DEDALUS - Acervo - IGC

30900005686

GEOLOGIA E GÊNESE DO PROTOMINÉRIO E DO MINÉRIO DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE ARACOIABA - PACAJÚS, NO ESTADO DO CEARÁ

por

JOSÉ VITORINO DE SOUZA

Tese de Doutorado apresentada ao
Instituto de Geociências da Universidade de
São Paulo.

**SÃO PAULO
1979**

ESTA TESE FOI ORIENTADA POR:

DOUTOR EVARISTO RIBEIRO FILHO

PROFESSOR TITULAR DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Aos meus filhos:
Adriana, Sérgio
Rosana e Cristiane

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO	1v
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVO	1
1.2 - JUSTIFICATIVA	1
1.3 - FINALIDADE	2
1.4 - DEFINIÇÃO DE TERMOS	2
2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	4
2.1 - LOCALIZAÇÃO, ACESSO E DIMENSÕES	4
2.2 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	9
2.2.1 - GEOMORFOLOGIA	9
2.2.2 - CLIMA	12
2.2.3 - VEGETAÇÃO E SOLO	15
2.2.4 - REDE HIDROGRÁFICA	17
3 - HISTÓRICO DA PROSPECÇÃO DA ÁREA	17
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
5 - METODOLOGIA	24

	Página
5.1 - TRABALHO DE CAMPO	25
5.2 - DETERMINAÇÃO DE MINERAIS E TEXTURAS	26
5.3 - ANÁLISES QUÍMICAS	27
5.4 - ESTUDO DE FALHAS TRANSCORRENTES	28
6 - GEOLOGIA REGIONAL	30
6.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A TECTÔNICA REGIONAL	30
6.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOCRONOLOGIA DA REGIÃO	34
7 - GEOLOGIA LOCAL	37
7.1 - AFLORAMENTOS	37
7.2 - DESCRIÇÃO DE POÇOS E FUROS DE SONDA	38
7.2.1 - POÇOS	38
7.2.2 - FUROS DE SONDA	45
7.3 - PETROGRAFIA	45
7.3.1 - ENCAIXANTES	45
7.3.1.1 - MIGMATITO-GNAISSE	45
7.3.1.2 - MIGMATITO-GNAISSE, MIGMATITO-BÁSICO E METABASITO DA REGIÃO DE CHOROZINHO (PACAJÓS)	49
7.3.1.3 - QUARTZITOS	51
7.3.2 - PROTOMINÉRIO DE MANGANÊS	52
7.4 - MINERALOGIA DO PROTOMINÉRIO	56
7.5 - TEXTURAS DEPOSICIONAIS	62

	Página
7.6 - CONDIÇÕES DE METAMORFISMO	67
7.6.1 - ENCAIXANTES	67
7.6.2 - GONDITO	78
7.7 - ESTRUTURA	82
7.8 - AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO DE MINERAIS	84
7.9 - ESTRATIGRAFIA	89
 8 - O MINÉRIO	 89
8.1 - FEIÇÕES MEGASCÓPICAS	89
8.2 - MINERALOGIA	91
8.3 - FEIÇÕES TEXTURAIS	98
8.4 - SIGNIFICAÇÃO GENÉTICA DAS TEXTURAS	110
8.4.1 - PROCESSOS DE FORMAÇÃO DO MINÉRIO	110
8.4.2 - TIPOS DE MINÉRIO EM RELAÇÃO AOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO	111
8.4.3 - FASES E CARACTERÍSTICAS DO INTEN <u>PER</u> ISMO	111
8.4.4 - PARAGÊNESE E SUCESSÃO MINERAL	115
 9 - QUALIDADE E QUANTIDADE DO MINÉRIO	 117
9.1 - QUALIDADE DO MINÉRIO	117
9.2 - QUANTIDADE DO MINÉRIO	124
 10 -COMPARAÇÃO COM OUTRAS OCORRÊNCIAS	 125

	Página
11 - CONCLUSÕES GERAIS	129
12 - CONCLUSÃO FINAL	133
13 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXO I - DESCRIÇÃO DE 17 POÇOS DAS REGIÕES DE SERRAGEM, LAGOA DO RIACHO E ALTO PRETO (ARACOIABA-CE)	145
ANEXO II - DESCRIÇÃO DE 4 FUROS DE SONDA DE SERRAGEM-ARACOIABA	155
ANEXO III- DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE TEORES DE Mn (%) DE ROCHAS DA PROVÍNCIA DE ARACOIABA-PA-CAJÚS(CE)	160
ANEXO IV - CALCULO DE a_0 A PARTIR DE FILMES DE RAIOS-X	165

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

MAPAS

Mapa de localização I da área com ocorrência de rochas manganésíferas - Aracoiaba e Pacajús-CE	5
Mapa de localização II da área com ocorrências de rochas manganésíferas de Aracoiaba e Pacajús-CE	6
Mapa de situação das ocorrências de manganês - Município de Aracoiaba e Pacajús - CE	8
Mapas de isoietas (Período: 1911-1958 (médias anuais)	14
Mapa Geotectônico (Brito Neves, 1975)	21
Mapa Geológico da província manganésífera de Aracoiaba-Pacajús (CE)	23
Mapa Estrutural de parte da área do Projeto Fortaleza	32
Mapa de localização dos poços Serragem-Aracoiaba-CE	39
Esboço Geológico da ocorrência de manganês - Lagoa do Riacho-Aracoiaba-CE	41

FIGURAS

Figura 1 - Feições geomorfológicas da área de ocorrências de manganês de Aracoiaba-Pacajús (CE)	10
Figura 2 - Variação de pluviometria (1912-1966) e temperatura (1964-1968) - médias mensais	13
Figura 3 - Direções primárias de tensão, dobramento e empurrão em falhas transcorrentes	29

	Página
Figura 4 - Deformação de 2 ^a ordem	29
Figuras 5 e 6 - Sistemas tectônicos de falhas transcorrentes	29
Figura 7 - Direção de blocos em relação ao vértice do ângulo formado pela falha transcorrente e pelo eixo de dobramento secundário	30
Figura 8 - Falha dextrógira de Senador Pompeu	31
Figura 9 - Dobramento de 2 ^a ordem formando 15 ^o com a falha transcorrente de Senador Pompeu	33
Figura 10- Isócronas para os gnaisses e migmatitos das regiões de Quixadá e Banabuiu	36
Figura 11- Diagrama isocrônico para rochas da faixa Jaguaribe e maciço de Tróia	36
Figura 12- Perfil vertical baseado na descrição de poços escavados sobre o protominério	42
Figura 13- Perfil vertical baseado em descrições de poços escavados sobre gnaiss ou pegmatito	44
Figura 14- Migmatito-gnaiss cortado por pegmatito homogêneo concordante e por pegmatito homogêneo discordante	47
Figura 15- Migmatito-gnaiss cortado por granitóide cataclástico	48
Figura 16- Perfil esquemático de ocorrências de migmatito-gnaiss, migmatito básico e metabasito em Morros (Chorozinho-CE)	50

Figura 17 - Perfil vertical esquemático das ocorrências de manganês de Serragem e Lagoa do Riacho	53
Figura 18 - Associação mineral no sistema $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (HÖREN, 1953)	54
Figura 19 - Diagrama triangular para classificação de rocha com espessartita, quartzo e anfibólio	56
Figura 20 - Metamorfismo de pelitos. Setor de metamorfismo de alto grau, rico em almandina	69
Figura 21 - Lançamento da relação FeO/FeO+MgO que é igual a 0,7 e 0,85 para o migmatito-gnaiss e para o silimanita quartzito respectivamente	74
Figura 22 - Parte hachuriada delimitando os domínios das associações 4,5 e 6 em granoblastitos	78
Figura 23 - Resultados experimentais que mostram a influência da relação Mn/Ca e da temperatura na formação do tipo de piroxenóide	81
Figura 24 - Diagrama Eh-pH para o manganês, mostrando os campos de estabilidade de óxidos, carbonatos e sulfetos	86
Figura 25 - Veio de óxido de manganês preenchendo vazios entre granadas	109
Figura 26 - I - pseudo-dobras em chevron de óxidos de manganês	109

FOTOS

Foto 1 - Vista lateral do Serrote Curupira (Aracoiaba, CE) com reflorestamento de cajueiros na parte aplainada	11
Foto 2 - Vista parcial do Serrote Ocara, vizinho à localidade homônima (Aracoiaba-CE)	11
Foto 3 - Exfoliação do granitóide cataclástico da Figura 15	48
Foto 4 - Gondito encontrado em núcleo de sinclinal <u>en</u> caixado por granada-quartzito, localizado no Poço 1 em Serragem (Aracoiaba, CE)	87

FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 - Lâmina delgada mostrando granada predominante sobre quartzo em textura em mosaico	63
Fotomicrografia 2 - Lâmina delgada mostrando quartzo predominando sobre granada em textura em mosaico	64
Fotomicrografia 3 - Lâmina delgada mostrando <u>microdo</u> bramentos isoclinais que refletem os <u>dobramen</u> tos maiores	65
Fotomicrografia 4 - Superfície polida mostrando veios coloidais de óxidos de manganês concordantes com o acamamento geral	66

Fotomicrografia 5 - Lâmina delgada mostrando silimanita e quartzo no quartzito que aflora no serrote Curupira (Aracoiaba-CE)	73
Fotomicrografia 6 - Lâmina delgada mostrando almandina, quartzo e biotita no migmatito-gnaiss que aflora no serrote Pelado	73
Fotomicrografia 7 - Lâmina delgada mostrando ortoclásio com exsolução de albita no metabasito	76
Fotomicrografia 8 - Lâmina delgada de gondito alterado mostrando granada, rodonita e mangano-cumingtonita	79
Fotomicrografia 9 - Lâmina delgada de gondito alterado mostrando granada, rodonita e mangano-cumingtonita	79
Fotomicrografia 10- Superfície polida de gondito alterado mostrando granada, quartzo e placas de litioforita e criptomelano	99
Fotomicrografia 11- Superfície polida de gondito alterado mostrando textura reliquiar zonada	100
Fotomicrografia 12- Superfície polida de gondito alterado mostrando cristais prismáticos de pirolusita pseudomorfa	101
Fotomicrografia 13- Superfície polida de gondito alterado mostrando pirolusita em textura de borda entre clivagens da litioforita que se situa entre os grãos de granada	102

	Página
Fotomicrografia 14 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura filiforme de litioforita sendo substituída por criptomelano	103
Fotomicrografia 15 - Superfície polida mostrando gondito alterado com textura de curvamento dos filamentos de litioforita dentro do criptomelano e de pirolusita	104
Fotomicrografia 16 - Superfície polida de esfera <u>con</u> cêntrica de óxidos de manganês, mostrando textura nodular concêntrica	105
Fotomicrografia 17 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura de bandeamento coloriforme de criptomelano, apresentando formas <u>es</u> feroidais de sílica, fendas de dessecação e textura de grânulos micrométricos de óxidos de manganês	106
Fotomicrografia 18 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura em pente de pirolus <u>i</u> ta, preenchendo vazios centrais de deposição coloidal de criptomelano	108

QUADROS

Quadro 1 - Ocorrências de minério de manganês segundo Moraes (1973), Braga (1977) e CRUZUL (1975)	7
Quadro 2 - Resumo da história da prospecção da área de ocorrência de manganês de Pacajús-Aracoiaba(CE)	19

	Página
Quadro 3 - Composição do protominério de manganês da província manganesífera de Aracoiaba-Pacajús (CE)	55
Quadro 4 - Coluna lito-estratigráfica da província manganesífera de Aracoiaba-Pacajús (CE)	88
Quadro 5 - Sucessão dos minerais oxidados, da província manganesífera de Aracoiaba-Pacajús (CE)	116
Quadro 6 - Quadro comparativo entre os depósitos de manganês de Aracoiaba-Pacajús e as jazidas de Serra do Navio (AM), Morro da Mina (MG) e Urandi (BA)	127
Quadro 7 - Evolução das paragêneses sedimentar, me- tamórfica e supergênica do góndito da pro- víncia manganesífera de Aracoiaba-Pacajús-CE	132

TABELAS

Tabela 1 - Dados geocronológicos para a faixa Jaguari- beana e alguns dados para o maciço de Tróia	35
Tabela 2 - Distâncias interplanares (dA) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação FeK α , comparadas com padrões ASTM (1965)	57
Tabela 3 - Distâncias interplanares (dA) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação FeK α , comparadas com padrão ASTM (1965)	58
Tabela 4 - Valores de diferença de 2 θ para FeK α e sua transformação para CuK α relativos às granadas	60

Tabela 5 - Valores de propriedades físicas de granadas	60
Tabela 6 - Percentagens de composição molecular obtidas de diagramas triangulares pelo método de Madureira Filho (1972) e Camargo e Madureira Filho (1976)	61
Tabela 7 - Percentagens obtidas a partir de diagramas triangulares, segundo método de Madureira Filho (1972) e Camargo e Madureira Filho (1976)	70
Tabela 8 - Análises químicas realizadas pelo Laboratório Puriquima S/A e pelo Laboratório de Química do Departamento de Mineralogia e Petrografia do Instituto de Geociências da USP	71
Tabela 9 - Distâncias interplanares (d°) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação $FeK\alpha$ comparadas com padrão ASTM	93
Tabela 10- Distâncias interplanares (d°) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação $FeK\alpha$ comparadas com padrão ASTM	94
Tabela 11- Distâncias interplanares (d°) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação $FeK\alpha$ comparadas com padrões ASTM	95
Tabela 12- Distâncias interplanares (d°) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação $FeK\alpha$ comparadas com padrões ASTM	96

Tabela 13 - Distâncias interplanares (d°) obtidas por difração de raios X (filme) em radiação $FeK\alpha$ comparadas com padrões (a,b,c e d)	97
Tabela 14 - Tabulação de dados obtidos do Anexo III para cálculo de média (X) e de desvio padrão (σ)	119
Tabela 15 - Valores de Mn/Fe e de $SiO_2 + Al_2O_3$ de P para o minério da província Aracoiaba-Pacajús-CE	120
Tabela 16 - Resultados de análises químicas do minério de manganês da província de Aracoiaba-Pacajús (CE) de acordo com a ocorrência (%)	121
Tabela 17 - Resultados de análises químicas do minério de Serragem e Lagoa do Riacho	122
Tabela 18 - Elementos traços no minério de Lagoa do Riacho e Serragem no município de Aracoiaba (CE)	123
Tabela 19 - Reservas medidas de Serragem e Lagoa do Riacho (Aracoiaba-CE) conforme relatório inédito de CRUZUL (1975)	125

AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho foi possível devido ao esforço das seguintes entidades: Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade de São Paulo (USP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Departamento de Minas do Estado do Ceará e empresa de mineração Indústria e Comércio de Minérios S/A (ICOMI).

Da UFC, por meio do Departamento de Geociências do Centro de Ciências desta Universidade, obtive a oportunidade de afastamento por três anos.

Na USP, tanto docentes quanto funcionários do Instituto de Geociências me proporcionaram ambiente e condições propícias ao estudo e elaboração desta tese. Refiro-me, especialmente aos funcionários Paulo E. Mori, Itaci Kroehen, Melany Thereza Isauk, Waldemar Lucas de Oliveira, Aparecida N. Comi, Nair de Campos Louzada, José Ponchirolli, Jaime Alves da Silva, Nícia Maria Brandão Zalaf, Maria Eugênia Rubira, José Moraes, Jaime de Souza Marques e Maria Madalena Benzi Matazo, e em particular aos Professores Doutor Umberto G. Cordani, Doutor José Moacyr Vianna Coutinho, Doutor Marcos Aurélio Farias de Oliveira, Doutor José Vicente Valarelli, Doutor Rainer Schultz, Doutor Raphael Hypólito e José Barbosa Madureira Filho, que colaboraram diretamente. Aos Professores Doutor Reinholt Ellert, Doutor Aldo da Cunha Rebouças, Doutor Nelson Ellert, Doutor Aledir Paganelli Barbour e Uriel Duarte agradeço o apoio e estímulo na realização deste trabalho.

Da CAPES recebi suporte financeiro sob a forma de bolsas de estudo durante três anos.

O Departamento de Minas da Secretaria de Obras e Serviços Públicos do Estado do Ceará, por meio de seus diretores Manoel Alcides Rocha e Júlio Sarmento de Menezes, forneceu o suporte financeiro para a realização dos trabalhos de campo. Faço menção especial à cessão do funcionário João Lopes da Sil-

va, prospector do Departamento de Minas e grande conhecedor da área de manganês, que gentilmente me acompanhou durante a fase de reconhecimento geológico e sempre esteve disposto a ajudar.

Agradeço a ICOMI S/A que permitiu, de bom grado, a leitura dos originais de seus relatórios de pesquisa feitos em cumprimento às exigências do Código de Mineração.

Agradeço especialmente às colegas de pós-graduação, Rosa Maria Silveira Bello e Ana Maria Dreher.

Ao Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho agradeço a execução das fotomicrografias que ilustram esta tese.

De maneira especial, agradeço ao Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho, pela orientação e apoio dispensados durante a realização do curso de doutorado na Universidade de São Paulo, bem como pela orientação durante todas as fases da execução da presente tese.

A minha esposa, Givanilda Aquino de Souza que ajudou e acompanhou passo a passo a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido principalmente nas localidades de Serragem e Lagoa do Riacho no município de Aracoiaba (CE), abrangendo também, em alguns aspectos, toda a província manganêsífera de Aracoiaba-Pacajús no nordeste do Estado do Ceará.

O trabalho tem como objetivo principal a caracterização paragenética e textural do protominério oxidado de manganês a fim de definir sua gênese e intemperismo.

A litologia regional é formada por migmatito-gnaiss, granada-silimanita-quartzitos e metabasitos. De maneira restrita são encontrados gonditos alterados juntamente com granada-quartzitos encaixados no migmatito-gnaiss cortado por pegmatitos homogêneos.

O gondito, de direção N 20° W e mergulho de 50° a 75° para leste, foram situados estrutural e estratigraficamente no Complexo Caicó.

O metamorfismo regional é de fácies granulítica com superimposição de fácies anfibolito com pressão e temperatura mínimas respectivas de 6 kb e 600° C.

O gondito é composto essencialmente de espessartita, quartzo, rodonita e mangano-cumingtonita e acessoriamente de grafita, pirita e pirrotita.

O gondito foi originalmente depositado em bacia restrita de ambiente redutor; em seguida foi submetido a, pelo menos, duas fases de metamorfismo. Posteriormente, foi submetido a intemperismo formando minério oxidado constituído de litioforita, criptomelano, pirolusita e mangano-nsutita.

As principais texturas do gondito aqui descritas são: Textura em mosaico, textura bandeada (deposicionais) e texturas reliquias, de borda, coloformes, nodular concêntrica, em reta-

lhós, brechada, filiforme, em pente e em boxwork (pós-deposicionais).

Em função das texturas foram configurados três processos de formação do minério: Processo de Substituição, processos de preenchimento de cavidades e de laterização.

Os minérios foram classificados como minérios "in situ" (Afloramentos de gondito alterado) e minérios residuais (Blocos rolados e esferas concêntricas).

O teor do minério varia de 18 a 38% de Mn, sendo o teor médio da província de 23% de Mn. Isoladamente as ocorrências de Serragem e Lagoa do Riacho têm um teor médio de 28% de Mn.

A tonelagem para a província é baixa. O maior depósito (Lagoa do Riacho) possui uma reserva medida de 370 000 t de minério bruto a 28% de Mn, 50% das quais são de minério residual.

Tendo em vista o baixo teor e a pequena reserva, conclui-se que o minério é aproveitável economicamente em pequenas siderurgias próximas aos depósitos.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVO

Esta tese é fruto do trabalho que foi desenvolvido na província manganêsífera de Aracoiaba-Pacajús, nordeste do Estado do Ceará. Trata-se de uma investigação geológica que tem como objetivo principal a caracterização paragenética e textural do protominério oxidado, com o fito de definir sua gênese e intemperismo, bem como tecer considerações sobre uma eventual possibilidade de aproveitamento econômico.

1.2 - JUSTIFICATIVA

Ultimamente se intensificaram as pesquisas de caracterização de protominérios de manganês em território brasileiro. Foram desenvolvidos vários trabalhos sobre origem e composição de protominérios sílico-carbonáticos, que condicionaram a formação de jazidas de manganês de Serra do Navio, no Território Federal do Amapá (BELLO *et al.*, 1976; BARBOUR, 1965; CASTRO, 1963; DORR, 1949; LEINZ, 1948; NAGELL, 1961 e 1962; PARK, 1951 e 1956; SCARPELLI, 1966 e 1973; SILVA *et al.*, 1963; VALARELLI, 1963, 1966 e 1967).

Outras pesquisas foram feitas a respeito de gonditos e queluzitos que ocorrem em Minas Gerais, principalmente no município de Conselheiro Lafaiete, na localidade de Morro da Mina. Entre os precursores destacam-se DERBY (1901) e (1908), OLIVEIRA (1929) e GUIMARÃES (1929) e (1935); entre os mais recentes estão BITTENCOURT (1973), COUTINHO *et al.* (1976), DORR (1968), EBERT (1963) HERTZ (1973), HÖREN (1953), MELFI *et al.* (1973) e (1975), ÖDMAN (1955) e PIRES *et al.* (1970).

Sobre os depósitos de manganês no sul do Estado da Bahia, foram realizadas pesquisas mais recentes (RIBEIRO FILHO, 1968, 1976 e 1977; RIBEIRO FILHO & VALARELLI, 1966 e MACHADO, 1977).

Vários outros autores discorreram sobre a origem das jazidas de manganês de Urucum, em Corumbá, no Estado de Mato Grosso e a de Maraú, no Estado da Bahia (ALMEIDA, 1946; DORR, 1945; GONÇALVES, 1972; TONIATI, 1973 e VALARELLI, 1976).

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a preencher uma lacuna quanto aos estudos genéticos das ocorrências de manganês de Aracoiaba-Pacajús (CE). Foram estudadas amostras de rochas das ocorrências de Serragem e Lagoa do Riacho (Aracoiaba), distantes entre si 12 km. Além disso, foram coletadas amostras de outros depósitos na mesma região a fim de se fazer interrelações de resultados conseguidos na área principal e em toda a província.

1.3 - FINALIDADE

A finalidade precípua desta investigação é oferecer um conjunto de informações interpretadas, que, juntamente com os dados já existentes, servirão para orientar trabalhos de prospecção na área ou em áreas semelhantes no Estado do Ceará.

1.4 - DEFINIÇÃO DE TERMOS

Neste item são definidos alguns termos utilizados no desenvolvimento do trabalho e que são passíveis de interpretação dúbia.

Associação mineral - é o conjunto de minerais em uma rocha. Pode encerrar várias paragêneses (ROUTHIER, 1963).

Estruturas - Significa feições maiores observadas mesoscópica ou macroscopicamente (BASTIN, 1950).

Falha transcorrente - É uma ruptura na crosta terrestre, na qual o movimento dominante de um bloco em relação ao outro é horizontal, e os planos de falha são essencialmente verticais (ANDERSON, 1951 apud MOODY, 1973).

Foliação - Significa qualquer tipo de paralelismo de minerais ou massas de minerais em rocha metamórfica ou ígnea (LOCZY *et al.*, 1976).

Gondito - Rocha parametamórfica composta principalmente de espessartita, quartzo, piroxenóide e anfibólio (HOLTROP, 1965).

Minério de manganês - Significa o conjunto de minerais de manganês depositados como óxidos, de forma enriquecida em relação ao protominério e dos quais pode ser extraído o Mn (HOLTROP, 1965).

Minério residual - Minério formado por intemperismo e enriquecimento do protominério, que não sofreu transporte ou se encontra vizinho ao afloramento (HOLTROP, 1965).

Paragênese - É o conjunto de minerais de uma rocha resultante de um determinado processo geológico ou geoquímico (ROUTHIER, 1963).

Protominério de manganês - É a rocha a partir da qual são dissolvidos os compostos de manganês que são depositados de forma enriquecida (HOLTROP, 1965).

Província manganesífera - Estes dois termos são usados em sentido lato para se referir à área que contém vários depósitos de manganês com um relacionamento genético entre si (Baseado em TURNEAURE, 1955).

Sucessão Mineral - É a ordem segundo a qual são depositados os minerais da paragênese durante o desenvolvimento de um processo geológico e geoquímico (ROUTHIER, 1963).

Texturas - São feições menores dependentes de tamanho,

forma e arranjo dos grãos dos minerais, e em alguns casos feições como clivagem mineral, contatos entre minerais e fraturamentos menores observados ao microscópio ou em amostra de mão (BASTIN, 1950).

2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA.

2.1 - LOCALIZAÇÃO, ACESSO E DIMENSÕES.

A província manganêsífera de Aracoiaba-Pacajús (CE) pode ser localizada nos seguintes mapas topográficos, editados pela SUDENE (1970) em escala 1/100.000: SB -24-X-I (Baturité), SB -24-X- II (Beberibe), SB-24-X-A-IV (Itapiúna) e SB-24 -X-A-V (Bonhu).

A área onde foi executado o reconhecimento geológico para esta tese está definida por um retângulo de 18,5 km de largura (E-EW) por 57,0 km de comprimento (N-S), que, por sua vez, está delimitado pelas seguintes coordenadas; 38°25' e 38°35' (L.W.) e 4°10' e 4°40' (L.S.). Os depósitos de manganês se alinham numa faixa diagonal dentro deste retângulo, com direção NNE-SSW, medindo aproximadamente 4 X 50 km (Vide Mapa de Localização I, pág.5).

Na Folha SB-24-X-A DNPM, em escala 1/250.000, a área se situa na parte central (Vide Mapa de Localização II, pág. 6.

A localidade de Serragem no distrito de Curupira(Aracoiaba) é o centro geográfico de todas as ocorrências da província manganêsífera, possuindo as seguintes coordenadas: 38°30' (L.W.) e 4°30' (L.S.).

A ocorrência de Lagoa do Riacho localiza-se 12 km ao sul de Serragem, no mesmo distrito; é conhecida também por "Mata da Vaca".

Para localização de qualquer ocorrência é necessário

MAPA DE LOCALIZAÇÃO - I DA ÁREA COM OCORRÊNCIA DE ROCHAS MANGANESÍFERAS - ARACOIABA E PACAJUS - CE

ARTICULAÇÃO DE MAPAS TOPOGRÁFICOS DA ÁREA DE MANGANÊS (SUDENE-1970 - Esc. 1:100000)

MAPA DE LOCALIZAÇÃO II DA ÁREA COM OCORRÊNCIAS
DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DE ARACOIABA E PACAJUS (CE)

Mapa de localização(2) da área de Manganês de Pacajús-Aracoiaba
na Folha SA-24-X-A (1/250.000 - DNPM).

QUADRO I - OCORRÊNCIAS DE MINÉRIO DE MANGANÊS SEGUNDO MORAES
(1973), BRAGA (1977) E CRUZUL (1975)

Nº DE ORDEM	TOPONÍMIA	DISTRITO E MUNICÍPIO
1	Sítio Casé (Aldeia)	Pacajús -Pacajús
2	Curral Velho	Chorozinho-Pacajús
3	Lagoa da Pedra	Chorozinho-Pacajús
4	Fiúza (Morros)	Chorozinho-Pacajús
5	Serragem	Curupira -Aracoiaba
6	Canafístula	Curupira -Aracoiaba
7	Lagoa do Riacho	Curupira -Aracoiaba
8	Lagoa dos Porcos	Curupira -Aracoiaba
9	Bolas	Curupira -Aracoiaba
10	Alto do Urubu	Curupira -Aracoiaba
11	Alto Preto	Curupira -Aracoiaba
12	Alto das Madeiras	Curupira -Aracoiaba
13	Alto do Pagão	Curupira -Aracoiaba
14	Açudinho	Curupira -Aracoiaba
15	Alto do Barrigudo	Curupira -Aracoiaba
16	Sítio Lagoa Bonita	Curupira -Aracoiaba
17	Sítio Açude	Curupira -Aracoiaba
18	Deserto	Curupira -Aracoiaba
19	Baixa do Miguel	Curupira -Aracoiaba
20*	Alto do Veado	Curupira -Aracoiaba
21*	Alto do Gavião	Curupira -Aracoiaba

* Não estão localizadas no Mapa de Situação.

MAPA DE SITUAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MANGANÊS Município de Aracoiaba e Pacajus - CE

Baseado em: Mapa do Estado do Ceará - IBGE - 1:500 000
Mapa de Localização (projeto Ferro - Man -
ganês, CPRM - Est. do Ceará)
Folha SB-24 (Carta Geológica do Brasil ao
millionésimo
Folha 1:100 000 (Sudene - IBGE)

LEGENDA

Área de ocorrências de Pegmatito de
Be, Li, Sn

Área de ocorrências de Mn de alteração
superficial

• Ocorrência de manganês

•5 Ocorrência de Serragem (Mn)

•7 Ocorrência de Lagoa do Riacho (Mn)

Rodovia pavimentada

Estrada carroçável

Estrada de ferro

Sede de município

Rio

verificar o número de ordem no Quadro I (pág. 7) e no Mapa de Situação (pág. 8). Os depósitos de Serragem e Lagoa do Riacho estão simbolizados pelos números 5 e 7, respectivamente.

O acesso à Serragem é feito, em estrada asfaltada, a partir de Fortaleza, pela BR-116 até o Triângulo de Quixadá (74 km). Daí até Serragem, pela BR-122, rumo a Quixadá, percorrem-se 12 km.

O acesso a Lagoa do Riacho é feito a partir de Serragem (rumo a Quixadá), pela BR-122: Percorridos 5,7 km toma-se a estrada carrocável à esquerda. Até o povoado de Lagoa do Riacho percorrem-se 2,5 km. Daí, toma-se a direção para Leste até a localidade de Mata de Vaca, percorrendo-se 2,3 km.

As outras ocorrências são atingidas por estradas carroçáveis bem conservadas durante a estação seca.

2.2 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS

2.2.1 - GEOMORFOLOGIA

Na região que corresponde à área estudada são conhecidas 5 (cinco) "Superfícies" ou tipos de relevo, que correspondem ao mesmo número de níveis ou estágios de erosão: Superfície de Tabuleiros, Superfície Sertaneja, Superfície de Suaves Ondulações, Superfície de Elevações de Pequeno Porte e Superfície de Elevações de Médio Porte.

As Superfícies de Tabuleiros (Fig. 1, mod. A) correspondem a superfícies aplainadas de cobertura cenozóica, cuja formação data do Pleistoceno Inferior (MABESOONE *et al.*, 1975). Possui altitude variando de 30 até 80 m.

Quase ao mesmo nível do topo da superfície anterior, se forma o extenso pediplano da área de rochas cristalinas (BRA-

Figura 1 - Feições geomorfológicas da área de ocorrências de manganês de Aracoiaba-Pacajús (CE).

- Modelado A - Superfície de Tabuleiros (30 a 80 m de altitude)
- Modelado B - Superfície de Suaves Ondulações (100 a 115 m de altitude)
- Modelado C - Superfície Sertaneja (80 a 110 m de altitude)
- Modelado D - Superfície de Elevações de Pequeno Porte (130 a 150 m de altitude)
- Modelado E - Superfície de Elevações de Médio Porte, correspondente aos quartzitos (160 a 380 m de altitude)
- Modelado F - Superfície de Elevações de Médio Porte, correspondente aos gnaisses (160 a 380 m de altitude).

Foto 1 - Vista lateral do Serrote Curupira (Aracoiaba-CE) com
reflorestamento de cajueiros na parte aplainada.

Foto 2 - Vista parcial do Serrote Ocara, vizinho à localidade
homônima (Aracoiaba-CE).

GA, 1977), que foi denominada de Superfície Sertaneja por MABE-SOONE *et al.*, (Op.Cit.) e corresponde à Superfície Velhas de KING (1956); essa superfície (Fig. 1, mod. C) corresponde simultaneamente ao nível de abrasão de rochas cristalinas e ao nível de deposição de areias cenozóicas (ANDRADE *et al.*, 1965). Sua altitude varia de 80 a 110 m.

As Superfícies de Suaves Ondulações (Fig. 1, mod. B), constituídas de cangas manganíferas ou gnaisses, possuem altitude que variam de 100 a 115 m. Os testemunhos destas superfícies representam comumente pequenas ocorrências de manganês.

As Superfícies de Elevações de Pequeno Porte (Fig. 1, mod. D) rompem a homogeneidade da Superfície Sertaneja, com altitudes entre 130 e 150 m e são modeladas por gnaisses. Um exemplo típico é a pedreira do Serrote Pelado, localizado 1 km ao sul do Serrote Curupira.

As Superfícies de Elevações de Médio Porte (Fig. 1, mod. E e F) possuem feições marcantes na área; são resíduos de gnaisses e quartzitos que modelam morros e serrotes cujas altitudes variam de 160 a 380 m. São exemplos típicos desta superfície os serrotes de Curupira (386 m) e Ocara (270 m); (Fotos 1 e 2).

A região de Serragem, distrito de Curupira (Aracoiaba) corresponde precisamente à zona de transição da Superfície de Tabuleiros para a Superfície Sertaneja, dificultando sua distinção pelas altitudes.

2.2.2 - CLIMA

A área de ocorrência de manganês possui variação de pluviosidade anual entre 1.100mm (Pacajús) e 700 mm (Serragem), conforme observado no Mapa de Isoietas (pág.14).

Chove principalmente de janeiro a junho, representan-

Figura 2 - Variação de pluviometria (1912-1966) e temperatura (1964-1968) - médias mensais.

Fonte: Inventário Hidrogeológico do Nordeste, Folha Nº 10
- Jaguaribe NE-Estação de Morada Nova (MONOEL FILHO, 1971)

MAPAS DE ISOIETAS
Período: 1911 - 1958 (médias anuais)

-14-

Reproduzido a partir do mapa apresentado no inventário hidrogeológico do nordeste, Folha nº 10 (1971), subtraída a drenagem (MANUEL FILHO, 1971)

LEGENDA

100- Curvas de isoietas
Rio

Esc. aprox. 1:170 000

● Cidade, povoado
Área de ocorrência de manganês

do aproximadamente 90% da média anual. A pluviosidade dos meses de março e abril representa 46% da precipitação média anual (Fig. 2). Há anos em que as chuvas são escassas, caindo a pluviosidade até 140 mm/ano (MANOEL FILHO, 1971).

O sistema de chuvas, caracterizado anteriormente, engloba duas estações nitidamente diferentes: a estação chuvosa e a estação seca, denominadas na região de inverno e verão respectivamente.

A temperatura média anual é $27,3^{\circ}\text{C}$, com média máxima de $33,9^{\circ}\text{C}$ e média mínima de $22,0^{\circ}\text{C}$. No "inverno", a umidade relativa diária varia entre 70 e 75%; diminui para 55% no verão.

Os dados climáticos acima referidos se enquadram nos critérios estabelecidos para identificação de clima semi-árido para toda a região.

Os meses de maio a dezembro são propícios para trabalho de campo, tendo em vista que as precipitações de chuvas são poucas ou quase nulas.

2.2.3 - VEGETAÇÃO E SOLO

Distinguem-se na região 3 (três) tipos de vegetação: A caatinga seca arborizada e arbustiva, a caatinga úmida arborizada e a caatinga arbustiva. Esta última tem árvores de pequeno porte (2 a 5 m), ao contrário das duas primeiras que têm árvores de porte médio (5 a 15 m).

A caatinga arborizada seca e arbustiva se desenvolve em altitudes de 250 m a 350 m, com altura de 5 a 8 m, onde a pluviosidade se situa no intervalo de 800 a 1.000 mm/ano (GUICHARD, 1970). São típicas as seguintes árvores:

Marmeleiro	Caesalpina Pyramidalis	Leguminosa
Angico	Piptadena Macrocarpa	
Maniçoba	Manihot Glaziovii	Euforbiácea

A caatinga arborizada úmida se caracteriza por árvores de 5 a 15 m de altura, com desenvolvimento em região de pluviosidade variável entre 1.000 e 1.300 mm/ano. Ela é mais abundante na região de Pacajús. São típicas desta vegetação as seguintes árvores:

Cajueiro	Anacardium Occidentale	Anacardiácea
Mangueira	Mangifera Indica	
Carnauba	Copenicia Cerifera	Palmácea

A caatinga arbustiva, de árvores de pequeno porte, se caracteriza por árvores de tronco fino de 10 a 30 cm de diâmetro e 2 a 5 m de altura; desenvolve-se nos pediplanos em pequenas elevações, onde se encontram as ocorrências de manganês. São típicas desta vegetação as seguintes árvores:

Timbaúba		
Marmeleiro	Croton Hemiarogyreus	Euforbiácea
Catanduba		
Malícia		
Jitirana		

Nota-se que todos os tabuleiros, que anteriormente possuíam a vegetação arbustiva natural, estão atualmente reflorestados por cajueiros (Foto 1).

Na região distinguem-se dois tipos de solos: Os solos que se desenvolvem sobre o arenito e os solos que se desenvolvem sobre os gnaisses. O primeiro tem um aspecto ferralítico vermelho, recoberto geralmente por uma camada de areia branca (GUICHARD, Op.Cit.) e recobrindo os modelados A e B (Fig. 1). Os solos sobre gnaisses se desenvolvem em modelados C e são pouco espessos (10 cm).

2.2.4 - REDE HIDROGRÁFICA

A rede hidrográfica da região é independente da grande bacia do rio Jaguaribe. A área é banhada por dois pequenos rios intermitentes, de direção SW-NE: Os rios Chorô e Pirangi, que passam pelos povoados de Chorozinho e de Cristais respectivamente, e desembocam diretamente no mar.

Os alinhamentos dos riachos estão diretamente relacionados a fraturas secundárias resultantes da formação de grande falha que corta a região (Falha "Senador Pompeu").

No pediplano e nos terrenos metamórficos, a declividade dos rios se aproxima do perfil de equilíbrio, onde formam vales abertos em grandes planícies e baixos interflúvios.

Geralmente os rios correm sobre os modelados A e B, desenhados na Figura 1.

As ocorrências de manganês de Serragem e Lagoa do Riacho se encontram em zona mesopotâmica, dentro da bacia do rio Pirangi e vizinhas ao interflúvio que separam os rios acima referidos.

3 - HISTÓRICO DA PROSPECÇÃO DA ÁREA

A seqüência de fatos, ora relatados, foi comunicada verbalmente por João Lopes da Silva (1978), prospector do Departamento de Minas do Estado do Ceará.

Em 1951, Basílio Neto, comerciante local com escritório à rua José Avelino em Fortaleza (CE), era concessionário de uma área de ocorrência de minério em Fiúza, em Chorozinho no município de Pacajús. João Lopes da Silva, prospector oriundo das regiões de Pegmatito dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, encontrou amostras de minerais no escritório de Basílio

Neto e as identificou como minérios de manganês. Fez, então, um reconhecimento da área de onde as amostras tinham sido coletadas, encontrando pequenas ocorrências na região de Pacajús. Numa etapa posterior de trabalho encontrou depósitos alterados que se estendem até a região de Curupira, no município de Aracoiaba.

Ainda em 1951, João Lopes da Silva iniciou trabalhos de prospecção em Serragem (Curupira), tendo em vista que os depósitos de Chorozinho já estavam sendo prospectados. Para isso, organizou a firma Ceará Manganês Ltda. em sociedade com Jorge Cordeiro, funcionário do CREA-Fortaleza e Nataniel Brito, curioso em Mineração.

Os trabalhos preliminares foram executados com grande dificuldade e de maneira precária, entre 1951 e 1957. Por este tempo, a Mineração "Caribe", empresa internacional ligada ao Grupo Rockefeller, se interessou pela área e se dispôs a continuar o trabalho, de comum acordo com a Ceará Manganês Ltda. Foram executadas sondagens com trados rotativos e escavações de trincheiras e poços. A malha variava de um lugar a outro, de 20 a 50 m de distância entre os poços. A profundidade máxima dos furos de trado era de 20 m.

Posteriormente foram contratados os serviços da Companhia T. Janer, que, empregando sondas rotativas, perfurou poços até 60 m de profundidade.

Em 1958, a Mineração Caribe implantou um pequeno laboratório químico de campo para pronta análise do material coletado. Até o momento, os resultados deste imenso trabalho não foram publicados ou comunicados de alguma maneira.

Com o afastamento da Mineração Caribe, as pesquisas permaneceram paralisadas por 11 anos (Quadro nº 2).

Em 1970, os trabalhos foram recomeçados pela Urandi Mineração com reconhecimento de campo de todos os depósitos.

Em 1973, foram reiniciadas as pesquisas de campo pela Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul (Cruzul), subsidiária

da Urandi Mineração. Foram feitos novos furos de sonda e escavados outros poços e trincheiras. Muitas escavações ainda permaneciam como testemunhos de prospecções anteriores. O Departamento de Minas do Estado do Ceará colaborou com esta última fase, emprestando sondas rotativas e operadores auxiliares.

Em 1975, a mineração apresentou ao DNPM os relatórios de pesquisa referentes a diversas áreas de concessão (CRUZUL, 1975).

QUADRO Nº 2

RESUMO DA HISTÓRIA DA PROSPECÇÃO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DE MANGANÊS DE PACAJÚS-ARACOAIBA (CE)

DATAS	EVENTOS
1951	Descoberta das ocorrências de manganês
1951-1957	Prospecções desenvolvidas pela mineração Ceará Manganês Ltda.
1957-1958	Prospecções desenvolvidas pela Mineração Caribe
1959-1970	Paralisação de todos os trabalhos
1973-1974	Prospecções desenvolvidas pela Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul
1975	Apresentação de Relatórios ao DNPM pela Mineração Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

COELHO (1957) cita ocorrências de manganês nos locais de Fiúza (Pacajús) e Serrote, Serragem, Ludgero, Canafístula e Lagoa dos Porcos (Aracoiaba); encontram-se como lentes em quartzitos e trata-se de "horizontes manganésíferos da Série Ceará, provenientes de filitos intercalados em quartzitos", que, às vezes, por erosão, formam "depósitos aluviais".

MANOEL FILHO (1971) faz uma análise pormenorizada do clima e um esboço da geologia regional. Estabelece para a área a seguinte seqüência estratigráfica:

Dunas

Arenitos (Formação Barreira)

Micaxistos (Formação Seridó)

Quartzitos dominantes (Formação Equador)

Meta-arcôssios, gnaisses bandeados e
facoidais (Grupo Caicó)

A área de manganês situa-se dentro da zona de mica-xisto da Formação Seridó, conforme MANOEL FILHO (Op.Cit.).

SANTOS *et al.* (1972) compila o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1/500.000, no qual os depósitos de manganês estão localizados na Série Ceará.

MORAES (1973) faz um levantamento de ocorrências de todos os minerais do Estado do Ceará, onde cita as ocorrências da província de Aracoiaba-Pacajús, como depósitos importantes para estudo.

MORAES (1974) faz uma descrição sumária de todas as ocorrências de manganês do Estado do Ceará. O protominério de manganês de Aracoiaba-Pacajús é descrito como um granada-quartzito, constituído de 50% de quartzo, 40% de granada e 10% de material mangano-ferruginoso.

LEGENDA

Coberturas farenzóicas

Fossas molássicas

Coberturas dobradas dos maciços

Granitos pós-tectônicos

Maciços medianos

Línea

Falha (F.)

Falha transcorrente

Falha de empurrão

Falha normal

Direções de foliação

Apresenta algumas análises químicas onde o teor de Mn oscila entre 16 a 43% (Tabela nº 17).

MORAES (1974) sugere a existência de várias lentes paralelas de protominério de manganês, intercaladas no migmatito regional, pertencente ao Pré-Cambriano Inferior.

DANTAS (1974) situa a área de ocorrências de manganês de Aracóiaba-Pacajús na Série Ceará. Geotectonicamente a área é incluída nos "Dobramentos Caririanos" hoje conhecidos também como "Faixas de Dobramentos do Nordeste".

BRITO NEVES (1975) posiciona tectonicamente as ocorrências de manganês na faixa jaguaribean, conforme Mapa Geotectônico na página 21. Esta faixa se situa dentro do ciclo transamazônico sendo remobilizada no ciclo brasileiro. Na estratigrafia da faixa jaguaribean, distinguem-se 4 (quatro) seqüências: 1 - Substrato granito-gnaiss, 2 - Seqüência basal metapsamítica, constituída de gnaisses a biotita e hornblenda, gnaisses a duas micas e inúmeras intercalações de quartzito-gnaiss e quartzitos com lentes carbonáticas no topo; de maneira restrita, aparecem intercalações de anfibólito-xistos; o metamorfismo é, em geral, de fácies anfibólito, 3 - Seqüência terrígena superior, formada por sedimentação argilo-arenosa, constituída de quartzitos micáceos, níveis carbonáticos e metabasitos e 4 - Depósitos ortomolássicos da bacia de Cococi de origem pós-geossinclinal.

A Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul -Cruzul (1975), em relatório de pesquisa ao Departamento Nacional da Produção Mineral, classifica o protominério de manganês da região como "Gondito", em correlação com os depósitos da Índia. O gondito é descrito com composição de 42% de espessartita, 39% de quartzo e 8% de opacos. Foi formado em metamorfismo de grau médio entre a fácies xisto verde e fácies anfibólito. O teor médio de manganês varia entre 27% e 31% aproximadamente.

BRAGA *et al.* (1977) situa as ocorrências de manganês dentro da faixa orogenética tipo "Mobile Belt", relacionada a terrenos metamórficos portadores de silicatos manganésíferos e

MAPA GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA
MANGANESÍFERA DE ARACOIABA-PACAJUS(CE)
Extraído do Projeto Fortaleza, Braga(1977)
Folha Aracati-SB-24-X-A

LEGENDA

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS.

(Quaternário)	Qa	aluviões.
Terciário	TQc	cobertura colúvio-estuvial
	TQb	Grupo Barreiras.
Pré-Cambri- no	pEce	Grupo Ceará.
	pEc	Complexo Caicó.
	q	quartzito.
	pEda	diques ácidos.

- Contato definido.
- Atitude da foliação.
- Foliação com marcação de caimento da lineação.
- Falha transcorrente de Sen. Pompeu.
- Falha encoberta.
- Fratura.
- Traços da foliação.
- Foliação.
- Antiforme com caimento.
- Dique.
- Região de pegmatito.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovia federal.
- Rodovia estadual.
- Estrada carroçável.
- Rios e riachos temporários.
- Açude.
- Lagoa.
- Cidade.
- Povoador.
- Lugarejo.

ESCALA
0 10 Km

"pobres em quartzitos". Os autores apresentam um mapa geológico em escala 1/250.000, onde são localizadas as ocorrências (pág. 23). O protominério é constituído de quartzo, rodocrosita e granada. O minério de manganês é formado principalmente de pirolusita e criptomelano.

BRAGA *et al.* (Op.Cit.) situa as áreas de manganês no Pré-Cambriano Inferior, representado pelo Complexo Caicó, constituído de gnaisses e quartzitos.

ABREU (1978) cita os depósitos de manganês situados em Cangati (Quixadá) e Aquiraz como originados por alteração pouco pronunciada de rochas com espessartita, cujas análises apresentam teores de 15% de SiO_2 , 44,9% de Mn, 70,9% de MnO_2 , 2,4% de Fe e 0,05 de P. Esta ocorrência já foi reportada por SOUZA (1939), como pertencente ao município de Baturité.

5 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi dirigida no sentido de posicionar os depósitos de manganês dentro de um contexto geológico. Para isso foram estudadas as rochas encaixantes e suas relações com o protominério de Mn, a fim de estabelecer as condições de metamorfismo. Além do mais, foi feito um posicionamento estratigráfico, estrutural e geotectônico para todo o conjunto litológico.

Foram estabelecidas as paragêneses do protominério de sua parte oxidada. A paragênese primária sedimentar foi inferida a partir de dados experimentais registrados na literatura especializada comparados com os dados conseguidos por meio dos procedimentos relacionados a seguir.

5.1 - TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado em três etapas. Na primeira foi feito um reconhecimento geral de 17 ocorrências da província manganésífera de Aracoiaba-Pacajús, com o objetivo principal de selecionar dois depósitos para trabalho pormenorizado. Foram escolhidas as áreas de Serragem e Lagoa do Riacho, em virtude de um maior número de serviços de exploração, e tendo em vista que todos os depósitos são homogêneos quanto aos fatores geológicos gerais. Ainda nesta etapa, foram coletadas amostras para estudos preliminares.

Com base nos dados colhidos durante o reconhecimento de campo, foi elaborado um plano de pesquisa em que estavam previstos os trabalhos a serem executados na fase posterior de campo.

Na segunda etapa, foi realizada uma coleta de rochas encaixantes e de protominério, de âmbito regional, a fim de possibilitar a determinação da fácies metamórfica dos depósitos e suas características.

Numa terceira etapa foram feitos trabalhos de geologia local, que foi esboçada a partir de descrição e amostragem de furos de sonda e de poços e trincheiras de exploração, remanescentes de trabalhos anteriores historiados no item 3.

Devido à profundidade das escavações (8 a 12 m), a amostragem foi feita com auxílio de sarilho e corda. Os poços de Serragem foram amostrados de metro em metro. Os furos de sonda foram amostrados em caixas de testemunho armazenadas em um depósito na localidade de Serragem.

De maneira geral, cuidou-se em coletar amostras de protominérios em vários estágios de alteração.

5.2 - DETERMINAÇÃO DE MINERAIS E TEXTURAS

A presente investigação combina o estudo óptico rotineiro, por observação em lâminas delgadas e em seções polidas, com a análise de pó por raio X, em câmara Debye-Scherrer com filme de 114,6 mm, para determinação de minerais, principalmente óxidos de manganês.

Esse método envolve inicialmente a escolha de amostras que incluam vários tipos de textura e mineralogia para confecção de seções polidas e lâminas. Das seções polidas e das lâminas delgadas são obtidas fotomicrografias no aparelho "Ultraphot II", da Zeiss, em chapas rígidas tamanho 9 X 12 cm. Posteriormente é feito um estudo de textura e mineralogia. Os minerais de identificação duvidosa são extraídos em forma de pó, a partir da seção polida, por meio de broca de dentista com estilete diamantado; os pontos de amostragem são lançados nas fotomicrografias. O pó do mineral é misturado em cola, ressecado e transformado em pequenos filetes ("Biscoito") que são postos na câmara de difração em local apropriado, a fim de ser atingido pelos raios X, que se difratam e imprimem curvas (raias) nos filmes dispostos circularmente na própria câmara. Para leitura dos filmes emprega-se o "leitor" tipo Norelco, com precisão de $0,5^{\circ}$. Pelo fichário JCPDS (1971) determinam-se parâmetros que identificam o mineral. Esta identificação é confirmada por ASTM (1965).

Para definir a composição da granada foram utilizados três parâmetros: $\Delta 2\theta$ (diferença de dois teta), D (densidade) e n (índice de refração). A diferença de 2θ ($\Delta 2\theta$) foi calculada a partir da cela unitária, obtida a partir do filme de difração de raios X, conforme método descrito por AZÁROFF *et al.* (1958). A densidade (D) dos grãos foi obtida através de imersão em licor de Clerici, cujo índice de refração foi medido em refratômetro tipo Leintz-Jelly. Posteriormente este índice foi lançado em uma curva de variação de densidade em função do índice de refração (JAHNS, 1939). O índice de refração (n) foi

obtido com imersão em líquidos padronizados e observados ao microscópio com transmissão de luz de sódio. Os índices de refração dos líquidos utilizados foram verificados no refratômetro tipo Leintz-Jelly.

Os parâmetros assim determinados foram lançados em nomogramas associando $\Delta 2\theta$ e n , $\Delta 2\theta$ e D e n e D . A composição molecular mais coerente foi o resultado utilizado neste trabalho. Este método está descrito, em pormenores, por MADUREIRA FILHO (1972) e CAMARGO & MADUREIRA FILHO (1976).

5.3 - ANÁLISES QUÍMICAS

Foram utilizados dados de análises químicas, executadas pela Sociedade Brasileira de Superintendência S/A, com laboratórios à rua Simimbu, 407 (Rio de Janeiro), em 114 amostras enviadas pela Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul (1975) para determinação do teor em Mn; e em seis amostras para determinação do teor em Mn, Fe, SiO_2 , Al_2O_3 e P. Estas amostras são referentes a várias ocorrências.

Foram utilizados também dados de análises em 19 amostras de toda a área encontrada em MORAES (1974), quanto a Mn, Fe, SiO_2 , P, S e H_2O .

O laboratório do Departamento de Minas analisou dez amostras com determinação de Mn, Fe, SiO_2 , Al_2O_3 e P, em rochas referentes a Serragem e Lagoa do Riacho, coletadas na segunda etapa de campo.

O laboratório de química do Departamento de Petrografia e Mineralogia (USP) realizou três análises em amostras de rocha encaixante a fim de auxiliar na determinação das condições de metamorfismo.

O laboratório Puriquima, situado à rua da Encarnação, 18 (S. Paulo, SP) realizou análises em seis amostras para determinação de Pb, Zn, Cu, Ni e Co por meio de espectômetro de ab-

sonorção atômica em aparelho modelo 1250 (Varian Techtron).

Os elementos Cr e Sr foram determinados por meio de espectrômetro de Fluorescência de Raios X, em aparelho tipo Philips, do Centro de Geocronologia do Instituto de Geociências (USP).

5.4 - ESTUDO DE FALHAS TRANSCORRENTES

Foi utilizado o modelo regmático de MOODY & HILL (1956) e MOODY (1973) para fazer correlações entre falha e mineralização. Embora a teoria se encontre explicitada em LOCZY *et al.* (1976), apresenta-se aqui um resumo suficiente para compreensão imediata da nomenclatura usada no texto.

Para os autores acima referidos, um esforço primário compressivo causa dois padrões de falhas transcorrentes de primeira ordem, com ângulo de 30° em relação à direção de tensão principal compressiva. Apenas um dos padrões se manifesta plenamente (Figs. 3 e 4).

Em função do esforço principal surgem falhas transcorrentes subordinadas à falha principal e dobramentos de primeira ordem perpendiculares à direção do esforço principal (Fig. 3, letra b) e dobramentos de segunda ordem formando 15° com a falha principal (Fig. 4, letra c).

As falhas transcorrentes de todo o mundo pertencem a dois sistemas primários de esforço compressivo: 1º - Sistema Tectônico Meridional, com esforço principal de direção N-S (Fig. 5). 2º - Sistema Tectônico Equatorial com esforço principal de direção E-W (Fig. 6).

O sentido do movimento relativo dos blocos é contrário ao vértice do ângulo agudo entre os dobramentos secundários e a falha transcorrente principal (MOODY, 1973), conforme Figura 7.

Figura 3 - a) direção primária de tensão principal compressiva

b) direção primária de dobramento e empurrão

Figura 4 - Deformação de 2ª ordem

Figuras 5 e 6 - Sistemas Tectônicos de falhas transcorrentes. α = azimuth de direção compressiva principal. β = ângulo de cisalhamento e γ = ângulo dos dobramentos secundários.

Figura 7 - O vértice do ângulo a_1 tem direção sudoeste, enquanto o Bloco A possui movimento de direção nordeste; O vértice do ângulo a_2 tem direção nordeste, enquanto o Bloco B possui movimento de direção sudoeste.

6 - GEOLOGIA REGIONAL

6.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A TECTÔNICA REGIONAL

As mineralizações de manganês estão associadas à faixa jaguaribean (BRITO NEVES, 1975). Neste capítulo, tenta-se relacionar geologicamente as mineralizações às falhas transcorrentes que cortam esta faixa (Vide Mapa Geológico, pág. 23). Para tal intento, aplica-se o modelo de MOODY & HILL (1956) e MOODY (1973) sobre dados colhidos no campo e na literatura.

As faixas de dobramento do Estado do Ceará estão divididas em blocos tectônicos separados por falhas transcorrentes (KEGEL, 1965 e BRITO NEVES, 1975). A faixa jaguaribean é cortada pela faixa transcorrente de Senador Pompeu (N45°E) e pela falha transcorrente Sabonete-Inharê (N40°E) que a separa do maciço de Troia (Vide Mapa Geotectônico, pág. 21).

BRITO NEVES (Op.Cit.) afirma que a falha de Senador Pompeu é dextrógiro. Isto pode ser inferido a partir de observações do sentido do vértice dos ângulos agudos formados por fa-

lhas menores com a falha principal, em fotografias aéreas comuns. Sabe-se, pragmaticamente, que o movimento relativo dos blocos tem direção contrária ao vértice do referido ângulo, conforme mostra a Figura 7. Sendo assim a falha de Senador Pompeu pode ser esquematizada conforme Figura 8.

Figura 8

Falha dextrógira de Senador Pompeu. O sentido do movimento do bloco B (Bloco direito) é para o observador.

A falha de Senador Pompeu, pelo fato de ser dextrógira e por possuir direção $N45^{\circ}E$, se enquadra no Sistema Tectônico Equatorial, tipo Nova-Zelândia, ou seja, direita equatorial (Fig. 6, pág.29). Neste caso seus parâmetros aproximados são: $\alpha = 82^{\circ}$ (Azimute) e $2\beta = 74^{\circ}$.

No Mapa Estrutural (pág. 32) pode ser observado um sistema de dobramentos primários perpendiculares à direção do esforço de compressão principal, na região de Bonhu e que pode estar associado à falha de Senador Pompeu. No mesmo mapa, a leste de Curupira são observados dobramentos formando 15° (gama) com a falha de Senador Pompeu; estes são considerados dobramentos de 2ª ordem do Sistema Equatorial tipo Nova-Zelândia (Fig. 9).

Superimposto ao Sistema Equatorial de falhas transcorrentes, existe o Sistema Meridional representado na área pela falha Sabonete-Inharé, que delimita o maciço de Tróia em relação à faixa jaguaribean. Pelo mesmo critério aplicado ante-

MAPA ESTRUTURAL DE PARTE DA ÁREA DO PROJETO FORTALEZA

(CPRM), segundo BRAGA et al - 1977

LEGENDA

- Sinclinal normal
 - Anticlinal inclinada
 - Sinforme
 - Antiforme
 - Sinforme com indicação de plunge
 - Sinforme com duplo caimento do eixo
 - Antiforme com duplo caimento do eixo
 - Falha transcorrente
 - Falha transcorrente, localmente c/ rejeito múltiplo
 - Falha de natureza indiferenciada
 - "Trend" de foliação-Complexo gnáissico-migmatítico
 - Coberturas Pós-Paleozóicas
 - a- Plutões catazonais
 - b- Domo gnáissico-granítico
 - A Área de manganês de Serragem e Lagoa do Riacho - Aracoiaba
 - Lm Esquerda meridional
 - Re Direita equatorial
- Escala 1:1.250.000

riormente, infere-se que esta falha é levôgira, e como tal, perpendicular à esquerda meridional, tipo Great Glen, conforme Figura 5.

Figura 9 - Dobramento de 2ª ordem formando 15° com a falha transcorrente de Senador Pompeu (N45°E).

Estas duas falhas (Senador Pompeu e Sabonete-Inharê) delimitam um bloco tectônico que foi movimentado em épocas diferentes, já que o sistema equatorial, comumente, é mais antigo que o sistema meridional (MOODY, Op.Cit.). Como consequência, os dobramentos sinformes e antiformes têm atualmente uma orientação que variam desde NE-SW ao sul da área, até NW-SE ao norte, devidos aos movimentos diferenciais entre duas falhas (Mapa Estrutural, pág. 32). Os serrotes de Ocara e Curupira sofreram os efeitos conjuntos destas duas falhas.

Em resumo, os depósitos de manganês da região de Bonhu estão associados tectonicamente aos dobramentos primários, perpendiculares ao esforço principal de que resultou a falha de Senador Pompeu. Ao contrário, os depósitos de Serragem (Curupira) estão associados aos dobramentos de 2ª ordem ligados a mesma falha.

6.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOCRONOLOGIA DA REGIÃO

Na faixa jaguaribeana existem várias determinações radiométricas pelos métodos Rb-Sr e K-Ar (Tabela 1). A partir dos dados de Rb-Sr em rocha total, foram construídas duas isócronas: uma delas, a partir dos migmatitos da região de Quixadá, que se inclui no mesmo bloco tectônico da região de Serragem (KAWASHITA *et al.*, 1976, Fig. 10); a outra, a partir de gnaisses e migmatitos coletados entre Iguatu e Tróia (BRITO NEVES, 1975, Fig. 11). Em ambos os casos trata-se de isócronas de referência com idade aproximada de 2.000 m.a., e razões iniciais respectivas de 0,707 e 0,703. Indicam, portanto, a existência de rochas do ciclo transamazônico na faixa jaguaribeana, no bloco tectônico compreendido entre as falhas transcorrentes de Senador Pompeu e Sabonete-Inharé no maciço mediano de Tróia.

Nas mesmas áreas em que foram obtidas as amostras transamazônicas por KAWASHITA *et al.* (1976) e BRITO NEVES (1975), outros dados Rb-Sr em rocha total evidenciaram a existência de episódios formadores de rochas no ciclo brasileiro. Nas Figuras 10 e 11 aparecem claramente as tendências de vários pontos analíticos alinharem-se segundo isócronas de referência de 570 e de 550 m.a. respectivamente.

Segundo BRITO NEVES (1975), a isócrona de referência de 550 m.a. por ele traçada (Fig. 11) enquadra um evento termo-tectônico pós-orogênico, caracterizado por instabilidade ao longo de toda a falha de Senador Pompeu. Na parte nordeste da falha há ascensão de fluidos hidrotermais formando pegmatitos homogêneos e heterogêneos; na parte central, há formação de dique de natureza monzonítica, diorítica e granodiorítica (BRAGA, 1977) e na parte sudoeste ocorrem movimentos verticais que condicionam o surgimento da fossa tectônica de Cococi, preenchida por sedimentos molássicos, durante o Eo-Cambriano.

Outras rochas migmatíticas, em regiões vizinhas, do

PONTO	NÚMERO	ROCHA	MATERIAL	LOCALIDADE	MÉTODO	IDADES CONVENCIONAIS m. a.	REFERÊNCIAS
Isócrona de Referência de 2.020 ± 130 m.a., com $RI = 0,707$							4
12a	Q-1	Gnaiss	Rocha Total	Quixadá	Rb-Sr		4
12b	PV-36	Gnaiss	Rocha Total	Quixadá	Rb-Sr		4
12c	PV-35	Gnaiss	Rocha Total	SW-Quixadá	Rb-Sr		4
12d	PV-37	Gnaiss	Rocha Total	W-Quixadá	Rb-Sr	560	4
Isócrona de Referência de 570 ± 80 m.a., e $RI = 0,707$							4
24a	SJ-B-1	Migmatito paleossoma	Rocha Total	Caucaia	Rb-Sr	609 ± 111	3
24b	SJ-B-2	Gnaiss listrado	Rocha Total	Caucaia	Rb-Sr	1.358 ± 483	3
24c	SJ-B-3	Migmatito leucossoma	Rocha Total	Caucaia	Rb-Sr	742 ± 257	3
24d	SJ-B-4	Gnaiss	Rocha Total	Caucaia	Rb-Sr	768 ± 56	3
Isócrona Verdadeira de 737 ± 25 m.a., com $RI = 0,706$							
23	D-8,D-10	Gnaiss e migmatito	Rocha Total	Maranguape	Rb-Sr	630 - IR	2
9c	B-6-8a	Dique quartzo-diorítico	Rocha Total	S-Cruzeta	Rb-Sr	512	1
9d	B-6-8	Dique quartzo-diorítico	Rocha Total	S-Cruzeta	Rb-Sr	650	1
10a	B-6-7a	Dique monzodiorítico	Rocha Total	S-Cruzeta	Rb-Sr	588	1
10b	B-6-7b	Dique monzodiorítico	Rocha Total	S-Cruzeta	Rb-Sr	470	1
10c	B-6-7c	Dique monzodiorítico	Rocha Total	S-Cruzeta	Rb-Sr	510	1
11a	B-6-10a	Dique granodiorítico	Rocha Total	N-Tauá	Rb-Sr	263	1
11b	B-6-10b	Dique granodiorítico	Rocha Total	N-Tauá	Rb-Sr	527	1
Isócrona de Referência de 550 ± 65 m.a., $RI = 0,704$							
12e	Q-1	Gnaiss	Biotita	Quixadá	Rb-Sr	450	4
12f	Q-1	Gnaiss	Hornblenda	Quixadá	K-Ar	530 10	4
12g	Q-1	Gnaiss	Feldspato	Quixadá	K-Ar	452 14	4
12h	Q-1	Gnaiss	Biotita	Quixadá	K-Ar	493 14	4

REFERÊNCIAS: 1 - BRITO NEVES (1975); 2 - CORDANI (1974); 3 - CPGeo-USP (inédito); 4 - KAWASHITA et al. (1976)

RI = RAZÃO INICIAL

Figura 10 - Isócronas para os gnaisses e migmatitos das regiões de Quixadá e Banabuiu (KAWASHITA et al., 1976).

Figura 11 - Diagrama isocrônico para rochas da faixa Jaguaribe e maciço de Trôia (BRITO NEVES, 1975).

Estado do Ceará (Maranguape), forneceram resultados analíticos interpretados como pertencendo a isócronas brasileiras, com 630 m.a. (CORDANI, 1974).

Em resumo, a partir de dados geocronológicos disponíveis, é possível relacionar, para a região de ocorrência de manganês, três eventos importantes:

1 - O ciclo transamazônico, representado na região pela formação de migmatitos e gnaisses do Complexo Caicó, com idade aproximada de 2.000 m.a.

2 - O ciclo brasileiro, com idade aproximada de 650 m.a., implantado sobre o embasamento transamazônico e representado na região vizinha por metassedimentos (xistos, quartzitos, etc.) que formam cristas de morros (Boqueirão do Cesário e Patos) e cujo conjunto constitui o Grupo Ceará.

3 - Evento magmático (e vulcano-sedimentar) pós-orogênico, representado na região por pegmatitos heterogêneos produtores de Be, Li, Ta, etc. (MORAES, 1973), com idade aproximada de 550 m.a.

7 - GEOLOGIA LOCAL

7.1 - AFLORAMENTOS

Na região de Serragem e Lagoa do Riacho, os afloramentos naturais de rochas manganíferas ocorrem em baixa altitude (100 a 115 m) e se encontram sempre intemperizados. Camadas alteradas escuras se alternam com camadas alteradas cinza-claras. Cada uma varia de 1 a 10 cm de espessura, e comumente estão encaixadas por granada-quartzitos em início de alteração.

Estes afloramentos são indicados no campo por blocos rolados e/ou cangas de óxidos de manganês que recobrem o solo nas proximidades. Geralmente este solo coluvial manganífero

ocupa uma área em torno de 20.000 m².

Os afloramentos artificiais de Serragem e Lagoa do Riacho são inúmeros (Vide Mapas, pág.39 e 41). A partir da descrição das principais escavações (Anexo I) foram confeccionados perfis geológicos C D e E F transversais à direção geral das rochas encaixantes (pág. 40).

Com os dados de furos sonda, cujas perfurações foram empreendidas pela Companhia Siderúrgica Cruzeiro do Sul em 1973, foram confeccionados dois perfis transversais à direção geral das rochas (AB e A'B' pág.39 e 41). situados nos mapas geológicos de Serragem e Lago do Riacho, respectivamente.

Os afloramentos de rochas encaixantes na região, por conveniência são descritos no item 7.3, relativo à petrografia.

7.2 - DESCRIÇÃO DE POÇOS E FUROS DE SONDA

7.2.1 - POÇOS

Em Serragem e Lagoa do Riacho existem 64 poços, dos quais 16 são descritos pormenorizadamente e cujos dados (Anexo I) são utilizados para interpretação de estrutura e estratigrafia da área. Neste item, é feito uma síntese de todas as descrições, evitando-se assim a descrição poço por poço, por ser muito enfadonha.

Podemos distinguir dois perfis típicos: um deles, baseado em escavações feitas diretamente sobre o protominério de manganês (Fig. 12); e outro, baseado em escavações feitas diretamente sobre o migmatito-gnaiss e/ou pegmatito (Fig. 13).

O perfil da Figura 12 apresenta, como substrato, o migmatito-gnaiss alterado, constituído macroscopicamente de granada, quartzo e feldspato, e cortado por pegmatito homogêneo, cujo feldspato apresenta estrutura gráfica. Sua espessura não é conhecida por meio de poços.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS SERRAGEM - ARACOIABA - CE

Esboço Geológico

LEGENDA

- FS₁ Furo de sonda
- 32 Poço
- △ Atitude de foliação
- ▨ Área de Rolados de Mn e afloramento de gondito
- Solo arenoso vermelho
- - - Contato
- Curvas de nível
- △ Afloramento
- × Cerca
- Casa

Escala 1:1000

LEGENDA DO PERFIL

- Solo arenoso
- ▨ Rolados de manganês
- ▨ Protominério de Mn
- ▨ Gnaise
- - - Nível de intemperismo
- Furo de sonda

PERFIL A-B

Escala - H 1:1500
Escala - V 1:770

Figura 12 - Perfil vertical baseado na descrição de poços escavados sobre o protominério (Nº 15, 16, 20, 34, 39 e 42 em Serragem, e Nº 1 em Lagoa do Riacho, conforme Anexo I).

Superimposto ao migmatito-gnaiss, encontra-se um pacote de rochas constituído de granada-quartzito (Fig. 12, letra c) com impregnações de óxidos de manganês e espessura variável entre 0,1 a 7,00 m. Neste conjunto de rochas está encaixado o protominério de manganês, em que se observa uma camada muito alterada (Fig. 12, letra a) alternando com outra menos alterada (Fig. 12, letra b). O conjunto do protominério com o granada-quartzito tem uma espessura variável até 3,50 m e mergulha 75° para nordeste.

Acima deste pacote de rochas quartzíticas ocorrem blocos rolados de protominérios de manganês de 5 a 20 cm de diâmetro, com espessura variável de 0,2 a 0,80 m.

Acima deste nível de blocos rolados, se observa um colúvio constituído de esferas concêntricas de óxidos de manganês e misturados com blocos rolados de protominérios de manganês alterados. A quantidade e tamanho de esferas concêntricas aumentam de baixo para cima, enquanto ocorre o inverso em relação à quantidade e tamanho de blocos rolados. Todo o conjunto varia de 1 a 3,00 m de espessura.

Como cobertura, há um nível de solo arenoso vermelho, de granulação média e, em parte, edafizado, em que se observam esparsos blocos rolados de rochas manganíferas.

O perfil da Figura 13 apresenta, como substrato, um pegmatito homogêneo com preservação de veios de quartzo ou um migmatito-gnaiss cortado por pegmatito homogêneo.

Acima deste substrato se observa um solo arenoso vermelho, proveniente de alteração de rochas metamórficas. Este facto é inferido a partir da observação de feições (foliação) preservadas nas rochas metamórficas alteradas. A espessura desta camada varia de 0,3 a 2 m.

Superimposto a essa alteração "in situ", observa-se um colúvio de blocos rolados de óxidos de manganês de 1 a 25 cm de diâmetro, misturado com grãos angulosos de quartzo e feldspato.

Como cobertura, há uma camada arenosa vermelha, de granulação fina igual à parte superior da Figura 12.

Variação de Espessura em m	Estratificação	Descrição
0 - 2,30		Solo arenoso vermelho, eda fisado, de granulação fina
0 - 1,80		Blocos rolados de óxidos de manganês de 1 a 25 cm de comprimento, ao lado de blocos angulosos de quartzo e feldspato
0 - 2,00		Solo arenoso vermelho proveniente de alteração de rocha metamórfica, e blocos de quartzo e feldspato de 0,1 a 2 cm de diâmetro
	Pegmatito homogêneo com preservação de veios de quartzo ou migmatito-gnaiss

Figura 13 - Perfil vertical baseado em descrições de poços escavados sobre gnaiss ou pegmatito (Nrs. 12, 13, 18, 19 e 21 em Serragem, conforme Anexo II)

7.2.2 - FUIROS DE SONDA

Em Lagoa do Riacho foram feitos seis furos de sonda a diamante, cujas descrições foram utilizadas para construir o perfil transversal A'B' do Mapa Geológico respectivo (pág. 41).

Em Serragem foram utilizadas as descrições de perfis verticais de furos de sonda (Anexo II) para construção do perfil transversal A B do Mapa Geológico da área (pág. 39).

Nos perfis verticais de furos de sonda (Anexo II) observa-se um pacote de rochas constituído de granada-quartzito e de protominério de manganês, com espessura variando de 1,5 a 3 m; estão encaixados em migmatito-gnaiss. Todas as rochas se encontram alteradas até a profundidade de 23 m. Em outros perfis, em Lagoa do Riacho esta profundidade vai até 37 m.

7.3 - PETROGRAFIA

7.3.1 - ENCAIXANTES

7.3.1.1 - MIGMATITO-GNAISSE

Migmatito-gnaiss em Serragem e Lagoa do Riacho

Nos afloramentos artificiais de poços em amostragem de testemunhos de furos de sonda, se observam migmatito-gnaisses de cores cinza a branco, de tonalidades róseas e granulação média a grosseira.

Em Serragem, estas rochas se encontram alteradas até uma profundidade de 23 m aproximadamente, enquanto em Lagoa do Riacho se encontram alteradas até 37 m.

No migmatito-gnaiss é observada uma textura grano-blástica e composição mineralógica seguinte: quartzo (70%), peritita (3%), plagioclásio-An 28 (14%), biotita (<4%), almandina (5%), silimanita (<1%) e apatita (<1%).

Existem lentes concordantes de pegmatitos homogêneos localizadas geralmente em núcleos de sinformes e antiformes. Suas dimensões variam de 20 a 50 m de comprimento e de 3 a 8 m de largura. O perfil transversal A'B' do Mapa Geológico de Lagoa do Riacho (pág. 41) mostra quatro lentes em relação ao proto-minério e ao gnaiss.

Macroscopicamente, nestes pegmatitos se observam quartzo, mica, feldspato e grafita em palhetas. Microscopicamente é descrita a seguinte composição mineralógica: biotita, quartzo, plagioclásio, grafita, microclíneo e pertita.

Migmatito-gnaiss no Serrote Pelado

Nas áreas mais próximas a Serragem e Lagoa do Riacho, o migmatito-gnaiss é representado geomorfologicamente pelo Serrote Pelado e pelo Serrote Ocara.

O Serrote Pelado é um grande afloramento de migmatito-gnaiss em que se alternam camadas de almandina e biotita e camadas de feldspato, com uma foliação de direção N-S e mergulho 80° W. Não está comprovado que se trata de um migmatito na acepção de MENHERT (1971), mas descritivamente trata-se de um migmatito estromatítico.

O migmatito-gnaiss do serrote Pelado, em amostra de mão, tem aparência de um biotita-granada gnaiss tipo kinzigito (HEINRICH, 1960) em que as granadas são porfiroblásticas (diâmetro de 1 a 5 mm) e concordantes com a foliação; no entanto, falta cordierita para classificá-lo como tal.

Esta rocha tem coloração branca com tonalidade rósea em função da granada e possui granulação grosseira.

Ao microscópio, possui textura granoblástica e composição mineralógica constituída de: quartzo (65%), almandina (3%), biotita (12%), plagioclásio-An 28 (14%), silimanita (<3%) e ortoclásio (<3%).

Todo o conjunto de migmatito-gnaiss é cortado por

veios pegmatitos homogêneos. Uns são concordantes (Fig. 14, letra c), com espessura variando entre 2 a 30 cm. Outros são discordantes (Fig. 14, letra b), com espessura variando entre 0,5 a 1,2 m.

Figura 14 - Migmatito-gnaiss (a) cortado por pegmatito homogêneo concordante (c) de 0,5 a 1,2 m de espessura e por pegmatito homogêneo discordante de 2 a 30 cm de espessura (b).

O pegmatito possui a seguinte composição: quartzo (60%), plagioclásio (30%) e biotita (10%).

Uma rocha, de coloração cinza-escura e granulação variável de fina a grosseira, corta discordantemente o migmatito-gnaiss, na direção N-S com mergulho de 60° E (Fig. 15). A parte de granulação fina de cristais de quartzo alinhados apresenta exfoliação "em cebola" nas partes aflorantes (Foto nº 3). Sua granulação fina se deve ao fenômeno de cataclase que atuou fortemente sobre ela. Microscopicamente esta rocha tem textura grano-blástica e composição mineralógica seguinte: quartzo (70%), plagioclásio (23%), microclina (2%), ortoclásio (2%), biotita e muscovita em pequena quantidade. Trata-se de uma rocha granitóide rica em quartzo, conforme nomenclatura em STRECKEISEN (1973).

Figura 15 - Migmatito-gnaissse(a) cortado por granit^oide catacl^as_tico(b) .

Foto 3 - Exfoliação(A) do granit^oide catacl^as_tico da Figura 15. Na parte SW da Fotografia se observa o granodio-rito sem foliação em blocos rolados.

Migmatito-gnaiss no Serrote Ocara

O migmatito-gnaiss aflorante no serrote Ocara (Foto nº 2) possui direção de foliação de 20° NW com mergulho de 40° NE. Observam-se faixas de feldspato de 1 mm até 30 cm de espessura concordantes com a foliação.

Nos flancos do serrote são observadas lentes concordantes de quartzo de 4 m de comprimento por 50 cm de largura. Intercalado no gnaiss existe uma rocha dura, compacta, de aparência avermelhada, constituída essencialmente de: almandina (80%), quartzo (10%), hornblenda (4%), apatita e titanita (1%). Trata-se de um granoblastito tipo granatito.

No sopé do serrote se encontra uma rocha friável, xistosa e composta essencialmente de biotita e hornblenda verde oliva (80%), de quartzo e granada (15%) e apatita como acessório. Trata-se de um hornblenda-xisto com textura granoblástica.

O serrote de Ocara constitui um sinforme de direção 20° NW com plunge para SE.

7.3.1.2 - MIGMATITO-GNAISSE, MIGMATITO-BÁSICO E METABASITO DA REGIÃO DE CHOROZINHO (PACAJÓS)

Na região de Chorozinho, nas localidades de Morros e Fiúza, afloram o migmatito-gnaiss (semelhante aos de Serragem, Lagoa do Riacho, serrote Pelado e Ocara), o migmatito-básico e metabasitos, conforme esquema da Figura 16.

Em Morros, o migmatito-gnaiss forma pequenas elevações (5 a 8 m de altura); possui granulação grosseira, apresentando faixas de feldspato em grão de 5 cm de diâmetro, alternando com faixas de quartzo e feldspato de 1 mm de diâmetro.

A rocha tem direção geral N-S e mergulho 60° E.

A composição mineralógica é igual à dos migmatito-gnaisses descritos anteriormente.

O migmatito básico aflora como lentes encaixadas no migmatito-gnaiss. Tem cor escura, aspecto compacto e granulação grosseira. Possui textura granoblástica e composição mineralógica seguinte: clinopiroxênio e ortopiroxênio (70%), microclíneo (5 a 8%), plagioclásio - An 48 (5 a 8%), quartzo (8%), biotita (2%), hornblenda (2%), ilmenita e magnetita como acessórios opacos.

Encaixado no migmatito básico se encontra uma rocha escura, de granulação fina a afanítica. Possui textura granoblástica e composição mineralógica constituída de: ortoclásio com exsoluções de albita (1%), clinopiroxênio e ortopiroxênio (+ 75%), plagioclásio - An 45 (2 a 8%), quartzo (3 a 5%), ilmenita e magnetita (2 a 5%). Trata-se de um metabasito que ocorre em baixadas ou como inclusão no migmatito básico (Fig. 16, letra c). O contato com o migmatito básico não é observado diretamente.

Figura 16 - Perfil esquemático de ocorrências de migmatito-gnaiss (a) migmatito básico (b) e metabasito (c) em Morros (Chorozinho-CE).

7.3.1.3 - QUARTZITOS

Silimanita-quartzito no Serrote Curupira

O serrote vizinho ao povoado de Curupira é constituído de quartzito de aparência rósea amarronzada, de estrutura compacta e granulação fina.

A foliação tem direção geral N-S e mergulho de 60° para leste. Este quartzito duro e compacto no topo e nos flancos do serrote passa a um quartzito xistoso e friável na base.

Possui textura grano-lepidoblástica com quartzo alongado no sentido da foliação e porfiroblastos de almandina de tamanho variável entre 0,1 a 5 mm. Sua composição mineralógica é a seguinte: quartzo (93%), biotita (1%), granada (2%), silimanita (3%) e limonita (1%). Trata-se, portanto, de um biotita-almandina-silimanita quartzito.

O quartzo se apresenta sempre fraturado na direção perpendicular à foliação. A limonita ocorre junto à granada, indicando derivar-se por sua alteração.

Quartzito em Serragem e Lagoa do Riacho

Encontra-se um granada-quartzito na região de Serragem e Lagoa do Riacho, em afloramentos artificiais de poços e em amostragem de furos de sonda. Está encaixado entre o migmatito-gnaiss e o protominério de manganês, com espessura variável de 0,1 a 3,50 m. Possui cor cinza escura e granulação média. Sua composição mineralógica é a seguinte: granada (80%), quartzo (15%) e apatita. A textura é granoblástica.

Aparentemente esta granada seria rica em espessartita, mas análise pelo método de MADUREIRA FILHO (1972) e CAMARGO & MADUREIRA FILHO (1976) resultou na seguinte composição molecular: almandina (72%), piropo (19%), espessartita (5%) e grossulária (12%). Isto indica que a rocha contém mais CaO que MnO.

Quartzito no serrote Cotas

A sudeste de Lagoa do Riacho, aflora um quartzito que modela o serrote Cotas, situado na fronteira SE das ocorrências de Mn. Tem aparência branca, granulação média (2 mm).

Possui textura granoblástica e composição mineralógica de: quartzo (96%), biotita (3%) e silimanita (rara). Trata-se de um biotita-quartzito.

7.3.2 - PROTOMINÉRIO DE MANGANÊS

O protominério de manganês, juntamente com almandina-quartzito, aflora em elevações de 3 a 5 m, onde se encontra em meio a blocos rolados e esferas concêntricas de óxidos de manganês.

Baseado nas descrições de poços e furos de sonda, foi desenhado um perfil esquemático que mostra com clareza o posicionamento do protominério de manganês em relação a outras rochas já descritas (Fig. 17).

O protominério tem direção N80°W e mergulho que varia de 50° a 75° E. Sua espessura varia de 0,10 m a 3,50 m. Está encaixado num conjunto de rochas constituído de migmatito-gnaiss e almandina-quartzito; ocupa o núcleo de um sinforme e se acha recoberto por níveis de material rolado e de material clástico (Fig. 17).

Em amostra de mão e em escala de afloramento, se observa um bandeamento de camadas claras (granada-quartzito) e camadas escuras (protominério alterado). Ao microscópio este bandeamento também é observado, embora não muito claramente.

Em estudo de seções polidas são observadas texturas deposicionais em mosaico, textura bandeada, textura de limites mútuos e texturas de inclusão. Estas e outras texturas são descritas posteriormente.

Figura 17 - Perfil vertical esquemático das ocorrências de manganês de Serragem e Lagoa do Riacho; construído a partir das descrições de furos de sonda: 1-migmatito-gnaiss; 2-granada-quartzito; 3-protominério de manganês; a-solo arenoso; b-blocos rolados e esferas concêntricas de óxidos de manganês. O gondito ocupa o núcleo de um dobramento sinclinal isoclinal.

Em lâminas delgadas, a composição mineralógica média é a seguinte: quartzo (20%), espessartita (75%), mangano-cumingtonita e rodonita (< 2%), pirita e pirrotita em pequena quantidade.

BRAGA *et al.* (1977) informa a existência de rodocrosita no protominério, entretanto, no decurso de nosso trabalho de campo e de laboratório não se verificou sua ocorrência.

Pelas observações anteriores se determinaram as seguintes paragêneses:

- 1 - quartzo - espessartita - pirita e pirrotita
- 2 - rodonita-espessartita - quartzo - mangano-cumingtonita.

Considerando o diagrama triangular em que está representado o sistema $MnO-SiO_2-Al_2O_3$ (HÖREN, 1953), o domínio 7 engloba as condições químicas do protominério de manganês da área de Serragem e Lagoa do Riacho (Fig. 18).

Figura 18 - Associação mineral no sistema $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (HÖREN, 1953)
O domínio 7 engloba as condições do protominério em estudo.

Segundo HOLTROP (1965) é importante para definição do tipo de protominério silicático a percentagem de composição em anfibólio. Para isso construiu o diagrama triangular cujos vértices são ocupados por quartzo e espessartita na base, e por anfibólio no vértice superior (Fig. 19). A percentagem de espessartita e de quartzo varia entre 20 e 80% e a percentagem de anfibólio é ínfima (<2%) (Vide Quadro 3, pág. 55); deste modo este protominério se situa no domínio do gondito, próximo à linha de base do diagrama triangular (Fig. 19).

Na Figura 19 notam-se variações em que podem estar presentes outros minerais, como grafita e rodonita.

Trata-se, portanto, de um protominério silicático tipo gondito, conforme a conceituação de HOLTROP (Op.Cit.), embora não seja um gondito na acepção genética preconizada por ROY (1968).

QUADRO 3

COMPOSIÇÃO DO PROTOMINÉRIO DE MANGANÊS DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE ARACOIABA-PACAJÚS (CE).

NÚMERO	QUARTZO	GRANADA (Esp.)	Mn-CUMINGTONITA RODONITA	SULFETOS	OPACOS
1	33	38	-	-	28
2	-	10	3	-	87
3	-	83	2	-	15
4	-	69	4	-	25
5	11	35	1	-	53
6	38	21	1	-	40
7	-	-	4	-	96
8	3	70	1	0,1	25
9	20	77	1	0,1	2
10	40	50	1	0,1	8
11	-	90	1	0,1	8
12	-	85	-	0,1	13
13	55	43	1	0,1	4
14	5	90	1	0,1	4
15	5	10	4	0,1	80
16	40	50	-	0,1	8
17	45	48	-	-	3
18	45	45	1	1,0	8

Baseado em dados (1 a 7) de CRUZUL (1975) e em dados de secções polidas e lâminas delgadas (por estimativa).

Figura 19 - Diagrama triangular para classificação de rocha com espessartita, quartzo e anfibólio (HOLTROP, 1965). O quadrado hachurado representa o protominério de Serra-gem e Lagoa do Riacho (Aracoiaba-CE).

7.4 - MINERALOGIA DO PROTOMINÉRIO

São descritas neste item as principais propriedades dos minerais encontrados no gondito.

As técnicas utilizadas para esta descrição são apresentadas com pormenores no capítulo sobre metodologia.

Posteriormente, algumas destas informações serão retomadas, ao se fazer análises sobre as condições de metamorfismo.

Rodonita

A rodonita é reconhecida em filme de raios X (Tabela 2). É facilmente confundível com a piroxmangita, uma vez que as distâncias interplanares padrões são extremamente semelhantes.

Em seção delgada, foram observadas seções basais com clivagens em ângulo reto e extinção oblíqua. Neste caso também há uma fácil confusão com piroxmangita. No entanto, os valores

TABELA 2

DISTÂNCIAS INTERPLANARES (dA) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (FILME) EM RADIAÇÃO FeK α , COMPARADAS COM PADRÕES ASTM (1965)

AMOSTRA		PADRÃO					
		Mn-CUMINGTONITA		RODONITA		PIROLUSITA	
dA	I/I ₀	dA	I/I ₀	dA	I/I ₀	dA	I/I ₀
8,30	10	8,30	90				
7,07	8			7,15	4		
6,54	10			6,68	8		
5,99	15						
4,09	2			4,10	1		
3,79	2			3,78	1		
3,53	25			3,57	14		
3,31	30			3,34	25		
3,12	60			3,10	25		
3,06	60			3,07	4		
2,95	70			2,92	65		
2,90	80						
2,73	30			2,77	100		
2,59	100			2,59	16		
2,49	20			2,48	8		
2,36	10			2,38	4		
2,21	20					2,21	10
2,16	20					2,13	25
1,88	30					1,98	15
1,71	10					1,81	5
1,68	5					1,68	1
1,61	20	1,61	40				
1,58	10	1,58	30				
1,55	30	1,55	25				
1,50	5	1,50	40				
1,46	5	1,48	30				
1,45	5	1,45	30				
1,42	30	1,42	10				
1,29	10	1,29	35				
1,28	10	1,279	10				
1,26	5	1,26	10				
1,24	5	1,25	5				
1,08	30	1,08	15				
1,06	5	1,05	20				
1,02	15	1,03	35				

TABELA 3

DISTÂNCIAS INTERPLANARES (dA) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$, COMPARADAS COM PADRÃO ASTM(1965)

PADRÃO					
AMOSTRA (filme)		ESPESSARTITA Cart. 2-0992		QUARTZO Cart. 5-0490	
dA	I/I ₀	dA	I/I ₀	dA	I/I ₀
3,35	10				
2,90	20	2,90	50	3,34	100
2,60	100	2,60	100		
2,48	5	2,48	5		
2,37	10	2,37	20		
2,28	10	2,28	20		
2,12	30	2,12	20		
2,22	30			2,23	6
1,68	40	1,68	40		
1,61	50	1,61	60		
1,57	10	1,58	3		
1,45	10	1,45	20		
1,30	20	1,30	40		
1,31	10	1,30	40		
1,08	20	1,08	70	1,08	4
1,06	20	1,06	60	1,06	1

do ângulo 2V do mineral, medidos por estimativa, se situam sempre acima de 60° . Sabe-se que o ângulo 2V da piroxmagita se situa entre 34° e 46° e o da rodonita entre 61° e 76° .

Mangano-cumingtonita

A mangano-cumingtonita é monoclínica, entretanto suas propriedades químicas e ópticas são semelhantes à antofilita, que é ortorrômbica (CHAKRABORTY, 1963).

Em seção delgada é incolor a verde pálido. O ângulo de extinção é mais alto que o comum das cumingtonitas. Possui sinal óptico negativo. O ângulo 2V é igual a 80° .

Este mineral foi detectado em análise de pó por raios X, em mistura com rodonita (Tabela 2).

A mangano-cumingtonita e a rodonita compõem até 4% do protominério alterado. Entretanto, as percentagens mais comuns são iguais ou menores que 1 (Quadro 3).

Granada (Espessartita)

É facilmente identificada a granada, em seção delgada, pela isotropia e a forma.

A variedade espessartita é detectada em filmes de raios X (Tabela 3) pelo padrão ASTM. No entanto, sua composição molecular não é fácil obter, tendo em vista que todo grão está alterado, dificultando a medição de densidade e índice de refração. Entretanto, sabe-se, com certeza, que se trata de uma granada, cuja percentagem maior pertence à fase espessartita, tendo em vista a composição do material alterado (Tabelas 11, 12 e 14), a composição mineralógica e textura do protominério.

A espessartita é equigranular e idioblástica, e está limitada por arestas (110) formando seções quadradas e hexagonais e constituem o protominério de manganês.

Outra granada foi identificada a partir da constata-

TABELA 4

VALORES DE DIFERENÇA DE 2θ PARA $\text{FeK}\alpha$, E SUA TRANSFORMAÇÃO PARA $\text{CuK}\alpha$, RELATIVOS ÀS GRANADAS

Nº	ROCHA	a_0 (Å)	$d(420)$	$2\theta(420)$	2θ Quartzo	$\Delta 2\theta$ $\text{FeK}\alpha$	Valor de correção	$\Delta 2\theta$ $\text{CuK}\alpha$
1	Granada do migmatito- gnaissse	11,568	2,586	43,96	33,66	10,30	0,7958	8,19
2	Granada do quartzito	11,596	2,592	43,83	33,66	10,17	0,7958	8,09

Obs.: a_0 calculado conforme Anexo IV

TABELA 5

VALORES DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRANADAS

Nº	ROCHA	a_0 (Å)	n	D	$\Delta 2\theta$
1	Granada do migmatito-gnaissse	11,568	1,800	3,87	8,19
2	Granada do quartzito	11,596	1,795	3,70	8,09

TABELA 6

PERCENTAGENS DE COMPOSIÇÃO MOLECULAR OBTIDAS DE DIAGRAMAS TRIANGULARES PELO MÉTODO DE MADUREIRA FILHO (1972) E CAMARGO E MADUREIRA FILHO (1976) (AMOSTRA 2 DA TABELA 5), COMPLEMENTADA PARA COMPOSIÇÃO QUATERNÁRIA CONFORME MADUREIRA FILHO (COMUNICAÇÃO VERBAL, 1979).

RESULTADOS DE DIAGRAMA TERNÁRIO

GRUPO	n - $\Delta 2\theta$ (%)	$\Delta 2\theta$ - D (%)
1	Alm. - 68	Alm. - 16
	Pir. - 22	Pir. - 66
	Gr. - 10	Gr. - 18
2	Alm. - 59	Alm. - 10
	Pir. - 33	Pir. - 69
	And. - 8	And. - 21

RESULTADOS DE DIAGRAMA QUATERNÁRIO

Alm. - 64%

Pir. - 19%

Esp. - 5%

Gr. - 12%

ção de que há uma granada quase inalterada como componente principal do quartzito encaixante do gondito. Ela permanece com a cor beje clara, formando, às vezes, bolsões isolados dentro do gondito, onde podem ser encontrados cristais bem formados.

A partir do filme de pó por raios X, foi calculado o a_0 (a zero), conforme anexo IV (AZÁROFF *et al.*, 1958).

Com o a_0 (a zero) igual a $11,596\text{\AA}$ se determinou o $\Delta 2\theta$ igual a 8,09, conforme Tabela 4 (2).

Os valores de propriedades físicas (a_0 , n e D), que estão na Tabela 5, foram lançados em diagramas triangulares, conforme método descrito por MADUREIRA FILHO (1972) e CAMARGO & MADUREIRA FILHO (1976). Daí resultou a Tabela 6, (pág. 61) a partir da qual se calculou a composição correspondente. O resultado final da composição molecular é: almandina (64%), piropo (19%), espessartita (5%) e grossulária (12%)*. Existem indícios de campo de composição com espessartita, em vista de incipiente alteração para óxidos de manganês

Pirita e Pirrotita

A pirita e pirrotita se apresentam de forma losangular, triangular e circular; enquanto a pirrotita também se apresenta em ripas de 0,012 mm de comprimento.

Ambos se encontram em percentagem inferior a 0,1 (Quadro 3).

7.5 - TEXTURAS DEPOSICIONAIS

Textura em mosaico

O gondito apresenta textura granoblástica em mosaico da granada em relação ao quartzo (Fotomicrografias 1 e 2).

A granada acha-se intensamente fraturada, enquanto o fraturamento do quartzo é menor (Fotomicrografia 1).

* A composição ternária foi transformada em composição quaternária, conforme comunicação verbal de J.B.MADUREIRA FILHO (USP, 1979).

Fotomicrografia 1 - Lâmina delgada mostrando granada(g) predominante sobre quartzo (qz) em textura em mosaico. Notam-se pequenas inclusões de quartzo na granada e grande fraturamento da granada. Nicóis paralelos; Aumento 27,5 X.

Existem algumas inclusões de quartzo dentro da granada e vice-versa (Fotomicrografia 1).

Os cristais de granada tem dimensões variáveis entre 0,012 e 0,60 mm. No entanto, há predominância de grãos de comprimento entre 0,12 e 0,24 mm. A largura tem a mesma variação, sendo predominantes os grãos no intervalo entre 0,012mm e 0,12mm.

O quartzo possui granulação um pouco maior (0,8 mm).

Textura de Limites Mútuos

Baseado no fato de que existem pequenos glóbulos e ripas (0,2 mm) de quartzo dentro da granada e na observação de que o contato entre o quartzo e a granada se dá em curvas suaves e regulares (sem reentrâncias de um em outro), conclui-se tratar-se de um caso típico de textura de limites mútuos (Fotomi-

Fotomicrografia 2 - Lâmina delgada mostrando quartzo (qz) predominando sobre granada (g) em textura em mosaico. Observe-se pequenos glóbulos de quartzo dentro da granada que está distribuída conforme um dobramento sinclinal. Nicóis semi-cruzados; Aumento 27,5 X.

crografia 2). A ausência de projeção de um mineral em outro confirma este fato (SCHWARTZ, 1951).

Textura Bandeada

O quartzo e principalmente a granada ocorrem em camadas delgadas concordantes com o acamamento macroscópico da rocha (Fotomicrografia 3).

Os óxidos de manganês lamelares possuem seu maior comprimento paralelo a este bandejamento primário.

Fotomicrografia 3 - Lâmina delgada mostrando microdobramentos isoclinais que refletem os dobramentos maiores. Nicóis paralelos; Aumento 27,5 X.

Nota-se que o preenchimento de espaços por substâncias coloidais se dá paralelamente a este acamamento geral (Fotomicrografia 4).

O grau de variação de alteração em granadas produz um acamamento nítido. Comumente este bandeamento textural reflete o bandeamento estrutural do protominério, que é constituído por alternância de partes claras e escuras, refletindo um maior ou menor grau de intemperismo.

Fotomicrografia 4 - Superfície polida mostrando veios coloidais de óxidos de manganês (parte clara) concordantes com o acamamento geral. Nicóis paralelos; Aumento 32 X.

Textura de Inclusão

A pirita de diâmetro inferior a 0,012 mm se acha incluída nas granadas e preferencialmente nos cristais de quartzo.

Alguns cristais possuem forma circular e outros se apresentam em forma losangulares e triangulares.

A pirrotita também se encontra incluída no quartzo e na granada, preferencialmente sob a forma de ripas de 0,012 mm de comprimento.

São observadas agulhas de óxidos de manganês dentro do quartzo. Conforme RAMDOHR (1969) é comum haver agulhas de polianita dentro do quartzo em protominério de manganês.

7.6 - CONDIÇÕES DE METAMORFISMO

7.6.1 - ENCAIXANTES

As rochas anteriormente descritas apresentam as seguintes associações minerais:

1 - *Migmatito-gnaiss* (Serragem, Lagoa do Riacho, Curupira e Morros)

Quartzo, biotita, silimanita, plagioclásio-An₂₈, pertita, almandina, microclíneo e grafita.

2 - *Biotita-quartzito* (Serrote Cotas)

Quartzo-biotita e silimanita (rara).

3 - *Granada-silimanita-quartzito* (Serrote Curupira)

Quartzo, biotita, almandina, silimanita (fibrolita) e plagioclásio.

4 - *Metabasito* (Morros)

Quartzo, biotita, hornblenda, ortopiroxênio, plagioclásio-An₄₈, microclíneo, ilmenita e magnetita.

5 - *Metabasito* (Morros)

Quartzo, ortopiroxênio, clinopiroxênio, ortoclásio com exsoluções de albita, plagioclásio-An₄₅, microclíneo, ilmenita e magnetita.

6 - *Migmatito básico* (Morros)

Quartzo, biotita, hornblenda, ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio-An₄₅, microclíneo e apatita.

7 - *Pegmatito* (Serragem, Lagoa do Riacho e Curupira)

Biotita, quartzo, plagioclásio, microclíneo, pertita e grafita.

8 - *Hornblenda-xisto* (Serrote Curupira)

Quartzo, hornblenda (verde oliva), almandina, apatita, ilmenita e magnetita.

9 - *Granoblastito* (Serrote Ocara)

(Granatito), quartzo, hornblenda (verde oliva), almandina, titanita e clorita secundária.

10 - *Gnaísse-quartzo-feldspático* - Quartzo, biotita, plagioclásio e almandina.

Notam-se nas associações, acima referidas, as seguintes feições: 1 - prevalência de almandina em associações quartzo-feldspáticas, 2 - presença de ortopiroxênio, clinopiroxênio junto com hornblenda, plagioclásio, ortoclásio e microclíneo em rochas básicas e 3 - ausência de outros silicatos calco-aluminosos. Estas características são típicas de metamorfismo de alto grau (WINKLER, 1976).

É importante notar a ausência de muscovita primária. Esta ausência foi comprovada não só por não ter sido encontrada a muscovita nas lâminas delgadas (critério negativo), como também por ter sido constatadas as paragêneses de feldspato potássico + silimanita e de feldspato potássico + almandina (critério positivo), resultantes da transformação de muscovita em altas pressões e em presença de quartzo e plagioclásio (WINKLER, Op. Cit.).

A associação de feldspato potássico + quartzo + plagioclásio, juntamente com a paragênese de silimanita + almandina + biotita pertencem, segundo WINKLER (Op.Cit., pág. 91) ao setor de metamorfismo de alto grau (Figura 20). Estas paragêneses (1, 2 e 3) são características de regiões onde se encontram gnaisses pelíticos. Neste ambiente, intercalações arenosas podem surgir como silimanita-quartzitos (nº 3) entre gnaisses kinzigíticos (EBERT, 1968).

Figura 20 - Metamorfismo de pelitos. Setor de metamorfismo de alto grau, rico em almandina (WINKLER, 1976).

WINKLER (Op.Cit.) afirma que a almandina do gnaiss pelítico em metamorfismo de alto grau possui composição de 5,5 a 8% de espessartita e 79 a 85% de almandina. Trabalhos de laboratório com a almandina das associações nrs. 1 e 3 permitiram construir a Tabela 7, a partir da qual se obteve a seguinte composição molecular: Almandina (72%), piropo (26%), grossulária (1%) e espessartita (1%). Este fato indica que a espessartita entra em pequeníssima percentagem. A composição química do silimanita-quartzito (Tabela 8) mostra que a percentagem em CaO (0,70) é maior que a percentagem em MnO (0,15).

MIYASHIRO (1973) afirma que o pequeno conteúdo em MnO e CaO nos metapelitos é indicativo de alto grau.

Todos os fatores anteriormente citados conduzem à conclusão de que as associações mineralógicas de números 1, 2 e 3 são pertencentes ao metamorfismo de alto grau na fase rica em almandina e silimanita (Fotomicrografias 5 e 6).

Para determinar as condições mínimas de temperatura e pressão são utilizadas a relação $FeO/FeO + MgO$ e a ausência de cordierita no migmatito-gnaiss e no silimanita-quartzito. Estes dados são lançados na Figura 21, de onde se concluem as condições de P e T (WINKLER, 1976).

TABELA 7

PERCENTAGENS OBTIDAS A PARTIR DE DIAGRAMAS TRIANGULARES, SEGUNDO MÉTODO DE MADUREIRA FILHO (1972) E CAMARGO E MADUREIRA FILHO (1976) COMPLEMENTADAS EM DIAGRAMAS QUATERNÁRIOS CONFORME MADUREIRA FILHO (COMUNICAÇÃO VERBAL, 1979).
(AMOSTRA 1, TABELA 5)

RESULTADOS DE DIAGRAMA TRIANGULAR

GRUPO	n - $\Delta 20$ (%)	$\Delta 20$ - D	D - n
1	Alm. - 74	Alm. - 53	Alm. - 30
	Pir. - 25	Pir. - 44	Pir. - 40
	And. - 1	And. - 3	And. - 30

RESULTADOS DE DIAGRAMA QUATERNÁRIO

Alm. - 64%

Pir. - 19%

Esp. - 5%

Gr. - 12%

TABELA 8

ANÁLISES QUÍMICAS REALIZADAS PELO LABORATÓRIO PURIQUIMA S/A E PELO LABORATÓRIO DE QUÍMICA DO DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROGRAFIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA USP. (% EM PESO)

ROCHA	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Mn	TOTAL (a)
Migmatito gnaissé	68,10	0,68	1,69	6,28	2,65	1,18	-	80,58
Silimanita quartzito	81,79	0,29	1,23	5,51	0,90	0,70	0,15	90,57
Gondito	27,57	0,17	0,60	-	-	-	49,48	77,82

(a) não foi dosado Al₂O₃.

A relação FeO/FeO + MgO (conforme Tabela 8) para as associações de números 1 e 3 são as seguintes:

Para associação nº 1 (migmatito-gnaísse):

$$\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}} = \frac{6,28}{6,28 + 2,65} = \frac{6,28}{8,93} = 0,70 \quad (\text{A})$$

Para associação nº 3 (silimanita-quartzito):

$$\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}} = \frac{5,51}{5,51 + 0,90} = \frac{5,51}{6,41} = 0,85 \quad (\text{B})$$

Estas relações (A e B) quando lançadas na Figura 21 (WINKLER, 1976) dá uma pressão mínima aproximada de 6 kb para o metamorfismo acima considerado.

Esta pressão (6 kb) pressupõe uma espessura mínima de 21 a 22 km da crosta continental no tempo do metamorfismo (WINKLER, Op.Cit.). Nestas condições de alta pressão de carga, é de se esperar que o conteúdo em MnO da almandina e das rochas pelíticas seja pequeno, principalmente quando a pressão de água (P H₂O) é ínfima (MIYASHIRO, 1973).

Esta pressão mínima de 6 kb concorda com a presença de silimanita na paragênese que indica pressão média a alta.

O intervalo de temperatura não foi precisado, mas pela Figura 21 a temperatura mínima é estimada em 600° C.

A paragênese hornblenda + biotita, presente no metabasito de associação nrs 4 e 6, desaparece no mesmo metabasito de associação nº 5. Este fato se deve à mudança de teor de CO₂ e H₂O na fase fluida.

A associação biotita + hornblenda presumivelmente existente na rocha ígnea sofreu transformação em ortopiroxênio + clinopiroxênio, em virtude de o metamorfismo progressivo regional retirar água (H₂O) da fase fluida. Nesta caso pode ter sido formado

Fotomicrografia 5 - Lâmina delgada mostrando silimanita (s) e quartzo(qz) no quartzito que aflora no serrote Curupira(Araçoiaba-CE). Nicóis semi-cruzados; Aumento 50 X.

Fotomicrografia 6 - Lâmina delgada mostrando almandina (alm), quartzo(qz) e biotita(bio) no migmatito-gnaissse que aflora no serrote Pelado. Nicóis cruzados; Aumento 50 X.

Figura 21 - Lançamento da relação $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ que é igual a 0,7 e 0,85 para o migmatito-gnaiss e para o silimanita quartzito respectivamente. Neste caso, a pressão tem um valor mínimo de 6 kb, considerando que não se observa cordierita na paragênese. Por este diagrama é estimada uma temperatura mínima de 600°C.

o ortoclásio com exsoluções de albita, originando a associação nº 5 (Fotomicrografia 7).

Em um segundo estágio, com o aumento da pressão de água ($P H_2O$) na fase fluida, o clinopiroxênio e ortopiroxênio se transformaram em hornblenda que é vista atualmente contornando o clinopiroxênio e ortopiroxênio. Este fato configura a fácies anfibolítica que está se superpondo à fácies granulítica, em uma fase posterior.

Segundo De WAARD (Op.Cit.), a reação hornblenda + biotita + quartzo dando ortopiroxênio + feldspato potássico + plagioclásio + H_2O , que ocorre em rochas máficas, representa a diminuição ou desaparecimento de hornblenda + biotita; e é um diagnóstico de existência de condições metamórficas de fácies granulítica num primeiro estágio.

Frisa-se o fato de que não foi observada granada no metabasito. Justifica-se isto em razão de a composição ser muito cálcica (De WAARD, 1965).

Nos gnaisses pelíticos, nestas mesmas condições metamórficas, ocorre a seguinte reação: biotita + silimanita + quartzo = almandina + feldspato potássico + H_2O (WINKLER, Op. Cit.).

Deste modo, as associações do metabasito com as paragéneses de hornblenda + ortopiroxênio e/ou clinopiroxênio (4 e 6) e de ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio (5) atestam a existência de fácies granulito.

Conforme as observações em De WAARD (1965), as associações 4, 5 e 6, representam duas sub-fácies da fácies granulito: a primeira se caracteriza pela paragénese hornblenda + ortopiroxênio + plagioclásio (4 e 6), e a segunda se caracteriza pela paragénese ortopiroxênio + plagioclásio (5).

As associações 1 e 9 que ocorrem em Serragem, Lagoa do Riacho e Curupira são iguais, em condições metamórficas, às associações 4, 5 e 6, que ocorrem em Morros (Chorozinho). O migmatito-gnaisse (1) de Serragem, Lagoa do Riacho e Curupira é o

Fotomicrografia 7 - Lâmina delgada mostrando ortoclásio(ort) com exsolução de albita(alb) no metabasito. Nicóis cruzados; Aumento 107 X.

mesmo que ocorre em Fiúza e Morros. A diferenciação litológica está no fato de que em Morros não existe a rocha de associação 3 (silimanita-quartzito), enquanto em Serragem, Lagoa do Riacho e Curupira não foram encontrados metabasitos (4, 5 e 6).

Nas associações 1 e 9 a pressão de água é provavelmente mais alta do que nas outras. Isto influi na diferença de mineralogia entre os dois conjuntos de rochas.

Na associação 9, a hornblenda de cor verde oliva indica alto grau de metamorfismo (WINKLER, Op.Cit.).

Pelas considerações anteriores, as condições de P e T são iguais em ambas as partes, mudando apenas ligeiramente a percentagem de CO_2 e H_2O na fase fluida.

Em resumo, pelos dados acima referidos, pode-se afirmar que as condições de metamorfismo da área são iguais em Curupira, Serragem e Lagoa do Riacho (Aracoiaba) e Morros (Choroziinho), mesmo porque todas as rochas estão no mesmo nível estratigráfico.

Pelos dados de campo não se pode conjecturar sobre presumíveis condições anatêxicas já que o próprio gnaiss (1) que teve denominação descritiva de campo de "migmatito estromatítico" pode ser, na realidade, somente um gnaiss formado por diferenciação metamórfica.

Em representação diagramática triangular (Figura 22) as associações 4, 5 e 6 se enquadram nos domínios abrangidos pelos números 4, 5 e 6 (WINKLER, 1976).

O primeiro estágio de metamorfismo progressivo produziu as paragêneses de granolitos com clinopiroxênio e ortopiroxênio, com idade mínima de 2.100 m.a. e a uma profundidade aproximada de 22 km. No segundo estágio de metamorfismo com acesso de água e a uma profundidade menor, o piroxênio se transforma em hornblenda em condições de fácies anfibolítica, com idade mínima de 600 m.a., demonstrando que houve uma remobilização durante o ciclo brasileiro de minerais formados no ciclo transamazônico.

Figura 22 - Parte hachuriada delimitando os domínios das associações 4,5 e 6 (pág.67) em granoblásticos. (Segundo WINKLER, 1976).

7.6.2 - GONDITO

Na área de Serragem e Lagoa do Riacho são encontradas as seguintes associações mineralógicas em gondito:

- 1 - Quartzo - espessartita - mangano-cumingtonita
- 2 - Quartzo - espessartita - mangano-cumingtonita
rodonita - titanita-pirofanita - grafita e pirrita - pirrotita.

O gondito, juntamente com granada-quartzito, está encaixado no gnaiss pelítico (migmatito-gnaiss - Associação 1) em que, por sua vez, se acham encaixados os metabasitos (Associações 4, 5 e 6).

Deste modo, quanto às condições metamórficas, o gondito se insere no contexto descrito no item anterior (7.6.1).

Neste item, serão discutidos, apenas, alguns aspectos

Fotomicrografia 8 - Lâmina delgada de gondito alterado mostrando granada(gr), rodonita(ro) e mangano-cumingtonita (cum). Nicóis paralelos; Aumento 72 X.

Fotomicrografia 9 - Lâmina delgada de gondito alterado mostrando granada(gr), rodonita(ro) e mangano-cumingtonita (cum). Nicóis cruzados; Aumento 27 X.

tos da associação mineral do gondito.

O manganês se combina com alumina e sílica para formar espessartita; o excesso de sílica permanece em forma de quartzo.

A formação do tipo de piroxenóide depende da relação Mn/Ca (ABRECHT *et al.*, 1975), e da temperatura (PETERS *et al.*, 1974) e (BELLO, 1978), conforme mostra a Figura 23.

Em temperaturas mais altas, os piroxenóides admitem mais Mn, Fe e Mg do que Ca, o que contribui para o aumento da relação Mn/Ca (BELLO, Op.Cit.). Daí decorre a compatibilidade da existência de piroxmangita e/ou rodonita, que são mais ricas em Mn do que em Ca. Entretanto, devido a alta temperatura de formação (acima de 600^o C) se formou apenas a rodonita.

É provável que em temperatura mais baixa (<600^o C) tenha se formado a piroxmangita; posteriormente, no metamorfismo regional progressivo tenha se transformado em rodonita (Figura 23). Experiências de laboratório atestam que o inverso não ocorre, conforme ABRECHT *et al.* (Op.Cit.).

A paragênese 11 e 12 do gondito admite a existência primária de uma fase carbonática (KRUMBEIN & GARRELS, 1952). Entretanto, conforme ROY (1965) em temperaturas de alto grau a associação espessartita + rodonita + rodocrosita não se formam em equilíbrio estável. A rodonita e rodocrosita se combinam para formar tefroita. Como não foi encontrada tefroita na associação de Serragem e Lagoa do Riacho, presume-se que a fase carbonática, por ser pouco abundante e espessa, foi parcialmente consumida na formação de espessartita numa primeira etapa; e numa segunda etapa, tendo em vista a abundância de quartzo na associação, a fase carbonática remanescente se transforma totalmente em rodonita em vez de, parcialmente, em tefroita. BITTENCOURT (1973) afirma que, em Morro de Mina (MG) quando a camada de carbonato original era pouco espessa, o carbonato foi totalmente substituído por espessartita.

A mangano-cumingtonita é um anfibólio, no qual o man-

Figura 23 - Resultados experimentais que mostram a influência da relação Mn/Ca e da temperatura na formação do tipo de piroxenóide. (ABRECHT *et al.* 1975).

- - Piroxmangita
- △ - Rodonita
- - Bustamita
- ▽ - Wolastonita
- ◇ - Johansenita

ganês substitui o íon ferroso (CHAKRABORTY, 1963), e se forma onde a pressão parcial de água foi alta (BELLO, 1978). Em vista disso, sugere-se que a mangano-cumingtonita do gondito é um produto de retrometamorfismo. COUTINHO *et al.* (1978) cita este fenômeno para alguns protominérios sílico-carbonáticos do Brasil.

A identificação de fácies anfibolito em um segundo estágio de metamorfismo nas rochas encaixantes sugere outra idéia de que a mangano-cumingtonita seja um produto de metamorfismo progressivo, tendo em vista que em condições de fácies anfibolítica a pressão parcial de água é mais alta, permitindo sua formação no metamorfismo progressivo.

A partir da associação mineral de espessartita + mangano-cumingtonita + rodonita se depreende que o gondito é mais rico em MnO , SiO_2 e MgO do que em FeO ; O FeO , por outro lado, é mais abundante em reação ao CaO , liberado pela fase carbonática.

7.7 - ESTRUTURA

Nas rochas encaixantes e no gondito se observa um acamamento que coincide com a foliação.

A foliação do gondito tem direção geral $N10^{\circ}W$ e mergulho de 75° para leste. Nas referências bibliográficas atinentes à região não se encontra nenhuma argumentação a favor do paralelismo entre a foliação e o acamamento original; entretanto, este fato é aceito sem dúvidas.

O acamamento original é difícil de ser encontrado, tendo em vista que se trata de rochas policíclicas e muito intemperizadas.

Algumas observações de campo e de laboratório indicam que o acamamento original é coincidente com a foliação. São as seguintes:

A - Preenchimento de veios de quartzo na direção para-

lela à foliação. Entretanto, é difícil distinguir se um veio pertence ao primeiro evento de metamorfismo que atuou diretamente sobre as rochas sedimentares.

- B -Em observação mesoscópica, nota-se que as linhas de contato entre as rochas são sempre paralelas à foliação.
- C -A variação de espessura e a relativa extensão longitudinal das lentes de quartzito são indicativos de feição sedimentar remanescente e não de bandejamento metamórfico (HÖREN, 1953).
- D -No migmatito-gnaiss e no quartzito se observa, mesoscopicamente, um acamamento que não se reflete microscopicamente na orientação dos grãos. Isto indica que o acamamento observado é herdado da rocha sedimentar original.
- E -Regionalmente observa-se um nítido aumento no tamanho dos grãos, a partir do migmatito-gnaiss de granulação grosseira (Base do perfil vertical) até o granada-quartzito e gondito (Topo do perfil vertical) de granulação fina. Esta variação de granulação nas rochas metamórficas, submetidas às mesmas condições metamórficas, é provavelmente herdada da sedimentação gradual que se processou na formação de rochas sedimentares.

Nesta linha de raciocínio, infere-se (posteriormente) que o gondito ocupa o topo da sequência gradual.

- F -Em depósitos de manganês, normalmente há uma graduação e alternância de sedimentos ricos em ferro e sedimentos ricos em manganês (KRAUSKOPF, 1957). Isto é observado claramente na região, com a graduação e alternância de migmatito e quartzito com almandina (rica em ferro) e gondito com espessartita (rico em manganês).

G - Observam-se intercamamentos e concordâncias do gondito com os estratos de migmatito-gnaiss e quartzitos, mesmo quando altamente dobrados (Perfis AB e A'B', pág. 39 e 41).

Pelo Mapa de Localização de Ocorrências (pág. 8) observam-se os depósitos de manganês alinhados na direção $N10^{\circ}E$ e $N20^{\circ}E$. Todavia, na descrição de cada depósito se observa uma direção geral $N10^{\circ}W$ e mergulho de 50° a 75° para leste. Esta fato indica que as camadas estão dobradas ao longo da direção geral do alinhamento regional dos depósitos.

Este alinhamento regional, por sua vez, faz um ângulo de 15° com a falha transcorrente de Senador Pompeu (Vide Mapa Estrutural, pág. 32). Esta direção coincide com a orientação de eixos de dobramentos secundários de segunda ordem, resultantes da compressão primária, conforme modelo regmático explicado em item anterior.

Em resumo, os fatos expostos anteriormente, indicam que existem sinclinais, cujos flancos de direção $N10^{\circ}E$ e $N20^{\circ}E$ estão dobrados ao longo de seu comprimento formando pequenas dobras secundárias cujos flancos têm direção $N10^{\circ}W$ a $N20^{\circ}W$. O protominério de manganês ocupando o topo da seqüência gradual, situa-se no núcleo de dobras sinclinais pertencentes aos dobramentos secundários (Foto 5), cujos eixos estão aproximadamente paralelos ao eixo da dobra sinclinal representado pelo serrote de O-cara com plunge para SE e que sofreu deslocamentos devido a falhas transcorrentes.

A Figura 17 (pág. 53) representa uma dobra sinclinal reversa onde o flanco oeste preserva a ordem estratigráfica normal da área.

7.8 - AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO DE MINERAIS

Os sedimentos originais eram provavelmente rochas ar-

gilosas e calcárias, arenitos ricos em manganês e arenitos ricos em ferro. Estas rochas, submetidas a metamorfismo de alto grau, se transformam em hornblenda-xisto, gnaiss, migmatitos, quartzitos comuns e gonditos.

DORR *et al.* (1956) conclui que os sedimentos originais em Conselheiro Lafayette (MG) foram depositados em ambientes euxínicos, onde o pH é igual a 7 e o Eh igual a - 0,30 V. EBERT (1963), estudando o mesmo depósito, sugere que tenha havido ambiente redutor, devido às presenças de grafita e pirita.

De acordo com as conclusões de DORR (Op.Cit.) e EBERT (Op.Cit.) em relação aos depósitos de Conselheiro Lafayette, a paragénesis de pirita e grafita em Aracoiaba-Pacajús (CE) indica um ambiente euxínico de deposição, em condições redutoras em que se pressupõem valores de pH e Eh entre 7 e 8 e -0,3 e -0,2V respectivamente (Figura 24).

Em função das altas percentagens de material carbonoso, a pirita pode ser originada por meio da redução de sulfato de Fe.

Neste ambiente se justifica a presença de carbonato de manganês no depósito primário. Conforme DORR (1968) os carbonatos são depositados em bacias restritas.

De acordo com os comentários anteriores, os minerais primários presumivelmente existentes no depósito original de Aracoiaba-Pacajús (CE) são carbonatos de manganês, quartzo, outros silicatos e sulfetos. Os carbonatos, no entanto, constituem lentes de rochas sedimentares pouco espessas e pouco abundantes. Isto é inferido a partir da pouca quantidade de rodonita e da ausência de piroxmagita e tefroita.

Em resumo, coloca-se a fácies de deposição original dos sedimentos que formaram o gondito em posição intermediária entre a zona de carbonatos e a zona de sulfetos do diagrama construído por KRUMBEIN & GARRELS (1952) (Figura 24).

No momento, não se dispõe de dados para se fazer uma

Figura 24 - Diagrama Eh-pH para o manganês, mostrando os campos de estabilidade de óxidos, carbonatos e sulfetos (KRUMBEIN & GARRELS, 1952). A parte hachuriada representa o campo de estabilidade de deposição dos minerais primários em Serragem e Lagoa do Riacho (Aracoiaba, CE).

análise sobre a fonte do manganês. Apenas a granulação fina da espessartita e do quartzo no gondito e no granada-quartzito sugere que a área fonte de provisão dos sedimentos se aproximou muito do nível de base regional.

A falha de Senador Pompeu condicionou a formação de microdobramentos, microfalhamentos e cataclase nas rochas da região (MELO, 1978). O granitóide de serrote Pelado é um exemplo deste fenômeno cataclástico.

Foto 4 - Gondito (A) encontrado em núcleo de sinclinal encaixado por granada-quartzito (B), localizado no Poço 1 em Serragem (Aracoiaba, CE).

As Fotomicrografias 2 e 3 mostram microdobramentos sinclinais, evidentes pelos arranjos das granadas (pág.64 e 65).

QUADRO 4

COLUNA LITO-ESTRATIGRÁFICA DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE ARACOIABA-PACAJÚS (CE)

VARIAÇÃO DE ESPESSURA	COLUNA LITO- ESTRATIGRÁ- FICA	ROCHAS	FORMAÇÃO	CICLO	PERÍODO	
0 - 80 cm		Sedimentares recentes Areias brancas Arenito Pegmatito	Formação Barreiras	Brasiliano	Quaternário	
0 - 350 cm		Gondito				
0 - 350 cm		Almandina-quartzito	Complexo Caico	Transamazônico		
0 - 400 cm		Migmatito-gnaiss, sil- gran-quartzito e meta- basitos

7.9 - ESTRATIGRAFIA

De conformidade com as considerações anteriores, a lito-estratigrafia para a área de ocorrência de Serragem e Lagoa do Riacho está resumida no Quadro 4 - pág. 88.

Existe um substrato formado por migmatito-gnaiss, granada-silimanita-quartzito, granada-quartzito, metabasitos e gondito.

Este substrato pertence ao Complexo Caicó, que se implantou no ciclo transamazônico. Durante o ciclo brasileiro foi reativado e cortado discordantemente por intrusões pegmatíticas.

Este conjunto de rochas corresponde aproximadamente à unidade 2 de BRITO NEVES (1975).

Sobre este pacote de rochas deposita-se discordantemente o arenito da Formação Barreiras durante o Terciário.

No Quaternário, durante o Pleistoceno (MABESOONE, Op. Cit.) deposita-se sobre a Formação Barreiras uma formação arenosa branca.

Observe-se que o Grupo Ceará não se acha representado na área restrita ao manganês, a não ser pelo pegmatito que é um produto de um evento magmático contemporâneo à formação de rochas do Grupo Ceará.

8 - O MINÉRIO

8.1 - FEIÇÕES MEGASCÓPICAS

O minério se apresenta de maneira variada, desde um material compacto até pulverulento.

Os afloramentos de gondito alterado são classificados como minérios "in situ" e os blocos rolados de gondito, as esferas concêntricas formadas por laterização e as cangas são classificadas como minérios residuais.

A principal feição observada é o acamamento dos leitos alterados, que são paralelos ao acamamento das rochas encaixantes. Esta estrutura é facilmente observável em amostra de mão ou em escala de afloramento. Este acamamento dá ao protomínério um aspecto de bandejamento de leitos claros e escuros, que vão se diluindo à medida que se afasta do contato com a rocha encaixante.

Rochas de afloramentos ou blocos rolados estão superimpostos por uma película esférica de 1 mm de espessura de constituição coloidal em forma botrioidal e/ou mamilonar.

Comumente resquícios de granada-quartzito de cor beje claro se encontram dentro do gondito, principalmente próximo ao contato.

Observam-se algumas fraturas perpendiculares ou oblíquas ao acamamento, preenchidas por colóides de óxidos de manganês.

Em locais restritos (Poço nº 34 - Serragem - Anexo I) se observa intensa silificação com a formação de veios - camadas de quartzo leitoso dentro do gondito alterado.

Nota-se nas amostras de óxidos de manganês uma coloração azulada que BRAGA (1977) cita como "eflorescência metálica azulada". Estudos em seções polidas indicam que esta feição se deve à presença de litioforita que confere tonalidade azul aos óxidos de manganês. NAGELL & SILVA (1961) denominou esta feição de "filme azul iridescente" que recobre o minério de Serra do Navio (AM) e o atribuiu também à presença de litioforita.

Vale ressaltar a presença de estruturas de boxwork, cujos espaços são preenchidos por quartzo e argila.

8.2 - MINERALOGIA

Litioforita

A litioforita ocorre em feixes ou isolada, nas fraturas ou entre os grãos de granada; ocorre também de maneira microgranular dentro de uma massa escura constituída de argila e óxidos de ferro e manganês.

Macroscopicamente sua presença é denunciada pela tonalidade azul que ela confere à rocha.

Ao microscópio, sua cor é cinza amarronzada. A birreflectância é muito forte e os efeitos anisotrópicos são extremos, com cores de polarização variando de cinza claro a marrom escuro e cinza azulado. A refletividade estimada é de 12 a 20% nas posições mais claras e mais escuras, respectivamente.

A litioforita é facilmente identificada em seção polida. Confunde-se apenas com calcofanita e todorokita. Sua distinção se faz inserindo um placa de gipso sob nicóis cruzados; ao rotacionar a platina há uma distinta mudança de azul claro para amarelo claro (De VILLIERS, 1971). Além do mais, a litioforita sempre se apresenta de maneira compacta.

Análises em amostras com litioforita apresentam um teor de 260 e 240 ppm de Zn; isto sugere a existência de um pouco de todorokita na litioforita (Tabela 16).

Ocorre em paragéneses com pirolusita, criptomelano e gama MnO_2 (mangano-nsutita).

Em análise de pó por raio X na massa escura, proveniente de alteração de espessartita, foi detectada um pouco de litioforita (Tabela 13). No entanto, na seção polida correspondente não foram observados o anisotropismo e a birreflectância, a não ser com grande aumento e com pouca intensidade. HOLTROP (1965), afirma que quando a litioforita forma massas finas granuladas é difícil sua identificação só por seção polida.

Outros filmes de raios X acusam a existência de litioforita em mistura com quartzo e rodonita (Tabelas 9 e 10).

Pirolusita

A pirolusita ocorre de três maneiras: A - como pseudomorfo de groutita ou manganita em cristais prismáticos (Fotomicrografia 12); B - em cristais prismáticos pontiagudos preenchendo vazios em deposições coloidais (Fotomicrografia 18) e C em bandeamentos difusos em concreções esféricas (Fotomicrografia 16).

O mineral, em alguns casos, é prontamente reconhecido em seção polida por sua birreflectância distinta e hábito prismático. A confirmação de sua identidade foi feita em raios X conforme resultados da Tabela 11.

Há duas gerações de pirolusita: a pirolusita I, que corresponde ao tipo A e a pirolusita II que corresponde aos tipos B e C.

Criptomelano

O criptomelano foi identificado por meio de filme de pó (raios X) e mistura com quartzo (Tabela 12) e com litioforita e gama MnO_2 (Mangano-nsutita) (Tabela 13).

Conforme SOREN & CAMERON (1960), todo criptomelano contém um pouco de mangano-nsutita. Este mineral, de fato, foi encontrado junto ao criptomelano.

O criptomelano ocorre sob a forma de: a) colóides com gretas de contração juntamente com pirolusita, quartzo e granada; b) como produto de substituição de litioforita ou espessartita, formando massa escura; c) em bandeamentos alternados com pirolusita e espessartita em concreções esféricas (Fotomicrografia 16).

Há duas gerações de criptomelano. O criptomelano I que corresponde ao tipo B e o criptomelano II que corresponde aos tipos A e C.

TABELA 9

DISTÂNCIAS INTERPLANARES ($d\text{\AA}$) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$ COMPARADAS COM PADRÃO ASTM

AMOSTRA (Filme)		PADRÕES					
		LITIOFORITA Cartão 16-364		LITIOFORITA Cartão 15-608		RODONITA Cartão 13-138	
$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀
2,77	30	-	-	-	-	2,77	100
2,55	30	-	-	-	-	2,55	60
2,36	20	2,39	30	-	-	-	-
2,11	15	-	-	2,13	10	-	-
1,87	10	-	-	1,89	10	-	-
1,64	20	-	-	1,65	20	-	-
1,59	20	1,57	50	-	-	-	-

TABELA 10

DISTÂNCIAS INTERPLANARES ($d\text{\AA}$) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$ COMPARADAS COM PADRÃO ASTM

AMOSTRA (Filme)		PADRÕES					
		LITIOFORITA Cartão 15-608		QUARTZO Cartão 11-252		ESPESSARTITA Cartão 2-0992	
$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀
4,71	5	4,76	90	-	-	-	-
4,25	10	-	-	4,26	35	-	-
3,55	100	-	-	3,34	100	-	-
3,35	20	-	-	-	-	-	-
2,91	30	2,93	50	-	-	2,90	50
2,60	5	-	-	-	-	2,60	100
2,37	5	2,39	30	-	-	-	-
2,27	5	-	-	-	-	2,28	12
2,12	10	-	-	-	-	2,12	9
2,21	10	-	-	-	-	2,23	6
2,11	20	-	-	-	-	2,06	70
1,67	20	1,68	20	-	-	-	-
1,61	30	1,65	20	-	-	-	-
1,55	5	1,58	70	-	-	-	-
1,45	5	1,45	80	-	-	-	-
1,30	5	1,39	10	-	-	-	-
1,26	10	1,25	10	-	-	-	-
1,07	5	1,07	20	-	-	-	-
1,06	10	-	-	-	-	1,06	1
1,02	10	-	-	-	-	1,01	2

TABELA 11

DISTÂNCIAS INTERPLANARES ($d\text{\AA}$) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$ COMPARADAS COM PADRÕES ASTM

AMOSTRA (Filme)		PADRÕES			
		PIROLUSITA Cartão 12-716		GRANADA Cartão 2-0992	
$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀
3,17	40	3,14	100	-	-
1,57	40	1,56	25	-	-
2,57	100	-	-	2,57	100
1,33	5	1,31	20	-	-
2,25	5	2,21	5	-	-
1,86	5	1,81	5	-	-
1,66	40	1,68	40	-	-
1,59	40	1,56	25	-	-
1,53	60	-	-	1,55	80
1,28	5	-	-	1,27	60
1,25	5	1,25	5	-	-
1,22	5	1,20	5	-	-
1,05	10	1,05	15	-	-

TABELA 12

DISTÂNCIAS INTERPLANARES ($d\text{\AA}$) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$ COMPARADAS COM PADRÕES ASTM

AMOSTRA (Filme)		PADRÕES			
		CRIPTOMELANO Cartão 4-0778		QUARTZO Cartão 5-0490	
		$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀
4,26	10	-	-	4,26	35
3,34	100	-	-	3,34	100
3,12	10	3,11	80	-	-
2,40	10	2,48	30	-	-
2,15	5	2,14	30	-	-
1,81	5	1,82	50	-	-
1,53	5	1,53	20	-	-
1,37	2	1,38	2	-	-

TABELA 13

DISTÂNCIAS INTERPLANARES ($d\text{\AA}$) OBTIDAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X
(FILME) EM RADIAÇÃO $\text{FeK}\alpha$ COMPARADAS COM PADRÕES (a,b,c e d)

AMOSTRA (Filme)		PADRÕES					
		LITIOFORITA		CRIPTOMELANO		γMnO_2 (NSUTITA Mn)	
		$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀	$d\text{\AA}$	I/I ₀
9,71	10	9,40	9	-	-	-	-
6,98	10	-	-	6,98	48	-	-
4,72	20	4,70	20	-	-	-	-
4,19	5	-	-	-	-	4,10	100
3,72	5	-	-	-	-	3,75	≈5
3,39	100	Impureza não identificada					
3,12	5	3,13	3	3,13	10	-	-
2,89	5	Impureza não identificada					
2,37	20	-	-	2,39	20	-	-
1,67	30	-	-	1,64	30	-	-
1,22	5	-	-	1,23	5	1,22	10
1,15	5	-	-	1,15	10	1,13	10
1,11	2	-	-	-	-	1,11	<2

a - Fleischer and Richmond (1943)

b - Univ. of Wis. Spec. n° A34-1 (NSUTA)

c - ASTM - cartão - 14-614 (Mangano-Nsutita)

d - Univ. of Wis. Spec. n° A97- (NSUTA)

Mangano-nsutita (Gama MnO_2)

Um mineral de estrutura gama MnO_2 foi detectado por meio de interpretação de filme de raios X, em mistura com litioforita microgranular e criptomelano (Tabela 13). Em vista da paragênese com criptomelano e do padrão ASTM (1965) supõe-se que se trata de mangano-nsutita. Não existe certeza absoluta neste caso, em vista da pouca claridade do filme e de grande variedade de padrões gama MnO_2 (SOREN & CAMERON, Op.Cit.). Mas, sem dúvida, se trata de um óxido de manganês do grupo γMnO_2 .

As diferenças do padrão ASTM (1965) devem ser creditadas à mistura com criptomelano ou talvez, à pequena quantidade de pirolusita (SOREN & CAMERON, Op.Cit.). LEVIN & TAUBER (Apud SOREN & CAMERON, Op.Cit.) afirmam que há uma variedade quase infinita de gama MnO_2 . O mineral, ora identificado em Serragem (Aracoiaba) tem espaços interplanares semelhantes aos padrões do cartão nº 14 - 614 (ASTM).

O mineral observado em seção polida ocorre de maneira semelhante à mangano-nsutita descrito por SOREN & CAMERON (1960), nos depósitos de Gold Coast (Ghana), onde as rochas deformadas são substituídas por Nsuta - MnO_2 e por goethita. Em Ghana, no entanto, este mineral ocorre abundantemente.

8.3 - FEIÇÕES TEXTURAIS

Textura reliquiar

A textura reliquiar está evidente pelos fragmentos de granada e quartzo, que restaram após sua substituição (Fotomicrografia 10).

Esta substituição é gradacional; vai desde o simples indício de alteração por corrosão nos bordos (Fotomicrografia 10) até a substituição total da granada por silicatos de alumínio.

Fotomicrografia 10 - Superfície polida de gondito alterado mostrando granada (gr), quartzo (qz) e placas de litioforita (li) e criptomelano (crip). Observam-se algumas granadas fraturadas e substituídas nos bordos por massa escura composta de óxido de manganês e hidrossilicatos de ferro. As outras granadas foram substituídas totalmente, conservando a forma original. Nicóis paralelos; Aumento 95 X.

nio (argilas) e por óxidos de manganês, permanecendo apenas a forma original da granada (Fotomicrografia 10).

A feição textural de estágio final deste processo poderia também ser denominada de "textura de substituição pseudo-mórfica" (BASTIN, 1950), evidenciada pelos contornos dos cristais de granada que permanecem após sua substituição.

O tamanho da granada varia desde 0,60 mm até 0,012 mm de comprimento por 0,12 a 0,06 mm de largura. Predomina a granulação variável entre 0,12 a 0,24 mm.

Textura reliquiar zonada

Um fragmento central se altera em bandas claras e escuras. Este fragmento central pode ser uma granada, um óxido de ferro ou de manganês. A granada como núcleo central apresenta as formas de pentágono, de retângulo, de losango ou mesmo de triângulo esférico (Fotomicrografia 11).

As bandas claras e escuras são formadas de minerais finamente cristalizadas que se constituem de óxidos de ferro (bandas escuras) e criptomelano (bandas claras) (Fotomicrografia 11).

Fotomicrografia 11 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura reliquiar zonada; a granada (gr), que constitui o núcleo, é substituída por minerais claros (Crip I) e minerais escuros (hidróxidos de ferro).

Textura em retalhos

Existem partículas de quartzo (0,06 mm) em forma triangular englobadas por cristais de pirolusita de 0,12 a 0,36 mm de comprimento, nos quais se observam nitidamente as clivagens (110) (ORCELL, 1931). De acordo com VALARELLI (1967) trata-se de pirolusita pseudomorfa segundo groutita e/ou manganita (Fotomicrografia 12).

Fotomicrografia 12 - Superfície polida de gondito alterado mostrando cristais prismáticos de pirolusita pseudomorfa segundo groutita ou manganita. Nicóis cruzados: Aumento 330 X.

Textura de borda

A litioforita é englobada por uma camada estreita de óxidos de manganês (pirolusita), que penetram também em seus planos de clivagem (Fotomicrografias 10 e 13).

A granada apresenta em seus bordos óxidos de ferro e de manganês. Estes óxidos, às vezes, deixam um contorno em formato de granada (Fotomicrografia 10). A substituição provavelmente se dá segundo planos cristalográficos que são perpendiculares às faces do cristal.

Fotomicrografia 13 - Superfície polida de gondito alterado mostrando pirolusita (pi) em textura de borda entre clivagens da litioforita (li), que se situa entre os grãos de granada (gr). Nicóis cruzados; Aumento 28 X.

Textura brechada e filiforme

A espessartita se acha totalmente fraturada. Alguns cristais lembram a textura de bomba explodida (Fotomicrografia 14).

Os minerais ripiformes (litioforita) apresentam, algumas vezes, textura de curvamento ("Rumpled Texture") de cristais (SCHWARTZ, 1951) (Fotomicrografia 15); outras vezes, apresentam feições filiformes decorrentes do desmembramento de feixes de minerais de litioforita, segundo a clivagem longitudinal (Fotomicrografias 14 e 15).

Fotomicrografia 14 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura filiforme de litioforita (li) sendo substituída por criptomelano (crip). Os cristais de grana-da (gr) tem textura brechada semelhante à textura de "bomba explodida". Nicóis cruzados; Aumento 44 X.

Os cristais filiformes de litioforita se encurvam dando, às vezes, uma feição vermiforme (Fotomicrografia 15); outras vezes, estes fios de litioforita se organizam de tal maneira que se assemelham a impressões digitais, dentro de criptomelano que a substituem (Fotomicrografia 14).

As dimensões da litioforita variam de 0,60/0,08 mm e 0,09/0,03 mm de comprimento e largura respectivamente.

Fotomicrografia 15 - Superfície polida mostrando gondito alterado com textura de curvamento dos filamentos de litioforita (li) (Rumpled Texture) dentro de criptomelano (Crip) e de pirolusita (pi). A granada (gr) se acha fraturada. Nicóis cruzados; Aumento 28 X.

Fotomicrografia 16 - Superfície polida de esfera concêntrica de óxidos de manganês, mostrando textura nodular concêntrica. As partes claras são constituídas de óxidos de manganês (criptomelano e pirolusita). Nicóis cruzados; Aumento 17,5 X.

Textura nodular concêntrica

A textura nodular concêntrica é representada por nódulos lateríticos constituídos de círculos concêntricos de pirolusita e criptomelano, de cores cinza-claro que se alternam em círculos concêntricos de grãos de granada finamente granulada (0,02 a 0,12 mm), de cores cinza-amarronzada (Fotomicrografia 16).

O tamanho e quantidade dos grãos de granada aumentam de dentro para fora do nódulo.

Observam-se, nos círculos concêntricos, fendas radiais de dessecação, que indicam ter havido uma deposição coloidal (Fotomicrografia 16).

Fotomicrografia 17 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura de bandeamento coloforme de criptomelano, apresentando formas esferoidais de sílica (si), fendas de dessecação (F) e textura de grânulos micrométricos de óxidos de manganês (veio do canto SW). Nicóis cruzados; Aumento 75 X.

Textura coloforme

A textura de bandeamento coloforme está evidenciada por três aspectos (Fotomicrografia 17):

- 1 - Formas esferoidais de sílica e de óxidos de manganês (criptomelano).
- 2 - Fendas de dessecação, na direção do raio de curvatura de formas esferoidais de óxidos de manganês.
- 3 - Fendas de dessecação paralelas às paredes de veios preenchidos.

4 - Texturas de grânulos micrométricos de óxidos de manganês, constituídos de criptomelano.

Atente-se para o fato de que o tipo de fraturamento de fendas de dessecação (SHRINKAGE CRACKS) é restrito a formas esferoidais presumidamente coloidais (BASTIN, 1950). Tal relacionamento indica que este fraturamento não é produto de deformações externas, mas sim de perda d'água em seu interior.

Textura coloforme estalactítica

Existe também uma variedade de textura coloforme - a textura estalactítica, que é constituída por bandeamentos circulares em torno de um núcleo, que pode ser um poro ou um mineral de granada (Fotomicrografia 18). São bandeamentos curvos, alternadamente claros (criptomelano) e escuros (hidróxidos de ferro). Trata-se de um correspondente coloidal de textura reliquiar zonal. Sendo assim, poder-se-ia denominar de textura zonal coloidal.

Fotomicrografia 18 - Superfície polida de gondito alterado mostrando textura em pente de pirolusita (pi), preenchendo vazios centrais de deposição coloidal de criptomelano. No canto SW observa-se textura coloforme estalactítica, constituída por bandeamentos circulares (tce).

Normalmente, quando o minério se encontra em fase avançada de intemperismo, observam-se pseudo-dobras em "chevron" de camadas de óxidos de manganês (Figura 26) dentro de uma massa escura informe. A formação desta textura se deve ao preenchimento de espaços intergranulares de granada por colóides de manganês (Figura 25) e à posterior substituição da granada (Figura 26).

Algumas vezes estes veios de óxidos de manganês são orientados perpendicularmente ao acamamento geral do minério.

Figura 25 - Veio de Óxido de manganês (B) preenchendo vazios entre granadas (A)

Figura 26 - I - pseudo-dobras em chevron de óxidos de manganês.

São soluções coloidais descendentes constituídas de criptomelano e pirolusita.

Estes veios observados em seções polidas podem ser observados também em amostra de mão.

Textura em pente

Esta textura é formada exclusivamente por cristais individuais de pirolusita de 0,12 a 0,36 mm de comprimento, cujos maiores comprimentos são perpendiculares a um bandejamento difuso formado por criptomelano. Geralmente ocupam os espaços vagos em texturas coloidais e por isso são posteriores aos minerais de deposição coloidal (Fotomicrografia 18).

Textura de Boxwork

Os óxidos de manganês formam paredes que englobam óxidos de ferro (limonita), configurando uma textura típica de "boxwork".

A estrutura de "boxwork" (em amostra de mão) é melhor observada do que a textura em seção polida.

8.4 - SIGNIFICAÇÃO GENÉTICA DAS TEXTURAS

8.4.1 - PROCESSOS DE FORMAÇÃO DO MINÉRIO

As texturas pós-deposicionais, anteriormente descritas, indicam quatro processos que influenciaram diretamente na formação do minério:

- a - Processo de Deformação
- b - Processo de Substituição
- c - Processo de Preenchimento de Cavidades
- d - Processo de Laterização

O processo de deformação está evidenciado pelo alto grau de fraturamento a que foi submetido o protominério (Textura Brechada). Este processo foi o fator inicial e dominante em todo o desenvolvimento de alteração da rocha primária. A existência de veios concordantes de quartzo e granada, inalterados e sem nenhum fraturamento, reforça a assertiva anterior.

Fenômenos como microdobramentos, amarrotamentos e curvamentos da litioforita ao longo de seu comprimento ("Rumpled Texture") são reflexos de um esforço externo a que foram submetidas as rochas, mesmo durante o processo de oxidação.

O processo de substituição é indicado pelas texturas reliquiares e de borda atuantes na formação do minério, a partir da granada. Da mesma forma, estas texturas indicam que a grande maioria dos minerais secundários provieram diretamente da alteração da granada.

O processo de formação do minério por meio de preenchimento de cavidades está evidenciado pelas texturas coloforme e por texturas em pente. Estes colóides se depositam em fraturas e em planos de acamamentos segundo bandeamentos simétricos e assimétricos.

O processo de laterização é o menos intenso na formação do minério. Consiste praticamente na dissolução do manganês como Mn^{2+} e na precipitação como Mn^{4+} (HOLTROP, 1965). Geralmente esta laterização se verifica sobre o protominério em região muito plana, ocorrendo a remoção simultânea do SiO_2 . A textura típica deste processo é a textura nodular concêntrica, que se encontra nas esferas concêntricas de óxidos de manganês que formam níveis de deposição de cangas sobre o protominério.

8.4.2 - TIPOS DE MINÉRIO EM RELAÇÃO AOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO

Baseados nos processos acima referidos, evidenciam-se três tipos de minerais secundários: o primeiro consiste de óxidos de ferro e manganês formados principalmente por processos de substituição parcial da granada. Este minério forma aproximadamente 60% do total. O minério, por este processo, se forma em grande parte da granada e do quartzo; é constituído de litiofo-rita, pirolusita I, criptomelano I e mangano-nsutita; outra parte se forma de óxidos finamente granulados e recristalizados em pirolusita I, que se forma a partir da groutita ou manganita.

O segundo tipo de mineral secundário é característico de preenchimento de cavidades. Este consiste de óxidos de manganês e óxidos de ferro que se depositaram em fraturas e fendas da rocha. É constituído de pirolusita II e criptomelano II.

O terceiro tipo de mineral secundário é o laterítico. Este é insignificante na área; é constituído de nódulos concêntricos de pirolusita e criptomelano.

A ganga é constituída essencialmente de quartzo, granada e óxidos de ferro.

8.4.3 - FASES E CARACTERÍSTICAS DO INTEMPERISMO

Cada textura ou conjunto de texturas representa uma

fase de alteração do protominério. Baseado neste princípio, verifica-se um escalonamento de texturas no tempo, de acordo com o grau de alteração do protominério. Com este critério, divide-se o intemperismo em várias fases:

1ª fase - Fraturamento

O protominério, antes do intemperismo, era compacto, caracterizado por textura em mosaico. Devido a pressões externas, se formou um espaçamento maior entre os grãos. Com o aumento de intensidade de deformação houve um fraturamento em toda a extensão da rocha (Textura Brechada).

2ª fase - Formação de Litioforita (Início de Intemperismo)

Formou-se primeiramente a litioforita. Ela se encontra preenchendo os espaços intergranulares e as fraturas (Textura de substituição e Textura filiforme).

3ª fase - Formação de Pirolusita, Criptomelano e Mangano-nsutita

Posteriormente, há a formação de pirolusita I e de criptomelano I, favorecida pelo intenso fraturamento. São típicas desta fase as texturas de borda ou reliquias.

4ª fase - Intemperismo total da granada

Com o avanço do intemperismo há transformação total de granadas em hidróxidos de ferro e óxidos de manganês. É testemunha desta fase a textura de substituição pseudomórfica, onde persistem apenas os contornos das granadas.

5ª fase - Preenchimento de cavidades

Nesta fase, verifica-se o preenchimento de espaços vazios por soluções coloidais de Mn (Criptomelano II e Pirolusita II). São testemunhas desta fase as texturas coloformes e texturas em pente.

Esta quinta fase pode em alguns casos preceder à quarta. Isto acontece, quando em níveis superiores se dissolve o

Mn^{+2} em soluções que descem por gravidade e preenchem fraturas entre granadas que serão posteriormente intemperizadas. Este fenômeno coincide com a formação das pseudo-dobras em seções polidas descritas em item anterior.

6ª fase - Formação de Esferas Manganesíferas

A lixiviação de SiO_2 e a concentração residual de óxidos de manganês em nódulos concêntricos constituem a parte final do processo de intemperismo. São testemunhas desta fase as texturas de "boxwork" e a textura nodular concêntrica.

Observe-se que todas estas fases podem se superpor durante o desenvolvimento do intemperismo, tendo em vista que o intemperismo não se deu de maneira contínua e sim em função de elevações e abaixamento do nível de base local, que influenciou diretamente no posicionamento do lençol freático.

Em resumo, podem ser alinhados como fenômenos ao longo do intemperismo os seguintes fatores: 1 - Alteração das rochas manganesíferas. 2 - Liberação do manganês. 3 - Concentração residual de óxido de manganês. 4 - Migração do manganês restante. 5 - Precipitação do manganês restante substituindo o quartzo ou preenchendo cavidades em forma coloidal.

O fenômeno de intemperismo se processa até uma profundidade de 23 m geralmente, alcançando o máximo de 37 m em gnaiss decomposto (Perfil A'B', pág.41).

Os minerais que se alteram e contribuem para a formação do minério são espessartita, rodonita e mangano-cumingtonita. A rodonita e mangano-cumingtonita podem ter formado silicatos hidratados intermediários que formaram óxidos de manganês e hidróxidos de ferro. Esta colaboração, entretanto, foi muito pequena em relação à alteração da espessartita. Esta granada comumente se transforma em hidrossilicatos, liberando manganês que se precipitam como criptomelano e pirolusita, em forma coloidal (VALARELLI *et al.*, 1976). Nestes casos comumente a pirolusita se deposita em segundo lugar. Isto é observado em seção polida, em função da densidade de fendas de dessecação nos bandeamentos colo-

formes e a partir da textura em pente da pirolusita.

Da alteração direta da espessartita se formou a litioforita que, por sua vez, é substituída por pirolusita, criptomelano, mangano-nsutita e groutita ou manganita. Da groutita se formou a pirolusita pseudomorfa.

Baseado nestes fatos, sugere-se o seguinte esquema para a formação dos compostos de manganês no sistema ora estudado:

A partir do esquema acima delineado, se conclui que o minério se derivou exclusivamente do intemperismo da espessartita.

Outros fatores confirmam esta assertiva:

a - As zonas de contato são tão alteradas quanto outras partes do depósito.

b - Na composição do protominério não há outro mineral em abundância suficiente para formar os óxidos observados.

c - A quantidade de alumina é alta; o que comprova que o intemperismo se deu a partir de um silicato de alumínio abundante no protominério (Tabelas 15 e 17).

8.4.4 - PARAGÊNESE E SUCESSÃO MINERAL

As paragêneses encontradas no minério são as seguintes:

- 1 - Litioforita - limonita
- 2 - Litioforita - pirolusita I
- 3 - Litioforita - pirolusita I - Criptomelano I - mangano-nsutita e Óxidos de ferro (goethita ?)
- 4 - Criptomelano II - pirolusita II - Óxidos de ferro

A litioforita é o primeiro mineral a se formar, a partir da espessartita. COUTINHO *et al.* (1976) afirma, em relação a litioforitas semelhantes, que elas se formam abaixo do nível freático. SILVA *et al.* (1963) diz que a formação de uma depressão no limite do intemperismo representa que houve oxidação do protominério abaixo do lençol freático (Perfil A'B' - Mapa Geológico de Lagoa do Riacho).

Com o rebaixamento do nível freático, em zona não saturada de água, a litioforita se transforma em criptomelano e pirolusita, formando as paragêneses 2 e 3, que compõem grande parte do minério.

No caso acima referido, a litioforita funciona como estágio de transição entre a alteração da granada e os outros óxidos de manganês. HÖREN (1953) advoga esta possibilidade para o intemperismo em Morro da Mina (Conselheiro Lafayette, MG) e HOLTROP (1965), estudando os depósitos de manganês do escudo guianense, afirma que em muitos casos a litioforita é o primeiro mineral a se formar, a partir da granada.

As paragêneses litioforita + pirolusita I (2) e pirolusita I + criptomelano I + litioforita + mangano-nsutita (3) são um argumento a favor da afirmação de que a litioforita é um elemento de transição entre a granada e os óxidos de manganês.

Tendo em vista o que foi dito anteriormente, indica-se

QUADRO 5

SUCESSÃO DOS MINERAIS OXIDADOS, DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE
ARACOIABA-PACAJÚS (CE).

PROCESSOS DE FORMAÇÃO

MINERAIS	SUBSTITUIÇÃO	PREENCHIMENTO DE CA- VIDADES E LATERIZAÇÃO
Litioforita
Óxidos de Ferro
Criptomelano I
Pirolusita I
Mangano-Nsutita
Criptomelano II
Pirolusita II

para a fase secundária a seguinte sucessão geral: Litioforita → criptomelano I → mangano-nsutita → pirolusita I → criptomelano II → pirolusita II. Na realidade, há simultaneidade na formação de minerais conforme Quadro 5 (pág. 116).

Teoricamente pode existir mais de uma geração de litioforita, já que pode ter havido também mais de uma mudança de nível de base local de erosão que modificou concomitantemente o nível freático da região. Esta distinção, na prática, é difícil de ser feita, por falta de critérios.

9 - QUALIDADE E QUANTIDADE DO MINÉRIO

9.1 - QUALIDADE DO MINÉRIO

A rocha manganesífera (Gondito) da província manganesífera de Aracoiaba-Pacajús se divide, quanto ao teor, em três tipos:

1 - Uma rocha pouco alterada, cujo teor se situa entre 1% a 13% de Mn e que constitui o protominério propriamente dito.

2 - Uma rocha mais alterada cujo teor se situa entre 18 e 38% de Mn e que constitui o minério da região.

3 - Uma rocha medianamente alterada, cujo teor oscila entre 13 e 18% de Mn e que constitui a fase de transição de intemperismo entre o protominério e o minério.

Normalmente estes três tipos, que correspondem a três intensidades de intemperismo, ocorrem lado a lado.

O tipo 1 não tem valor econômico nem mesmo a prazo longo e representa 9% do conjunto.

O tipo 3, embora de baixo teor, é levado em consideração para cálculo de teor médio, já que ele está sempre asso-

ciado ao tipo 2 e representa 27% do conjunto.

O tipo 2 representa 50% do conjunto e juntamente com o tipo 3 constitui 77% do material manganêsífero. Os tipos 2 e 3 têm um teor médio de 23% de Mn conforme cálculo anexo à Tabela 14. Calculou-se também o desvio padrão de 3,5, a partir da média, a fim de servir como um dado para possíveis comparações com outras ocorrências. Estas comparações não são feitas aqui por falta de outros dados de desvio padrão na literatura (Tabela 14).

As Tabelas 15, 16 e 17 mostram respectivamente médias de 5,3, 4,1 e 3,9% de Fe. O normal de uma ocorrência rica em Mn situa-se entre 6 e 7 (GONÇALVES & SERFATY, 1976).

O teor de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ varia entre 24 e 54% para o minério de teor tipo 2. Este intervalo de variação situa-se muito acima dos teores aceitáveis para minério metalúrgico (12%) e para minério químico (6%), conforme padrões tabulados por GONÇALVES & SERFATY, (Op.Cit.).

O valor médio de 0,05% de P (Tabelas 15, 16 e 17) está dentro dos valores normais de aproveitamento, cujo máximo aceitável é igual a 0,3%.

Os teores de Pb + Cu + Zn (entre 0,015 e 0,004%), conforme Tabela 18, estão dentro dos padrões de uso (GONÇALVES & SERFATY, Op.Cit.).

Conforme especificações do mercado (DNPM, 1978), o minério da província de Aracoiaba-Pacajús (CE), em especial o de Serragem e Lagoa do Riacho, é de baixa qualidade. Isto é muito normal para depósitos de óxidos de manganês que se derivam exclusivamente de alteração de espessartita. Para este caso, HOLTROP (1965) indica um teor médio sempre abaixo de 30% de Mn. Deste modo o minério não se enquadra como "tipo metalúrgico de baixo grau", devido ao baixo teor de Mn e alta percentagem de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$; nem se enquadra como "tipo químico ou eletrolítico", que exigem teores de MnO_2 entre 75% e 85% (GONÇALVES & SERFATY, Op.Cit.).

TABELA 14

TABULAÇÃO DE DADOS OBTIDOS DO ANEXO III PARA CÁLCULO DE MÉDIA ($\bar{x}$) E
DE DESVIO PADRÃO (σ)

CLASSES DE TEOR EM Mn (%)	FREQÜÊNCIA RELATIVA (fj)	FREQÜÊNCIA RELATIVA ACUMULADA	Xj	fj.Xj	(Xj- $\bar{X}_n$) ²
8-13	9,24	9,24	10,50	97,02	152,27
13-18	26,76	36,00	15,50	414,78	53,87
19-22	21,82	57,82	20,50	447,31	5,47
23-27	20,81	78,63	25,50	530,65	7,07
28-32	11,47	90,10	30,50	349,83	58,67
33-37	8,58	98,68	35,50	384,59	160,27
38-42	0,00	98,68	40,50	000,00	311,87
43-47	1,32	100,00	45,50	60,06	513,47
	100,00			2.284,34	1.262,96

Cálculo da Média:

$$\bar{X}_n = \text{média}$$

$$\bar{X}_n = \frac{1}{\sum f_j} \sum_{j=1}^n f_j \cdot X_j$$

$$\bar{X}_n = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^n f_j \cdot X_j$$

$$\bar{X}_n = \frac{1}{100} \cdot 2284,34$$

$$\bar{X}_n = 22,84 \% \text{ de Mn}$$

Cálculo do Desvio Padrão (σ)

$$\sigma = \text{desvio padrão}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sum f_j} \sum (X_j - \bar{X}_n)^2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{100} \cdot 1262,96$$

$$\sigma^2 = 12,62$$

$$\sigma = 3,55$$

TABELA 15

VALORES DE Mn/Fe E DE $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ DE P PARA O MINÉRIO DA PROVÍNCIA ARACOIABA-PACAJÚS (CE).

Nº DE ORDEM	Mn	Fe	Mn/Fe	SiO_2	Al_2O_3	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	P
1	23,2	4,80	4,8	21,1	10,9	32,0	0,22
2	13,1	3,90	3,2	35,5	10,9	46,4	0,03
3	35,6	4,40	7,9	13,4	10,7	24,1	1,07
4	28,8	5,40	5,3	15,4	11,0	26,4	0,07
5	15,1	5,90	2,5	41,8	12,2	54,0	0,76
6	8,6	7,50	1,1	47,7	13,8	61,5	0,93
MEDIA ARITMÉTICA	20,7	5,30	4,1	29,1	11,5	40,6	0,51

Tabela construída a partir de dados compilados de BRAGA *et al* (1977).

TABELA 16

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO MINÉRIO DE MANGANÊS DA PROVÍNCIA DE ARACOIABA-PACAJÚS (CE) DE ACORDO COM A OCORRÊNCIA (%)

OCORRÊNCIA	Mn	Fe	SiO ₂	F	S	H ₂ O
1 - Sítio Casê	22,5	3,7	42,6	0,05	0,05	0,5
2 - Curral Velho	27,5	2,5	46,0	0,07	0,02	0,6
3 - Curral Velho	27,0	-	35,2	0,09	0,02	1,3
4 - Lagoa da Pedra	25,0	3,6	37,6	0,04	0,04	0,6
5 - Lagoa da Pedra	16,6	-	30,3	0,03	0,03	6,2
6 - Fiúza	31,3	-	13,9	0,06	0,03	1,9
7 - Fiúza	24,5	3,7	37,6	0,03	0,03	0,5
8 - Fiúza	27,5	-	29,7	0,07	0,03	0,8
9 - Serragem	16,5	-	42,2	0,03	0,03	2,9
10 - Serragem	42,3	2,9	8,6	0,04	0,02	2,0
11 - Canafístula	28,0	4,9	19,9	0,04	0,04	4,3
12 - Lagoa dos Porcos	20,8	-	22,7	0,04	0,02	5,9
13 - Lagoa dos Porcos	42,8	4,2	6,2	0,06	0,03	1,9
14 - Bolas	25,0	2,9	44,3	0,10	0,03	1,4
15 - Alto do Urubu	34,0	2,5	32,0	0,08	0,03	1,1
16 - Alto preto	34,0	6,1	15,0	0,09	0,03	4,5
17 - Açudinho	25,0	2,9	38,6	0,07	0,04	0,9
18 - Lagoa Bonita	22,4	6,3	35,4	0,09	0,04	1,5
19 - Sítio Açude	20,4	7,6	30,3	0,03	0,05	1,9
Média Aritmética	27,0	4,1	30,0	0,05	0,03	2,14

Dados extraídos de MORAES (1974).

TABELA 17

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO MINÉRIO DE SERRAGEM E LAGOA
DO RIACHO

Nº DE ORDEM	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	P	Mn	UMIDADE
1	29,02	3,73	11,04	0,05	32,20	50,95
2	36,88	8,37	7,78	0,07	23,90	3,67
3	20,82	2,81	7,48	0,06	40,40	2,94
4	66,30	2,60	7,01	0,03	12,00	3,03
5	68,88	6,70	10,56	0,02	3,00	0,62
6	70,74	2,88	7,65	0,02	9,00	2,81
7	55,74	3,01	7,64	0,05	17,90	3,02
8	31,86	3,53	6,28	0,06	33,00	3,63
9	49,42	3,88	14,01	0,08	18,00	1,32
10	54,24	1,50	6,45	0,06	22,38	0,68
MÉDIA ARITMÉTICA	48,39	3,90	7,82	0,05	21,17	

Executado pelo Laboratório de análises minerais do Departamento de
Minas do Estado do Ceará.

TABELA 18

ELEMENTOS TRAÇOS NO MINÉRIO DE LAGOA DO RIACHO E SERRAGEM NO MUNICÍPIO DE ARACOIABA (CE) - (ppm)

Nº DE ORDEM	Pb	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Sr	Pb+Cu+Zn(%)
1	8	20	330	120	350	80	94	0,015
2	13	130	560	260	1000	20	344	0,040
3	9	150	350	100	780	165	93	0,025
4	5	15	15	26	200	70	39	0,004
5	14	220	150	240	222	20	244	0,047
6	15	40	350	130	500	50	313	0,018

Os elementos Sr e Cr foram determinados por técnico do laboratório de Fluorescência de Raios X pertencente ao Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os outros resultados foram obtidos por Absorção Atômica no laboratório Puriquima (São Paulo).

Em relatórios técnicos da CPRM, BRAGA (1977) sugere uma pré-lavagem do minério como meio de se conseguir um concentrado rico em Mn. Este processo é perfeitamente exequível, desde que sua execução seja precedida de um estudo experimental para avaliar os aspectos econômicos quanto a reservas e a mercado doméstico.

9.2 - QUANTIDADE DO MINÉRIO

Na ocorrência de Serragem foram computadas aproximadamente 110.000 t de minério bruto a 28% de Mn, de reserva medida. Deste total 52.000 t correspondem a minério rolado (CRUZUL, 1975).

Na ocorrência de Lagoa do Riacho foram computadas 370.000 t de minério bruto a 27%, como reserva medida (CRUZUL, Op.Cit.). Deste total 200.000 t correspondem a minério rolado (Tabela 19).

Considerando todas as ocorrências da província (20) com uma reserva média de 110.000, se estimam 2.200.000 t de minério bruto a 23% de Mn (Teor médio da província).

MORAES (1973), fazendo um cálculo geral para a província estimou em 6.10^6 t de minério bruto como reserva inferida.

Dos dados acima referidos, se conclui que 50% da reserva medida em Serragem e Lagoa do Riacho correspondem a minério rolado. Conforme informações em relatórios de CRUZUL (1975), esta conclusão pode ser extrapolada para toda a província.

TABELA 19

RESERVAS MEDIDAS DE SERRAGEM E LAGOA DO RIACHO (ARACOIABA - CE)
CONFORME RELATÓRIO INÉDITO DE CRUZUL (1975).

MINÉRIO	SERRAGEM	LAGOA DO RIACHO	TEOR EM Mn (%)
Rolado	50 000 t	200 000 t	26,5
In situ	60 000 t	170 000 t	29,5
Total	110 000 t	370 000 t	28,0

10 - COMPARAÇÃO COM OUTRAS OCORRÊNCIAS

Na Índia, em Dongri Buzurg (Maharashtra), em zona metamórfica de almandina são encontrados gonditos que se constituem de espessartita, rodonita, tirodita e quartzo (ROY, 1968). Esta composição é semelhante ao gondito de Aracoiaba-Pacajús (CE). Apenas o anfibólio não foi determinado especificamente como tirodita e sim como mangano-cumingtonita de maneira geral.

De maneira geral, os depósitos de Aracoiaba-Pacajús têm em comum com os depósitos da Índia o fato de não ter sido encontrado carbonato no protominério (ROY, 1965), embora presume-se que tenha existido no depósito original em Aracoiaba-Pacajús.

WRIGHT & Mc CURRY (1970) descrevem uma ocorrência de manganês no norte da Nigéria muito semelhante à do Ceará. O protominério é constituído de granada de 0,5 mm de diâmetro dentro

de fina massa de quartzo equigranular em textura em mosaico.

Existe um depósito em Ghana (África) muito semelhante na província de Aracoiaba-Pacajús: situa-se em Nsuta Mine Area cujo protominério é composto de espessartita, rodonita e quartzo e cuja parte oxidada é constituída principalmente de mangano-nsutita, pirolusita, criptomelano e litioforita (ROY, 1965).

Nos depósitos do escudo guianense (Guianas e Brasil) são conhecidos níveis de protominérios (gondito) que são semelhantes aos gonditos de Aracoiaba-Pacajús (HOLTROP, 1965). A diferença está no fato de que no escudo guianense predominam outras rochas espessartíticas, como maripaitos e rochas espessartíticas, enquanto em Aracoiaba-Pacajús (CE) existe somente o gondito.

As mineralizações em manganês do Estado do Ceará aqui descritas são comparáveis geologicamente aos depósitos de Serra do Navio no Amapá e de Conselheiro Lafayete em Minas Gerais. Todos se formaram em ambientes redutores e foram metamorfisados durante o mesmo ciclo tectônico. No entanto, a presumível pequena espessura dos sedimentos carbonáticos originais em Aracoiaba (CE) diferem das grandes espessuras dos sedimentos em Conselheiro Lafayete e em Serra do Navio (Quadro 6). Por esta razão, restaram em Aracoiaba-Pacajús apenas protominérios silicáticos e nos outros depósitos se formaram protominérios silicáticos e carbonáticos. A consequência deste fato é a pouca espessura atual do protominério em Aracoiaba e a ausência de um manto de oxidação mais espesso por falta de carbonato que desencadeie um intemperismo mais completo.

O protominério silicático de Serra do Navio (Amapá) tem pequena espessura e teor de 15% (NAGELL, 1961), assemelhando-se assim aos depósitos de Aracoiaba-Pacajús.

No Ceará, as condições tectônicas, caracterizadas por levantamentos epirogenéticos, ensejaram um grande processo de erosão ocasionando grande aplainamento de terreno (BRITO NEVES, 1975). Isto reduziu a profundidade atual de intemperismo (me-

QUADRO 6

QUADRO COMPARATIVO ENTRE OS DEPÓSITOS DE MANGANÊS DE ARACOIABA-PACAJÚS E AS JAZIDAS DE SERRA DO NAVIO (AM), MORRO DA MINA (MG) E URANDI (BA)

Critério para comparação	JAZIDAS			
	Serra do Navio, Amapá	Morro da Mina, Cons. Lafaiete (MG)	Urandi-Bahia	Aracoiaba- Pacajús (CE)
Idade	± 2 000 m.a.	Fim do arqueano (EBERT, 1963)	790 m.a.	± 2 000 m.a.
Tipo de protominério	Sílico-carbonático	Sílico-carbonático	Sílico carbonático	Silicático
Espessura do protominério	30 m	-	-	<4 m
Profundidade de oxidação	±100 m (NAGELL, 1961)	66 m (HÖREN, 1953) 93 m (BITTENCOURT, 1973)	-	<37 m
Teor em Mn (%)	45.	40 a 45	47	<30
Teores em SiO ₂ (%)	±7 (NAGELL, 1961)	8 a 17 (BITTENCOURT, 1973)	3	30
Mineralização primária metamórfica	Quartzo	Quartzo	Mangano-dolomita	Espessartita
	Carbonato	Carbonato	Espessartita	Rodonita
	Rodonita	Rodonita	Rodonita	Mangano-cuming tonita
	Piroxmangita	Piroxmangita	Quartzo	Quartzo
	Espessartita	Espessartita	(Mina Barreira- RIBEIRO FILHO, 1968)	Pirita e Pirro- tita
	Tefroita	Tefroita		Grafita
	Grafita	Alabandita Grafita		
Reserva	32.10 ⁶ t (Em 1972) (GONÇALVES, 1976)	5.10 ⁶ t (ABREU, 1978)	1.10 ⁵ t (GONÇALVES, 1976)	3.10 ⁶ t de miné- rio

nor que 35 m); em outras ocorrências e depósitos no Brasil esta profundidade é relativamente grande (Quadro 6).

O regime de chuva e o clima atuais diferem em muito entre as regiões de Aracoiaba-Pacajús (Figura 2) e outras regiões de manganês do Brasil. No Ceará predomina o clima semi-árido e nas outras partes o clima tropical úmido. Mesmo assim, observa-se que o intemperismo dos protominérios silicáticos independe do clima atual, tendo em vista que os resultados são os mesmos quer em Minas Gerais ou Amapá quer no Ceará.

As condições de deposição original em ambiente oxidante na região de Urandi no Estado da Bahia (RIBEIRO FILHO, 1968) diferem das condições de Aracoiaba-Pacajús. Os depósitos de Urandi, por ter mineralização primária, na fase metamórfica, de carbonatos e óxidos, diferem muito quanto à paragênese; em Aracoiaba-Pacajús, a associação é essencialmente silicática.

As demais diferenças podem ser acompanhadas pelo Quadro 6 (pág.127) onde se fazem correlações entre os depósitos de Serra do Navio (AM), Morro da Mina (MG) e Urandi (BA) em relação aos depósitos de Aracoiaba-Pacajús (CE).

No Estado do Ceará existem outras áreas de ocorrência de manganês que são semelhantes à área de Aracoiaba-Pacajús (CE): são as ocorrências situadas a noroeste da sede do município de Aracoiaba e as ocorrências do município de Piquet Carneiro (Tatáira). Ambas têm em comum os seguintes aspectos:

- a - Estão em gondito.
- b - Estão situadas vizinhas a falhas transcorrentes.
- c - Situam-se estratigraficamente no mesmo nível (Complexo Caicó).
- d - Estão vizinhas a províncias pegmatíticas e a área de ocorrência de grafita.

11 - CONCLUSÕES GERAIS

As principais conclusões deste trabalho são a seguir enumeradas e comparadas com as idéias esboçadas em trabalhos anteriores e resumidos no item 4.

1 - Os depósitos de manganês da província ora estudada se situam no Complexo Caicó de idade mínima de 2.100 m.a. Esta conclusão baseada nas datações de KAWASHITA *et al.* (1976), BRITO NEVES (1975) e CORDANI (1974) coincide com a conclusão de BRAGA (1977) e está em desacordo com as afirmações de MANOEL FILHO (1971) e DANTAS (1974).

2 - Os depósitos de manganês são constituídos por gonditos encaixados em um conjunto de granada-quartzito e migmatito-gnaiss. Esta conclusão complementa o que foi dito por MORAES (1974) e não coincide com as afirmações de COELHO (1957).

3 - Os gonditos, de direção N10°W e mergulho de 50° a 75° leste, estão associados a núcleos de dobras sinclinais e anticlinais em dobramentos de 2ª ordem (MOODY, 1973) cujos eixos fazem aproximadamente 15° NNE com a falha transcorrente de Senador Pompeu. Alguns dados de campo e de laboratório sugerem que o acamamento original é coincidente com a foliação.

A bibliografia é omissa sobre este assunto.

4 - Os gonditos são compostos essencialmente de essartita, quartzo rodonita e mangano-cumingtonita e acessoriamente de grafita, pirita, pirrotita, titanita e pirofanita. Estes minerais estão distribuídos em texturas *em mosaico*, *de inclusão*, *de limites mútuos* e *bandeada*.

MORAES (1974) se refere à composição do gondito sem citar a rodonita e mangano-cumingtonita. BRAGA *et al.* (1977) cita rodocrosita como componente do gondito.

Em relação à textura a literatura é omissa.

5 - As condições de metamorfismo, inferidas a partir do estudo de rochas regionais e encaixantes, são caracterizadas por pressão mínima aproximada de 6 kb e temperatura mínima de 600° C. A fácies metamórfica dominante é a granulítica. Estas conclusões estão em desacordo com as observações de BRAGA (1977) e da CRUZUL (1975) que situam as ocorrências de Mn na fácies anfibolito e xisto verde respectivamente. Há, na realidade, uma superposição de fácies anfibolítica, o que comprova a sugestão de BRITO NEVES (1975), segundo a qual houve uma remobilização no ciclo brasileiro.

6 - O depósito é classificado como estratiforme formado a partir de metamorfismo sobre sedimentos arenosos impuros, cuja mineralização foi presumivelmente constituída de carbonatos, quartzo, outros silicatos e sulfetos.

MORAES (1974) sugere que os depósitos são constituídos por lentes paralelas de protominério; isto é comprovado em nosso trabalho. Sobre a composição dos sedimentos originais, não há referência na literatura.

7 - O conjunto de rochas encaixantes corresponde aproximadamente a unidade 2 de BRITO NEVES (1975).

A base da seqüência de rochas é constituída por migmatito-gnaiss, semelhante aos kondhalitos da Índia e Ceilão (TURNER, 1968).

O topo da seqüência de rochas é constituído de gondito. Entre o gondito e o migmatito-gnaiss situam-se almandina-silimanita-quartzito, granada-quartzito e metabasitos entre outras rochas.

Não foram observados os filitos citados por COELHO (1957).

8 - Muitos fatos comprovam a origem supérgena por alteração exclusiva da espessartita do protominério entre os minerais de manganês:

a - Texturas pós-deposicionais (Textura reliquiar,

textura reliquiar zonada, textura de borda, etc.).

- b - Existência de gondito com teor em óxido intermediário entre o minério e o protominério.
- c - Existência de apófises de óxidos no protominério.
- d - Existência de óxidos de manganês preenchendo fraturas transversais ao acamamento das rochas, indicando controle da gravidade sobre as soluções enriquecidas.
- e - Predominância de espessartita e ausência de carbonatos no protominério.

9 - O minério é composto de litioforita, criptomelano, pirolusita e mangano-nsutita como minerais-minério e de espessartita, quartzo, piroxenóide e anfibólio como ganga.

A literatura fala somente de pirolusita e criptomelano sem comprovação por análise de raios X.

10 - Os fatores que mais influenciaram o intemperismo local foram:

- a - A natureza do protominério com predominância de espessartita e ausência de carbonato.
- b - O controle estrutural por meio de fraturamentos e cisalhamentos ocasionados pela reativação da falha de Senador Pompeu.
- c - A situação fisiográfica aplainada em função de levantamentos epigenéticos (BRITO NEVES, 1975).

11 - O teor médio da província é 23% de Mn. Alguns depósitos isoladamente tem um teor médio em torno de 28% de Mn. A tonelagem para toda a província é estimada em 3.10^6 t de minério bruto. Estes dados se aproximam dos da literatura.

12 - Pelo Quadro 7 acompanha-se a evolução das paragêneses sedimentar, metamórfica e supergênica.

QUADRO 7

EVOLUÇÃO DAS PARAGÊNESES SEDIMENTAR, METAMÓRFICA E SUPERGÊNICA
DO GONDITO DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE ARACOIABA-PACAJÚS, (CE).

MINERAIS	PARAGÊNESE		
	SEDIMENTAR	METAMÓRFICA	SUPERGÊNICA
Carbonato	—		
•			
Outros silicatos	—		
•			
Pirita	—	—	
•			
Quartzo	—	—	
•			
Espessartita		—	
•			
Rodonita		—	
•			
Mn-Cumingtonita		—	
•			
•			
Pirrotita		—	
•			
Litioforita			—
•			
Óxidos de Fe			—
•			
Criptomelano I			—
•			
Pirolusita			—
•			
Mn-Nsutita			—
•			
Criptomelano II			—
•			
Pirolusita II			—
•			

Pelo Quadro 5, observa-se que 65 a 70% do minério foi formado por processo de substituição e o restante por processo de preenchimento de cavidades e laterização.

A literatura é omissa neste assunto.

13 - O minério é classificado em minério "in situ" e minério residual. O minério residual constitui 50% da reserva total.

Estes dados são referidos em CRUZUL (1975).

14 - O gondito tem três estágios de alteração:

- a - Uma rocha pouco alterada - 1 a 13% de Mn.
- b - Uma rocha medianamente alterada - 13 a 18% de Mn.
- c - Uma rocha muito alterada - 18 a 38% de Mn.

O intemperismo se iniciou pelo processo de fraturamento, com a formação de óxidos de manganês por processos de substituição e preenchimento de cavidades; e terminou com a formação de esferas concêntricas constituídas de óxidos de manganês formadas por processo de laterização.

A profundidade de intemperismo varia de 23 a 37 m.

12 - CONCLUSÃO FINAL

Observa-se pelo que foi resumido nas conclusões gerais que o objetivo principal desta tese foi alcançado: a caracterização paragenética e textural do protominério oxidado. A partir desta caracterização foram delineados a gênese e o intemperismo.

Sobre a eventual possibilidade de aproveitamento econômico, que é o objetivo secundário desta tese, são acrescentados novos dados de análises químicas que são cotejados com dados de referência. Por outro lado, são feitas comparações com jazidas conhecidas.

Em vista das considerações feitas quanto à qualidade do minério, classifica-se o material de Serragem e Lagoa do Riacho como minério de baixa qualidade, cuja reserva é restrita. Seu aproveitamento só é possível se houver uma mudança de mentalidade quanto à utilização dos recursos minerais de pequeno porte, orientando-a no sentido de suprimento de pequenas áreas em investimentos siderúrgicos próximos das jazidas.

O mesmo pode ser dito sobre todo o minério da província manganésifera de Aracoiaba-Pacajús (CE).

Continua inexplicada a origem do manganês que se depositou nos sedimentos impuros. Este assunto só será esclarecido com um maior conhecimento da geologia regional do nordeste do Estado do Ceará.

13 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRECHET, L. & PETERS, Tj. Hidrothermal sintesis of pyroxenoids in the sistem $MnSiO_3 - CaSiO_3$ at $Pf = 2$ Kb. Contr. Miner. Petrol., 50(4): 241-6, 1975.
- ABREU, S.F. Recursos minerais do Brasil. 2.ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1973. v.2. 754p.
- ALMEIDA, F.F.M. Origem dos protominérios de ferro e manganês de Urucum. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 1946. (bol.119).
- ANDRADE, G.O. & LINS, R.C. Introdução à morfoclimatologia do Nordeste do Brasil. Arg. Inst. Cien. Terra, 3(4):17-28, 1965.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL (ASTM). X-ray date file. Philadelphia, 1965.
- AZÁROFF, L.V. & BUERGER, M.J. The powder method in X-ray crystallography. New York, Mac-Graw-Hill, 1958. 342p.
- BARBOUR, A.P. Resumo da geologia dos depósitos de manganês de Serra do Navio. Rio de Janeiro, ICOMI S/A, 1965. 10p. (Inédito).
- BASTIN, E.S. Interpretation of ore textures. New York, The Geological Society of America, 1950. 100p. (Memoir 45).
- BELLO, R.M.S. et al. Ocorrência simultânea de piroxmangita e rondonita em protominérios de manganês brasileiro. Congresso Brasileiro de Geologia, 299. Belo Horizonte, 1976. (Resumo).
- _____. Condições de metamorfismo de Buritirama (PA) e Serra do Navio (AM). São Paulo, 1978. 81p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, USP).

- BITTENCOURT, A.V.L. Contribuição ao estudo genético do minério de manganês de Conselheiro Lafaiete (MG). São Paulo, 1973. 153p. (Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências, USP).
- BRAGA, A.Q.G. et al. Projeto Fortaleza - Convênio DNPM/CPRM. Recife, CPRM, 1977. v.1-2. (Relatório inédito).
- BRITO NEVES, B.B. Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino. São Paulo, 1975. 198p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, USP).
- CAMARGO, W.G.R. & MADUREIRA (FILHO), J.B. New diagrams for physical determination of garnets. An.Acad.Bras.Cien., 48(1):57-68. 1976.
- CASTRO, L.O. Study of the manganese ores of the Serra do Navio District, Amapá, Brazil. Bol.Soc.Bras.Geol., 12(1 e 2):5-35, 1963.
- CHAKRABORTY, K.L. Relationship of anthophyllite, cummingtonite and mangano-cummingtonite in the metamorphosed Wabush Iron-Formation Labrador. Canad. Miner., 7(5):738-50, 1963.
- COELHO, F.C.P. Manganês do Estado do Ceará. Relatório Anual do Diretor, DGM/DNPM. Rio de Janeiro, DNPM, 1957. p.60-1.
- CORDANI, U.G. Comentários sobre as determinações geocronológicas disponíveis nas folhas Jaguaribe e Fortaleza (f.SB-24 e f.SA-25). In: DANTAS, J.R.A. Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Rio de Janeiro, DNPM, 1974. p.59-74.
- COUTINHO, J.M.V. et al. Mineralogical study of the main manganese carbonate silicate protore (quartzites) from Brazil and their weathering. International Geological Congress, 25th. Sydney, Austrália, 1976. (Abstracts nº 3). p.764-5.

COMPANHIA SIDERÚRGICA CRUZEIRO DO SUL (CRUZUL). Relatórios de pesquisa das áreas de manganês de Aracoiaba-Pacajús (CE). Rio de Janeiro, 1975. (Inéditos).

DANTAS, J.R.A. Texto explicativo da carta geológica do Brasil ao milionésimo (f.SB-24 e f.SA-25). Rio de Janeiro, DNPM, 1974. 95p.

DERBY, O.A. On the manganese ore deposits of the Queluz-Lafayette (MG), Brazil. Am.J.Sci., 162(67-72):18-32, 1901.

_____. On the original type of the manganese deposits of the Queluz District (MG), Brazil. Am.J.Sci., 25(147):213-6, 1908.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Boletim de preços. Brasília, MME/DNPM, Nov.-dez., 1978. nº27. 42p.

DE VILLIERS, P.R. The geology and mineralogy of the Kalahari Manganese - Field North of Sishen, Cape Province. Johannesburg, Geological Survey Republic of the South Africa, 1971. 84p. (Memoir 59).

DE WAARD, D. The occurrence of garnet in the Granulite-Facies Terrane of the Adirondack Highlands. J.Petrol., 6(1):165-91, 1965.

DORR, J.V.N. Manganese and iron deposits of Morro do Urucum, Mato Grosso, Brazil. 2ed. Washington, U.S.G.S., 1945. p.1-47. (Bulletin nº 946A).

DORR II, J.V. et al. Manganese deposits of the Serra do Navio District - Territory of Amapá, Brazil. Washington, U.S.G.S., 1949. 51p. (Bulletin nº 964A).

_____. The manganese deposits of Minas Gerais, Brazil. Congresso Internacional de Geología, 20º. México, 1956. (Simposium del Manganeso) t.3. p.3-13.

DORR II, J.V. et al. Primary manganese ores. Congresso Brasileiro de Geologia, 229. Belo Horizonte, 1968. (Resumo).

EBERT, H. The manganese-bearing Lafaiete - Formation as a guide -horizon in the pré-cambrian of Minas Gerais. An. Ac. Bras. Cien., 35(4):545-59, 1963.

_____. Ocorrências de fácies granulíticas no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica (hipótese sobre a origem). An. Ac. Bras. Cien., 40:215-29, 1968.

FLEISCHER, M. & RICHMOND, W.E. The manganese mineralogy: a preliminary report. Econ. Geol., 38(4):269-86, 1943.

GONÇALVES, E. Manganês de Marau. Congresso Brasileiro de Geologia, 269. Belém, 1972. (boletim nº 1). p.50-51.

GONÇALVES, E. & SERFATY, A. Perfil Analítico do Manganês. Rio de Janeiro, DNPM, 1976. 149p. (Boletim nº 37).

GUICHARD, E. Les sols du bassin du Rio du Jaguaribe, Bresil. Paris, ORSTOM, 1970. 156p.

GUIMARÃES, D. Gênese dos minérios de manganês. An. Ac. Bras. Cien., 1(4):171-2, 1929.

_____. Gênese dos depósitos de minério de manganês do Centro de Minas Gerais. Bol. DNPM/SFPM, 8:45-68, 1935.

HEINRICH, E.W. Petrografia Microscópica. Barcelona, Omega, 1960. 320p.

HERTZ, N. & BANERJEE, S. Amphibolites of the Lafaiete, Minas Gerais and Serra do Navio manganese deposits, Brazil. Econ. Geol., 68(8):1289-96, 1973.

- HOLTROP, J.F. The manganese deposits of the Guiana shield
Econ. Geol., 60(6):1185-212, 1965.
- HÖREN, A. The manganese mineralization at the Merid Mine, Minas Gerais, Brazil. Massachusetts, 1953. 224p. (Tese de doutorado - Division of Geological Sciences, Harvard University).
- JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS (JCPDS) Index (inorganic) to the powder diffraction file. Pennsylvania, 1971. 1322p.
- KAWASHITA, K. et al. The behavior of solid - source mass spectrometer with glass tube and age determination on some rocks from the state of Ceará (Brazil). An.Ac.Bras.Cien., 48(1):79-86, 1976.
- KEGEL, W. A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 1965. 47p. (Boletim nº 227).
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. Rev.Bras.Geog., 18(2):147-256, 1956.
- KRAUSKOPF, K.B. Separation of manganese from iron in sedimentary processes. Geoch.Cosmoch. Acta, 12(1-2):61-84, 1957.
- KRUMBEIN, W.C. & GARRELS, R.M. Origin and classification of sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. J.Geol., 60(1):1-33, 1952.
- LEINZ, V. Estudo genético do minério da Serra do Navio, Território do Amapá. An.Ac.Bras.Cien., 20(2):211-21, 1948.
- LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. Geologia estrutural e introdução à geotectônica. São Paulo, Edgard Blucher/CNPq, 1976. 528p.
- MABESOONE, J.M. & CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste brasileiro. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Nordeste, 1975. p.5-36. (Boletim nº 3).

- MACHADO, R. Geologia e gênese do manganês de Bandarra, município de Jacaraci (BA). São Paulo, 1977. 109p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, USP).
- MADUREIRA (FILHO), J.B. Novos diagramas para determinação de granadas. São Paulo, 1972. 51p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, USP).
- MANOEL (FILHO), J. Inventário hidrogeológico do Nordeste (Jaguaribe-NE, f.10). Recife, Sudene, 1971. 343p.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. Etude sur l'alteration expérimentale de silicates manganésifères et la formation exogène des gisements de manganèse. Bull. Groupe franç. Argiles, 24:91-105, 1973.
- MELFI, A.J. & BITTENCOURT, A.V.L. Evolução superficial das rochas de Conselheiro Lafaiete (MG). Rev. Bras. Geoc., 5(2):85-98, 1975.
- MELO, A.A. et al. A tectônica linear no Estado do Ceará. Congresso Brasileiro de Geologia, 309. Recife, 1978. (Anais) v.1. p.393-407.
- MENHERT, K.R. Migmatites and the origin of granitic rocks. 2ed. Amsterdam, Elsevier, 1971. 405p.
- MIYASHIRO, A. & SHIDO, F. Progressive compositional change of garnet in metapelite. Lithos, 6(1):13-20, 1973.
- MOODY, J.D. Petroleum exploration aspects of wrench fault tectonics. Am. Assoc. Petr. Geol., 57(3):449-76, 1973.
- MOODY, J.D. & HILL, M.J. Wrench fault tectonics. Bull. Geol. Soc. Am., 67(3):1207-46, 1956.
- MORAES, J.F.S. Projeto Ferro/manganês - Convênio Departamento de Minas do Estado do Ceará - CPRM. Recife, CPRM, 1974. 126p. (Relatório inédito).

- MORAES, J.F.S. & CAMPOS, M. Projeto de levantamento de recursos minerais do Estado do Ceará (Programa Minerais Industriais) - Convênio Departamento de Minas do Estado do Ceará/CPRM. Recife, CPRM, 1973. v.1 e 2. 327p. (Relatório inédito).
- NAGEL, L.R.H. Geology of the Serra do Navio Manganese District, Brazil. Econ.Geol., 57(4):481-92, 1962.
- NAGEL, L.R.H. & SILVA, A.R. O carbonato como protominério no distrito de Serra do Navio. Bol.Soc.Bras.Geol., 57(2):53-59, 1961.
- ÖDMAN, O.H. Morro da mina manganese deposit and its protore. Eng.Min.Met., 21(122):57. 1955.
- OLIVEIRA, E. Gênese dos minérios de manganês. An.Ac.Bras.Cien., 1(4):173-8, 1929.
- ORCEL, M.M.J. & PAVLOVITCH, St. Les caractères microscopiques des oxides de manganèse et des manganites naturels. Bull. Soc. Franç.Min., 54:108-79, 1931.
- PARK, C.F.Jr. Manganese ore deposits of the Serra do Navio district, Territory of Amapá, Brazil. Intern.Geol.Cong., 209. México, 1956. (Simposium del Manganese). t.3. p.347-76.
- PARK, C.F. et al. Notes on the manganese ores of Brazil. Econ. Geol., 46(1):1-22, 1951.
- PETERS, T. et al. Petrogenetic grids from experimental data in the system Mn-Si-C-O-H. Rev.Bras.Geoc., 4(1):15-26, 1974.
- PIRES, F.R.M. et al. Gonditos na região de Pouso Alegre (MG). Min.Met., 52(312):237-9, 1970.
- RAMDOHR, P. Pyrolusite. In: _____. The ore minerals and their intergrowths. 3.ed. Oxford, Pergamon Press, 1969. p.1001-5.

- RIBEIRO (FILHO), E. Geologia da região de Urandi e das Jazidas de manganês de Pedra Preta, Barreiro dos Campos e Barnabé (BA). São Paulo, 1968. 83p. (Tese de Livre-Docência - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP).
- _____. Geologia da região de Urandi, Estado da Bahia. Bol. Inst. Geoc., USP., 4:87-95, 1973.
- _____. Texturas indicativas de gênese de manganês da região de Urandi, Estado da Bahia. International Geological Congress. 25th. Sydney, Austrália, 1976. (Abstracts nº 3).
- RIBEIRO (FILHO), E. & VALARELLI, J.V. Rondonita e espessartita de Urandi, Bahia. Ciência e Cultura, 18(2):215-6, 1966.
- ROUTHIER, P. Les gisements métallifères, géologie et principes de recherche. Paris, Masson, 1963. t.1. 867p.
- ROY, S. Comparative study of the metamorphosed manganese protomorphs of the world, the problem of the nomenclature of the goniatites and kodurites. Econ. Geol., 60(6):1238-60, 1965.
- _____. Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits. Econ. Geol., 63(7): 760-86, 1968.
- SANTOS, E.J. et al. Texto explicativo do mapa geológico preliminar do Estado do Ceará: Compilação e Interpretação, escala 1/5.000.000. Recife, Departamento de Minas do Estado do Ceará/CPRM, 1972. (Inédito).
- SCARPELLI, W. Aspectos genéticos e metamórficos das rochas do Distrito de Serra do Navio. Anais da 6^a Conferência Geológica das Guianas. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 1966. p.37-56. (Avulso nº 41).

- SCARPELLI, W. The Serra do Navio manganese deposits (Brazil). Earth Sciences, 9:217-27, 1973. (Genesis of precambrian iron and manganese deposits - Proceeding Kiev Symposium, Paris, 1970).
- SCHWARTZ, G.M. Classification and definitions of textures and mineral structures in ores. Econ.Geol., 46(6):578-91, 1951.
- SILVA, A.R. et al. Contribuição ao estudo dos protominérios de manganês do distrito de Serra do Navio, Território Federal do Amapá. Bol.Soc.Bras.Geol., 12(1-2):38-48, 1963.
- SOREN, R.K. & CAMERON, E.N. Manganese oxides and associated minerals of the Nsuta manganese deposits, Ghana, West Africa. Econ.Geol., 55(2):278-310, 1960.
- SOUZA, H.C. Ferro e manganês no Ceará. Min.Met., 3(21):124, 1939.
- STRECKEISEN, A. et al. Classification and nomenclature of plutonic recommendations. N.Jb.Mineral.Mh., 4:149-64, 1973.
- TONIATTI, G. & BARBOSA, J. O manganês de Marau (BA): avaliação de reservas. Congresso Brasileiro de Geologia, 28^a. Aracajú, 1973. (Anais) v.2. p.421-30.
- TURNEAURE, F.S. Metallogenetic provinces epochs. Econ.Geol., 1:38-98, 1955. (Special number of the 50th anniversary).
- TURNER, F.J. Metamorphic petrology, mineral and field aspects. McGraw-Hill, New York, 1968. 403p.
- VALARELLI, J.V. Contribuição à mineralogia do minério de manganês de Serra do Navio, Amapá. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 1966. p.83-98. (Avulso nº 41).
- _____. O minério de manganês de Serra do Navio, Amapá. São Paulo, 1967. (Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP).

- VALARELLI, J.V. et al. Manganese deposits of the Marau District, Bahia, Brazil. International Geological Congress, 25^o. Sydney, Austrália, 1976. (Abstracts n^o 3).
- WINKLER, H.G.F. Petrogenesis of metamorphic rocks. 4.ed. New York, Springer-Verlag, 1976. 334p.
- WRIGHT, J.B. & McCURRY, P. First occurrence of manganese ores in Northern Nigéria. Econ. Geol., 65(2):103-6, 1970.
- YAHNS, R.H. Clerici solution for the specific gravity determination of small mineral grains. Am. Min., 24(2):116-22, 1939.

ANEXO I

DESCRIÇÃO DE 17 POÇOS DAS REGIÕES DE SERRAGEM, LAGOA DO RIACHO E
ALTO PRETO (ARACOIABA-CE)

POÇO S/N (Alto Preto)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 100		Canga manganesífera
100 - 200		Protominério alterado em Óxidos de Mn
200 - 390		Gnaiss cortado por pegmatito homogêneo

POÇO Nº 1 (Lagoa do Riacho) - (Mata da Vaca)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 120		Blocos rolados de Óxidos de Mn de 10 a 20 cm
120 - 620		Protominério em estágio avançado de alteração

POÇO Nº 6 (Serragem)

-147-

PROFUNDIDADE
(em cm)

PERFIL

TIPO DE ROCHA

0 - 350

Este pacote sugere a existência de uma dobra em cujo núcleo central se encontra o protomylonite alterado:

A = gnaiss decomposto

B = quartzito granatífero alterado

C = protomylonite alterado

350 - 700

Protomylonite em início de alteração

700 - 800

Pegmatito homogêneo

POÇO Nº 9 (Serragem)

PROFUNDIDADE
(em cm)

PERFIL

TIPO DE ROCHA

0 - 30

Solo edafizado, arenoso, granulação fina

30 - 300

Solo arenoso vermelho, (F. Barreira)

300 - 330^C
D

Rolados de Mn com estrutura concêntrica com diâmetro de 0,2 a 10 cm (RANZON)

330 - 410^E

Solo coluvial, alteração de rochas metamórficas com grãos angulosos de 1 a 5 cm de diâmetro

410 - 510^F

Solo coluvial com blocos >5 cm

510 - 660^G

Solo areno-argiloso

POÇO Nº 12 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 230		Solo arenoso vermelho
230 - 350		Solo com rolados de Mn, de estrutura concêntrica 0,2 cm a 10 cm de diâmetro e blocos rolados de Mn
350 - 550		Solo proveniente de alteração de rochas metamórficas
550 - 650		Pegmatito homogêneo, alterado, composto de muscovita, quartzo, feldspato e grafita

POÇO Nº 13 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 100		Solo edafizado
100 - 150		Blocos rolados de 10 a 20 cm de diâmetro
150 - 320		Protomínério quartzo-granatífero alterado, com mergulho da foliação de 40 a 50° N
320 - 500		Gnaisse de granulação média, cortado por pegmatito homogêneo com o feldspato alterado para caulim
500 - 560		Gnaisse de granulação grosseira cortado por pegmatito alterado

POÇO Nº 14 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
	<p>Blocos rolados de Mn de 0,5 a 10 cm de diâmetro</p> <p>Rochas metamórficas alteradas</p> <p>Quartzito granatífero com impregnação de óxidos de Mn, com mergulho de 75° NE</p>

POÇO Nº 15 Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 25		Solo de areia vermelha e blocos de óxidos de Mn
25 - 125		Blocos de óxidos de Mn de 10 a 20 cm de diâmetro
125 - 175		Grãos de quartzo e feldspato de alteração. Rochas cristalinas
175 - 275		Blocos rolados de óxido de Mn de 20 a 30 cm de diâmetro
275 - 350		Pequenos blocos rolados de óxidos de Mn de 2 a 5 cm de diâmetro
350 - 600		<p>Protominério muito alterado em óxidos de Mn, com mergulho de 80° NE</p> <p>Protominério em início de alteração</p> <p>Protominério muito alterado em óxidos de Mn</p>

POÇO Nº 18 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 140		Solo arenoso vermelho (F.Barreiras)
140 - 320		Blocos rolados de 15 a 25 cm de proto-minério; esferas de 0,1 a 5 cm de diâmetro
320 - 460		Zona intermediária de gnaiss alterado in situ
460 - 660		Pegmatito homogêneo alterado com veios de quartzo preservados

POÇO Nº 19 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 80		Solo arenoso vermelho (F.Barreiras)
80 - 120		Blocos rolados de Óxidos de Mn de 1 a 10 cm de comp.
120 - 250		Dentro de blocos angul. de quartzo e feldspato. Quartzo e feldspatos alterados in situ; observam-se veios de quartzo preservados. A granulação varia de 10 a 20 cm de cima para baixo
250 - 330		Solo arenoso verm., proveniente de alter. de rochas metamórf. c/Qz e felds. de 0,1 a 2 cm.
330 - 430		Pegmatitos homogêneos, com preservação de veios de Qz de 25 cm de espes., com blocos achatados com maior comprimento
430 - 610		Pegmatitos homogêneos

POÇO Nº 20 (Serragem)

-151-

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 40		Solo arenoso vermelho (F.Barreira)
40 - 140		Blocos rolados de protomylonite de Mn
140 - 490		Quartzito com granada e grafita alterado, manchado de óxido de Mn; Granulação média.
490 - 980		Protomylonite de Mn-Quartzito com espessartita, alterado com mergulho de foliação de 60° E
980 - 1000		Pegmatito homogêneo, com quartzo e feldspato apresentando estrutura gráfica

POÇO Nº 21 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 100		Solo arenoso vermelho (F.Barreira)
100 - 155		Blocos rolados de 5 a 20 cm de protomylonite de Mn
155 - 175		Veio de quartzo leitoso
175 - 395		Solo proveniente de alteração de rochas quartzosas de granulação grosseira
395 - 595		Rochas metamórficas alteradas

POÇO Nº 34 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA

0 - 400		Afloramento de protominério alterado Protominério pouco alterado, com veios- camadas de quartzo leitoso
400 - 460		Camada de protominério alterado
460 - 710		Gnaiss alterado com mergulho de 70°NE e blocos rolados de manganês

POÇO Nº 37 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA

0 - 210		Solo arenoso vermelho (F.Barreiras)
210 - 230		Rolados de Óxidos de Mn de 0,5 a 2 cm de diâmetro.
230 - 350		Rolados de Óxidos de Mn de 10 a 20 cm de diâmetro.
350 - 370		Pegmatito homogêneo

POÇO Nº 38 (Serragem)

PROFUNDIDADE
(em cm)

PERFIL

TIPO DE ROCHA

0 - 40

Solo arenoso vermelho (F.Barreira)

40 - 600

Esferas de camadas concêntricas de manganês de 0,1 a 5 cm de diâmetro e blocos rolados de óxidos de manganês de 10 a 20 cm de comprimento

POÇO Nº 39 (Serragem)

PROFUNDIDADE
(em cm)

PERFIL

TIPO DE ROCHA

0 - 100

Blocos rolados de óxidos de manganês de 2 a 5 cm de comprimento

100 - 500

Blocos rolados de óxidos de manganês de 10 a 30 cm de comprimento

500 - 730

Blocos rolados de óxidos de manganês de 15 a 35 cm de comprimento

POÇO Nº 42 (Serragem)

PROFUNDIDADE (em cm)	PERFIL	TIPO DE ROCHA
0 - 130		Solo arenoso vermelho (F.Barreira)
130 - 200		Esferas de camadas concêntricas de diâmetro de 0,1 a 5 cm e blocos rolados de 20 cm de comprimento
200 - 360		Esferas de camadas concêntricas em menor quantidade que blocos rolados de protomylonite de 10 a 20 cm de comprimento
360 - 530		Blocos rolados de protomylonite alterados de 30 a 40 cm de comprimento; poucas esferas de camadas concêntricas e quartzos angulosos de 5 a 10 cm de comprimento

ANEXO II

DESCRIÇÃO DE 4 FUROS DE SONDA DE SERRAGEM-ARACOIABA

PERFIL DE FURO DE SONDA - SF-1 (Serragem)

-156-

Escala Vertical 1/100 - Mergulho 75° NE

Baseado em dados de CRUZUL (1975)

Descrição de campo

PERFIL DE FURO DE SONDA

SF-4 (Serragem)

Escala Vertical 1/100

Mergulho 75° NE

Descrição de campo

PERFIL DE FURO DE SONDA - SF-5 (Serragem)

Escala Vertical 1/100 - Mergulho 75° NE

Baseado em dados de CRUZUL (1975)

Descrição de campo

PERFIL DE FURO DE Sonda

SF-6 (Serragem)

Escala Vertical 1/100

Mergulho 75° NE

Baseado em dados da CRUZUL (1975)

Descrição de campo

ANEXO III

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE TEORES DE Mn (%) DE ROCHAS DA
PROVÍNCIA DE ARACOIABA-PACAJÚS (CE)

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE RESULTADOS DE TEORES DE Mn(%), RELATIVOS A AMOSTRAS DE PROTOMINÉRIO E MINÉRIO DA PROVÍNCIA MANGANESÍFERA DE ARACOIABA-PACAJÚS, CEARÁ.

DADOS (x_1) FREQUÊNCIA (f) FREQUÊNCIA RELATIVA

CLASSE I

8,24	1	0,66
8,51	1	0,66
8,64	1	0,66
8,65	2	1,32
9,13	1	0,66
9,19	1	0,66
9,37	1	0,66
10,10	1	0,66
10,30	1	0,66
10,50	1	0,66
10,70	1	0,66
11,00	1	0,66
12,10	1	0,66

CLASSE II

13,00	1	0,66
13,10	2	1,32
13,40	2	1,32
14,10	2	1,32
14,30	1	0,66
14,60	1	0,66
14,70	2	0,66
14,80	1	0,66
14,60	1	0,66
14,90	1	0,66
15,10	3	2,00
15,50	1	0,66
15,60	3	2,00
15,70	1	0,66
16,10	2	2,00
16,20	1	0,66

OBSERV.: Dados extraídos da CRUZUL(1975); amostras analisadas pelo laboratório Supervise-Sociedade Brasileira de Superintendência S/A - Rio de Janeiro.

DADOS (X_1)

FREQUÊNCIA (f)

FREQUÊNCIA RELATIVA

CLASSE II

16,30	2	1,32
16,40	2	1,32
16,50	2	1,32
17,00	1	0,66
17,10	2	1,32
17,30	1	0,66
17,40	1	0,66
17,70	2	1,32
17,90	1	0,66

CLASSE III

18,10	1	0,66
18,30	1	0,66
18,40	1	0,66
18,50	1	0,66
18,70	1	0,66
18,90	3	2,00
19,00	1	0,66
19,20	1	0,66
19,30	2	1,32
19,50	1	0,66
19,60	1	0,66
19,70	1	0,66
19,90	1	0,66
20,10	1	0,66
20,20	2	1,32
20,50	1	0,66
20,90	2	1,32
21,20	1	0,66
21,50	2	1,32
21,70	1	0,66
21,80	1	0,66

DADOS (x_1) FREQUÊNCIA (f) FREQUÊNCIA RELATIVA

CLASSE III

22,00	1	0,66
22,10	2	1,32
22,30	1	0,66
22,40	1	0,66
22,50	1	0,66

CLASSE IV

23,20	2	1,32
23,40	1	0,66
23,50	1	0,66
23,60	3	2,00
23,70	1	0,66
23,90	1	0,66
24,00	1	0,66
24,20	1	0,66
24,30	1	0,66
24,50	1	0,66
24,60	2	1,32
24,70	1	0,66
25,30	1	0,66
25,40	1	0,66
25,70	1	0,66
25,90	1	0,66
26,30	1	0,66
26,80	1	0,66
26,90	1	0,66
27,10	1	0,66
27,20	3	2,00
27,30	1	0,66
27,60	1	0,66
27,70	1	0,66
27,80	1	0,66

DADOS (x_1) FREQUÊNCIA (f) FREQUÊNCIA RELATIVA

CLASSE V

28,00	1	0,66
28,10	1	0,66
28,20	1	0,66
28,80	1	0,66
29,00	1	0,66
29,30	1	0,66
29,60	2	1,32
29,70	1	0,66
30,00	1	0,66
30,30	2	1,32
30,70	1	0,66
31,00	1	0,66
31,20	1	0,66
32,10	1	0,66
32,50	1	0,66

CLASSE VI

33,20	1	0,66
33,80	3	2,00
34,70	1	0,66
34,80	2	1,32
35,50	1	0,66
35,60	2	1,32
35,70	1	0,66
37,50	1	0,66
37,50	1	0,66

CLASSE VII

F	
O	0,00

CLASSE VIII

45,80	1	0,66
48,00	1	0,66

ANEXO IV

CÁLCULO DE a_0 A PARTIR DE FILMES DE RAIOS-X

MÉTODO ANALÍTICO (MÉDIA PONDERADA DOS VALORES DA CELA UNITÁRIA PELAS REFLEXÕES DE BRAGG) PARA CÁLCULO DO a_0 (AZAROFF, 1958) PARA A GRANADA DO MIGMATITO-GNAISSE DA REGIÃO DE SERRAGEM-ARACOIABA-CE

Nº DE ORDEM.	2θ (Fe)	I/I ₀	dÅ	hkl	Nc	Q(hkl)	a^{*2} observado	$Da^{*2}=\Delta$	(Δ^2)	$\Delta^2.Nc$
1	38,98	50	2,90	400	16	0,118906	0,007431	41	1681	26896
2	43,78	100	2,54	420	20	0,155000	0,007750	-278	77284	1545680
3	48,23	10	2,36	422	24	0,179546	0,007481	-9	81	1944
4	50,23	10	2,28	431	26	0,192366	0,007398	74	5476	142376
5	54,33	10	2,12	521	30	0,222499	0,007408	74	4096	122880
6	70,43	10	1,67	444	48	0,358564	0,007470	2	4	192
7	61,83	20	1,88	532	38	0,282933	0,007445	27	729	27702
8	77,13	60	1,55	642	56	0,416233	0,007432	40	1600	89600
9	83,63	5	1,45	800	64	0,475624	0,007416	56	3136	200704
10	95,43	10	1,30	840	80	0,591715	0,007396	76	5776	462080
11	132,03	5	1,05	10.4.2	120	0,907029	0,007558	-86	7396	887520
					522	3,900415	0,007472		107259	3507574

Cálculo do erro

$$Ea^{*2} = \pm \sqrt{\frac{3507574.10^{-12}}{522(11-1)}}$$

$$Ea^{*2} = \pm \frac{1872,85.10^{-6}}{\sqrt{5220}} = \frac{1872,85.10^{-6}}{72,24}$$

$$Ea^{*2} = \pm 2.10^{-5}$$

$$a^{*2} \text{ calculado} = 0,007472$$

Cálculo do a_0

$$a_0 = \pm \sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}}}} \frac{\sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}} + Ea^{*2}}} - \sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}} - Ea^{*2}}}}{2}$$

$$a_0 = \frac{1}{0,007472} \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{0,007472+0,00002}} - \sqrt{\frac{1}{0,007436-0,00002}}}{2}$$

$$a_0 = \frac{1}{0,086440} \pm \frac{\frac{1}{\sqrt{0,086556}} - \frac{1}{\sqrt{0,086324}}}{2}$$

$$a_0 = 11,5687 \pm \frac{11,5532 - 11,5842}{2}$$

$$a_0 = 11,5687 \pm \frac{0,031}{2}$$

$$a_0 = 11,5687 \pm 0,015$$

DO ANALÍTICO (MÉDIA PONDERADA DOS VALORES DA CELA UNITÁRIA PELAS REFLEXÕES DE BRAGG) PARA CÁLCULO DO a_o PARA A GRANADA DO GRANADA-QUARTZITO DA REGIÃO DE SERRAGEM-ARACOIABA-CE

2θ (Fe)	I/Io	dÅ	hkl	Nc	Q(hkl)	a^{*2} observado	$Da^{*2}=\Delta$	(Δ^2)	$\Delta^2.Nc$
38,80	80	2,91	400	16	0,118090	0,007380	56	3136	50176
43,65	100	2,60	420	20	0,147929	0,007396	40	1600	32000
45,90	10	2,48	332	22	0,162591	0,007390	46	2116	46552
48,01	30	2,37	422	24	0,178034	0,007418	18	324	7776
50,15	20	2,28	431	26	0,192367	0,007399	37	1369	35594
54,20	20	2,12	521	30	0,222499	0,007416	20	400	12000
56,35	20	2,05	440	32	0,237953	0,007436	00	0000	0000
61,70	50	1,88	532	38	0,282933	0,007445	-9	81	3078
70,40	60	1,67	444	48	0,358564	0,007480	-34	1156	55488
73,70	80	1,61	640	52	0,385787	0,007418	18	324	16848
75,95	30	1,57	552	54	0,405695	0,007512	-76	5776	311904
83,40	20	1,45	800	64	0,475624	0,007431	5	25	1600
96,20	30	1,30	840	80	0,591715	0,007396	40	1600	128000
99,40	20	1,26	842	84	0,629881	0,007498	-62	3844	322895
102,50	10	1,24	664	88	0,650364	0,007390	46	2116	186208
104,10	5	1,22	754	90	0,671862	0,007465	-29	841	75690
110,75	10	1,17	853	98	0,730513	0,007454	-18	324	31752
120,50	5	1,14	862	104	0,769467	0,007398	38	1444	150176
127,00	60	1,08	10.4.0	116	0,857338	0,007391	45	2025	234900
137,05	40	1,06	10.4.2	120	0,889996	0,007416	20	400	48000
140,15	40	1,02	880	128	0,961168	0,007509	-73	5329	682112
				1334	9,920370	0,007436	-153		2432749

culo do erro

$$Ea^{*2} = \pm \sqrt{\frac{\sum (Da^{*2})^2.Nc}{\sum Nc(n-1)}}$$

$$Ea^{*} = \pm \sqrt{\frac{2432749.10^{-12}}{1334(21-1)}}$$

$$Ea^{*2} = \pm \frac{1559.10^{-6}}{\sqrt{26680}} = \frac{1559.10^{-6}}{163,34}$$

$$Ea^{*2} = \pm 0,000009$$

$$a^{*2} \text{ calculado} = 0,007436$$

Cálculo do a_o

$$a_o = \pm \sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}}}} \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}} + Ea^{*2}}} - \sqrt{\frac{1}{a^{*2}_{\text{calc}} - Ea^{*2}}}}{2}$$

$$a_o = \frac{1}{\sqrt{a^{*2}_{\text{calc}}}} \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{0,007436+0,000009}} - \sqrt{\frac{1}{0,007436-0,000009}}}{2}$$

$$a_o = \frac{1}{\sqrt{0,007436}} \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{0,007445}} - \sqrt{\frac{1}{0,007427}}}{2}$$

$$a_o = \frac{1}{\sqrt{0,007436}} \pm \frac{\frac{1}{0,086284} - \frac{1}{0,086180}}{2}$$

$$a_o = \frac{1}{0,086232} \pm \frac{11,589 - 11,603}{2}$$

$$a_o = 11,596 \pm \frac{0,014}{2}$$

$$a_o = 11,596 \pm 0,007$$