



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALINE CRISTINA SOUSA DA SILVA

EVOLUÇÃO DE UM PERFIL LATERÍTICO DERIVADO DE BIF EM CARAJÁS

Belém-PA
2015

ALINE CRISTINA SOUSA DA SILVA

EVOLUÇÃO DE UM PERFIL LATERÍTICO DERIVADO DE BIF EM CARAJÁS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito de cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa.

Belém-PA
2015

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Silva, Aline Cristina Sousa da, 1991-
Evolução de um perfil laterítico derivado de BIF em Carajás / Aline
Cristina Sousa da Silva. – 2015.
47 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcondes Lima da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do
Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2015.

1. Minério de ferro - Carajás, Serra dos (PA). 2. Laterita – Carajás, Serra
dos (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 553.3098115

ALINE CRISTINA SOUSA DA SILVA

EVOLUÇÃO DO PERFIL LATERÍTICO DERIVADO DE BIF EM CARAJÁS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito de cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de Aprovação: 08/01/16

Conceito: _____

Banca Examinadora:



Prof. Marcondes Lima da Costa – Orientador
Pós-Dr. em Mineralogia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



Prof. Joel Buenano Macambira - Membro
Dr. em Geociências
Universidade Federal do Pará



Clóvis Wagner Maurity – Membro Externo
Msc. em Geologia e Geoquímica
Vale

“Dedico este trabalho de forma especial àqueles que me apoiaram de forma irrestrita, que souberam compreender minha ausência e que me deram força nos momentos mais difíceis desta trajetória: minha família.”

AGRADECIMENTOS

A Deus, o senhor de tudo;

À minha família, meu bem mais valioso, em especial a minha mãe Berenice Sousa;

Ao professor Dr. Marcondes Lima da Costa pela orientação e paciência;

À Vale pelo acesso a área investigada e disponibilização das amostras;

Ao Projeto Geociam pelo apoio analítico e de campo.

Ao Professor Dr. Joel Macambira pela orientação na descrição petrográfica;

Aos amigos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da UFPA, em especial ao Henrique Diniz, a Glayce Jolhy, a Socorro Progene, Pablllo Santos, Leonardo Negrão e a Fernanda Sobrinho pelo auxílio na execução das análises e discussão deste trabalho.

À CAPES, pelo financiamento do projeto de pesquisa e a concessão de bolsa de pesquisa (PQ) e taxa de bancada. E ao CNPq e ao DAAD pela bolsa de estudos concedida através do programa de intercâmbio Ciência sem Fronteiras;

Ao corpo docente da faculdade de geologia da UFPA, em especial ao e Prof. Dr. Claudio Lamarão e Prof. Dr. Rômulo Angélica pelo apoio com as análises laboratoriais respectivamente de MEV e DRX do Instituto de Geociências/UFPA;

A todos os companheiros de graduação do curso de geologia da UFPA e aos amigos.

RESUMO

A Província Mineral de Carajás (PA) destaca-se por sua riqueza em minério de ferro de alto teor, cuja origem ainda suscita ampla discussão. Neste sentido, o presente trabalho utiliza o perfil de alteração intempérica do furo de sondagem FN8-0021 na jazida N8 para demonstrar a forte contribuição da lateritização na formação do minério de ferro. Os métodos utilizados para o estudo foram: microscopia de óptica, análises mineralógicas por DRX, microscopia eletrônica de varredura e análises químicas totais por ICP/MS e FRX. Embora ocorra rocha máfica no substrato, os jaspilitos são claramente as rochas geradoras do perfil laterítico (protominério), demonstrados pela topossequência, em que se reconhece o horizonte saprolítico grosso, o saprolito fino, o horizonte terroso-argiloso e ainda uma crosta ferruginosa. As fases mineralógicas incluem oxi-hidróxidos de ferro tanto do protominério como neoformação, sendo: magnetita, maghemita, hematita, goethita e Al-goethita, além de quartzo, gibbsita e caulinita. O quartzo microcristalino está parcialmente presente no saprolito grosso, mas lixiviado já a partir do saprolito fino, tendo por consequência a concentração relativa dos oxi-hidróxidos de ferro. Os teores de Fe_2O_3 se enriquecem a partir do saprolito fino quando ultrapassam 80%, enquanto os de SiO_2 decrescem. O padrão de distribuição dos teores dos elementos químicos principais ao longo do perfil da base para o topo indica evolução laterítica. A estruturação do perfil do furo FN8-0021 se assemelha àquelas dos perfis lateríticos maduros desenvolvidos ainda no Paleoceno na Amazônia.

Palavras-chave: Minério de ferro - Carajás. Perfil laterítico. Serra dos Carajás (PA).

ABSTRACT

The Carajás Mineral Province (PA) stands out for its richness in iron ore of high grade, the origin of which still raises broad discussion. In this sense, this work uses the changing profile of weathering FN8-0021 borehole in the mine N8 to demonstrate the strong contribution of lateritization in the formation of iron ore. The methods used for the study were: optical microscopy, mineralogical analysis by XRD, SEM and total chemical analysis by ICP / MS and XRF. Although it occurs in mafic rock substrate, the jaspilites clearly are the source rocks of the laterite profile (protore), demonstrated by toposequence, which recognizes the thick saprolite horizon, the thin saprolite, the earthy-clay horizon and still a ferruginous crust. The mineralogical phases include iron oxy-hydroxides both protore as neof ormation, which are: magnetite, maghemite, hematite, goethite and Al-goethite, as well as quartz, kaolinite and gibbsite. The microcrystalline quartz is partially present in the thick saprolite, but already leached from thin saprolite, with the result the relative concentration of iron oxy-hydroxides. The Fe_2O_3 content are enriched from the thin saprolite when they exceed 80%, while the decrease of SiO_2 . The pattern distribution of the contents of the main chemical elements along the profile from bottom to top indicates lateritic evolution. The structuring of FN8-0021 drill hole profile is similar to those of mature lateritic profiles also developed during the Cenozoic in the Amazon.

Key words: Carajas iron ore. Lateritic profile. Carajas (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás (PMC).....	14
Figura 2 - Amostras de rochas máficas.....	15
Figura 3 - Perfil esquemático do Furo N8-0021/Carajás com fotografias de amostras representativas dos horizontes identificados no perfil.....	16
Figura 4 - Fragmento de rocha da zona inferior do saprolito grosso.....	20
Figura 5 - Fragmento reliquiar de jaspilito na zona superior do saprolito grosso.....	21
Figura 6 - Distintas manifestações de goethita na base do saprolito grosso.....	22
Figura 7 - Amostra de Jaspilito parcialmente alterado encontrado na zona superior do horizonte saprolito grosso.....	24
Figura 8 - Amostra de rocha do saprolito fino.....	25
Figura 9 – Amostra de rocha do terroso/argiloso.....	26
Figura 10- Imagem da Crosta ferruginosa típica do perfil investigado.....	27
Figura 11 - Feições texturais características dos óxidos e hidróxidos identificados (hematita, magnetita, maghemita, goethita).....	29
Figura 12 - Aspectos micromorfológicos dos principais minerais segundo imagens de MEV.....	30
Figura 13 - Distribuição dos teores dos elementos químicos mais abundantes do perfil laterítico do furo FN8-0021.....	32
Figura 14 – Diagrama de correlação geoquímica do perfil laterítico sobre o jaspilito em Carajás.....	33
Figura 15 – Diagrama de distribuição dos ETR (normalizados) por horizonte no Perfil N80021.....	39
Figura 16 - Diagrama de distribuição dos ETR normalizado aos condritos.....	39
Figura 17 - Textura em treliça em hematita pseudomórfica.....	40
Figura 18 – Diagrama Eh-pH do Fe.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 APRESENTAÇÃO.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 OBJETIVO	11
1.4 LOCALIZAÇÃO E FISIOGRAFIA	12
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	15
3.2 FASE DE CAMPO.....	15
3.3 MICROSCOPIA ÓTICA.....	15
3.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS E QUÍMICAS	16
4 RESULTADOS.....	18
4.1 ROCHA SUBSTRATO E/OU ROCHA-MÃE	18
4.2 SAPROLITO GROSSO	20
4.3 SAPROLITO FINO	24
4.4 TERROSO/ARGILOSO.....	25
4.5 CROSTA FERRUGINOSA	26
4.6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	31
5 DISCUSSÕES	40
6 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Carajás é uma Província mineral dominada por minérios de Fe, Cu, Mn, Au, e Ni, cuja evolução geológica e metalogenética por conta de diversos estudos (CUNHA et al., 1984; DOCEGEO, 1988; HIRATA et al., 1982; SILVA et al., 1974; entre outros) já é em parte bem conhecida. No entanto, a origem do minério de ferro propriamente dita e sua relação com as Formações Ferríferas Bandadas (BIF) ainda não foram convenientemente investigadas e por isso suscita muitas controversas. As reservas das jazidas na Serra dos Carajás foram da ordem de 18 bilhões de toneladas, 65 % de Fe contido (LINDERMAYER et al., 2001). As BIF de origem sedimentar-metamórfica (itabiritos) ou sedimentar (jaspilitos) representadas por alternância de camadas de quartzo microcristalino e de oxi-hidróxidos de ferro (hematita e magnetita) ou mesmo silicatos e carbonatos destes. As camadas ou bandas de ferro devem conter 15 % ou mais de ferro (GROSS, 1980; JAMES, 1954). As BIF se formaram preponderantemente durante o Arqueano-Paleoproterozóico (3.8 a 1.9 Ga) (JAMES, 1983).

As concentrações supergênicas de ferro a partir de formações ferríferas são a principal fonte de ferro para a indústria siderúrgica mundial, que aliada a sua importância para a história da Terra, têm sido extensivamente estudadas durante os últimos cem anos, mas muitos aspectos de sua origem sedimentar permanecem enigmáticos, até porque processos modernos análogos que pudessem auxiliar no seu entendimento são desconhecidos (BEKKER, 2010).

A espessa cobertura laterítica em Carajás oblitera a observação de rochas frescas, restritas apenas aos testemunhos de sondagem (LINDENMAYER, et al. 2001). Além disso, essas rochas foram intensa e extensivamente alteradas por hidrotermalismo, principalmente as rochas vulcânicas associadas, como consequência das intrusões de diversos granitóides, enriquecendo-as em elementos incompatíveis, com consequente mobilização de álcalis e sílica (LINDENMAYER et al., 1995). Segundo Costa et al. (2005) essas rochas e outras em várias regiões da Amazônia foram durante o Cenozóico modificadas intensamente pela lateritização matura e intensa atividade erosional.

“A região amazônica está situada em zona tropical desde o final do Mesozóico (TARDY et al., 1991) e desde então vem experimentando prolongados períodos de clima quente e úmido, alternando-se com períodos secos, registrados na forma de extensos e espessos mantos de lateritos (TARDY et al., 1991; COSTA, 1991a) e solos derivados destes (COSTA, 1991b; COSTA, 1997). Os lateritos desta região normalmente estão

constituindo a superfície dos terrenos atuais e se manifestam tanto por crostas ferruginosas ou ferroaluminosas, como também por espessos pacotes de solos arenoargilosos a oncrecionários de cor amarela até vermelha (classificados normalmente como Latossolos ou Podzólicos Amarelos ou Vermelhos), sendo estes muito mais comuns e extensos (COSTA, 1991a; COSTA; ARAÚJO, 1996; TARDY et al., 1991). Terrenos cobertos com crostas ferruginosas ou ferroaluminosas lateríticas formam e sustentam expressões serranas como a Serra dos Carajás (serras Norte e Sul), as Serras do Maicuru, Maraconaí, Pirocaua, Piriá, Itacupim, Seis Lagos, entre outras (COSTA, 1991a; COSTA e ARAÚJO, 1997; COSTA e LEMOS, 2000; COSTA, et al. 2002), que representam uma parcela de superfícies mais antigas, correlacionadas com a Superfície Sul Americana.” (COSTA et al., 2005).

1.2 JUSTIFICATIVA

Muitos trabalhos já foram realizados na região da Serra dos Carajás no Pará, no sentido de se determinar a fonte do ferro e do silício presentes nas BIFs, os aspectos físico-químicos referentes à sua deposição, a composição da atmosfera e hidrosfera durante a deposição etc. (FIGUEIREDO, 2009; LINDENMAYER, 2001; COSTA, et al., 2006; MACAMBIRA e SCHRANK, 2002 entre outros)

Entretanto, as BIF não apresentam teor de Fe econômico (15 % ou mais de Fe segundo JAMES, 1954; GROSS, 1980), somente o sendo (> 65 % de Fe) quando fortemente enriquecidas pelo intemperismo laterítico. Concentrações elevadas de Fe sob a forma de hematita compacta e maciça são frequentes, mas não formam grandes volumes, e parecem representar enriquecimento hidrotermal, conforme defendido por Figueiredo (2009). O estudo mais recente que mostra a importância do intemperismo laterítico para a formação do minério de ferro em Carajás é de Costa et al. (2011).

A contribuição laterítica foi identificada já nos primeiros estudos realizados em Carajás (Tolbert et al., 1971), porém os estudos mais recentes se preocuparam tão somente com o protominério, ou mesmo confunde o protominério com minério, a exemplo de Costa (2006).

1.3 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo investigar do ponto de vista geológico, mineralógico e geoquímico de um perfil laterítico derivado de BIF (jaspilito), no domínio das jazidas de ferro, a partir de um furo de sondagem na jazida N8 e avaliar a contribuição da lateritização para a formação do minério de ferro de Carajás.

1.4 LOCALIZAÇÃO E FISIOGRAFIA

O furo de sondagem N8-0021 foi realizado na jazida de ferro na porção sul da Serra Norte, a cerca de 60 km de Parauapebas. A Serra Norte é dominada por superfície alta e fortemente ondulada, conhecida também por platôs, com encostas íngremes e coberta por floresta densa, enquanto o seu topo é dominado tanto por floresta arbustiva como por floresta.

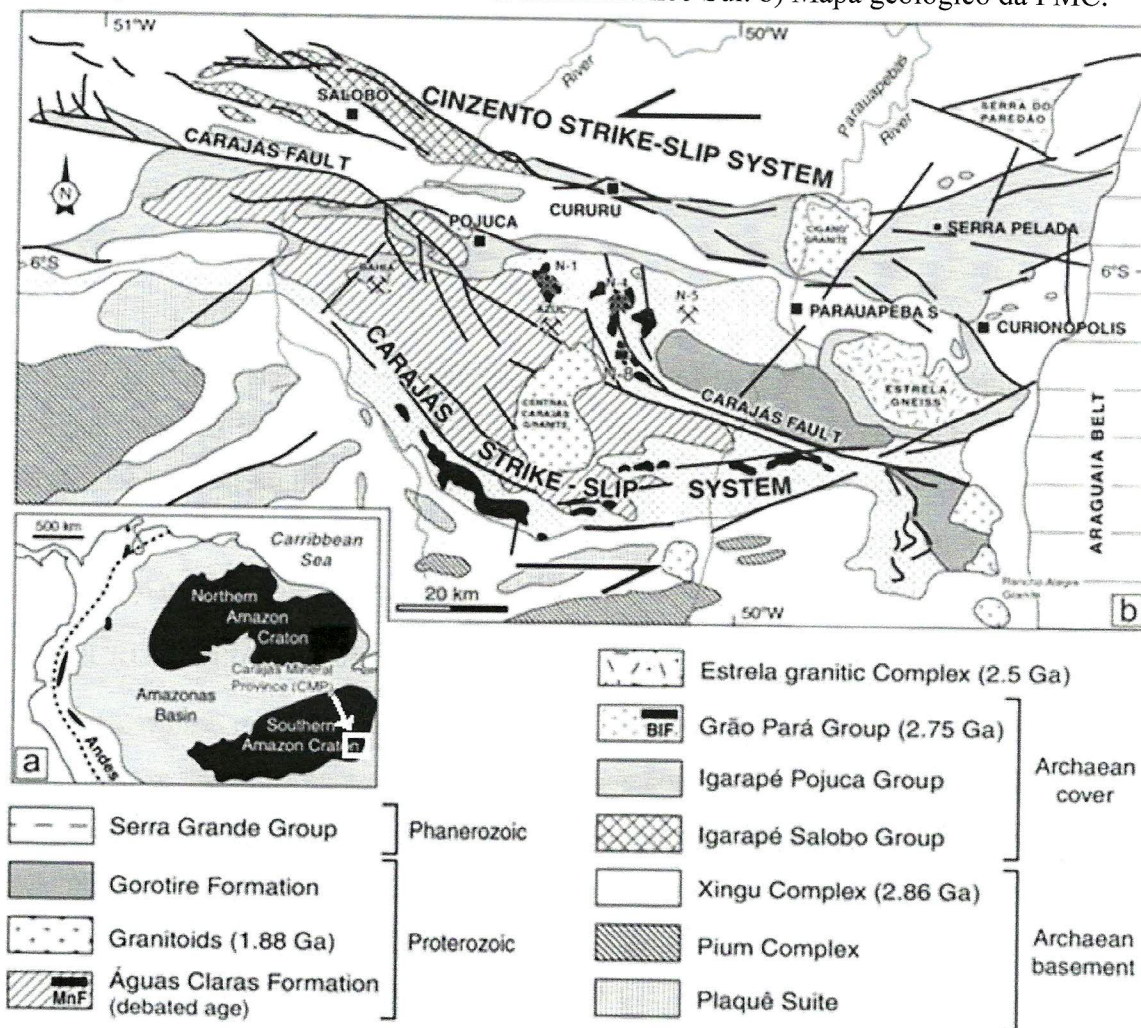
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Província Mineral de Carajás (PMC) ocupa a porção sudeste do Cráton Amazônico e integra a Província Amazônia Central (figura 1). Formou-se e se estabilizou tectonicamente ainda no Arqueano e compreende três domínios tectônicos de direção leste-oeste (COSTA, et al. 1995; DOCEGEO, 1988). Ao norte o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas; no centro, o terreno granito *greenstone* de Rio Maria; e a sul, o terreno granito-*greenstone* de Inajá, também denominado por Costa et al. (1995) de Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco.

O Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, superimposto ao Complexo Xingu, compreende a sequência metavulcano-sedimentar do Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988) com idades entre 2,73 e 2,76 Ga (TRENDALL et al., 1998; WIRTH et al., 1986), que por sua vez envolve as unidades do Supergrupo Itacaiúnas, que foram depositadas em ambiente distensivo de rifte ensiálico (DOCEGEO, 1988; GALARZA et al., 2003; VILLAS e SANTOS, 2001), associado a zonas de subducção (DARDENNE et al., 1988; MEIRELLES & DARDENNE, 1991) ou, alternativamente, à uma bacia do tipo *pull apart*, gerada em fase inicial dúctil e transtensiva neoarqueana do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (ARAÚJO et al., 1988). O Supergrupo Itacaiúnas foi afetado por vários eventos intrusivos, com idades entre: ~2,7 Ga a 1,58 Ga (AUGUSTO et al., 2008).

Segundo Augusto et al., (2008) os depósitos de óxido de ferro de Carajás se caracteriza por apresentar: (i) rochas hospedeiras variáveis, na maioria dos casos incluindo unidades metavulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas; (ii) associação com zonas de cisalhamento; (iii) proximidade com intrusões de diferentes composições; além dessas características, esses depósitos apresentam enriquecimentos em ETRL, P, Ni, Co, e, em alguns casos, Ag, Mo, U, Th, Y, Pd, Zn, Te e Sn, análogos aos descritos em depósitos da classe de óxido de ferro-cobre-ouro (IOCG) em outras províncias mundiais (AUGUSTO et al., 2008; GRAINGER et al., 2008; HITZMAN, 2000; WILLIAMS et al., 2005).

Figura 1 – Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás (PMC). a) Localização da PMC no domínio do Cráton Amazônico Sul. b) Mapa geológico da PMC.



Fonte: Modificado de Fabre et al.(2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa consistiu em um levantamento bibliográfico com ênfase às formações ferríferas bandadas, sua relação estratigráfica com rochas vulcânicas básicas e os processos de intemperismo laterítico tanto ao nível regional, nacional, como mundial.

3.2 FASE DE CAMPO

Os trabalhos de campo e de descrição de furos de sondagem em Casa de Testemunhos de Sondagem da Vale foram realizados pelo professor Marcondes Costa e os geólogos: Luiz Cláudio Costa da Vale e Henrique Diniz. Eles elaboraram o perfil geológico de alteração e paralelamente coletaram 28 amostras ao longo do furo N8-0021 (coordenadas: Y 9.318.383,569 e X 592.917,774 com o azimute $44^{\circ}13'29''$ e mergulho $-74^{\circ}41'13''$) no intervalo de 0 a 119m de profundidade, compreendendo material superficial até a rocha sã.

3.3 MICROSCOPIA ÓTICA

Com base no perfil geológico prévio e nas descrições mesoscópicas em laboratório, selecionou-se amostras para estudos petrográficos com auxílio de microscopia ótica em luz refletida e transmitida. Para este fim foram confeccionadas lâminas delgadas e seções polidas dos principais aspectos de alteração laterítica e do minério, bem como da rocha sã (protominério e rochas associadas). Foram aplicados os métodos de luz refletida e transmitida, utilizadas para os minerais opacos (GALOPIN, 1972) e transparentes, respectivamente, enfatizando os aspectos texturais, estruturais, a relação de contato e substituição entre a assembleia mineral, descritas de forma quantitativas e qualitativas.

A descrição das rochas ao longo do perfil e a análise de suas características estruturais, mineralógicas e químicas, possibilitaram a interpretação dos processos que resultaram na formação do minério de ferro na mina N8. Essas análises foram realizadas com principalmente na zona inferior do perfil de alteração, onde as evidências estão mais pronunciadas do jaspilito até o minério. As evidências de alteração se evidenciam através da perda de textura da rocha primária, da perda da banda de jaspe, da mudança intensa na coloração, no surgimento de porosidade, com formação de cavidades, na perda de consistência da rocha, formação de material placoso e pulverulento e então concreções. Estas observações foram fundamentais para estabelecer o grau relativo de resistência à dissolução entre os minerais presentes o que permitiu inferir a sequência do processo.

3.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS E QUÍMICAS

Todas as 28 amostras foram analisadas por Difração de Raios x (DRX), método do pó, para identificação das principais fases mineralógicas. Essas análises foram auxiliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acopladas a sistema de análises químicas por EDS. As análises de MEV também foram utilizadas como método auxiliar na confecção de imagens e análises semiquantitativas por EDS.

As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Caracterização Mineral (DRX-IG-UFPA), utilizando um difratômetro PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60). A aquisição dos dados foi através do software X'Pert Data Collector, versão 2.1a e o tratamento dos dados com X'Pert HighScore versão 2.1b. Inicialmente os dados foram interpretados pelo geólogo Henrique Diniz Farias de Almeida e a bolsista de iniciação científica Joana D'Arc da Silva Queiroz.

As análises por MEV foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura - LABMEV do IG-UFPA. O equipamento empregado foi o MEV de modelo LEO-1430. Análises químicas semi-quantitativas foram realizadas nas fases minerais de maior interesse para a pesquisa, por meio de espectrometria de energia dispersiva de raios-x (EDS).

As análises químicas foram realizadas em laboratório comercial da Acme Ltd em 23 amostras. Os métodos de caracterização foram para rocha e elementos traço total (4A-4B). O método 4A compreende quatro testes analíticos distintos. O total da abundância dos principais óxidos e vários elementos menores foram a partir de uma amostra de 0,2 g analisada por espectrometria de emissão (ICP-OES), previamente fundida por meta/tetraborato de lítio e diluída por ácido nítrico. A Perda ao Fogo (PF) foi determinada por diferença após calcinação a 1000 ° C. O carbono e o enxofre total foram determinados pela radiação infravermelha através do analisador por combustão Leco. O método 4B é o complemento para o grupo 4A. Este pacote compreende duas análises separadas, e utiliza o mesmo método de digestão do 4A, além disso, uma divisão separada 0,5 g foi digerida por Aqua Regia e analisadas por espectrometria de massa (ICP-MS) que determinam os metais preciosos e base. Este é o mesmo método tal como Grupo 1DX. O grupo combinado (4A - 4B) requer para análise 10g de amostra pulverizada. O 4A oferece limite de detecção mínimo de 0,002% a 100% e o 4B mínimo 0,5 ppb a 50000 ppm.

Os resultados das análises químicas foram tratados estatisticamente com o Excel 2010, inicialmente pela mestre em química industrial Glayce Jholy Souza da Silva, quando foi

gerada a estatística básica, matriz de correlação (positiva $>0,7$ e negativas $<-0,7$) e diagramas de dispersão de pares de elementos químicos com elevado grau de similaridade ou correlação, com destaque para: $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-V}$; Ni-Co; Y-ETR; Zr-Hf;. Os ETR foram normalizados segundo os valores dos condritos de Evensen et al. (1978) e plotados conforme os diagramas clássicos de dispersão. As anomalias de európio foram calculadas conforme Taylor e Melennan (1985), neste caso: $\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N/(\text{Sm})_N(\text{Gd})_N$. O grau de fracionamento de um padrão ETR pode ser expresso por razões entre concentrações de um dado ETR leve (La ou Ce) e um ETR pesado (Yb ou Y).

4 RESULTADOS

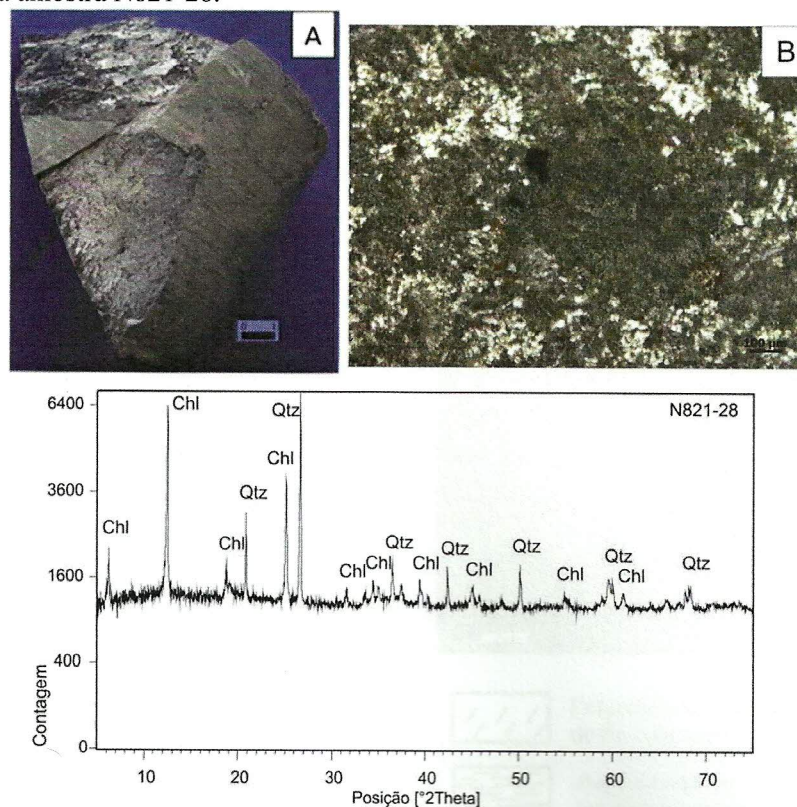
O perfil laterítico (furo FN8-0021) investigado é completo e compreende: rocha substrato e/ou rocha-mãe; saprolito grosso; saprolito fino; terroso/Argiloso e crosta Ferruginosa.

Foram identificadas como rochas primária na base do perfil rocha verde (máficas no linguajar de mina) (DM) e jaspilitos (DJ). O perfil esquemático do furo é apresentado na figura 3.

4.1 ROCHA SUBSTRATO E/OU ROCHA-MÃE

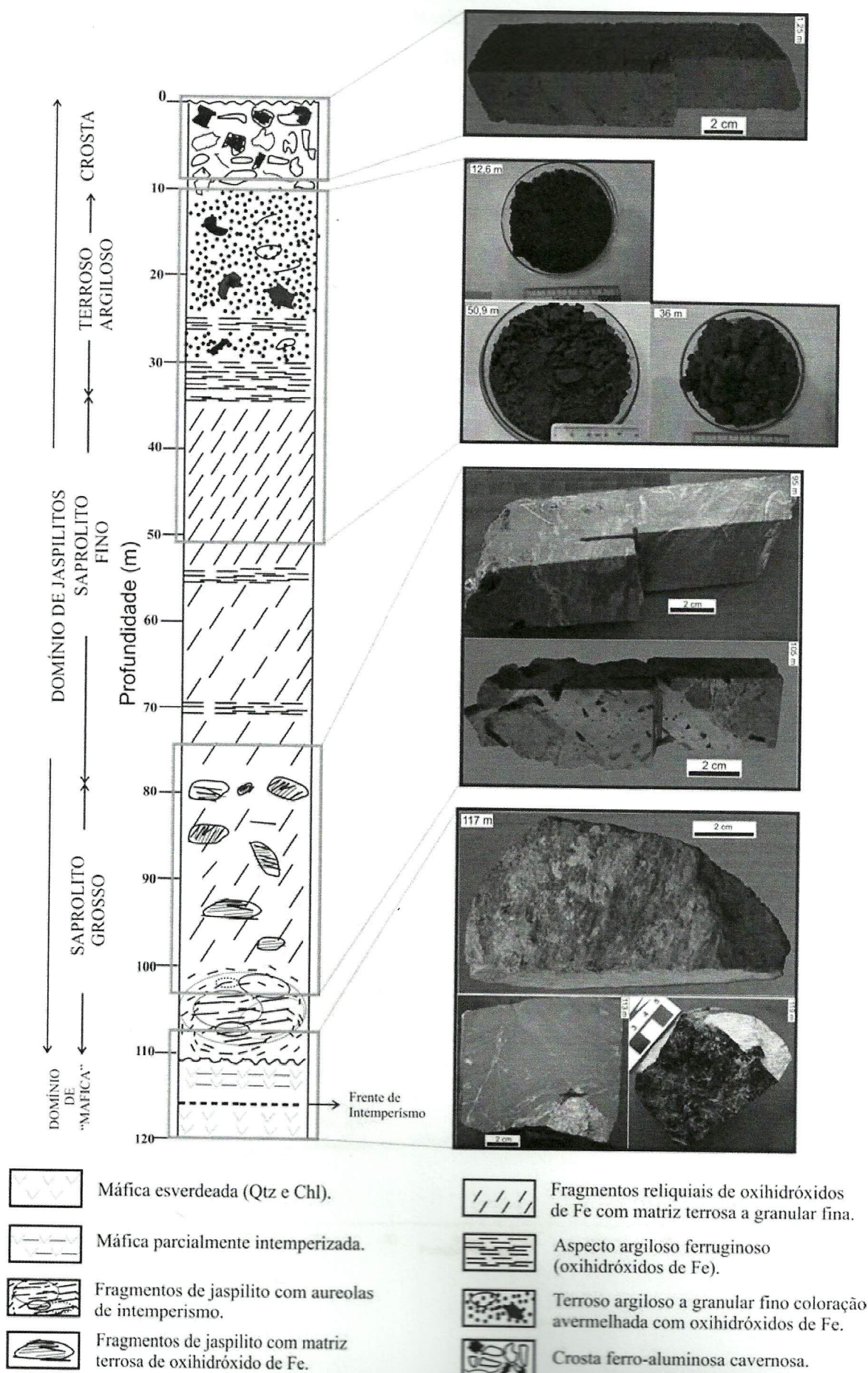
O substrato do perfil envolve rochas “máficas” e o jaspilito. As rochas máficas (figura 2) compõem a base aparente do furo investigado, e são constituídas por: clorita, chamosita e quartzo, além de caulinita, no intervalo 119,75 a 113m. A partir de 115 m de profundidade observa-se a frente de intemperismo. Relictos de jaspilito em massa terrosa a placosa de oxihidróxido de ferro se sobrepõem às máficas.

Figura 2 - Amostras de rochas máficas. a) Amostra isotrópica, afanítica de coloração cinza esverdeado; b) Em lâmina, a rocha contém cristais de clorita, lamelares, amígdalas preenchidas por quartzo fibro-radial e fraturas preenchidas por quartzo. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-28.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Perfil esquemático do furo N8-0021/Carajás com fotografias de amostras representativas dos horizontes identificados no perfil.



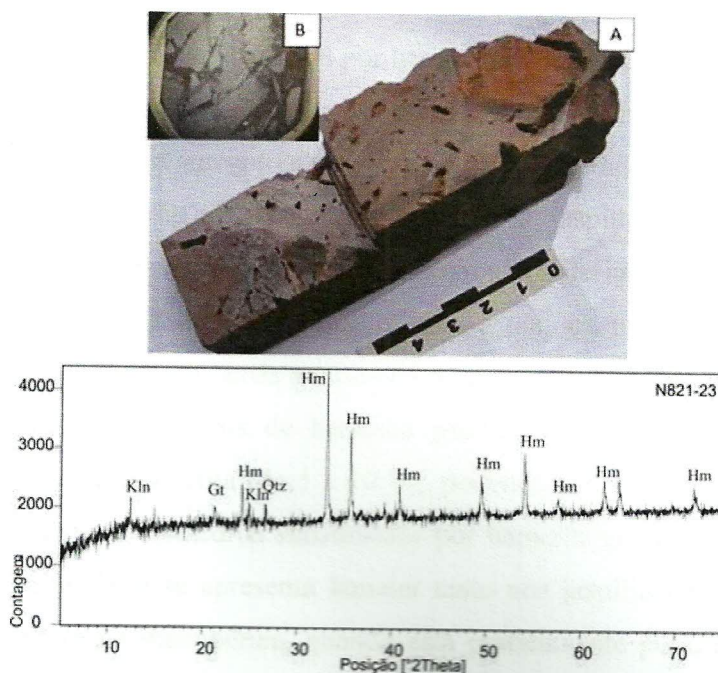
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os jaspilitos apresentam ainda o clássico bandamento, com blocos inalterados com bordas de alteração, indicada pela intensificação da cor marrom avermelhada, pela aquisição do aspecto terroso-placoso, imersos em material de igual natureza. Os minerais constituintes são a hematita, a goethita e o quartzo. Tanto o jaspilito como seus produtos iniciais de alteração são magnéticos, o que permite inferir a presença de magnetita. O quartzo é constituinte das finas bandas claras de jaspe dos jaspilitos.

4.2 SAPROLITO GROSSO

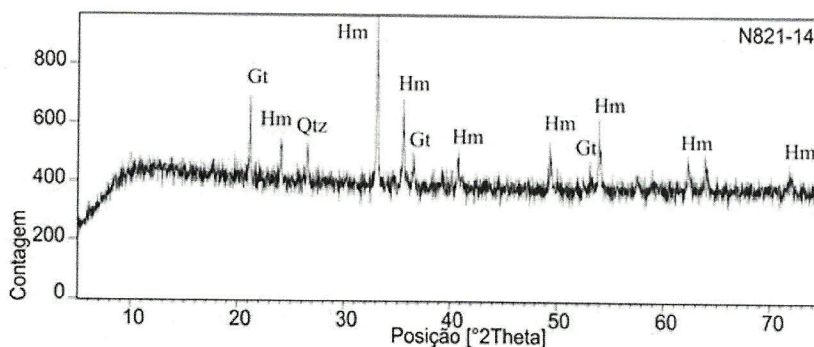
O saprolito grosso compreende duas zonas: a primeira na base (111m a 96m) é delimitada por material parcialmente intemperizado a partir de rocha brechada, com fragmentos dispostos aleatoriamente e bastante cavernosos (figura 4). Enquanto a segunda que representa o jaspilito parcialmente intemperizado, em que veios de quartzo discordantes e concordantes às bandas estão bem delineados, nos intervalos de 96,6 m a 78 m de profundidade (figura 5). Seus blocos persistem isoladamente na zona superior, embora gradualmente decresçam de tamanho. Esta zona é rica em quartzo, enquanto a inferior ele praticamente está ausente.

Figura 4 - Fragmento de rocha da zona inferior do saprolito grosso. a) Rocha muito brechada dominada por fragmentos angulosos de rocha com dominância de hematita laminada a maciça, mas com cimentação goethítica (105,5m) e muito cavernosa, típico da zona inferior. b) detalhe da rocha sob lupa, outros aspectos dos jaspilitos parcialmente intemperizados, com ampla participação de goethita e hematita microcristalina. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-23.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Fragmento reliquiar de jaspilito na zona superior do saprolito grosso. Fragmento de jaspilito (95,9m de profundidade) mostrando forte deformação estrutural, microfalhas e inúmeras venulações de quartzo, até mesmo brechóide, localmente hematita maciça, mas ainda com o bandamento delineável. Evidências de alteração intempérica são dadas pelas diversas cavidades planares por conta da lixiviação parcial de quartzo microcristalino (jaspe) e porções cavernosas. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-14.

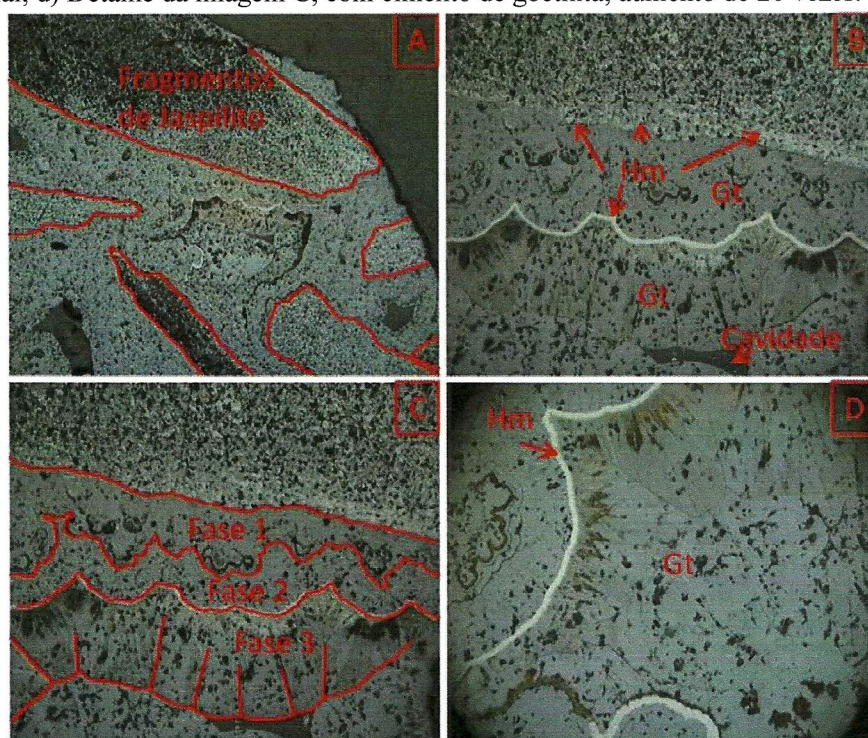


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os fragmentos de jaspilitos preservam ainda a mineralogia primária magnetita e hematita, que são parcialmente substituídos por hematita e goethita intempéricas, e ao mesmo tempo são envoltos por massa terrosa e placosa constituída dos minerais primários e hematita e goethita intempérica. Observam-se três gerações de hematita e ao menos três de goethita. A hematita anédrica nas bandas de minerais opacos dos jaspilito; hematita substituindo pseudomorficamente a magnetita octaédrica nos fragmentos de jaspilito (e nos produtos de intemperismo). Os cristais octaédricos neste caso apresentam arestas arredondas por corrosão química e a substituição se dá da borda para o centro do cristal, podendo ser seguida também por goethita. Em geral, os cristais de hematita pseudomórficos apresentam feições tipo lamelas, normalmente de magnetita (de 5 a 10 %), podendo ser também de maghemita, que perduram parcialmente nos octaedros substituídos por hematita/goethita nos núcleos desses cristais. A hematita também se apresenta lamelar tanto nos jaspilitos e principalmente nos seus produtos de alteração intempérica, quando está praticamente pura, sem a presença de quartzo, este que já foi fortemente lixiviado. A goethita é tipicamente um mineral produto da

alteração intempérica dos jaspilitos e se encontra substituindo todas as fases de hematita e magnetita. Ela além de se encontrar como vênulas e substituições, forma o material terroso que envolve os fragmentos de rocha no horizonte saprolítico. Em lâmina delgada isto corresponde de 20 a 25%. Inicialmente a goethita se apresenta sob a forma coliforme, em microbandas subparalelas onduladas em torno de núcleos diversos, como cristais reliquiais de hematita e fragmentos de jaspilitos. Também se apresenta como bandas em que se destacam cristais aciculares. As acículas de goethitas normalmente desenvolvem algumas faces cristalinas. Algumas lembram faces de ortorrômbos e/ou pirâmides (figura 6).

Figura 6 - Distintas manifestações de goethita na base do saprolito grosso, fotografados sob microscópio ótico, pelo método de luz refletida. a) Fragmentos de jaspilito angulares em cimento ou matriz de goethita; aumento 2,5 vezes; b) Detalhe da imagem A cor branca, reflexão média, habito tipos de hábitos, corresponde a goethita – Gt; aumento de 10 vezes; c) Detalhe da imagem B do cimento de goethita: fase 1 – coliforme, fase 2 – cristais com terminação ortorrômico, fase 3 – acicular radial; d) Detalhe da imagem C, com cimento de goethita; aumento de 20 vezes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na parte superior do saprolito grosso em parte os fragmentos de jaspilitos apresentam bandamento regular, com alternância de jaspe e/ou *chert* (quartzo microcristalino) com hematita, em que a goethita pode alcançar até 10%, conferindo ao bloco tonalidades vermelhas e cinza escura (hematita).

Os bandamentos apresentam espessuras que variam de alguns milímetros até cerca de 1 centímetro, podendo ocorrer zonas mais espessas. Inúmeros veios de quartzo policristalinos

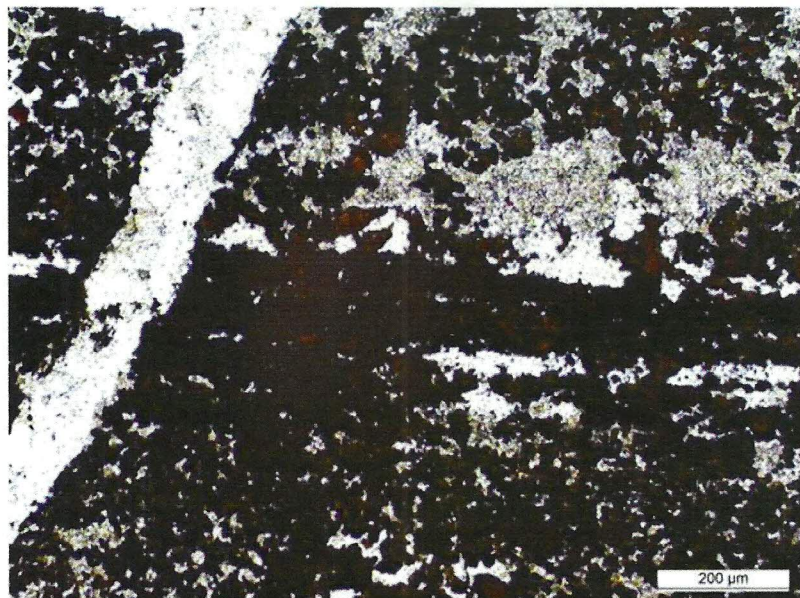
ocorrem recortando as bandas, concordantes ou discordantemente. Goethita coliforme também se instalou ao longo das vênulas de quartzo/ou hematita. Agregados de cristais opacos, predominantemente de hematita, mas com sinais de goethita nas bordas, ocorrem dispersos nas camadas de jaspe.

Nesse horizonte a solubilização parcial do quartzo microcristalino e sua lixiviação originam inúmeras microcavidades ao longo do bandamento e interceptando o mesmo, elas são principalmente encontradas na base deste horizonte. Estas cavidades podem ser pontuais, às vezes conectadas formando uma maior, seguindo uma forma alongada que remete a configuração das bandas ou sem forma definida.

Na matriz terrosa em torno dos fragmentos de jaspilite, por vezes é possível inferir a presença restrita de argilominerais, portanto associados com a goethita neoformada e hematita lamelar.

Na zona superior do saprolite grosso foram observadas evidências de microfraturas e microfalhas, as quais são claramente visíveis na escala macro e microscópica (figura 7). Essas fraturas são preenchidas por quartzo e pontualmente por goethita. Outra evidência do falhamento e/ou diferente composição ocorre na zona base do saprolite grosso, formando uma brecha, constituída por fragmentos sugestivos de jaspilite angulosos, dispersos sem orientação preferencial, em cimento de goethita. Esses fragmentos persistem em direção ao topo do perfil e são encontrados novamente na crosta, também cimentados por goethita, porém com bordas mais arredondadas, e córtex de goethita, formando concreções.

Figura 7 - Amostra de Jaspilito parcialmente alterado encontrado na zona superior do horizonte saprolito grosso. Observam-se bandas transparentes quartzosas e outras opacas formadas por oxihidróxidos de ferro. O veio de direção NE/SW no canto esquerdo superior é composto principalmente por quartzo granoblático, contendo pontualmente goethita entre estes cristais.



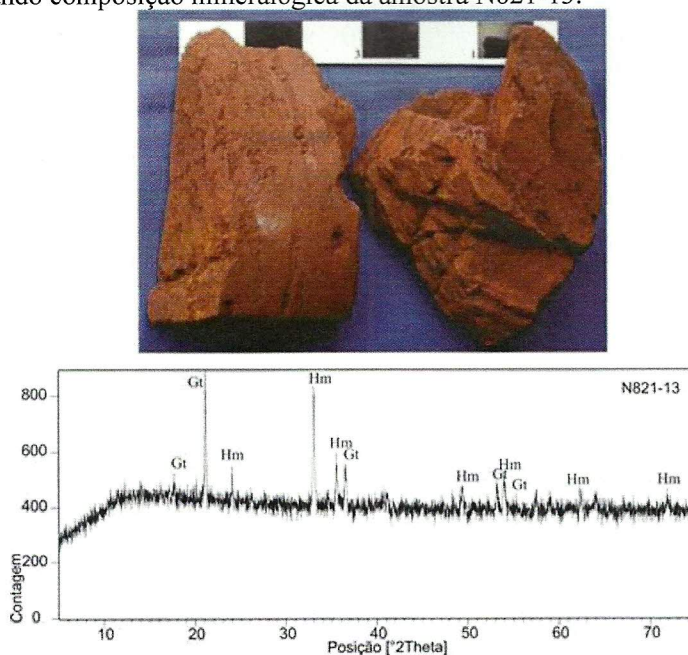
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 SAPROLITO FINO

O saprolito fino é formado por fragmentos centimétricos de material sugestivo de jaspilito, com relictos de estruturas que lembram o acamamento do protominério, possivelmente níveis de hematita envolta em material marrom a avermelhado. Os fragmentos são dispersos em matriz de aspecto terroso a granular, ocorre no intervalo de 78 a 34m (figura 8). A laminação ainda está parcialmente preservada, enquanto as bandas de quartzo são mais raras. Além da hematita e a goethita, ocorrem magnetita e maghemita. Níveis de aspecto argiloso são aleatórios ao longo deste horizonte, e representados por caulinita e gibbsita intercrescidas com hematita e goethita.

Nos relictos de jaspilitos parcialmente alterados, a hematita lamelar é dominante e o quartzo raro. Pseudomorfos de magnetita octaédrica, dominados por hematita ou goethita são comuns. A maghemita atinge cerca de 2 a 3% dos cristais. A goethita, como anteriormente, forma a matriz e bordeja os fragmentos de jaspilito.

Figura 8 - Amostra de rocha do saprolito fino. Observa-se que são materiais ainda parcialmente coesos, preservando em parte o bandamento original, no entanto fortemente envoltos por oxi-hidróxidos de ferro pulverulentos. Esses fragmentos placóides têm entre 0,5 mm e 4 cm. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-13.



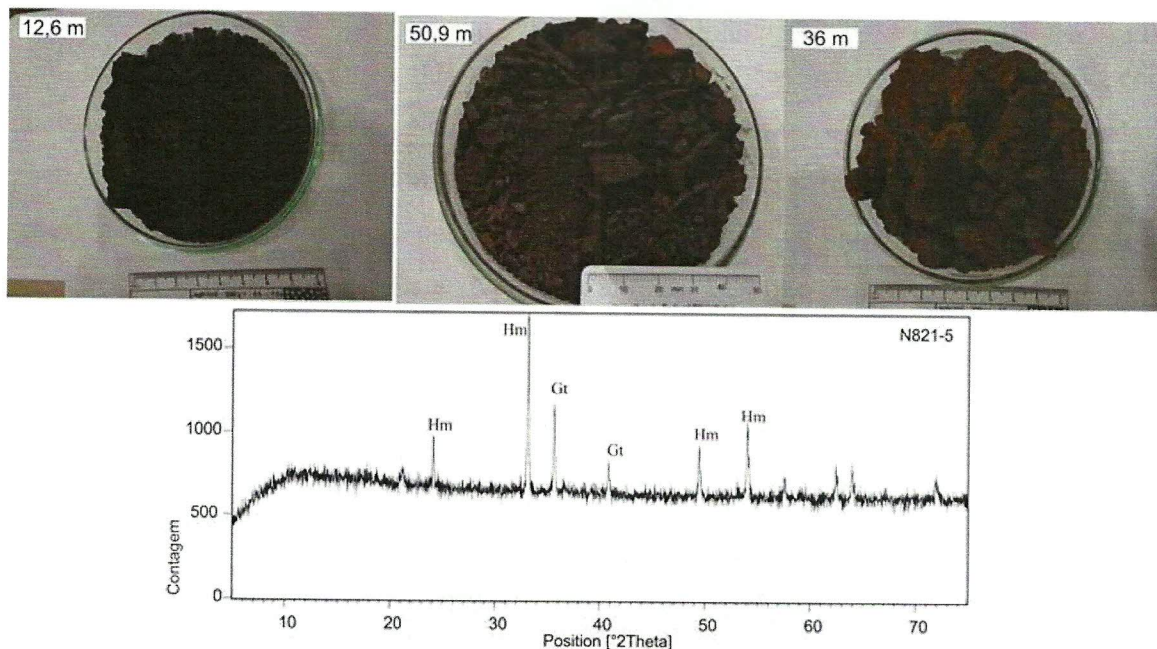
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 TERROSO/ARGILOSO

O horizonte terroso-argiloso sobrepõe-se gradualmente ao saprolito fino, entre 34m e 11m de profundidade, em que delgados intervalos com aspecto argilo-ferruginoso, em domínio de oxi-hidróxidos de ferro em fragmentos placóides centimétricos, são discerníveis. Esses fragmentos são de coloração cinza escura a preta, formados por agregados de microcristais metálicos, representados por hematita e magnetita primários, mas envolvidos extensivamente pelos óxi-hidróxidos de Fe neoformados, como hematita, goethita e ainda maghemita, geralmente em granulação muito fina, que confere o aspecto terroso. Os fragmentos têm entre 0,5 mm e 4 cm são subangulosos, por vezes se apresentam com laminação reliquiar. Este horizonte em direção a sua porção superior experimenta a diminuição dos fragmentos e ampliação do material terroso, quando se torna ainda mais avermelhado e mostram a presença de concreções de oxi-hidróxidos de Fe associados aos demais minerais como gibbsita e caulinita.

Além dos minerais já indicados, ocorrem Al-goethita, gibbsita, quartzo, magnetita e pequenas quantidades de caulinita (figura 9).

Figura 9: Amostra de rocha do terroso/argiloso. Observa-se que são materiais ainda parcialmente coesos, no entanto fortemente envolvidos por oxi-hidróxidos de ferro pulverulentos. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-5.



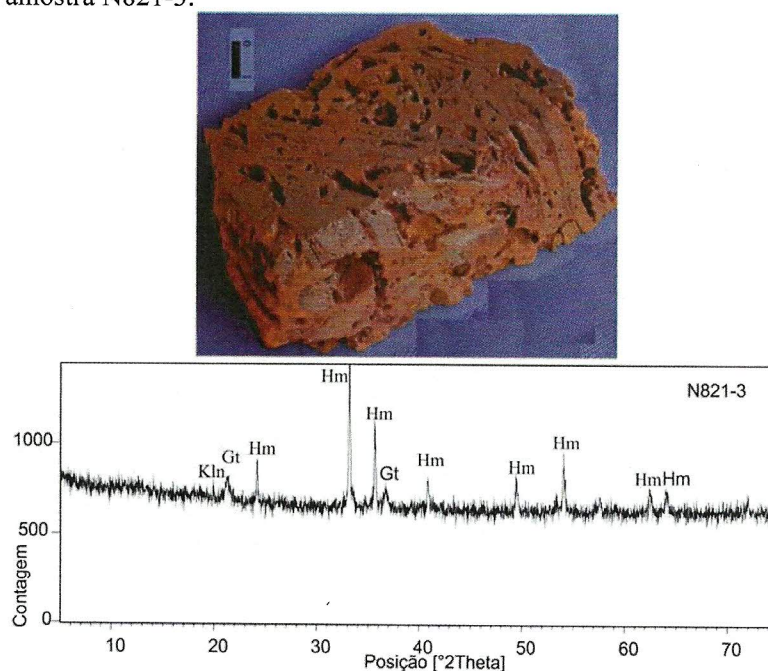
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 CROSTA FERRUGINOSA

A crosta apresenta uma espessura entorno de 10 metros no furo, sobrepondo-se gradativamente ao horizonte terroso-argiloso. Ela se apresenta em cor marrom avermelhada compacta a cavernosa, correspondendo em parte ao que na linguagem da mina se descreve como canga de minério (figura 10). Constitui-se em geral de fragmentos de material sugestivo de jaspilites, devido ao bandamento reliquiar em contato entre si e/ou através de cimento oxi-hidróxidos de Fe, em geral hematita e goethita, mas maghemita e mesmo magnetita, parecem persistir, pois parte de seus fragmentos ainda são magnéticos. Esses fragmentos reliquiar de jaspilito divergem bastante dos encontrados no saprolito grosso ao apresentar bordas arredondadas, bandas microporosas, antes dominadas por jaspe e/ou quartzo microcristalino; os cristais octaédricos de hematita pseudomórfica segundo magnetita ainda são abundantes. Esses cristais persistem com lamelas de magnetita no centro e bordas de hematita ou goethita. Hematita lamelar é muito frequente, enquanto a anédrica é rara. O cimento dos fragmentos é formado por goethita e Al-goethita microcristalina da mesma forma os nódulos/concreções, alguns com camadas concêntricas, desenvolvendo feições de pisólitos e oólitos. Essas concreções apresentam núcleos de distintas composições, desde pequenos fragmentos de jaspilito, a hematita compacta e até os fragmentos do próprio cimento goethítico (aciculares porções de cor amarela clara a branca restrita representam o domínio de caulinita e gibbsita).

Este horizonte foi reconhecido por Souza (1993) e Costa (2006) que descreveram dois tipos básicos dentro da crosta: um tipo brechóide com fragmentos angulosos e subarredondados de hematita envoltos em uma massa criptocristalina de goethita; e um tipo com textura pseudo-pisolítica. Os pseudo-pisólitos são essencialmente goethíticos, com núcleos de hematita residual. Nos dois tipos ocorre gibbsita, como cimento associada à goethita, que se encontram unindo os pseudo-pisólitos ou preenchendo poros e fraturas. A tabela 1 esquematiza a variação da composição mineralógica ao longo do perfil. A figura 11 esquematiza as principais feições texturais encontradas ao longo do perfil, bem como, alguns aspectos micromorfológicos (figura 12).

Figura 10 – Imagem da Crosta ferruginosa típica do perfil investigado. Os fragmentos com tonalidade mais cinza refletem a presença reliquiar da hematita e magnetita “martitizada” dos jaspilitos, porém a característica marcante é o aspecto cavernoso. Abaixo, difratograma mostrando composição mineralógica da amostra N821-3.



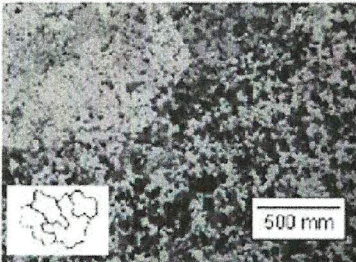
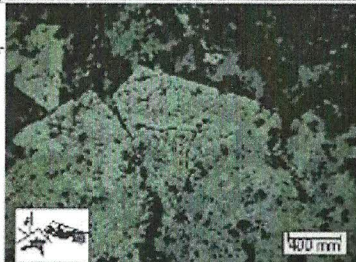
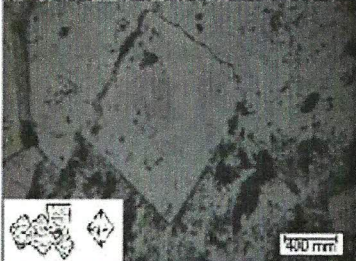
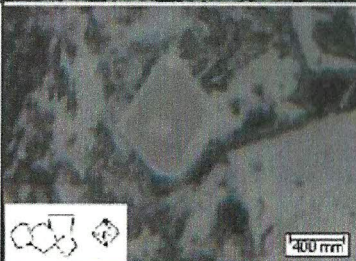
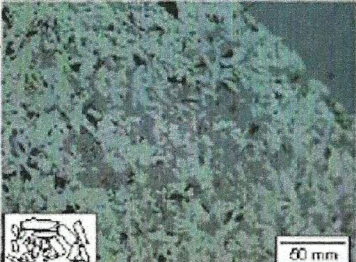
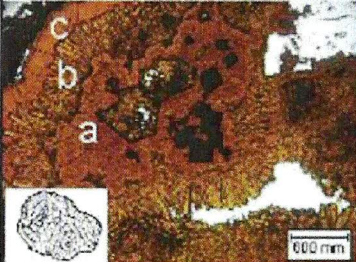
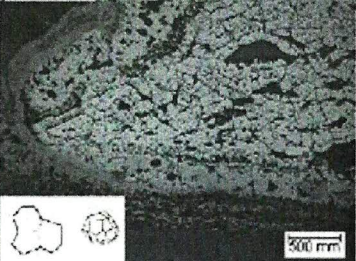
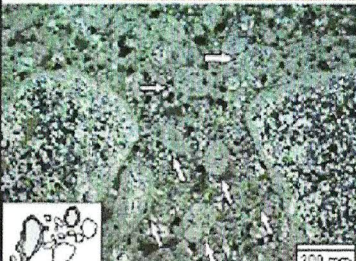
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Composição mineralógica do furo N8-0021.

Horizontes	Amostras	Intervalos Amostrados (m)	Composição Mineralógica
Crosta ferruginosa	N821-1	0,10 - 0,20	Hematita, Al-goethita
	N821-2	1,25 - 1,35	Hematita, Al-goethita
	N821-3	4,60 - 4,80	Hematita, caulinita, goethita
	N821-4	9,20 - 9,30	Hematita, Al-goethita
	N821-5	10,90 - 11,00	Hematita, Al-goethita
	N821-6	12,30 - 12,40	Hematita, Al-goethita
Terro-argiloso	N821-7	25,90 - 26,00	Hematita, gibbisita, goethita
	N821-8	30,90 - 31,00	Hematita
Saprólito fino	N821-9	36,00 - 36,10	Hematita, goethita
	N821-10	50,90 - 51,00	Hematita, goethita
	N821-11	57,60 - 57,80	Hematita, goethita
	N821-12	67,70 - 67,80	Hematita, goethita
	N821-13	77,90 - 78,00	Hematita, goethita
Saprólito grosso	N821-14	84,40 - 84,60	Hematita, quartzo, goethita
	N821-15	84,60 - 84,80	Hematita, goethita, quartzo
	N821-16	89,10 - 89,15	Quartzo, hematita, goethita
	N821-17	93,75 - 93,85	Hematita, quartzo, goethita
	N821-18	95,30 - 95,40	Hematita, goethita, quartzo
	N821-19	95,90 - 96,10	Quartzo, hematita, goethita
	N821-20	96,60 - 96,70	Hematita, goethita, quartzo
	N821-21	97,50 - 97,70	Goethita, hematita, quartzo
	N821-22	99,33 - 99,43	Goethita, hematita
	N821-23	102,80 - 102,90	Hematita, quartzo, goethita, caulinita
	N821-24	105,50 - 105,70	Hematita, goethita
	N821-25	111,10 - 111,15	Hematita, caulinita
"Máficas"	N821-26	113,15 - 113,20	Hematita, quartzo, caulinita, goethita
	N821-27	117,25 - 117,35	Quartzo, clorita
	N821-28	119,70 - 119,75	Quartzo, clorita, vermiculita, muscovita

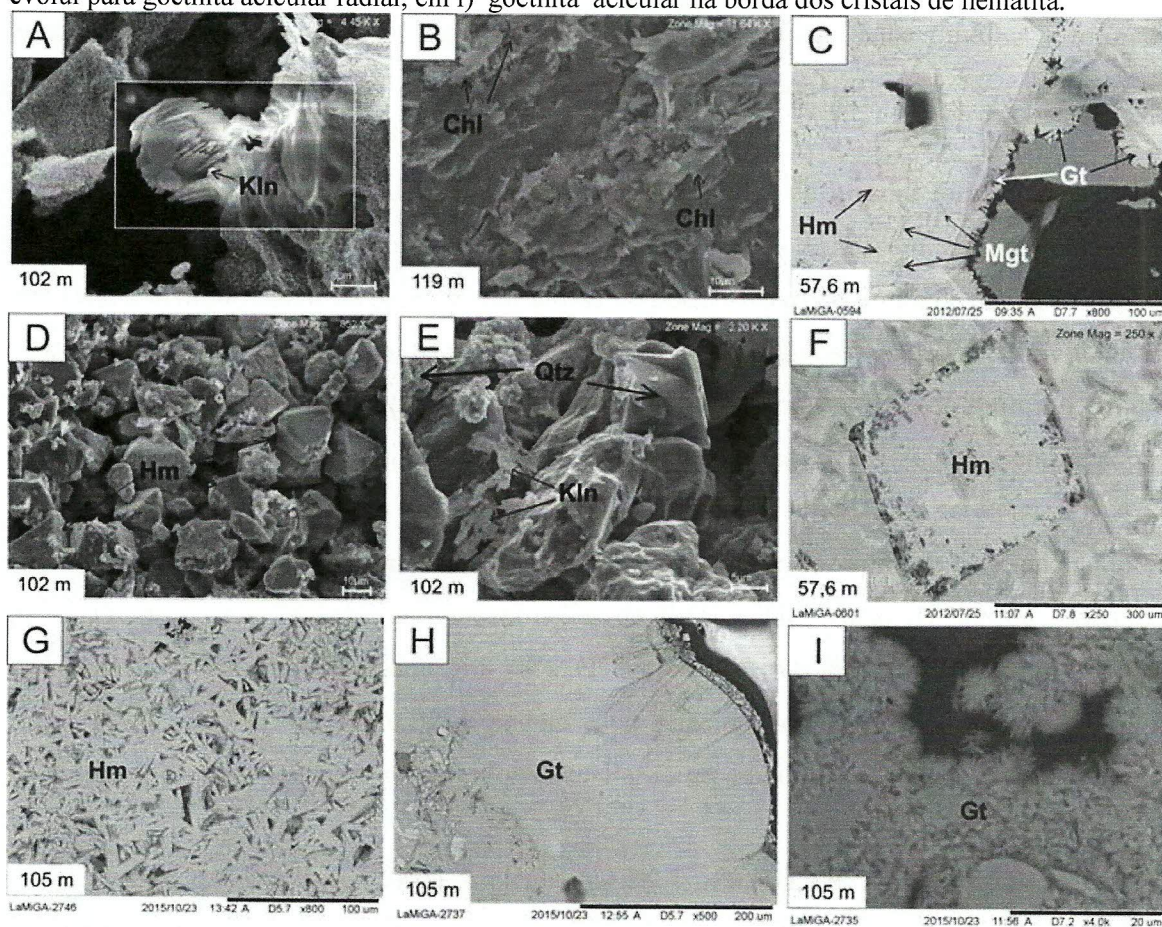
Fonte: Elaborado por Joana D'arc e modificado pelo autor.

Figura 11 - Feições texturais características dos óxidos e hidróxidos de Fe identificados (Hm-hematita, Mgt-magnetita, Mgh-maghemita, Gth-goethita).

TIPO	CARACTERÍSTICA		TIPO	CARACTERÍSTICA	
HEMATITA MICRO-GRANULAR	Formas irregulares em contato imbricado de Hm (branca), Gth (cinza médio) e Qtz (cinza escuro). Microcavidades (preta).		MAGHEMITA (Fase Intermediária)	Formas irregulares como lamelas de substituição. Mgh (cinza), Mgt (rosa) e Hm (branca).	
HEMATITA PSEUDO-MÓRFICA	Hematita pseudo-mórfica (branca) com magnetita (rosa) e microcavidades (preta).		MAGNETITA	Cristais octaédricos, isolados ou em Agregados.	
HEMATITA TABULAR NEOFORMADA	Hm Tabular (branca) (<0,01mm) em matriz de Gth (cinza).		GOETHITA	Material coloforme, compacto (a), convergindo para cristais tabulares (b) e Formações aciculares radiais (c)(centro para borda).	
HEMATITA GRANULAR	Agregados granulares equidimensionais, compactos, em contatos retilíneos e junções tríplices.		GOETHITA	Fragmentos policristalinos com cortex de goethita cimentados por goethita e material argiloso.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Aspectos micromorfológicos dos principais minerais segundo imagens de MEV. a) “books” de caulinita (Kln); b) clorita (Chl); c) goethita (Gt) bordejando os cristais de hematita; d) e f) hematita pseudomórfica segundo magnetita octaédrica com relicto ainda deste mineral e) quartzo microcristalino; g) cristais lamelares de hematita; h) goethita coliforme (canto inferior esquerdo) que evolui para goethita acicular na borda dos cristais de hematita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

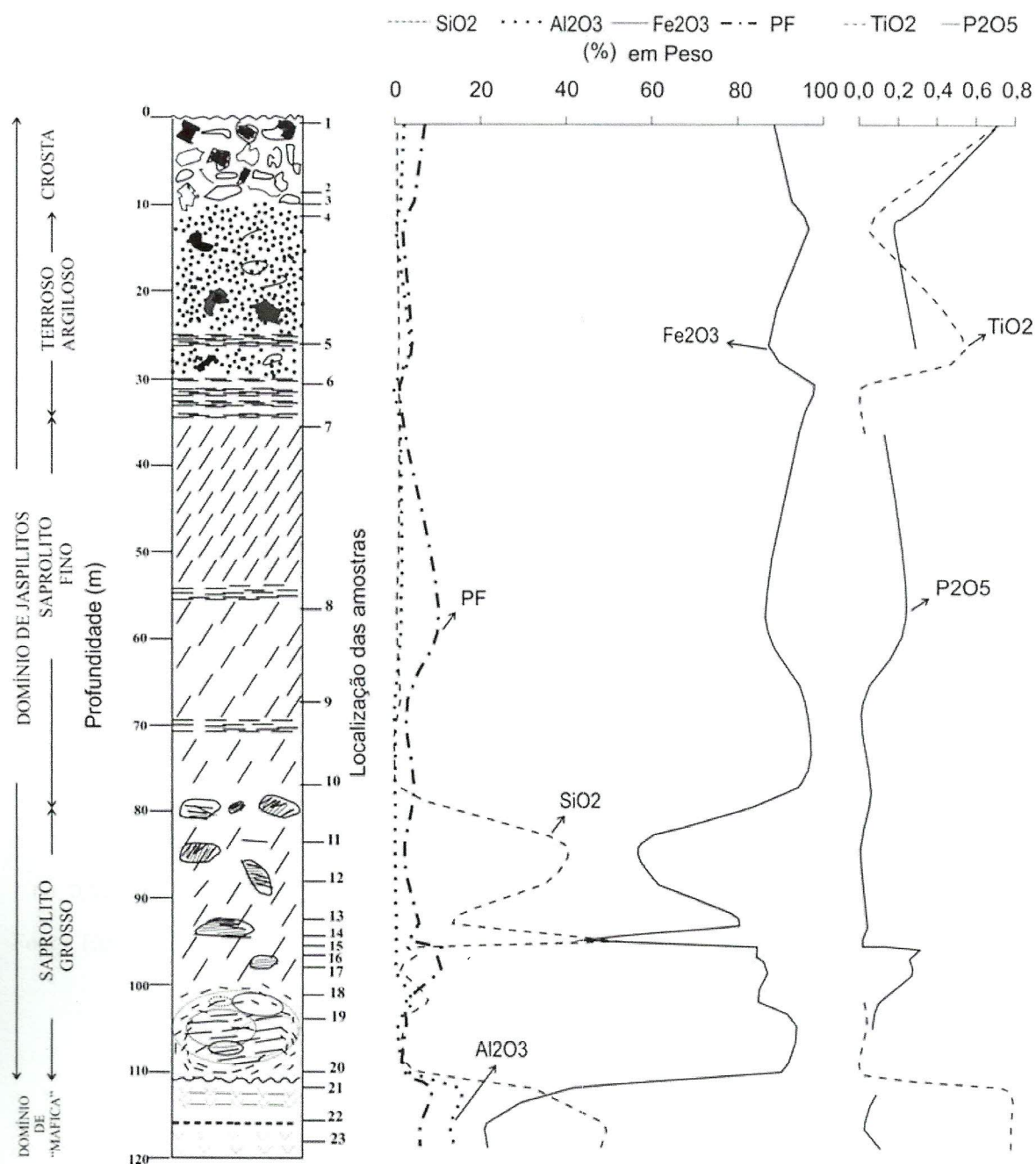
A composição química ao longo do perfil (tabelas 2) mostra que ele como um todo é dominado por Fe_2O_3 , em que os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 são muito baixo, exceto SiO_2 na zona saprolítica. Este padrão difere do que se denominou de rocha “máfica”, formada basicamente de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 , sendo esta restrita a base do furo de sondagem, 117 a 119 m de profundidade.

Os teores de Fe_2O_3 aumentam da base para o topo, da mesma forma como os de Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 de forma oscilatória, enquanto os de SiO_2 decrescem abruptamente, e os dos álcalis já muito baixo na base, encontram-se no perfil abaixo do limite de detecção (figura 13). No intervalo de 96 a 111m, os teores de SiO_2 são muito baixos e os de Fe_2O_3 muito altos, sugerindo material de composição química muito distinto na zona da base do saprolito, muito rica em Fe. Os teores de Fe_2O_3 variam de 21,72 (rocha máfica) a 98.1 %, mas sempre acima de 80 % a partir do domínio da influência dos jaspilitos ou BIF.

Os teores de SiO_2 variam de 0,51 % a 52,43% a partir do saprolito fino, enquanto os de Al_2O_3 de 0,61 a 15,64%; as concentrações de P_2O_5 e TiO_2 estão na mesma ordem de grandeza na crosta, quando alcançam 0,78%. Os teores de Al_2O_3 têm correlação positiva com SiO_2 , Th, U, Co, Sc, Ga, Hf e Nb e podem estar relacionados a goethita $\{(\text{Fe,Al})\text{OOH}\}$ e caulinita, indicados também pelos valores de Perda ao Fogo (P. F.) que variam de 1,0 a 10,09%.

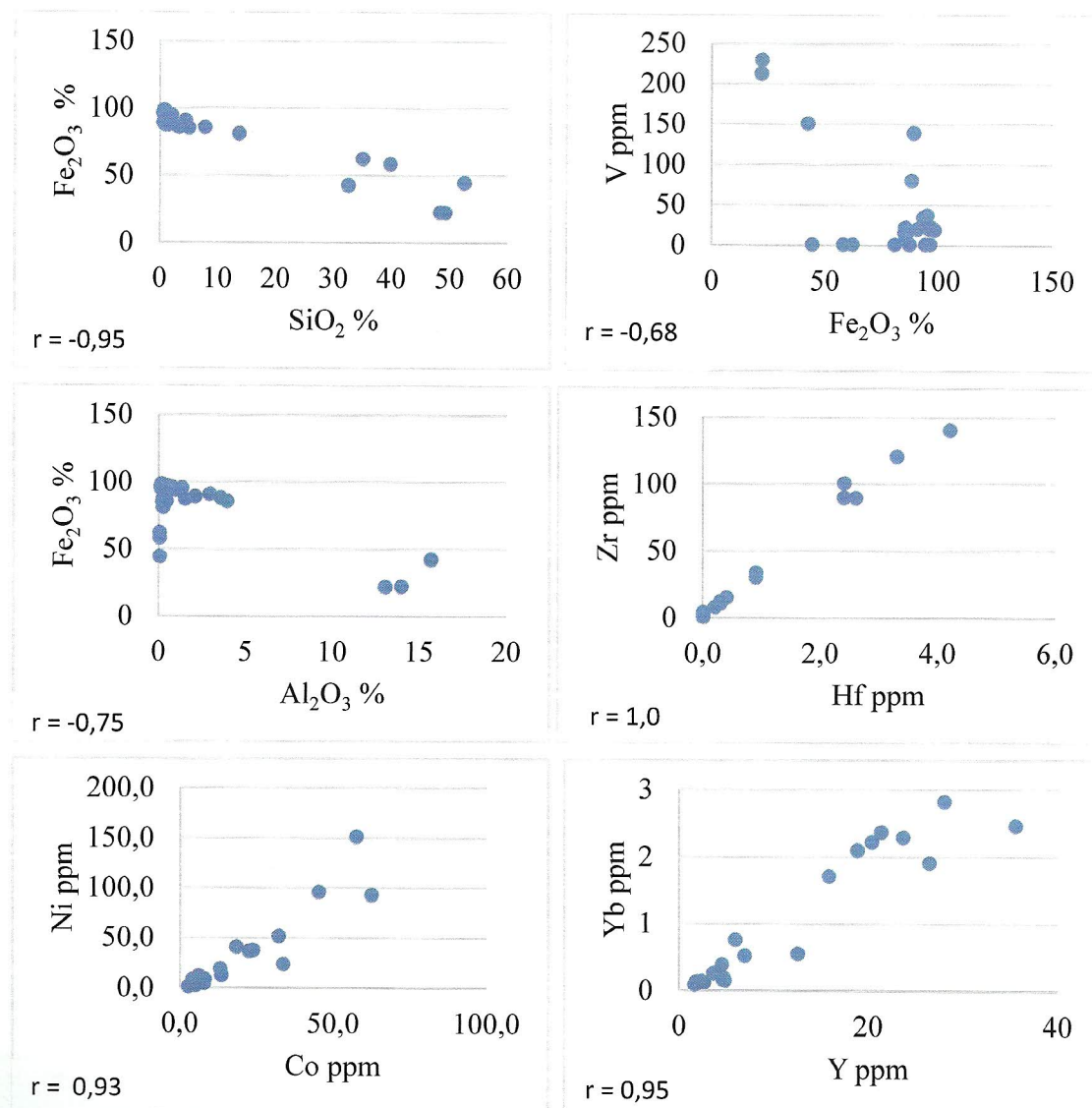
Segundo Costa et al. (2005) os elementos Th, U, Zn, Ga, Ge, Zr, Hf, Pb, Bi, V, Cr são os que se concentram em crostas lateríticas ferruginosas, tanto como minerais de ferro tipo hematita e goethita (Zn, Ga, Ge, V, Cr). A relação de afinidade entre os elementos pode ser visualizada na figura 14, gerada a partir dos valores da matriz de correlação da tabela 3.

Figura 13 - Distribuição dos teores dos elementos químicos mais abundantes do perfil laterítico do furo FN8-0021. Notar que em algumas porções do perfil as concentrações de TiO_2 e P_2O_5 estão abaixo do limite de detecção, e por este motivo as linhas são descontinuas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 – Diagrama de correlação geoquímica do perfil laterítico sobre o jaspilito em Carajás.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Composição química total das amostras do furo N80021.

Profundidade (m)	0,10 9,20 10,9 12,3 25,9 30,9 36,0 57,6 67,7 77,9 84,4 89,1 93,7 95,9 96,6 97,5 99,3 102, 105, 111, 113, 117, 119,																							
	0,20 9,30 11,0 12,4 26,0 31,0 36,1 57,8 67,8 78,0 84,6 89,1 93,8 96,1 96,7 97,7 99,4 102, 105, 111, 113, 117, 119,																							
Amostra	N82 N82																							
	1-1 1-4 1-5 1-6 1-7 1-8 1-9 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1- 1-24 1-25 1-26 1-27 1-28																							
		11 12 13 15 16 17 19 20 21 22 23																						
SiO ₂	%	0,5	0,7	0,4	0,7	0,7	0,6	1,1	0,7	0,9	0,9	39,7	34,9	13,5	52,4	3,1	4,9	1,3	7,7	1,8	4,3	32,4	49,2	48,3
Al ₂ O ₃	%	2,1	1,2	0,7	0,5	3,5	0,2	1,3	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,2	0,2	3,9	0,9	2,9	15,6	13,0	13,9
Fe ₂ O ₃	%	88,8	93,1	95,8	96,7	87,8	98,1	94,8	87,0	96,0	94,3	57,9	61,9	80,6	44,1	85,1	84,7	87,1	85,2	93,9	90,5	42,1	21,7	22,0
MnO	%	0,0	0,1	0,0	0,0	2,7	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	<0,0	0,2	0,3
MgO	%	<0,0	<0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,1	0,0	8,8	8,0
CaO	%	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
K ₂ O	%	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	<0,0	0,0	0,2
Na ₂ O	%	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0
TiO ₂	%	0,7	0,2	0,1	0,1	0,5	0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8
P ₂ O ₅	%	0,7	0,3	0,2	0,2	0,3	<0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	<0,0	0,1	0,0	0,1
PF	%	7,0	4,5	2,8	1,8	4,0	1,0	2,3	10,3	2,9	4,6	2,4	3,1	5,6	3,4	10,9	9,8	10,8	2,9	2,6	2,1	8,8	6,0	6,1
Be	ppm	<1	<1	<1	<1	1,0	<1	2,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,0	2,0	2,0	2,0	<1	<1	<1	<1	<1
Sc	ppm	5,0	4,0	4,0	2,0	10,0	<1	4,0	7,0	1,0	1,0	<1	<1	1,0	<1	13,0	7,0	5,0	9,0	5,0	1,0	27,0	35,0	36,0
V	ppm	138,0	33,0	19,0	21,0	79,0	18,0	36,0	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	21,0	14,0	<8	11,0	<8	19,0	150,0	212,0	229,0
Cr ₂ O ₃	%	0,0	0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	<0,0	<0,0	<0,0	<0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	ppm	31,9	5,9	2,4	4,6	33,4	4,6	12,9	23,5	5,0	7,8	3,4	5,1	4,9	3,6	18,1	22,3	45,1	13,3	7,6	3,8	3,9	57,3	62,3
Ni	ppm	167,0	<20	<20	<20	44,0	<20	42,0	64,0	<20	<20	<20	<20	<20	<20	129,0	112,0	186,0	46,0	<20	<20	63,0	158,0	117,0
Ni	ppm	51,1	11,0	0,2	7,2	23,0	3,5	18,4	36,9	1,8	7,9	2,6	4,7	5,0	2,5	40,3	36,1	95,7	12,0	3,6	2,8	7,6	151,0	92,6
Cu	ppm	33,2	35,7	6,3	54,2	305,6	102,4	223,5	376,8	37,0	40,0	13,9	9,5	17,0	4,4	263,0	154,5	728,1	143,0	88,5	29,1	184,2	179,5	93,6
Zn	ppm	26,0	9,0	3,0	23,0	64,0	11,0	15,0	49,0	4,0	33,0	3,0	6,0	17,0	8,0	57,0	70,0	112,0	21,0	13,0	9,0	10,0	114,0	115,0
Ga	ppm	17,2	3,6	1,8	2,2	8,8	1,9	1,7	1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,0	<0,5	1,8	0,9	1,4	1,9	0,9	1,8	13,6	15,5	16,6
As	ppm	5,3	3,1	2,1	2,1	3,8	2,1	2,8	1,9	1,3	1,4	1,2	1,2	2,9	1,0	2,1	2,1	2,5	3,5	2,7	1,9	1,4	1,2	2,3
Se	ppm	1,3	0,7	0,7	<0,5	<0,5	0,7	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5

Rb	ppm	0,4	<0.1	1,0	1,2	3,4	1,6	0,3	0,3	0,7	0,5	0,3	0,3	0,6	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	0,5	2,6	0,6	0,1	1,4	9,1
Sr	ppm	5,8	2,3	2,9	<0.5	22,7	<0.5	4,1	3,1	1,5	16,2	1,1	1,0	1,5	1,7	2,4	0,8	1,6	1,3	2,8	1,3	31,3	4,6	7,4
Y	ppm	5,9	3,6	2,0	4,6	20,3	4,8	4,5	15,8	2,6	2,3	1,8	2,3	4,7	1,6	26,4	35,5	12,5	23,6	6,9	4,0	21,3	28,0	18,8
Zr	ppm	140,0	33,3	15,0	10,5	120,2	3,9	7,6	1,6	0,8	1,2	0,9	0,3	1,2	0,9	0,6	1,4	0,2	29,9	12,3	3,7	100,4	89,6	89,2
Nb	ppm	10,3	2,2	1,2	1,1	7,5	0,6	0,7	0,5	0,2	0,1	<0.1	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	0,2	<0.1	1,6	0,7	0,3	5,8	4,7	4,1
Mo	ppm	1,4	1,4	0,3	0,5	1,7	0,3	6,4	0,6	0,2	0,5	0,7	0,2	0,7	0,5	0,9	0,9	0,3	0,6	0,3	0,4	0,8	<0.1	0,8
Ag	ppm	0,2	<0.1	<0.1	0,6	0,3	0,3	1,4	0,8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	0,4	0,1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cd	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sn	ppm	3,0	2,0	1,0	4,0	6,0	<1	1,0	<1	<1	1,0	2,0	<1	2,0	1,0	<1	3,0	<1	3,0	4,0	6,0	2,0	3,0	2,0
Sb	ppm	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	<0.1	0,3	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1
Cs	ppm	<0.1	<0.1	0,3	0,3	0,3	0,1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,3	0,2	<0.1	<0.1	0,2
Ba	ppm	47,0	9,0	34,0	14,0	126,7,0	37,0	113,0	77,0	22,0	20,0	16,0	10,0	30,0	13,0	11,0	10,0	26,0	14,0	29,0	14,0	14,0	20,0	59,0
Hf	ppm	4,2	0,9	0,4	0,3	3,3	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,9	0,3	<0.1	2,4	2,4	2,6
Ta	ppm	0,8	0,2	0,1	0,1	0,5	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	0,4	0,3	0,4
W	ppm	1,9	1,2	1,4	5,7	8,5	5,2	7,9	2,9	1,7	2,1	1,8	1,1	2,9	1,1	2,2	6,8	1,4	4,8	7,8	20,0	0,9	0,8	<0.5
Tl	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	ppm	5,1	4,3	2,3	2,4	7,6	1,8	2,8	2,1	0,4	0,5	0,5	0,3	0,6	0,4	1,6	1,9	2,6	2,9	2,2	3,5	1,0	0,5	0,7
Bi	ppm	0,4	0,2	<0.1	<0.1	0,1	0,1	0,3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au	ppm	<0.5	12,3	2,8	9,3	1,3	4,2	109,3	31,2	2,2	2,8	1,7	1,1	5,6	2,4	45,5	17,4	62,0	2,6	11,6	1,0	1,6	3,0	<0.5
Hg	ppm	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	<0.0	0,0	0,1	<0.0	<0.0	<0.0	<0.0	<0.0	<0.0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	<0.0	<0.0	<0.1
Th	ppm	5,4	3,2	1,7	1,4	5,8	0,3	0,6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2,2	0,7	<0.2	5,3	5,5	5,9
U	ppm	0,9	0,9	0,5	0,9	2,8	0,1	2,9	1,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,8	0,2	1,8	1,5	0,9	2,0	1,0	0,4	1,8	2,6	1,8
La	ppm	7,4	3,8	3,2	6,2	223,3	8,7	23,2	30,3	3,5	4,1	3,1	3,4	2,8	0,9	10,1	35,1	4,8	3,5	11,4	1,6	163,2	111,4	71,8
Ce	ppm	12,9	5,5	4,9	7,7	79,2	9,1	29,8	53,8	4,5	6,0	3,5	4,7	3,6	1,5	13,8	57,1	4,7	13,1	70,1	72,7	10,8	138,3	88,8
Pr	ppm	1,3	0,6	0,5	0,8	27,5	1,1	3,3	7,1	0,6	0,7	0,4	0,5	0,4	0,2	2,1	7,8	0,5	0,8	2,0	0,3	13,5	16,3	7,9
Nd	ppm	4,0	1,9	1,4	2,6	66,5	4,1	9,9	24,2	1,9	2,2	1,0	1,4	1,6	0,6	8,2	33,3	2,1	3,3	6,5	1,1	38,1	49,5	25,3
Sm	ppm	0,8	0,4	0,3	0,5	7,5	0,6	1,4	5,9	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	2,6	9,2	0,5	1,2	1,4	0,3	4,6	6,7	4,3
Eu	ppm	0,3	0,2	0,2	0,2	2,2	0,3	0,5	2,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	1,2	4,0	0,3	0,8	0,6	0,2	1,9	3,9	3,9
Gd	ppm	0,7	0,4	0,3	0,5	4,4	0,5	1,1	4,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	3,8	11,0	1,1	2,5	1,5	0,6	4,6	6,0	4,0
Tb	ppm	0,1	0,1	0,0	0,1	1,0	0,1	0,1	0,7	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,7	1,6	0,2	0,6	0,2	0,1	0,7	0,9	0,6
Dy	ppm	0,9	0,4	0,2	0,3	3,7	0,6	0,7	3,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	3,5	7,2	1,1	3,5	1,2	0,6	3,8	4,8	3,7
Ho	ppm	0,2	0,1	0,0	0,1	1,0	0,1	0,1	0,7	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,7	1,1	0,3	0,8	0,2	0,1	0,8	0,9	0,8
Er	ppm	0,7	0,3	0,1	0,3	2,2	0,4	0,4	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	2,0	2,9	0,8	2,3	0,6	0,3	2,4	2,9	2,1
Tm	ppm	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,1	0,4	0,4	0,3
Yb	ppm	0,8	0,3	0,1	0,2	2,2	0,1	0,4	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	1,9	2,5	0,5	2,3	0,5	0,3	2,4	2,8	2,1
Lu	ppm	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,0	0,3	0,4	0,3

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Matriz de correlação. As mais significativas estão sombreadas em verde (positivas) e em vermelho (negativas).

	SiO2	Al2O3	Fe2O3t	MnO	NiO	CaO	Na2O	K2O	H2O	P2O5	PF	As	Ba	Sr	Be	Bi	Cd	Co	Cs	Cu	Ga	Hf	Mo	Nb	Ni	Kb	Sb	Sc	
SiO2	1,00	0,55	-0,95	-0,15	0,60	0,57	0,39	0,43	0,41	-0,42	-0,02	-0,49	-0,16	0,10	-0,30	-0,32	-0,10	0,27	-0,24	-0,22	0,36	0,19	-0,20	0,09	0,33	0,30	-0,62	0,51	
Al2O3		1,00	-0,75	0,08	0,72	0,69	0,60	0,60	0,85	-0,11	0,22	-0,09	0,04	0,57	-0,17	-0,09	-0,12	0,53	0,01	0,07	0,81	0,63	-0,05	0,54	0,53	0,50	-0,27	0,93	
Fe2O3T			1,00	0,08	-0,74	-0,69	-0,52	-0,55	-0,61	0,29	-0,18	0,39	0,10	-0,24	0,23	0,29	0,06	-0,48	0,22	0,07	-0,56	-0,37	0,19	-0,25	-0,52	-0,40	0,53	-0,74	
MnO				1,00	0,01	0,12	0,40	0,19	0,29	0,17	-0,06	0,36	0,98	0,46	0,10	0,08	-0,06	0,28	0,47	0,28	0,20	0,44	0,15	0,44	0,05	0,35	0,42	0,11	
MgO					1,00	0,77	0,77	0,78	0,64	-0,16	0,10	-0,17	-0,05	0,03	-0,18	-0,15	-0,07	0,76	0,05	0,00	0,65	0,43	-0,13	0,29	0,79	0,65	-0,31	0,83	
CaO						1,00	0,84	0,95	0,58	-0,16	0,07	-0,06	0,09	0,23	-0,13	-0,15	-0,02	0,62	0,15	-0,06	0,58	0,42	0,01	0,28	0,46	0,88	-0,33	0,72	
Na2O							1,00	0,84	0,60	-0,05	-0,02	0,10	0,37	0,23	0,04	0,11	-0,09	0,71	0,22	0,11	0,59	0,50	0,36	0,38	0,56	0,81	-0,18	0,68	
K2O								1,00	0,55	-0,11	0,00	0,02	0,12	0,11	-0,17	-0,12	-0,08	0,65	0,34	-0,03	0,56	0,41	-0,06	0,27	0,48	0,96	-0,16	0,67	
TiO2									1,00	0,29	0,23	0,26	0,28	0,60	-0,23	0,24	-0,13	0,62	0,08	0,03	0,98	0,93	0,01	0,88	0,56	0,50	-0,09	0,81	
P2O5										1,00	0,48	0,75	0,20	0,08	0,27	0,62	0,15	0,31	-0,05	0,26	0,38	0,52	0,19	0,58	0,22	-0,09	0,50	0,01	
PF											1,00	0,07	-0,07	0,21	0,43	-0,11	0,33	0,48	-0,44	0,63	0,26	0,16	-0,10	0,15	0,51	-0,11	0,21	0,39	
As												1,00	0,36	0,04	0,23	0,75	-0,03	0,23	0,12	0,12	0,34	0,55	0,33	0,59	0,05	0,11	0,49	-0,07	
Ba													1,00	0,49	0,12	0,14	-0,06	0,23	0,40	0,24	0,19	0,45	0,21	0,45	-0,01	0,28	0,41	0,06	
Sr														1,00	-0,10	0,02	-0,12	0,10	0,06	0,13	0,48	0,55	0,10	0,56	-0,01	0,16	-0,07	0,43	
Be															1,00	0,12	0,34	0,20	-0,25	0,57	-0,19	-0,15	0,38	-0,16	0,18	-0,20	0,25	0,03	
Bi																1,00	-0,11	0,07	-0,19	-0,05	0,33	0,47	0,65	0,54	0,00	-0,11	0,18	-0,13	
Cd																	1,00	0,07	-0,14	0,02	-0,12	-0,13	0,00	-0,13	0,05	-0,12	-0,01	-0,01	
Co																		1,00	-0,03	0,51	0,67	0,57	0,00	0,46	0,93	0,56	0,19	0,71	
Cs																			1,00	-0,16	0,04	0,12	-0,14	0,11	-0,18	0,52	0,26	0,00	
Cu																				1,00	0,03	0,02	0,12	0,01	0,50	-0,06	0,58	0,20	
Ga																					1,00	0,93	0,03	0,88	0,61	0,49	-0,05	0,79	
Hf																						1,00	0,09	0,98	0,43	0,42	0,12	0,60	
Mo																							1,00	0,11	-0,07	-0,05	-0,12	-0,06	
Nb																								1,00	0,34	0,30	0,19	0,49	
Ni																									1,00	0,33	0,07	0,71	
Rb																										1,00	-0,06	0,56	
Sb																											1,00	-0,21	
Sc																												1,00	
Se																													
Sn																													
Th																													
U																													
V																													
W																													
Y																													
Zr																													
Pb																													
Zn																													
Au																													
Ag																													
Hg																													
Tl																													
La																													
Ce																													
Pr																													
Nd																													
Sm																													
Eu																													
Gd																													
Tb																													
Dy																													
Ho																													
Er																													
Tm																													
Yb																													
Lu																													

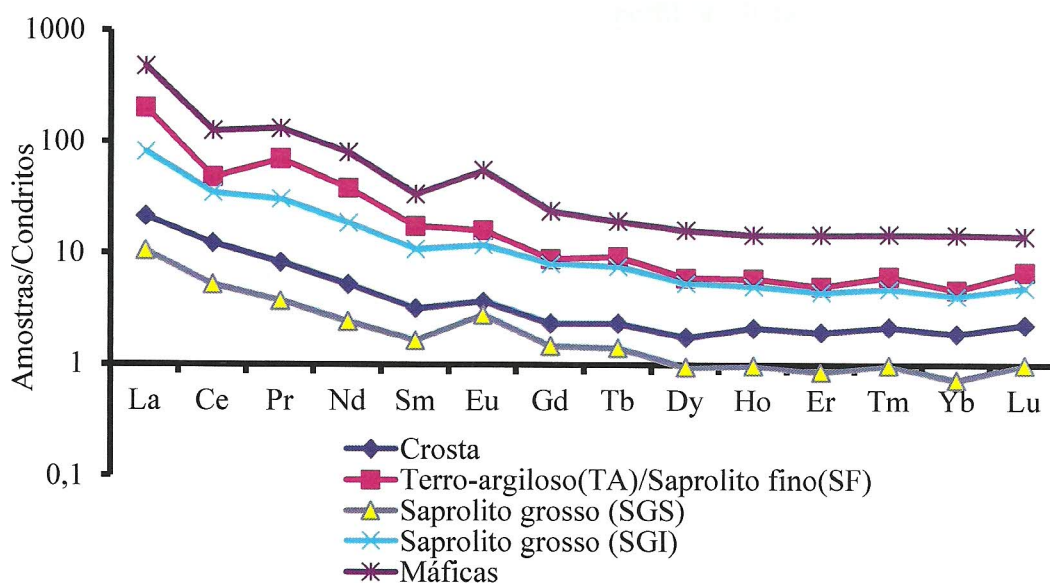
(Continua)

Os elementos traço ocorrem em teores muito baixos, em geral sob nível crustal, tanto no minério quanto no jaspilito, com valores significativos para elementos. Os elementos traço como o Ni, Pb, Co e Zr mostram enriquecimento progressivo desde o jaspilito até a crosta. Zona superior do saprolito grosso (SGS), os teores médios são de Ni= 3,7, Pb= 0,5, Co= 4,3 e Zr= 0,8 (todos em ppm), enquanto que no terro-argiloso (TA) e saprolito fino (SF) os valores são variáveis, Ni= 1,8 a 36,9; Pb= 0,4 a 7,6; e Zr= 0,8 a 7,6. Destacam-se valores anômalos para Cu (728,1), Ba (1267) e Zn (112). Estes três últimos mostram enriquecimento a partir do SGS, porém com valores bastante oscilatórios, assim como na zona inferior do saprolito grosso (SGI). Costa et al. (2006) sugere que esses elementos estão associados em grande parte devido à adsorção de metais por óxidos de Mn, mas estes não estão presentes no perfil investigado. Teores mais altos que no jaspilito também são encontrados na crosta para Co (31 ppm), Ni (51,1 ppm), Cu (54,2 ppm) e Zn (26 ppm), além de Zr (140 ppm).

Os teores dos elementos terras raras sugerem um enriquecimento relativo em relação ao topo do perfil, porém mantendo praticamente os mesmos padrões de distribuição (figura 15). No geral, há um padrão de enriquecimento dos ETRs leves relativos aos pesados. Segundo Costa et al. (2006) esse padrão evidencia a baixa mobilidade destes elementos no processo de mineralização. A razão ETRL/ETRP média no SGS é de 8,74. No TA e SF a razão aumenta para 15,83, mostrando uma remoção preferencial de ETRP (Gd-Lu). O SGI e o TA/SF apresentam padrão muito semelhante na concentração de ETR com teores de mais de dez vezes em relação ao SGS. O grau de fracionamento entre leves e pesados é semelhante entre a crosta e o SGS, na média de 9,37.

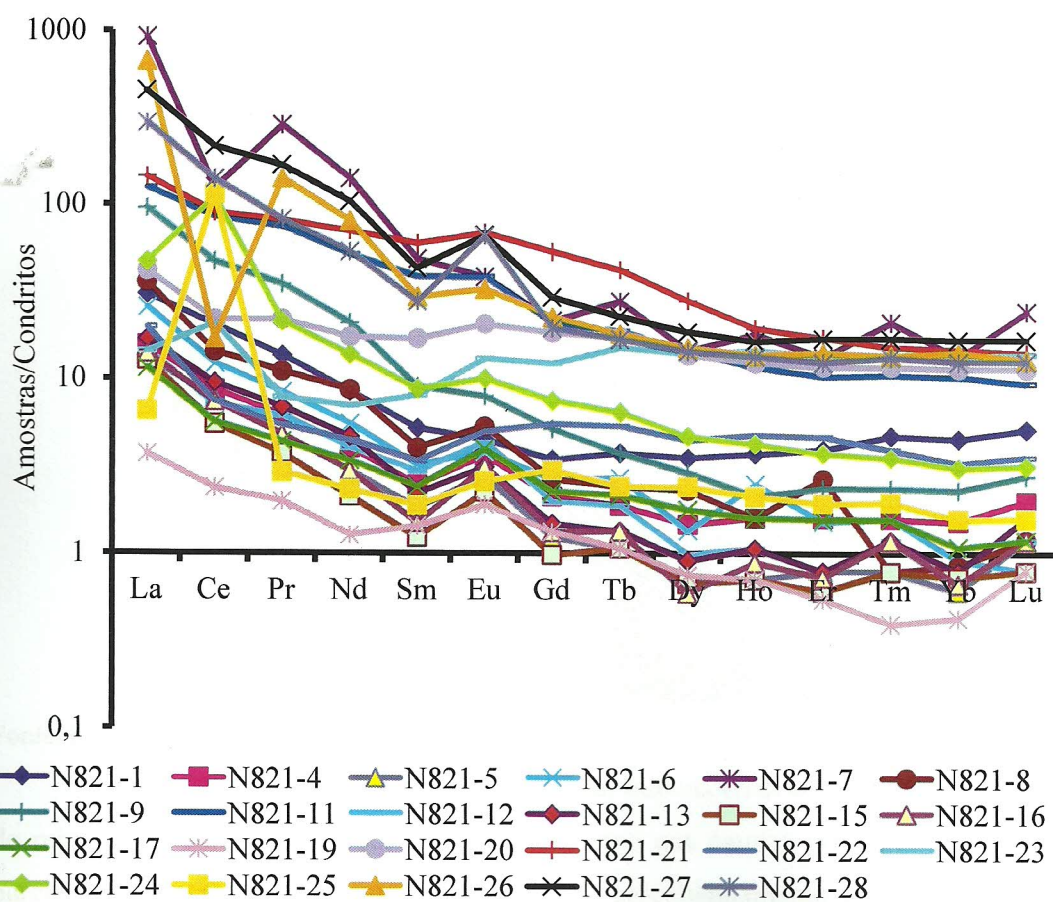
Os teores de ETRP são diretamente proporcionais às concentrações de Y nas amostras analisadas (figura 14). O Eu exibe uma anomalia levemente negativa ($Eu/Eu^* = 0,52$ a $1,10$) na maior parte do perfil exceto nas amostras N821-15, 16 e 28, nas quais são positivas ($>1,0$). Os padrões de anomalia do Ce (Ce/Ce^*) são negativos, porém nas amostras N821-24 e 25 elas são positivas (figura 16).

Figura 15 - Diagrama de distribuição dos ETR (normalizados) por horizontes ao longo do perfil N80021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Diagrama de distribuição dos ETR normalizado aos condritos.



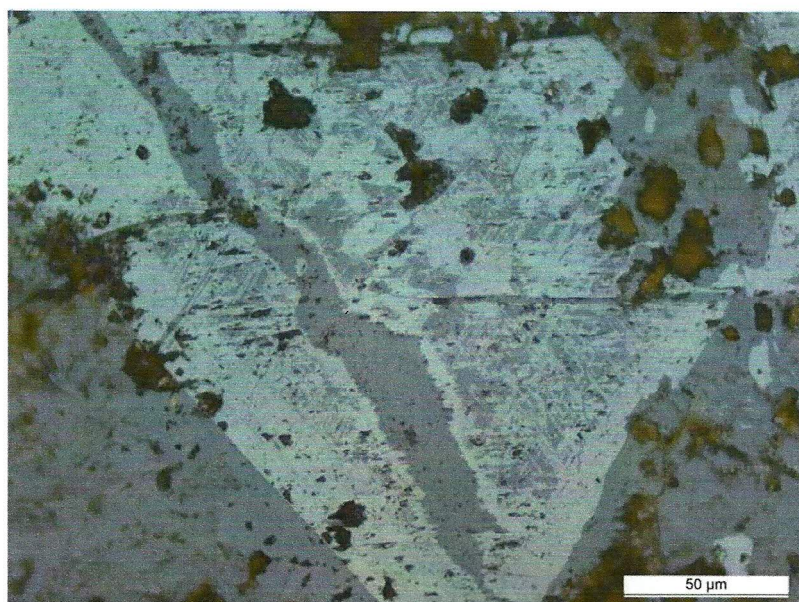
Fonte: Elaborado inicialmente por Glayce da Silva. Modificado pelo autor.

5 DISCUSSÕES

Quanto às fases minerais que compõem o perfil de alteração, a magnetita é uma fase que persiste de forma parcialmente estável nesse processo geoquímico. Segundo Costa (2006) a magnetita é uma fase importante no protominério de Carajás. Ocorre dentro das bandas de hematita, porém podem formar camadas quase contínuas, contendo agregado de cristais. Os cristais deste mineral não perturbam o acamamento e o contato com a hematita (maciça) é brusco. Segundo Macambira (2003) a formação diagenética da magnetita demonstra que a força de cristalização deste óxido permite que cresça como um mineral euédrico e de dimensões consideráveis nos contatos entre bandas hematíticas e as bandas de quartzo.

Além disso, a magnetita encontrada no perfil do depósito N8 se apresenta como lamelas distinguíveis nos centros dos cristais de hematita pseudomórficos, principalmente de magnetita e/ou de maghemita; a microtextura do tipo treliça é frequente nestes cristais (figura 17).

Figura 17 - Textura em treliça em hematita pseudomórfica (branca, média reflexão). Microfratura que aparece do canto esquerdo superior ao centro inferior, totalmente preenchida por goethita maciça (cinza médio, baixa reflexão). A goethita maciça aparece também dispersa nesta microtextura dentro do cristal. Goethita do tipo maciça a acicular contorna a borda do cristal. Notar que as bordas de hematita do cristal contêm reentrâncias causadas por corrosão. Inúmeras cavidades são visíveis dentro e fora do cristal com diferentes formas e tamanhos.



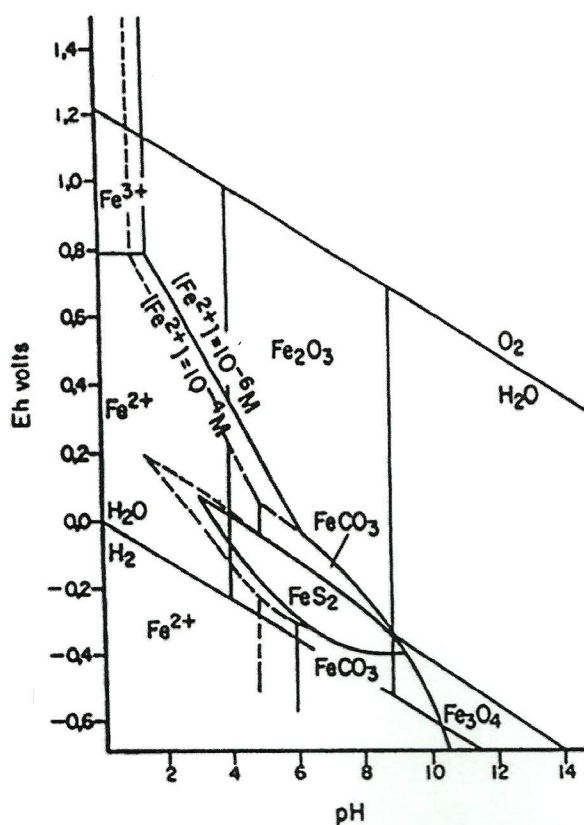
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Admite-se que hematita tabular e goethita, que ocorrem como principais constituintes do minério no perfil são produtos do intemperismo que causou primeiramente a dissolução parcial da hematita microgranular (ou maciça) do paleobandamento, por reprecipitação. Onde houve espaço e ambiente oxidante, favoreceu-se a formação e crescimento dos cristais de

hematita. Quando as condições de hidratação para formação da goethita se impuseram houve precipitação do plasma, com crescimento gradual de cristais aciculares, posteriormente cristais mais desenvolvidos com terminações ortorrômbicas ou piramidais, e sucessivas fases de bandas aciculares radiais. Outra evidência deste processo é o enriquecimento supergênico do ferro que por permanecer no sistema, com a saída de outros elementos, concentra-se refletindo os altos teores encontrados nos horizontes superiores do perfil.

Os campos de estabilidade dos principais óxidos de ferro são esquematizados na figura 18, construída a $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$ e $P = 1\text{ atm}$, em relação ao pH e Eh. A hematita é estável, sobretudo em condições francamente oxidantes, cedendo lugar à magnetita sob condições mais redutoras, provavelmente reinantes a muitos metros abaixo da superfície. A hematita primária residual também foi assinalada por Spier (2005) como principal constituinte do minério friável na mina de Águas Claras, no Quadrilátero Ferrífero. Dorr II (1965) e Eichler (1968) também se referem à hematita residual como o componente dominante de muitos depósitos supergênicos de ferro. A goethita parece resultar da dissolução parcial da hematita, devido à acidez maior em presença de compostos orgânicos (COSTA, 2006).

Figura 18 – Diagrama Eh-pH do Fe.



Fonte: Krauskopf, 1972.

A paragênese mineralógica característica de Fe_2O_3 e SiO_2 , principais componentes dos jaspilitos, ressaltam a ambiência laterítica clássica, baseada em reações de hidrólise, onde os minerais característicos como caulinita, gibbsita e Al-goethita, mesmo sob ambiente pobre em Al_2O_3 , se desenvolveram, mas destacadamente, nos horizontes superiores: saprolito fino, terro-argiloso e crosta, coadjuvados por Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 , principalmente, mesmo que em teores relativamente baixos, por conta da ambiência jaspilítica primária, precipitação química.

Costa et al. (2006) acreditam que parte do minério hematítico seja de origem sin-sedimentar, em zona plataformal estável e que os teores mais altos de certos metais (Cu, Pb e Zn) no minério em relação ao jaspilito podem indicar uma maior proximidade da fonte exalativa ou maior intensidade desta em relação ao protominério. De acordo com os mesmos autores, a assinatura da fonte exalativa submarina também está presente na anomalia positiva de Eu.

Além disso, segundo Costa et al. (2006) a retenção relativa de elementos menos móveis em condições superficiais como Ni, Co, Zr, Pb e ETR, sendo estes enriquecidos durante o intemperismo, são fortes evidências para a evolução supergênica-laterítica, reforçados pela semelhança entre os padrões de ETR que apontam a herança do jaspilito nos seus produtos de alteração. Este depósito de origem supergênica, assim como outros que foram caracterizados na região, parece ter se formado durante o mesmo evento de lateritização iniciado no Paleoceno, que segundo Vasconcelos (1996) iniciou sua formação há 70 Ma. Este período parece ser suficiente para a geração das acumulações de hematita residual sobre os jaspilitos de Carajás (COSTA et al. 2006).

6 CONCLUSÕES

A topossequência do perfil do furo FN8-0021 constitui-se claramente de horizontes típicos de perfil laterítico. A estrutura do perfil laterítico é altamente heterogênea na escala do perfil, exibindo uma sucessão vertical de diferentes horizontes. Especificamente neste perfil, foi levado em consideração o contato com a rocha máfica cloritizada na base, característico da região, estas segundo os aspectos texturais, mineralógicos e químicos não contribuíram para o desenvolvimento do perfil laterítico no seu todo, ficando muito restrito a base do saprolito grosso, o qual exhibe estruturas pertencentes ao protominério, o que sugere que este horizonte resulta principalmente do intemperismo isovolumétrico da rocha-mãe. É sobreposto por um horizonte intermediário exibindo endurecimento contínuo (crosta) ou descontínuo (nódulos) de acumulação por óxidos de Fe e Al.

Apesar da contrastante estrutura e texturas observadas nos horizontes sobrepostos de solo laterítico, sua composição mineralógica é previsível. Cada horizonte, mesmo sob o domínio dos oxi-hidróxido de ferro, apresenta a paragênese mineralógica característica. Há predominância da hematita lamelar, seguida pela goethita ambas neoformadas; cristais de magnetitas, ou resto deles, podem ser encontrados compondo o núcleo de cristais de hematita pseudomórfica; o quartzo ocorre na forma microcristalina ou em veios com textura granoblástica na base do saprolito grosso.

Quanto aos dados químicos de rocha total mostram também claro desenvolvimento laterítico, demonstrado pela abrupta perda de SiO_2 e conseqüente enriquecimento relativo de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e de TiO_2 , além de P_2O_5 , MnO e Cu . Aos álcalis não se depreende nenhum padrão, pois os jaspilites são desprovidos dos mesmos.

Portanto, o perfil laterítico estudado é derivado da formação ferrífera bandada na Serra dos Carajás, pode ser considerado representativo para os estudos mineralógicos e químicos da transformação imposta pela lateritização nessa região, sendo responsável pela formação do minério de ferro de alto teor. É um perfil laterítico maturo, provavelmente relacionada ao evento de lateritização iniciada no Paleoceno.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, R. A., MONTEIRO, L. V.S., XAVIER, R.P., SOUZA FILHO, C.R. Zonas de alteração hidrotermal e paragênese do minério de cobre do Alvo Bacaba, Província Mineral de Carajás (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 263-277, 2008.
- ARAÚJO, O.J.B.de; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X. da S.; COSTA, J.B.S. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 1, **Anais**, Belém, SBG. p. 324-338, 1988.
- BEKKER, A., SLACK, J.F., PLANAVSKY, N., KRAPEZ, B., HOFMANN, A., KONHAUSER, K.O., ROUXEL, O.J., WING, B.A., Iron formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, and biospheric processes. **Economic Geology**, v. 105, p. 467-508, 2010.
- COSTA, M.L., Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 21, p. 146-160, 1991a.
- COSTA, M. L. Gossans da Amazônia: notícias tardias. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1991b. v.3, p. 449- 464.
- COSTA, M.L., Lateritization as major process of ore deposit formation in the Amazon Region. **Exploration and Mining Geology**. v. 6, p. 79- 104, 1997.
- COSTA, U.A.P. **Avaliação dos processos geradores do minério de ferro da Serra Norte de Carajás, Sudeste do Pará**. 2006. 00f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.
- COSTA M.L. & ARAÚJO E.S. Application of multi-element geochemistry in Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks. **J. Geoch. Explor.**, v. 57, p. 257-272, 1996.
- COSTA M.L. & ARAÚJO E.S. Caracterização mineralógica e geoquímica multi-elementar de crostas ferruginosas lateríticas tipo minérios de ferro em Carajás. **Geociências**, n.16, v.1, p.55-86, 1997.
- COSTA J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B. DE; SANTOS, A. DOS; JORGE JOÃO, X DA S; MACAMBIRA, J.B.; LAFON, J.M. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono estruturais, estratigráficos e geocronológicos. **Bol. Do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Sér. Ciências da Terra, v. 7: p. 199-235. 1995.
- COSTA, M.L., CARMO, M. S., BEHLING, H. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 165-176, 2005.
- COSTA M. L., KERN D. C., BEHLING H., BORGES M. S.A. Geologia da região de Caxiuanã na Amazônia oriental, In: Pedro Lisboa (org.) Caxiuanã : Meio Físico e Diversidade Biológica ed.Belém : **Museu Paraense Emílio Goeldi**, p. 179-205, 2002a

COSTA M.L. & LEMOS V.P. Siderita e vivianita em crostas lateríticas alteradas Epigeneticamente (Paduari, Amazônia). *Revista Escola de Minas*, n. 53, v. 2, p.101-107, 2000.

COSTA, U.A.P., MACAMBIRA, J. B., KOTSCHOUBEY, B. Origem sedimentar-supergênica para o minério de ferro da serra norte de Carajás. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, Aracaju. *Anais* do XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006.

COSTA M. L. ; QUEIROZ J. D. S. ; SILVA A. C. S. ; ALMEIDA H. D.F; COSTA, L. C.C. Perfil Laterítico Desenvolvido Sobre Formação Ferrífera Bandada (Jaspilito) em Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 12, *Anais*, Boa Vista (Roraima), 2011.

CUNHA, B.C.C.; SANTOS, D.B.; PRADO, P. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região de Gradaús, com ênfase no Grupo Rio Fresco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, *Anais*, Rio de Janeiro, SBG: v. 2, p. 873-885, 1984.

DARDENNE M.A., FERREIRA FILHO C.F., MEIRELLES M.R. The role of shoshonitic and calc-alkaline suites in the tectonic evolution of the Carajás District, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 92(B9): p. 9175-9192, 1988.

DOCEGEO - Rio Doce Geologia e Mineração S/A. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, *Anais*, Belém, SBG: p.10-54. 1988.

EVENSEN, N. M.; HAMILTON, P. J.; O'NIONS, R. K. Rare-earth abundance in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, v.49, p.1199-1212, 1978.

FABRE, S., NÉDÉLEC, A., POITRASSON, F., STRAUSS, H., THOMAZO, C., NOGUEIRA, A., Iron and sulphur isotopes from the Carajás mining province (Pará, Brazil): Implications for the oxidation of the ocean and the atmosphere across the Archaean-Proterozoic transition. *Chemical Geology*, v. 289: p. 124-139. 2011.

FIGUEIREDO E SILVA, R.C. **Evolução e gênese do minério de ferro hidrotermal nos depósitos da Serra Norte, província mineral Carajás.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2009.

GALARZA T.M.A., MACAMBIRA M.J.B, MOURA C.A.V. Geocronologia Pb-Pb e Sm-Nd das rochas máficas do depósito Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás (PA). In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 7, CD-Rom, 2003.

GALOPIN, R. & HENRY, N. F. Microscopic study of opaque minerals. *Cambridge* (W. Heffer & Sons), p. 322, 1972.

GRAINGER C.J., GROVES D.I., TALLARICO F.H.B., FLETCHER I.R. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic baseand precious-metal

mineralization. **Ore Geology Reviews**, v. 33, p. 451-489 (doi:10.1016/j.oregeorev.2006.10.010), 2008.

GROSS, G.A., A classification of iron-formation based on depositional environments: **Canadian Mineralogist**, v. 18, p. 215–222, 1980.

HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M.. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, **Anais**, Belém, SBG: v. 1, p. 100-110, 1982

HITZMAN M.W. Iron oxide-Cu-au deposits: what, where, when, and why. In: Porter T.M. (ed.) Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective. Austral. **Miner. Fund**, Adelaide, p. 9-25, 2000.

JAMES, H.L., Sedimentary facies of iron-formation. **Econ. Geol.**, v. 49, p. 235–293. 1954.

JAMES, H.L. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: A.F. Trendall & R.C. Morris (eds). Iron-formations Facts and Problems. Hardcover, **Elsevier**, p. 471-490, 1983.

KRAUSKOPF, K.B. Introdução a geoquímica. São Paulo, **Polígono/EDUSP**. 720p, 1972.

LINDENMAYER, Z.G.; LAUX, J.H.; TEIXEIRA, J.B.G. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31(1): p. 21-28, 2001.

LINDENMAYER Z.G., LAUX J.H., VIEIRO A.C. O papel da alteração hidrotermal nas rochas da Bacia Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, p. 125-145, 1995.

MACAMBIRA, J.B. O ambiente deposicional do Grupo Grão Pará-Carajás. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade de Campinas, p. 212, 2003

MACAMBIRA & SCHRANK, Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, Ed. 4, p. 567-577, 2002.

MEIRELLES M.R & DARDENNE M.A. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco arqueano, Grupo Grão Pará, Serra dos Carajás, Pa. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 21: p. 41-50. 1991.

MONTEIRO L.V.S., XAVIER R.P., CARVALHO E.R., HITZMAN M.W., JOHNSON C.A., SOUZA FILHO C.R., TORRESI I. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: Paragenesis and stable isotope constraints. **Mineralium Deposita**, v. 43: p. 129- 159. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-006-0121-3>, 2008.

RANKAMA, K. & SAHAMA, T.H.G. Geochemistry. **Chicago Press**, p. 911. 1968.

TARDY, Y. & PAQUET H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **African Earth Sciences**, v. 12, n. ½, p. 283-295, 1991.

TAYLOR S.R., MCLENNAN S.M. The continental crust: its composition and evolution. **Blackwell Scientific Publication**, Carlton, p.312, 1985.

TOLBERT, G.E., TREMAINE, J.W., MELCHER, G.C., GOMES, C.B., The recently discovered Serra dos Carajás Iron Deposits, Northern Brazil. *Econ. Geol.* 66, 985-994. Iron formations: facts and problems. In: Trendall, A.F., Morris, R.C. (Eds.), *Developments in Precambrian geology*, 6. **Elsevier**, Amsterdam, 1971.

TRENDALL, A.F., BASEI M.A.S., LAETER J.R., NELSON D.R.. Iron microprobe zircon U-Pb results from the Carajás área of the Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11: p. 265-277. 1998

UYTENBOGAARDT, W. & BURKE, E. A. J. Tables for microscopic identification of ore minerals. New York, p. 430, 1971.

VILLAS, R.N. & SANTOS, M.D. The gold deposits of the Carajás mineral province: deposit types and metallogenesis. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 300-331, 2001.

WILLIAMS P.J., BARTON M.B., JOHNSON D.A., FONTBOTÉ L., HALLER A., MARK G., OLIVER N.H., MARSCHIK R. Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin. **Economic Geology** 100th Anniversary Volume, p. 371-405, 2005

WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI JR., W.J. U-Pb Ages of Zircons from the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, p. 195-200, 1986.