

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

CIBELE CAROLINA MONTIBELLER

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICAS E CERÂMICAS DA  
MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA PELO POLO CERÂMICO DE RIO VERDE DE  
MATO GROSSO, MS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Rio Claro - SP  
2015

620.112 Montibeller, Cibele Carolina  
M791 Características químico-mineralógicas e cerâmicas da  
matéria-prima utilizada pelo Polo Cerâmico de Rio Verde de  
Mato Grosso, MS / Cibele Carolina Montibeller. - Rio Claro,  
2015  
118 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.  
  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Guillermo Rafael Beltran Navarro  
  
1. Ciência dos materiais. 2. Tecnologia cerâmica. 3.  
Devoniano. 4. Produção cerâmica. 5. Geoquímica. I. Título.

CIBELE CAROLINA MONTIBELLER

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-MINERALÓGICAS E CERÂMICAS DA  
MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA PELO POLO CERÂMICO DE RIO VERDE DE  
MATO GROSSO, MS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

---

Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro  
UNESP/IGCE/DPM - Campus de Rio Claro

---

Engº. de Materiais Dr. Rogers Raphael da Rocha

---

Profa. Dra. Carolina Del Roveri  
UNIFAL - Campus de Poços de Caldas

Rio Claro, 01 de Julho de 2015

*Ao meu marido Mauricio e à minha filha Clara,  
que fazem tudo ter sentido.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial meu marido Mauricio, cuja paciência e compreensão ultrapassou os limites do humanamente possível durante o período em que estive desenvolvendo este trabalho. À minha filha Clara, que me dá apoio e carinho todos os dias, e que participa, ajuda, colabora em todas as circunstâncias.

Agradeço, acima de tudo, a todos os professores que me auxiliaram, me acompanharam, foram mestres e amigos, dentre os quais devo destacar o Prof. Dr. Antenor Zanardo, sem o apoio de quem nada do que está transcrito nestas páginas teria sido redigido, e mesmo que tivesse, não faria sentido!

Ao Prof. Dr. Guillermo R. B. Navarro, orientador e parceiro de trabalho, que acompanhou e colaborou em todas as etapas da elaboração desta dissertação, e me ensinou muitas coisas que nem sequer imaginava poder aprender. Tivemos excelentes horas de convivência, tempos produtivos, passamos por altos e baixos durante estes anos, mas sem esta parceria, não haveria tantas conquistas para comemorar.

Ao Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho pelas longas conversas, debates e auxílio na construção de raciocínios, e à Prof. Dr. Maria Margarita Torres Moreno pelo auxílio na resolução de problemas.

Agradeço aos colegas e amigos com quem compartilhei horas de trabalho e de descanso, em especial à Meyre Oliveira, Pedro R. Ortiz, Filipe G. Lima, Carlos A. Tavares Dias, e tantos outros. E às minhas companheiras de equipe Thaís G. Leme e Isabela T. Franzini, em situações de alegria e de sufoco também!

Em especial, agradeço ao Eng<sup>o</sup> Rogers Rocha, por todo o apoio dado em todas as etapas de trabalho, por viabilizar a realização dos ensaios cerâmicos, pela troca de experiências e conhecimento técnico-científico acerca de produtos, processos e tendências da produção de revestimentos cerâmicos, e por contribuir para uma ótima visão (não tão animadora) do panorama econômico nacional.

Destaco agradecimento à Cerâmica Fênix Ltda., que forneceu dados e informações para este estudo. Esta dissertação foi viabilizada pela concessão de bolsa pelo CNPq (processo n<sup>o</sup> 165168/2013-7), e financiada com auxílio da Fundunesp (processo n<sup>o</sup> 1350/2005 – DCP).

## RESUMO

O Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso (MS) utiliza, basicamente, como matéria-prima rochas sedimentares alteradas a semi-alteradas que afloram na região, atribuídas à Formação Ponta Grossa (devoniano da Bacia do Paraná). O polo produz tijolos, telhas, lajes e revestimentos cerâmicos do tipo *cotto*, todos utilizando o processo de extrusão. Em função de defeitos presentes no revestimento cerâmico, uma indústria cerâmica de médio porte, localizada em Rio Verde de Mato Grosso, solicitou auxílio para determinar as causas geradoras dos defeitos, com intuito de solucionar, controlar ou minimizar as perdas de produção. Os trabalhos preliminares mostram que parte dos problemas de produção estão relacionados a aspectos mineralógicos, texturais e químicos da matéria-prima, que deveriam ser melhor caracterizados. Para atingir os objetivos do trabalho, foi realizado levantamento geológico em frentes de lavra na região de Rio Verde de Mato Grosso-Coxim (MS), visando o detalhamento dos litotipos (folhelhos, siltitos, argilitos e arenitos) e coleta de amostras representativas destes, para realização de análises (petrográfica, mineralógica e litoquímica) e ensaios tecnológicos em laboratório. Estes litotipos são constituídos basicamente por caulinita, illita e/ou mica fina, quartzo e feldspatos detríticos com granulação de areia muito fina a silte fino e tem como contaminantes: matéria orgânica, nódulos de pirita e/ou oxi-hidróxidos de ferro, níveis carbonáticos e fosfáticos, lâminas constituídas por sulfato de cálcio, mais raramente carbonato de cálcio e eflorescência de sulfatos e carbonato de cálcio. Com base no exposto, o presente trabalho caracteriza, quanto à mineralogia, textura, composição química e comportamento cerâmico, os diferentes litotipos pertencentes à Formação Ponta Grossa, que afloram na região do Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso.

**Palavras-chave:** Devoniano, Mato Grosso do Sul, produção cerâmica, mineralogia, geoquímica

## ABSTRACT

The Ceramic Region of Rio Verde de Mato Grosso (MS) uses as raw material sedimentary rocks attributed to Ponta Grossa Formation (Devonian, Paraná Basin). This region produces bricks, roof tiles, rustic ceramic tiles of *cotto* type, using extrusion processes. Due to defects present in their products, a medium-sized ceramic industry, located in Rio Verde de Mato Grosso, requested aid to determine the causes for defects, aiming to solve, control or minimize production losses. Preliminary studies show that part of the production problems are related to mineralogical, textural and chemical aspects of raw material, which should be best characterized. The objectives were achieved through geological survey carried out in the Rio Verde de Mato Grosso-Coxim region, to detail the identified rock types (shales, siltstones, mudstones and sandstones) and collect representative samples, to permit petrographic, mineralogical and chemical analysis and technological tests. These rock types are composed of kaolinite, illite and/or thin mica, quartz and detrital feldspars with very fine sand grain to fine silt and its contaminants: organic matter, pyrite nodules and/or iron oxyhydroxides, carbonatic and phosphatic levels, veins consisting of calcium sulfate and calcium carbonate, and sulfates and calcium carbonate efflorescence. Based on the above, this work intends to characterize, on the mineralogy, texture, chemical composition and ceramic behavior, the different rock types belonging to the Ponta Grossa Formation, which outcrops in ceramic region of Rio Verde de Mato Grosso.

**Keywords:** Devonian, Mato Grosso do Sul, ceramic production, mineralogy, geochemistry

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER ABORDADO .....	18
2.1	Natureza e abordagem crítica do problema .....	18
2.2	Objetivos.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1	Etapas de trabalho .....	20
3.1.1	Coleta de Dados .....	20
3.1.1.1	Pesquisa bibliográfica.....	20
3.1.1.2	Trabalho de campo .....	21
3.1.1.3	Petrografia.....	21
3.1.1.4	Difração de raios X.....	22
3.1.1.5	Litogeoquímica .....	22
3.1.1.6	Ensaio cerâmicos.....	23
3.1.2	Organização, tratamento e interpretação dos dados .....	23
3.1.3	Formulação das conclusões .....	23
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA.....	24
4.1	Normas técnicas para classificação e ensaios cerâmicos.....	24
4.2	Matérias primas naturais para cerâmica .....	26
5	LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
6	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	31
6.1	Introdução .....	31
6.2	Estratigrafia e Litologias.....	32
6.2.1	Formação Furnas .....	34
6.2.2	Formação Ponta Grossa .....	35
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
7.1	Geologia Local.....	37
7.1.1	Generalidades litológicas das lavras .....	37
7.1.2	Descrição das frentes de lavra .....	39

7.1.2.1	Descrição da Mina M1	39
7.1.2.2	Descrição da Mina M2	46
7.1.2.3	Descrição da Mina M3	50
7.1.2.4	Descrição da Mina M4	55
7.1.2.5	Descrição da Mina M5	58
7.1.2.6	Descrição da Mina M6	60
7.2	Petrografia	62
7.3	Difratometria de Raios X	67
7.3.1	Composição mineralógica dos folhelhos, siltitos e argilitos	67
7.3.2	Possíveis contaminantes	77
7.3.2.1	Níveis fosfáticos e ferruginização	77
7.3.2.2	Eflorescências: estratos e vênulas carbonáticos, leitões e vênulas de sulfatos e manchas	81
7.4	Química de elementos maiores da matéria-prima cerâmica	84
7.5	Ensaio Físico-Mecânicos	95
7.5.1.1	Pré-secagem e secagem	95
7.5.1.2	Distribuição Granulométrica: avaliação granulométrica por difratometria a laser	96
7.5.1.3	Propriedades antes da queima	99
7.5.1.4	Propriedades após a queima	101
8	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
9	REFERÊNCIAS	110

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação.....	26
Figura 5.1 - Localização e principais vias de acesso aos municípios de Rio Verde de Mato Grosso e Coxim, MS. ....	29
Figura 6.1– Mapa esquemático da América do Sul, mostrando a localização da Bacia do Paraná.....	31
Figura 6.2 – Áreas de afloramento das formações Ponta Grossa e Furnas.. ....	33
Figura 7.1 - Mapa geológico com a localização das minas visitadas.....	37
Figura 7.2 - Frente de lavra abandonada na mina M1, onde é possível distinguir seis pacotes com diferentes características.....	38
Figura 7.3 – Natureza do contato entre os níveis E e F na mina M1.....	40
Figura 7.4 - Folhelhos pretos com abundantes eflorescências circulares a radiais de calcita, intimamente associadas a manchas e percolações de óxidos e hidróxidos de ferro.....	41
Figura 7.5 - Folhelhos cinza com percolação de óxidos e hidróxidos de ferro, alterações de cor amarelo acinzentada e nível destacado fosfático.....	42
Figura 7.6 – Detalhe das particularidades dos arenitos da mina M1.....	43
Figura 7.7 – Ferruginização associada aos arenitos.....	43
Figura 7.8 – Pacote de arenitos observado na estrada de acesso à mina M1.....	44
Figura 7.9 – Heterogeneidades intercaladas nos arenitos.....	44
Figura 7.10 – Material argilo-siltoso acima dos arenitos na mina M1.....	45
Figura 7.11 – Níveis de solo sobrepostos aos argilitos amarelos do topo da sequência da mina M1.....	46
Figura 7.12 – Subdivisão dos pacotes de rochas encontrados na Mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso.....	47
Figura 7.13 – Aspecto dos pacotes de folhelhos da mina M2.....	48
Figura 7.14 – Folhelhos amarelos alterados a muito alterados ( $\beta$ ) sobrepostos por horizontes de solos vermelhos com bolsões amarelos a esbranquiçados ( $\alpha$ ).....	49
Figura 7.15 – Concreções e níveis nodulares da mina M2.....	49

Figura 7.16 - Subdivisão dos pacotes de rochas encontrados na Mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. ....	50
Figura 7.17 – Nódulos de pirita maciça ou nucleados por pirita e envelopados por material argiloso. ....	51
Figura 7.18 – Formas de ocorrência de gipsita nos níveis de folhelhos cinza a amarelos na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. ....	52
Figura 7.19 - Nível maciço nodular descontínuo observado na mina M3. ....	52
Figura 7.20 – Camadas intercaladas de arenitos e siltitos arenosos na mina M3. ....	53
Figura 7.21 - Estratificação cruzada aparentemente plano-horizontal, com alternância entre bandas puramente hematíticas e bandas quartzosas. ....	54
Figura 7.22 – Siltitos arenosos do topo da mina M3. ....	54
Figura 7.23 - Perturbação no piso da cava da mina M3. ....	55
Figura 7.24 – Estrutura geral da mina M4. ....	56
Figura 7.25 – Estruturas clásticas arenosas frequentemente observadas na mina M4, em Rio Verde de Mato Grosso. ....	57
Figura 7.26 – “Diques” de arenito em meio a siltitos lilases da mina M4. ....	57
Figura 7.27 – Feições concordantes com a laminação dos folhelhos na mina M4. ....	58
Figura 7.28 - Subdivisão dos pacotes de rochas da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. ....	59
Figura 7.29 – Presença de óxidos e hidróxidos de ferro nos interstícios dos folhelhos cinza e amarelos da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. ....	59
Figura 7.30 – Cobertura de solos encontrada na mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso, com seixos e/ou nódulos de goethita. ....	60
Figura 7.31 – Aspecto dos litotipos argilosos da mina M6, em Coxim. ....	61
Figura 7.32 – Subdivisão dos pacotes na mina M6, em Coxim. ....	61
Fotomicrografia 7.1 - Características petrográficas gerais dos folhelhos e arenitos. ....	64
Fotomicrografia 7.2 - Características petrográficas das possíveis heterogeneidades encontradas nas minas. ....	66
Figura 7.33 - Difractograma mostrando a composição mineralógica global dos folhelhos cinza escuros a pretos (nível A). ....	68

Figura 7.34 - Difratoograma mostrando a composição mineralógica global dos folhelhos cinza (nível B).....	69
Figura 7.35 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos folhelhos cinza a preto (nível A) e dos folhelhos cinza (nível B) normal e glicolada (gl).....	69
Figura 7.36 - Difratoograma mostrando a composição mineralógica global dos siltitos cinza amarelados (nível C).....	70
Figura 7.37 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos cinza amarelados (nível C) normal e glicolada (gl).....	70
Figura 7.38 - Difratoograma mostrando a composição mineralógica global do composto utilizado para fabricação de revestimentos, correspondente aos siltitos amarelos (nível D, abaixo dos arenitos) em conjunto com os siltitos e argilitos amarelados que ocorrem acima dos níveis de arenitos (nível F).....	71
Figura 7.39 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina do composto utilizado para fabricação de revestimentos, correspondente aos siltitos amarelos (nível D, abaixo dos arenitos) em conjunto com os siltitos e argilitos amarelados que ocorrem acima dos níveis de arenitos (nível F), em fração normal e glicolada (gl). ....	71
Figura 7.40 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica global dos siltitos e argilitos amarelados (nível F).....	72
Figura 7.41 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos e argilitos amarelados (nível F).....	73
Figura 7.42 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos e argilitos amarelados de Coxim. ....	74
Figura 7.43 – Difratoograma mostrando a comparação entre os resultados da difratometria de raios X em amostra da fração fina dos siltitos de Coxim, normal (n), glicolado (gl) e queimado (qu).....	74
Figura 7.44 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica do resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos e argilitos amarelados de Coxim. ....	75
Figura 7.45 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos lilases da mina M4.....	76
Figura 7.46 – Difratoograma comparando os resultados da análise mineralógica da fração fina dos siltitos lilases da mina M4, após submetido a atmosfera de etilenoglicol e após a queima a 400°C.....	76
Figura 7.47 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica do resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos lilases da mina M4. ....	77

Figura 7.48 – Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M1, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M1-NF.....	78
Figura 7.49 - Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M2-NF.....	78
Figura 7.50 – Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M5-NF.....	79
Figura 7.51 - Difratoograma do material de cimentação dos “diques clásticos” encontrados na mina M4, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M4-DC. ....	80
Figura 7.52 - Difratoograma da fração fina dos argilitos vermelhos intercalados aos arenitos amarelos (nível E) da mina M1, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra A10.....	80
Figura 7.53 – Difratoograma das eflorescências encontradas na mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M2-EF. ....	82
Figura 7.54 - Difratoograma das eflorescências brancas, aciculares e com disposição radial encontradas na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M3-EFG.....	82
Figura 7.55 - Difratoograma das eflorescências verde amarelado ou amarelo pulverulento encontradas na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M3-EFM.....	83
Figura 7.56 - Gráfico de comparação da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	86
Figura 7.57 - Gráfico de comparação da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	87
Figura 7.58 - Gráfico de comparação dos teores de CaO dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	87
Figura 7.59 - Gráfico de comparação dos teores de CaO dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	88
Figura 7.60 - Gráfico de comparação dos teores de CaO (%) e do $\text{CaCO}_3$ equivalente teórico (% peso) das possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	88
Figura 7.61 - Gráfico de comparação dos teores de CaO (%) e do $\text{CaCO}_3$ equivalente teórico (% peso) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso. ....	90
Figura 7.62 - Gráfico de comparação dos teores de LOI (%) das possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	90
Figura 7.63 - Gráfico de comparação dos teores de LOI (%) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	91

Figura 7.64 - Gráfico SiO <sub>2</sub> versus LOI para as amostras siltosas e argilosas de Rio Verde de Mato Grosso, mostrando diminuição do LOI em função do aumento de SiO <sub>2</sub> .....	91
Figura 7.65 - Gráfico de comparação dos teores de Na <sub>2</sub> O (%) e de K <sub>2</sub> O (%) das possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	92
Figura 7.66 - Gráfico de comparação dos teores de Na <sub>2</sub> O (%) e de K <sub>2</sub> O (%) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso. ....	92
Figura 7.67 - Gráfico de comparação dos teores de Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub> dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.....	93
Figura 7.68 - Gráfico de comparação dos teores de Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub> dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso. ....	94
Figura 7.69 - Gráfico de comparação dos teores de CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub> e LOI dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso. ....	95
Figura 7.70 – Gráfico de comparação dos resultados obtidos para a proporção de material menor que 44 μm respectivamente passante em peneira de malha ABNT 325 e por difratometria a laser. ....	97
Figura 7.71 – Distribuição granulométrica após a moagem em moinho de martelo.....	98
Figura 7.72 - Gráfico de variação da retração linear de secagem dos corpos de prova das amostras de Rio Verde de Mato Grosso. ....	100
Figura 7.73 - Gráfico de comparação entre a média dos valores de retração linear de secagem dos corpos de prova de Rio Verde de Mato Grosso. ....	101
Figura 7.74 - Gráfico de comparação entre a média dos valores de retração linear de queima a 900°C e a 1000°C dos corpos de prova de Rio Verde de Mato Grosso. ....	102
Figura 7.75 – Gráfico de comparação dos valores médios de módulo de ruptura à flexão após a queima a 900°C e a 1000°C. ....	103
Figura 7.76 - Gráfico de comparação dos valores médios de carga de ruptura instantânea após a queima a 900°C e a 1000°C. ....	103
Figura 7.77 – Comparação entre os valores médios de absorção de água após a queima a 900°C e a 1000°C.....	104
Figura 7.78 - Comparação entre os valores médios de absorção de água e módulo de ruptura à flexão após a queima a 900°C e a 1000°C. ....	104

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com a presença ou não de esmaltação e o método de fabricação das peças (ABNT, 1997b). .....	25
Tabela 4.2 - Grupos de Absorção para classificação de revestimentos cerâmicos (ABNT, 1997b). * Denominações comerciais da Cerâmica Atlas (Tambaú-SP), adotadas como exemplo. ....	25
Tabela 7.1- Composição química média da massa composta para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos, $ZrO_2$ e $BaO$ . Resultados apresentados em porcentagem (%). .....	84
Tabela 7.2 - Composição química das rochas siltosas e argilosas (siltitos e folhelhos) para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos e $Cr_2O_3$ . Resultados apresentados em porcentagem (%). ....	85
Tabela 7.3 - Composição química das rochas arenosas (arenitos arcossianos e micáceos) associadas às matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos e $Cr_2O_3$ . Valores para referência. Resultados apresentados em porcentagem (%). .....	85
Tabela 7.4 - Comparação entre as razões $SiO_2/Al_2O_3$ , os teores de $CaO$ (%) e os valores teóricos de $CaCO_3$ equivalente (% peso), para amostras de níveis siltosos e argilosos de Rio Verde de Mato Grosso. ....	89
Tabela 7.5 - Comparação entre as razões $SiO_2/Al_2O_3$ , os teores de $CaO$ (%) e os valores teóricos de $CaCO_3$ equivalente (% peso), para amostras de níveis arenosos de Rio Verde de Mato Grosso. ....	90
Tabela 7.6 - Resíduo em peneira de malha ABNT 325 (maior que 0,044 mm ou 44 $\mu m$ ), apresentando comparação entre os resultados obtidos para os grãos passantes na peneira e o resultados obtidos por difratometria a laser. ....	97
Tabela 7.7 - Comparação entre a média dos resultados após secagem dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso. ....	99
Tabela 7.8 - Comparação entre a média dos resultados após a queima a 900°C dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso. ....	102
Tabela 7.9 - Comparação entre a média dos resultados após a queima a 1000°C dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso. ....	102

## 1 INTRODUÇÃO

Boggiani et al. (1994) cita a existência de três polos cerâmicos no Estado de Mato Grosso do Sul: i) Rio Verde de Mato Grosso-Coxim, ii) Jardim-Bela Vista e iii) Três Lagoas, sendo que o polo de Rio Verde de Mato Grosso-Coxim é atualmente o mais desenvolvido. O Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso-Coxim produz tijolos, telhas, lajes e revestimentos cerâmicos do tipo *cotto*, todos utilizando o processo de extrusão. A produção mensal do polo é de aproximadamente 8.000.000 de peças de blocos cerâmicos, 900.000 de peças de telhas, 70.000 m<sup>2</sup> de lajota (revestimento) e 2.000 peças de artesanatos cerâmicos (utilitários domésticos e ornamentais) (GONÇALVES, 2013).

A argila utilizada é proveniente dos folhelhos ricos em illita e caulinita da Formação Ponta Grossa (Boggiani et al., 1994), sendo que a composição da massa corresponde ao material mais alterado misturado à porção menos alterada. Secundariamente, em alguns períodos de tempo, o polo utilizou material proveniente da Formação Aquidauana, principalmente para testes de produção de revestimento esmaltado.

Segundo Boggiani et al. (1998), a região na época carecia de estudos que melhor direcionassem a exploração destas argilas, fato que permanece até hoje. Os referidos autores também citam que os materiais produzidos no Estado de Mato Grosso do Sul possuíam baixa qualidade quando comparados com peças cerâmicas produzidas no Estado de São Paulo, e atribui esta característica em parte à falta de caracterização tecnológica adequada da matéria-prima utilizada.

Quando procurados por uma indústria deste polo, os integrantes da Linha de Pesquisa Qualidade em Cerâmica, do Grupo Acadêmico Recursos Minerais Metálicos e Não-Metálicos, do Departamento de Petrologia e Metalogenia – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP-Campus de Rio Claro, despertaram interesse em estudá-lo, devido aos problemas relatados, como defeitos e perdas de produção, principalmente em seu produto mais nobre, que é o revestimento cerâmico tipo *cotto*.

Os pesquisadores da linha Qualidade em Cerâmica têm concentrado suas atividades de pesquisa em temas ligados à produção de revestimentos cerâmicos por prensagem, utilizando matérias-primas provenientes da Formação Corumbataí, preparadas por via seca, ou seja, ligados ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (SP). Secundariamente foram desenvolvidas pesquisas referentes a outros tipos de matérias-primas cerâmicas que ocorrem na região,

provenientes de outras formações geológicas e sedimentos recentes. Esta atuação possibilitou um ótimo conhecimento referente a matérias-primas cerâmicas provenientes das formações Corumbataí e Tatuí e do Grupo Itararé/Formação Aquidauana, que afloram na região da Depressão Periférica Paulista e, conseqüentemente, anseio de ampliar os horizontes da pesquisa e a difusão do conhecimento adquirido.

Matérias primas provenientes da Formação Ponta Grossa, unidade estratigráfica devoniana da Bacia do Paraná, ainda não tinham sido estudadas por integrantes da linha Qualidade em Cerâmica. O contato com este tipo de matéria-prima possibilitou reconhecer a necessidade de estudos ligados à composição e à gênese deste material e sua relação com as propriedades cerâmicas observadas.

Para atingir os objetivos foram realizadas atividades de campo envolvendo levantamento das principais frentes de lavras e afloramentos, acompanhados de análises macroscópicas/mesoscópica dos diferentes materiais que as compõem, visando à coleta de amostras representativas dos diferentes litotipos e produtos de alteração para estudos laboratoriais, aspectos imprescindíveis para a interpretação dos resultados de laboratório.

Uma boa caracterização petrográfica, mineralógica, granulométrica e química dos diferentes materiais, em associação com dados de campo, são essenciais para entendimento e interpretação dos resultados dos ensaios tecnológicos e, conseqüentemente, reconhecer e entender as causas dos defeitos que ocorrem na produção. Com base nesse estudo pode-se apresentar possibilidades de solução ou minimizar os problemas, bem como melhorar com base científica a formulação das massas de modo a obter um produto melhor sem acréscimo ou com diminuição de custos.

## 2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA A SER ABORDADO

### 2.1 Natureza e abordagem crítica do problema

As peças fabricadas no polo cerâmico da região de estudo utilizam como matéria-prima os folhelhos e siltitos da Formação Ponta Grossa, são conformadas por extrusão e queimadas a aproximadamente 950°C. No caso do *cotto*, telhas e elementos vazados, normalmente são queimados a temperaturas pouco menores (850 a 950°C). São atribuídas certas características aos produtos tipo *cotto*, que são interpretadas como resultantes do processo industrial ao qual a matéria-prima é submetida. Dentre elas, estão a umidade de conformação de peças acima de 25%, a absorção de água acima de 10%, e a retração linear menor que 2% (produtores de revestimentos do tipo *cotto* da região, comunicação verbal).

A escolha da matéria-prima para composição de massa cerâmica é feita de acordo com os resultados percentuais de aproveitamento de peças após a conformação, após a secagem e após a queima. Os principais problemas das cerâmicas da região são o surgimento de manchas por eflorescência, o desenvolvimento de trincas e fraturas nas peças durante a secagem e a queima, e pequenos buracos (micro crateras) na superfície das peças queimadas durante ou após o resfriamento, ou mesmo após o assentamento das mesmas (produtores de revestimentos do tipo *cotto* da região, comunicação verbal).

Considerando que a composição da massa cerâmica é feita utilizando essencialmente rochas sedimentares da Formação Ponta Grossa, com ou sem aditivação por outros materiais ou produtos químicos, supõe-se que todo o comportamento apresentado durante o processo industrial e as características do produto final dependem da interação da mineralogia, da granulometria e do quimismo das rochas da Formação Ponta Grossa com as variáveis do processo de produção: moagem, umidificação, conformação, secagem e queima (atmosfera do forno, temperatura de queima, velocidade da queima, patamares, entre outros).

Espera-se que uma melhor caracterização, especialmente quanto à mineralogia e textura, dos diferentes estratos com diferentes estágios de alteração, que constituem a Formação Ponta Grossa na região, possibilite a composição das massas bases de melhor rendimento e contribua para a diminuição dos rejeitos de lavra e da perda de produção, gerando impacto positivo no meio ambiente e na diminuição dos custos de produção.

## **2.2 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo determinar as características físicas, químicas e mineralógicas dos litotipos da Formação Ponta Grossa aflorantes na região de Rio Verde de Mato Grosso, utilizando os resultados obtidos para verificar as implicações destas características na qualidade dos produtos produzidos no Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso-Coxim.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Etapas de trabalho

A organização das etapas de trabalho segue as orientações para desenvolvimento de pesquisas tecnológicas sugeridas por Vargas (1985) e as orientações de Jost e Brod (2005) quanto à apresentação de textos em geociências. As etapas constituem-se de coleta de dados, tratamento e interpretação de resultados e formulação de conclusões, como apresentado a seguir:

##### 3.1.1 Coleta de Dados

###### 3.1.1.1 *Pesquisa bibliográfica*

Esta etapa consistiu da compilação de material bibliográfico acerca da região estudada, sobre os aspectos litoestratigráficos do Grupo Paraná no Estado de Mato Grosso do Sul e os aspectos tecnológicos referentes à produção cerâmica. Foram consultadas bibliografias referentes à caracterização de matérias primas cerâmicas em pesquisas nacionais e internacionais, bem como textos referentes aos processos produtivos de peças cerâmicas para a construção civil (prensagem, extrusão, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento), preparação de massas via seca e via úmida, e sobre o contexto do Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso. Quanto a este último, foram coletadas informações bibliográficas sobre a geologia da Bacia do Paraná, em especial sobre a Formação Ponta Grossa, aspectos fisiográficos regionais, contexto econômico do polo, informações históricas sobre a fabricação de revestimentos e, principalmente, sobre as características da matéria-prima cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.

A pesquisa inicial utilizou como base de dados o sistema Athena da Biblioteca da UNESP de Rio Claro, bem como as bases *Web of Science* e *Science Direct*. Bibliografias específicas sobre a geologia regional e os aspectos econômicos das rochas da Formação Ponta Grossa foram adquiridas ao longo do desenvolvimento do trabalho, assim como a bibliografia fundamental para a realização de ensaios para a indústria cerâmica. Dentre os materiais compilados, encontram-se mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos, fotografias aéreas, imagens de satélite LANDSAT e do Google Earth.

### 3.1.1.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo objetivou o reconhecimento da área de estudo, a visita a lavras ativas e desativadas de matéria-prima para a indústria cerâmica de revestimento, e a coleta de material para análise em laboratório. A campanha de campo foi realizada em cinco dias durante o período seco, logo após a intensa atividade pluviométrica, quando as frentes de lavra são escarificadas, permitindo a coleta de material. Foram utilizados três dias para amostragem em frentes de lavra e levantamento de seções, e dois dias para mapeamento regional e identificação de litotipos associados às rochas utilizadas no polo ao longo da área de estudo. A amostragem foi feita a partir do levantamento de seções em frentes de lavra ativas, e algumas inativas, na região de Rio Verde de Mato Grosso e Coxim (MS), com potencial para correlação estratigráfica, visando essencialmente a Formação Ponta Grossa. Para análise mineralógica, foi feita coleta de amostras com tamanho médio de 15x15x15 cm, para confecção de lâminas delgadas, sendo selecionadas amostras que representam toda a coluna estratigráfica utilizada para a obtenção de matérias-primas cerâmicas. Nos intervalos de maior interesse econômico, parte das amostras foi preparada para análise litogeoquímica. Nos intervalos correspondentes aos folhelhos utilizados como matéria-prima para a fabricação de peças cerâmicas, foram coletados cerca de 1 kg de materiais classificados como “duro”, “intermediário” e “mole”, que correspondem respectivamente à matéria-prima em rocha sã a quase sã, matéria-prima em rocha parcialmente alterada e matéria-prima com maior grau de alteração intempérica.

### 3.1.1.3 Petrografia

As amostras mais resistentes coletadas em seções levantadas em frentes de lavra foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas, com comprimento da ordem de 3 cm e largura de 2 a 2,5 cm, e espessura aproximada entre 30 e 60  $\mu\text{m}$ , cobertas por lamínula de aproximadamente 24 mm x 32 mm. Os estudos microscópicos foram realizados à luz transmitida, em microscópio petrográfico da marca Zeiss (Axioscope A1), com aumentos de 25, 100, 200, 500 e 1000 vezes.

#### 3.1.1.4 Difração de raios X

Como a Formação Ponta Grossa é predominantemente constituída por litofácies de granulometria fina a muito fina resultante de decantação em meio aquoso, e com a presença de minerais formados por precipitação química e/ou reação química (diagênese), foi utilizada a técnica da difratometria de raios X para determinação da mineralogia, por se tratar de uma forma rápida de identificar, utilizando *software* próprio, os minerais presentes na amostra, que não puderam ser adequadamente identificados através da petrografia.

Para complementação da caracterização mineralógica das amostras, foi realizada a difratometria de raios X em lâminas de pó de fração total da rocha, das frações finas (menor que 44  $\mu\text{m}$ ) e do resíduo retido em peneira de malha ABNT 325 (maior que 44  $\mu\text{m}$ ), analisadas na forma natural, e após submissão a atmosfera de etilenoglicol por cerca de 48 horas. Em alguns casos, a fração fina das amostras foi submetida a queima a 400°C e a 500°C para confirmar a presença de determinadas fases minerais.

As análises foram efetuadas em Difratorômetro de Raios X da marca PANalytical EMPYREAN, com medidas realizadas utilizando radiação  $\text{CuK}\alpha_1$  ( $\text{WL}=1,54056 \text{ \AA}$ ), e filtro de Ni. Foi utilizado módulo *flat*, com leitura contínua do goniômetro. O ângulo  $2\theta$  de início foi de 3° e de término foi de 65°, com passo de 3,8'' e tamanho do passo de 0,008° (velocidade de *scan* de 0,27°/s). Ao difratorômetro foi acoplado módulo acelerador X'Celerator, que reduziu em 40% o tempo de análise. O tempo total de análise foi de 3'52'', e a corrente empregada de 30mA a uma voltagem de 40kV. Os difratogramas gerados foram interpretados através do *software* X'Pert Highscore Plus, com base de dados ICDD PDF2.

#### 3.1.1.5 Litogeoquímica

Foram selecionadas 27 amostras representativas de diferentes litotipos, para estudos litogeoquímicos de elementos maiores, menores/traços e elementos terras raras (ETR). As análises químicas (rocha total) foram executadas pelo Laboratório Acme (Analytical Laboratories LTD, Vancouver, Canadá), sendo os elementos maiores analisados por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico diluído, e a perda ao fogo (LOI) determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois do aquecimento a 1000°C por quatro horas. Os elementos traços e os elementos terras raras (ETR) foram

analisados por Espectrômetro de Massa em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico, sendo que para os metais Cu, Ni, Pb e Zn, a digestão foi por água régia. Para a discussão das propriedades cerâmicas da matéria-prima, são, entretanto, utilizados apenas os resultados obtidos para elementos maiores e também o cromo, apresentados na forma de óxidos.

#### *3.1.1.6 Ensaios cerâmicos*

As amostras coletadas foram classificadas de acordo com suas características físicas, e as amostras mais propícias para uso na indústria cerâmica foram submetidas aos testes de parâmetros mecânicos recomendados pelas normas ABNT NBR 13818:1997 Versão Corrigida:1997, com classificação das peças de acordo com o proposto pela ABNT NBR 13817:1997 e terminologia utilizada de acordo com a ABNT NBR 13816:1997. Todas as normas citadas referem-se a peças de cerâmica para revestimento.

#### *3.1.2 Organização, tratamento e interpretação dos dados*

Os resultados obtidos através da descrição petrográfica e de difratometria de raios X foram correlacionados com os resultados dos parâmetros de caracterização de matéria-prima cerâmica e da litogeoquímica. Os dados são apresentados na forma de tabelas e diagramas.

#### *3.1.3 Formulação das conclusões*

Ao tratamento dos dados e à interpretação dos resultados seguiu a etapa de consolidação dos produtos da pesquisa e a elaboração da dissertação, contendo as conclusões às quais o autor do estudo se dedicou, após tratar os dados e reordená-los de acordo com o método proposto.

## 4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA

### 4.1 Normas técnicas para classificação e ensaios cerâmicos

No Brasil, os documentos que regem a fabricação de revestimentos cerâmicos são as normas técnicas ABNT NBR 13816:1997 (ABNT, 1997a), que é um resumo dos termos mais comuns utilizadas na indústria cerâmica; a ABNT NBR 13817:1997 (ABNT, 1997b), que trata dos critérios de classificação para revestimentos cerâmicos, e por último a ABNT NBR 13818:1997 Versão Corrigida:1997 (ABNT, 1997c), que apresenta em anexo as especificações técnicas detalhadas dos ensaios de qualidade para revestimentos cerâmicos.

Segundo a ABNT (1997a), placas cerâmicas para revestimento são materiais compostos de argilas e outras matérias primas inorgânicas, que podem ser conformadas por extrusão, prensagem ou outro processo, que então são secas e queimadas em uma temperatura de sinterização. Elas podem ser esmaltadas ou não, sendo que o “esmalte” é definido pela mesma norma como uma cobertura impermeável vitrificada. O termo “revestimento extrudado” é utilizado para peças que foram conformadas no estado plástico (a úmido) numa extrusora (“maromba”), enquanto o termo “revestimento prensado” refere-se a peças que foram conformadas em prensas, a partir de um pó fino (a seco) (ABNT,1997a).

A ABNT (1997b) trata da classificação de placas cerâmicas, atribuindo critérios para nomear as placas de acordo com suas características ao consumidor final. Os principais critérios estabelecidos são a esmaltação, o método de fabricação, o grupo de absorção de água, e as classes de resistência (à abrasão, ao manchamento e ao ataque químico). Em última análise, as peças cerâmicas podem ser classificadas pelo aspecto visual.

Dentre todas as classificações possíveis para revestimentos, as que representam melhor as características dos revestimentos são a esmaltação, o método de fabricação e a absorção de água. A partir principalmente da classificação por grupos de absorção, são especificados os tipos comerciais dos revestimentos cerâmicos. O resumo destas principais propriedades de classificação é apresentado nas Tabelas 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com a presença ou não de esmaltação e o método de fabricação das peças (ABNT, 1997b).**

<b>1. Esmaltação:</b> aplicação de revestimento liso e cristalino para adicionar cor, brilho ou textura à superfície da peça.
1.1. Esmaltadas (Glazed) – GL
1.2. Não Esmaltadas (Unglazed) - UGL
<b>2. Método de Fabricação:</b> procedimentos utilizados para moldar as peças cerâmicas.
2.1. Placas Cerâmicas Extrudadas – tipo A
2.1.1. Tipo precisão
2.1.2. Tipo artesanal
2.2. Placas Cerâmicas Prensadas – tipo B
2.3. Placas Cerâmicas Produzidas por outros processos – tipo C

**Tabela 4.2 - Grupos de Absorção para classificação de revestimentos cerâmicos (ABNT, 1997b).**

<b>3. Grupos de absorção de água:</b> classificação por propriedade relacionada à porosidade da peça cerâmica, em que se mede a quantidade de água que pode ser absorvida pelos poros abertos. Dela dependem outras propriedades do revestimento, e seu valor também determina o uso recomendado para a peça cerâmica (piso, parede, área externa, interna, úmida, etc.). A denominação comercial dos revestimentos cerâmicos também é determinada por seu grupo de absorção de água.		
PRODUTOS*	GRUPOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
Porcelanato**	Ia	$0 < AA \leq 0,5$
Grês	Ib	$0,5 < AA \leq 3,0$
Semi-Grês	IIa	$3,0 < AA \leq 6,0$
Semi-poroso	IIb	$6,0 < AA \leq 10,0$
Poroso	III	$AA > 10,0$

\* Denominações comerciais da Cerâmica Atlas (Tambaú-SP), adotadas como exemplo.  
 \*\* O termo porcelanato possui definição própria pela norma ABNT NBR 15463:2013, que exclui o uso do termo para produtos classificados no grupo Ia. O termo adequado para designar o produto com característica AA abaixo de 0,5% é “produto de baixa absorção de água”.

Como exemplificado na Tabela 4.2, os revestimentos cerâmicos possuem uma classificação comercial de acordo com suas propriedades, embora a nomenclatura não esteja descrita nas normas ABNT (1997a). Entretanto, um resumo de fácil compreensão desta classificação pode ser encontrado em Classificação... (2014). Segundo este documento, o porcelanato e o grês, portanto, seriam produtos com baixa absorção de água e alta resistência mecânica, o semi-grês teria média absorção de água e média resistência mecânica, o semi-poroso seria um produto com alta absorção de água e média resistência mecânica, e o poroso teria altíssima absorção de água e baixa resistência mecânica.

À parte dos produtos com maior controle de fabricação, existem produtos cuja classificação é complexa, uma vez que seus parâmetros de absorção de água e de resistência mecânica variam de acordo com os tipos de matérias primas utilizadas e com o processo de produção: o *Clínquer* e o *Cotto*. Segundo Almeida et al. (2011), o *cotto* é um revestimento extrudado não esmaltado, rústico e poroso, fabricado normalmente em formatos grandes. É

referido como matéria-prima fundamental para o *cotto* a “argila terracota” (argila plástica rica em óxido de ferro), sem adição de componentes químicos.

#### 4.2 Matérias primas naturais para cerâmica

Segundo Motta et al. (2001), os grupos de produtos cerâmicos podem ser classificados de acordo com o uso das peças produzidas, a natureza de seus constituintes, a textura da massa base e outras características cerâmicas ou técnico-econômicas. A Figura 4.1 (MOTTA et al., 2001) relaciona os setores cerâmicos, seus processos produtivos e as respectivas matérias-primas utilizadas.

CLASSIFICAÇÃO		PRODUTO	Matéria-prima							Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de conformação				Temperatura de Queima (°C)					
Tipo de cerâmica*	GRUPO**/ SETOR		Plástica		Não-plástica							Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	>1.200
			Argila comum	Argila plástica	Caulim	Feldspato (***)	Filito	Talco	Calcário												
Cerâmica de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica	Blocos, lajes	P								P									
		Vermelha	Telha	P			O					P	P								
			Agregado leve	P							O	P									
	2	Cerâmica	Grés sanitário		P	S	P	O	S	O	P										
			Porcelana Mesa		P	P				P	P	S	S	O							
			Porcelana Eletr.		P	P				P	P	S	S	O							
		3	Revestimentos	Faiança		P	O	S	S	S	P	S	P			P					
				Pisos rústicos	P	O							O	P							
				Pisos via seca	P									P			P				
Outras		4	Refratários			O				O	P										
		5	Isolantes				O				O	P									
		6	Especiais								O	P									
		7	Cimento	S						P	S	O	P								
		8	Vidro			S				S	P	P									
P	Processo ou composição principal (> 20%)		S	Processo ou composição secundária (< 10%)							O	Processo ou composição ocasional									

Figura 4.1 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação. Obs.: \* Classificação de Schuller & Henniche (EMILIANI E CORBARA, 1999 *apud* MOTTA et al., 2001); \*\* Cerâmica... (1992); Zandonadi (1988), *apud* Motta et al. (2001); \*\*\* O feldspato (ou concentrado de feldspato) é utilizado apenas nas porcelanas e, eventualmente, no grés porcelânico, enquanto que nos demais produtos são utilizadas rochas feldspáticas (MOTTA et al., 2001).

Os revestimentos rústicos, nos quais se encaixam os revestimentos tipo *cotto*, utilizam como matéria-prima principal a argila comum (uma mistura de minerais granulares e argilominerais), e de forma ocasional a argila plástica (exclusivamente argilominerais).

Argilominerais (NAVARRO; ZANARDO, 2014) são filossilicatos hidratados ou não de alumínio, magnésio e ferro, que podem conter potássio, sódio, cálcio e com menor frequência ou quantidade outros elementos químicos (Ti, Ni, Mn, Cr, etc.). As argilas ou “minerais de argila” para alguns pesquisadores, entretanto, incluem além dos argilominerais, outros minerais com granulação muito fina a coloidal (ex.: quartzo, gibbsita, hematita, goethita, feldspato, material amorfo, etc.), ou seja, com granulometria menor que 4  $\mu\text{m}$  (WENTWORTH, 1922), ou para alguns pesquisadores menor que 2  $\mu\text{m}$  (BLOTT; PYE, 2001), e não identificáveis ao microscópio óptico. Os argilominerais, por sua vez, podem ocorrer com tamanho menor que estas dimensões, mas não se restringem a ela, podendo ocorrer em cristais de tamanhos muito maiores e plenamente identificáveis em petrografia. Neste trabalho, os termos *argila* e *argilominerais* serão utilizados para designar os filossilicatos do grupo das argilas, seja qual for sua granulometria.

Em termos estruturais, os argilominerais são constituídos de estratos complexos formados por folhas compostas de cátions em coordenação tetraédrica (Si e subordinadamente o Al, que pode estar substituindo o silício, ligados com O) e octaédrica (Al, Mg e Fe ligados com OH e O). Entre as folhas constituídas por tetraedros ligados fortemente às folhas de octaedros podem ocorrer cátions (como K, Na, Mg, Ca, etc.), H<sub>2</sub>O e outros componentes ou compostos. Em geral possuem hábito placoide, fibroso ou irregular, normalmente dispostas em agregados de grãos finos que, quando misturados com a água, produzem materiais com grau variável de plasticidade, e quando aquecidos perdem a água adsorvida e a de constituição.

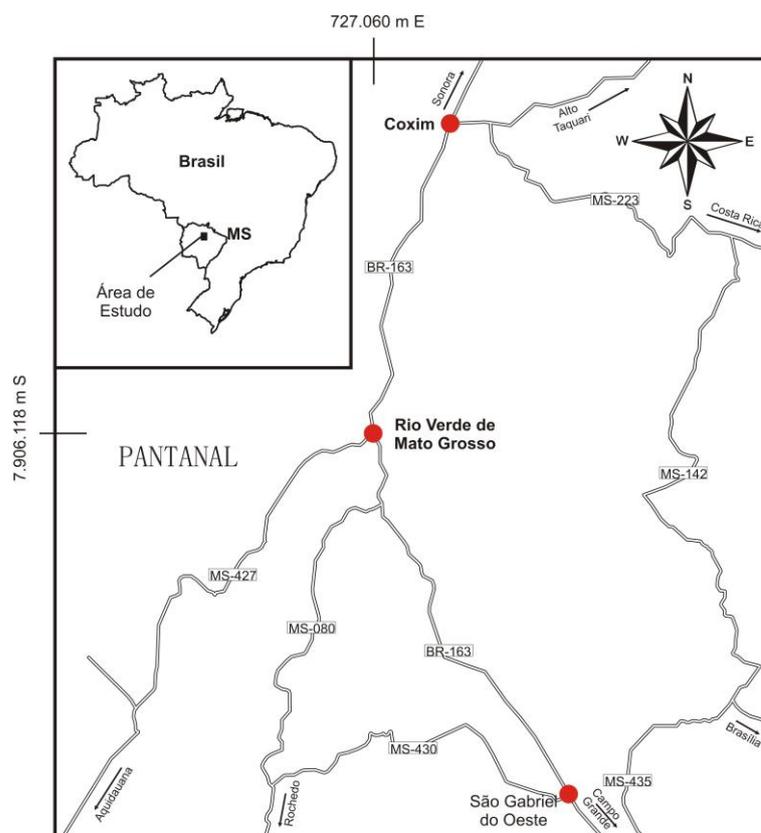
Os argilominerais podem ser separados em seis grupos principais, de acordo com suas diferenças físico-químicas: grupo do alofano; grupo da caulinita; grupo da illita; grupo da esmectita/montmorillonita; grupo da vermiculita; grupo da palygorskita/sepiolita. Com exceção do grupo do alofano que não possui estrutura ou composição química definida, e do grupo da palygorskita/attapulguita/sepiolita, os argilominerais podem ser diferenciados entre si através da difratometria de raios X, uma vez que os espaçamentos basais de cada grupo são característicos, e aproximadamente 7Å (caulinita), 10Å (illita), 14,5Å (vermiculita) e 15Å (esmectita/montmorillonita). Entretanto, alguns argilominerais e mesmo grupos, como é o caso da halloysita (mineral do grupo da caulinita), das esmectitas e das vermiculitas, possuem espaçamentos basais variáveis dentro de um intervalo definido, uma vez que estes podem se expandir (pela intercalação de água ou compostos orgânicos) ou se contrair (por

desidratação). Além disso, podem ocorrer combinações entre as estruturas de dois ou mais minerais formando os argilominerais interstratificados, cujos espaçamentos basais resultam das combinações das estruturas, e, portanto, têm intervalos de variação muito grandes.

Os argilominerais podem se formar pelo intemperismo das rochas, por processos diagenéticos e por alteração hidrotermal; são os constituintes essenciais dos solos, onde são fundamentais para a retenção dos nutrientes, para o armazenamento de água e para a acessibilidade dos gases atmosféricos aos solos, aspecto fundamentais para a vida na superfície. Além desses aspectos pedológicos, os argilominerais apresentam múltiplos usos, por exemplo, como componentes de lamas de sondagens, como catalisadores na indústria do petróleo, como material inerte na fabricação de papel e como matéria-prima de artigos cerâmicos e refratários.

## 5 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se nos arredores do município de Rio Verde de Mato Grosso, na mesorregião Centro-Norte do Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 5.1). Está situada a 205 km da capital estadual Campo Grande pela BR-163, e a 1.016 km de Brasília-DF, pela BR-060 com acesso pela MS-142. Os principais municípios próximos são Coxim, com o qual compõe o principal polo cerâmico do Estado, e São Gabriel do Oeste, que possui o terceiro melhor IDH do Estado do Mato Grosso do Sul (IBGE, 2013a, b e c).



**Figura 5.1 - Localização e principais vias de acesso aos municípios de Rio Verde de Mato Grosso e Coxim, MS. (modificado de GOOGLE, 2015)**

A mesorregião Centro-Norte de Mato Grosso do Sul agrupa dezesseis municípios, e subdivide-se em duas microrregiões, sendo que os municípios de Rio Verde de Mato Grosso e de Coxim pertencem à Microrregião do Alto Taquari. Esta apresenta uma área de 41.313 km<sup>2</sup>, com densidade populacional de 2,84 habitantes por km<sup>2</sup>, sendo que o PIB per capita ultrapassa R\$ 20.000,00 anuais (IBGE 2013a, b e c).

Esta região possui clima tropical úmido (AW) segundo a classificação de Köppen (1936, *apud* PEEL et al., 2007), que possui um período seco no inverno e um período chuvoso

entre novembro e janeiro, com precipitação média anual entre 1.000 e 2.000 mm. A umidade relativa do ar é de 80% e a temperatura média anual oscila entre 18°C e 25°C. A vegetação predominante é o Cerrado, com vegetação de folhas largas, troncos e galhos retorcidos e cascas grossas e enrugadas, devido aos solos pobres em nutrientes. Também são encontrados gramíneas e arbustos, sendo que a cobertura do solo é irregular e espaçada, deixando muitas vezes grandes áreas a descoberto (FRANCO; PINHEIRO, 1982).

Quanto aos aspectos hidrográficos, a região possui como principais cursos d'água os rios que compõem o Pantanal Matogrossense, pertencentes à região hidrográfica da Bacia do Paraguai, e alguns tributários da Bacia do Paraná. Dentre estes destacam-se os rios Amambaí, Dourados, Santa Maria, Vacaria, Santa Luiza, Anhandú-Mirim, das Botas e Marimbondo (CORRÊA et al., 1976).

Segundo a divisão geomorfológica proposta por Almeida (1948, 1965), os municípios estudados localizam-se na unidade do Planalto dos Alcantilados, que é modelada nos sedimentos devonianos e carboníferos da Bacia do Paraná. Esta unidade distribui-se em uma faixa de direção nordeste, na porção centro-leste do Estado do Mato Grosso do Sul, e se estende para além de seus limites. Duas feições geomorfológicas menores podem ser reconhecidas no Planalto dos Alcantilados, que seriam a linha de “cuestas” formada pela erosão remontante dos sedimentos devonianos, e as feições tabulares com padrão de drenagem subsequente dos sedimentos carboníferos (CORRÊA et al., 1976).

## 6 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 6.1 Introdução

A área de estudo está inserida no contexto da borda noroeste da Bacia do Paraná, no Estado do Mato Grosso do Sul, sendo que a cerca de 20 km a oeste afloram rochas neoproterozoicas da Faixa Paraguai, sobreposta pelos sedimentos cenozoicos da Bacia do Pantanal.

A Bacia do Paraná (Figura 6.1) é uma bacia sedimentar de interior cratônico com geometria de sinéclise, alongada na direção NNE-SSO, localizada no continente sul-americano, ocupando cerca de 1.100.000 km<sup>2</sup> do Brasil meridional, e mais 300.000 km<sup>2</sup> distribuídos entre o Paraguai oriental, o nordeste da Argentina e o norte do Uruguai (MILANI et al., 2007; PEREIRA et al., 2012). É constituída pelo registro sedimentar descontínuo do Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo, que segundo Quintas et al (1997) é dividido em “pelo menos três bacias diferentes” com intervalos de tempo distintos (bacia siluro-devoniana, bacia permo-carbonífera e bacia mesozoica).



Figura 6.1– Mapa esquemático da América do Sul, mostrando a localização da Bacia do Paraná (modificado de HASUI et al., 2012)

Milani (1997) subdividiu o registro estratigráfico da Bacia do Paraná em seis supersequências segundo o conceito de Vail et al (1977): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras correspondem a ciclos transgressivos-regressivos paleozoicos, e as demais são pacotes de rochas sedimentares continentais e rochas ígneas associadas.

A evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná no período Paleozóico a Mesozóico ocorre de acordo com a geodinâmica da borda ativa do Gondwana. Segundo Ramos et al. (1986) a primeira subsidência, que deu origem ao espaço de acomodação da supersequência Rio Ivaí, ocorreu no Neo-Ordoviciano a partir da Orogenia Oclóyica (MILANI, 2007). O fim desta sequência é marcado por uma discordância erosiva associada à exposição subaérea de suas unidades (MILANI et al., 2007).

Com a retomada da Subsidência formou-se a Supersequência Paraná, sendo que o topo desta é marcado pela discordância neodevoniana, representando um hiato de 70 Ma, interpretada por diversos autores (ZALÁN et al., 1990, LÓPEZ-GAMUNDÍ; ROSSELLO, 1993) como decorrente da Orogenia Herciniana (MILANI et al., 2007). Após a Migração do Gondwana para norte ocorreu a deposição da Supersequência Gondwana I (MILANI, 1997), que representa um ciclo transgressivo-regressivo completo, resultante da invasão e saída do Panthalassa.

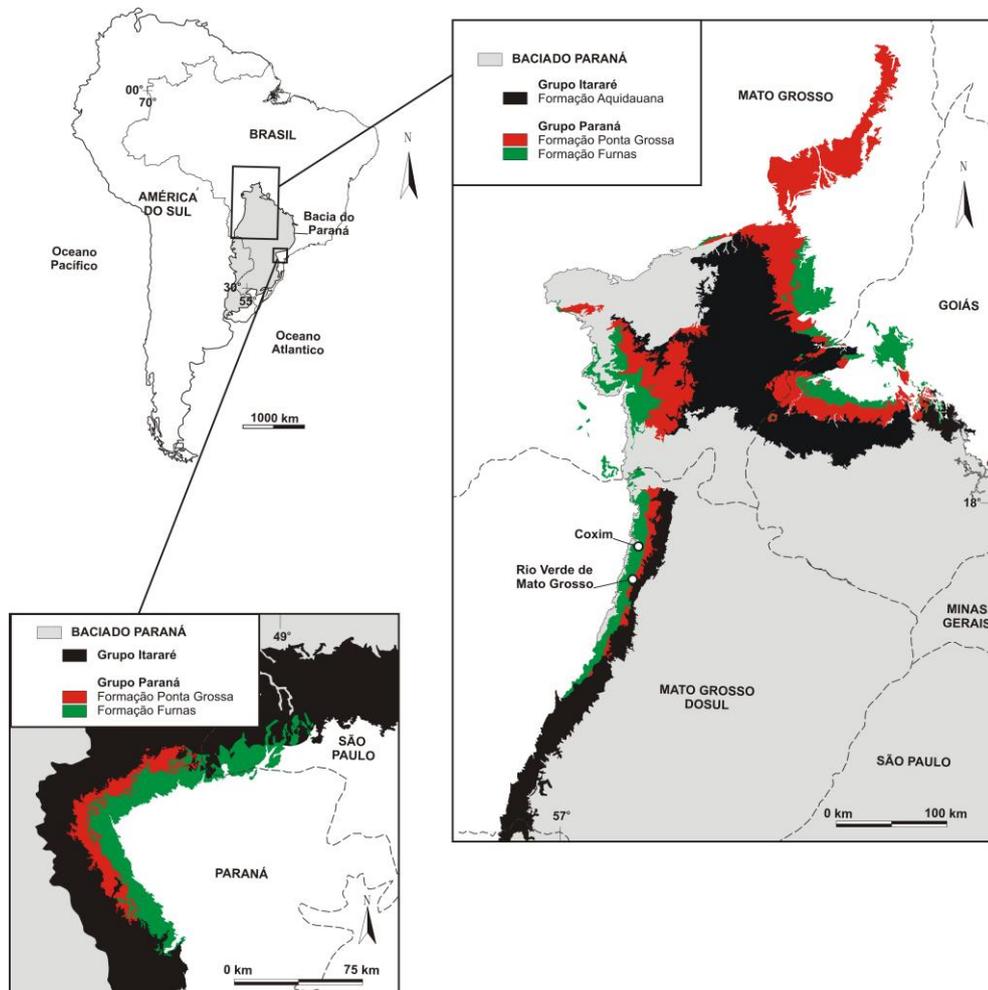
## **6.2 Estratigrafia e Litologias**

A Supersequência Paraná corresponde aos sedimentos devonianos inicialmente definidos por Evans (1894) como a “Série Chapada” aflorante no Estado de Mato Grosso. Esta se subdivide em Formação Furnas, correspondente a um pacote arenoso na base da sequência, e em Formação Ponta Grossa, correspondente ao pacote pelítico superior. Em termos estratigráficos, corresponde ao Grupo Paraná, com espessura máxima de 800 m e em geral assentada sobre os sedimentos da Supersequência Rio Ivaí, embora seja também registrada como depositada diretamente sobre o embasamento da Bacia do Paraná.

Segundo Assine et al. (1994), a sequência devoniana da Bacia do Paraná inicia-se com um pacote psamítico/psefítico continental sendo gradualmente sobreposto por sedimentos litorâneos e marinhos de água rasa, num intervalo definido como a base de um grande ciclo

transgressivo-regressivo. Ocorre então uma rápida transgressão representada pelos folhelhos marinhos da Formação Ponta Grossa, que recobrem os arenitos da Formação Furnas, em contato gradual e sem interdigitações significativas, caracterizado pelo intervalo denominado "camadas de transição" (PETRI, 1948, apud ASSINE et al., 1994). Também segundo Assine et al. (1994), podem ser distinguidas duas superfícies de inundação máxima nos folhelhos da Formação Ponta Grossa, que seriam parte do evento transgressivo global do Devoniano médio.

O Grupo Paraná no Brasil aflora na região centro-leste do estado do Paraná, em uma faixa na forma de arco próximo aos municípios de Castro e Ponta Grossa, e em uma ampla região ao longo da borda nordeste da Bacia, nos Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (Figura 6.2).



**Figura 6.2 – Áreas de afloramento das formações Ponta Grossa e Furnas. Como referência, encontra-se a área de afloramento da Formação Aquidauana (Grupo Itararé) nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, indicando o limite do Grupo Paraná e início da Supersequência Gondwana I (integrado e modificado de LACERDA FILHO et al., 2004; LACERDA FILHO et al., 2006; MOREIRA et al., 2008; MINEROPAR, 2006; PERROTA et al., 2005).**

O primeiro autor a descrever unidades devonianas na Bacia do Paraná foi Derby (1878), que correlacionou afloramentos do Estado do Paraná, próximos ao município de Ponta Grossa, com os sedimentos considerados devonianos da Bacia Amazônica (LANGE; PETRI, 1967). No Estado do Mato Grosso, que na época congregava os atuais estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o primeiro a atribuir idade devoniana a um conjunto de rochas sedimentares encontradas na borda noroeste da Bacia do Paraná foi Evans (1894), que os considerou independentes e denominou-os “Série Chapada”. Posteriormente, Bigarella e Oliveira (1966) correlacionaram as sucessões litológicas descritas por Derby (1896) no Estado do Mato Grosso (mais precisamente na Chapada dos Guimarães) com os folhelhos da Formação Ponta Grossa e os arenitos da Formação Furnas, ambos apresentando seções-tipo descritas na borda sudeste da Bacia do Paraná, no Estado do Paraná.

Derby (1896) atribuiu a idade mesodevoniana para a Chapada dos Guimarães de acordo com os fósseis coletados por Smith (1883), enquanto vonAmmon (1893) atribuiu a idade eodevoniana para fósseis coletados por Vogel (1893) em Lagoinha-MT (LANGE; PETRI, 1967). Clarke (1913), entretanto, atribuiu aos fósseis da Chapada dos Guimarães a idade Eodevoniana, e correlacionou-os à fauna da Formação Ponta Grossa (LANGE; PETRI, 1967). Lange (1967) esmiuçou o conteúdo paleontológico de amostras devonianas do Mato Grosso e de Goiás, e chegou à conclusão de que mesmo os estratos mais basais já carregam formas mesodevonianas, atribuindo esta como a idade mínima de deposição da Formação.

### **6.2.1 Formação Furnas**

Segundo Milani et al. (2007), a Formação Furnas corresponde a “uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, médios a grossos, caulínicos e exibindo estratificações cruzadas de várias naturezas”, sendo que próximo à base são frequentemente descritos leitos conglomeráticos, na porção intermediária dominam arenitos de granulometria média intercalados a siltitos e folhelhos muscovíticos, e no topo ocorrem arenitos médios a grossos intercalados a camadas de arenitos muito finos com estratificação do tipo *hummocky*. Ainda segundo Milani et al. (2007), a natureza do contato entre a Formação Furnas e a Formação Ponta Grossa é determinada através de perfis de raios gama, que indicam incremento contínuo na argilosidade da Formação Furnas, indicando passagem gradacional para a Formação Ponta Grossa.

Para Lange e Petri (1967), a Formação Furnas se inicia com um nível de conglomerado, arenito conglomerático ou, mais frequentemente, um nível de arenito muito grosso, que em geral apresentam menos de 1 m de espessura, sobre os quais se depositam os “típicos arenitos Furnas”, que consistem em arenitos grossos, localmente até finos, de cor branca, amarelada ou acinzentada, com grãos pobremente selecionados, subangulares a subarredondados.

Na base, a Formação Furnas é rica em feldspatos, que frequentemente se alteram para caulinita, que passa então a ocupar os interstícios entre os grãos. Para o topo, os arenitos em geral são constituídos apenas por grãos de quartzo, cimentados por sílica. É comum a presença de estratos micáceos e argilosos (LANGE; PETRI, 1967). Bigarella et al (1961, 1966) estudaram os diferentes tipos de estratificação da Formação Furnas, sendo que esta formação é reconhecida por ter níveis com estratificação plano-horizontal intercalados com estratificações cruzadas bastante peculiares (LANGE; PETRI, 1967).

### **6.2.2 Formação Ponta Grossa**

A Formação Ponta Grossa apresenta na base uma sequência de afogamento dos sistemas deposicionais transicionais da Formação Furnas, representada por um espesso pacote de folhelhos intercalados a delgadas lentes de arenito fino com marcas de ondas, correspondente no Estado do Paraná ao Membro Jaguariaíva. Esta sequência é sobreposta por um pacote de folhelhos pretos carbonosos, sucedidos por um pacote silto-arenoso correspondente ao Membro Tibagi. A última sequência descrita na literatura corresponde ao Membro São Domingos, de natureza predominantemente pelítica, que é interpretada como o registro do afogamento dos sistemas anteriores, encerrando o registro devoniano na Bacia do Paraná (MILANI et al., 2007).

O Membro Jaguariaíva está descrito por Lange e Petri (1967) como sobreposto à Formação Furnas com contato concordante e gradacional, com a parte basal consistindo em uma sequência de 7 metros de espessura de siltitos intercalados com arenitos grossos, sendo ambos fossilíferos. Na seção-tipo, é constituído por folhelhos argilosos, siltosos ou arenosos com arenitos finos a muito finos subordinados. Logo acima, são encontrados folhelhos argilosos pretos, carbonáceos, com nódulos calcários na base. Concreções sideríticas e calcárias são comuns do meio para o topo da sequência, com formas regulares a irregulares,

com comprimentos de até 1 m, mas espessuras de no máximo alguns centímetros. Em locais diferentes da seção-tipo, este membro é constituído por folhelhos cinza com cores claras variegadas para o topo em decorrência do intemperismo. A estrutura pode variar de finamente laminada até estratos centimétricos maciços, sendo que os estratos laminados costumam ser altamente micáceos, e também é comum a presença de pirita, principalmente nos folhelhos pretos (LANGE; PETRI, 1967).

O Membro Tibagi na seção tipo (município de Ponta Grossa - PR) é descrito como um pacote de 20 m de espessura de arenitos siltosos, micáceos e finos, com alguma variação na granulometria. Os contatos inferior e superior com os outros membros da Formação Ponta Grossa são descritos como transicionais. Em outras localidades, são descritos como arenitos cinza claro com cores de alteração amarelo-ocre ou vermelho amarelado. Na base, são mais argilosos, micáceos e laminados, passando para o topo para arenitos com estratificação incipiente, finos a médios e micáceos, e então novamente transicionando para o topo para arenitos laminados argilosos, e terminando em folhelhos micáceos duros. Esta sucessão de fácies pode se repetir várias vezes na coluna estratigráfica, e também pode ser intercalada com folhelhos ou ser mais homogênea e contínua (LANGE; PETRI, 1967).

Lange e Petri (1967) apresentam o Membro São Domingos como um pacote aflorante de 90 m na seção-tipo (município de Ponta Grossa - PR), composto por folhelhos predominantemente mais argilosos que o Membro Jaguariaíva, com camadas betuminosas, e frequentemente intercalados com camadas grossas com laminações intercaladas vermelhas e pretas. Em outras localidades, o Membro São Domingos é composto por folhelhos com cores mais escuras que o Membro Jaguariaíva, em geral cinza a cinza escuro e até mesmo pretos quando betuminosos. A alteração superficial confere a este pacote cores verdes claras ou cinza avermelhadas. Na base, esta sequência apresenta grãos de fração areia dispersos de forma irregular, e próximo ao município de Ponta Grossa-PR, possui uma camada de 15 cm de espessura de arenito fino argiloso mal selecionado com grande quantidade de seixos de quartzo e quartzito menores que 1 cm de diâmetro, com forma discoide. Esta camada é superposta por uma fina camada de folhelho micáceos rica em restos vegetais. Na Chapada dos Guimarães em Mato Grosso, a parte superior do Membro São Domingos é composta por camadas periodicamente repetidas de intercalações entre folhelhos pretos, siltitos finamente laminados e às vezes com estratificação cruzada, e arenitos finos de cor clara, laminados e micáceos.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Geologia Local

#### 7.1.1 Generalidades litológicas das lavras

Foram visitadas três lavras ativas e duas lavras desativadas em Rio Verde de Mato Grosso, e uma lavra em operação em Coxim (Figura 7.1). Todas as minas, com exceção da mina M4, apresentam a mesma sucessão de litologias, que correspondem, da base para o topo, a um pacote relativamente homogêneo de folhelhos cinza escuros a pretos, carbonáticos ou não, progressivamente intemperizados para o topo, capeados por arenitos muito finos micáceos que se sucedem aos folhelhos através de intercalações progressivamente mais abundantes e mais espessas. Logo acima dos arenitos podem ser encontrados pacotes de siltitos e argilitos amarelos homogêneos com laminação incipientemente preservada e/ou solos saprolíticos autóctones capeados por solos vermelhos alóctones areno-argilosos, cujo limite inferior é marcado por discordância onde se desenvolvem níveis e bolsões plintinizados.

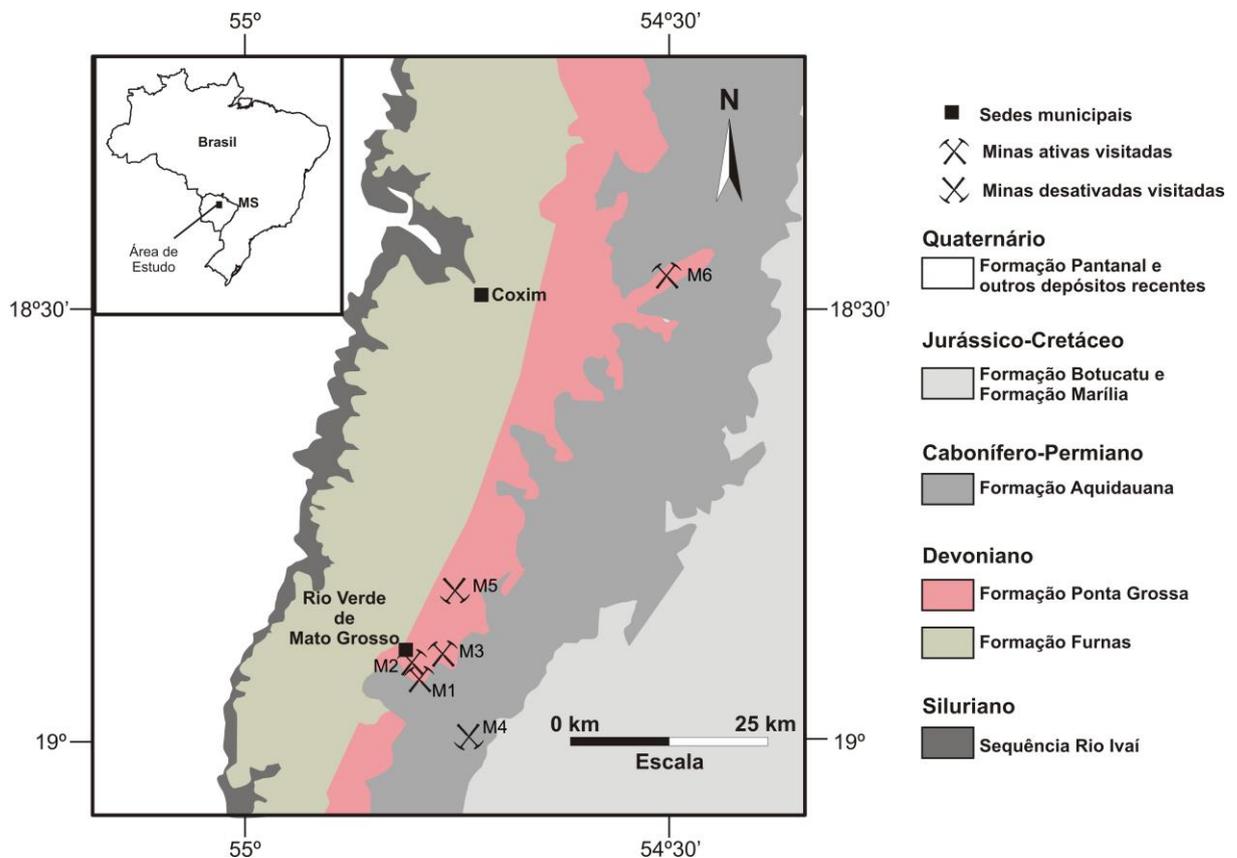
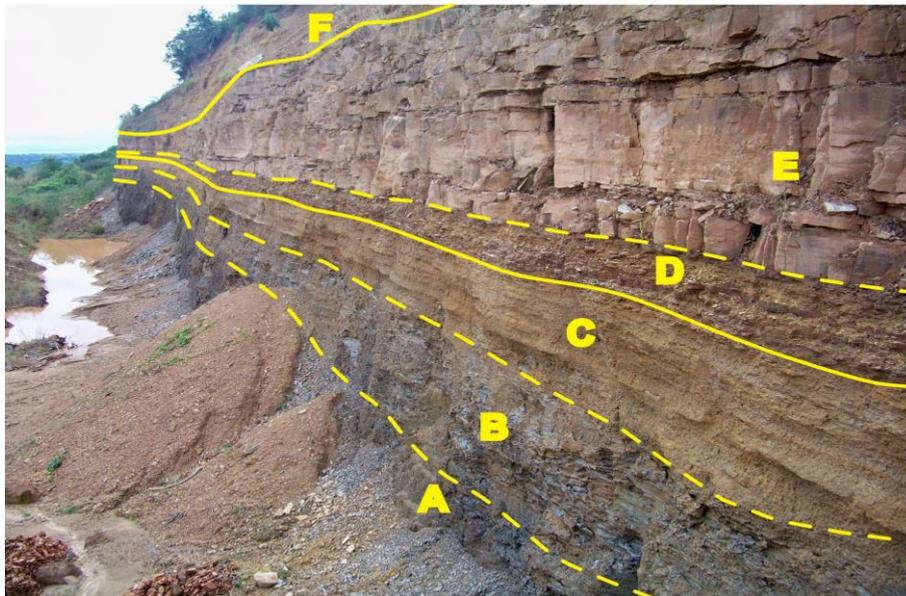


Figura 7.1 - Mapa geológico com a localização das minas visitadas. Mapa geológico modificado de LACERDA FILHO et al., (2006)

Os folhelhos podem ser divididos em três pacotes de acordo com o grau de alteração que apresentam (Figura 7.2), e podem ser classificados de acordo com o grau de dificuldade de cominuição em “minério duro”, “minério intermediário” e “minério mole”. Sendo assim, a base dos folhelhos, de cor cinza escuro a preto, laminado e predominantemente carbonático e ferruginoso, corresponde ao minério duro (nível A). O grau intermediário de intemperismo confere aos folhelhos a cor cinza levemente amarelada, com menor presença de carbonatos devido à sua lixiviação, e obliteração parcial da laminação proeminente observada nos folhelhos, sendo por isso classificado como minério intermediário (nível B).

O topo do pacote de folhelhos encontra-se muito alterado, tendo como característica a cor amarela acinzentada com resquícios de rocha de cor cinza, pouco ou nenhum registro de carbonatos, e aumento significativo da proporção de argilominerais em relação a outros filossilicatos. Também aumenta a proporção de material granular. A estrutura laminada dos folhelhos é ainda menos proeminente neste material, conferindo em certos locais um aspecto maciço a este pacote, que é então classificado como minério mole (nível C).



**Figura 7.2 - Frente de lavra abandonada na mina M1, onde é possível distinguir seis pacotes com diferentes características. A = folhelhos cinza escuros a pretos; B = Folhelhos cinza amarelados; C = siltitos e folhelhos amarelos acinzentados; D = Transição siltitos e folhelhos e arenitos; E = Arenitos muito finos a finos com intercalações de argilitos vermelhos; F = nível superior, que pode representar siltitos e argilitos amarelos, solos autóctones e/ou alóctones ou níveis goethitizados, de acordo com a mina.**

Os arenitos que se sobrepõem aos folhelhos têm textura fina a muito fina, são inequigranulares com grãos predominantemente equidimensionais em amostra de mão, e

conteúdos mineralógicos bastantes distintos quando diversos níveis arenosos são comparados. Apresentam como estrutura predominante estratificações plano-horizontais, subordinadamente marcas onduladas, e localmente podem ser observadas estratificações cruzadas planares e acanaladas. Dominantemente possuem matriz argilosa, mas foram encontrados níveis cimentados por carbonatos, cimentados por hematita, por limonita e goethita, ou aparentemente silicificados. Em geral apresentam cor creme, mas podem apresentar cor preta, marrom café, vermelha, rosada, amarela, branca ou verde pálido. São observados de início como intercalações centimétricas de arenitos finos creme a amarelo, com matriz argilosa logo na porção mais alterada dos folhelhos, e por este pacote transicional apresentar aspecto heterogêneo na frente de lavra, foi considerado como um conjunto à parte (nível D). Quando os arenitos passam a ser a litologia predominante, apresentam diversas heterogeneidades e pequenas intercalações lenticulares ou níveis argilosos vermelho rosado, além de níveis siltosos ricos em micas verdes (glauconita?), níveis predominantemente micáceos e níveis intensamente ferruginizados (nível E).

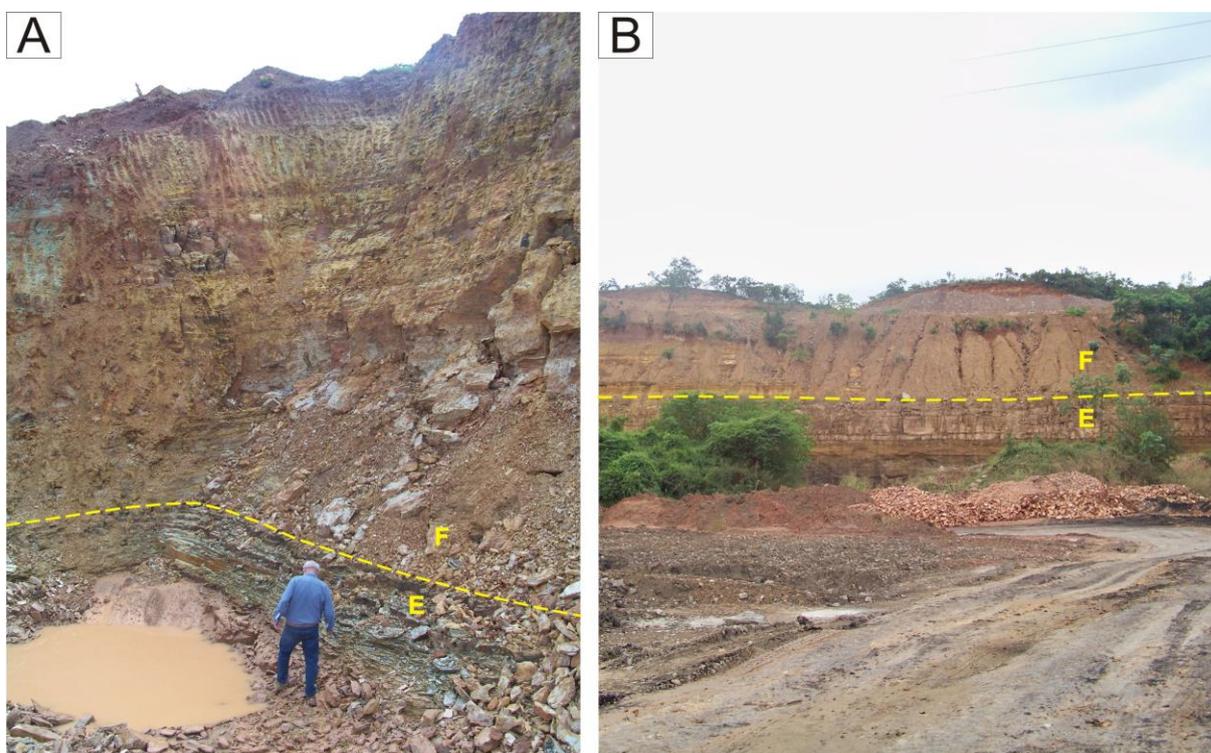
Sobre os arenitos, a depender da mina, são encontrados desde argilitos amarelos intensamente intemperizados (nível F – Figura 7.3) até solos residuais, além de sedimentos recentes areno-argilosos e/ou coberturas lateríticas com uma ou duas fases de goethitização reconhecidas. Estes materiais são, nas minas M1 e M3, lavrados indistintamente para fabricação cerâmica, ou são decapeados para a continuidade das operações, como na mina M2. Nestas três minas, este nível apresenta os argilitos amarelos intemperizados, evoluídos para solos. Na mina M5, esta cobertura corresponde a solos evoluídos dos arenitos muito finos, com resquícios pontuais de solos argilosos creme a brancos, com seixos milimétricos a centimétricos de goethita, e nível centimétrico de topo em que concreções de goethita subarredondadas encontram-se parcialmente cimentadas por nova fase de goethitização. Esta situação também pode ser observada em algumas porções de solos do entorno da mina M3.

## **7.1.2 Descrição das frentes de lavra**

### **7.1.2.1 Mina M1, cerca de 1,5 km a sudeste do centro de Rio Verde de Mato Grosso**

A mina M1 possui uma frente de lavra inoperante e uma frente de lavra ativa, sendo que na frente de lavra abandonada afloram todos os níveis (A a F – ver Figura 7.2), enquanto a frente de lavra em operação possui cerca de 1 m de arenitos na base intercalados com folhelhos verdes e cinzas claros (nível E). Acima do nível E ocorre um pacote de espessura

média de 5 m de siltitos argilosos e argilitos amarelos levemente acinzentados sobrepostos por solos vermelho-arroxeados localmente esbranquiçados e com bolsões creme a amarelos, com espessura média de 2 m (nível F – ver Figura 7.3). O acesso entre as cavas é feito através de pilha em que se processa a mistura dos materiais mais alterados encontrados nas minas, sendo descartados o nível de transição na porção mais arenosa (topo do nível D), os arenitos e os argilitos vermelhos intercalados (nível E). Os folhelhos pretos, cinza e amarelos (níveis A, B e C, respectivamente) foram por muito tempo utilizados como matéria-prima principal, sendo que hoje são explorados predominantemente os folhelhos/siltitos amarelos do nível C em composição com os siltitos argilosos do nível F.



**Figura 7.3 – Natureza do contato entre os níveis E e F na mina M1. A) Contato entre os níveis E e F no topo da mina M1. E=Arenitos; F=siltitos e argilitos amarelos. Para o topo, nota-se a presença de solos vermelhos sobrepostos aos siltitos e argilitos muito alterados. B) Nível superior da mina M1, onde se nota a sequência de arenitos sobrepostos por siltitos e argilitos amarelos e, no topo, solos vermelhos e esbranquiçados.**

Na base da cava abandonada, afloram folhelhos pretos por cerca de 60 cm acima do nível alagado, com forte laminação subhorizontal, com planos de laminação localmente anastomosados. Não é possível reconhecer a mineralogia principal em amostras de mão por conta da textura lutítica. Manchas brancas circulares (Figura 7.4) são comuns entre os planos

da laminação dos folhelhos, compostas por calcita e resultado de eflorescências. Intimamente associados a estes níveis eflorescentes, são encontradas percolações concordantes e discordantes de óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 7.4).



**Figura 7.4 - Folhelhos pretos com abundantes eflorescências circulares a radiais de calcita, intimamente associadas a manchas e percolações de óxidos e hidróxidos de ferro. Cal = calcita; Ox = óxidos e hidróxidos de ferro.**

No acesso para a cava, encontra-se uma pilha de disposição de material (descarte), onde foram encontrados em abundância nódulos circulares de tamanhos variando entre 5 e 20 cm de diâmetro. Os nódulos são compostos total ou parcialmente por pirita, às vezes envolvidos por uma capa fosfática e ou ferrosa (oxi-hidróxidos de ferro). A pirita também ocorre com estrutura em pente, como substituição de nódulos preexistentes, disseminada no interior de pastilhas dos folhelhos e como filetes dispersos pelo material. Foi relatado pelos mineiros a ocorrência de moldes de conchas, também nos folhelhos pretos, mas tidos como raros.

Os folhelhos se sucedem para o topo por aproximadamente 10 m, passando a meia-altura para cores em tons de cinza, com matizes amareladas, até amarelos acinzentados no topo, tornando-se totalmente amarelos a cerca de 9,5 m de altura. Estes folhelhos apresentam laminação progressivamente menos expressiva, mantendo o aspecto anastomosado local e a textura lutítica, com menos propensão à ocorrência de eflorescências em direção ao topo. Possuem diversas manchas e planos de percolação de óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 7.5), além de películas azul marinho, levemente iridescentes nas superfícies expostas.

Da base da mina para o topo, em aproximadamente 2,5 m de altura, em meio aos folhelhos cinza, encontra-se um nível destacado com espessura média de 15 cm, com estrutura predominante na forma de nódulos ou ondulações, com concentrações de materiais em formas ovoides ou circulares, constituindo nível fosfático (Figura 7.5) (MONTIBELLER; ZANARDO, 2014). Na transição entre os folhelhos cinza amarelados e amarelos, a aproximadamente 8 m de altura, foi encontrado um nível de espessura menor que 2 cm de calcita, com crescimento perpendicular à laminação, com hábito fibroso. Segundo relatos, este filete concordante é constante por toda a mina.

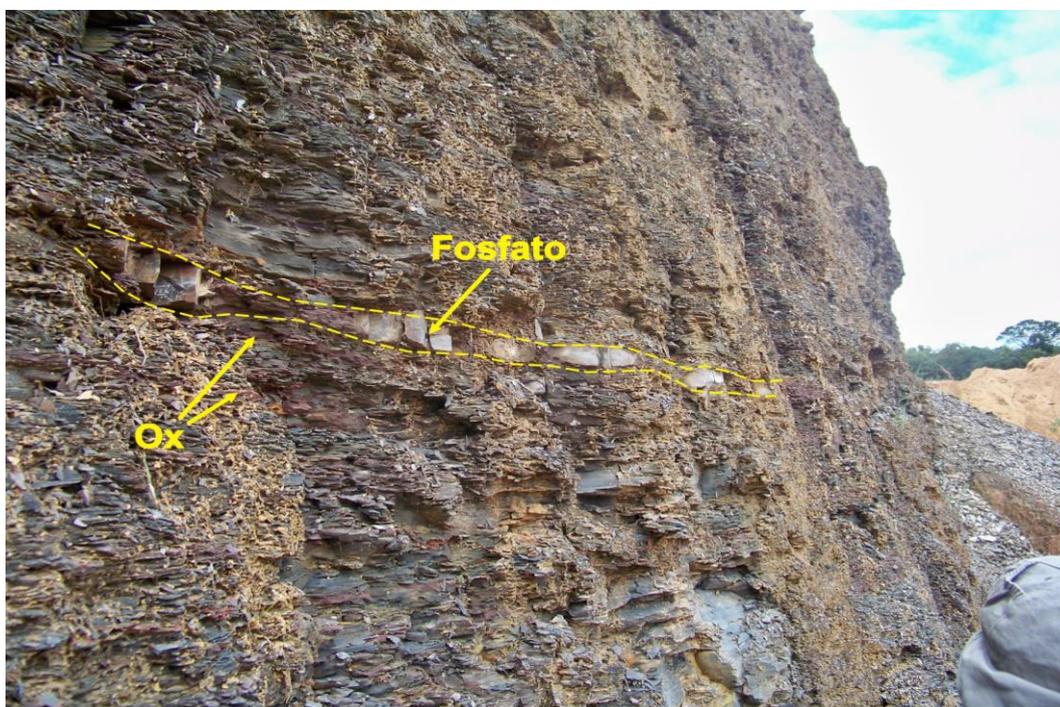
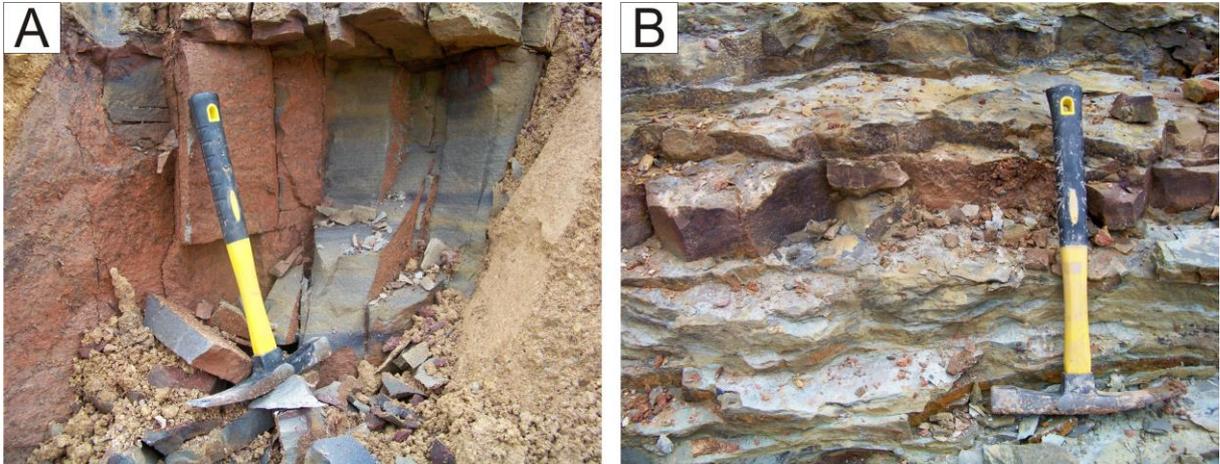


Figura 7.5 - Folhelhos cinza com percolação de óxidos e hidróxidos de ferro, alterações de cor amarelo acinzentada e nível destacado fosfático. Ox = óxidos e hidróxidos de ferro; Fosfato = nível fosfático.

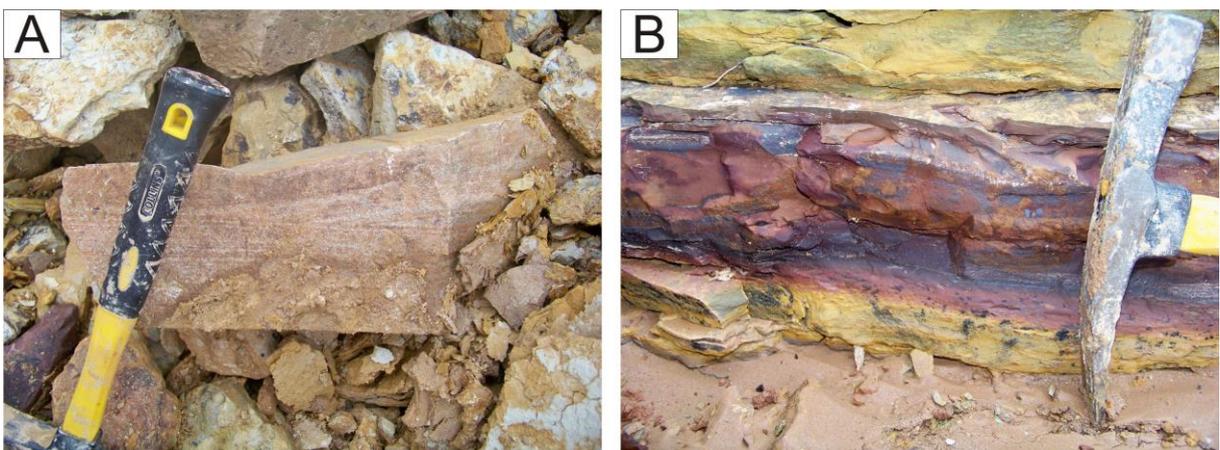
A cerca de 10 m acima do piso da mina, encontram-se arenitos acamadados amarelos, com marcas onduladas e intercalações finas de folhelhos e argilitos vermelhos a vermelhos rosados. As camadas de arenito variam de 3 cm a 1 m de espessura, sendo mais finos e mais espaçados na base do pacote (nível D), intercalados com níveis remanescentes de folhelhos amarelos, e no topo progressivamente mais espessos e intercalados com argilitos vermelhos (nível E). Do meio para o topo do pacote de arenitos (nível E), encontram-se arenitos finos a médios com intensa cimentação por hematita. Também encontram-se folhelhos verdes, arenitos finos verdes e nódulos ferruginosos em meio a bolsões de argila. Possuem estrutura

estratificada plano-paralela sub-horizontal, com alternância de espessuras variáveis entre arenitos feldspáticos com e sem cimentação por hematita (Figura 7.6).



**Figura 7.6 – Detalhe das particularidades dos arenitos da mina M1. A) arenitos finos cimentados com precipitação intersticial de hematita, formando leitos contínuos marcando a estratificação plano-paralela. B) folhelhos verdes e delgados níveis de arenitos muito finos verdes, intercalados com arenitos vermelho arroxeados cimentados por hematita.**

Localmente são observadas laminações do tipo *flaser*, com a calha marcada por filmes e lâminas hematíticas. Na lateral da cava em operação, são observados *in situ* folhelhos cinzentos ricos em argilominerais verdes e níveis areníticos ferruginizados, a ponto de formarem camadas maciças de hematita com 10 a 20 cm de espessura. São encontrados, em blocos soltos pela lavra, estratificações cruzadas planares com truncamento evidenciado pela precipitação de goethita nos planos da estratificação (Figura 7.7).

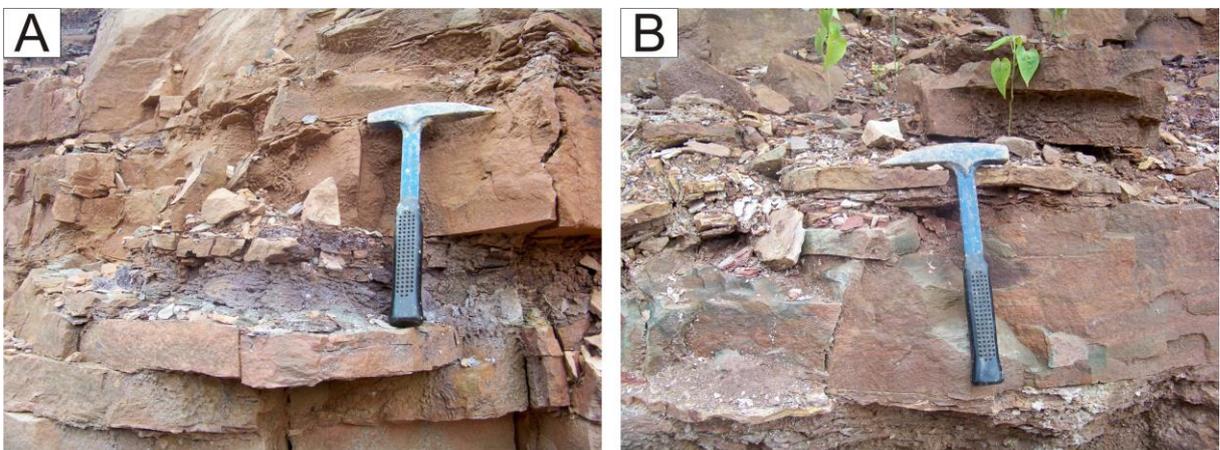


**Figura 7.7 – Ferruginização associada aos arenitos. A) truncamento de *sets* de cruzadas planares destacadas pela precipitação de goethita nos planos da estratificação. B) nível hematítico maciço intercalado em folhelhos verdes, amarelados pela alteração superficial.**

A continuação destes pacotes de arenitos (nível E) pode ser observada na estrada de acesso para a mina (Figura 7.8). Nesta porção, são arenitos finos a muito finos, ferruginosos, com alternância entre estratos centimétricos a métricos, com estratificação cruzada plano-paralela sub-horizontal, intercalados a níveis delgados de folhelhos amarelos, vermelhos rosados e arroxeados (Figura 7.9A). Certos bancos arenosos, com espessura entre 10 e 40 cm, apresentam destacada cor verde (Figura 7.9B). Os bancos de arenitos em algumas porções apresentam ondulações na base e no topo, como em tempestitos.



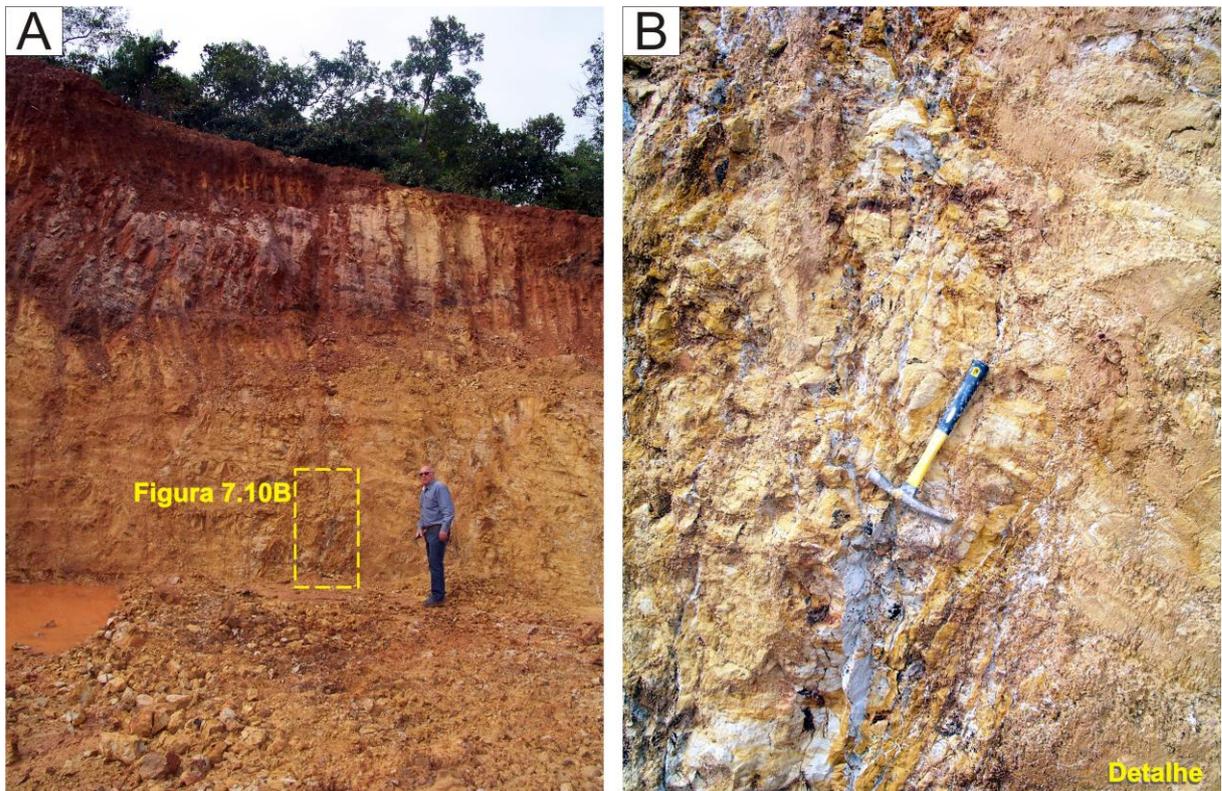
**Figura 7.8** – Pacote de arenitos observado na estrada de acesso à mina M1. Na base, encontram-se estratos de arenitos maciços com espessuras menores que 15 cm, intercalados a finas camadas de folhelhos amarelos. Logo acima, sucedem-se espessos bancos arenosos, ondulados na base e no topo, com intercalações de argilitos e folhelhos vermelho rosados e níveis ferruginizados.



**Figura 7.9** – Heterogeneidades intercaladas nos arenitos. A) níveis de folhelhos vermelhos rosados a arroxeados intercalados aos arenitos. B) arenitos muito finos verdes, com superfícies intemperizadas cobertas por película de óxidos e hidróxidos de ferro.

Acima dos arenitos, aflora um pacote composto por material argilo-siltoso geralmente homogêneo, com bandas discretamente destacadas, com mais concentração de óxidos e hidróxidos de ferro intersticiais na forma de películas e pequenas lentes (nível F). Apresenta cor predominantemente amarela, mas localmente pode apresentar tons de cinza claro, creme claro e branco.

Na parede leste desta cava, temos a perturbação dos níveis de siltitos e argilitos superiores (nível F), com a ocorrência de uma região de falha com deslocamento inverso, gerando planos anastomosados e pseudo-verticalização dos estratos (Figura 7.10A). A perturbação do material intemperizado gera estrutura que pode ser descrita como “flor negativa”. Associados a estes planos verticalizados, encontram-se veios alterados de material tectonizado (Figura 7.10B).



**Figura 7.10 – Material argilo-siltoso acima dos arenitos na mina M1, atualmente em operação. Nota-se perturbação do material de topo, com geração de planos anastomosados e veios de material tectonizado, com pseudo-verticalização dos estratos.**

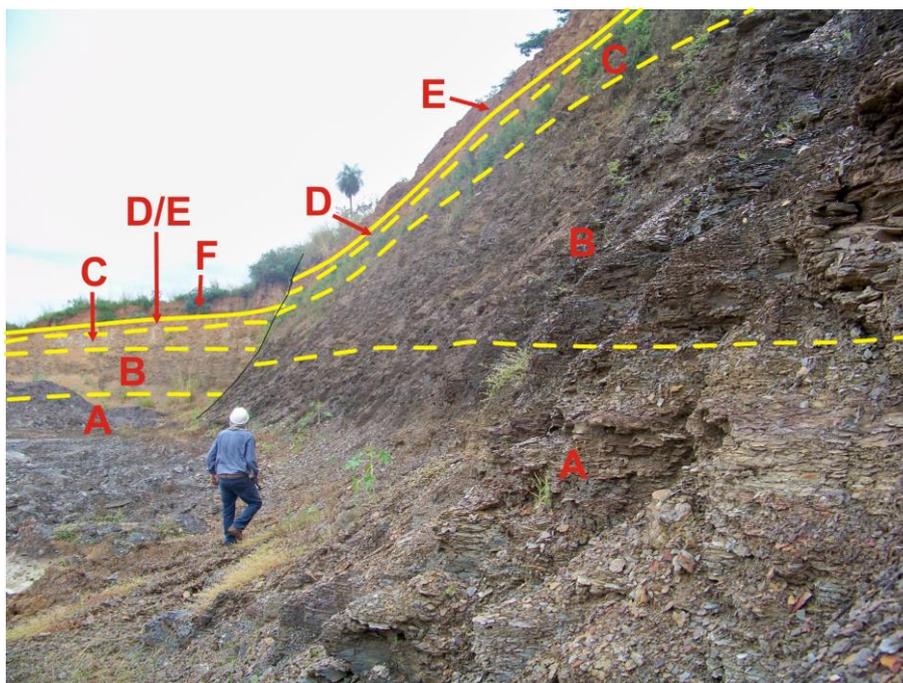
Passando pelo interior da mina, em acesso por estrada de terra à mina M2, foi encontrada uma área de empréstimo possivelmente para a construção da rodovia que liga Rio Verde de Mato Grosso a Campo Grande, na qual se observa o material silto-argiloso amarelo do topo da sequência em situação de lavagem pelas águas superficiais, gerando solo argiloso branco (Figura 7.11). Na superfície, ocorre nível ferruginoso endurecido de espessura média de 10 cm, bastante compacto. Associado a este solo, encontram-se cascalhos e seixos arredondados a subarredondados, aparentemente compostos principalmente por quartzo leitoso e goethita, com tamanhos variando de 1 cm a 20 cm no seu maior comprimento.



**Figura 7.11** – Níveis de solo sobrepostos aos argilitos amarelos do topo da sequência da mina M1. Nota-se relictos da sequência argilo-siltosa amarela capeados por carapaça ferruginosa compacta. As calhas de erosão apresentam material de alteração argiloso branco. Associados, cascalhos e seixos de tamanhos variados.

#### 7.1.2.2 Mina M2, aproximadamente 500m a leste do centro de Rio Verde de Mato Grosso

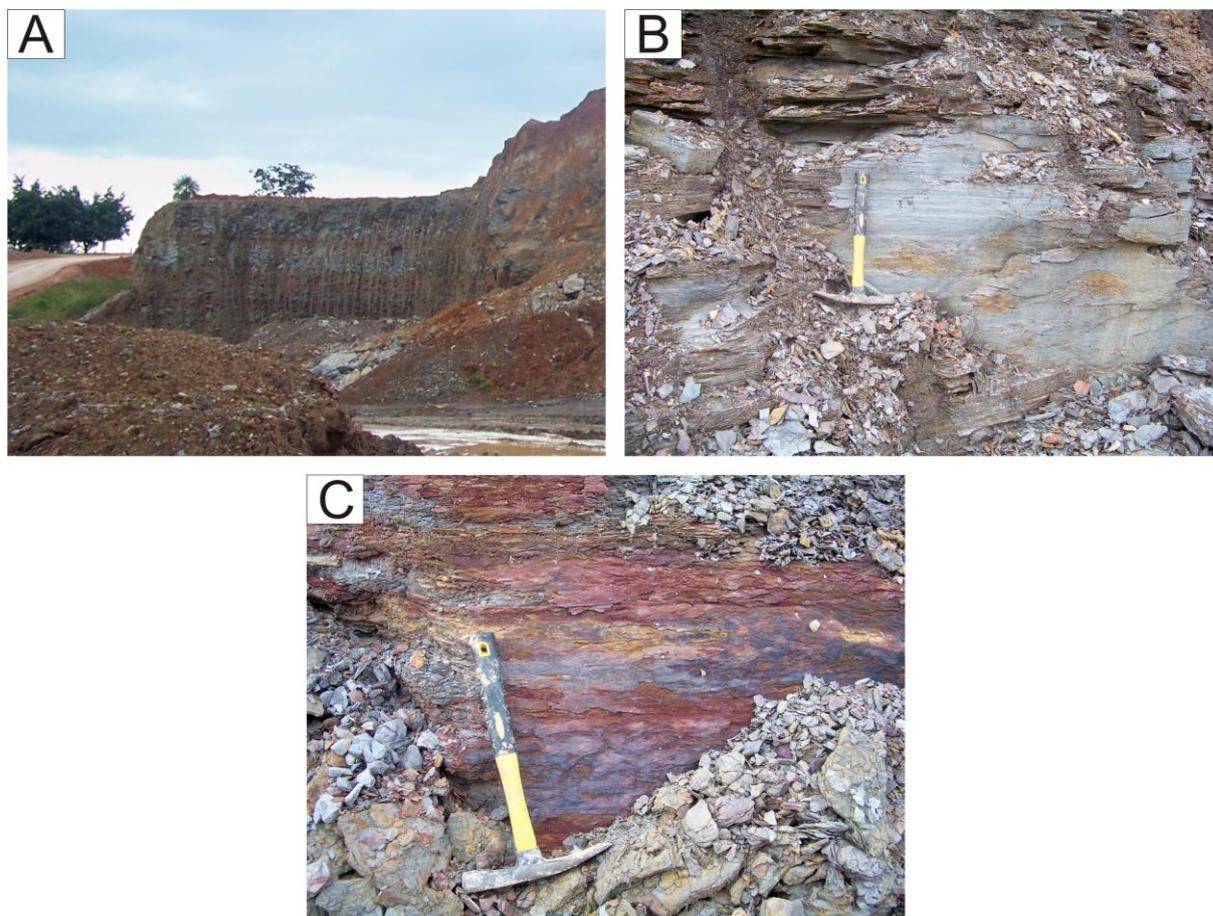
Na mina M2, é possível avistar na entrada, ao lado do acesso, uma antiga frente de lavra em que afloram exclusivamente os folhelhos cinza e cinza a pretos (níveis A e B, predominando B). Continuando pelo acesso principal, passando pela casa de operação e pelo beneficiamento, numa subida com desnível de aproximadamente 10 m, é possível acessar duas cavas: a primeira abandonada e alagada, onde afloram principalmente siltitos amarelos acinzentados pouco estruturados, diretamente sobrepostos em discordância por sedimentos recentes evoluídos para solos vermelhos, e a segunda, em operação, onde afloram os níveis de A a D, com E e F incipientes (Figura 7.12).



**Figura 7.12 – Subdivisão dos pacotes de rochas encontrados na Mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso. A = folhelhos cinza escuros a pretos; B = folhelhos cinza amarelados; C = siltitos e folhelhos amarelos acizentados; D = nível transicional com intercalação entre siltitos e folhelhos cinza amarelados e níveis arenosos pouco espessos; E = arenitos muito finos a finos com intercalações de argilitos vermelhos; F = nível superior, que nesta mina representa solos autóctones e/ou alóctones com plintitização associada.**

O nível estratigráfico da mina M2 aparenta ser mais baixo que o nível da mina M1, uma vez que os arenitos são pouco expressivos, a espessura dos folhelhos cinza e pretos é maior e não é observado o nível siltico-argiloso amarelo (nível F). Na primeira frente (níveis A incipiente e B predominante), os pacotes são finamente laminados e homogêneos (Figuras 7.13A e 7.13B), sendo que o único destaque são crostas e manchas vermelhas ferruginosas que se formam nas superfícies expostas (Figura 7.13C).

O galpão de beneficiamento, onde é feita a britagem do material nesta mina, possui diversos fragmentos de rochas retiradas da lavra em diversos períodos de tempo, dispostos aleatoriamente na parte frontal. Nesta “pilha” de materiais, foram observados fragmentos de siltitos cinza laminados, com a laminação perturbada, a presença de lentes sigmoidais granulares, e grande quantidade de muscovita detrítica, equigranular, com tamanho de até 1 mm. Quando trazida ao laboratório para análise, uma amostra deste material foi desagregada, e constatou-se a presença de uma valva desarticulada de bivalve piritizada imersa no material. A mesma amostra que possui o fóssil piritizado apresenta manchas brancas, com cerca de 1 a 2 mm de diâmetro e na forma radial, que não apresentam reação com liberação de CO<sub>2</sub> ao HCl 10% a frio, resultando da eflorescência de sulfatos.

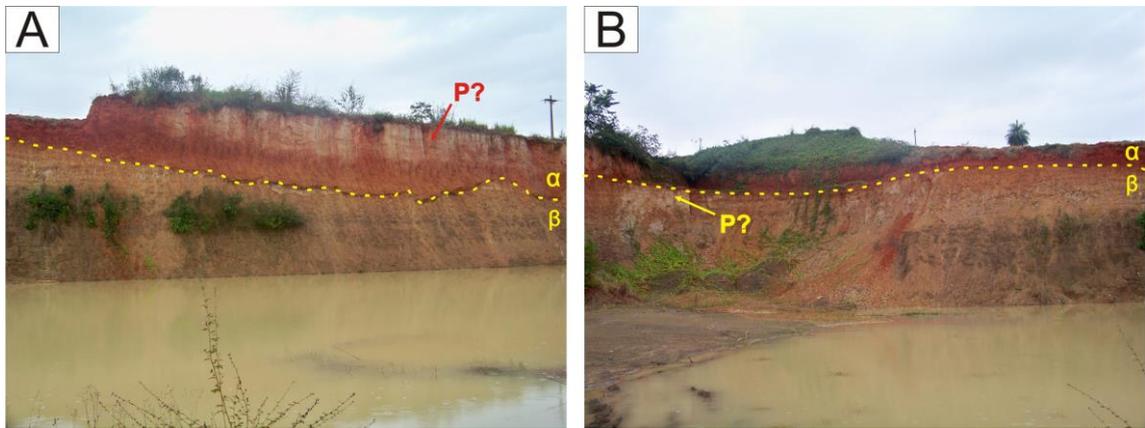


**Figura 7.13 – Aspecto dos pacotes de folhelhos da mina M2. A) visão geral da antiga frente de lavra de folhelhos pretos e cinza, onde é possível perceber o aspecto homogêneo dos folhelhos e a formação de películas oxidadas na superfície. B) laminação destacada e homogênea nos folhelhos cinza, levemente amarelados. C) crosta ferruginosa oxidada formada nas superfícies expostas dos folhelhos.**

Na posição intermediária entre o barracão da moagem e a frente atual da mina M2, encontra-se outra frente de lavra desativada, composta predominantemente por siltitos amarelos com laminação incipiente, com tons de cinza reliquiários. Esta cava apresenta uma superfície erosiva bem marcada (Figura 7.14), desenhando a superfície do folhelho alterado, e sendo separada desta por uma camada esbranquiçada sobreposta imediatamente por níveis vermelhos de espessuras variadas. No topo, encontra-se uma superfície aplainada, esbranquiçada, sobreposta por horizonte orgânico.

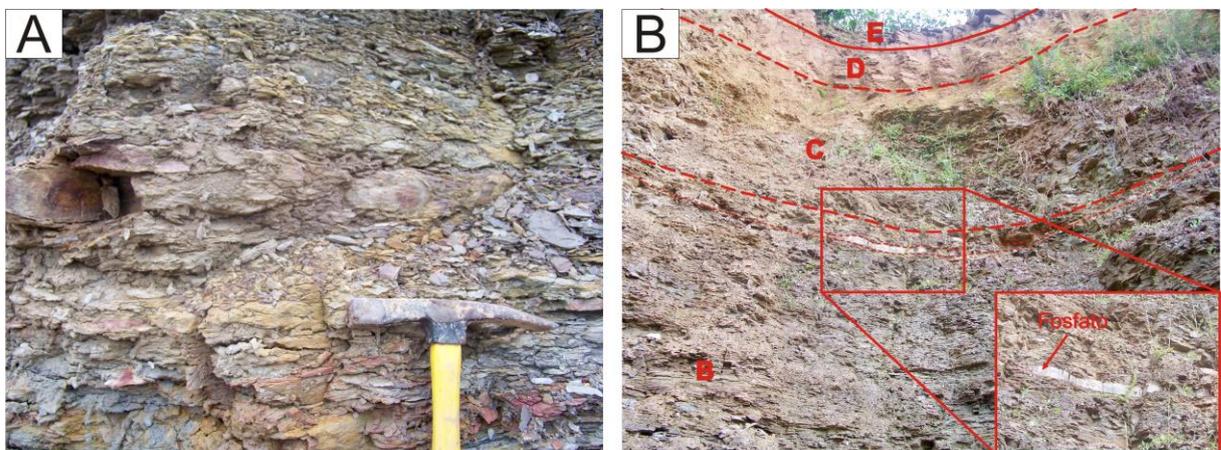
A cava em exploração atualmente (ver Figura 7.12) localiza-se topograficamente acima das cavas abandonadas. Nesta cava, predominam no piso folhelhos cinza escuros a pretos sobrepostos gradualmente por folhelhos cinza amarelados e então amarelos acinzentados. Os folhelhos pretos foram pouco observados, enquanto os folhelhos cinza

amarelados apresentam como características perturbações frequentes na laminação, em geral tubulares ou sigmoidais e com dimensões médias de 0,5 cm, preenchidos por material granular muito fino.



**Figura 7.14 – Folhelhos amarelos alterados a muito alterados ( $\beta$ ) sobrepostos por horizontes de solos vermelhos com bolsões amarelos a esbranquiçados ( $\alpha$ ). P? = possível plintitização do perfil. Em A) os níveis possivelmente plintitizados ocorrem nos solos da porção superior, acima da discordância erosiva, enquanto em B) estes níveis ocorrem abaixo do limite erosivo entre  $\alpha$  e  $\beta$ .**

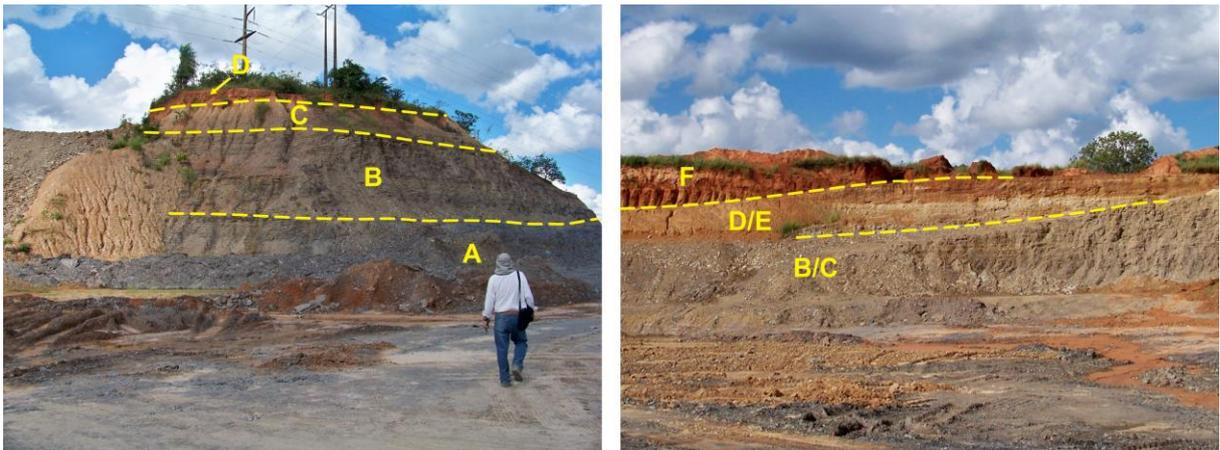
A frente de lavra é bastante homogênea, apresentando apenas níveis destacados por conta da alteração dos folhelhos, além de nódulos e pastilhas ferruginosas (Figura 7.15A) com dimensões médias de 10 cm, presença significativa de micas detriticas identificáveis a olho nu, e nível nodular fosfático (Figura 7.15B). Este nível fosfático foi descrito cerca de 4 m acima do piso da cava, 3 m abaixo do que seriam os arenitos observados na mina M1. Não foram encontradas concreções ou nódulos de pirita não alterada. Na saída da mina, na estrada de acesso (topograficamente acima), afloram arenitos muito finos amarelos com estrutura compacta, provavelmente correlatos aos arenitos do topo da mina M2.



**Figura 7.15 – Concreções e níveis nodulares da mina M2. A) pastilhas e concreções nodulares de óxidos de ferro, dispersas pelos folhelhos. B) detalhe da parede da cava em atividade, onde se encontra um nível destacado, predominantemente contínuo, fosfático. Fosfato = nível fosfático.**

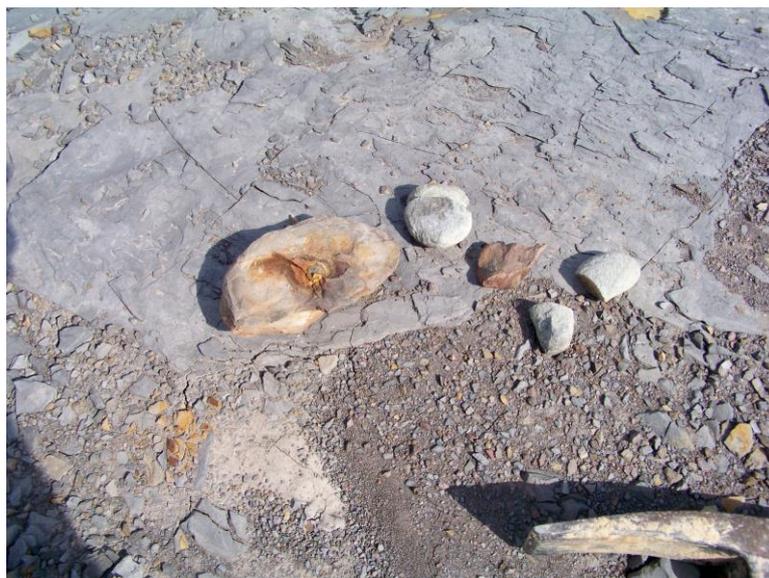
### 7.1.2.3 Mina M3, cerca de 3,5 km a leste do centro de Rio Verde de Mato Grosso

A mina M3 (Figura 7.16) apresenta uma única cava, com três frentes de lavra. A primeira delas atualmente recebe pilhas dos materiais de descarte; a segunda encontra-se em operação, e a terceira, localizada na bancada superior, também encontra-se ativa. Da base para o topo, a mina apresenta folhelhos cinza escuros gradando a tons de cinza mais claros, tons de amarelo e verde (níveis A, B e C), com nível transicional de intercalações de folhelhos cinza amarelados e arenitos feldspáticos muito finos (nível D/E). As camadas de arenitos não ultrapassam os 20 cm de espessura, e encontram-se espaçadas entre si, em meio a um pacote de siltitos arenosos e folhelhos com cores amarelas e marrom rosadas. A mina é capeada por cobertura argilo-arenosa rica em seixos e nódulos de goethita, com diâmetro variando entre 2 e 5 cm (nível F).



**Figura 7.16 - Subdivisão dos pacotes de rochas encontrados na Mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. A = folhelhos cinza escuros homogêneos, na base pretos; B = folhelhos cinza amarelados; C = folhelhos amarelos acinzentados; D e D/E = intercalação entre folhelhos cinza amarelados e níveis arenosos com espessuras variáveis; F = solos com plintitização associada.**

O piso da mina é composto por folhelhos cinza escuros a pretos, micáceos, com laminação homogênea, e presença de grande quantidade de nódulos, com dimensões entre 2 e 10 cm. Estes nódulos podem ser arredondados, elípticos ou esferoides e são encontrados em abundância nas pilhas de descarte de material cinza a preto. São predominantemente compostos por uma nucleação de pirita anédrica, circundada por material argiloso componente do próprio folhelho, formando pastilhas e “bolachas”, ou são compostos inteiramente de pirita maciça (Figura 7.17).



**Figura 7.17 – Nódulos de pirita maciça ou nucleados por pirita e envelopados por material argiloso, formando pastilhas e “bolachas” de pirita.**

Nas porções em que o folhelho apresenta cor cinza e grau levemente mais intenso de alteração, são encontrados veios concordantes ou discordantes de gipsita fibrosa, com crescimento perpendicular à laminação do folhelho, geralmente associada a níveis e manchas de óxidos de ferro. Próximo aos níveis de gipsita, é abundante a ocorrência de eflorescências no folhelho, que não apresentam reação com liberação de  $\text{CO}_2$  ao  $\text{HCl}$  10% a frio. Foi encontrado também um bloco equidimensional com cerca de 20 cm de comprimento, contendo veios não orientados de gipsita. Também registrou-se a presença de nódulos elipsoidais com cerca de 15 cm de comprimento, ferruginizados, com núcleos distintos amarelos ou vermelhos, denotando a presença de óxidos e hidróxidos de ferro, e em alguns casos com o interior preenchido por gipsita (Figura 7.18).

Em geral, os folhelhos apresentam laminação homogênea e cores de alteração variando entre amarelo, cinza, branco e verde. Nas paredes próximas às pilhas de descarte, e a cerca de 3,5 m acima do piso, é observado nível nodular fosfático, descontínuo, constituído de material compacto de cor marrom esbranquiçado na parte externa, e marrom avermelhado na parte interna (Figura 7.19). O contato entre os folhelhos e os arenitos do topo é transicional, e nesta mina é representado por um pacote de cerca de 1 m de espessura de folhelhos alterados de cor amarela esverdeada, gradando para o topo a partir dos folhelhos cinza, menos alterados, com intercalações esparsas de camadas centimétricas de arenitos muito finos (nível D). Após o nível transicional, encontram-se arenitos ferruginosos e níveis hematíticos (nível E).

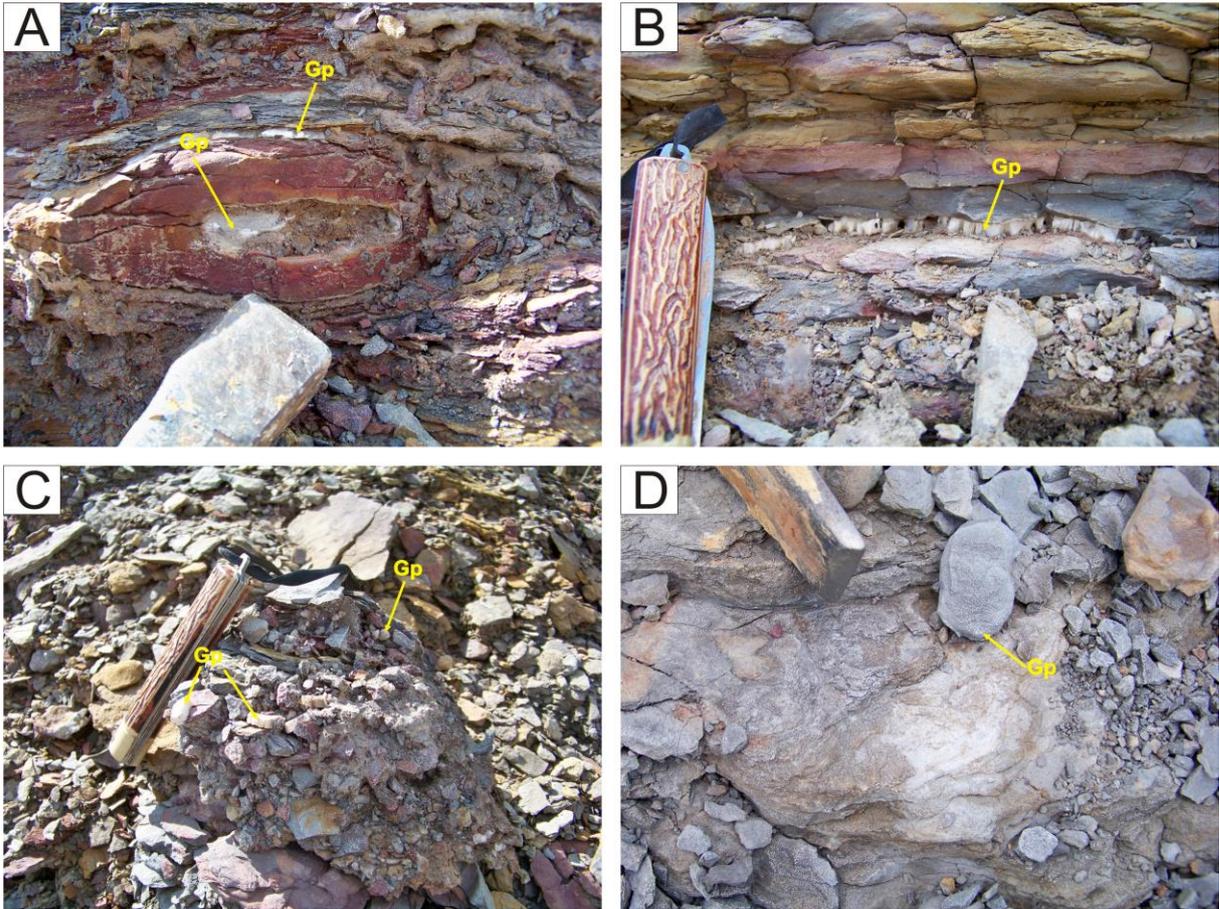


Figura 7.18 – Formas de ocorrência de gipsita nos níveis de folhelhos cinza a amarelos na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. A) gipsita no interior de concreções ferruginosas, no núcleo e intercamadas; B) nível concordante de gipsita fibrosa, com cristais perpendiculares à laminação dos folhelhos; C) fragmentos de gipsita e vênulas discordantes em meio a material fragmentado por expansão dos folhelhos; D) eflorescências comuns (manchas brancas) próximo aos níveis de gipsita.

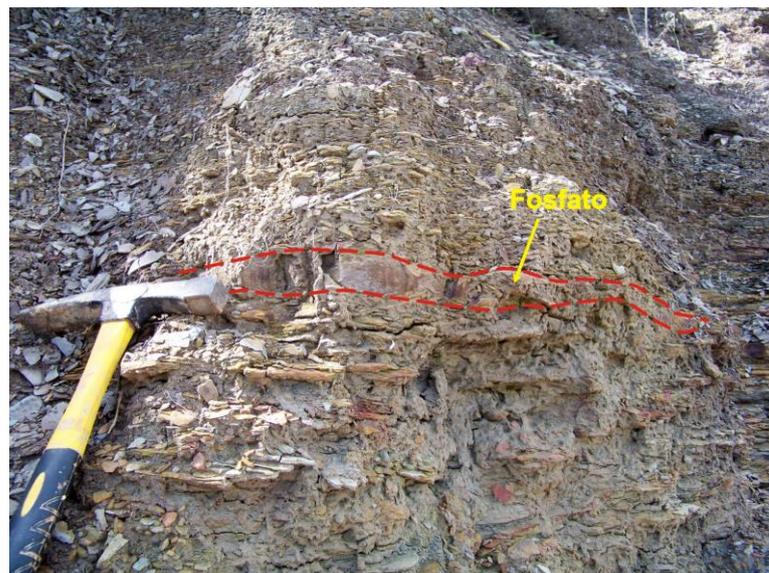


Figura 7.19 - Nível maciço nodular descontínuo observado por toda a extensão da mina M3, a aproximadamente 3,5 m de altura a partir do piso da cava, e cerca de 2 m abaixo do aparecimento da primeira camada de arenito muito fino. Fosfato = nível fosfático.

Os arenitos (Figura 7.20) podem ser observados na parede da rampa de acesso entre os patamares, e apresentam cimentação por hematita, intercalados em material arenoso alterado de granulometria fina e cor amarela a rosada. São encontrados, associados aos arenitos, níveis ferruginosos com estratificações cruzadas marcadas pela alternância de lâminas hematíticas e quartzosas (Figura 7.21), em estratos de espessuras médias de 10 cm, com continuidades variáveis. Também foram encontrados blocos soltos de arenitos finos a muito finos hematíticos contendo rastros de bioturbações preenchidos por sedimentos arenosos brancos, além da presença de sigmoides com textura granular, com comprimento médio de 1 cm.

No patamar superior, inicialmente intercalados e sobrepondo-se aos arenitos, encontram-se siltitos arenosos intensamente alterados, cinza amarelados a marrom rosados, pouco plásticos, que mantêm certa estruturação laminada e se deformam com dificuldade, gerando trincas homogêneas (Figura 7.22).

Sobrepondo-se diretamente aos níveis arenosos, ou em contato com os siltitos arenosos pouco plásticos, encontra-se uma cobertura argilo-arenosa rica em seixos e nódulos de goethita, com diâmetro variando entre 2 e 5 cm. Foi observada a ocorrência de uma perturbação no piso da cava, de direção N300, com movimentação ao longo do plano sub-vertical e tectonização do folhelho (Figura 7.23).

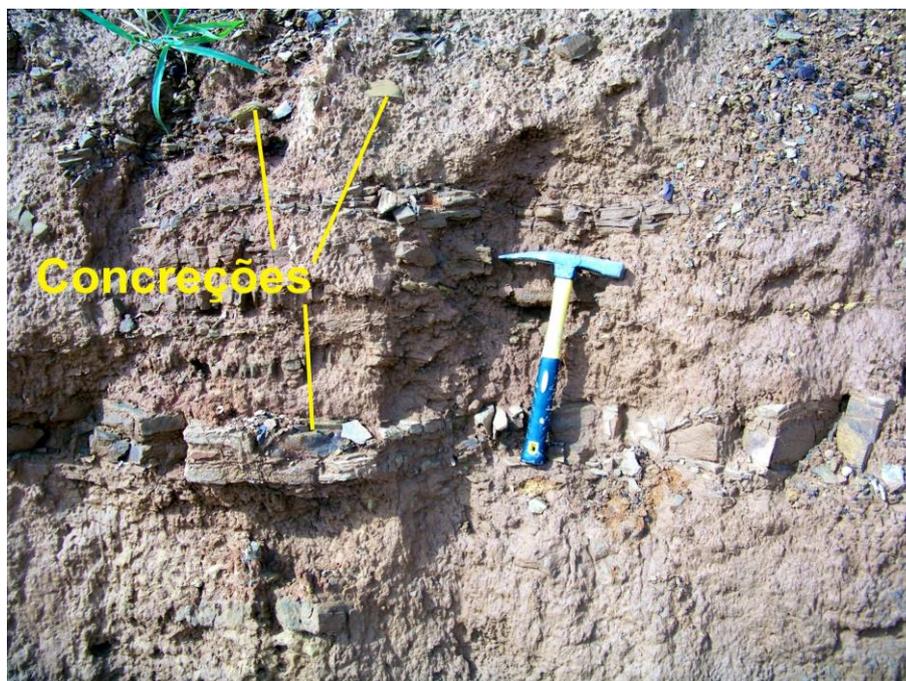
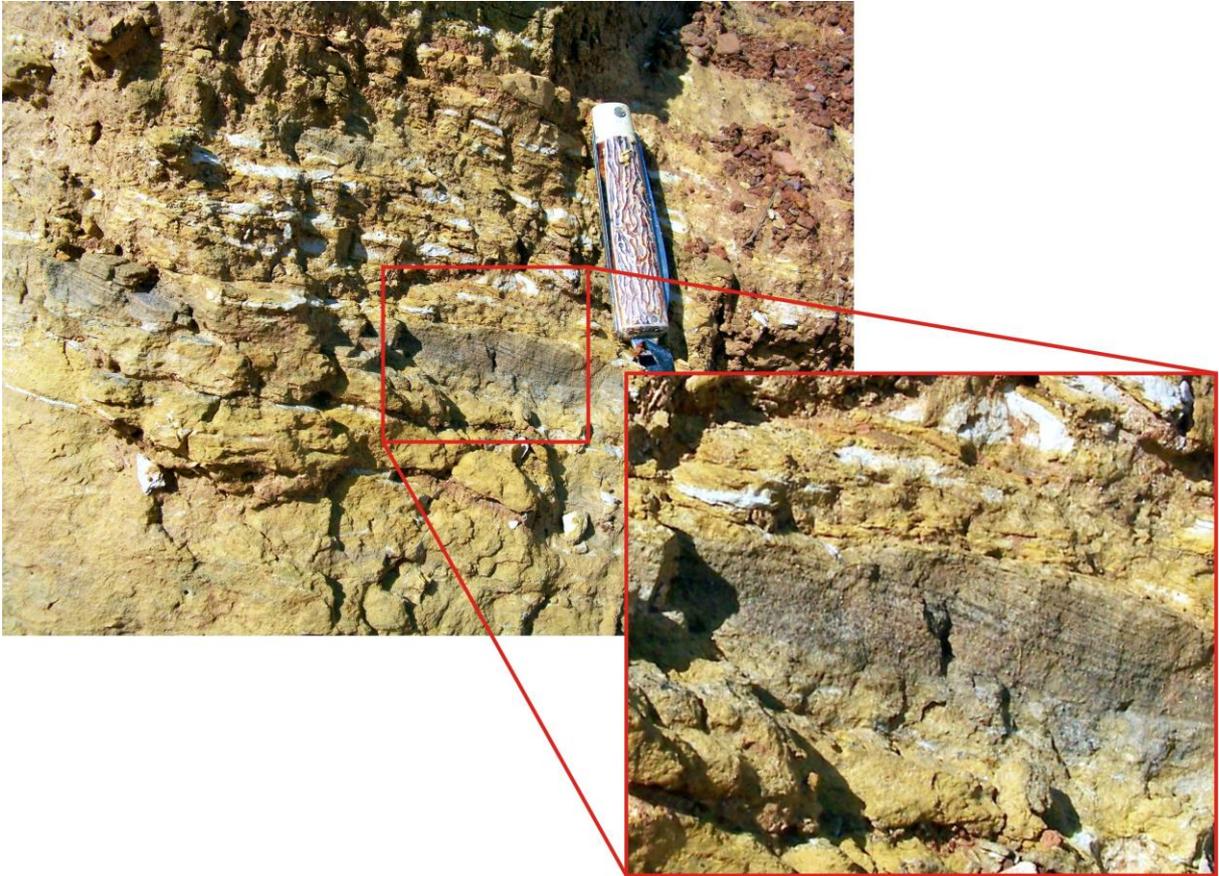
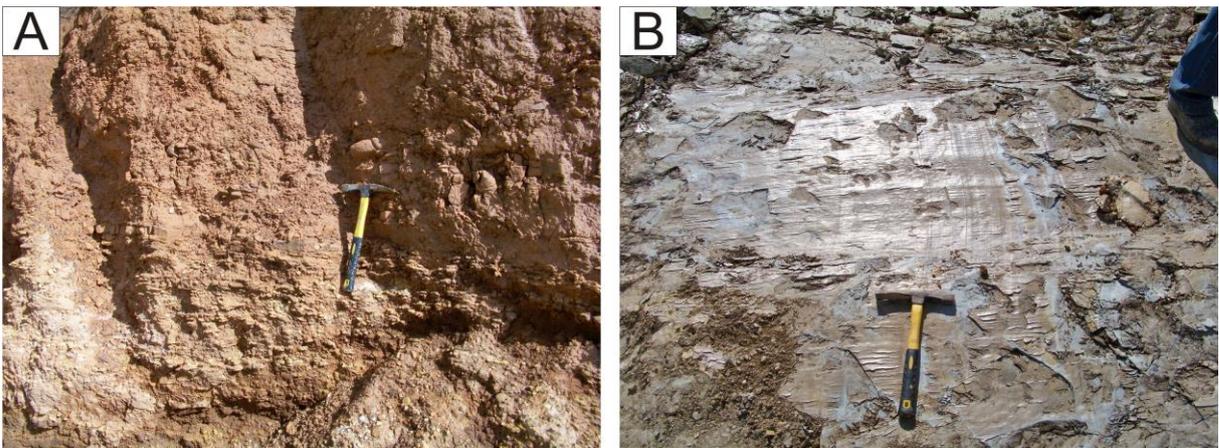


Figura 7.20 – Camadas intercaladas de arenitos e siltitos arenosos na mina M3. Nos arenitos, é comum a presença de concreções arredondadas de limonita e/ou goethita.



**Figura 7.21 - Estratificação cruzada aparentemente plano-horizantal, com alternância entre bandas puramente hematíticas e bandas quartzosas.**



**Figura 7.22 – Siltitos arenosos do topo da mina M3. A) aspecto característico dos níveis silto-arenosos, em nível concordante aos arenitos. B) característica de plasticidade dos siltitos arenosos, uma vez submetidos à compactação por carga do maquinário utilizado na lavra, e sob efeito da secagem ao sol.**

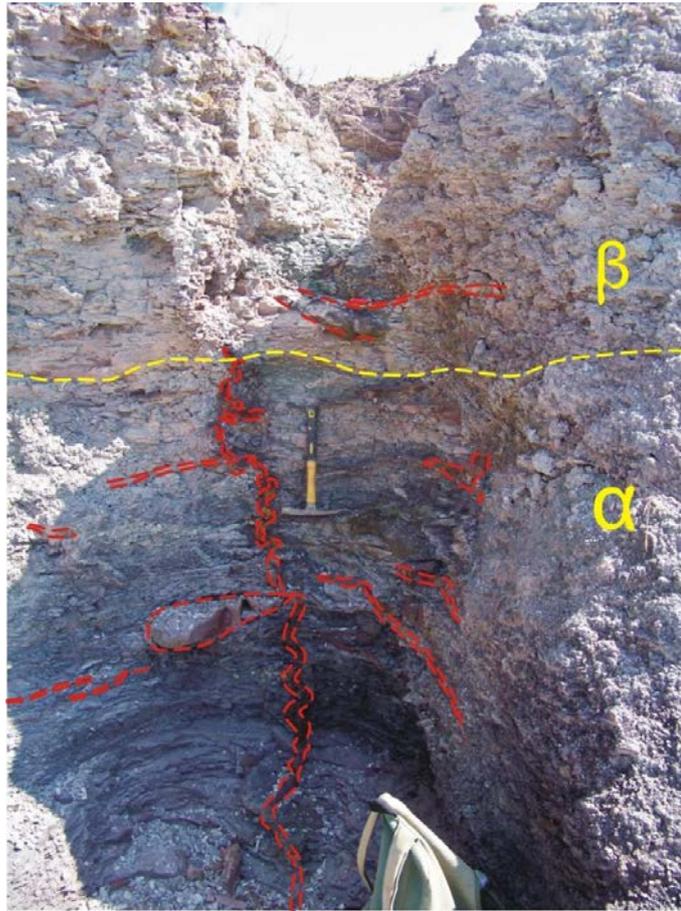


**Figura 7.23 - Perturbação no piso da cava, com material tectonizado no interior das fraturas, mostrando movimentação aparentemente sub-horizontal e pseudo-verticalização dos folhelhos.**

#### 7.1.2.4 Mina M4, a aproximados 15 km a sudeste do município de Rio Verde de Mato Grosso

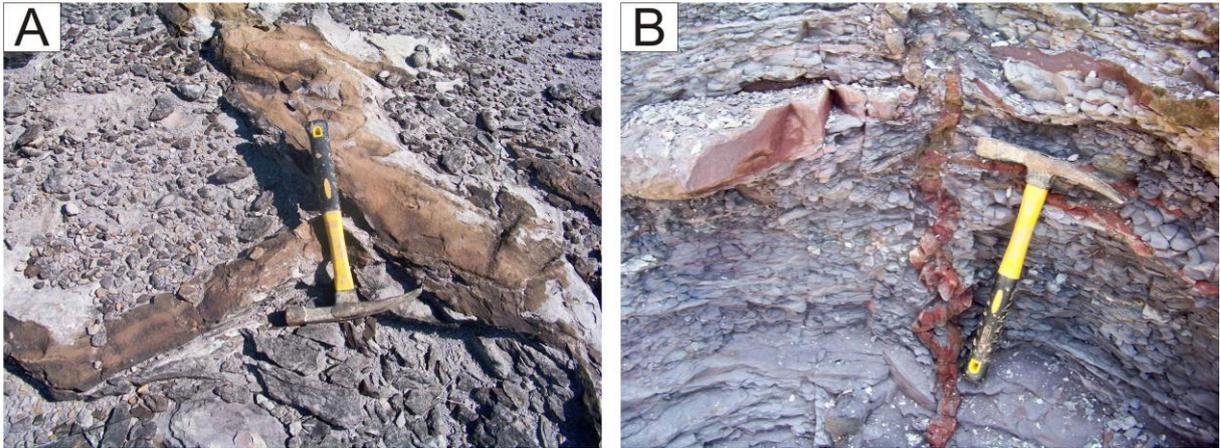
Esta lavra foi iniciada para testes de fabricação de cerâmica esmaltada por uma empresa de médio porte do Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso, MS, e no momento encontra-se desativada. A escavação tem cerca de 100 m de diâmetro, forma aproximadamente circular, levemente alongada na direção NE-SW, com profundidade média de 2 metros.

A lavra expõe predominantemente siltitos cinza arroxeados, lilases e levemente esbranquiçados, com lentes, bancos e diques concordantes e discordantes de arenitos creme amarelados e marrom rosados de granulometria fina a média, compactos e extremamente coesos, distribuídos de forma heterogênea pela cava (Figura 7.24).

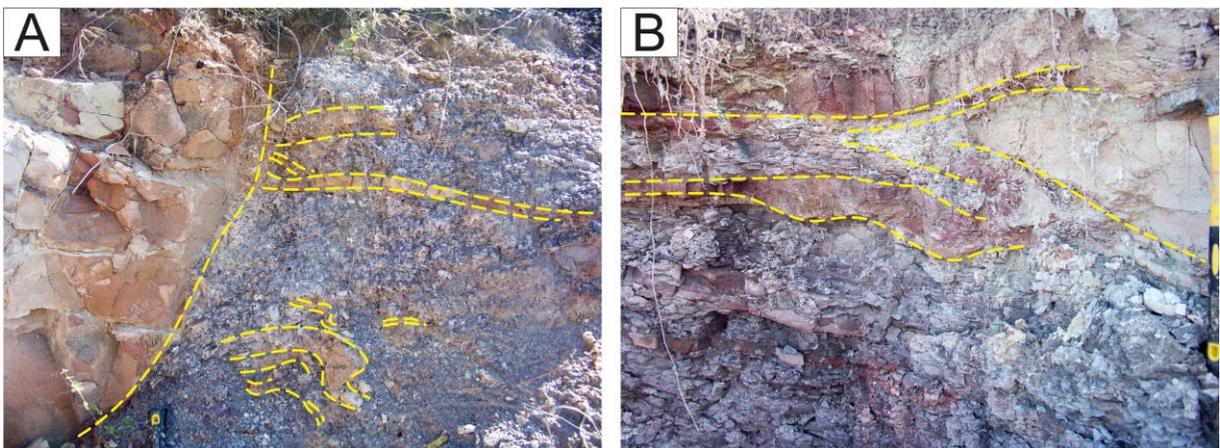


**Figura 7.24 – Estrutura geral da mina M4, onde são observados siltitos cinza arroxeados a lilases, com abundantes lentes e camadas concordantes e discordantes da laminação, compostas por arenitos muito finos creme amarelados a marrom rosados (em vermelho). A separação em  $\alpha$  e  $\beta$  determina a posição aproximada em que os siltitos começam a apresentar coloração esbranquiçada a esverdeada em consequência do intemperismo, sendo capeado por solo areno-argiloso avermelhado com concreções e nódulos de goethita e/ou limonita.**

Podem ser descritos, em certas ocasiões, como “diques clásticos” cimentados ora por carbonatos, ora por óxidos e hidróxidos (Figura 7.25), deformados e com encurtamento vertical, com espessuras variando entre 2 e 30 cm, sendo estas variáveis num mesmo corpo lenticular. Na parede oeste da cava, é observado o contato abrupto entre um pacote de arenito de cor creme, com estratificações planares (espessura de aproximadamente 1 m), e os pacotes de siltitos cinza nas laterais, com a conformação estrutural de um dique (Figura 7.26). Na parede leste da cava, são encontrados corpos arenosos com dobras convolutas e espessamento nas “zonas de charneira”, totalmente isolados em meio aos siltitos.



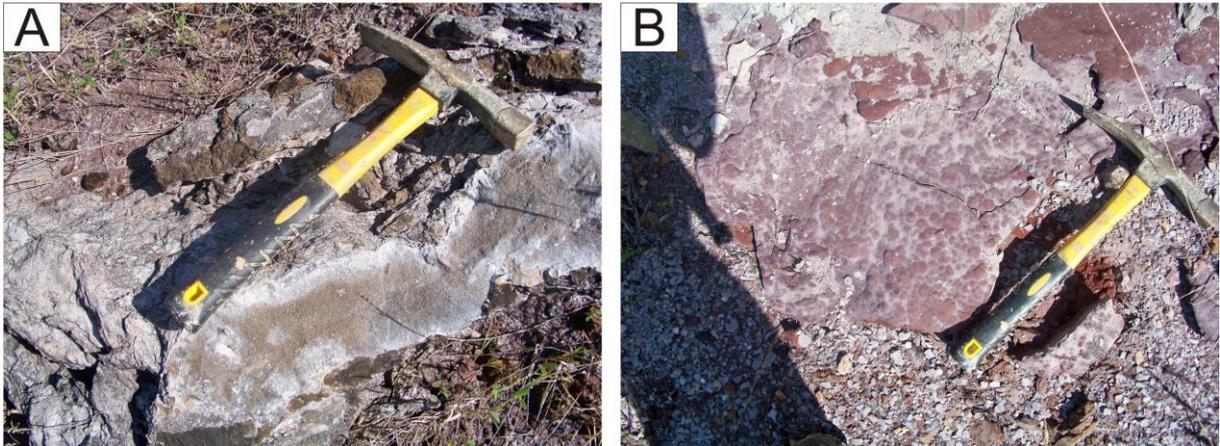
**Figura 7.25** – Estruturas clásticas arenosas frequentemente observadas na mina M4, em Rio Verde de Mato Grosso. Em A) “diques” arenosos discordantes da laminação dos folhelhos, cimentados por carbonatos, em alguns casos formando cotovelos com aspecto de dobras tipo “*kink*”; em B) estruturas clásticas granulares associadas à precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro, discordantes com encurtamento vertical e concordantes com aspecto nodular descontínuo.



**Figura 7.26** – “Diques” de arenito em meio a siltitos lilases da mina M4. A) arenito (creme rosado, à esquerda), em contato abrupto com siltitos lilases nas laterais, com a conformação estrutural de um dique; são notadas intercalações contínuas e descontínuas de níveis arenosos deformados nas imediações desta estrutura, imersos nos folhelhos. B) nível arenoso creme esbranquiçado lenticularizado no interior dos folhelhos cinza arroxeados; alguns níveis arenosos associados possuem cimentação por óxidos e/ou hidróxidos de ferro.

No piso desta cava, são observados diques truncados, com estrutura semelhante a dobras do tipo “*kink*”, entrecortados com direções aproximadas N70 e N160, de espessura 15 cm, homogênea (ver Figura 7.25A), altamente endurecidos, e com aspecto zonado, composto por material arenoso cimentado por carbonatos, fosfatos (?) e óxidos-hidróxidos de ferro (?). Associados a estes diques, encontram-se “soleiras” concordantes de arenitos amarelo alaranjados, com forma lenticular, compondo parte do piso da cava, cobertos por crosta de calcita de espessura aproximada de 0,5 cm (Figura 7.27A). Também foi observado, em piso na porção nordeste da cava, entre uma lente de arenito cimentado e os pacotes de siltitos

levemente empastilhados adjacentes, uma camada de aproximadamente 2 cm de espessura de material oxidado, aparentemente composto por óxidos e hidróxidos de ferro, com feições circulares a ovaladas interpretadas como pseudomorfos de pirita ou marcassita (Figura 7.27B).

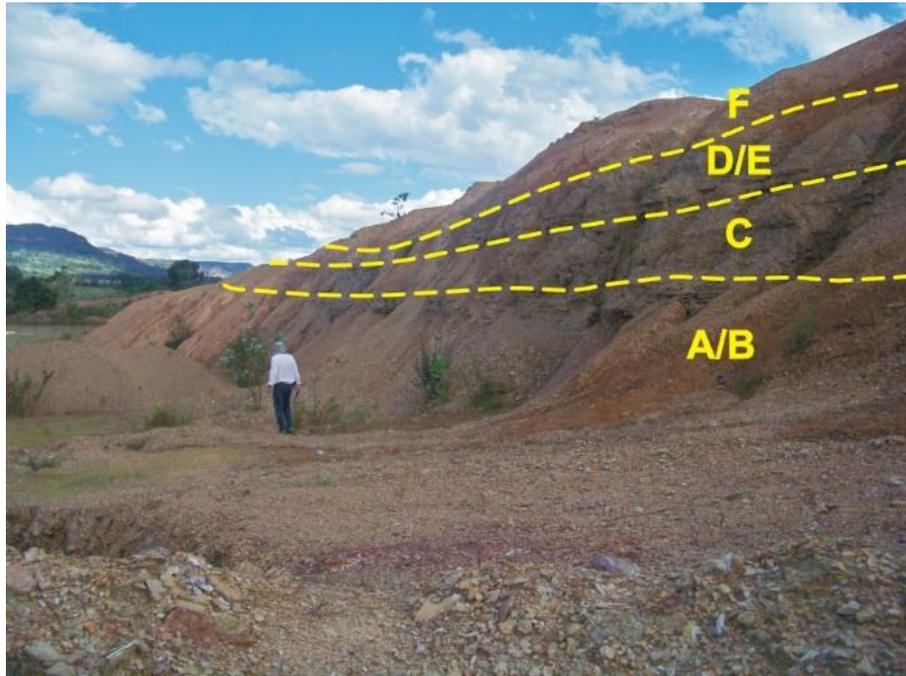


**Figura 7.27 – Feições concordantes com a laminação dos folhelhos na mina M4. A) parte do piso da mina M4, composto por nível de arenitos amarelos alaranjados cobertos com crostas de calcita; B) nível oxidado com feições circulares a ovaladas interpretadas como pseudomorfos de pirita ou marcassita.**

Pelos aspectos apresentados acima, nota-se que esta mina apresenta aspectos litológicos e estruturais bastante diferentes das outras minas analisadas, evidenciando ter sido aberta em outra unidade estratigráfica da Bacia do Paraná, ou seja, na Formação Aquidauana.

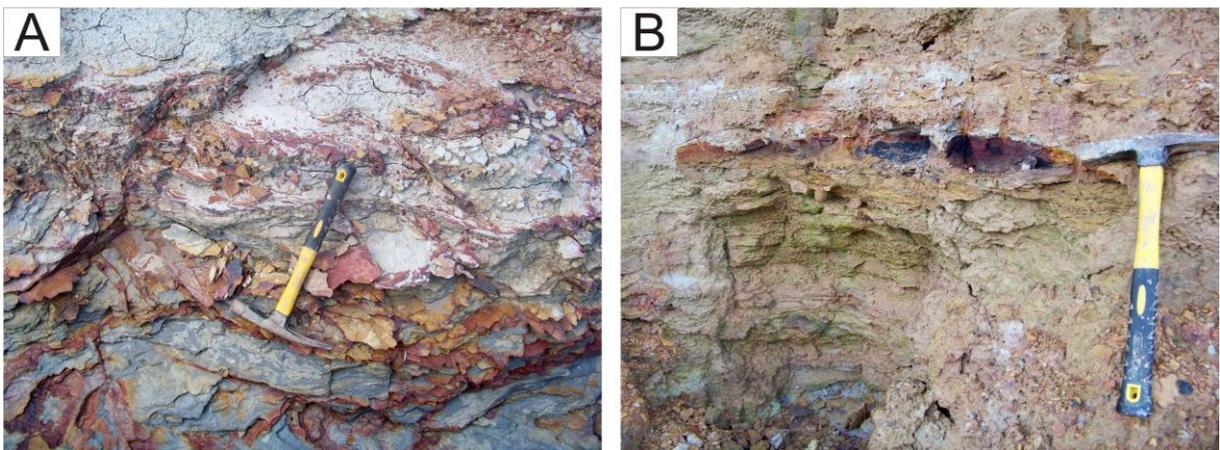
#### 7.1.2.5 Mina M5, cerca de 12 km a nordeste de Rio Verde de Mato Grosso

A mina M5 (Figura 7.28) é um “barreiro” com pouca atividade de extração, com material correlato à porção intermediária e superior da mina M2, cujo piso e parte inferior (cerca de 2,5 m da base) representam os níveis de folhelhos cinza com abundância de micas detriticas e presença de sigmoides granulares (transição entre níveis A e B). Estes folhelhos podem apresentar coloração variando entre o vermelho, o cinza, o amarelo e o branco, de acordo com a posição da superfície observada em relação às superfícies de drenagem e escoamento superficial.



**Figura 7.28** - Subdivisão dos pacotes de rochas da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. A/B = folhelhos cinza a pretos; C = folhelhos amarelos acinzentados; D/E = intercalações entre camadas pouco espessas de arenitos e folhelhos amarelos; F = cobertura detritica areno-argilosa com seixos e nódulos de goethita, em parte sofrendo cimentação por nova fase de goethitização.

Em meio aos pacotes de argilitos e folhelhos amarelos (material levemente alterado), são encontrados lentes e nódulos de espessura média de 10 cm e comprimento médio observado de 30 cm, de óxidos e hidróxidos de ferro em associação com películas e manchas de material preto pulverulento, provavelmente manganífero (Figura 7.29).



**Figura 7.29** – Presença de óxidos e hidróxidos de ferro nos interstícios dos folhelhos cinza e amarelos da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. A) películas vermelhas e amarelo-ocres formadas nos planos de deslocamento dos folhelhos cinza pouco alterados; B) nódulos de óxidos/hidróxidos de ferro associados a películas pretas de material pulverulento.

A 3 m acima do piso da lavra abandonada, os folhelhos cinza, ora amarelados, ora esbranquiçados, são substituídos por um pacote de siltitos com laminação parcialmente obliterada, cuja cor predominante é o amarelo ocre, com porções acinzentadas (nível C). Dispostos sobre este material observam-se camadas de arenitos creme a amarelos (espessura máxima de 50 cm), em geral muito finos e homogêneos (nível D/E), dentre os quais não foram observados os níveis de arenitos cimentados por hematita ou os níveis esverdeados glauconíticos. Nesta mina, também não foram observados níveis fosfáticos *in situ*, mas diversos fragmentos nodulares fosfáticos “rolados” foram encontrados.

A parte superior da mina, logo acima dos arenitos (Figura 7.30), é composta por solos arenosos brancos e amarelos, cobertos por solos argilo-arenosos marrom rosados contendo abundância de fragmentos e/ou nódulos de goethita com tamanhos variados, com diferentes graus de arredondamento, e grãos de areia fina a média, parcialmente cimentados por óxidos/hidróxidos de ferro, não totalmente consolidados.



**Figura 7.30 – Cobertura de solos encontrada na mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso, com seixos e/ou nódulos de goethita com diferentes tamanhos e arredondamentos, cimentados parcialmente por óxidos/hidróxidos de ferro, não totalmente consolidados.**

#### 7.1.2.6 Mina M6, localizada 29 km a leste do município de Coxim

Esta extração de argila é composta por três cavas, sendo que apenas a maior, e mais próxima da estrada de acesso, está em exploração atualmente. A segunda cava encontra-se alagada, e a terceira cava está com o acesso bloqueado.

O chão da mina é composto por folhelhos cinza esverdeados, com cor de alteração amarelo ocre, com laminação perturbada, nódulos carbonáticos dispersos, e com presença frequente de sigmoides granulares com dimensões médias de 1 cm (Figura 7.31A). Nas paredes da cava em atividade (Figura 7.32), da base para o topo, são observados cerca de 4 m de folhelhos cinza com cor de alteração amarela, com laminação que varia de espessura entre 1 mm e até 10 cm, sendo que o interior dos estratos mais espessos tem estrutura maciça a incipientemente laminada, e apresenta delgados níveis de cor cinza escuro a preto (nível B).

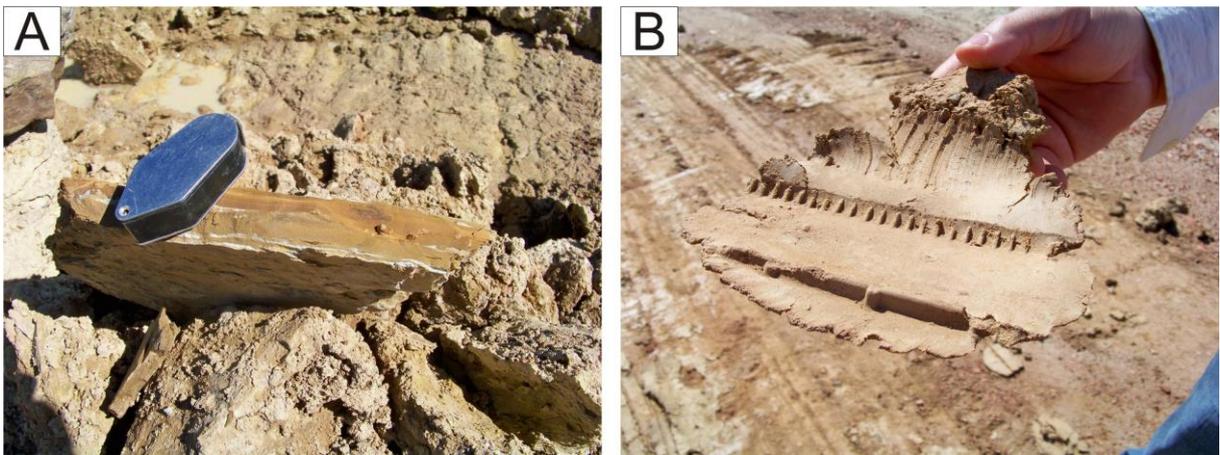


Figura 7.31 – Aspecto dos litotipos argilosos da mina M6, em Coxim. A) características dos folhelhos cinza esverdeados, com cor de alteração amarelo ocre. B) características de amoldamento e de secagem naturais dos níveis argilosos.

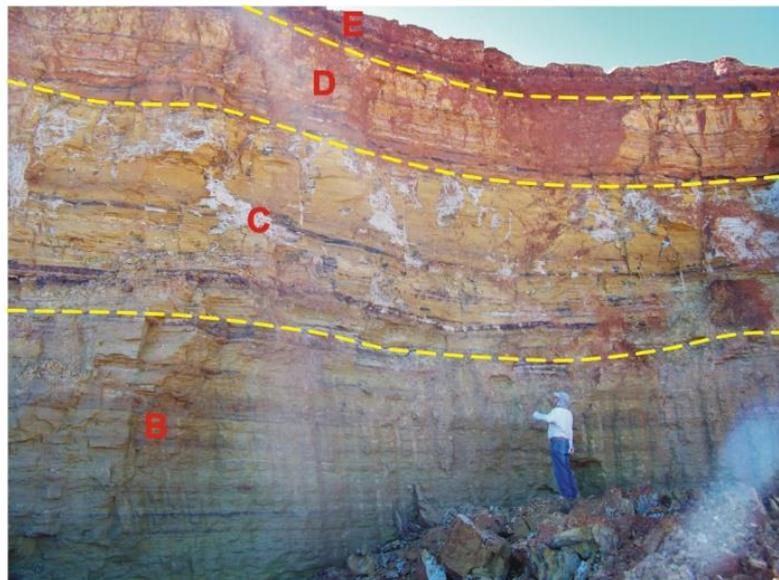


Figura 7.32 – Subdivisão dos pacotes na mina M6, em Coxim. B = folhelhos cinza laminados a acamadados com cor de alteração amarela; C = siltitos creme a amarelos com intercalações de siltitos arenosos cimentados por hematita; D = intercalações pouco espessas de arenitos muito finos a finos de cor creme, siltitos amarelos e arenitos finos cimentados por óxidos/hidróxidos de ferro e manganês; E = intercalações mais espessas de arenitos finos cimentados ou não por hematita, com delgados pacotes de argilitos vermelhos e níveis centimétricos porosos (tipo “pó de café”).

Este pacote passa gradualmente para cores creme e amarelo ocre, com intercalações pronunciadas de níveis de siltitos arenosos cimentados por hematita, com espessuras e continuidades variáveis. Os estratos passam também para o topo a apresentar menor quantidade de material granular, predominando filossilicatos, alguns com tamanho de até 2 mm, aproximadamente equidimensionais (nível C). Este nível também é caracterizado pela maior espessura dos estratos maciços, que chegam a representar pacotes argilosos de aproximadamente 1 m, e pela presença de vênulas brancas de alteração dispersas de forma irregular, entrecruzando-se, com aspecto de “teias”. Possui alguns níveis descontínuos intercalados com espessura máxima de 20 cm, porosos e compostos por uma mistura de filossilicatos e óxidos/hidróxidos de ferro, com pouca contribuição de material granular.

Logo acima (nível D), são observadas intercalações pouco espessas de arenitos muito finos a finos de cor creme, siltitos amarelos e arenitos finos cimentados por óxidos/hidróxidos de ferro e manganês. O último pacote da sequência (nível E) é composto por intercalações mais espessas de arenitos finos cimentados ou não por hematita, com delgados pacotes de argilitos vermelhos e níveis centimétricos porosos (tipo “pó de café”) cuja composição mineralógica observada atualmente é principalmente de hematita.

O material argiloso desta cava possui plasticidade elevada (ver Figura 7.31B), sendo que a secagem ao sol do material carregado das paredes principais apresenta coesão alta.

Nesta cava não foi reconhecido material fosfático e nem os níveis de arenito observados nas cavas M1, M2, M3 e M5 e o material aparentemente apresenta maior plasticidade e maior grau de alteração. Pode-se correlacionar o material observado nesta lavra com a sequência de topo (nível F) observada até então na mina M1, da Formação Ponta Grossa em Rio Verde de Mato Grosso, embora o comportamento no amoldamento e na secagem naturais sejam completamente distintos.

## 7.2 Petrografia

Uma amostra representativa dos folhelhos cinza escuros a pretos (nível A) da base da sequência estratigráfica presente nas minas M1, M2, M3 e M5, coletado na mina M1, mostrou ser constituída principalmente por filossilicatos diversos ( $\pm 65\%$ ), carbonato de ferro (siderita) ( $\pm 20\%$ ), quartzo e feldspato (microclínio) detríticos ( $\pm 10\%$ ), com presença de óxidos/hidróxidos de ferro ( $\pm 5\%$ ) e traços de outros minerais detríticos (turmalina, zircão,

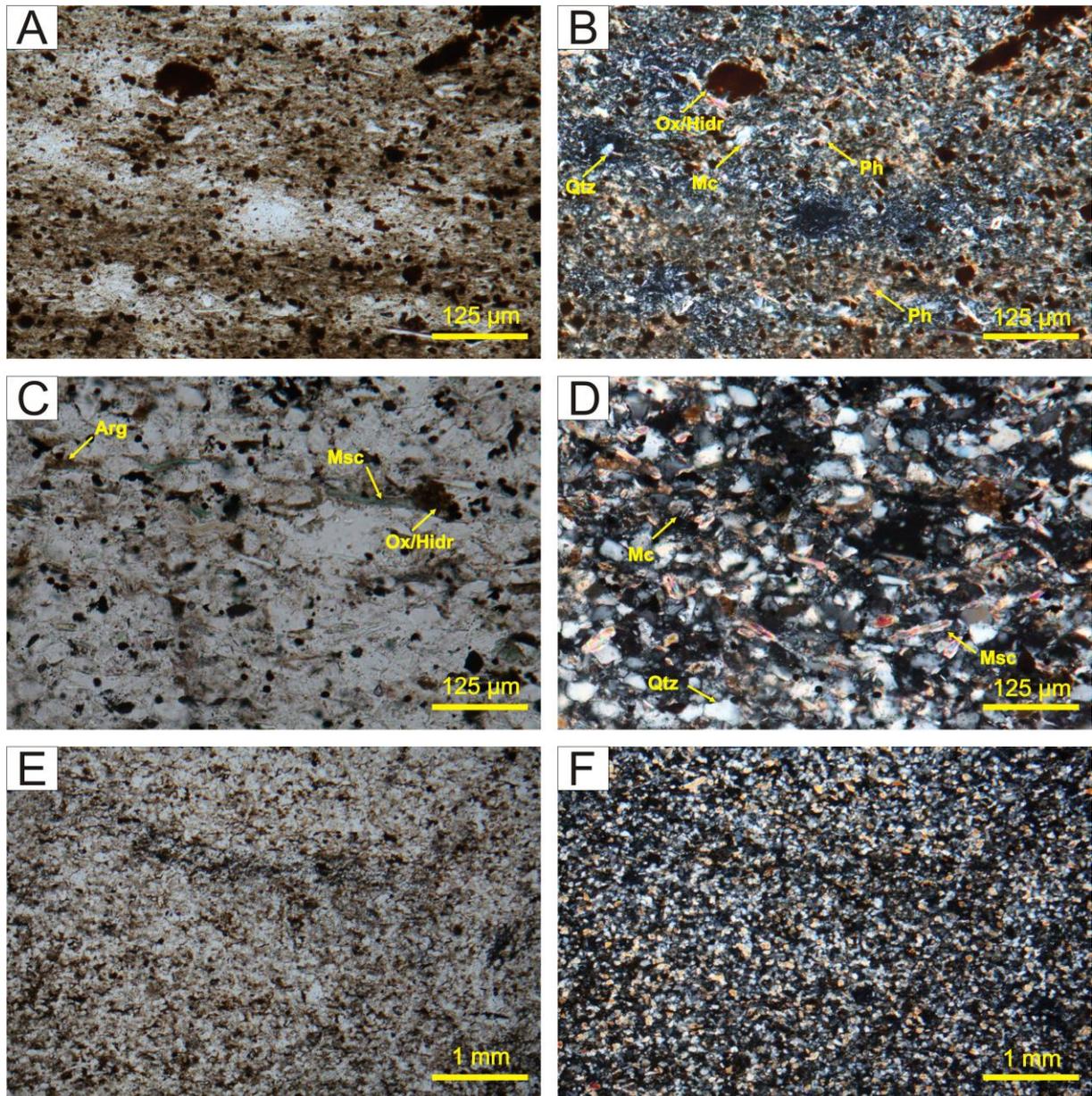
opacos). Possuem estrutura fortemente anisotrópica, com bandamento composicional difuso e textura lutítica (granulometria média de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ ), composta por palhetas de mica detrítica (muscovita e biotita) e filossilicatos diagenéticos, intercrescidos com concentrações micríticas. Clastos granulares são relativamente raros e com dimensões menores que 50  $\mu\text{m}$ . Petrograficamente, este litotipo é classificado como folhelho carbonático (Fotomicrografia 7.1A e B).

Os folhelhos cinza (nível B), representados por uma amostra representativa coletada na mina M1, são compostos predominantemente por quartzo e feldspato (microclínio) detríticos ( $\pm 50\%$ ), filossilicatos detríticos ( $\pm 20\%$ ), argilominerais neoformados ( $\pm 15\%$ ), carbonatos de ferro e de cálcio ( $\pm 10\%$ ), opacos ( $\pm 5\%$ ) e traços de outros minerais detríticos (turmalina, zircão e rutilo). A estrutura da rocha é laminada, com anisotropia marcada pela alternância de lâminas mais ricas em minerais granulares (quartzo e feldspato) e lâminas mais ricas em filossilicatos orientados. A textura varia de lutítica a psamítica de granulação argila a silte. Em petrografia, a rocha pode ser classificada como intercalações de folhelhos carbonáticos e siltitos arcossianos (Fotomicrografia 7.1C e D).

Os arenitos (nível E) representam uma série de tipos petrográficos, dentre os quais predominam os arenitos muito finos arcossianos, e destacam-se aqueles que possuem cimentação por hematita e os arenitos glauconíticos.

Segundo a petrografia, os arenitos muito finos predominantes são constituídos por: grãos de quartzo (54%) subarredondados e subesféricos menores que 150  $\mu\text{m}$ ; grãos de feldspato detrítico ( $\pm 35\%$ ) predominando microclínio e muito raramente plagioclásios, com as mesmas dimensões do quartzo; micas detríticas ( $\pm 5\%$ ), predominando muscovita e subordinadamente biotita, com tamanho até 500  $\mu\text{m}$  e média em torno de 200  $\mu\text{m}$ ; minerais opacos e hidróxidos de ferro ( $\pm 5\%$ ) que podem ser grãos detríticos ou opacos pulverulentos intersticiais, além dos hidróxidos ocorrerem como películas cimentando parcialmente certas porções da rocha, principalmente nos planos das laminações; illita/clorita neoformadas ( $\pm 1\%$ ), sobrecrecidas ao feldspato; traços de outros minerais detríticos (zircão, turmalina e rutilo). Este litotipo apresenta estrutura difusamente bandada a laminada, com anisotropia marcada pela orientação dos filossilicatos detríticos, e distribuição ligeiramente heterogênea dos hidróxidos e óxidos de ferro. A textura é psamítica com ótima seleção granulométrica, com os maiores clastos granulares raramente atingindo mais de 150  $\mu\text{m}$  de diâmetro e média ao redor de 60  $\mu\text{m}$ , embora os grãos possuam baixo grau de arredondamento e baixa esfericidade. A

seleção mineralógica também foi pobre, e a compactação eliminou grande parte da porosidade através de dissolução por pressão. Podem ser classificados como arenitos arcósianos muito finos (Fotomicrografia 7.1E e F).



Fotomicrografia 7.1 – A, B - Característica textural do folhelho do nível A, onde se observa a textura lutítica, e a presença de filossilicatos diversos intersticiais, grãos de quartzo e microclínio, pontuados por oxi-hidróxidos de ferro; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. C, D - Característica textural das lâminas de siltitos intercaladas às lâminas de folhelhos, que compõem o nível B, contendo maior proporção de minerais granulares (quartzo e microclínio), oxi-hidróxido de ferro, muscovita e argilominerais; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. E, F – Característica textural dos arenitos amarelos que predominam no nível E; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. Arg: argilominerais, Mc: microclínio, Msc: muscovita, Ox/Hidr: oxi-hidróxidos de ferro, Ph: filossilicatos diversos (micas, argilominerais), Qtz: quartzo.

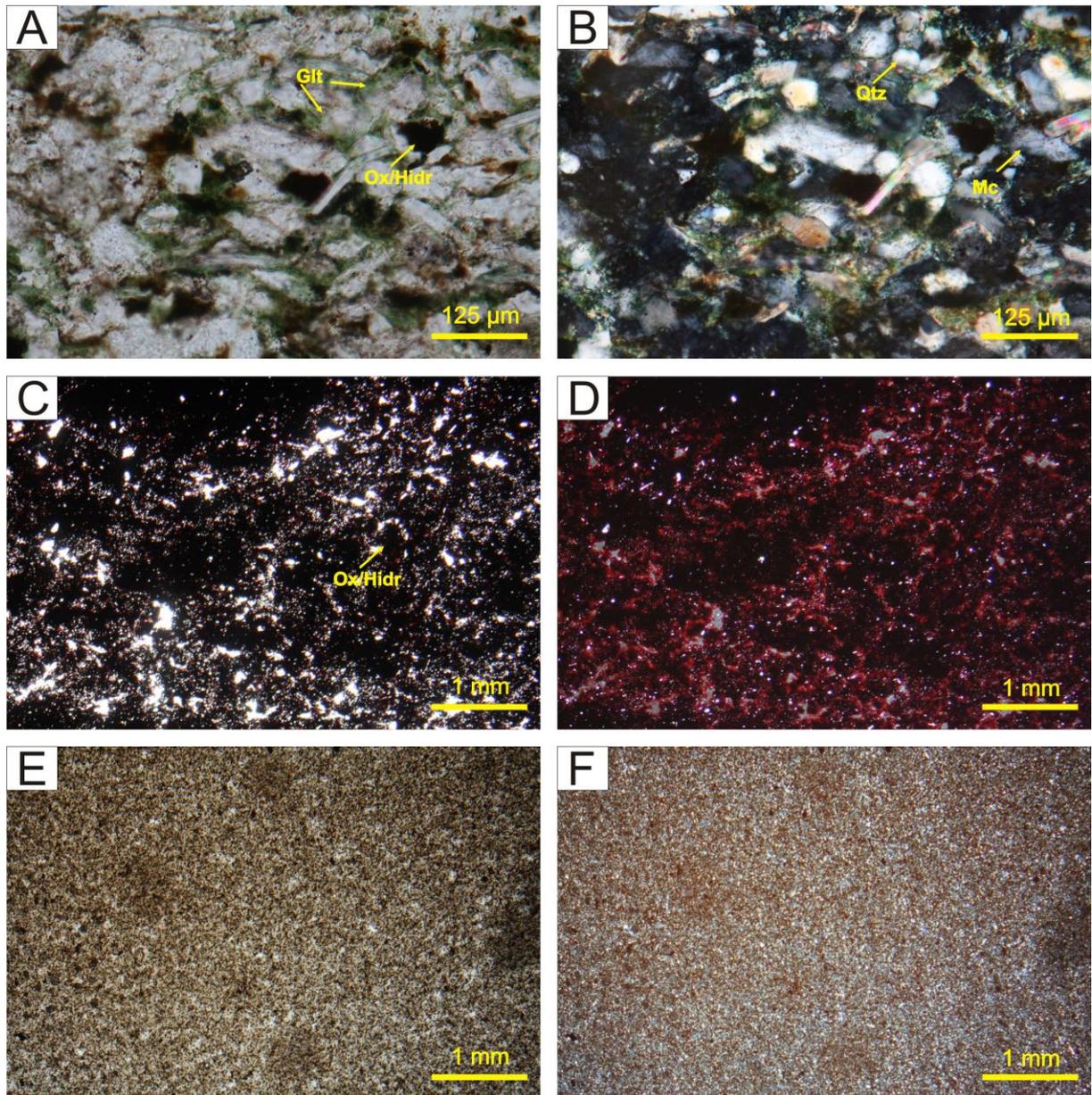
Os níveis cimentados por hematita são compostos por: grãos de quartzo (53%) menores que 150  $\mu\text{m}$ ; grãos de feldspato detrítico ( $\pm 30\%$ ) com as mesmas dimensões do quartzo; minerais opacos ( $\pm 10\%$ ), que se tratam predominantemente de hematita, e ocorrem tanto como pequenos grãos detríticos irregulares, quanto como massas pulverulentas envolvendo os grãos detríticos; micas detríticas ( $\pm 4\%$ ), predominando muscovita e aparecendo biotita e clorita subordinadas, com dimensões de até 350  $\mu\text{m}$ ; illita/sericita ( $\pm 3\%$ ), com características tanto pré-deposicionais quanto diagenéticas; traços de outros minerais detríticos (zircão, turmalina e rutilo). A estrutura destas rochas é difusa, com alguns resquícios de laminação marcados pela presença de hematita intersticial, e a textura é psamítica, com a média granulométrica em torno de 80  $\mu\text{m}$ .

Alguns arenitos arcossianos da mina M1 são verdes, e, portanto, classificados como “glaucônita arenitos arcossianos”. Petrograficamente, são muito semelhantes aos arenitos muito finos arcossianos mais frequentes, sendo que os únicos atributos diferenciados são: a estrutura praticamente isotrópica ou difusamente bandada em seção delgada; o aparecimento de  $\pm 5\%$  de filossilicatos verdes em seção delgada, fracamente pleocróicos, sugerindo tratem-se de glaucônita (e/ou muscovita ferruginosa), embora o termo “glaucônita” seja utilizado para uma série ou um grupo de filossilicatos progressivamente enriquecidos em ferro, cujo termo puro é a glaucônita (VELDE, 2013). A glaucônita aparenta corroer os feldspatos detríticos e se associa nitidamente aos óxidos e hidróxidos de ferro autógenos. Sua presença tem conotação genética, uma vez que é associada a ambientes marinhos. Entretanto, não foi possível diagnosticar precisamente o tipo de filossilicato através apenas da microscopia óptica e da difratometria de raios X (Fotomicrografia 7.2A e B).

Os argilitos vermelhos que são observados nos interstícios dos bancos arenosos são compostos por uma mistura proporcional de hematita ( $\pm 50\%$ ) e filossilicatos (micas detríticas e argilominerais) ( $\pm 45\%$ ), com quartzo detrítico ( $\pm 5\%$ ). Esta rocha pode ser considerada um argilito ferruginoso (Fotomicrografia 7.2C e D).

Uma heterogeneidade comum em várias minas do município de Rio Verde de Mato Grosso é a presença de níveis fosfáticos descontínuos. Petrograficamente, estes níveis correspondem a uma massa anisotrópica microcristalina constituída por fosfatos de cálcio do grupo da apatita ( $\pm 60\%$ ), com delgadas palhetas de filossilicatos orientados ( $\pm 15\%$ ) e diversos aglomerados aproximadamente esféricos de goethita e hematita ( $\pm 15\%$ ). Em menores

proporções ocorrem grãos de quartzo ( $\pm 5\%$ ) e cimentação carbonática ( $\pm 5\%$ ) (Fotomicrografia 7.2E e F).



**Fotomicrografia 7.2** – A, B – Detalhe dos arenitos verdes classificados como “glauconita” arenitos arcossianos do nível E; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. C, D – Característica composicional e textural dos argilitos vermelhos que ocorrem intercalados aos arenitos no nível E; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. E, F – Textura lutítica dos níveis fosfáticos; fotomicrografia à luz transmitida e polarizada, respectivamente. Glt: glauconita(?), Mc: microclínio, Ox/Hidr: oxi-hidróxidos de ferro, Qtz: quartzo.

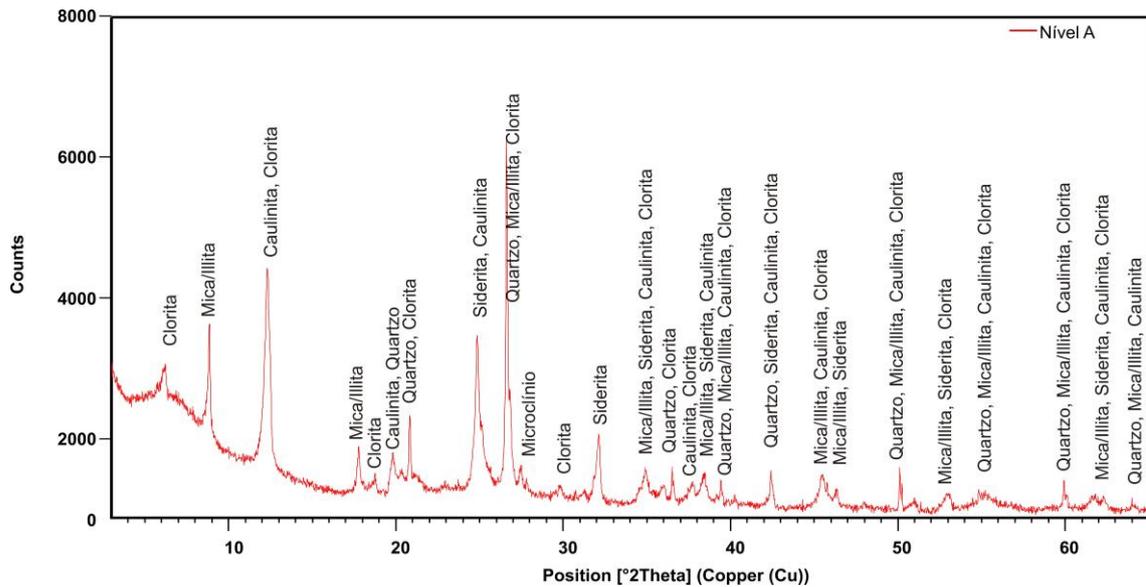
### 7.3 Difractometria de Raios X

#### 7.3.1 *Composição mineralógica dos folhelhos, siltitos e argilitos*

Segundo a difratometria de raios X, as rochas que compõem os níveis A, B e C, que ocorrem abaixo dos arenitos, são compostas predominantemente por mica/illita (na petrografia óptica foram reconhecidos muscovita e biotita detrítica, além de argilominerais) e caulinita, com proporções variáveis de quartzo, feldspatos potássicos e secundariamente presença de clorita, argilominerais expansivos, e siderita.

A difratometria de raios X possui como princípio a determinação dos valores de espaçamento entre planos reticulares dentro das estruturas cristalinas dos minerais, o que pode gerar resultados dúbios quando são analisadas amostras poliminerálicas. Nas amostras representadas pelos difratogramas apresentados a seguir, ocorrem minerais que possuem distâncias interplanares semelhantes, a exemplo da muscovita que possui espaçamento basal coincidente com o espaçamento basal da illita, ambos com aproximadamente 10 Å, e, portanto, há sobreposição destes picos nos difratogramas. Entretanto, considera-se classicamente que o pico de maior intensidade da illita é representado pelo espaçamento de 5 Å, com replicação em 10 Å, enquanto o pico principal da muscovita é representado pelo espaçamento de 10 Å, e o pico de 5 Å é proporcional à constância do espaçamento basal. Esta relação é ideal e assume que as ligações do K<sup>+</sup> com as folhas T-O-T é incompleta nas illitas, gerando espaçamentos basais secundários, enquanto na muscovita estas ligações são completas e constantes. Para efeitos deste trabalho, considera-se que illita, muscovita e biotita ocorrem nas rochas em proporções variadas e não é possível diferenciá-las com precisão através da difratometria de raios X, sendo, portanto, nomeadas nos difratogramas apenas como mica/illita. Outras situações semelhantes presentes nestas amostras são a sobreposição de picos da clorita e montmorillonita e /ou vermiculita, assim como caulinita e dickita. Neste trabalho não foram realizadas análises mais específicas, além do glicolamento e queima a 500°C, que permitem diferenciar clorita de minerais do grupo da montmorillonita/esmectita e da vermiculita, todavia não possibilita precisar que variedade é desses minerais, bem como possíveis interestratificados regulares e irregulares entres os minerais desses grupos. Também não foram realizados estudos e análises específicas para diferenciar o tipo e politipo de argilomineral do grupo da caulinita presente e se ocorre mais de um.

O nível A é constituído por proporções semelhantes de mica/illita e caulinita, quartzo, pequena proporção de feldspato potássico (microclínio) e subordinadamente siderita (carbonato de ferro). Na posição referente ao espaçamento de 14 a 15 Å, ocorre pico ligeiramente aberto, de pequena intensidade, associado a convexidade representativa de dispersão de picos com espaçamentos maiores que 12 Å, que pode corresponder a clorita ou argilominerais expansivos interestratificados (Figura 7.33).



**Figura 7.33 - Difratograma mostrando a composição mineralógica global dos folhelhos cinza escuros e pretos (nível A).**

O nível B (Figura 7.34) apresenta mineralogia semelhante àquela observada no nível A, sendo que a principal diferença é a ausência de siderita, que pode ser atribuída tanto à variação composicional na deposição e/ou diagênese, quanto ao grau levemente maior de alteração, que possibilitaria a remoção (parcial ou total) dos carbonatos. Este nível também apresenta proporções semelhantes de mica/illita e caulinita, e pico correspondente ao espaçamento de 14 a 15 Å. A análise da fração fina (< 4 µm) de amostra representativa dos níveis A e B, submetida a atmosfera de etilenoglicol, revelou que este pico de maior espaçamento (14 a 15 Å) não possui expansão, descartando tratar-se de argilominerais expansivos, sendo, portanto, interpretado como referente ao plano (001) de mineral do grupo da clorita (Figura 7.35).

O difratograma representativo da amostra total do nível C (Figura 7.36) apresenta como constituintes mineralógicos mica/illita, caulinita, quartzo e microclínio, sendo que a proporção de caulinita aumenta em relação aos níveis A e B, não sendo observado pico bem

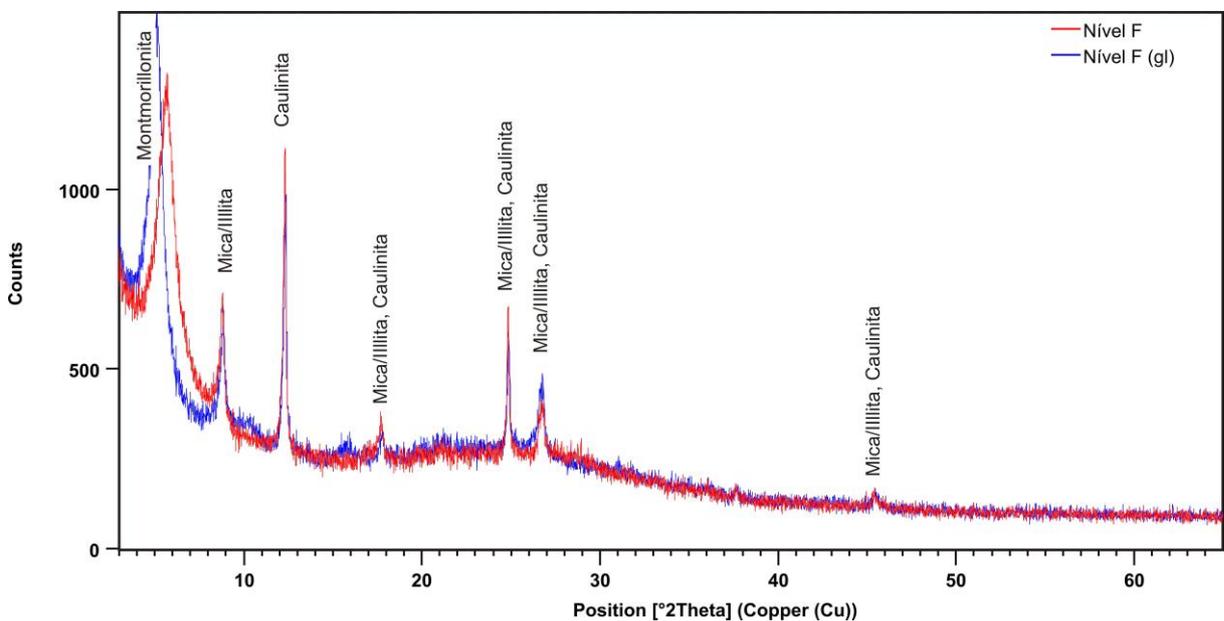








durante queima no processo cerâmico) e álcalis liberados pela montmorillonita/interestratificados e illita, em queima com temperaturas abaixo do ponto de fusão. Por outro lado, a significativa presença de caulinita sugere certa refratariedade, aspecto que permite aventar que, provavelmente, este material tenha necessidade de temperaturas mais elevadas ou de queimas mais lentas para a sinterização por fusão. Em função da quantidade de caulinita e ausência aparente de plagioclásio, especialmente albita (mineral que favorece a formação de fase vítrea), prevê-se que a fusão se inicie em temperaturas superiores a 1.100°C. Entretanto, a sinterização por troca iônica deve ocorrer desde que a umidade de conformação e o tempo de queima favoreçam esta situação.



**Figura 7.41 – Difratograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos e argilitos amarelados (nível F).**

As minas M4 e M6 apresentam composição mineralógica distintas das minas M1, M2, M3 e M5. Os siltitos da mina M6 (localizada em Coxim) apresentam composição predominantemente micácea/illítica, com presença significativa de biotita em geral parcialmente alterada para argilomineral expansivo (Figura 7.42), cuja expansão registrada em atmosfera de etilenoglicol é menor que 1 Å e apresenta colapso total da estrutura após queima a 400°C (Figura 7.43), resultando em soma no pico das micas (10 Å). Este resultado permite a interpretação da presença de vermiculita. O resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos da mina M6 (Figura 7.44) apresenta

composição mineralógica predominantemente muscovítica/biotítica/illítica e caulínica, com presença de quartzo.

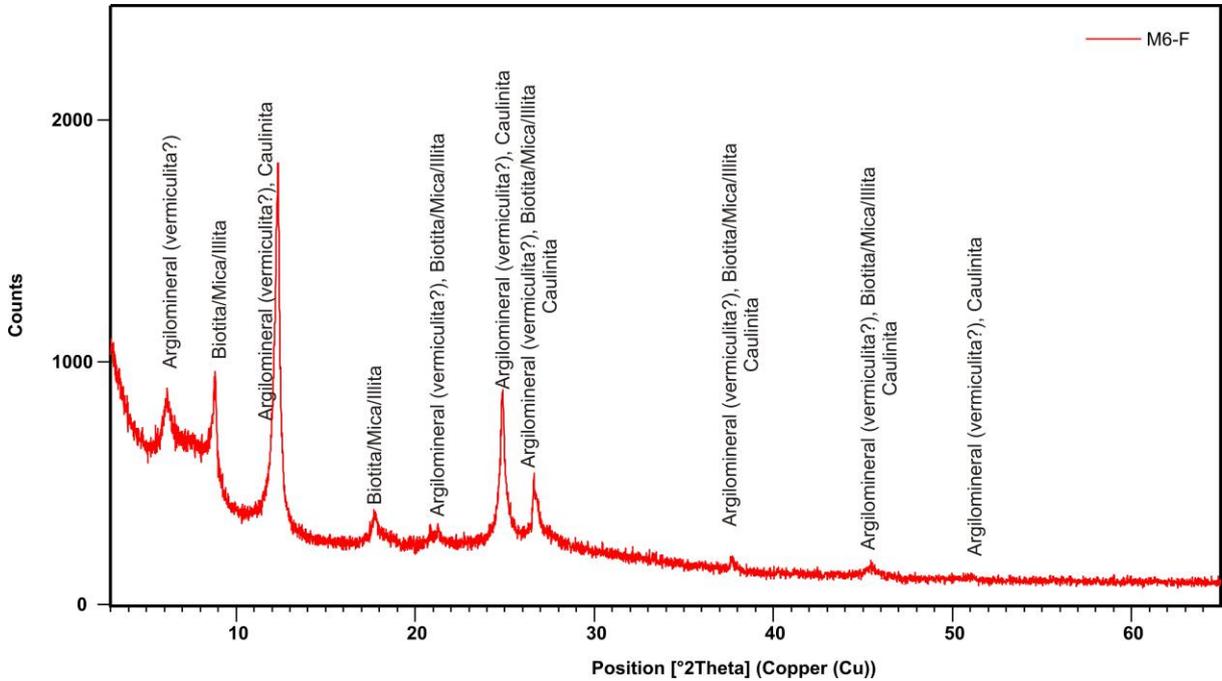


Figura 7.42 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos e argilitos amarelados de Coxim.

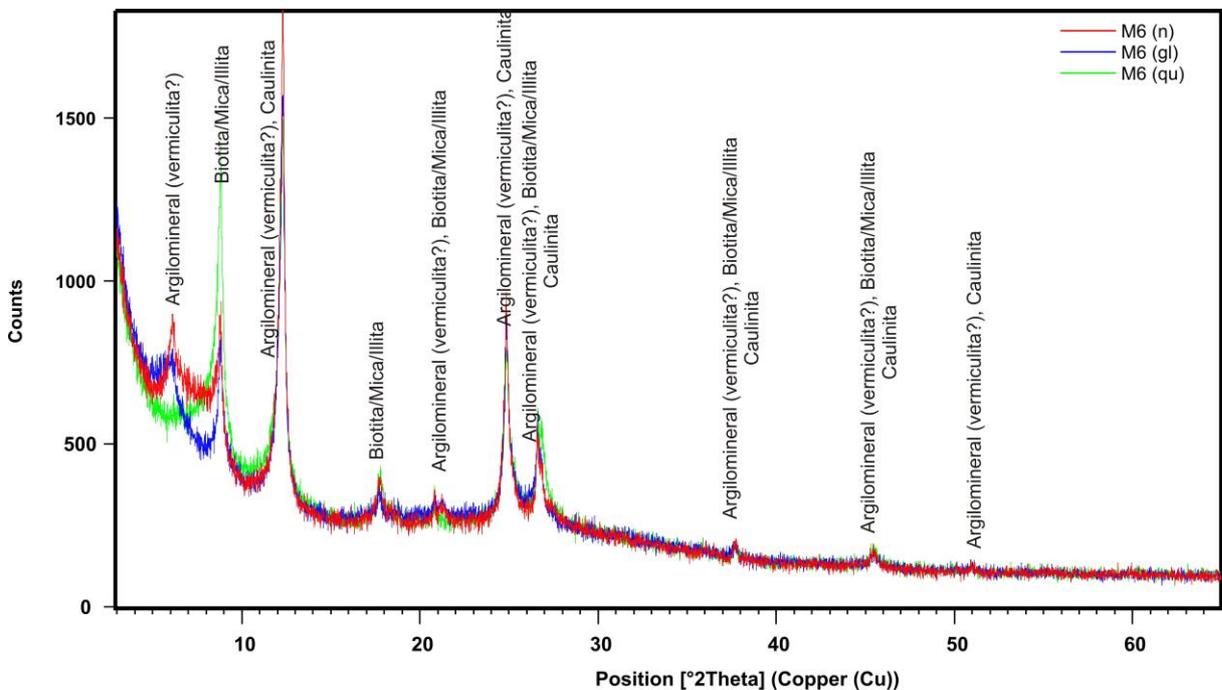
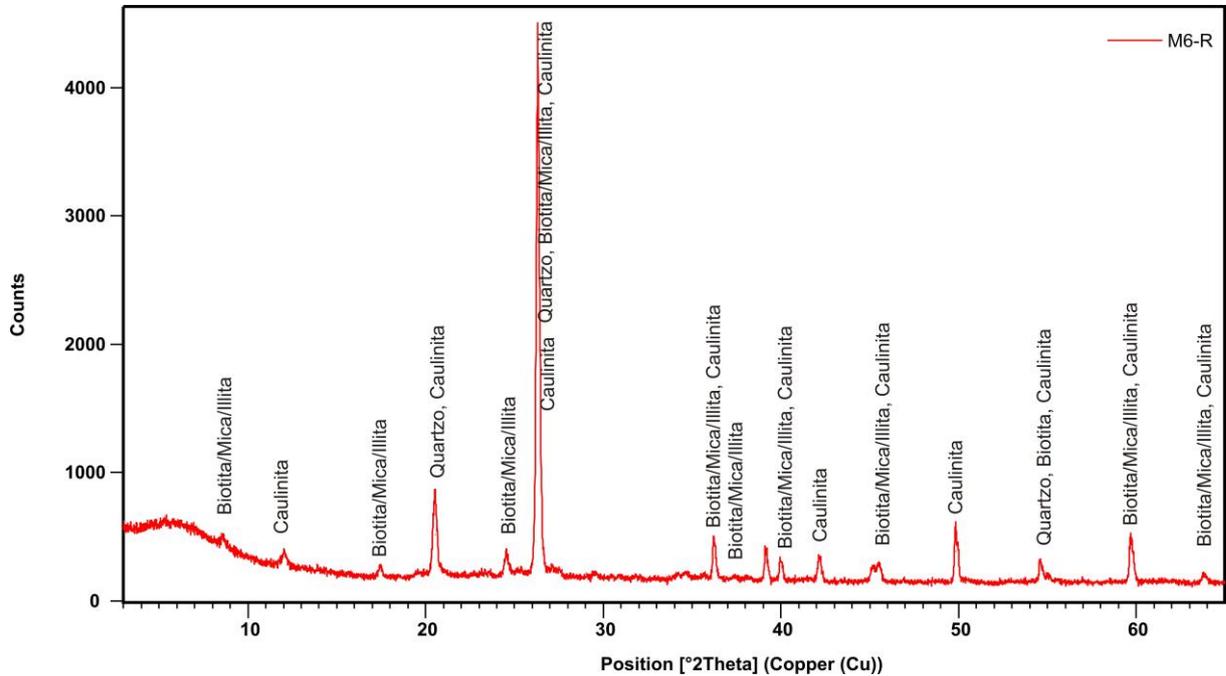


Figura 7.43 – Difratoograma mostrando a comparação entre os resultados da difratometria de raios X em amostra da fração fina dos siltitos de Coxim, normal (n), glicolado (gl) e queimado (qu).



**Figura 7.44 – Difratograma mostrando a composição mineralógica do resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos e argilitos amarelados de Coxim.**

Os siltitos lilases da mina M4 são, de todas as amostras, aqueles que apresentam a maior diferença em relação às outras minas da região de Rio Verde de Mato Grosso – Coxim, embora os minerais constituintes sejam os mesmos. Apresenta predomínio de quartzo, com pequena proporção de microclínio, e quantidades equivalentes de mica/illita e caulinita, muito menores do que os observados nas outras minas (Figura 7.45).

Após tratamento da fração fina através de glicolagem e queima, percebe-se maior definição do pico de 10 Å, sugerindo a presença de illita com diferentes graus de cristalinidade (Figura 7.46). O resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos lilases da mina M4 (Figura 7.47) apresentam composição mineralógica muito distinta da observada em outras minas, predominando quartzo, com pequena proporção de microclínio, com a presença de rutilo e magnetita.

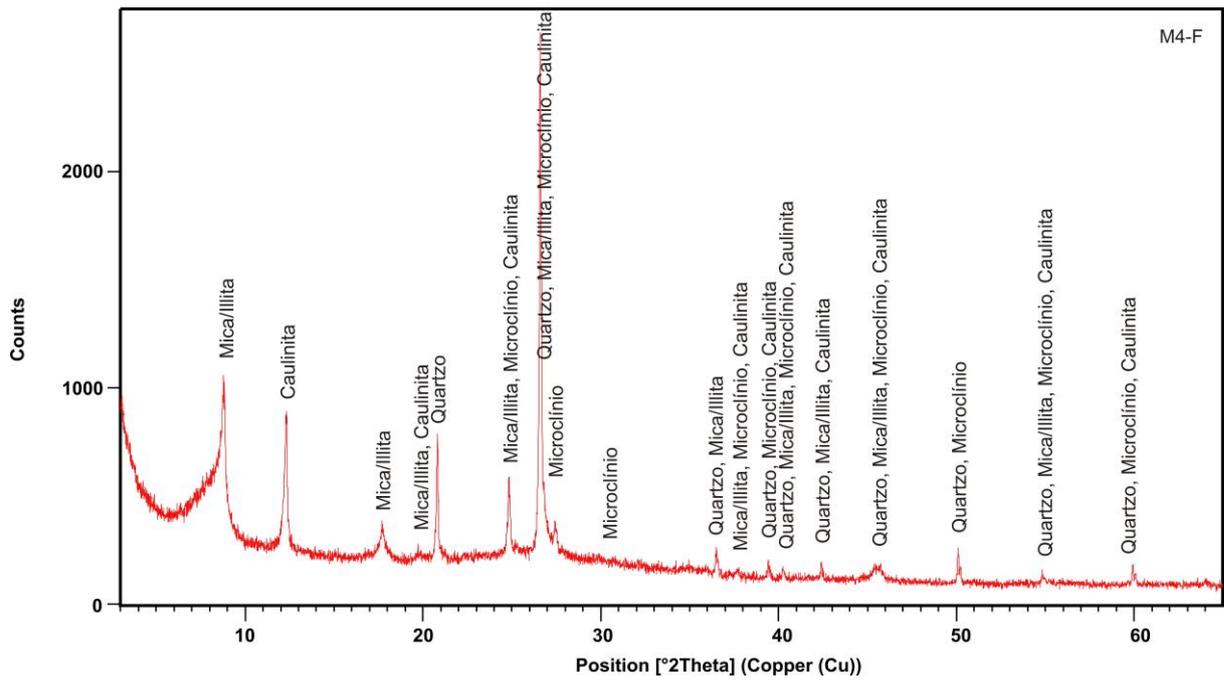


Figura 7.45 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica da fração fina dos siltitos lilases da mina M4.

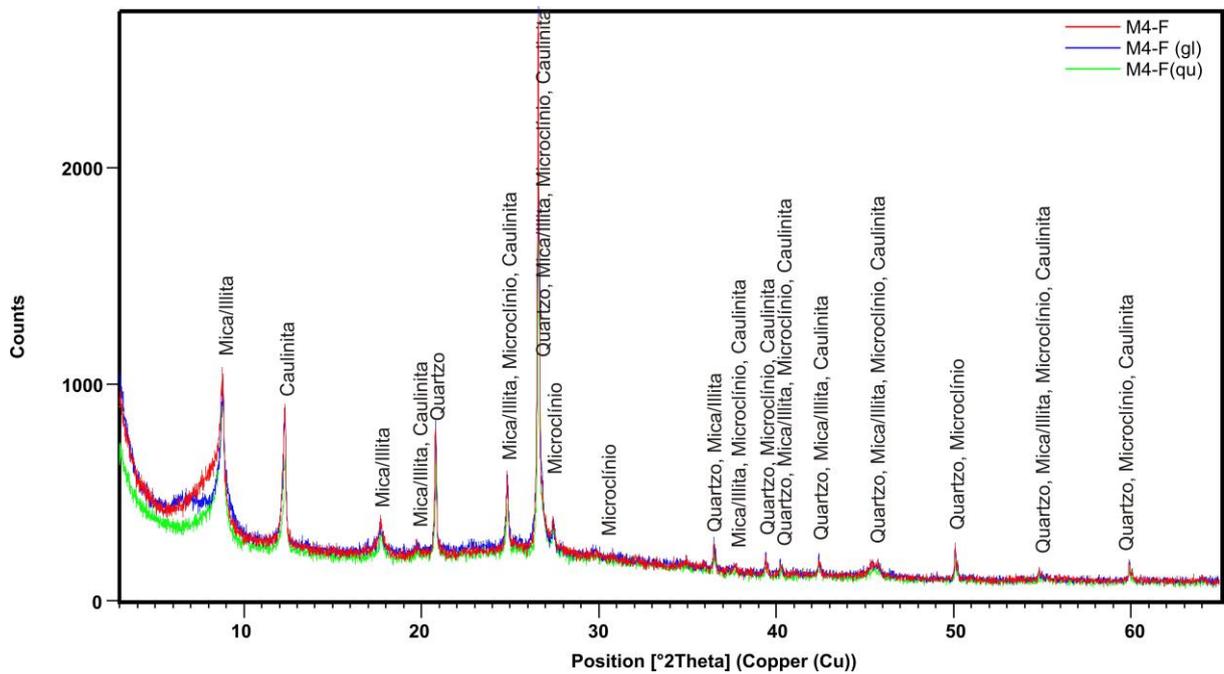
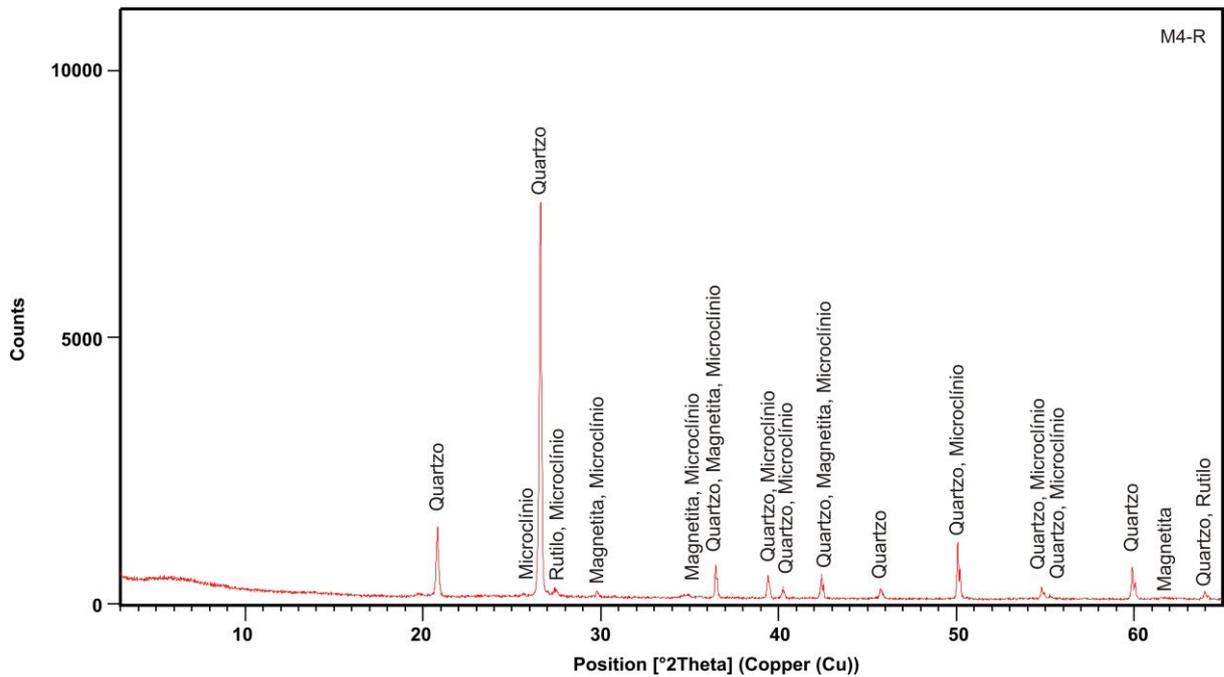


Figura 7.46 – Difratoograma comparando os resultados da análise mineralógica da fração fina dos siltitos lilases da mina M4, após submetido a atmosfera de etilenoglicol e após a queima a 400°C.



**Figura 7.47 – Difratoograma mostrando a composição mineralógica do resíduo retido em peneira (#325, maiores que 0,044 mm) após moagem dos siltitos lilases da mina M4.**

### 7.3.2 Possíveis contaminantes

Foram identificados cinco tipos de possíveis contaminantes para a matéria-prima do Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso-Coxim: níveis fosfáticos, níveis ferruginizados, estratos e vênulas carbonáticos, leitos e vênulas de sulfatos e a identificação de manchas consideradas como eflorescências de sulfatos ou carbonatos.

#### 7.3.2.1 Níveis fosfáticos e ferruginização

Os níveis fosfáticos das minas M1 (Figura 7.48), M2 (Figura 7.49), M3 e M5 (Figura 7.50) são compostos por minerais do grupo da apatita (apatitas microcristalinas), sendo que os difratogramas apresentam predominantemente interpretações de carbonato-fluorapatita. Segundo Sanches (2012), o carbonato-fluorapatita é o principal constituinte mineral dos fosforitos marinhos, enquanto Correia Junior e Abram (2014) citam o colofano (grupo de fosfatos de cálcio hidratados criptocristalinos e/ou amorfos) como principal componente de nódulos e níveis fosfáticos encontrados em sedimentos devonianos de outras bacias brasileiras.

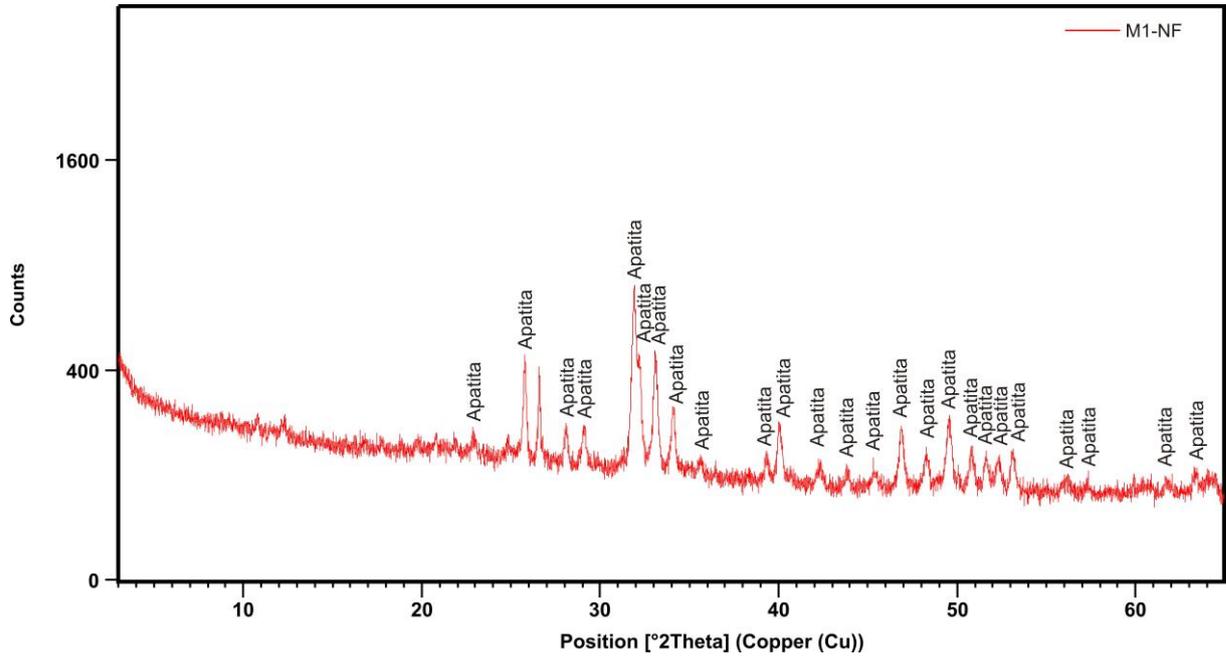


Figura 7.48 – Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M1, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M1-NF.

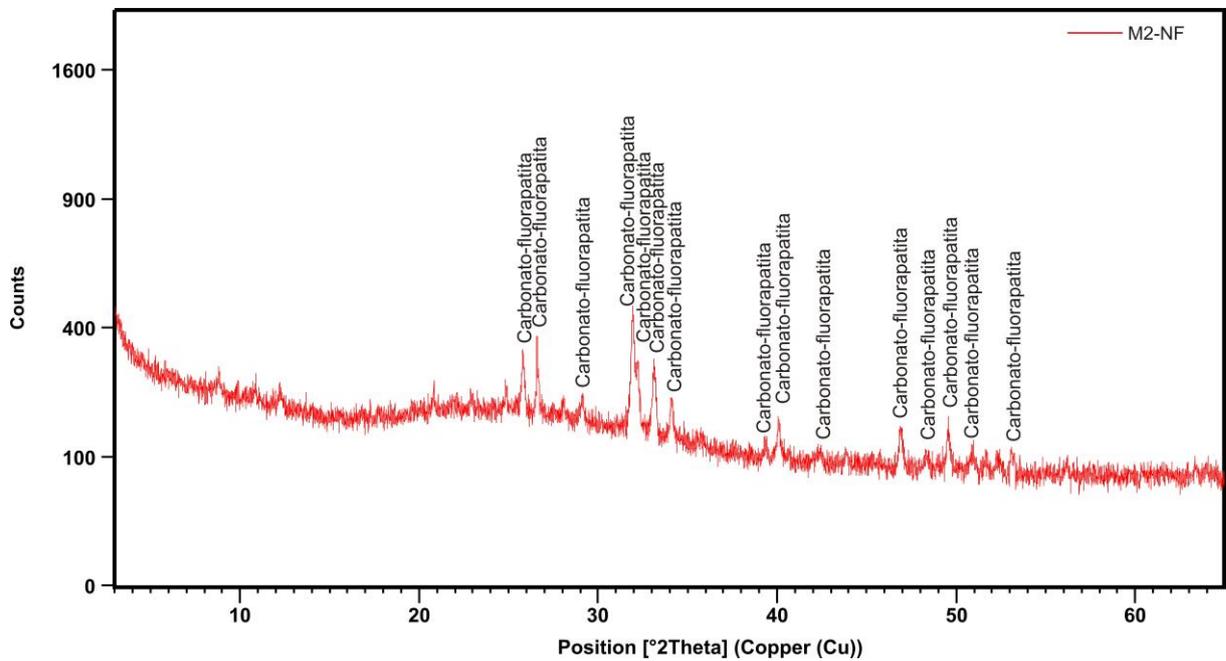


Figura 7.49 - Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M2-NF.

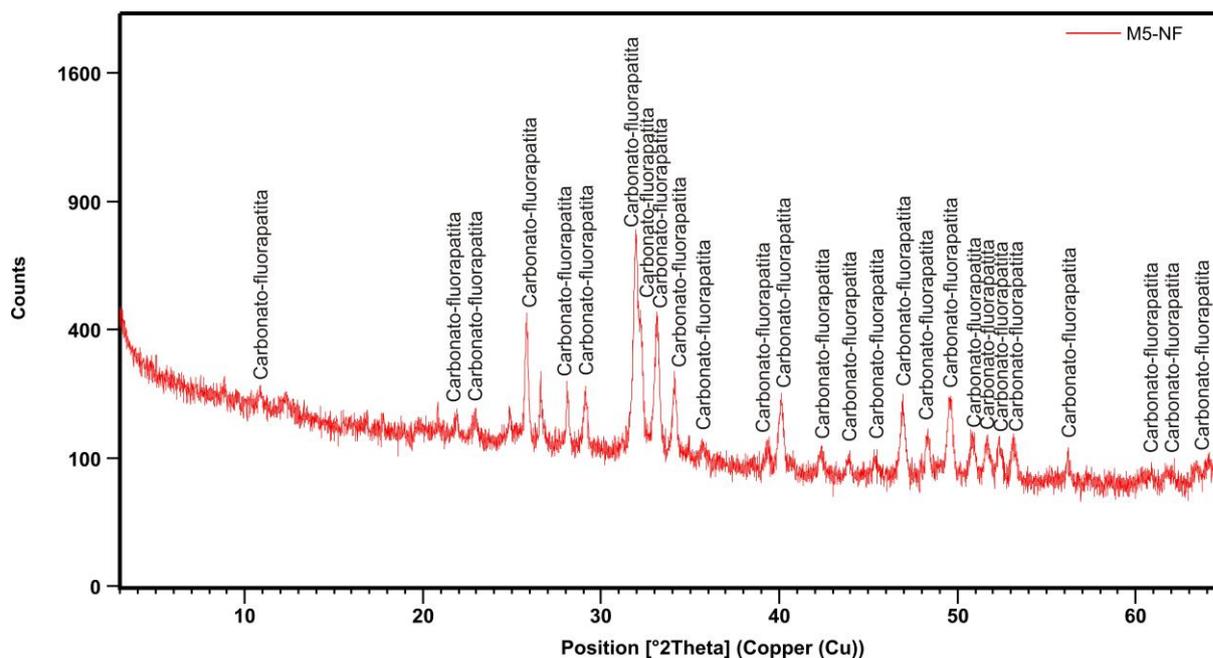


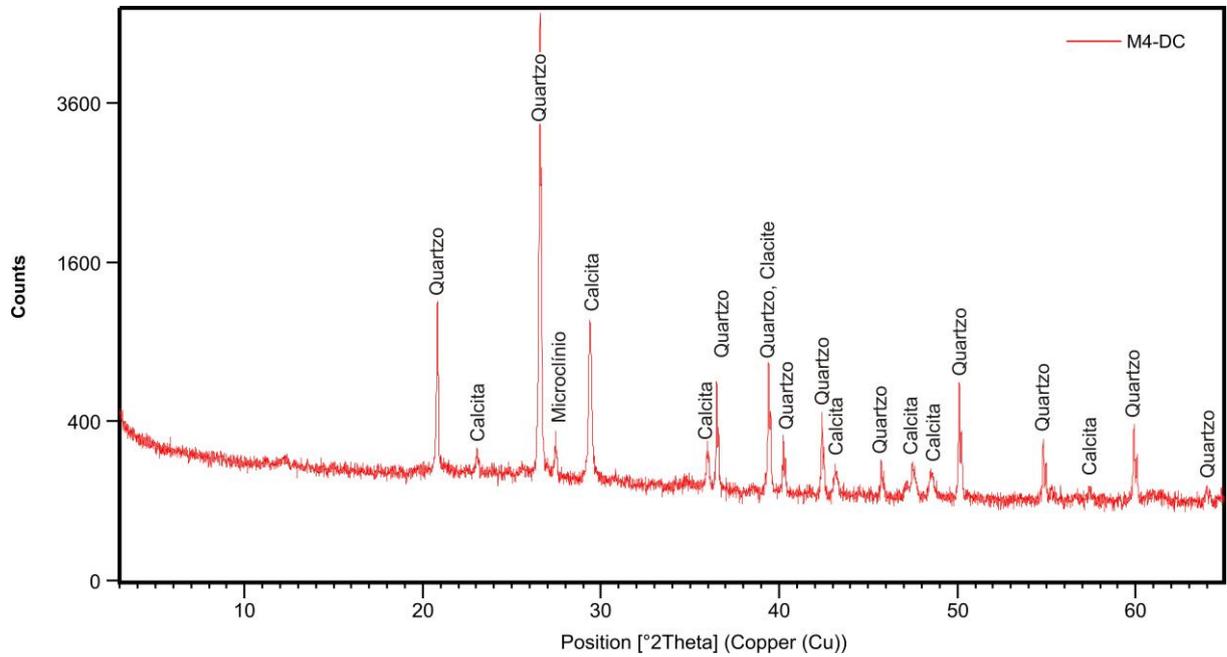
Figura 7.50 – Difratoograma de fração total do nível fosfático da mina M5, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M5-NF.

Em geral, os níveis fosfáticos apresentam certo acamadamento ou envelopamento, e a interpretação de carbonato-fluorapatita é mais comum nas camadas mais externas dos nódulos, enquanto os núcleos podem apresentar interpretações de carbonato-hidroxiapatita ou simplesmente apatita. Não foram observadas nos difratogramas tendências significativas a fases não cristalinas ou incipientemente cristalizadas de fosfatos de cálcio hidratados (colofano).

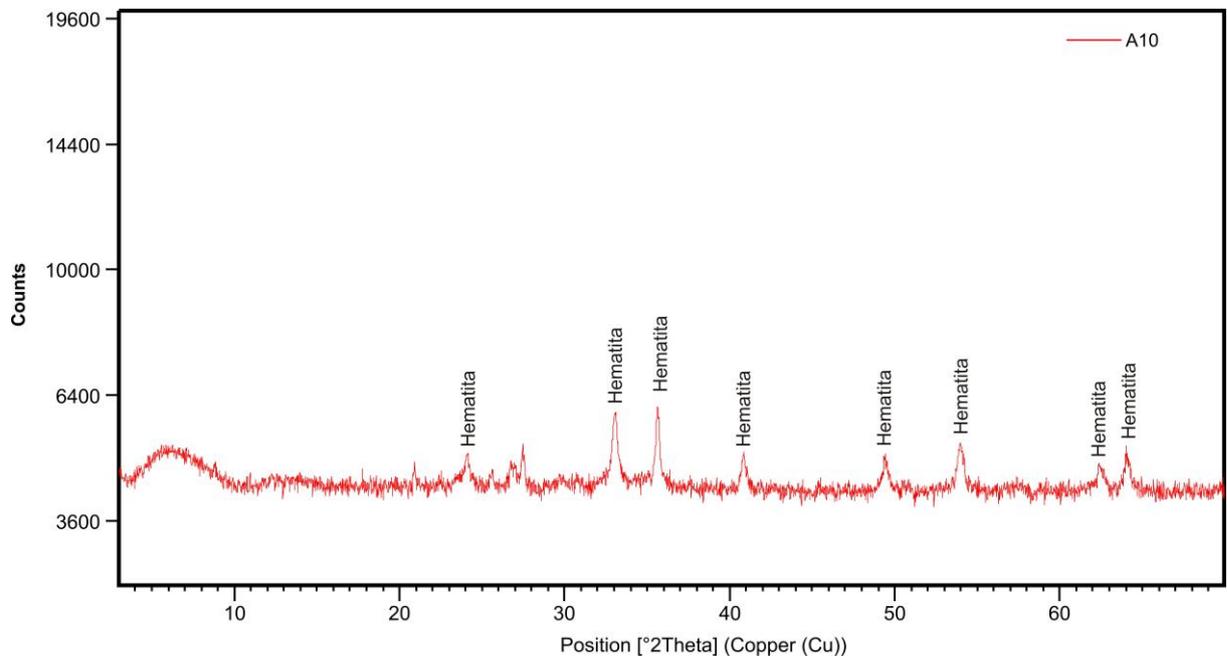
Na mina M4, os chamados “diques clásticos” foram considerados como contaminantes, e classificados como arenitos cimentados por carbonatos, fosfatos (?) e óxidos/hidróxidos de ferro (?). Entretanto, a análise do cimento através da difratometria de raios X (Figura 7.51) constatou apenas a presença de calcita e quartzo, com pequena ocorrência de feldspatos, sem evidências de minerais fosfáticos. Também não foram identificadas contaminações de óxidos e/ou hidróxidos de ferro. Estes constituintes podem não ter sido identificados por conta da pequena proporção no material analisado.

Os argilitos vermelhos intercalados aos arenitos apresentam composição predominante de hematita, sem terem sido identificadas outras fases minerais através da difração de raios X (Figura 7.52). Entretanto, não é descartada a presença de illita, uma vez que o difratograma exhibe picos pouco intensos não identificados com espaçamento de 10 Å, 5 Å e 2,5 Å. Estes

níveis portanto podem ser considerados contaminantes da matéria-prima cerâmica, considerando que a proporção de minerais silicáticos é baixa em relação à proporção de óxidos de ferro.



**Figura 7.51 - Difratoograma do material de cimentação dos “diques clásticos” encontrados na mina M4, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M4-DC.**



**Figura 7.52 - Difratoograma da fração fina dos argilitos vermelhos intercalados aos arenitos amarelos (nível E) da mina M1, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra A10.**

### 7.3.2.2 Eflorescências: estratos e vênulas carbonáticos, leitos e vênulas de sulfatos e manchas

Nas minas M1, M2 e M3, é comum observar manchas circulares a ovaladas, com hábito fibro-radial, granular ou pulverulento, de cores branco, cinza pálido ou verde amarelado, em geral nas superfícies frescas dos folhelhos pretos e cinzas. Na mina M1, estes materiais apresentam forte reação ao HCl a frio com liberação de CO<sub>2</sub>, e foram prontamente identificadas em campo como calcita, enquanto nas minas M2 e M3, estes materiais não possuem reação. Em geral, as eflorescências que não apresentam reação estão intimamente associadas a pirita, enquanto as eflorescências reagentes estão frequentemente associadas a alteração da siderita, gerando hidróxidos de ferro e hematita. Na mina M1, além do estrato basal rico em siderita, foi observado leito concordante de espessura milimétrica a centimétrica constituído por calcita. Os leitos e vênulas de espessura milimétrica a centimétrica de gipsita são mais frequentes, tendo sido observado em várias minas, à exceção da mina M1.

Apenas as eflorescências não reagentes ao HCl foram analisadas por difratometria de raios X. Como são ocorrências em geral de poucas dimensões, embora abundantes, em alguns casos não foi possível evitar a contaminação da amostra com os componentes minerais dos folhelhos. Na mina M2, as eflorescências apresentam cor branca e hábito acicular com disposição radial, e foram identificadas através da difratometria de raios X como sendo compostas por gipsita (Figura 7.53).

Na mina M3, foram observados diversos padrões de eflorescência. Foram encontradas nesta mina manchas brancas fibro-radiais semelhantes às observadas na mina M2, identificadas pela difratometria de raios X como sendo compostas por gipsita (Figura 7.54). Esta mina também apresenta níveis, vênulas e outras formas de gipsita, em geral encontradas próximas a nódulos de pirita.

Cabe comentar que um conjunto de nódulos maciços de pirita coletados nesta mina, armazenados ainda úmido em sacos plásticos por cerca de 30 dias, apresentaram o crescimento de cristais em sua superfície, perfeitamente aciculares e transparentes, de até 0,5 cm no seu maior comprimento, retorcidos na forma de espiral. Uma vez colocados em contato com o ar por cerca de 2 horas, estes cristais se desfizeram em um material terroso branco, que não foi possível identificar através da difratometria de raios X, dada a complexidade da interposição de picos. Entretanto o difratograma sugeria uma estrutura relativamente próxima à da melanterita (sulfato hidratado de Fe<sup>2+</sup>), mas com espaçamentos interplanares extremamente próximos e bem definidos.

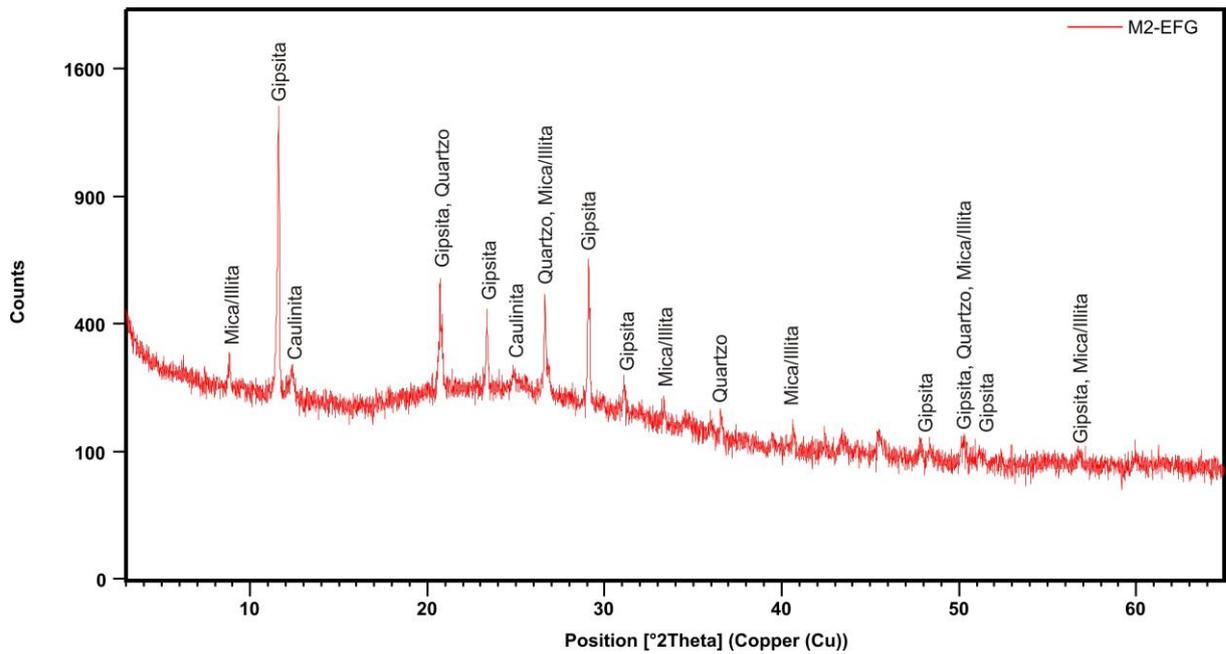


Figura 7.53 – Difratoograma das eflorescências encontradas na mina M2, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M2-EF.

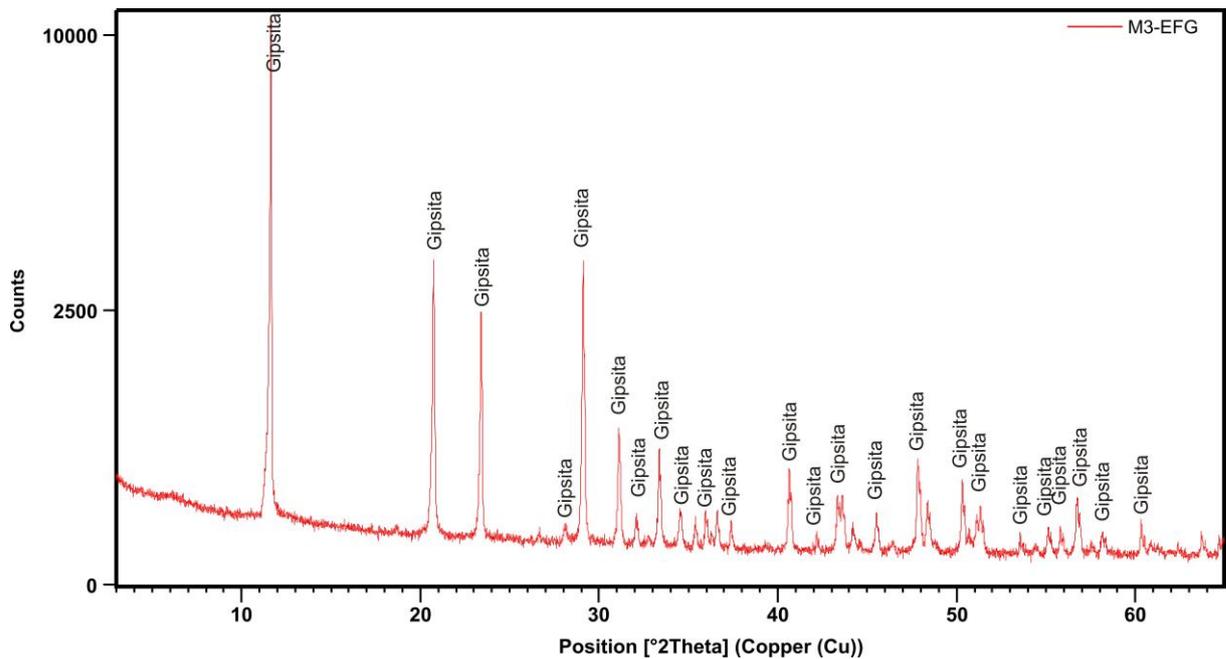
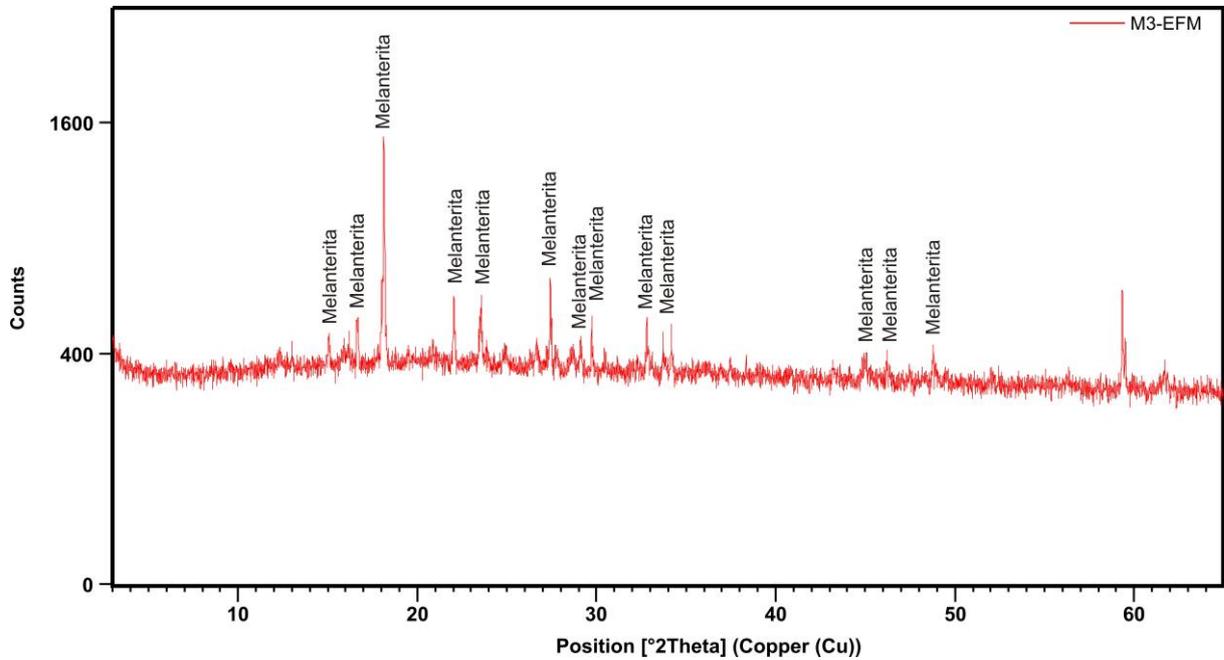


Figura 7.54 - Difratoograma das eflorescências brancas, aciculares e com disposição radial encontradas na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M3-EFG.

Outro tipo de eflorescência analisada ocorre como manchas irregulares de material verde amarelado ou amarelo pulverulento, com aspecto de enxofre, que ocorre em geral próximo a grandes concentrações de ferro percolado em fraturas e outras discontinuidades na

mina M3. Segundo a análise por difratometria de raios X, este material trata-se de melanterita (Figura 7.55).



**Figura 7.55 - Difratograma das eflorescências verde amarelado ou amarelo pulverulento encontradas na mina M3, em Rio Verde de Mato Grosso. Amostra M3-EFM.**

#### 7.4 Química de elementos maiores da matéria-prima cerâmica

Para o processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, a proporção de elementos maiores na matéria-prima é o principal condicionante das propriedades físicas do produto final. O conteúdo médio de elementos maiores da massa composta utilizada pelo polo ceramista da região para produção de revestimentos cerâmicos (amostras de material selecionado, moído e homogeneizado) é apresentado na Tabela 7.1. A análise de massas para revestimento inclui  $ZrO_2$  e  $BaO$  por estes serem considerados contaminantes em termos ambientais e, portanto, possuírem valores de referência de toxicidade quando liberados no solo e na água, por exemplo (CETESB, 2015).

**Tabela 7.1- Composição química média da massa composta para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos,  $ZrO_2$  e  $BaO$ . Resultados apresentados em porcentagem (%). \* LOI: Loss On Ignition ou Perda ao Fogo (P.F.)**

Óxidos	%
$SiO_2$	54,55
$TiO_2$	1,12
$Al_2O_3$	24,11
$Fe_2O_3$	8,76
$MnO$	-
$MgO$	1,31
$CaO$	0,19
$Na_2O$	0,06
$K_2O$	3,25
$P_2O_5$	0,22
$ZrO_2$	0,03
$BaO$	0,05
LOI*	-
Total	93,65

Como exposto anteriormente os níveis litológicos utilizados pela indústria ceramista na região de Rio Verde de Mato Grosso – Coxim, para a formulação da massa composta para a fabricação de produtos cerâmicos, correspondem predominantemente a folhelhos e siltitos (níveis siltosos e argilosos) da Formação Ponta Grossa (níveis A, B, C, D e F). Os resultados das análises químicas dos níveis siltosos e argilosos encontrados nas minas (amostras de rocha) são apresentados na Tabela 7.2, e a tabela 7.3 apresenta os resultados dos níveis arenosos para efeito de comparação. As amostras encontram-se agrupadas por mina, ordenadas pela sequência das minas visitadas.

**Tabela 7.2 - Composição química das rochas siltosas e argilosas (siltitos e folhelhos) para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Resultados apresentados em porcentagem (%).**

	AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Soma
<b>Mina 1</b>	A1	47,08	23,49	8,77	2,35	0,49	0,12	3,04	1,02	0,14	0,1	0,016	13,2	99,8
	A3	47,63	23,84	10,03	1,84	0,45	0,11	3,12	1,08	0,11	0,06	0,017	11,5	99,8
	A4	54,28	23,97	5,47	1,02	0,2	0,1	3,66	1,15	0,1	0,04	0,017	9,8	99,78
	A5	58,52	17,37	5,98	1,57	0,68	0,11	4,54	1,06	0,15	0,05	0,011	9,8	99,79
	A11	47,46	21,37	8,96	2,15	0,26	0,1	4,12	1,18	0,18	0,04	0,014	13,9	99,75
	M1-10	44,28	23,72	10,77	2,43	0,40	0,11	3,02	0,98	0,13	0,13	0,017	13,8	99,79
	M1-7	48,04	23,41	10,13	1,94	0,57	0,11	3,12	1,06	0,29	0,11	0,018	11,0	99,79
	M1-8	65,23	14,56	7,31	0,76	0,09	0,10	3,58	0,97	0,12	0,04	0,011	7,0	99,79
	M1-9	65,88	13,94	6,73	0,84	0,18	0,11	4,07	0,97	0,10	0,05	0,011	6,9	99,80
	M1-12	53,08	19,96	7,85	1,81	1,22	0,15	3,95	1,09	0,17	0,07	0,015	10,4	99,75
<b>Mina 2</b>	M2-B	60,98	18,80	5,06	1,79	0,26	0,14	3,25	1,01	0,07	0,03	0,015	8,4	99,80
	M2-3	48,14	25,41	6,31	2,29	0,47	0,12	3,07	1,08	0,28	0,08	0,019	12,5	99,78
	M2-7	47,20	25,68	6,49	1,83	1,72	0,12	3,09	1,06	1,11	0,05	0,018	11,4	99,79
<b>Mina 3</b>	M3-1	55,61	21,20	6,20	2,17	0,32	0,13	3,15	1,02	0,10	0,05	0,015	9,8	99,80
<b>Mina 4</b>	M4-5	73,65	12,29	3,66	0,71	0,37	0,07	3,95	0,69	0,10	0,04	0,008	4,3	99,84
<b>Mina 5</b>	M5-1	49,33	24,66	8,13	2,07	0,25	0,10	3,07	1,08	0,12	0,07	0,017	10,9	99,79
<b>Mina 6</b>	M6-3	54,02	22,06	7,50	1,74	0,23	0,13	3,18	1,06	0,09	0,06	0,016	9,7	99,78
	M6-4	53,04	22,63	8,92	0,75	0,04	0,07	2,18	1,05	0,12	0,05	0,016	11,0	99,82
	M6-5	52,39	18,05	13,15	1,48	0,66	0,10	2,58	0,93	0,42	0,11	0,013	9,9	99,82
	M6-6	61,04	18,25	6,13	1,57	0,21	0,12	2,84	1,06	0,09	0,03	0,012	8,5	99,83

\* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = ferro total (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO)

**Tabela 7.3 - Composição química das rochas arenosas (arenitos arcócosianos e micáceos) associadas às matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso, considerando os principais elementos maiores na forma de óxidos e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Valores para referência. Resultados apresentados em porcentagem (%).**

	AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Soma
<b>Mina 1</b>	A6	79,51	9,15	2,57	0,4	0,07	0,13	5,68	0,58	0,03	0,02	0,157	1,6	99,88
	A7	68,74	7,54	16,25	0,26	0,05	0,12	4,71	0,65	0,02	0,03	0,033	1,5	99,87
	A8	80,45	8,65	1,79	0,19	0,1	0,13	5,68	0,69	0,07	0,03	0,052	2	99,85
	A9	77,28	8,65	4,01	0,62	0,13	0,12	5,92	0,77	0,08	0,04	0,023	2,2	99,84
	M1-T	68,54	14,23	3,53	1,19	0,27	0,12	5,16	1,07	0,06	0,01	0,011	5,6	99,78
<b>Mina 4</b>	M4-1	83,16	8,34	2,43	0,21	0,15	0,06	2,23	0,47	0,13	0,03	0,004	2,7	99,90
<b>Mina 6</b>	M6-7	50,51	9,53	31,08	0,29	0,02	0,04	0,85	0,69	0,28	0,28	0,007	6,3	99,88

\* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = ferro total (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO)

O teor de SiO<sub>2</sub> nos níveis siltosos e argilosos das minas visitadas varia de 44,28% a 65,88% para as minas com semelhanças litológicas (M1, M2, M3, M5 e M6), sendo a média 53,33% de SiO<sub>2</sub>. Os siltitos da mina M4 possuem teor de SiO<sub>2</sub> de 73,65%, superior à média

das outras minas. A variação do teor de  $\text{SiO}_2$  entre os níveis de litologias semelhantes em uma mesma mina é devido à maior ou menor proporção relativa de quartzo nas amostras analisadas, decorrente das variações no aporte sedimentar desta unidade.

O teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nestes níveis (M1, M2, M3, M5 e M6) varia de 13,94% a 25,68%, com média 21,18%, enquanto os siltitos da mina M4 apresentam teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 12,29%, inferior ao observado nas outras localidades. A razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  para as amostras siltosas e argilosas desta região são menores do que 5 (variando de 1,84 a 4,73), predominando valores menores que 3, com exceção dos siltitos da mina M4, que apresentam razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  próximo de 6.

Esta razão pode ser utilizada, no caso de matérias primas para revestimentos cerâmicos, como indicação de maior ou menor concentração de elementos refratários, que são em geral considerados inertes na formulação de massas cerâmicas (ROCHA, 2012). Sendo assim, pode-se considerar que as matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso apresentam alto teor de elementos refratários, uma vez que as razões possuem baixos valores (Figura 7.56). Para efeito de comparação, os níveis arenosos possuem razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 4,82 e 8,69, predominando valores próximos de 9, com exceção da mina M4, que possui razão próxima de 10 (Figura 7.57).

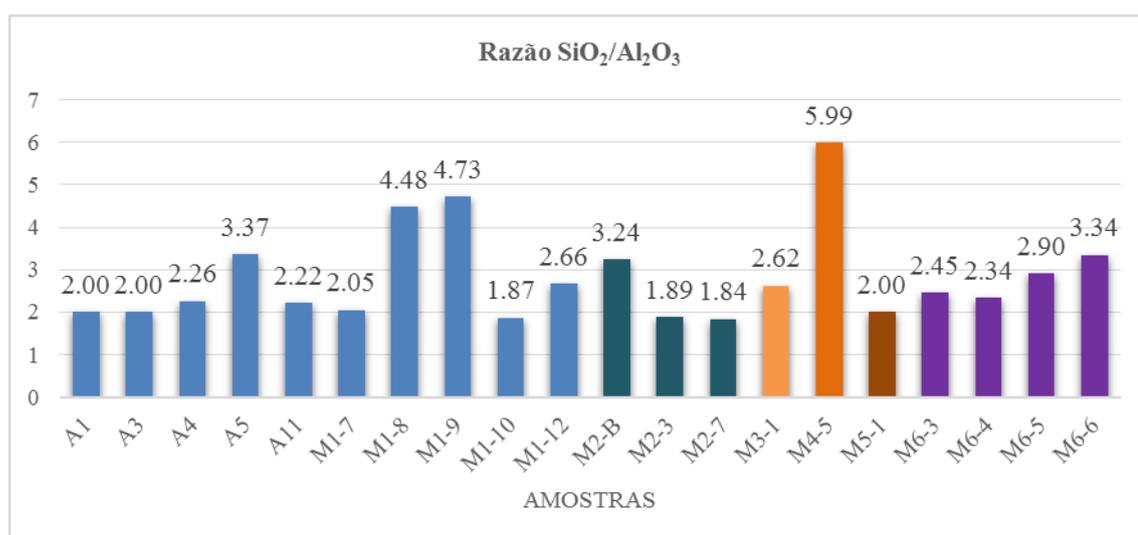
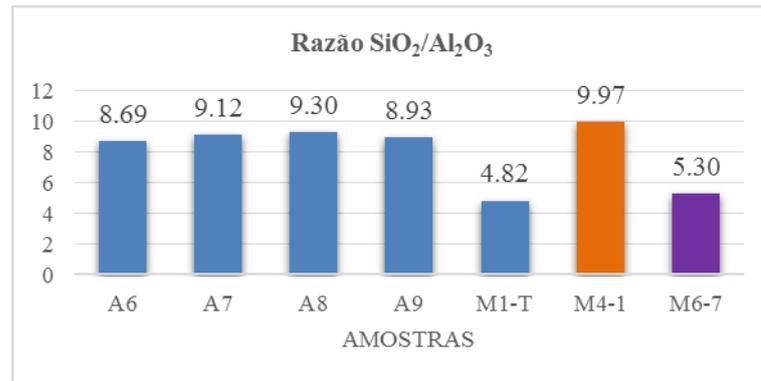
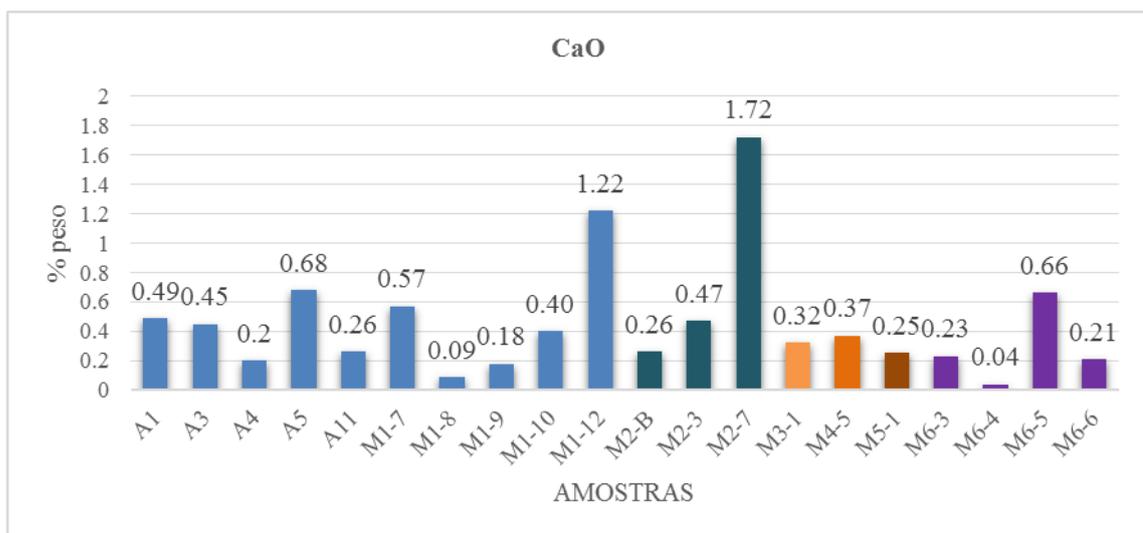


Figura 7.56 - Gráfico de comparação da razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.

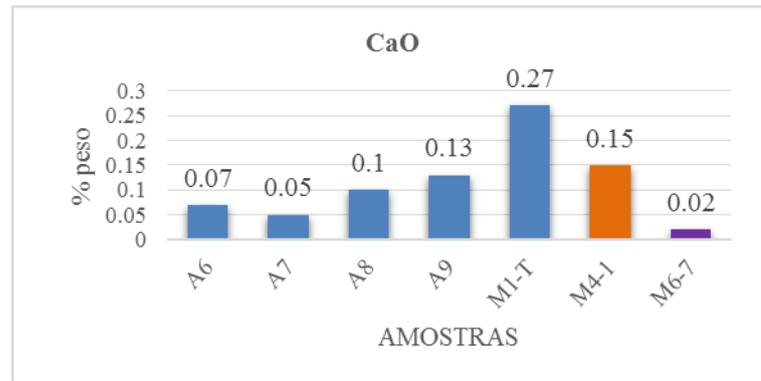


**Figura 7.57 - Gráfico de comparação da razão SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

Os teores de cálcio (CaO) e de álcalis (no caso das formulações de massas cerâmicas, álcalis são referentes a Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) também são associados a facilidades ou dificuldades durante a fabricação de produtos cerâmicos de revestimentos, a depender dos parâmetros utilizados no processo produtivo. O teor de CaO das rochas siltosas e argilosas analisadas é menor do que 1,8% (Figura 7.58), predominando teores abaixo de 0,7% (variando entre 0,04% e 0,68%), com duas amostras (M1-12 e M2-7) apresentando teores de CaO maiores que 1% (1,22% e 1,72%, respectivamente). O teor de CaO dos níveis arenosos é menor que 0,3% (Figura 7.59).

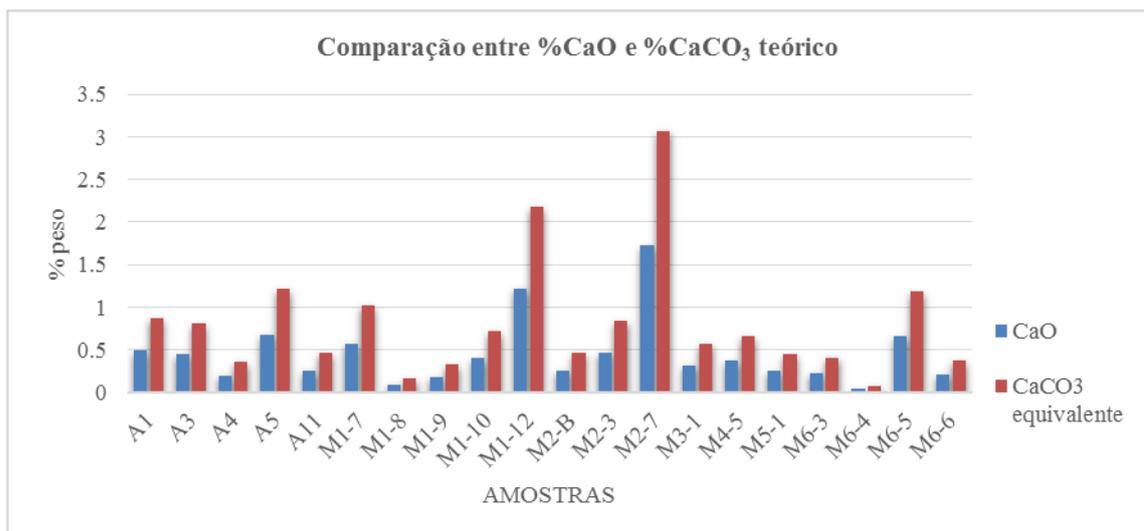


**Figura 7.58 - Gráfico de comparação dos teores de CaO dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**



**Figura 7.59 - Gráfico de comparação dos teores de CaO dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

Barba et al. (2012) classifica as argilas fundentes de acordo com seu teor em carbonatos, e considera como “baixo teor de carbonatos” as argilas com menos de 5% de sua composição em peso desse componente. Considerando que todo o cálcio presente nas amostras de possíveis matérias primas represente fases carbonáticas, predominantemente calcita, podemos converter a proporção de óxido de cálcio para um valor teórico de carbonato de cálcio equivalente, obtendo predominantemente valores abaixo de 1,5% (Figura 7.60). As exceções são as amostras M1-12 (2,18% de  $\text{CaCO}_3$  teórico) e M2-7 (3,07% de  $\text{CaCO}_3$  teórico). Estes valores, apresentados em detalhe na Tabela 7.4, referem-se à proporção máxima de carbonato de cálcio possível de ser encontrada nas amostras analisadas.



**Figura 7.60 - Gráfico de comparação dos teores de CaO (%) e do  $\text{CaCO}_3$  equivalente teórico (% peso) das possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

**Tabela 7.4 - Comparação entre as razões  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , os teores de  $\text{CaO}$  (%) e os valores teóricos de  $\text{CaCO}_3$  equivalente (% peso), para amostras de níveis silteosos e argilosos de Rio Verde de Mato Grosso.**

	AMOSTRA	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{CaCO}_3$ equivalente
<b>Mina 1</b>	A1	2,00	0,49	0,87
	A3	2,00	0,45	0,80
	A4	2,26	0,2	0,36
	A5	3,37	0,68	1,21
	A11	2,22	0,26	0,46
	M1-7	2,05	0,57	1,02
	M1-8	4,48	0,09	0,16
	M1-9	4,73	0,18	0,32
	M1-10	1,87	0,40	0,71
	M1-12	2,66	1,22	2,18
<b>Mina 2</b>	M2-B	3,24	0,26	0,46
	M2-3	1,89	0,47	0,84
	M2-7	1,84	1,72	3,07
<b>Mina 3</b>	M3-1	2,62	0,32	0,57
<b>Mina 4</b>	M4-5	5,99	0,37	0,66
<b>Mina 5</b>	M5-1	2,00	0,25	0,45
<b>Mina 6</b>	M6-3	2,45	0,23	0,41
	M6-4	2,34	0,04	0,07
	M6-5	2,90	0,66	1,18
	M6-6	3,34	0,21	0,37

Comparativamente, as porcentagens em peso de  $\text{CaCO}_3$  equivalente dos níveis arenosos são menores do que 0,5% (Figura 7.61), variando de 0,03% a 0,48% (Tabela 7.5). Em termos de comportamento cerâmico, pequenas quantidades de carbonatos na formulação de massas podem atuar como fundentes, desde que distribuídos de forma homogênea e em cristais relativamente pequenos, sendo sugerido muitas vezes que os teores não ultrapassem a proporção de 3% do total da composição da massa. Maiores quantidades de carbonato de cálcio, com uma distribuição e granulometria inadequadas nas massas, tendem a formar cavidades e potencializar trincas devido à volatilização do  $\text{CO}_2$  durante a queima, além de favorecer a formação de “coração negro” no interior das peças.

Os valores de LOI (*loss on ignition* ou perda ao fogo) em materiais são diretamente proporcionais à presença de carbonatos ou matéria orgânica (cuja queima libera  $\text{CO}_2$ ), ou filossilicatos que possuem água intersticial ou alto teor de hidroxilas, também liberados durante a queima. Os valores de LOI das possíveis matérias primas são relativamente altos, variando entre 6,9% e 13,9%, com exceção dos siltitos da mina M4, que possuem LOI de 4,3% (Figura 7.62). Os níveis arenosos possuem valores de LOI menores que 7%, variando de 1,6% a 6,3% (Figura 7.63). Percebe-se que, predominantemente os teores de LOI diminuem com

o aumento dos teores de  $\text{SiO}_2$ , devido à menor contribuição de componentes argilosos e matéria orgânica (Figura 7.64).

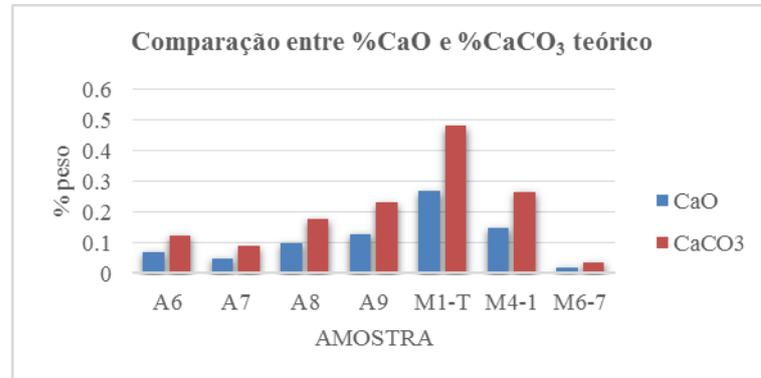


Figura 7.61 - Gráfico de compara o dos teores de CaO (%) e do CaCO<sub>3</sub> equivalente teórico (% peso) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produ o cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.

Tabela 7.5 - Compara o entre as razões  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , os teores de CaO (%) e os valores teóricos de CaCO<sub>3</sub> equivalente (% peso), para amostras de níveis arenosos de Rio Verde de Mato Grosso.

	AMOSTRA	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	CaCO <sub>3</sub> equivalente
Mina 1	A6	8,69	0,07	0,12
	A7	9,12	0,05	0,09
	A8	9,30	0,10	0,18
	A9	8,93	0,13	0,23
	M1-T	4,82	0,27	0,48
Mina 4	M4-1	9,97	0,15	0,27
Mina 6	M6-7	5,30	0,02	0,04

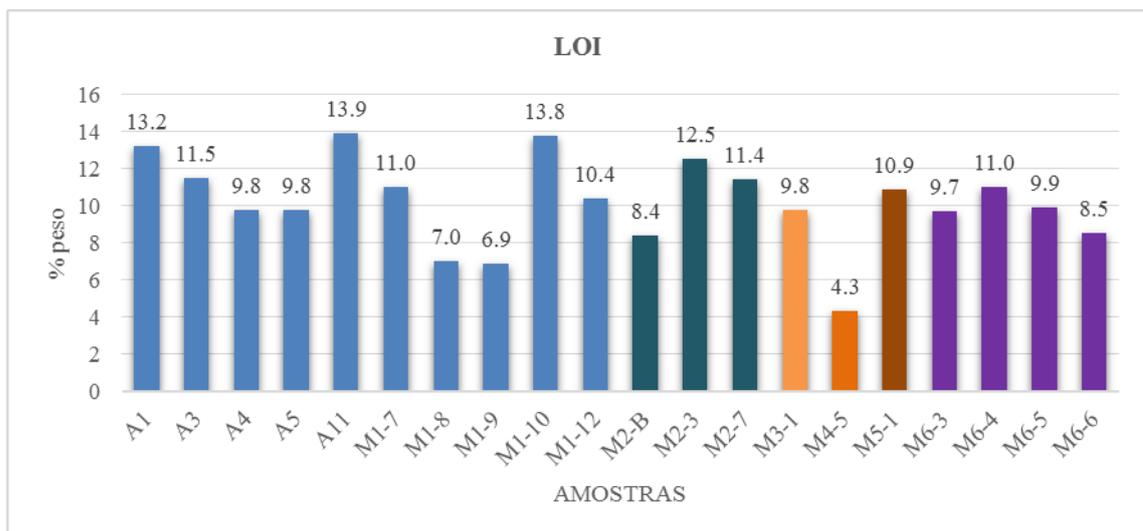


Figura 7.62 - Gráfico de compara o dos teores de LOI (%) das possíveis matérias primas para produ o cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.

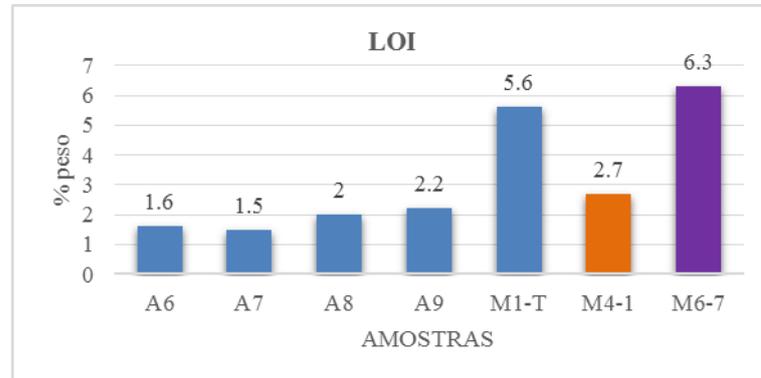


Figura 7.63 - Gráfico de comparação dos teores de LOI (%) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.

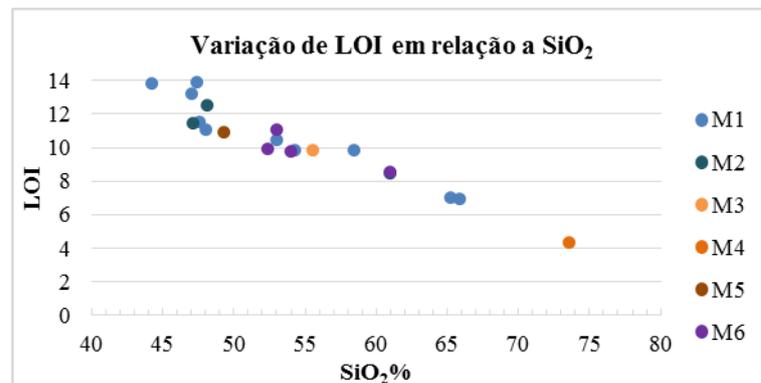
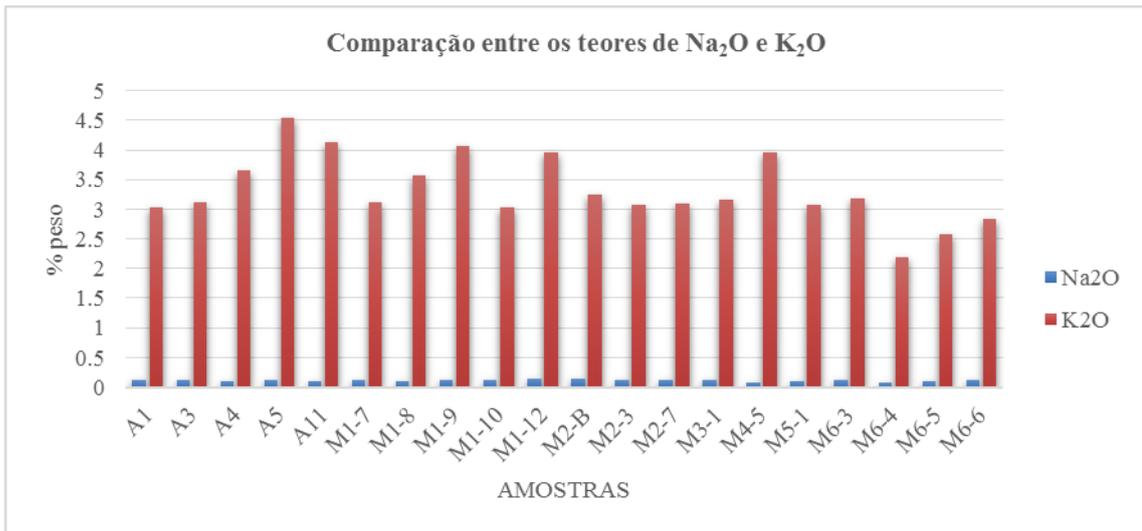


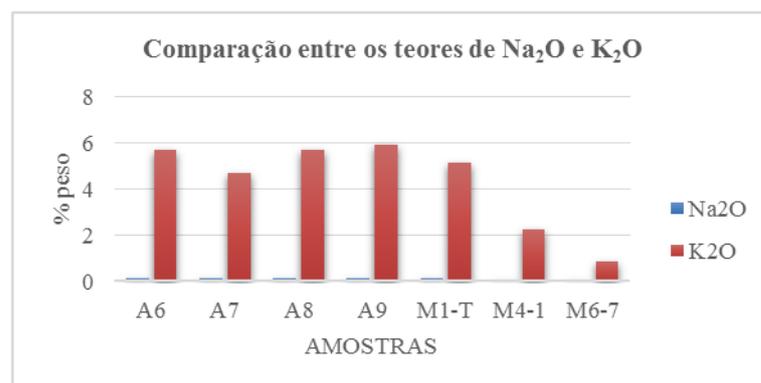
Figura 7.64 - Gráfico SiO<sub>2</sub> versus LOI para as amostras siltosas e argilosas de Rio Verde de Mato Grosso, mostrando diminuição do LOI em função do aumento de SiO<sub>2</sub>.

Os teores de Na<sub>2</sub>O e de K<sub>2</sub>O (álcalis) refletem em geral a presença de feldspatos e filossilicatos, sendo que os feldspatos são considerados fundentes em formulação de massas cerâmicas. A presença de álcalis nas matérias primas facilita a formação de fases líquidas durante a queima em determinadas condições de temperatura, o que se reflete nas características de absorção de água e de resistência mecânica à flexão das peças cerâmicas. As rochas utilizadas na fabricação de revestimentos em Rio Verde de Mato Grosso possuem teores de álcalis (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) variando de 2,25% a 4,65%, predominando valores abaixo de 4%. Entretanto, o teor de Na<sub>2</sub>O é muito menor que o teor de K<sub>2</sub>O em todas as amostras, mostrando predomínio de feldspato potássico e mica/illita sobre plagioclásios (Figura 7.65).



**Figura 7.65 - Gráfico de comparação dos teores de Na<sub>2</sub>O (%) e de K<sub>2</sub>O (%) das possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

Para efeitos de comparação, os níveis arenosos de Rio Verde de Mato Grosso possuem teores de álcalis variando entre 0,89% a 6,04%, predominando valores maiores que 4% (Figura 7.66). Os níveis arenosos da mina M4 possuem teores de álcalis de 2,29% e os níveis arenosos da mina M6 (Coxim) possuem os teores de álcalis mais baixos de todo o conjunto (0,89%), devido ao efeito de “diluição” dado pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro em grande quantidade.



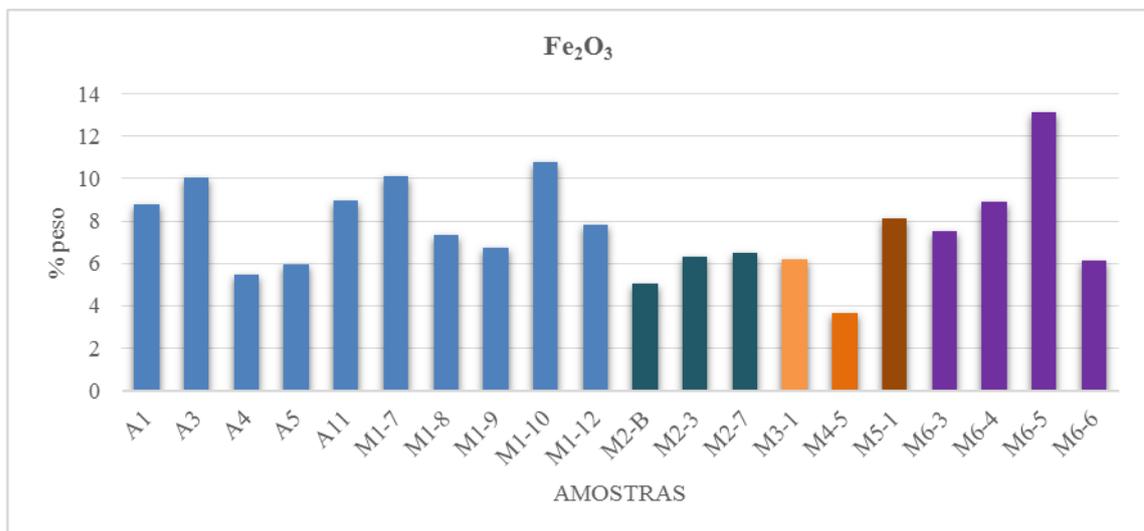
**Figura 7.66 - Gráfico de comparação dos teores de Na<sub>2</sub>O (%) e de K<sub>2</sub>O (%) dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

A presença de óxidos de ferro, na forma de hematita ou magnetita, deve ser considerada na formulação de massas cerâmicas. Os óxidos de ferro, contendo o íon Fe<sup>3+</sup>,

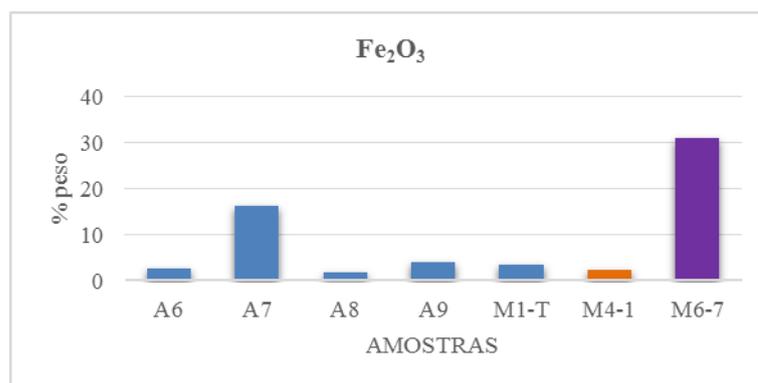
podem auxiliar na distribuição homogênea do calor no interior das peças cerâmicas, por se tratarem de excelentes condutores térmicos, desde que estes estejam distribuídos adequadamente, e não se apresentem em grande quantidade.

Teores muito elevados de óxidos de ferro podem causar superaquecimento interno das peças durante a queima, gerando deformações pelo excesso de fusão e transformações rápidas das fases minerais. Na queima lenta, o  $\text{Fe}^{3+}$  transforma-se em  $\text{Fe}^{2+}$  por oxidação, modificando a cor dos produtos cerâmicos após a queima, adquirindo tonalidades róseas a marrons avermelhadas, de forma pontual ou homogênea, dependendo da proporção destes constituintes na massa.

As matérias primas estudadas possuem teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$  entre 5,06% e 13,15%, com exceção da mina M4, cujo teor é de 3,66%, menor do que o observado nas outras minas (Figura 7.67). A amostra M6-5 possui o maior teor de ferro observado dentre as matérias primas (13,15%), devido provavelmente à presença significativa de biotita/illita e vermiculita, portadores de ferro. Os níveis arenosos possuem teores de ferro variando entre 1,79% e 4,01%, considerando os níveis cuja presença de hematita não é significativa (Figura 7.68). Os arenitos cimentados por hematita da mina M1 possuem teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$  de 16,25%, e os arenitos hematíticos da mina M6 possuem 31,08% de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$ .



**Figura 7.67 - Gráfico de comparação dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$  dos níveis usados como matéria-prima para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

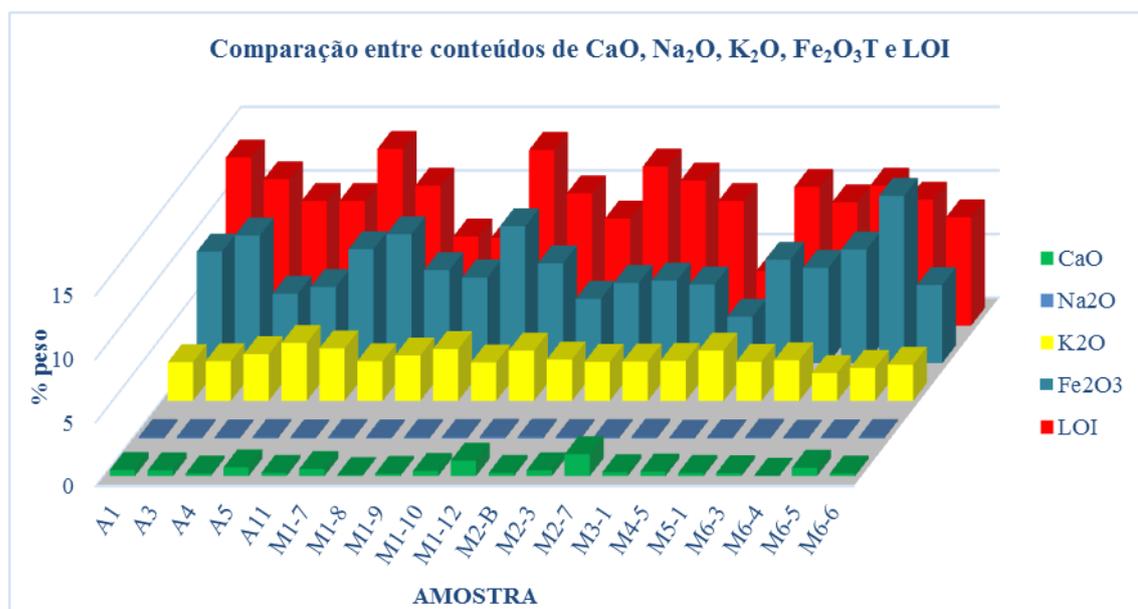


**Figura 7.68 - Gráfico de comparação dos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3T</sub> dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

Devido à presença, em certas situações, de sulfetos de ferro (pirita) nos níveis argilosos de Rio Verde de Mato Grosso, exclusivamente nos folhelhos cinza a pretos, os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3T</sub> podem refletir a presença deste mineral, que também possui implicações na geração de defeitos na fabricação de revestimentos cerâmicos. Este constituinte durante a queima se decompõem em óxidos de ferro e ânions sulfatos, que podem apresentar comportamento reativo em ambiente oxidante. A presença de carbonatos de ferro (siderita) em alguns níveis do perfil também deve ser considerada como responsável por parte do conteúdo de Fe<sub>2</sub>O<sub>3T</sub> das amostras.

Através da comparação dos conteúdos de cálcio, álcalis, ferro total e a perda ao fogo das matérias primas (Figura 7.69), percebe-se que:

- i) a proporção de carbonato de cálcio é baixa, indicada pelo baixo teor de CaO;
- ii) a presença de plagioclásios (albita, oligoclásio, etc.) é baixa ou provavelmente inexistente, indicado pelo baixo teor de Na<sub>2</sub>O;
- iii) há presença significativa de silicatos de potássio (feldspato potássico e/ou mucovita/illita), indicada pelo alto teor de K<sub>2</sub>O em relação ao teor de Na<sub>2</sub>O (Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 0,03);
- iv) mais de 5% das amostras é composto por minerais que possuem ferro em sua composição (hematita, goethita, pirita, siderita, etc);
- v) a perda ao fogo (LOI) é relativamente alta, predominantemente devido à proporção de argilominerais e, em menor proporção, em casos específicos, devido a matéria orgânica e carbonatos nas amostras.



**Figura 7.69 - Gráfico de comparação dos teores de CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T e LOI dos níveis arenosos associados às possíveis matérias primas para produção cerâmica em Rio Verde de Mato Grosso.**

## 7.5 Ensaios Físico-Mecânicos

As amostras submetidas a conformação por prensagem foram: amostra M1-7, que representa as propriedades dos níveis A e B; amostra M1-8, que representa as propriedades do nível C; a amostra M1-9, que representa a composição dos níveis D e F, atualmente utilizados para produção de revestimentos em Rio Verde de Mato Grosso; a amostra M1-12, que corresponde ao nível F. Os ensaios foram realizados em corpos de prova prensados, embora o processo produtivo da região de Rio Verde de Mato Grosso possua conformação por extrusão, devido a maior praticidade para confecção de corpos de prova, e necessidade de menor quantidade de material na conformação.

### 7.5.1.1 *Pré-secagem e secagem*

A avaliação da secagem foi feita a partir da secagem natural do material reduzido a fragmentos com cerca de 5 cm de diâmetro. Nestas condições, notou-se que os siltitos e argilitos amarelos (nível F) que capeiam os arenitos necessitaram de maior tempo de secagem ao ar livre (cerca de 72 horas) do que os folhelhos e siltitos cinza amarelados (níveis C e D+F, menos de 4 horas) e os folhelhos cinza e cinza escuros a pretos (nível A/B, aproximadamente 2 horas). Após a secagem natural, foi realizada secagem em estufa a 70°C (72 horas), para obter o menor teor de umidade possível a fim de facilitar a moagem.

O tempo de secagem reflete diretamente o tipo e a proporção de argilominerais presentes nas amostras, sendo que o nível F possui maior quantidade de argilominerais expansivos do grupo da montmorillonita, que têm em geral grande capacidade de retenção de água nos espaços interfoliares de suas estruturas, e que necessitam, portanto de maior tempo de exposição para secagem. Os níveis C e D+F possuem maior proporção de minerais não-argilosos (micas, quartzo e microclínio), e apresentam como argilomineral predominante a caulinita, o que confere à matéria-prima maior propensão à formação de poros e menor capacidade de retenção de água, que fica restrita às menores quantidades de argilominerais expansivos e à proporção relativa de illita em relação às micas.

Os níveis A e B são constituídos por rochas cuja composição mineralógica não envolve a presença de argilominerais expansivos, e apresentam predomínio de muscovita/illita, caulinita e clorita na forma de matriz nos interstícios dos grãos de quartzo e feldspatos, ou seja, é naturalmente um material com baixa capacidade de absorção de água (pouco permeável), e, portanto, não necessita de muito tempo para secagem.

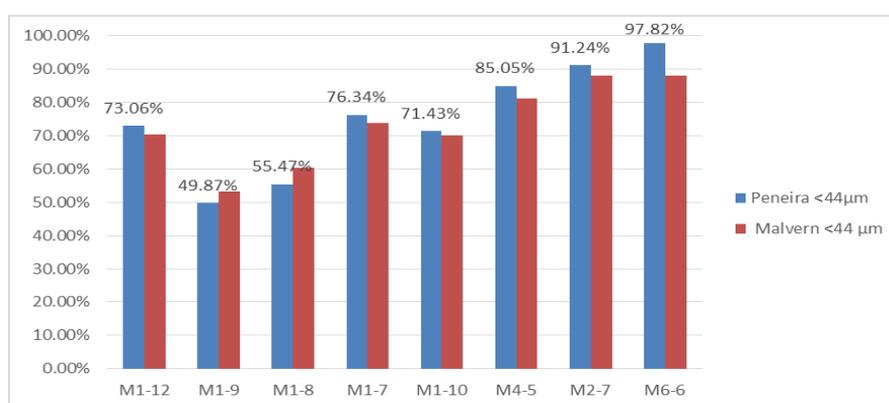
#### *7.5.1.2 Distribuição Granulométrica: avaliação granulométrica por difratometria a laser*

Após a secagem, as amostras foram cominuídas em moinho de martelo da marca SERVITECH, até granulometria passante em malha ABNT 20 (abertura 1,0 mm). Após a moagem, uma alíquota das amostras foi submetida a peneiramento e análise do resíduo retido em peneira de malha ABNT 325, e análise por difratometria a laser, para determinação do erro associado às diferentes técnicas de avaliação granulométrica. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.6. A comparação dos valores obtidos é apresentada na Figura 7.70. Em média os resultados apresentam uma diferença de cerca de 5% entre si.

As amostras de diferentes localidades e/ou níveis de coleta apresentam semelhanças em sua distribuição granulométrica após a cominuição. As amostras de Coxim (amostra M6-6) e da mina M2 (amostra M2-7) apresentam distribuição granulométrica de moagem semelhante, assim como as amostras da mina M1 (amostras M1-7, M1-10 e M1-12) são semelhantes entre si, e as amostras M1-8 e M1-9 (mina M1). A distribuição granulométrica de moagem da amostra M4-5 (mina M4) não possui semelhanças com outras amostras da região de Rio Verde de Mato Grosso - Coxim.

**Tabela 7.6 - Resíduo em peneira de malha ABNT 325 (maior que 0,044 mm ou 44  $\mu\text{m}$ ), apresentando comparação entre os resultados obtidos para os grãos passantes na peneira e os resultados obtidos por difratometria a laser.**

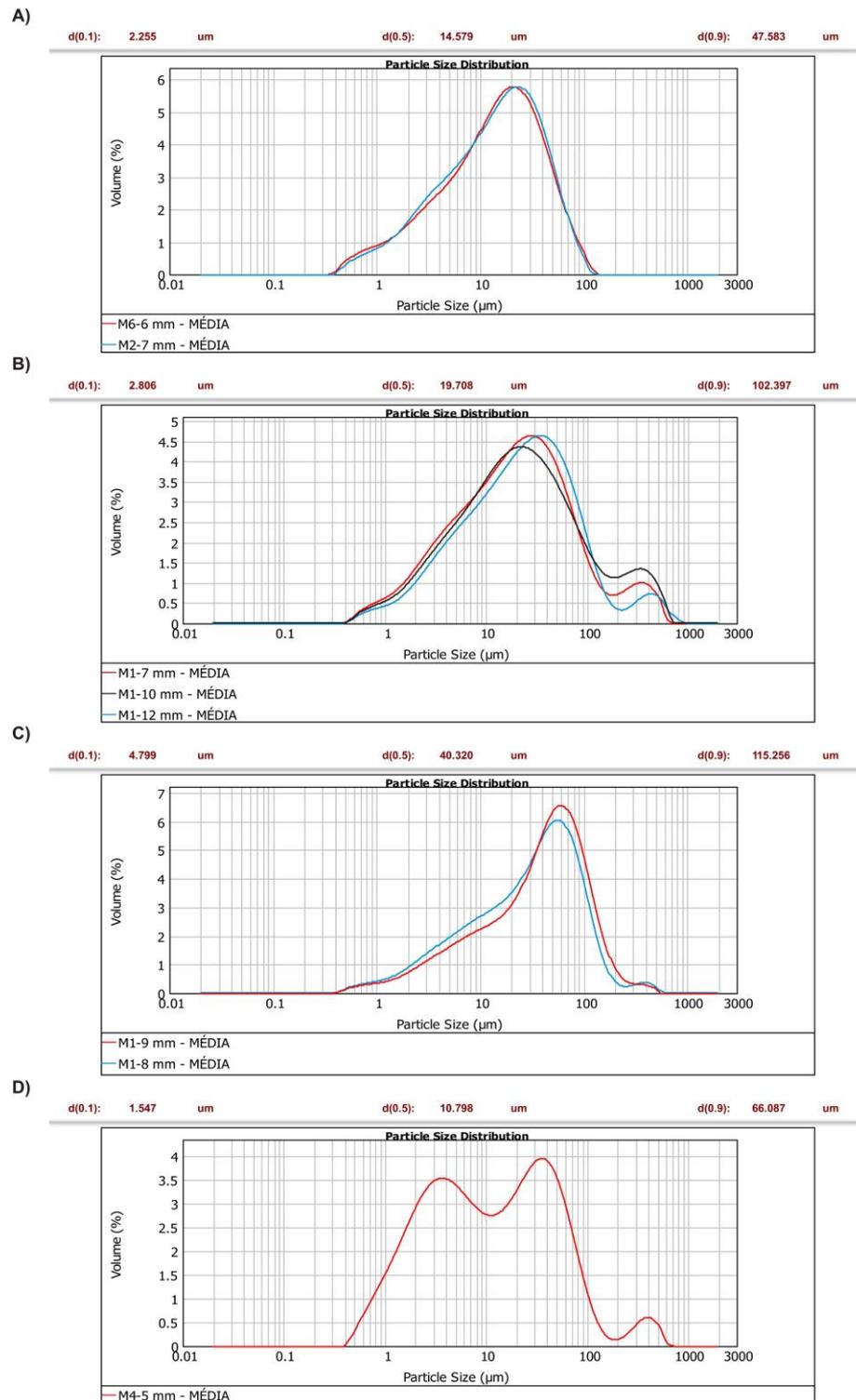
Amostra	Massa inicial (g)	Massa Retida (g)	% Retida	Peneira <44 $\mu\text{m}$	Malvern <44 $\mu\text{m}$	Erro relativo percentual
M1-12	20,001	5,389	26,94%	73,06%	70,53%	3,58%
M1-9	20,003	10,028	50,13%	49,87%	53,29%	6,42%
M1-8	20,002	8,907	44,53%	55,47%	60,33%	8,06%
M1-7	20,001	4,733	23,66%	76,34%	73,74%	3,52%
M1-10	20,002	5,714	28,57%	71,43%	70,21%	1,74%
M4-5	20,003	2,991	14,95%	85,05%	81,14%	4,81%
M2-7	20,004	1,752	8,76%	91,24%	88,20%	3,45%
M6-6	20,001	0,437	2,18%	97,82%	88,12%	11,00%
					<b>Média do erro</b>	5,32%



**Figura 7.70 – Gráfico de comparação dos resultados obtidos para a proporção de material menor que 44  $\mu\text{m}$  respectivamente passante em peneira de malha ABNT 325 e por difratometria a laser.**

A Figura 7.71A mostra a semelhança na distribuição granulométrica de moagem das amostras coletadas na mina de Coxim e na mina M2, com intervalo de distribuição entre 0,3 e 100  $\mu\text{m}$ , com maior proporção de partículas com diâmetro de 20  $\mu\text{m}$ , com 90% das partículas com diâmetro abaixo de 47  $\mu\text{m}$ .

As amostras apresentadas na Figura 7.71B apresentam pequena proporção de partículas com diâmetro superior a 200  $\mu\text{m}$ , e 90% das partículas apresentam tamanho menor que 102  $\mu\text{m}$ , com distribuição homogênea entre as frações granulométricas abaixo deste intervalo. As amostras apresentadas na Figura 7.71C apresentam comportamento semelhante, com pequena proporção de partículas acima de 200  $\mu\text{m}$ . Entretanto estas últimas apresentam maior proporção de partículas entre 10 e 100  $\mu\text{m}$ , e menor quantidade de partículas distribuídas no intervalo de 0 a 10  $\mu\text{m}$  (baixa proporção de finos em relação às amostras M1-7, M1-10 e M1-12).



**Figura 7.71 – Distribuição granulométrica após a moagem em moinho de martelo. A) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras M6-6 e M2-7; B) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras M1-7, M1-10 e M1-12; C) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras M1-8 e M1-9; D) curva de distribuição granulométrica da amostra M4-5.**

A amostra apresentada na Figura 7.71D (siltitos lilases da mina M4) mostra distribuição bimodal de granulometria de moagem, com picos em  $\sim 3 \mu\text{m}$  e em  $\sim 30 \mu\text{m}$ , com pequena proporção de partículas acima de  $200 \mu\text{m}$ . Em todos os diagramas apresentados na Figura 7.71, a aparente bimodalidade causada pelos fragmentos com diâmetro superior a  $200 \mu\text{m}$  é resultante da característica do tipo de moagem utilizada na preparação das amostras (moinho de martelo).

### 7.5.1.3 *Propriedades antes da queima*

Para conformação dos corpos de prova, foi escolhido manter a densidade de  $2,0 \text{ g/cm}^3$  em todas as amostras após a prensagem, com umidade de conformação a 10%. Entretanto, não foi possível manter este parâmetro na amostra M1-7, sendo que, mesmo com a diminuição da pressão aplicada, para o mesmo teor de umidade, a densidade continuou em torno de  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Foram utilizadas cerca de 25 gramas por corpo de prova, com dimensões do molde de aproximadamente  $7 \times 2 \text{ cm}$ . As espessuras variam de acordo com a quantidade de material e a pressão aplicada na prensa.

Os valores médios de densidade aparente após secagem (DAS), retração linear após secagem (RLS), carga de ruptura instantânea a seco (CRS) e o módulo de ruptura à flexão a seco (MRFS) podem ser observados na Tabela 7.7. A CRS e MRFS foram medidas com uso de flexímetro NANNETTI (modelo CC 96-2006). Os valores de retração linear são expressos com sinal negativo (-) para destacar o tipo de variação nas dimensões dos corpos de prova.

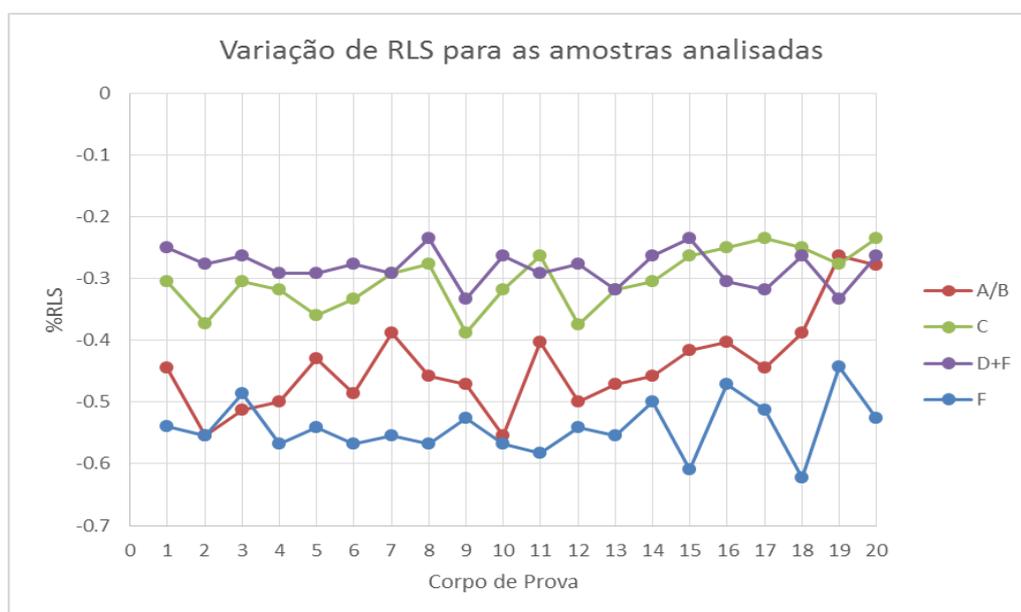
**Tabela 7.7 - Comparação entre a média dos resultados após secagem dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso.**

Nível	Densidade Aparente de Secagem ( $\text{g/cm}^3$ )	Retração Linear de Secagem (%)	Carga de Ruptura Instantânea (N)	Resistência à Flexão ( $\text{N/mm}^2$ )
A/B	2,11	-0,44	63,30	4,53
C	1,94	-0,30	43,67	2,64
D+F	1,94	-0,28	45,18	2,74
F	1,95	-0,54	60,40	3,62

O nível A/B apresenta valores de densidade aparente de secagem entre  $2,081$  e  $2,159 \text{ g/cm}^3$ , devido à densidade inicial calculada ser mais elevada, e apresenta o segundo maior valor de retração linear de secagem (encurtamento médio de  $0,44\%$ ), apresentando ainda assim a maior carga de ruptura à flexão a seco observada entre os níveis de Rio Verde de

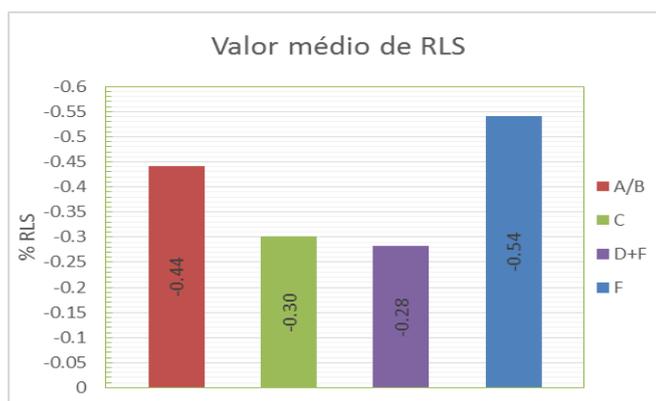
Mato Grosso. Os níveis C e D+F não apresentam diferenças significativas entre si durante a secagem, apresentando os menores valores de RLS (0,30% e 0,28%, respectivamente) e as maiores perdas de densidade após secagem. A carga de ruptura instantânea a seco apresenta valores muito baixos, em torno de 45 N. O nível F apresenta valores de DAS de 1,937 a 1,970 g/cm<sup>3</sup>, e o maior valor médio de RLS (em média 0,54% de encurtamento).

Em geral, os corpos de prova de uma mesma amostra apresentaram pouca variação na RLS (Figura 7.72), sendo que o nível F apresenta os maiores valores de RLS, e os níveis C e D+F apresentam os menores valores de RLS e são muito próximos entre si (Figura 7.73). O nível A+B apresenta a maior variação na RLS quando comparados os diferentes corpos de prova confeccionados para uma mesma amostra.



**Figura 7.72 - Gráfico de variação da retração linear de secagem dos corpos de prova das amostras de Rio Verde de Mato Grosso.**

As amostras dos níveis C e D+F apresentam menor RLS devido à presença significativamente maior de caulinita, maior proporção de quartzo e feldspato em relação ao volume total da amostra, e notável presença de mica, o que faz com que grande parte da umidade presente nas amostras seja alocada em poros (espaços entre grãos). Esta água de poros é facilmente eliminada, mantendo o arcabouço dos grãos que compõem os corpos de prova. Isto se reflete na densidade aparente de secagem, sendo que para as amostras C e D+F, houve a menor retração linear e a maior diminuição na densidade, ou seja, a porosidade foi eficiente para permitir o escape da umidade.



**Figura 7.73 - Gráfico de comparação entre a média dos valores de retração linear de secagem dos corpos de prova de Rio Verde de Mato Grosso.**

Os maiores valores de RLS obtidos para o nível F são resultado da presença significativa de argilominerais expansivos interestratificados identificados na fração fina, e menor proporção de quartzo. No nível F, é registrada a maior concentração de mica/illita, e caulinita em menor proporção, e entende-se que a illita provavelmente passou por processo de alteração, gerando montmorillonita e caulinita, o que explica a maior RLS. Uma vez submetidos à umidade, estes argilominerais tendem a reter água entre os estratos, provocando aumento das distâncias interplanares. Com a secagem, esta água de formação é facilmente retirada da estrutura, colapsando as camadas e diminuindo o espaçamento interplanar, provocando a retração.

#### 7.5.1.4 Propriedades após a queima

Parte dos corpos de prova conformados por prensagem foi levada para queima em forno de rolo a gás natural a 900°C e parte a 1000°C por 1 hora (não houve requeima). Os valores médios de densidade aparente após a queima (DAQ), retração linear após queima (RLQ), carga de ruptura instantânea (CRQ), módulo de ruptura à flexão (MRFQ) e absorção de água após a queima (AA) a 900°C podem ser observados na Tabela 7.8. Os valores médios de DAQ, RLQ, CRQ, MRFQ e AA a 1000°C podem ser observados na Tabela 7.9. Os valores de retração linear são expressos com sinal negativo (-) para destacar o tipo de variação nas dimensões dos corpos de prova.

Para as amostras dos níveis A/B e F, houve retração, enquanto as amostras dos níveis C e D+F apresentaram dilatação após a queima. A 1000°C, a RLQ dos níveis A/B e F foram maiores do que a RLQ a 900°C, enquanto para as amostras C e D+F observa-se que os valores

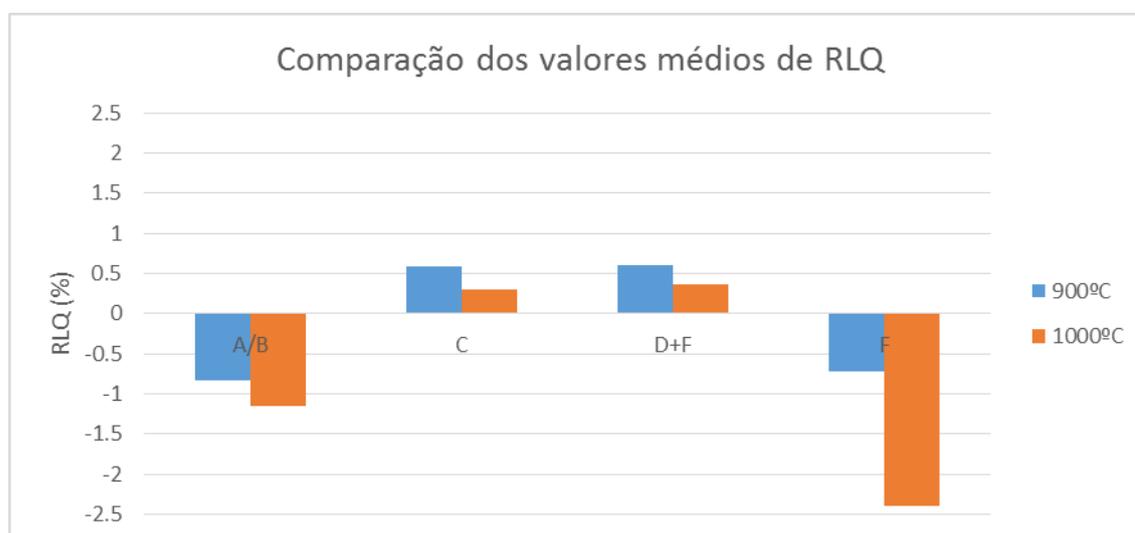
de expansão a 1000°C são menores do que a 900°C (Figura 7.74), indicando pequeno acréscimo na sinterização, atestado pelos maiores valores de resistência a flexão e menores de absorção de água (Tabela 7.9).

**Tabela 7.8 - Comparação entre a média dos resultados após a queima a 900°C dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso.**

Nível	Densidade Aparente de Queima (g/cm <sup>3</sup> )	Retração Linear de Queima (%)	Carga de Ruptura Instantânea (N)	Resistência à Flexão (N/mm <sup>2</sup> )	Absorção de Água (%)
A/B	1,95	-0,83	437,48	32,25	11,62
C	1,80	0,59	67,88	4,13	17,26
D+F	1,80	0,61	54,89	3,25	16,89
F	1,83	-0,72	216,66	13,60	15,66

**Tabela 7.9 - Comparação entre a média dos resultados após a queima a 1000°C dos diferentes níveis de matérias primas de Rio Verde de Mato Grosso.**

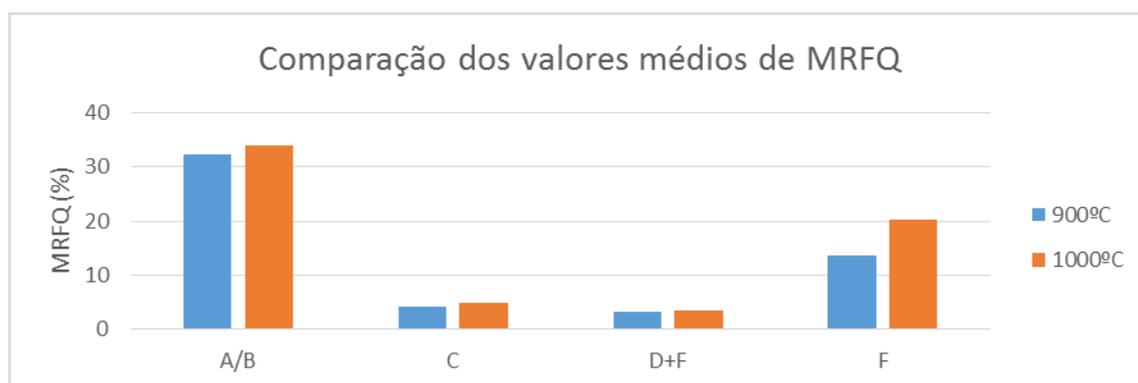
Nível	Densidade Aparente de Queima (g/cm <sup>3</sup> )	Retração Linear de Queima (%)	Carga de Ruptura Instantânea (N)	Resistência à Flexão (N/mm <sup>2</sup> )	Absorção de Água (%)
A/B	1,86	-1,15	510,71	34,03	9,25
C	1,81	0,29	80,62	4,98	17,19
D+F	1,81	0,37	59,05	3,54	16,4
F	1,93	-2,40	310,58	20,20	11,87



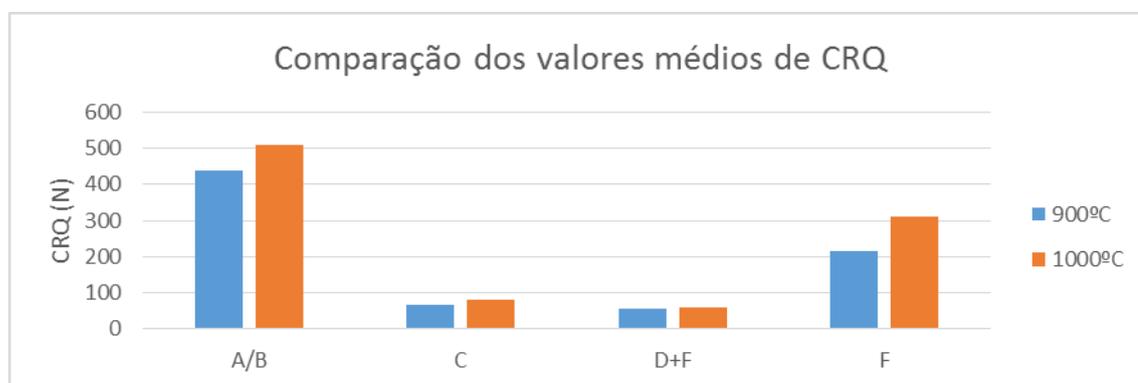
**Figura 7.74 - Gráfico de comparação entre a média dos valores de retração linear de queima a 900°C e a 1000°C dos corpos de prova de Rio Verde de Mato Grosso.**

Os níveis C e D+F apresentam os menores valores de MRFQ e CRQ (Figuras 7.75 e 7.76 respectivamente), provavelmente como reflexo da mineralogia, que nas temperaturas de queima utilizadas, não permitiram a reação entre as fases minerais presentes, havendo apenas

dilatação térmica do corpo de prova. A pequena expansão na queima pode resultar da rápida perda de água intraporos, o que se reflete na AA, que para estes níveis (C e D+F) é a maior entre todos os conjuntos. Como a expansão foi menor a 1000°C do que a 900°C, pode-se inferir que será necessária temperatura de queima maior que 1000°C para que ocorra sinterização por fusão.



**Figura 7.75 – Gráfico de comparação dos valores médios de módulo de ruptura à flexão após a queima a 900°C e a 1000°C.**



**Figura 7.76 - Gráfico de comparação dos valores médios de carga de ruptura instantânea após a queima a 900°C e a 1000°C.**

As amostras dos níveis A/B e F apresentam diminuição na AA quando são comparadas a queima a 900°C e a 1000°C, enquanto as amostras C e D+F não apresentam mudança significativa na AA, com a variação na temperatura de queima (Figura 7.77). De acordo com a mineralogia observada no nível A/B, a temperatura de 900°C permitiu o início da sinterização pela reação da meta caulinita com álcalis proveniente da illita e óxido de ferro resultante da quebra da siderita com início de retração e diminuição da porosidade, e a

1000°C, a sinterização passa a ser mais eficiente, podendo ter ocorrido início da formação de fase líquida na amostra A/B e talvez F. Para o nível F, a reação deve se dar entre metacaulinita e a montmorillonita. Contudo para os níveis C e D+F, as temperaturas de queima utilizadas, não possibilitaram reações significativas entre metacaulinita e álcalis e não ocorreu a formação de fase líquida, de certa forma mantendo a densidade de poros, o que justifica a menor variação na absorção de água.

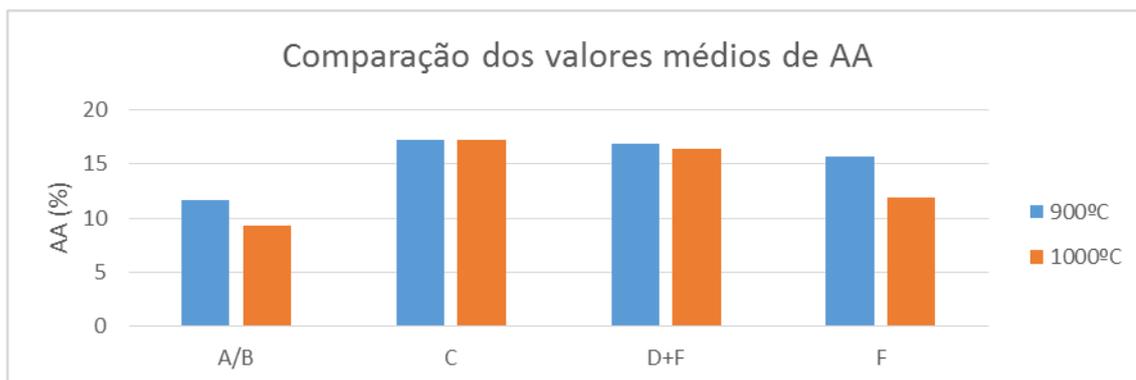


Figura 7.77 – Comparação entre os valores médios de absorção de água após a queima a 900°C e a 1000°C.

O comportamento cerâmico das amostras analisadas corresponde ao esperado de acordo com a composição química e mineralógica dos níveis submetidos aos ensaios físico-mecânicos. Como observado na Figura 7.78, as amostras que apresentam menor AA apresentam maior resistência à flexão (níveis A/B e F), enquanto que as amostras que apresentam alta AA possuem resistência à flexão muito baixa (níveis C e D+F).

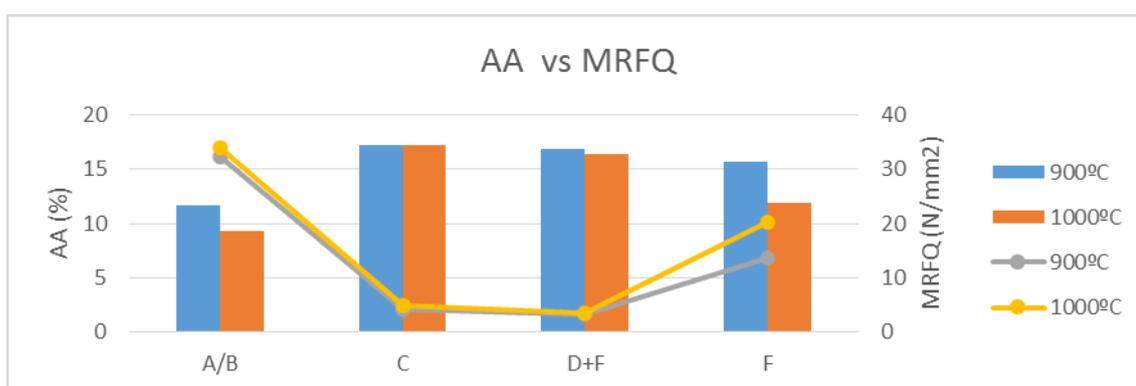


Figura 7.78 - Comparação entre os valores médios de absorção de água e módulo de ruptura à flexão após a queima a 900°C e a 1000°C.

## 8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na região de Rio Verde de Mato Grosso – Coxim afloram sedimentos correlacionados a formação Ponta Grossa que podem ser divididos em três pacotes de litologias distintas: folhelhos (níveis A, B e C); arenitos (níveis D e E) e siltitos/argilitos (nível F).

Com base nas características do material utilizado como matéria-prima para cerâmica o empilhamento foi subdividido em seis níveis (níveis A a F), sendo que os folhelhos da base podem ser divididos em “minério duro” (nível A), “minério intermediário” (nível B) e “minério mole” (nível C). Os arenitos por sua vez podem ser divididos em: nível D (pacote transicional, caracterizado por intercalações pouco espessas de arenitos arcossianos muito finos e folhelhos/siltitos argilosos) e nível E (pacotes expressivos de arenitos maciços ou com estratificação planar, glauconíticos, hematíticos, silicificados ou cimentados por carbonatos ou hematita/goethita). Os pacotes de rochas com diferentes graus de alteração depositados acima dos arenitos, por serem muito variáveis em termos de espessura e composição quando observado em diferentes localidades na região de Rio Verde de Mato Grosso, podem ser agrupados sob a designação genérica de “nível F”.

A combinação das técnicas de microscopia óptica e de difratometria de raios X permitiu estabelecer como composição mineralógica dos folhelhos a predominância de filossilicatos diversos (segundo a difratometria de raios X, predominantemente illita/micas - domínio de muscovita - e caulinita, com argilominerais expansivos ou interestratificados subordinados), diminuindo para o topo na medida em que aumenta a proporção de quartzo e feldspato (predominantemente microclínio, com raro plagioclásio). Para o topo também aumenta a proporção de caulinita em relação à illita e possivelmente também as micas, com provável alteração da biotita para argilominerais e/ ou menor contribuição da mica no sedimento.

Petrograficamente os arenitos são predominantemente arcossianos (quartzo-feldspáticos) com granulometria muito fina a fina, com laminação e/ou acamadamento incipiente a difuso. Mineralogicamente, representam um conjunto complexo de litotipos, a depender da proporção de minerais detríticos, diagenéticos e supérgenos que congregam em cada nível, contendo no geral alto potássio e baixo sódio. Segundo a difratometria de raios X, o pacote sobreposto aos arenitos, composto por argilitos siltosos, que aflora nas minas M1 e M3, é constituído predominantemente por caulinita, illita/mica e feldspatos, com proporções

de caulinita vs illita/mica relativamente próximas. As matérias primas da mina de Coxim, que aparenta representar este pacote (nível F), apresentam plasticidade e comportamento na secagem diferente quando comparadas ao mesmo nível nas outras minas, o que pode ser explicado pela presença de argilomineral expansivo (vermiculita?) e maior grau de alteração.

Em relação à composição química dos níveis com potencial para uso na formulação de massas cerâmicas, temos baixo teor de óxido de cálcio (CaO), o que se reflete em pouco ou nenhum conteúdo em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub> - calcita), presença satisfatória de álcalis (óxido de potássio relativamente alto e óxido de sódio baixo, resultante da ausência ou rara ocorrência de albita e outros tipos de plagioclásio), e relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> indicativa de concentração de elementos refratários. As situações que merecem atenção na questão da formulação de massas são o teor de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T), e o LOI elevado associado à presença de argilominerais, principalmente nos casos em que estes tenham sido identificados como expansivos, ou associados à presença de matéria orgânica; bem como a presença de sulfeto de ferro (FeS<sub>2</sub> - pirita) disseminado ou como concreções e vênulas de sulfato de cálcio hidratado (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O - gipsita) e/ou de carbonato de cálcio (calcita).

Os estudos mostram que o nível basal das minas M1, M2 e M3 são os mais reativos, ou seja, favorecem a sinterização. Entretanto, podem conter pirita, que dependendo do produto e das dimensões dos grãos resultantes da moagem, gerarão problemas pontuais durante a queima. A composição geral mostra que a matéria-prima proveniente da Formação Ponta Grossa é adequada para a produção de cerâmica estrutural (telhas, tijolos e lajes). Para a produção de revestimentos, esta matéria-prima apresenta comportamento moderadamente refratário, indicado pela proporção SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e pela composição mineralógica. Este comportamento foi comprovado pelos ensaios cerâmicos realizados e, além disso, esta matéria-prima também possui vários outros aspectos que podem acarretar defeitos nos produtos, decorrentes da composição da rocha sedimentar e de sua alteração.

Os principais contaminantes presentes nas lavras visitadas são a presença de níveis fosfáticos, a presença de níveis hematíticos/ferruginosos, percolações de óxidos/hidróxidos de ferro em descontinuidades, distribuição heterogênea de nódulos de pirita e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), leitões e vênulas de calcita e gipsita e a ocorrência de eflorescências minerais na própria rocha, que se propagam para as peças produzidas no polo. As eflorescências mais comuns são de calcita, gipsita, melanterita (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) e de sulfatos hidratados complexos não determinados.

A presença de pirita nos estratos menos alterados, em especial, nos de coloração mais escura, propicia por alteração a geração de ácido sulfúrico, que ataca os sedimentos acelerando a alteração. O ácido sulfúrico diminui o pH tornando o meio ácido, dissolvendo carbonatos, liberando cálcio e ferro, fato que possibilita a formação de vênulas e crostas de sulfatos (gipsita) e de oxi-hidróxidos de ferro. Este processo diminui a acidez do meio, aumentando o pH, o que permite a precipitação novamente de carbonatos (calcita). Entretanto, nem todo o cálcio e ferro são precipitados na forma de sulfatos, oxi-hidróxidos e carbonatos, ficando em solução na água presente nos poros das rochas sedimentares. Com a secagem da matéria-prima e dos produtos cerâmicos, ocorre a evaporação da água contida nos poros, aumentando a concentração de ferro e cálcio, gerando eflorescências que causam manchas nos produtos queimados.

Na produção de revestimentos o combate a eflorescências de sulfatos é feito utilizando carbonato de bário ( $\text{BaCO}_3$  - witherita), cujo efeito é a fixação do radical sulfato pela formação de sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$  - barita). A formação de barita pode, entretanto, gerar outros defeitos futuros, visto que o mineral pode crepitar (“explodir”) com o aumento da temperatura, o que pode potencializar trincas durante a queima.

Além disso, de acordo com o nível que está sendo lavrado, a água intersticial (intraporos) é rica no radical carbonato em vez de sulfato, e neste caso o uso do carbonato de bário não é eficaz para minimizar a formação de eflorescências. Entre outros controles, é necessário monitorar os tipos de compostos químicos presentes na água naturalmente contida na matéria-prima, para poder escolher e dosar o aditivo mais adequado para minimizar os efeitos da eflorescência. Eflorescências, entretanto, não devem ocorrer quando os níveis utilizados para fabricação cerâmica possuem menor proporção ou ausência de carbonatos, como é o caso dos níveis C, D e F.

As vênulas e crostas de sulfatos e carbonato, por sua competência em relação ao material encaixante, normalmente geram fragmentos com dimensões superiores à média da granulometria de moagem, o que resultará em defeitos pontuais após a queima, deteriorando a superfície dos revestimentos por pontuações, poros e pequenas crateras. Durante a queima a gipsita perde água formando sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$  - anidrita) e a calcita gera óxido de cálcio (CaO) pela perda de  $\text{CO}_2$ . Estes componentes ( $\text{CaSO}_4$  e CaO respectivamente) resultam em defeitos devido à expansão por umidade após a queima. O CaO já inicia a expansão durante o final do resfriamento, e esta continua a ocorrer até todo CaO transformar-se em

hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$  - portlandita) ou mesmo  $\text{CaCO}_3$ , durante a permanência no estoque, transporte, assentamento e após ao assentamento do revestimento. A reação do  $\text{CaSO}_4$  para  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  é mais lenta, e também gera expansão, que deve ocorrer por umidade após o assentamento. Levando isso em consideração, estes pisos e/ou revestimentos devem ser usados com cautela em áreas muito úmidas, pelo risco de apresentarem manchas e trincamento nestas condições.

O fosfato e os leitos ou concreções ricas em hidróxidos/óxidos de ferro em função da competência maior resultam em dificuldade de cominuição e resultam fragmentos maiores, que podem gerar pequenos defeitos pontuais em função da coloração diferente e sutil saliência na superfície.

Os revestimentos tipo *cotto* produzidos atualmente no polo cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso podem ser classificados segundo a ABNT NBR 13817:1997 (ABNT, 1997b) como não esmaltados (UGL), tipo A (extrudados), com a absorção de água maior que 10% (tipo III - poroso). Quando a matéria-prima da região é processada por prensagem, queimada tanto a  $900^\circ\text{C}$  como a  $1000^\circ\text{C}$ , mantém a absorção de água próxima ou superior a 10%, sendo classificado como um revestimento tipo BIII. Os níveis A e B, com queima a  $1000^\circ\text{C}$  podem ser classificados como um revestimento tipo BIIb, entretanto com absorção de água próximo ao limite superior desta classificação (9,25%). Provavelmente, em temperatura de queima de  $1100^\circ\text{C}$ , o revestimento prensado dos níveis A, B e F também se enquadrarão na classificação de revestimentos do tipo BIIb. Os níveis C e D, e conseqüentemente a mistura atualmente utilizada para a fabricação de revestimentos por via úmida, mesmo com temperatura de queima superior, provavelmente não atingirão esta classificação.

Em resumo, os pacotes de rochas atribuídos à Formação Ponta Grossa nos municípios de Rio Verde de Mato Grosso e Coxim têm comportamento físico-mecânico satisfatório para a produção de peças cerâmicas, extrudadas ou prensadas, tanto para cerâmica estrutural como para fabricação de revestimentos rústicos. Entretanto, apresentam diversas circunstâncias que devem ser contornadas, principalmente no caso dos revestimentos, o que de fato limita o uso desta matéria-prima. A solução destes problemas demanda investimentos que, apesar de otimizarem o aproveitamento das peças, diminuir o impacto ambiental e melhorar a qualidade do produto final, representam um acréscimo significativo nos custos da produção. O aumento na temperatura de queima, a aditivação para neutralização de manchas e eflorescências, a adequação dos procedimentos de britagem e moagem, todos possuem soluções que

demandam investimentos de curto e de longo prazo. Cabe ao(s) investidor(es) e aos produtores determinarem se estes investimentos realmente contribuirão para a melhoria e o desenvolvimento do Polo Cerâmico de Rio Verde de Mato Grosso e para a economia da região centro-norte do Estado do Mato Grosso do Sul.

## 9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. **Contribuição à Geologia de Goiás e Mato Grosso**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1948. 15 p. (Notas Preliminares e Estudos, nº 45).

ALMEIDA, F. F. M. **Geologia da Serra da Bodoquena**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1965. 96 p. *ilust.* Boletim nº 219.

ALMEIDA, G. M. B. et al. GLOSSÁRIO DE REVESTIMENTO CERÂMICO. **Cadernos de Terminologia**, São Paulo, n. 4, p.03-56, dez. 2011. Disponível em: <[http://citrat.fflch.usp.br/sites/citrat.fflch.usp.br/files/u10/Cadernos04\\_final.pdf](http://citrat.fflch.usp.br/sites/citrat.fflch.usp.br/files/u10/Cadernos04_final.pdf)>. Acesso em: 06 dez. 2013.

ANTHONY, J. W. et al. **Handbook of Mineralogy**. Chantilly: Mineralogical Society Of America, 1990-2003. 3960 p. Disponível em: <<http://www.handbookofmineralogy.org/>>. Acesso em: 30 jan. 2014.

ASSINE, M.L.; SOARES, P.C.; MILANI, E.J. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n.2, p. 77-89, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997a. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997b. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818 VERSÃO CORRIGIDA 1997**: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997c. 78 p.

BARBA, A. et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 2. ed. Castellón, Espanha: Instituto de Tecnología Cerámica – ITC/AICE; Castañeda, 2002.

BHATIA, M. R.. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. **The Journal Of Geology**, Chicago, v. 91, n. 6, p.611-627, 1983.

BHATIA, M. R.; CROOK, K. A. W.. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. **Contributions To Mineralogy And Petrology**, Springer-Verlag, v. 92, p.181-193, 1986.

BIGARELLA, J. J. (Ed.). **Problems in Brazilian Devonian Geology**. Curitiba: Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1967. 151 p. *Published under the auspices of Conselho de Pesquisas e Instituto de Geologia da Universidade Federal do Paraná.*

BIGARELLA, J. J.; OLIVEIRA, M. A. M.. Nota preliminar sobre as direções de transporte dos arenitos Furnas e Botucatu na parte setentrional da Bacia do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, v. 18, n. 20, p.247-256, 1966.

BLOTT, S.J.; PYE, K. Gradstat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p.1237-1248, 2001.

BOGGIANI, P.C.; COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; GESICKI, AL.D. Recursos Minerais Não-metálicos do Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista IG São Paulo**. São Paulo, v. 19(1/2), p. 31-41, jan/dez/1998.

BOGGIANI, P.C.; GESICKI, AL.D.; COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C. Argilas das Formações Ponta Grossa e Aquidauana em Mato Grosso do Sul. IX Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 9 Campo Grande, nov./1994. **Boletim de Resumos ...** Campo Grande, UFMS, p. F. 3-001.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.. **Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 158 p.

CETEC SENAI (Mato Grosso do Sul). **Relatório de ensaio em matéria-prima**. Rio Verde de MT/MS: LABSENAI, 2011. 9 p. *Relatório Interno*.

CETEC SENAI (Mato Grosso do Sul). **Relatório de ensaio em matéria-prima**. Rio Verde de MT/MS: LABSENAI, 2012. 14 p. *Relatório Interno*.

CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL DOS PRODUTOS CERÂMICOS. Elaborado por Cerâmica ATLAS.

Disponível em: <[http://www.ceratlas.com.br/ceramicaatlas/upload/manuais/Novo/classificacao\\_comercial.pdf](http://www.ceratlas.com.br/ceramicaatlas/upload/manuais/Novo/classificacao_comercial.pdf)>

Acesso em: 15 dez. 2014.

CORRÊA, J. A. et al. Geologia das regiões Centro e Oeste de Mato Grosso. **Projeto Bodoquena**. Goiânia: DNPM/CPM, 1976. Relatório Final.

CORREIA JUNIOR, F. C.; ABRAM, M. B.. Potencial e mineralização de rochas fosfáticas de idades Devonianas da Bacia do Amazonas, estado do Pará. In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2014. Salvador: SBG, 2014.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J.. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. New York: Wiley, 1966. 528 p.

DEL'ARCO, J. O. et al. Geologia. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL: Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20**. Rio de Janeiro: MME-SG, 1982. p. 25-160. (Levantamento de Recursos Naturais, 27)

DERBY, O. A.. Geologia da Província diamantífera de Provincia do Paraná no Brasil. **Arquivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 3, p.89-96, 1878.

DERBY, O. A.. Nota sobre a geologia e paleontologia de Mato Grosso. **Arquivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 9, p.59-88, 1896.

EVANS, J. W.. . The geology of Matto Grosso (particularly the region drained by the Upper Paraguay). **Quarterly Journal Of The Geological Society**, Londres, v. 50, p.85-102, 1894.

FRANCO, M. S. M.; PINHEIRO, R.. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL: Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20**. Rio de Janeiro: MME-SG, 1982. p. 161-215. (Levantamento de Recursos naturais, 27).

GONÇALVES, C. Capacidade Produtiva dos APLs de Cerâmica Vermelha. Brasília, 6<sup>o</sup> Conferência Brasileira de Arranjos Produtivos Locais. Disponível em: <[http://portalapl.ibict.br/export/sites/apl/galerias/6CBAPL/apresentacoes/dia-4-sala-2-Mesa\\_Tematica\\_Capacidade\\_Produtiva\\_Cesar\\_Vergilio\\_ANICER.pdf](http://portalapl.ibict.br/export/sites/apl/galerias/6CBAPL/apresentacoes/dia-4-sala-2-Mesa_Tematica_Capacidade_Produtiva_Cesar_Vergilio_ANICER.pdf)>. Acesso em 01 jul. 2015.

GOOGLE. **Google Mapas**. 2015. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

GROMET, L. P. et al. The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, v. 48, p.2469-2482, 1984. Disponível em: <[http://epsc.wustl.edu/~rlk/papers/gromet\\_et\\_al\\_1984\\_gca\\_nasc.pdf](http://epsc.wustl.edu/~rlk/papers/gromet_et_al_1984_gca_nasc.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2014.

HASKIN, M. A.; FREY, F. A.. Dispersed and not-so-rare earths. **Science**, Washigton, v. 152, p.299-314, 1966.

HASKIN, M. A.; HASKIN, L. A.. Rare earths in European shales: a redetermination. **Science**, Washington, v. 154, p.507-509, 1966.

HASUI, Y. et al (Org.). **GEOLOGIA DO BRASIL**. São Paulo: Beca, 2012. 900 p.

HEINRICH, E. W. M.. **Petrografía Microscópica**. 2. ed. Barcelona: Ômega, 1972. 320 p. Tradução de: Pablo Martínez Strong.

HERRON, M. M.. Geochemical Classification of terrigenous sands and shales from core or log data. **Journal Of Sedimentary Petrology**, Boulder, v. 58, p.820-829, 1988.

IANHEZ, A. C. et al. Geologia. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL: Folha SE. 22 Goiânia**. Rio de Janeiro: MME-SG, 1983. p. 23-348. (Levantamento de Recursos Naturais, 31).

IBGE. **COXIM**. 2013a.

Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/cidadesat/xtras/home.php>>. Acesso em: 26 nov. 2013.

IBGE. **Rio Verde de Mato Grosso**. 2013b.

Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index.php>>. Acesso em: 09 dez. 2013.

IBGE. **São Gabriel do Oeste**. 2013c.

Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/cidadesat/xtras/home.php>>. Acesso em: 09 dez. 2013.

JOST, H.; BROD, J. A.. **Como Redigir e Ilustrar Textos em Geociências**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. 93 p.

LACERDA FILHO, J.W. et al. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MT, MME, 235 p., 2004.

LACERDA FILHO, J.W. et al.. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul**. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICMEMS, MME, 121 p. 2006.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1992. 220 p.

LANGE, F. W.. Biostratigraphic subdivision and correlation of the Devonian in the Paraná Basin. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 21, n. 22, p.63-98, 1967.

LANGE, F. W.; PETRI, S.. The Devonian of the Paraná Basin. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 21, n. 22, p.5-55, 1967.

LARC UFSCAR (São Paulo). **Caracterização de massa industrial**. São Carlos: UFSCAR, 2003. 11 p. *Relatório Interno*.

LÓPEZ-GAMUNDÍ, O. R.; ROSSELLO, E. A.. Devonian- Carboniferous unconformity in Argentina and its relation to Eo-Hercynian orogeny in Southern South America. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v. 82, n. 1, p.136-147, 1993.

MAMEDE, L. et al. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAM BRASIL: Folha SE. 22 Goiânia**. Rio de Janeiro: MME-SG, 1983. p. 349-412. (Levantamento de Recursos naturais, 31).

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003. 312 p.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.265-287, 2007.

MILANI, E. J.. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MONTIBELLER, C.C.; ZANARDO, A. Nível fosfático da Formação Ponta Grossa em Rio Verde de Mato Grosso, MS. In. 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2014. Salvador: SBG, 2014.

MOREIRA, M. L. O. et al. Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal. **Programa Geologia do Brasil – Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil**.

Ministério de Minas e Energia. Governo do Estado de Goiás. CPRM, FUNMINERAL, 2008. 141 p.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M.. As Matérias-Primas Cerâmicas, Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 2, p.28-39, 2001.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.. IV.5 - FILOSSILICATOS. In: NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.. **Mineralogia**: Apostila Didática. 3. ed. Rio Claro: N.I., 2014. Cap. 4, p. 34.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology And Earth System Sciences**, v. 11, p.1633-1644, 2007.

PEREIRA, E. et al. Evolução das Sinéclises Paleozoicas: Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. In: HASUI, Yociteru et al (Org.). **GEOLOGIA DO BRASIL**. São Paulo: Beca, 2012. Cap. 5. p. 374-394.

PERROTTA, M.M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. São Paulo, CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil), 2005.

PETRELLI, M. et al. Petrograph: a new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, Wiley Online Library, v. 6, n. 7, p.1-15, jul. 2005. DOI 10.1029/2005GC000932. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GC000932/pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R.. **Sand and Sandstones**. New York: Springer-Verlag, 1972.

RIEDER, M. et al. Nomenclature of the micas. **Clays And Clay Minerals**, Houston, v. 46, n. 5, p.586-595, 1998. Disponível em: <<http://www.clays.org/journal/archive/volume46/46-5-586.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2015.

ROCHA, R.R. **Propriedades Químico-Mineralógicas e Cerâmicas de Rochas da Formação Corumbataí: Aplicação na Diversidade de Produtos**. 2012. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

ROLLINSON, H.. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. 3. ed. Singapore: Longman Group, 1993. 352 p.

SANCHES, A. L.. **Fosforitos Neoproterozoicos dos Grupos Vazante (MG) e Una (BA): Origem, Idades e Correlações**. 2012. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2012.

SUN, S. S.; MCDONOUGH, W. F.. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A. D.; NORRY, M. J. (Ed.). **Magmatism in ocean basins**. 42. ed. Londres: Geologic Society of London Special Publication, 1989. p. 313-345.

TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M.. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. **Philosophical Transactions Of The Royal Society A**, Londres, v. 301, p.381-399, 1981.

TUCKER, M. E.. **Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks**. 3. ed. N.I: Wiley-Blackwell, 2001. 272 p.

VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S.. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa: American Association Of Petroleum Geologists, 1977. p. 63-81. (AAPG. Memoir, 26).

VARGAS, M.. **Metodologia da pesquisa tecnológica**. Rio de Janeiro: Globo, 1985. 243 p.

VELDE, B. Green Clay Minerals. In: HOLLAND, H; TUREKIAN, K.. **Treatise on Geochemistry**. Amsterdam: ELSEVIER, 2013. 2. ed. v. 9, p. 351-364.

WAVER, B.; TARNEY, J.. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. **Nature**, Londres, v. 310, p.575-57, 1984.

WENTWORTH C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p.377-392, 1922.

WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M.. **Petrografia- Uma Introdução ao Estudo das Rochas em Seções Delgadas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1970. 445 p.

ZALÁN, P. V. et al. Bacia do Paraná. In: PETROBRÁS. **Origem e evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990. p. 135-164.

ZANARDO, A. et al. Formação Corumbataí na Região de Rio Claro/SP: Estratigrafia, Petrografia e Implicações Petrogenéticas. **Revista Geociências**, Rio Claro, 2015. Submetido.