmente, cabe ressaltar a presença importante de grãos de quartzo (1 a 5 %), apresentando diâmetro médio entre 0,3 a 0,5 mm, de forma arredondada, e cujos contornos podem apresentar-se corroídos (Figura 2.28).

O contato com a fácies sobreposta é brusco, uniforme e tende para a horizontalidade.

Figura 2.27 - Aspecto micromorfológico da fácies pseudobrechóide-friável, jazida Macaquinho.

Figura 2.28 - Aspecto micromorfológico de um grão de quartzo corroído, fácies pseudobrechóide-friável, jazida Macaquinho.

A fácies pseudo-brechóide-friável caracteriza-se, pois, por constituir-se de blocos de bauxita pouco dura, com textura granular, entremeados por uma bauxita friável, notável por seu aspecto pedoturbado e por seu alto teor em quartzo.

b) Fácies maciça alumino-ferruginosa

A fácies maciça alumino-ferruginosa constitui uma bauxita heterogênea, cor marrom-avermelhada com manchas amarelas, dura, compacta, porosa a vacuolar, porosidade média (1 a 5 mm), cujas cavidades se encontram, total ou parcialmente, preenchidas por material de cor bege de aspecto ceroso, e localmente recortada por fissuras preenchidas pelo mesmo material.

Microscopicamente, observa-se a persistência dos grãos de quartzo descritos na unidade sotoposta, distribuídos em um plasma marrom-escuro, correspondente aos volumes macroscopicamente definidos como marrons-avermelhados.

Analogamente à fácies homônima, descrita na toposseqüência N-S da Jazida do Morro do Fraga (2.3.1.1c), o plasma marrom-escuro apresenta uma evolução deferruginizante, gerando volumes plásmicos em tons amarelos, progressivamente mais claros, até a formação dos nódulos amarelos-ouro (NAO), figura 2.29, foto 2.13.

No topo, esta unidade torna-se mais avermelhada, em decorrência da presença de lamelas horizontalizadas, entrelaçadas, de composição hematítica, que individualizam blocos da fácies maciça alumino-ferruginosa. Microscopicamente, esta transformação é acompanhada por uma ferruginização dos plasmas marrons-amarelados, a partir dos poros e fissuras. Em seu

Figura 2.29 - Aspecto micromorfológico da fácies maciça Al-Fe mostrando a diferenciação dos plasmas amarelos por deferruginação e uma ferruginação recente associada aos vazios.

conjunto, estas transformações conduzem à formação incipiente de uma fácies maciça ferro-aluminosa. Finalmente, cabe registrar um aumento dos nódulos amarelos-ouro (NAO) em direção ao topo da unidade.

Cabe ressaltar, porém, que, dentre as lâminas estudadas, não foi possível constatar feições que permitissem atestar uma filiação entre as fácies pseudobrechóide/friável e a fácies maciça alumino-ferruginosa; embora a nível de afloramento, localmente, as relações de contato sugere que a fácies pseudobrechóide/friável corresponda a uma degradação da fácies maciça alumino-ferruginosa.

c) Fácies Nodular

Esta unidade se constitui por nódulos (80 %), cuja constituição interna é idêntica à da unidade sotoposta, apresentando forma e superfícies irregulares, com diâmetro médio variando entre 1 e 3 cm, arredondados, superfície irregular, cor marrom-avermelhada, revestidos, ou não, por uma película ferruginosa e cujos espaços intersticiais encontram-se preenchidos por uma matriz silítico-argilosa de cor marrom-avermelhada (20%).

Microscopicamente, os nódulos apresentam as mesmas características descritas nas fácies maciça alumino-ferruginosa e ferro-aluminosa da unidade sotoposta.

2.4.3.2 - Características químicas e mineralógicas das fácies descritas

A fácies bauxita friável, que constitui a maior parte do minério da jazida de bauxita da Fazenda Macaquinho (Figura

2.30), caracteriza-se por apresentar altos teores de Al_2O_3 (46%), podendo atingir 50% e baixos teores de Fe_2O_3 (20%), comparando-se com a média das jazidas da região, vide item 2.3.4; sendo que gibbsita e goethita se apresentam como principais constituintes mineralógicos. Entretanto, a principal característica química-mineralógica desta fácies refere-se aos elevados teores de SiO_2 livre, confirmando as observações descritas no tópico anterior com relação aos teores de quartzo.

Relativamente à descontinuidade textural entre as fácies pseudobrechóide-friável e maciça alumino-ferruginosa, verifica-se a nível do perfil (Figura 2.30), um aumento significativo dos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 , acompanhado de uma diminuição relativa nos teores de Al_2O_3 e SiO_2 . No topo da facies bauxita maciça alumino-ferruginosa, esta tendência se acentua, consonantemente à transformação fácies maciça alumino-ferrugino saem fácies maciça ferro-aluminosa.

2.4.3.3 - Conclusões

A Jazida de bauxita da Fazenda Macaquinho caracteriza-se por constituir um depósito de platô, cujo corpo de minério apresenta uma distribuição uniforme das fácies.

Finalmente, cabe ressaltar que, dentre as jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, a da Fazenda Macaquinho constitui um depósito conspícuo, seja pelas características texturais (granular, aspecto pedoturbado), seja em relação às características químicas e mineralógicas, no que se refere aos altos teores de SiO_2 , relacionado à presença de grãos de quartzo.

2.4.4 - Batatal

O depósito de bauxita da Serra do Batatal se localiza na porção centro sul da Quadrícula de Capanema (Figura 2.1). Segundo BÖCHI & MENEZES (1982), este depósito se originou a partir da laterização de filitos pertencentes à formação Batatal. Entretanto, de acordo com o mapa geológico elaborado por MAXWELL (1972), o depósito em questão assenta-se sobre litologias do Grupo Itabira (Figura 2.31).

Morfologicamente, a Serra do Batatal constitui um platô (Figura 2.32), apresentando uma suave declividade para SE, que propiciou um aumento correspondente da espessura do minério nesta direção (Figura 2.33).

No perfil vertical estudado, relativo ao poço 16, foram identificadas as seguintes unidades, da base para o topo: filito isalterítico, argila mosqueada, bauxita maciça mosqueada e bauxita maciça vermelha.

2.4.4.1 - Descrição macroscópica e micromorfológica das unidades.

a) Filito isalterítico

Filito decomposto, no qual pode-se reconhecer a estrutura reliquia (xistosidade), ou seja, filito isalterítico (GHATELIN 1974). Apresenta partes róseas, com manchas brancas, amarelas e vermelhas, e partes esverdeadas endurecidas. As manchas brancas constituem volumes de caráter plástico, nos quais pode-se reconhecer a presença de sericita.

QTca - Canga	rmu - Gr. Maquiné Indiviso
miu - Gr. Itabira Indiviso	rnl - Gr. Nova Lima
mcb - Formação Batatal	dd - Diques de rochas máficas
mcm - Formação Moeda	

Figura 2.31 - Mapa geológico dos arredores da Serra do Batal, Quadricula Capanema, Quadrilátero Ferrífero (Segundo MAXWELL 1972)

Figura 2.32 - Mapa topográfico dos arredores da Serra do Batatal, com indicação da jazida de bauxita homônima.

Figura 2.33 - Perfil topográfico do platô da Serra do Batatal com indicação do corpo de minério (Modificado de BÜCHI & MENESES 1982)

Microscopicamente, as partes róseas são constituídas por um esqueleto formado por minerais opacos (5%), arredondados, com diâmetro aproximado de 0,03 mm, envolvidos em um plasma amarelo-claro (LN) com manchas amarelas-escuras, constituído predominantemente por cristais de caulinita (0,03 mm) não orientados (plasma asséptico, BREWER 1964). As manchas mais escuras apresentam poros (<0,3 mm) preenchidos por cristais de gibbsita (0,03 mm). As partes esverdeadas são, igualmente, constituídas por materiais opacos, envolvidos em um plasma branco com manchas esverdeadas (LN), contendo zonas de cor marrom-escuro, nas quais pode-se identificar cristais de caulinita e muscovita. Nas manchas esverdeadas, pode-se observar, perfeitamente, a xistosidade através da orientação dos cristais de muscovita. As manchas brancas constituem um cristalliplasma a caulinita e sericita (0,02 mm). As manchas amarelas se referem a impregnações de ferro, associadas às cavidades, atualmente preenchidas por cristais de gibbsita.

As manchas vermelhas se caracterizam por constituir um cristalliplasma formado por cristais de caulinita (0,06 mm), conferindo à textura um aspecto mais grosseiro em relação ao apresentado pelo cristalliplasma das partes esverdeadas.

A unidade filito isalterítico se caracteriza por apresentar volumes, nos quais, através da orientação de minerais primários (muscovita), pode-se confirmar, microscopicamente, a xistosidade descrita macroscopicamente, e volumes mais escuros (ferruginizados), ricos em caulinita e gibbsita.

b) Argila mosqueada

Esta unidade se constitui de um material argiloso, heterogêneo, apresentando manchas nas cores branco, rosa, vermelho-escuro. As primeiras são formadas por um material plástico, enquanto que as vermelhas-escuras se apresentam endurecidas e envolvidas por alvéolos amarelados.

Microscopicamente, observa-se a existência de um esqueleto formado por minerais opacos, envolvidos em plasmas, cujas colorações guardam estreita correlação com os volumes descritos macroscopicamente (Figura 2.34, Foto 2.14).

As partes róseas são constituídas por um plasma branco, com manchas vermelhas-claras, recortado por fissuras preenchidas por um cutan vermelho.

O plasma vermelho-escuro apresenta um alvéolo de cor amarelo-mostarda (LN), cujo contato apresenta feições de deferruginização. Deste modo, pode-se deduzir que o cutan vermelho que se encontra preenchendo as fissuras, acima descritas, constitui material oriundo da deferruginização dos volumes vermelho-escuro, vermelho-claro e mostarda.

Na parte superior desta unidade, pode-se observar importantes transformações, que, além de confirmar as feições acima descritas, fornecem informações a respeito das filiações entre os diferentes tipos de plasma:

- Nas partes róseas, observa-se que os plasmas vermelhos-claros, tornam-se importantes, em detrimento dos plasmas brancos, de maneira a sugerir que o plasma róseo deriva-se de um plasma vermelho-claro, a partir de uma deferruginização que propicia a geração dos plasmas brancos.

- Ocorre um aumento substancial das manchas

Figura 2.34 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginação dos plasmas constituintes da fácies argila mosqueada, jazida da Serra do Batatal.

constituídas pelo plasma vermelho-escuro e das auréolas mostardas associadas.

- Localmente, pode-se observar, no plasma vermelho-claro, concentrações graduais de pequenas manchas vermelhas-escuras, sugerindo, portanto, que o plasma vermelho-claro deriva-se por deferruginização do plasma vermelho-escuro. Deste modo, vemos que, por vias distintas de deferruginização, o plasma vermelho-escuro pode gerar plasmas vermelho-claro e mostarda.

A unidade argila mosqueada caracteriza-se, pois, por seu aspecto maciço, por sua textura argilomorfa e por seu aspecto mosqueado, decorrente de filiações plásmicas, controladas por uma via deferruginizante.

c) Bauxita mosqueada

A unidade bauxita mosqueada apresenta características distintas nas suas porções basal, intermediária e topo:

- Na base, a fácies bauxita maciça mosqueada apresenta-se heterogênea, dura, compacta, contendo partes escuras marrons-avermelhadas (50%), envolvidas por alvéolos mostarda (30%), e manchas nas cores bege e róseo.

Microscopicamente, caracteriza-se por apresentar os mesmos tipos de plasmas descritos na unidade sotoposta, respeltando-se, entretanto, as novas proporções entre as partes. Deste modo, em consonância com as observações macroscópicas, verifica-se o crescimento, em importância, dos plasmas vermelho-escuro e mostarda, em detrimento do plasma vermelho-claro. As manchas beges correspondem, microscopicamente, a um plasma branco com manchas amarelas.

- Na parte intermediária, a fácies bauxita maciça mosqueada apresenta uma intensificação do plasma mostarda, alvéolo dos plasmas vermelhos-escuros, que passam a constituir 50% do material. Observa-se, ainda, que o plasma-mostarda pode-se transformar por deferruginização em um plasma branco (Figura 2.35, Foto 2.15). Localmente, a associação plasma branco com plasma vermelho-claro constitui a parte rósea, semelhante à descrita na unidade argila mosqueada.

- No topo, esta fácies se apresenta vacuolar, dura, constituída por partes vermelha-clara (50%) e vermelha-escura (30%), ambas apresentando os alvéolos mostarda, manchas beges e róseas (10%), e cavidades (10%), preenchidas por material vermelho-escuro de aspecto terroso.

Microscopicamente, o contato entre os plasmas vermelho-escuro e vermelho-claro (Figura 2.36, Foto 2.16) revela uma transformação por deferruginização, ou seja, o plasma vermelho-claro, mais pobre em ferro, avança sobre o plasma vermelho-escuro, mais rico em ferro.

Observa-se, ainda, no topo da fácies bauxita mosqueada, a presença de nódulos amarelos-ouro (NAO), análogos aos descritos nas demais jazidas, associados, principalmente, a zonas de circulação preferencial.

d) Bauxita Vermelha

Bauxita maciça, homogênea, vermelha, porosa a vacuolar, apresentando poros com diâmetro em torno de 3 mm, forma irregular, atapetados por material de cor bege.

Microscopicamente, observa-se um plasma homogêneo de cor vermelha, apresentando manchas brancas, cujos contatos

Figura 2.35 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, jazida Serra do Batatal.

Figura 2.36 - Aspecto micromorfológico mostrando a diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, jazida Serra do Batatal.

permitem verificar tratar-se de zonas de deferruginização. Ao redor dos poros, observa-se uma coloração mais escura, vermelha-escura a negra, provavelmente causada por uma maior concentração de ferro nas regiões do plasma que circunda os poros ("quasicutans"), BREWER 1964). A parte interna dos poros se encontra preenchida, total ou parcialmente, por cristais de gibbsita.

O estudo micromorfológico desta unidade revela, ainda, a existência de, pelo menos, três gerações de plasmas aluminoferruginosos que se encontram preenchendo poros e fissuras, duas gerações de cristais de gibbsita, além da presença de nódulos amarelos-ouro (NAO). Tais observações permitem inferir que a unidade de topo da jazida de bauxita da Serra do Batatal sofreu uma superposição de processos que provocaram uma mobilização e uma redistribuição dos materiais constituintes, que, eventualmente, migraram para as partes mais baixas do perfil, contribuindo para o preenchimento de poros e fissuras.

Entretanto, a bauxita vermelha não pode ser considerada como uma unidade representativa da fácies de topo desta jazida, uma vez que não se encontra presente em toda a extensão do platô. Em vários lugares, ocorre uma couraça ferro-aluminosa maciça, mosqueada, heterogênea, muito dura, compacta, constituída por partes negras (30%), equivalentes às partes vermelhas-escuras da unidade bauxita mosqueada, igualmente envolvidas por uma auréola de cor mostarda, e partes vermelhas-escuras (70%), mescladas com zonas mostarda.

Microscopicamente, observa-se uma correlação de cores

entre os plasmas presentes e as partes descritas macroscopicamente. Entretanto, pode-se verificar que as partes vermelhas-escuras correspondem a uma mistura de nódulos reliquiais do plasma negro, envolvidos pelo plasma mostarda. Deste modo, podemos concluir que os plasmas mais claros se originam a partir do plasma negro, por deferruginização.

Cabe ressaltar que, enquanto a bauxita vermelha se encontra em discordância estrutural com as unidades sotopostas, na couraça ferro-aluminosa maciça mosqueada pode-se verificar que os diferentes tipos de plasmas guardam estreita correlação com aqueles definidos nos horizontes inferiores, podendo-se atestar as filiações existentes.

2.4.4.2 - Características químicas e mineralógicas das unidades

As características químicas e mineralógicas das unidades, descritas no perfil vertical relativo ao poço 16 da jazida de bauxita da Serra do Batatal, se encontram representadas na figura 2.37.

Observa-se que a passagem argila mosqueada/bauxita mosqueada é caracterizada pelo desaparecimento da sericita, um enriquecimento relativo de Al_2O_3 , acompanhado de um empobrecimento relativo de Fe_2O_3 e SiO_2 .

A análise mineralógica pontual, por difratometria de raios-x, dos volumes vermelho-escuro e vermelho-claro, presentes na unidade bauxita mosqueada, revelou a mesma paragénese mineralógica: gibbsita, hematita, goethita, quartzo e anatásio. Entretanto, a relação goethita/hematita é maior nas partes

vermelhas-claras, ou seja, as partes vermelhas-claras são mais ricas em goethita e as partes vermelhas-escuras mais ricas em hematita.

Finalmente, cabe ressaltar o baixo teor em quartzo, verificado nas diversas unidades, seja através dos difratogramas de raios-x, seja através do estudo das lâminas delgadas.

2.4.4.3 - Conclusões

Com relação ao estudo do perfil vertical, efetuado no poço 16 da Jazida do Batatal, podem-se efetuar as seguintes observações:

- O estudo micromorfológico das fácies revelou a existência de duas discordâncias estruturais, o contato filito isalterítico/argila mosqueada, na qual desaparecem as relíquias da estrutura (aloterita, CHATELIN 1974), e o contato bauxita mosqueada/bauxita vermelha.

- Deve-se ressaltar que as fácies argila mosqueada/bauxita mosqueada e couraça ferro-aluminosa mosqueada se encontram em continuidade estrutural, revelada através de filiações entre as partes constituintes. Além disto, a análise micromorfológica das unidades revela uma evolução deferruginizante da base para o topo, como último evento.

- Finalmente, pode-se verificar, através dos estudos realizados neste perfil, a inexistência de elementos que atestem uma filiação entre as unidades filito isalterítico e argila mosqueada.

2.5 - Considerações sobre a gênese dos depósitos

Neste tópico, procede-se uma discussão dos aspectos inerentes à gênese dos depósitos de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, tais como: protominério, morfogênese e idade dos depósitos.

2.5.1 - Protominério

A análise das contribuições dos diversos autores à cerca do(s) protominério(s) das jazidas de bauxita da região, relatadas no tópico 2.1 e, sumarizadas na tabela 2.2, revela uma controvérsia de opiniões, caracterizadas através das seguintes possibilidades: sedimentos (protominério transportado), filitos dolomíticos, filitos sericíticos, vulcânicas ácidas e ultramáficas (protominério "in situ").

Após os trabalhos de campo e de laboratório desenvolvidos neste estudo, pode-se acrescentar alguns dados e observações a respeito dessa controvérsia.

a) Sedimentos

De acordo com as cartas geológicas 1:25000 do Quadrilátero Ferrífero, as jazidas de Vargem dos Óculos, Farla e Macaquinho são as únicas localizadas sobre sedimentos, ou seja, constituem lateritas desenvolvidas a partir de sedimentos.

No caso da jazida de Vargem dos Óculos, POMERENE (1964) interpretou o protominério como sedimentos aluvionares, opinião ratificada por FLEISCHER & OLIVEIRA (1969), que sugeriram como

área-fonte dos sedimentos, rochas básicas e ultrabásicas Pré-Minas. Entretanto, Angélica F. Drummond C. Varajão (comunicação verbal), após efetuar trabalhos de detalhe na área da Jazida, concluiu que os depósitos de caulinita e bauxita são oriundos da remobilização de um perfil laterítico, desenvolvido nas vertentes adjacentes, a partir de filitos pertencentes à Formação Gandarela.

O protominério das Jazidas Faria e Macaquinho foi, inicialmente, sugerido como filitos e xistos do Grupo Piracicaba (STAARGARD 1963 a), posteriormente, verificou-se que estas jazidas se encontram assentadas sobre os sedimentos da formação Fonseca (MAXWELL 1972), Figura 2.38.

Os estudos micromorfológicos relativos à Jazida de Macaquinho, descritos anteriormente (Ítem 2.3.3), revelam que os teores de quartzo presentes nesta Jazida (1 a 5%), corroboram a interpretação de MAXWELL (1972) e diferenciam os depósitos de Faria e Macaquinho dos demais, que apresentam teores de quartzo inferiores a 1%.

b) Filitos

Apesar das inúmeras alusões a filitos, como protominério para as Jazidas de bauxita da região (Tabela 2.2), no presente trabalho, somente no depósito Morro da Arataca, foi possível constatar, de maneira clara, a transformação filito/bauxita. Este depósito foi, equivocadamente, interpretado como originário a partir de sedimentos (BÜCHI et al. 1982, Figura 2.3). Posteriormente, através de uma maior exposição do corpo de minério, pode-se verificar que o conglomerado, interpretado por estes autores como base do corpo de minério, se relaciona a um

Figura 2.38 - Mapa da bacia de Fonseca mostrando a extensão aproximada dos depósitos terciários fluviais e lacustrinos da Formação Fonseca, e a localização das jazidas Faria e Macaquinho (Conf. MAXWELL, 1972).

evento geológico mais recente, e ainda, pode-se constatar a passagem gradual do filito para o minério, observada tanto macro, quanto microscopicamente (Foto 2.17).

A presença de filitos, associados às fácies ferruginosas do Grupo Itabira, constitui, indubitavelmente, um dos maiores problemas com relação ao(s) protominério(s) das jazidas de bauxita da região. Conforme relatado anteriormente (Item 2.2.2), 75% dos depósitos se encontram associados à unidade litostratigráfica Grupo Itabira. Entretanto, na grande maioria dos casos, não foi possível verificar nos trabalhos de campo e mesmo, em alguns casos, através de furos de sonda, elementos que pudessem atestar a relação filitos Itabira/minério.

A hipótese da gênese dos depósitos de bauxita, a partir de filitos dolomíticos pertencentes ao Grupo Itabira (DORR 1969, MOORE 1969 e MAXWELL 1972), tem contra si o fato de que este provável protominério não foi encontrado fresco junto às ocorrências. Tal fato poderia ser explicado pela posição dos depósitos na paisagem, ou seja, na maioria dos casos, encontram-se localizados nas cristas aplainadas dos "hogbacks" constituídos pelo Grupo Itabira (Figura 2.39).

Segundo TEIXEIRA da COSTA (1961), os metassedimentos que constituem o Supergrupo Minas correspondem ao sistema deposicional da fase pré-orogênica do Geossinclinal homônimo. De acordo com DORR (1969) este sistema deposicional teria evoluído da seguinte forma: a Formação Moeda representa a transição de um ambiente parálico para um ambiente de plataforma estável; a Formação Batatal estaria relacionada a uma lenta subsidência da

bacia e a Formação Gandarela representaria um típico depósito "off-shore" em plataforma estável. Deste modo, os grandes depósitos de ferro da Formação Cauê teriam sido formados em um ambiente de plataforma rasa, assentados sobre ortoquartzitos (Formação Moeda) e associados a carbonatos (Formação Gandarela).

Analisando os ambientes de deposição do Supergrupo Minas, BARBOSA (1968) ressalta que, excluindo a Formação Sabará, as demais formações grupam-se aos pares, com passagens gradativas entre os membros de cada par, sendo bruscos os contatos entre pares consecutivos. Assim sendo, em termos de história geológica, seria correto referir-se a um tempo Caraça, ou Itabira, ou Cercadinho-Fecho do Funil, ou Barreiro-Tabões, como fases sucessivas e distintas da evolução geossinclinal.

MORAES (1985), ao analisar os metassedimentos do Supergrupo Minas, com base nas estruturas sedimentares preservadas, conclui que a Formação Gandarela representa um ambiente de inter a supra maré e que a Formação Cercadinho representa uma fase regressiva, caracterizada por leques deltáicos, interrompida pelos filitos dolomíticos Fecho do Funil. Deste modo, vê-se que as Formações Gandarela e Fecho do Funil correspondem a ambientes de deposição análogos, nos quais as contribuições de natureza clástica (pelitos) são normais, constituindo margas, protólito dos filitos dolomíticos, cuja ocorrência dentre as demais litologias constituintes do Grupo Itabira foi atestada por diversos autores (DORR et al. 1957; DORR et al. 1958, DORR 1969, MOORE 1969, GROSSI SAD & PIVA PINTO 1980 e VIEL et al 1987).

Neste sentido, vê-se, portanto, que o Grupo Itabira,

em termos de conceitos estratigráficos modernos, ou seja, baseados no ambiente deposicional, apresenta um grande potencial, uma vez que filitos dolomíticos, associados a itabiritos, ocupando uma posição de destaque na paisagem, podem ser facilmente laterizados, a ponto de propiciarem a formação de depósitos de bauxita.

Deve-se ressaltar que o fato de os filitos dolomíticos, protominério dos depósitos, não terem sido encontrados pode estar relacionado à freqüente interrupção na abertura dos poços de pesquisa, quando o horizonte argiloso, que normalmente se encontra sotoposto aos depósitos, é atingido.

As bauxitas do Quadrilátero Ferrífero apresentam teores médios de TiO_2 em torno de 2,3 % (item 2.2.5). Comparando-se este valor com os teores de TiO_2 de bauxitas associadas a diferentes protominérios (Tabela 2.9), ou seja, bauxitas derivadas de sedimentos (2 a 3%), de basaltos (3 a 4%), de rochas alcalinas (1,2%), de rochas ácidas (1 a 1,5%) e de rochas metamórficas de alto grau (1,5 a 2,5%), pode-se verificar que os teores de TiO_2 das jazidas de bauxita da região são compatíveis com os valores mundialmente conhecidos de jazidas, apresentando sedimentos como protominério. Entretanto, a questão, nestes termos permanece em aberto, uma vez que jazidas derivadas de metapelitos, filitos dolomíticos, por exemplo, certamente apresentariam os mesmos teores de TiO_2 .

Evidências de campo e laboratório, no entendimento do autor deste trabalho, corroboram a hipótese de metapelitos como protominério das jazidas de bauxita da região, pois, na maioria

das jazidas, minério e horizonte argiloso se encontram expostos, e não são encontrados quaisquer indícios de material sedimentar.

As jazidas de Faria e Macaquinho constituem exceção, uma vez que, dentre mais de quinhentos poços, abertos na Chapada do Ganga, inúmeros apresentam evidências de material sedimentar (STAARGARD 1963 a). O caráter excepcional destes depósitos foi confirmado através do estudo comparativo de quase uma centena de lâminas delgadas, onde pode-se verificar, conforme ilustrado no item anterior, que estes depósitos se diferenciam dos demais pelo teor de quartzo.

Em conclusão, face às evidências e argumentos apresentados neste trabalho, o autor opta por filitos, provavelmente filitos dolomíticos, como protominério das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, através de uma evolução "in situ", simples ou acompanhada de uma remobilização do minério em direção às partes mais baixas da vertente.

2.5.2 - Morfogênese e mineralização. A idade dos depósitos.

Considerando-se o modelo de evolução do relevo adotado neste trabalho (item 1.2.3), segundo o qual os diferentes níveis altimétricos sofreram os mesmos eventos ao longo do tempo geológico, e que suas posições relativas, na paisagem, obedecem a um rígido controle lito-estrutural, considerando-se que os depósitos de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, apresentam características semelhantes em termos de fácies estruturais (item 2.2.2), paragênese mineralógica (item 2.2.3) e feições micromorfológicas (item 2.4), pode-se supor que estes depósitos foram formados sob condições geológicas análogas, ou seja, pode-

se supor que sejam contemporâneos.

Conforme relatado na recapitulação dos trabalhos anteriores sobre a geomorfologia da região (Item 1.2.1) os diferentes autores, ao abordarem a questão da idade das superfícies de aplainamento e das couraças ferruginosas, sugeriram idades diferentes para níveis altimétricos distintos. Entretanto, analisando a questão do ponto de vista da evolução do relevo aqui proposta (Item 1.2.3) e:

- considerando que as formações superficiais, mais particularmente as couraças, apresentam características que sugerem uma mesma idade;

- considerando que as diferenças entre estes produtos se relacionam a diferentes rochas mãe, e não a diferentes períodos de formação, conforme sugerido por TRICART (1961);

- considerando-se que o couraçamento recobre tanto os sedimentos terciários Gandarela (TRICART 1961), como os da Formação Fonseca, onde se localizam as jazidas Faria e Macaquinho e considerando-se que estes sedimentos apresentam idade eocênica (LIMA & SALARD-CHEBOLDAEFF 1981), pode-se concluir que as bauxitas do Quadrilátero Ferrífero apresentariam uma idade máxima eocênica. Tal hipótese encontra suporte, ao se comparar a idade das bauxitas da região com os dados relativos aos demais depósitos de bauxita ("lateritic bauxites") do mundo, uma vez que, autores como VALETON (1972), VEIZER (1976), WOPPFNER & SCHWARZBACH (1976) e BÁRDOSY (1981) reconhecem que a maior parte destes depósitos se formou no Terciário.

Em conclusão, pode-se afirmar que as jazidas de bauxita

do Quadrilátero Ferrífero apresentam uma mesma idade e se encontram distribuídas em níveis altimétricos distintos, formados a partir de um controle lito-estrutural.

CAPÍTULO III

**"DISCRIMINAÇÃO DE DEPÓSITOS BAUXÍTICOS NA
COBERTURA LATERÍTICA DA SERRA DA ÁGUA LIMPA
(SINCLINAL DO GANDARELA), ATRAVÉS DE IMAGENS
DIGITAIS TM ("TEMATHIC MAPPER") DO LANDSAT 5.**

Os depósitos de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, conforme foi mostrado nos capítulos anteriores, normalmente ocorrem associados a couraças ferruginosas (canga) e a solos lateríticos, que constituem as formações superficiais das superfícies de aplainamento cimeiras da região, cujo substrato é formado pelas litologias do Grupo Itabira.

Nas superfícies cimeiras, o relevo plano ou suavemente ondulado, associado a uma vegetação de pequeno porte, característica dos campos rupestres, conferem a estes locais um enorme potencial, no que se refere ao processamento de imagens digitais.

As serras da Água Limpa e Gandarela (Figura 3.1, Foto 3.1) constituem um bom exemplo das características descritas acima e, por apresentarem afloramentos de duas pequenas jazidas e de algumas pequenas ocorrências de bauxita, foram escolhidas como áreas teste de um estudo, objetivando a separação das formações superficiais (canga, bauxita e solo), através da interpretação de imagens de satélite realçadas por processamento digital.

3.1 - Imagens de Satélite

As imagens de satélite são obtidas através de sistemas imageadores multiespectrais, que são definidos como sensores não fotográficos, capazes de operar na região óptica do espectro eletromagnético (0,2 a 1000 μm), onde é possível utilizar-se de técnicas ópticas de reflexão e refração, para detectar a radiação

refletida ou emitida da superfície dos objetos. Contudo, as interferências atmosféricas limitam a operação dos imageadores apenas a alguns intervalos espectrais ("janelas"), na porção do espectro eletromagnético, compreendida entre 0,3 e 22 μm , nas quais ocorre uma maior transparência da atmosfera, ou seja, maior transmissão da radiação (Figura 3.2). Mesmo assim esse intervalo espectral é bem mais amplo do que o utilizado pelos sensores fotográficos, 0,3 a 0,91 micrometros (SLATER 1980).

No processo de imageamento da superfície terrestre pelos sensores multiespectrais, a radiação refletida ou emitida dos objetos que integram um elemento de resolução da imagem no terreno ("pixel": "picture element"), incide no sensor sobre um conjunto de coletores, que exercem uma função similar às emulsões fotográficas. Em função da intensidade da radiação eletromagnética incidente nos detetores, é gerado um sinal elétrico correspondente, que é amplificado e convertido eletronicamente para transmissão às estações terrestres de recepção de dados de satélite. O sinal é, então, armazenado em uma fita magnética de alta densidade e, posteriormente, convertido para uma fita compatível aos computadores que efetuarão o processamento das imagens.

Nos computadores, o processamento de uma imagem tem a função de preparar a imagem, para facilitar a interpretação visual da cena, ou permitir a obtenção de mapas temáticos através de classificações automáticas. Primeiramente, efetuam-se os denominados processamentos básicos, objetivando a correção de defeitos relacionados a eventuais problemas de funcionamento do

Figura 3.2 - Regiões espectrais utilizadas pelos diferentes sistemas de sensoriamento remoto (Mod. GARCIA, 1982)

sensor (correção radiométrica) e ao espalhamento atmosférico (correção atmosférica). Estas correções são importantes, uma vez que, se não efetuadas, os defeitos serão enfatizados, quando da aplicação das técnicas de realce, a ponto de se tornarem obscuros os dados de interesse (CONDIT & CHAVES Jr. 1979).

3.2 - Técnicas de realce

Os processamentos de imagens digitais que envolvem as técnicas de realce objetivam, essencialmente, destacar a informação espectral dos objetos, visando obter uma melhoria na qualidade visual das imagens originais. Desta técnica resultam imagens, de maior contraste espectral, possibilitando uma maior facilidade na identificação e discriminação visual dos diferentes objetos que compõem a cena.

Dentre as técnicas de realce, as mais comumente utilizadas nos trabalhos com enfoque geológico e que foram aplicadas no presente trabalho são: ampliação de contraste, composição colorida, divisão de canais e componentes principais (TARAMIK 1977).

3.2.1 - Ampliação de contraste ("contrast stretch")

Os sensores dos satélites Landsat foram concebidos, para registrarem respostas da radiação proveniente dos objetos, em um amplo intervalo de variação de níveis digitais (0 a 255), correspondentes a uma variação de tons de cinza na imagem. Ocorre que a radiação dos objetos, ou seus respectivos tons de cinza, ou valores digitais, ocupam apenas uma parcela desse intervalo, normalmente em torno de 60 níveis.

A técnica de realce de ampliação de contraste consiste em aplicar a cada banda original uma transformação matemática que expanda o intervalo original da cena para toda a escala de cinza disponível. A mais simples destas transformações é o contraste linear ("linear stretch"), que consiste em uma redistribuição dos níveis de cinza ou valores digitais, para os 256 níveis possíveis, entre o preto, nível zero e o branco, nível 255. Nesta transformação, são escolhidos os extremos que limitam o intervalo original de níveis de cinza, fazendo com que o limite mínimo passe a ser o nível zero, e o limite máximo, o nível 255. Deste modo, os valores intermediários são distribuídos proporcionalmente entre os dois extremos, obtendo-se uma imagem, cujo contraste é significativamente maior.

3.2.2 - Composição colorida

Nos processamentos automáticos de imagem, dotados de monitores de TV colorida, como o I-100 (GE-Image-100) ou o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens), utilizados pelo INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), pode-se obter composições coloridas de imagens multiespectrais, a partir da combinação de três bandas quaisquer, previamente realçadas por ampliação linear de contraste.

A cada uma das três bandas previamente seleccionadas é associada, de forma aleatória, uma das três cores primárias do tubo de TV colorida (azul, verde, vermelho), através de potenciômetros de cores existentes no painel do processador. No vídeo da TV, as informações contidas nas três bandas seleccionadas

são agrupadas em uma única imagem colorida, através de um processo aditivo de cores, de tal forma que as variações nas respostas espectrais dos diferentes objetos presentes na cena serão mostradas por diferentes cores na imagem resultante da composição colorida.

Esta técnica, além do realçamento inerente a uma imagem colorida, apresenta a vantagem de permitir uma redução na dimensão dos dados, ou seja, o conteúdo informativo de três bandas é reunido, sem qualquer perda, em uma única imagem.

3.2.3 - Divisão de bandas ("band-rationing")

Esta técnica de realce consiste na divisão entre valores digitais de duas bandas, "pixel" por "pixel". As imagens "ratio" são importantes em geologia, porque permitem acentuar sutis diferenças espectrais entre duas bandas, referentes a diferentes litologias presentes nas cenas; diferenças estas, imperceptíveis na interpretação visual das bandas originais.

A restrição que esta técnica envolve é a perda das características espaciais da cena, pela eliminação da influência da variação dos diferentes ângulos de iluminação de um mesmo objeto, ou sombreamento provocado pelas variações de relevo. Ocorre que, com a divisão das bandas, alvos similares, exibindo valores digitais diferentes, por problemas de sombreamento ou topografia, passam a ter níveis de cinza ou valores digitais muito próximos, diminuindo, em primeira aproximação, as diferenças devidas a efeitos topográficos.

Trata-se, também, de uma técnica que permite uma redução na dimensão dos dados, principalmente, considerando-se a

possibilidade de se combinar, a partir de seis bandas, três imagens "ratio" (por exemplo: 3/4, 2/1, 5/7), em uma única imagem do tipo composição colorida.

3.2.4 - Componentes principais

Os dados de imagens multiespectrais podem apresentar uma redundância de informação entre algumas bandas. O conteúdo de informação de cada banda pode ser representada, graficamente, através de um sistema de eixos ortogonais correspondentes às bandas consideradas. Esta técnica consiste em efetuar uma transformação linear dos dados originais, através de uma rotação e translação no espaço, dos eixos correspondentes a quatro bandas consideradas.

O novo sistema de eixos, ou seja, as componentes principais, tende a concentrar a informação total das bandas originais, de tal maneira a eliminar a redundância que havia entre elas. Os novos eixos são computados, de tal modo que o primeiro eixo, ou componente principal, contenha a maior percentagem da informação total, seguido pelas demais componentes principais, as quais terão, sucessivamente, menores quantidades de informação. Qualquer que seja o número de bandas transformadas por esta técnica, ocorrerá que, no mínimo 98% da informação total original, estará contida nas três primeiras componentes, que podem ser reunidas em uma única imagem do tipo composição colorida.

O realce por componentes principais se baseia, portanto, no conteúdo total da cena, e não nas propriedades de

tipos litológicos individuais, como se pode fazer nas imagens tipo "ratio" (MENESES 1986). Analogamente às técnicas descritas anteriormente, as componentes principais permitem uma redução na dimensão dos dados.

3.3 - O Imageador multiespectral TM ("Thematic Mapper")

O sensor TM foi incorporado ao programa Landsat (Landsat 4 e 5) com o objetivo de substituir paulatinamente o sensor MSS, integrante de todos os satélites da série. Apresenta alterações no sentido de atender mais especificamente às diferentes áreas de aplicações: geologia, hidrogeologia, pedologia, meio ambiente, etc.; uma vez que o sensor MSS apresenta uma seleção de bandas mais favorável à agricultura que às aplicações geológicas. Assim sendo, o sensor TM apresenta uma nova seleção de bandas, com uma melhor resolução espacial e espectral, inclusive com bandas especificamente destinadas às aplicações geológicas. A tabela 3.1 contém as principais especificações que permitem comparar os sensores TM e MSS.

3.4 - Características da área estudada

Dentre as áreas potencialmente favoráveis ao desenvolvimento do estudo proposto, a área escolhida corresponde ao topo aplainado da crista da Serra da Água Limpa, Sinclinal do Gandarela (Foto 3.1, Figura 3.1). Trata-se de uma superfície de aplainamento, apresentando ligeira ondulação, que se encontra truncando as litologias do Grupo Itabira, cujas atitudes oscilam em torno de N30W/45 NE (O' ROURKE 1957). A vegetação, à exceção de duas pequenas matas, é predominantemente de pequeno porte,

Tabela 3.1 - Comparações de certas especificações técnicas entre os sensores MSS e TM do Landsat 5 *

Parâmetros do Sensor	Cobertura Espectral (μm)	
	TM	MSS
Banda 1	0,45 - 0,52 azul	0,5 - 0,6 verde 0,6 - 0,7 verm. 0,7 - 0,8 infv. 0,8 - 1,1 infv.
Banda 2	0,52 - 0,60 verde	
Banda 3	0,63 - 0,69 verm.	
Banda 4	0,76 - 0,90 infv.	
Banda 5	1,55 - 1,75 infv.	
Banda 6	10,4 - 12,5 termal	
Banda 7	2,08 - 2,35 infv.	
Resolução espacial	30 m bandas 1 a 7; 120 m banda 6	82 m
Nível de quantização	256 níveis de cinza	64 níveis de cinza
Largura da faixa imageada	185 km	185 km

* Modificado de MENESES (1986)

destacando-se a presença de gramíneas e velosláceas (canela de ema). Tal fato confere à área uma excepcional potencialidade para fins de aplicação de imagens digitais, uma vez que, minimizada a influência da vegetação, a radiação medida pelo sensor se relaciona, preponderantemente, com as formações superficiais.

O mapa da figura 3.3a apresenta o produto de uma cartografia expedita das formações superficiais identificadas na área: couraça ferruginosa (canga), couraça aluminosa (bauxita) e solo, cujas composições química e mineralógica se encontram na tabela 3.2.

A unidade couraça ferruginosa (Fotos 3.2 e 3.3), na maior parte das ocorrências, é representada por uma couraça isalterítica, ou seja, mantém conservada a estrutura (xistosidade) da rocha mãe (itabirito), que, regionalmente, recebe a denominação de canga estruturada. Apresenta hematita e goethita como principais constituintes mineralógicos e, aproximadamente, 90% de Fe_2O_3 em sua composição química.

A unidade couraça aluminosa, se constitui de uma bauxita ferruginosa (Al_2O_3 -43%; Fe_2O_3 -25% e SiO_2 -1,5%), contendo gibbsita e goethita como principais constituintes mineralógicos. Superficialmente, ocorre na forma de corpos contínuos (Fotos 3.4 e 3.5), que podem atingir até 150 m de diâmetro, ou ainda, na forma de blocos esparsos na unidade solo (Fotos 3.6 e 3.7).

A unidade solo engloba produtos superficiais inconsolidados, contendo pequenos nódulos de bauxita e/ou canga (Fotos 3.8, 3.9 e 3.10). As amostras analisadas revelaram uma composição química semelhante (Al_2O_3 -30%, Fe_2O_3 -30% e SiO_2 -10%) e

Figura 3.3 - Mapa geológico das formações superficiais presentes na área da Serra da Água Limpa (A); interpretação de fotografias aéreas (B); interpretação de imagens TM realçadas: Divisão de canais (C) e componentes principais (D)

Tabela 3.2 - Composição Química e Mineralógica das Formações Superficiais da Serra da Água Limpa

Material	Amostra*	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Composição Mineralógica
Bauxita	1	43,1	2,1	25,0	Gibbsita, hematita, goethita (quartzito)
	2	42,5	0,8	26,6	
	5	45,6	1,4	20,4	
Solo	1	28,0	11,0	28,3	Gibbsita, quartzito, goethita, hematita
	4	30,8	10,8	24,9	
	6	34,1	8,5	24,7	
Canga	3	1,5	0,8	93,7	Hematita, goethita (quartzito, gibbsita)
	7	3,5	1,6	89,5	

* Vide mapa de pontos na figura 3.3

uma composição mineralógica na qual gibbsita, goethita e quartzo formam os principais constituintes.

A análise comparativa das características químicas e mineralógicas das três unidades (Tabela 3.2), permite distinguir umas das outras. Quimicamente, a couraça ferruginosa apresenta um alto teor de Fe_2O_3 (90%) e baixos teores de Al_2O_3 (3%) e SiO_2 (< 1%). A couraça aluminosa apresenta um elevado teor de Al_2O_3 (43%), e valores intermediários de Fe_2O_3 (25%) e baixos teores de SiO_2 (1.5). O solo apresenta valores intermediários de Al_2O_3 e Fe_2O_3 (30%), e altos teores de SiO_2 (10%). Mineralogicamente, a hematita aparece com importância na couraça ferruginosa e, secundariamente, na couraça aluminosa e no solo. Gibbsita e goethita formam os principais constituintes da couraça aluminosa e do solo, e o quartzo apresenta relativa importância apenas na unidade solo.

3.5 - Processamento de Imagens TM

A utilização de técnicas de realce sobre imagens Landsat-MSS do Quadrilátero Ferrífero foi efetuada, pela primeira vez, por RICCOMINI (1983), objetivando uma reavaliação de caráter regional (esc. 1:300.000) dos dados geológicos. O presente trabalho, além da utilização de imagens Landsat-TM, caracteriza-se por apresentar um estudo de semi-detelhe das formações superficiais.

Considerando-se que as imagens Landsat-TM constituem produtos relativamente recentes, o que justifica, inclusive, a inexistência de trabalhos anteriores com o enfoque abordado neste trabalho, foi necessário durante o tratamento das imagens efetuar

para cada técnica de processamento (composição colorida, divisão de canais e componentes principais), diferentes combinações entre as bandas TM 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Assim sendo, dentre as 23 imagens realçadas obtidas, através destes processamentos, foram escolhidas aquelas que permitiram uma maior separabilidade das formações superficiais através de uma interpretação visual.

3.6 - Avaliação das interpretações das imagens TM realçadas em comparação com os dados de campo e interpretação de fotografias aéreas

Na interpretação das fotografias aéreas (Figura 3.3b, Foto 3.11), pode-se discriminar, apenas, algumas manchas de couraça ferruginosa do solo. Na composição colorida das imagens "ratio" (1/4, 3/5, 4/5), figura 3.3c, foto 3.12, os contatos da couraça ferruginosa são mais contínuos, apresentando uma melhor correspondência com os dados de campo (Figura 3.3a). Entretanto, ambos os produtos não permitem a discriminação entre a couraça aluminosa e o solo.

A composição colorida das componentes principais das bandas 2, 4, 5 e 7 (Figura 3.3d, Foto 3.13), apresenta em relação aos produtos anteriores, uma melhor correlação com os dados de campo (Figura 3.3a), uma vez que permite a discriminação das três unidades mapeadas. Entretanto, cabe ressaltar que, nesta imagem, as áreas bauxíticas ocupam sempre uma área maior que as respectivas ocorrências verificadas no campo. Tal fato pode ser explicado pela presença importante de fragmentos bauxíticos (blocos e nódulos) no solo adjacente às áreas de couraça

aluminosa (Fotos 3.6 e 3.8).

Conforme mostrado no capítulo anterior, durante a evolução de um perfil couraçado, através de mecanismos de diferenciação geoquímica, ocorrem transformações da base para o topo e, sobretudo lateralmente, de fácies menos evoluídas em fácies mais evoluídas (que sofreram um maior número de transformações). No Quadrilátero Ferrífero, as jazidas apresentam, comumente, um horizonte nodular superficial, oriundo de transformações a partir de uma fácies de minério compacto.

Considerando-se que, com aplicação de técnicas de realce de imagens Landsat-TM, foi possível discriminar ocorrências bauxíticas, ainda que representadas por fácies mais evoluídas (horizonte nodular), pode-se afirmar que o processamento de imagens digitais Landsat-TM constitui importante técnica de prospecção mineral de jazidas de bauxita da região, sobretudo na medida em que, além da rapidez e eficácia, apresenta custos operacionais inferiores aos dos levantamentos convencionais.

As imagens do tipo composição colorida das bandas TM originais (457 e 257) não permitiram a separação das unidades, pois um mesmo alvo apresentava diferentes respostas espectrais ao longo da área estudada, não sendo possível, portanto, estabelecer qualquer correlação com os dados de campo.

3.7 - Conclusões

As composições coloridas das imagens "ratio" apresentam excelentes resultados, no que se refere à discriminação das couraças ferruginosas, enquanto que as composições coloridas das

imagens componentes principais, além de repetir o desempenho apresentado pelas imagens "ratio", mostram-se, também, eficientes na delimitação das áreas favoráveis à prospecção de depósitos bauxíticos.

O estudo das filiações entre fácies de formações couraçadas permitiu a compreensão da importância e do significado das formações superficiais discriminadas, na interpretação das imagens de satélite.

SUMÁRIO DAS CONCLUSÕES

A análise morfométrica do Quadrilátero Ferrífero revelou a existência de uma estreita relação de dependência entre variações de níveis altimétricos e variações lito-estruturais, de maneira que a correlação entre níveis altimétricos e superfícies de aplainamento é imprópria.

A evolução do modelado se deu sob condições de estabilidade tectônica, o que propiciou a suavização do relevo, respeitando e evidenciando as variações lito-estruturais, culminando com a formação de níveis altimétricos.

Assim sendo, face à importância das variações lito-estruturais, pode-se argumentar a inexistência de superfícies de aplainamento, e que os vários níveis altimétricos se relacionam à erosão diferencial, e não a ciclos erosivos.

Topograficamente, as jazidas se encontram distribuídas entre 850 e 1850 m, sendo que as altitudes 1500(4), 1400(4), 1300(3), 1200(3) e 900(6) contêm a maioria (20) dos vinte e quatro depósitos.

Morfologicamente, as jazidas encontram-se associadas a três unidades, a saber: vertente (15), depressão (2) e platô (7).

Com relação às fácies estruturais presentes no minério das diferentes jazidas, pode-se adotar um perfil esquemático representativo das mesmas: a) na base dos depósitos, tem-se uma fácies bauxítica maciça, ou em estado inicial de degradação, representado pela fácies pseudo-brechóide; b) na parte intermediária, tem-se a fácies nodular, acompanhada ou substituída, no topo, por uma fácies ferro-aluminosa; e c) no

topo dos perfis, a unidade mais comum é a fácies solo, contendo nódulos de bauxita.

Quanto à composição mineralógica, as jazidas da região apresentam gibbsita, goethita, hematita, quartzo e anatásio como principais minerais constituintes.

Com relação à composição química, as jazidas de bauxita da região apresentam teores semelhantes para os constituintes principais, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , respectivamente 45.4, 25.4, 2.3, 1.3%.

As análises dos constituintes secundários: MnO , Cr , Ni , K_2O , CaO , MgO , BaO , Sr , Ga e V , revelou um comportamento anômalo destes elementos, que, contrariamente aos constituintes principais, não guardam relação com as fácies estruturais descritas.

Com base no padrão de distribuição das jazidas num diagrama triangular ($Fe_2O_3 - Al_2O_3 - SiO_2$), foi elaborada uma classificação dos depósitos e verificou-se que esta apresentava estreita correlação com as unidades morfológicas descritas. Nestes termos, quatro depósitos-tipo foram escolhidos para um estudo de detalhe: Morro do Fraga (vertente), Dama 9 - Morro do Fraga (depressão), Macaquinho e Batatal (platô).

Quanto aos prováveis protominérios, pode-se concluir que a maioria dos depósitos (18/24), associados ao grupo Itabira, teriam evoluído a partir de filitos dolomíticos, considerando-se a falta de evidências de campo que pudessem atestar uma gênese, a partir de um protominério sedimentar.

O teor de quartzo verificado nas jazidas Farla e Macaquinho

(1 a 5%), além de reiterar a natureza sedimentar do protominério destas jazidas, corrobora com a proposição anterior (fillitos dolomíticos), uma vez que as demais jazidas apresentam teores em quartzo inferiores a 1%.

Por sua vez, os teores em TiO_2 não contribuem para a solução do problema, pois, apesar dos valores encontrados (2,3%) serem compatíveis com bauxitas derivadas de pelitos, obviamente poderia tratar-se de metapelitos.

Quanto à idade dos depósitos, a partir de conhecimentos anteriores relativos à idade dos sedimentos Gandarela e Fonseca, e, considerando-se o modelo de evolução do relevo adotado neste trabalho, bem como o fato de que as jazidas apresentam características estruturais, químicas, mineralógicas e micromorfológicas semelhantes, pode-se concluir que estas são contemporâneas e apresentam uma idade máxima eocênica.

A prospecção de jazidas de bauxita por sensoriamento remoto, sensor TM (Thematic Mapper - Landsat 5), através da interpretação de imagens digitais realçadas, revelou uma técnica eficaz a partir da qual foi possível discriminar as formações superficiais (bauxita, canga, solo), além de ressaltar a importância, para tal, do conhecimento da evolução das fácies do minério, no sentido de permitir uma interpretação adequada das imagens.

FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1 - Vista parcial da Jazida Morro do Fraga, ao fundo, flanco sul da Serra do Caraça.

Fotografia 2.2 - Fotomicrografia mostrando o contato entre os plasmás vermelho escuro e vermelho claro, fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga.
Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.3 - Aspecto macroscópico do topo da fácies bauxita maciça, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.4 - Fotomicrografia da fácies bauxita friável, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.5 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginação dos diferentes tipos de plasma, fácies maciça Al-Fe, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.6 - Fotomicrografia mostrando aspectos da corrosão em torno de um grão de quartzo, fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 0,1 mm.

Fotografia 2.7 - Fotomicrografia mostrando as relações entre os plasmas constituintes da fácies bauxita maciça, mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.8 - Fotomicrografia mostrando o enriquecimento em ferro dos plasmas, no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.9 - Fotomicrografia mostrando aspectos de deferruginização no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.10 - Fotomicrografia mostrando zonas de ferruginização no topo da fácies bauxita maciça mosqueada, perfil vertical dama 9, Jazida Morro do Fraga. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.11 - Vista parcial da jazida de bauxita Macaquinho.

Ao fundo, vista parcial do flanco leste da Serra do Garça.

Fotografia 2.12 - Fotomicrografia mostrando aspectos da fácies pseudobrechóide-friável, Jazida Macaquinho.
Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.13 - Fotomicrografia mostrando a diferenciação dos plasmas amarelos por deferruginização e uma ferruginização recente associada aos vazios. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.14 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação dos plasmas constituintes da fácies argila mosqueada, Jazida Serra do Batatal. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.15 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.16 - Fotomicrografia mostrando aspectos da diferenciação por deferruginização dos plasmas constituintes da fácies bauxita mosqueada, Jazida Serra do Batatal. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 2.17 - Fotomicrografia mostrando aspestos da transformação de filito em bauxita, Jazida Morro da Arataca. Escala: 1 cm = 2 mm.

Fotografia 3.1 - Vista aérea das serras da Água Limpa e Gandarela (cortesia MBR)

Fotografia 3.2 - Aspecto de um afloramento de couraça ferruginosa na Serra da Água Limpa.

Fotografia 3.3 - Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior.

Fotografia 3.4 - Aspecto de um afloramento de bauxita na Serra da Água Limpa.

Fotografia 3.5 - Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior.

Fotografia 3.6 - Aspecto de um afloramento de um solo rico em nódulos de bauxita e contendo blocos esparsos de bauxita, Serra da Água Limpa.

Fotografia 3.7 - Detalhe do afloramento da foto 3.6, mostrando aspectos do bloco de bauxita.

Fotografia 3.8 - Detalhe do afloramento da foto 3.6 mostrando aspectos dos nódulos de bauxita.

Fotografia 3.9 - Aspecto de um afloramento de solo, constituído por nódulos de bauxita e canga.

Fotografia 3.10 - Detalhe do afloramento mostrado na foto anterior.

Fotografia 3.11 - Parte de uma fotografia aérea preto e branco (escala 1:25 000), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela.

Fotografia 3.12 - Imagem "ratio" ($1/4$ R, $3/5$ G, $4/5$ B), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela. Escala aprox. 1: 32 000.

Fotografia 3.13 - Imagem componentes principais (2457), abrangendo as serras da Água Limpa e Gandarela.

BIBLIOGRAFIA

- AB SÁBER, A.N. - 1954 - As altas superfícies de aplainamento do Brasil sudeste. *Rev. das Fac. Campineiras*, 1 (4): 60-67.
- ALEVA, G.J.J. - 1981 - Essential differences between the bauxite deposits along the southern and northern edges of the Guiana Shield, South America. *Eon. Geol.*, 78: 1142-1152
- ALMEIDA, F.F.M. - 1951 - A propósito dos "Relêvos policíclicos na tectônica do escudo brasileiro". *Bol. Paul. Geogr.*, 9: 3-18.
- ALMEIDA, F.F.M. - 1976 - Estruturas do Precambriano inferior brasileiro. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto, 1976. *Resumo das Publicações*. Ouro Preto, SBG, p. 201-202.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. - 1966 - Potassium-argon dates of basaltic rocks of southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 30 (1): 159-189.
- ANHAEUSSER, C.R. - 1982 - Archean greenstone terranes: geologic evolution and metalogenesis. *Rev. Bras. Geol.*, 12 (1-3): 1-6.
- BARBOSA, A.L.M. - 1980 - Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. In: CONFERÊNCIA PROFERIDA NA SBG-NÚCLEO M.G., Belo Horizonte, 1968. Ouro Preto, UFOP, 23p.
- BARBOSA, G.V. - 1960 - O Manto de alteração no sudoeste do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte. FFCL-UFMG, *Issa de Livre Docência*, 155 p. (Inédito)

BARBOSA, G.V. - 1966 - O significado da estrutura geológica para o mapeamento de Minas Gerais. *Bol. Mineiro de Geografia*, 12: 37-58.

BARBOSA, G.V. - 1980 - Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geogr.*, 10 (1): 89-101.

BARBOSA, G.V. & RODRIGUES, D.M.S. - 1964 - Apresentação e guia de excursão ao Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte, *EEGL UEMG*, 64 p.

BARBOSA, G.V. & RODRIGUES, D.M.S. - 1965 - O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Bol. Min. Geogr.* 10 - 11: 3-35.

BARBOSA, G.V. & RODRIGUES, D.M.S. - 1967 - Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte, *IG UEMG*, 130 p.

BARBOSA, G. - 1965 - Quadro provisório de superfície de erosão e aplainamento no Brasil. *Rev. Bras. Geogr.*, 27 (4): 105-106.

BARDOSSEY, G. - 1981 - Paleoenvironments of laterites and lateritic bauxites. Effect of global tectonism on bauxite formation. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITISATION PROCESSES, 1, Trivandrum, 1981. *Proceedings ... Trivandrum, IWGLP/IAGC*, p. 287-294

BERRY, E.W. - 1935 - Tertiary plants from Brazil. *Proc. Am. Phil. Soc.* 75 (7): 565-590.

BERRY, L.G. - 1974 - Selected powder diffraction data for minerals. Swarthmore, Joint Committee on Powder Diffractions

Standards, 833 p.

BIGARELLA, J.J. - 1975 - The Barreiras Group in northeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 47 (Suplemento): p.365-393.

BIGARELLA, J.J. & AB SÁBER, A.N. - 1964 - Paläogeographische und paläoklimatische aspekte des Känozoikums in südbrasilien. *Z. Geomorph.* 8 (3): 286-312.

BIGARELLA, J.J. & BECKER, R. - 1975 - Topics for discussion. *Bull. Paran. Geol.*, 33: 170-276.

BOCQUIER, G.; MULLER, J.P.; BOULANGÉ, B. - 1984 - Les laterites. Connaissances et perspectives actuelles sur les mecanismes de leur diferenciation. In: AFES ed. *Livre Jubilaire du Cinquantenaire*, Paris, AFES. p. 123-138.

BOULANGÉ, B. - 1983 - Les formatins bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire: les facies, leur transformation, leur distribution et l'evolution du modelé. Paris, Univ. Paris, *Thèse de Doctorat. Trav. Doc. ORSTOM*, 1984, 175: 363 p.

BOULET, R. - 1974 - Toposéquences des sols tropicaux en Haute-Volta. Équilibres dynamiques et bioclimat. Strasbourg, Univ. Louis Pasteur, *Thèse de Doctorat. ORSTOM*, 1978, 272 p. (Mém. 85).

BRAJNIKOV, B. - 1947 - Essai sur la tectonique de la région a l'est de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brésil. *Bull. Soc. Géol. France* 27 (5): 321-335.

- BRAUN, O.P.G. - 1971 - Contribuição a geomorfologia do Brasil central. *Rev. Bras. Geogr.* 32 (3): 3-39.
- BREWER, R. - 1964 - *Fabric and mineral of soils*. New York, John Wiley and Sons. 470 p.
- BROWN, G. - 1961 - *The x-ray identification and crystal structures of clay minerals*. London, Mineralogical Society. 544 p.
- BÜCHI, J. - 1959 - *Relatório de pesquisa da jazida de bauxita Fazendão*. Samitri-Mineração Trindade S.A., Ouro Preto, 12 p. (Relatório Interno)
- BÜCHI, J. & MENEZES, M.G. - 1982 - *Relatório de pesquisa da jazida de bauxita Serra do Batatal*. Samitri-Mineração Trindade S.A., Ouro Preto, 34 p. (Relatório Interno)
- BÜCHI, J.; PENIDO, L. & MELO, M.T. - 1982 - Visit to Fazenda da Alegria and Conta História Mines. In: INT. SEM. LATERIZATION PROCESSES, II, São Paulo, 1982, Excursion Guide ... São Paulo, IWGLP/IAGC, p. 39-48 (Excursion II - Quadrilátero Ferrífero)
- CABRAL, A.F. - 1969 - *Relatório de pesquisa da jazida de bauxita Dols Irmãos*. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 79 p. (Relatório Interno)
- CHATELIN, Y. - 1974 - Les sols ferrallitiques. In: ORSTOM. *L'altération*. Paris, ORSTOM. 145 p. (Tome III)

- CHRISTOFOLETTI, A. & TAVARES, A.C. - 1976 - Relação entre declividade de vertentes e litologia na área do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Not. Geomorfol.*, 16 (32): 55-70.
- CLARK, J.I. - Morphometry from maps. In: DURY, G.H. ed. *Essays in geomorphology*, New York, American Elsevier Publ. Co. Inc., p. 235-274.
- CONDIT, C.D. & CHAVES Jr, P.S. - 1979 - Basic concepts of computadorized digital image processing for geologists. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1142: 16 p.
- DE MARTONE, E. - 1943a - Problemas geomorfológicos do Brasil atlântico. Primeiro Artigo. *Rev. Bras. Geogr.* 5 (4): 3-30.
- DE MARTONE, E. - 1943b - Problemas morfológicos do Brasil atlântico. Segundo Artigo. *Rev. Bras. Geogr.* 6 (2): 3-26.
- DENNER, W.H. & NORTON, H.A. - 1977 -Geology and geochemistry of bauxite deposits in lower Amazon Basin. *Econ. Geol.*, 72 (1): 82-89.
- DOLIANITI, E. - 1949 - Contribuição à flora pliocênica de Fonseca, Minas Gerais. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 21 (3): 239-244.
- DOLIANITI, E. - 1950 - Contribuição à flora pliocênica de Fonseca, Minas Gerais. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 22 (3): 303-306.
- DORR, J.V.N. 2d. - 1958 - The Gandarela Formation. *Bol. Soc. Bras.*

Geol., 7 (2): 63-64.

DORR, J.V.N.2d - 1969 - Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Washington, GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 110 p. (641-A)

DORR, J.V.N.2d & BARBOSA, A.L.M. - 1963 - Geology and ore deposits of the Itabira District. Washington, U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 109 p. (341-c)

DORR, J.V.N.2d; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B. and RYNEARSON, G.A.- 1957 - Revisão da estratigrafia precambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM. 31 p. (avulso nº 81).

DUARTE, L. - 1956 - Melastomataceae fósseis da bacia terciária de Fonseca, Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 30 p. (Bol. 161).

DUARTE, L. - 1958 - Annonaceae fósseis da bacia terciária de Fonseca, Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 33 p. (Bol. 178).

DUARTE, L. - 1974 - Sobre uma flor de Bonbacaceae da bacia terciária de Fonseca, MG. An. Acad. Bras. Ciênc. 46 (3-4): 407-411.

DUARTE, L. & MELLO FILHA, M.C. - 1980 - Flórmula cenozóica de Gandarela, MG. An. Acad. Bras. Ciênc. 52 (1): 77-91.

ERHART, H. - 1967 - La genèse des sols en tant que phénomène

Géologique. Biostasie et Rhesiasie. Paris, Masson et Cie.
Editeurs. 177 p.

- FERREIRA, C.M. - 1983 - Vulcanismo ácido no Quadrilátero Ferrífero e sua relação com algumas ocorrências minerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte, 1983. Anais ... Belo Horizonte, SBG - NÚCLEO MG, Bol. 3, p. 128-133.
- FLEISCHER, R. & OLIVEIRA, V.P. - 1969 - Bauxitas do Quadrilátero Ferrífero. Min. Mat., 50 (295): 25-32.
- FLEISCHER, R.; PADILHA, A.V.; CABRAL, C.; SOARES, F.; COELHO, J.; RAGGI, J.; ARAUJO, O.A. & OLIVEIRA, V.P. - 1968 - Mapa dos depósitos metálicos do Quadrilátero Ferrífero. REM Rev. Escola de Minas de Ouro Preto, 26 (4): 179-181.
- FOGAÇA, A.C.C.- 1985 - Serra do Espinhaço Meridional: geologia dos terrenos arqueanos e proterozóicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, Belo Horizonte, 1985. Anais... Belo Horizonte, SBG-NÚCLEO MG. Bol. 5, p.377-383.
- FREITAS, R.O. - 1951 - Relêvos polícíclicos na tectônica do Escudo Brasileiro. Bol. Paulista Geogr. 7: 3-19.
- GAIR, J.E.- 1958 - The Sabará Formation. Bol. Soc. Bras. Geol. 7 (2): 68-69.
- GAIR, J.E.- 1962 - Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington, U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 65 P. (341-A)

GARCIA, G.J. - 1982 - *Sensarlamenia Ramina*, São Paulo, Nobel. 357 p.

GLÖCKNER, K.H. - 1981 - Lithostratigraphie, Sedimentologie, Tektonik und Metamorphose der proterozoischen Itacolomi-Serie bei Ouro Preto, Minas Gerais, Brasilien. Clausthal-Zellerfeld. Technische Universität Clausthal, 219 p. (Clausthaler Geowiss. Diss., 10).

GOMES, N.S. - 1986 - Determinações geotermométricas e geobarométricas em paragêneses minerais de alto grau metamórfico no Complexo do Bação, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. Anais ... Goiânia, SBG. Vol. 4, P. 1424 - 1433.

GORCEIX, H. - 1876 - Note sur la roche connue vulgairement au Brésil sous le nom de Canga et sur le bassin d'eau douce de Fonseca (Province de Minas Geraes). Bull. Soc. Géol. France, 3 (4): 321-323.

GORCEIX, H. - 1884 - Bacia terciária de água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Gerais, Brasil. An. Escola de Minas, 3: 75-92.

GROKE, M.C.T. - 1981 - Evolução geoquímica, mineralógica e micromorfológica no processo de bauxitização. Estudo comparativo dos depósitos de Mogi das Cruzes, Curucutu, Lavrinhas, SP, associados a diferentes tipos litológicos. São Paulo, IG-USP, Tese de Mestrado. 106p. (Inédito).

- GROSSI, A.W.R. - 1966 - Relatório de pesquisa da jazida de bauxita do Morro do Cruzeiro. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., 136 p.(Relatório Interno)
- GROSSI SAD, J.H. & PIVA PINTO, C. - 1980 - Geologia estratigráfica e estrutural da Mina do Germano, Mariana, M.G. GEOSOL, Belo Horizonte, 26p. (relatório Interno).
- GROSSI, A.W.R. - 1984 - Relatório de pesquisa da jazida de bauxita do Monjolo. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 116 p.(Relatório Interno)
- GRUBB, P.L.C. - 1979 - Genesis of the bauxite deposits in the Lower Amazon Basin and Guianas Coastal Plain. Econ. Geol., 74 (4): 735-750
- GUILD, P.W.- 1957 - Geology and mineral resources of the Congonhas do Campo District, Minas Gerais, Brazil. Washington U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 90 p.(690)
- GUIMARÃES, D.- 1931 - Contribuição a Geologia do Estado de Minas Geraes. Rio de Janeiro, SGM. 36 p.(Bol. 55).
- GUIMARÃES, D. - 1945 - Discussão sobre a gênese de depósitos de laterita bauxítica. Rev. Min. Mat. 8 (48): 357-361.
- GUIMARÃES, D. & COELHO, I.S. - 1945 - Bauxita do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG. Rio de Janeiro, DNPM-DFPM. 40 p. (Bol. 67).
- GUIMARÃES, D. & LEINZ, V.- 1951 - Arqueozóica. In: Guimarães, D.; Arqui-Brasil e sua evolução geológica. Rio de Janeiro, DNPM-

DFPM, p. 7-27 (Bol. 88).

HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. - 1915a - The geology of central Minas Geraes, Brazil. Part I. Jour. Geol., 23 (4): 341-378.

HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. - 1915b - The geology of central Minas Geraes, Brazil. Part II, Jour. Geol., 23 (5): 385-424.

HERZ, N. - 1962 - Chemical composition of precambrian pelitic rocks, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. p. c75-c78.(450-C)

HERZ, N. - 1970 - Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 58 p.(641-B)

HERZ, N. - 1978 - Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 81 p.(641-C)

HERZ, N. & DUTRA, C.V. - 1958 - Preliminary spectrochemical and age determinations results on some granitic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Bol. Soc. Bras. Geol., 7 (2): 81-95.

JAMES, P. - 1933 - The surface configuration of the southeastern Brazil. Ann. Ass. Am. Geogr., 23 (3): 165-193; Tradução: "A configuração da superfície do sudoeste do Brasil", Bol. Geogr., 1946, 4 (45): 1104-1121.

JOHNSON, R.F. - 1962 - Geology and ore deposits of the Cachoeira do Campo, Dom Bosco and Ouro Branco quadrangles, Minas

Gerais, Brazil. U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 37 p.(341-B)

KING, L.C. - 1956 - A geomorfologia do Brasil oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, 18 (2): 147-265.

KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. - 1981 - Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). *Rev. Bras. Geogr.*, 2 (3): 193-202

LIMA, M.R. & SALARD-CHEBOLDAEFF, M. - 1981 - Palynologie des bassins de Gandarela et Fonseca (Eoceno de l'état de Minas Gerais). *Bol. IG-USP, USP*, 12: 33-54

LACOURT, F.- 1947 - Resumo da geologia da folha de Ouro Preto. *An. Escola de Minas de Ouro Preto*, 28: 103-139.

LADEIRA, E.A. - 1980 - Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine in Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. London, University of West Ontario, Ph.D. Thesis, 272 p.(Inédito)

LADEIRA, E.A. - 1985 - Alguns temas polêmicos para a geologia precambriana de Minas Gerais e sugestões de investigações para resolvê-los. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, Belo Horizonte, 1985. *Anais...* Belo Horizonte, SBG-NÚCLEO MG, Bol. 5, p. 354-355.

LADEIRA, E.A. & VIVEIROS, J.F.M. - 1984 - Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. Belo Horizonte, SBG-NÚCLEO MG, 18 p.(Bol. 4).

LELONG, F.; TARDY, Y.; GRANDIN, G.; TRESCASES, J.J.; BOULANGE, B. - 1976 - Pedogenesis, chemical weathering and processes of formation of some supergene ore deposits. In: WOLF, K.H. ed. *Handbook of Strata-bound and stratiform ore deposits*. Amsterdam, Elsevier. Vol. 3, p.93-173.

LEMONS, V.P. & VILLAS, R.N. - 1983 - Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão-Pará - Implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5, Serra dos Caralás. *Rev. Bras. Geol.*, 13 (3): 165-177.

LEPRUN, J.C. - 1977 - Géochimie de la surface et formes du relief. IV - La degradation des cuirasses ferrugineuses. Étude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l'ouest. *Sci. Géol. Bull.*, 30 (4): 265-273.

LICHTE, M. - 1979 - Morphologie Untersuchung in der Serra do Carajá und ihrem Vorland. Göttingen, Naturwissenschaftlichen Fakultät de Georg-August, Universität zu Göttingen, Diss., 139 p. (Inédito)

LINDSTEAD, H.P. - 1972 - A alteração das rochas alcalinas, Lages, SC. Porto Alegre, UFRS, Tese de Mestrado, 51 p. (Inédito)

LOPES, L. - 1987 - A evolução mineralógica, micromorfológica e química da bauxita e materiais correlatos da região nordeste de Miraf, M.G. São Paulo, IG-USP, Tese de Mestrado, 120p. (Inédito).

MACEDO FILHO, N. - 1967 - Relatório de pesquisa da fazenda de Bauxita Jardim Canadá. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas

S.A., Ouro Preto, 132 p.(Relatório Interno)

MACEDO FILHO, N. - 1968 - Relatório da pesquisa da jazida de bauxita Fazenda da Lopes. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 34 p.(Relatório Interno)

MAXWELL, C.H. - 1958 - The Batatal Formation. São Paulo, Bol. Soc. Bras. Geol., 7 (2): 60-61.

MAXWELL, C.H. - 1972 - Geology and ore deposits of the Alegria district, Minas Gerais, Brazil. Washington, U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER. 72 p.(341-J)

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. & COIMBRA, A.M. - 1985 - Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. Rev. Bras. Geol., 15 (3): 193-201.

MENESES, P.R. - 1986 - Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do Landsat 5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. São Paulo, IG-USP, Iase de Doutorado, 233 p.(Inédito)

MOORE, S.L. - 1969 - Geology and ore deposits of the Antonio das Santos, Ganga São and Conceição da Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington, U. S. GEOL. PROF. PAPER, 49 p.(341-I)

MORAES, L.J. & GUIMARÃES, D. - 1930 - Geologia da região diamantífera do norte de Minas Gerais. An. Acad. Bras.

Giânc., 2 (3): 153-186.

MORAES, M.A.S. - 1985 - Reconhecimento de fácies sedimentares em rochas metamórficas da região de Ouro Preto (MG). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, Belo Horizonte, 1985. Anais... Belo Horizonte, SBG. Vol. 5, p.84-93.

MORAES REGO, L.F.- 1931 - As estruturas antigas do Brasil. An. Escola de Minas de Ouro Preto, 22: 27-85.

NAHON, D. - 1976 - Culrasses ferrugineuses et encrôutements calcaires au Sénégal Occidental et en Mauritanie. Systèmes Évolutifs: Géochimie, structures, relais et coexistence. Mém. Sci. Géol. 44: 232 p.

OLIVEIRA, S.M.B. - 1985 - Genese da bauxita de Lajes, SC. Bol. IG-USP, 16: 46-81.

O' ROURKE, J.E. - 1957 - The stratigraphy of metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Madison, University of Wisconsin, Ph.D. Thesis, 106 p. (Inédito)

PARISOT, J.C.; BONNAL, L.; SÍGOLO, J.B. - 1985 - Um método de endurecimento de amostras friáveis, com o emprego de verniz. Comparação com outros métodos. Bol. IG-USP, 16 : 11-14.

PARRON, C.; GUENDON, J.L.; BOULANGÉ, B.; BOCQUIER, G. - 1983 - Bauxites du midi de la France. Evolutions minérales et microstructurales des bauxites du midi de la France. Mécanismes de la bauxitisation sur la substrat

carbonatée. CNRS, Paris, 51 p. (Rapport Scientifique)

POMERENE, J.B. - 1958a - The Cercadinho Formation. *Bull. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 64-65.

POMERENE, J.B. - 1958b - The Tabões Quartzite. *Bull. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 66-67.

POMERENE, J.B. - 1958c - The Barreiro Formation. *Bull. Soc. Bras. Geol.*, 7 (2): 67-68.

POMERENE, J.B. - 1964 - Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Maracás Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington, U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER, 84 p.(341-D)

RICCOMINI, G. - 1983 - Estudo comparativo entre diferentes produtos de sistemas de sensores aplicados à análise litológico-estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São José dos Campos. INPE, Dissertação de mestrado, 198 p.(Inédito)

ROESER, H.; ROESER, U.G.; GROSSI, A.W.R.; FLORES, J.C.C. - 1984 - Contribuição à origem das jazidas de bauxita de Cataguases - Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v.8., p. 3853-3865.

RUELLAN, F. - 1950 - Contribuição ao estudo da Serra do Caraça. *An. Ass. Geogr. Bras.*, 4 (2): 77-106.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. & ASMUS, H.E. - 1984

- *Geologia do Brasil*. Brasília, MME-DNPM, 501 p.

SCHOERSCHER, H.D.- 1976 - Polimetamorfismo Precambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto, 1976. Resumo das Publicações... Ouro Preto, SBG, p. 194-195.

SCHORSCHER, H.D.- 1978 - Komatiítos na estrutura "greenstone belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife. Resumo das Comunicações... Recife, SBG, p. 292-293.

SCHORSCHER, H.D.- 1979 - Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 51 (4): 767-768.

SCHORSCHER, H.D.- 1980 - Contribuição a estratigrafia proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 52 (2): 195.

SLATER, P.N. - 1980 - The electromagnetic spectrum, the sun and the atmosphere. In: SLATER, P.N., *Remote Sensing: optical and optical systems*. London, Addison-Wesley Publishing Company, p. 31-48.

SIGOLO, J.B. - 1979 - Geologia dos depósitos residuais bauxíticos de Lavrinhas - SP e sua viabilidade econômica. São Paulo, IG-USP, *Tese de Mestrado*. 190 p. (Inédito).

SIGOLO, J.B. & GROKE, M.C.T. - 1984 Mineralogia e micromorfologia da alteração bauxítica de uma área do maciço alcalino de

Mendanha: R.J. In: CONGR. BRAS. GEOL.: 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 8, p.3917-3925.

SIMMONS, G.C. - 1958 - The Fecho do Funil Formation. Bol. Soc. Bras. Geol., 7 (2): 65-66.

SIMMONS, G.C. - 1960 - Origin of certain cangas of the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil. Bol. Soc. Bras. Geol., 7 (2): 37-59.

SIMMONS, G.C. & MAXWELL, C.H. - 1961 - Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas. Rio de Janeiro. DNPM-DFPM, 30 p. (Bol. 211).

SOMMER, F.W. & LIMA, G.D. - 1967 - Contribuição à paleoflora de Fonseca, MG. An. Acad. Bras. Ciênc., 39 (3/4): 537-538R.

SOUZA, J.M. - 1977 - Relatório de pesquisa da lazida de bauxita Fazenda Gandarela. MBR - Minerações Brasileiras Reunidas S.A., Belo Horizonte, 23 p.(Relatório Interno)

SOUZA, J.M. - 1983 - Relatório de pesquisa de bauxita e argila no local denominado Capão Xavier e Ouro Podre. Nova Lima, MG. MBR - Minerações Brasileiras Reunidas S.A., Belo Horizonte, 25 p.(Relatório Interno)

STAARGARD, J.A. - 1962a - Relatório de Pesquisa da lazida de bauxita Fazenda União da Gata Preta. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 365 p.(Relatório Interno)

STAARGARD, J.A. - 1962b - Relatório de pesquisa da lazida de

bauxita Fazenda Tesoureiro. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 75 p.(Relatório Interno)

STAARGARD, J.A. - 1963a - Relatório de pesquisa das lazidas de bauxita Farla e Macaquinho. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 230 p.(Relatório Interno)

STAARGARD, J.A. - 1963b - Relatório de pesquisa da lazida de bauxita Morro do Eragá. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 158 p.(Relatório Interno)

STAARGARD, J.A. - 1963c - Relatório de pesquisa da lazida de bauxita Morro do Cruzeiro. Alucaldas - Alumínio Poços de Caldas S.A., Ouro Preto, 204 p.(Relatório Interno)

SZUBERT, E.C. & VERGARA, V.A. - 1975 - Avaliação das reservas e da qualidade dos depósitos de bauxita do município de Lajes - SC. CPRM, Porto Alegre, 68p. (relatório interno).

TARAMIK, J.V. - 1977 - Reference materials on principles of computer processing of Landsat Data for mineral and petroleum exploration. Sioux Falls, U.S. Geological Survey. 29 p.

TEIXEIRA da COSTA, M.- 1961 - Sedimentação e Orogênese da Série Minas.Ouro Preto, SICEG, p. 55-61 (Bol. 1).

TRICART, J. - 1965 - Principes et méthodes de la géomorphologie. Paris, Masson et Cie. Ed.. 496 p.

VALETON, I. - 1972 - Bauxites. Amsterdam, Elsevier Publ. Co.

226p.

VALETON, I. - 1981 - Bauxites on peneplained metamorphic and magmatic rocks, on the karst topography, their similarities and contrasts of genesis. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERISATION PROCESSES, I, Trivandrum, 1981. Proceedings... Trivandrum, IWGLP/IAGC, p. 15-23.

VARELLA, J.C. & ROSALES, A. - 1977 - Relatório de pesquisa da jazida de bauxita Contá História. Samitri-Mineração Trindade S.A., Ouro Preto, 25 p.

VAZ, T.A.F. - 1931 - Bauxita. An. Escola de Minas, 22: 87-124.

VAZ, T.A.F. - 1945 - Laterização de rochas ricas em aluminossilicatos. Min. Met., 9 (54): 257-261.

VEIZER, J. - 1976 - Evolution of ores of sedimentary affiliation through geologic history: relations to the general tendencies in evolution of the crust, hydrosphere, atmosphere and biosphere. In: WOLF, K.H. ed. Handbook of Strata-bound and stratiform ore deposits. Amsterdam, Elsevier. v.3, p. 1-41.

VIEL, R.S.; MOREIRA, P.C.H.; ALKIMIM, F.F. - 1987 - Faciologia da Formação Cauê e gênese do minério de ferro friável da mina de Águas Claras, Serra do Curral, Minas Gerais. In: SIMP. SOBRE SISTEMAS DEPOSICIONAIS NO PRÉ-CAMBRIANO, Ouro Preto, 1987. Anais...Ouro Preto, SBG, Bol. 6, p. 137-153.

WALLACE, R.M. - 1958 - The Moeda Formation. Bol. Soc. Bras.

Geol., 7 (2): 59-60.

WALLACE, R.M. - 1965 - Geology and mineral resources of the Pico de Itabirito district, Minas Gerais, Brazil. Washington, U.S. GEOL. SURVEY PROF. PAPER, 67 p. (341-F).

WOPFNER, H. & SCHWARZBACH, M. - 1976 - Ore deposits in the light of paleoclimatology. In: WOLF, K.H. ed. Handbook of stratiform and stratiform ore deposits. Amsterdam, Elsevier. v.1, p. 43-91.