



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“A ASSOCIAÇÃO GEOQUÍMICA Au-As-B-W-Cu-(Sn) EM SOLOS,
COLÚVIOS, CROSTA LATERÍTICA E GOSSANS NO ALVO ÁGUAS
CLARAS-CARAJÁS”.**

TESE APRESENTADA POR
NEWTON CUNHA DA COSTA


Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação 07.05.1997

Comitê de Tese:


.....
MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)


.....
RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA


.....
CLÁUDIO GERHEIM PORTO

BELÉM

**À meus pais: Nazareno e Gertrudes,
muito obrigado por tudo.**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições que participaram, contribuindo direta ou indiretamente na realização deste trabalho de tese:

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, pela orientação deste trabalho e ao apoio indispensável;

Ao Geol. Dr. Rômulo Simões Angélica, pela atenção, críticas e sugestões apresentadas, além do apoio e incentivo indispensável à realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Cláudio Gerheim Porto, que colaborou na etapa de campo e pela sua atenção e prontidão em participar como avaliador deste trabalho;

Ao Centro de Geociências e Curso de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA, pela utilização da infra-estrutura e oportunidade de realização deste trabalho, em especial ao Prof. Dr. Walter Schuckmann responsável pelo Laboratório de Difração de Raios-X, e as técnicas Walmeire e Vânia;

A Companhia Vale do Rio Doce e a DOCEGEO, pela permissão em trabalhar na área Águas Claras e pelo apoio financeiro através do projeto “Mineralogia e Geoquímica do wolfrâmio, boro, estanho e cobre em solos e crostas lateríticas do platô do alvo Águas Claras e sua relação aurífera”, e em especial ao geólogo Anselmo V. Soares pelo apoio e amizade;

Ao Prof. Dr. Henrique Kahn e a geóloga Sandra G. Gabas, do Laboratório de Caracterização Tecnológica, da Escola Politécnica da USP, pela realização de análises por MEV-SED em algumas amostras deste trabalho;

Ao geólogo Msc. Elias Morais, que participou da etapa de campo e pela atenção sempre disponível, e aos amigos Carlos Cassini, Dirse Kern, Hector, Oscar, Milson e Sérgio pelo companheirismo e incentivo durante todo o trabalho.

*A fé sincera e verdadeira é sempre calma,
dá a paciência que sabe
esperar*

SUMÁRIO

	Pg.
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	5
1.1. APRESENTAÇÃO E OBJETIVO	5
1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	8
1.3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOMORFOLÓGICOS	9
1.4. GEOLOGIA	10
1.4.1. Regional	10
1.4.2. Local	13
1.5. MATERIAIS E MÉTODOS	17
1.5.1. Trabalhos de campo e amostragem	17
1.5.2. Procedimentos analíticos	20
1.5.2.1. Tratamento das amostras em laboratório	20
1.5.2.2. Análises petrográficas	20
1.5.2.3. Análises mineralógicas por difração de raios-X	21
1.5.2.4. Microscopia eletrônica de varredura com sistema de energia dispersiva (MEV-SED)	21
1.5.2.5. Análises químicas	22
1.5.2.6. Separação das partículas de ouro e dos outros minerais pesados	23
1.5.2.7. Tratamento dos dados	23
2. A PROSPECÇÃO DO OURO LATERÍTICO, ESTADO DA ARTE:	24
2.1. INTRODUÇÃO	24
2.2. EVOLUÇÃO DOS PERFIS LATERÍTICOS	25
2.3. COMPORTAMENTO DO OURO SUPERGÊNICO	29

2.4. A PROSPECÇÃO DE OURO LATERÍTICO NO MUNDO.....	31
2.5. A PROSPECÇÃO DE OURO LATERÍTICO NO BRASIL.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
3.1. DESCRIÇÃO DO PERFIL.....	34
3.1.1. Latossolos	35
3.1.2. Colúvios	35
3.1.3. Crosta laterítica	36
3.1.4. Gossan	38
3.1.5. Rocha encaixante dos corpos mineralizados.....	39
3.1.6. Discussão	41
3.2. MINERALOGIA	42
3.2.1. Latossolos.....	42
3.2.2. Colúvios	44
3.2.3. Crosta laterítica e gossans.....	45
3.2.4. Discussão.....	48
3.3. GEOQUÍMICA.....	49
3.3.1. Latossolos.....	49
3.3.2. Colúvios.....	57
3.3.3. Crosta laterítica e gossans.....	63
3.3.4. Distribuição do ouro e elementos associados.....	68
3.3.5. Discussão.....	76
3.4. QUÍMICA MINERAL.....	79
3.4.1. Ouro	79
3.4.2. Turmalina.....	83
3.4.3. Outros minerais.....	90
3.4.4. Discussão	95
4. CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXO: Descrição das amostras coletadas	113

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	P
Figura 1.1 - Mapa de localização do Alvo Águas Claras.....	8
Figura 1.2 - Coluna estratigráfica para a região de Carajás (DOCEGEO, 1988)....	11
Figura 1.3 - Mapa geológico do Alvo Águas, cedido pela DOCEGEO.....	14
Figura 1.4 - Arranjo estrutural tipo <i>host-graben</i> na área-tipo da Formação Águas Claras até a mina do Igarapé Azul, segundo NOGUEIRA (1995).....	15
Figura 1.5 - Seção geológica do Corpo F-23 mostrando a estruturação dos veios e sua relação com a encaixante, fornecido pela DOCEGEO.....	16
Figura 1.6 - Mapa de amostragem no corpo da anomalia Au-As, com base nos maps geológicos cedidos pela DOCEGEO.....	18
Figura 1.7 - Mapa de amostragem no corpo F-23, com base nos mapas geológicos cedidos pela DOCEGEO.....	19
Figura 2.1 - Zonas morfoclimáticas segundo BUDEL (1982).....	26
Figura 3.1 - Perfis de pontos descritos neste trabalho durante a fase de campo e correlacionados com o perfil gossânico do furo 23, descrito por ANGÉLICA (1996).....	34
Figura 3.2 - Aspecto do latossolo que ocorre às proximidades da TR-35.....	35
Figura 3.3 - Aspecto do colúvio encontrado na área de Águas Claras.....	36
Figura 3.4 - Aspecto de fragmentos de crosta laterítica.....	37
Figura 3.5 - Aspecto da crosta gossânica e fragmentos de gossans rico em quartzo	38
Figura 3.6 - Seção geológica da parede NW da TR-35.....	39
Figura 3.7 - Aspecto macroscópico do arenito ferruginizado.....	40
Figura 3.8 - Esquema geral do perfil de alteração descrito nas encostas do Alvo Águas Claras.....	41
Figura 3.9 - Espectros da difração de raios-X, de algumas amostras de latossolo...	42
Figura 3.10 - Espectros da difração de raios-X, de algumas amostras de colúvio.....	44
Figura 3.11 - Espectros da difração de raios-X, de amostras de crosta laterítica.....	46
Figura 3.12 - Espectros da difração de raios-X, das três amostras de gossan.....	47
Figura 3.13 - Matriz de correlação dos elementos maiores das amostras de latossolo.....	50
Figura 3.14 - Matriz de correlação dos elementos-traço das amostras de latossolo...	54
Figura 3.15 - Dendrograma modo-R dos elementos-traço das amostras de latossolo	55
Figura 3.16 - Correlação entre os pares de elementos das amostras de latossolo.....	56
Figura 3.17 - Matriz de correlação dos elementos maiores das amostras de colúvio.	57
Figura 3.18 - Matriz de correlação dos elementos-traço das amostras de colúvio.....	60
Figura 3.19 - Dendrograma modo-R dos elementos-traço das amostras de colúvio..	61
Figura 3.20 - Correlação entre os pares de elementos das amostras de colúvio.....	62
Figura 3.21 - Matriz de correlação dos elementos-traço das amostras de crosta.....	65
Figura 3.22 - Dendrograma modo-R dos elementos-traço das amostras de crosta....	66
Figura 3.23 - Correlação entre os pares de elementos das amostras de crosta.....	67
Figura 3.24 - Mapas de isoteor de Au no corpo da anomalia Au/As.....	70
Figura 3.25 - Mapas de isoteor de As e B no corpo da anomalia Au/As.....	71
Figura 3.26 - Mapas de isoteor de Sn e W no corpo de anomalia Au/As.....	72

Figura 3.27 -	Mapas de isótopos de Mo e Hg no corpo de anomalia Au/As.....	73
Figura 3.28 -	Distribuição do Au e associados nos perfis amostrados.....	74
Figura 3.29 -	Diagrama triangular $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, com os vários horizontes.....	77
Figura 3.30 -	Diagrama triangular Ni-Zn-Cu, segundo Taufen & Brenner.....	78
Figura 3.31 -	Micrografias de partículas de Au do Águas Claras, obtidas por MEV.	81
Figura 3.32 -	Massa de turmalina e quartzo, com a formação de cristais subédricos a euédricos.....	84
Figura 3.33 -	Fotomicrografia mostrando o mosaico formado pela turmalina e quartzo na porção inalterada do veio mineralizado turmalínífero.....	84
Figura 3.34 -	Fotomicrografia mostrando a estrutura radial desenvolvida na turmalina da zona de contato entre os metarenitos e os veios de quartzo.....	85
Figura 3.35 -	Cristal euédricos concêntricos de turmalina.....	86
Figura 3.36 -	Cristal de turmalina euédrico com microcristal intercrescido, cujo núcleo encontra-se ausente, provavelmente dissolvido.....	86
Figura 3.37 -	Detalhe do mosaico formado entre o quartzo e a turmalina, em porções dos veios de quartzo e encaixante.....	87
Figura 3.38 -	Padrão difratométrico das turmalinas do Alvo Águas Claras.....	87
Figura 3.39 -	Localização das turmalinas no diagrama de EPPRECHT (1953).....	88
Figura 3.40 -	Cristal de hematita encontrado no latossolo.....	90
Figura 3.41 -	Foto micrografia de goethita botrioidal.....	91
Figura 3.42 -	Cristal de pirrotita encontrado no Águas Claras.....	92
Figura 3.43 -	Grão de wolframita parcialmente destruído, envolto a um plasma hematítico-goethítico.....	93
Figura 3.44 -	a) Cristal de cassiterita na matriz hematítica de gossan, b) Cristal bem formado encontrado no latossolo.....	94
Figura 3.45 -	Micrografia por MEV-SED de fosfato encontrado nos gossans do Águas Claras.....	95

TABELAS	P
Tabela 1.1 - Elementos analisados e método utilizado.....	22
Tabela 2.1 - Classificação dos modelos de dispersão geoquímicas em terrenos tropicais.....	27
Tabela 2.2 - Principais modelos de prospecção geoquímica aplicados às diversas regiões do globo.....	28
Tabela 2.3 - Mobilização do ouro no solo.....	30
Tabela 3.1 - Avaliação qualitativa por DRX de amostras de latossolos do Águas Claras.....	43
Tabela 3.2 - Avaliação qualitativa por DRX das amostras de colúvio do Águas Claras.....	44
Tabela 3.3 - Avaliação qualitativa por DRX de algumas amostras de lateritos.....	45
Tabela 3.4 - Avaliação qualitativa por DRX das amostras de gossans do Águas Claras.....	46
Tabela 3.5 - Composição química para os óxidos maiores (em%) das amostras de latossolos.....	49
Tabela 3.6 - Concentrações dos elementos-traço analisados nas amostras de latossolos.....	51
Tabela 3.7 - Composição química para os óxidos maiores (em %) das amostras de colúvio.....	57
Tabela 3.8 - Concentrações dos elementos-traço analisados nas amostras de colúvio.....	58
Tabela 3.9 - Resultado da análise química para elementos maiores de gossan e crosta laterítica.....	63
Tabela 3.10 - Concentrações dos elementos-traço analisados nas amostras de costa laterítica em ppm e Hg em ppb.....	64
Tabela 3.11 - Resultado da análise químicas para elementos-traço nas amostras de gossans.....	68
Tabela 3.12 - Valores médios máximos e mínimos do ouro nos vários horizontes amostrados.....	69
Tabela 3.13 - Amostras estudadas por MEV-SED e seus respectivos horizontes.....	79
Tabela 3.14 - Composição química de algumas partículas de ouro por MEV-SED..	80
Tabela 3.15 - Resultado das análises por MEV-SED das partículas da Figura 3.31-e.	82
Tabela 3.16 - Composição química da turmalina da Figura 3.36, por MEV-EDS.....	89
Tabela 3.17 - Composição química da turmalina do Alvo Águas Claras (MEV-EDS)	89
Tabela 3.18 - Resultado das análises por MEV-SED dos fosfatos da Figura 3.45....	95
Tabela 3.19 - Pureza e tamanho das partículas de ouro no sulfeto primário, segundo ANGÉLICA (1996).....	96

RESUMO

A área estudada denominada Alvo Águas Claras, está situada na Província Mineral de Carajás, sudoeste do Estado do Pará, que representa uma das maiores províncias minerais do Mundo. É uma importante área para a pesquisa de ouro, que vem sendo prospectada desde 1991 pela DOCEGEO, subsidiária da Companhia Vale do Rio Doce - CVRD. Este alvo está situado em região de densa cobertura de floresta chuvosa, cujos perfis geológicos encontram-se fortemente intemperizados, mostrando semelhanças com os jazimentos auríferos descritos em várias outras regiões do oeste Africano e Austrália. Na região Amazônica, os perfis lateríticos mais antigos estão sofrendo intensa alteração desde o final da sua formação no Terciário Inferior, com conseqüente destruição desses perfis e formação de solos ou colúvios.

O objetivo desse trabalho é o estudo detalhado do comportamento do ouro, na superfície desse terreno laterítico truncado, e sua relação com elementos-traço como B, W, Sn e Cu, em latossolos, colúvios e crostas laterito-gossânicas aflorantes na área. Assim, desenvolveu-se um estudo geoquímico e mineralógico detalhado desse material, a fim de auxiliar na identificação das assinaturas geoquímicas indicativas da natureza primária das mineralizações e rochas associadas, além da avaliação da dispersão e mobilidade desses elementos durante as transformações das crostas lateríticas e gossans em latossolos e colúvios, para o estabelecimento de critérios na prospecção geoquímica desses corpos em regiões profundamente intemperizadas.

A metodologia de trabalho constou de uma fase de campo, desenvolvida sobre os corpos mineralizados denominados pela DOCEGEO de **Corpo da Anomalia Au/As** e **Corpo do F-23**, com o objetivo de reconhecimento geológico da área, descrição das unidades e coleta de amostras de superfície. As amostras coletadas foram na sua maioria latossolos, colúvios, crostas lateríticas, gossans, além das rochas encaixantes (arenitos e siltitos) e veios de quartzo. O tratamento analítico constou de várias fases como: secagem, quarteamento e separação de alíquotas de 200g para pulverização e 100g para separação dos minerais pesados e insolúveis de amostras pré-selecionadas, através dos teores mais elevados de boro e ouro. As análises petrográficas foram realizadas com microscópio ótico com luz refletida e transmitida. Todas as amostras foram submetidas a análise por difração de raios-X, onde foi analisado tanto a composição de amostra total, como dos diferentes domínios de amostras complexas e minerais isolados. Um estudo mineralógico de detalhe foi desenvolvido sobre as turmalinas, envolvendo o cálculo e refinamento dos parâmetros da cela unitária. As análises quantitativas dos minerais, assim como as fotografias de detalhe, foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura, com Sistema de Energia Dispersiva, envolvendo as partículas de ouro e outros minerais pesados associados.

Nas análises geoquímicas, os seguintes elementos maiores foram analisados: Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 através de colorimetria; SiO_2 e perda ao fogo (P.F.) por gravimetria; o Al_2O_3 por titrimetria; Na, Mn, K, Mg por absorção atômica, e alguns elementos-traço, incluindo o Au. No tratamento estatístico dos dados, utilizou-se principalmente os estudos de correlação, baseado no coeficiente de correlação de Pearson (r), através de diagramas binários de correlação, matrizes de correlação e dendrogramas da análise de agrupamentos em modo-R. Foram confeccionados mapas de isovalores para Au, B, W e As, a fim de melhor visualizar a dispersão em superfície desses elementos.

A geologia da área é caracterizada por diferentes materiais supergênicos aflorantes e sub-aflorantes, os quais podem ser justapostos na forma do seguinte perfil composto, do topo para a base: **Horizonte de solo** (latossolo), **Horizonte de colúvio**, **Crosta laterítica** e **Gossans**, sendo esses últimos, os principais corpos mineralizados em ouro, prospectados na área Águas Claras. A mineralogia de todo o perfil é representada basicamente por quartzo, caulinita e óxidos-hidróxidos de ferro, em diferentes proporções. Minerais acessórios como turmalina, wolframita, cassiterita e muscovitas são freqüentemente encontrados, ocorrendo em quantidades variadas, praticamente em todas as amostras. A composição mineralógica encontrada nos vários materiais analisados é bastante simples em termos de variedade de minerais, mas as proporções das fases mineralógicas, variam muito, mesmo dentro de amostras de um mesmo horizonte. Os minerais que apresentam maior distribuição entre as amostras são o quartzo e a hematita. O primeiro ocorre abundantemente no latossolo, diminuindo sensivelmente nas amostras de crosta laterítica com quase total desaparecimento nas amostras de gossans, enquanto o comportamento da hematita é o inverso.

As associações geoquímicas obtidas foram obtidas através das análises multi-elementares:

- | | |
|-------------------|--|
| Latossolos: | 1) As - Cu - B - Au - W - (Mn) - (Pb);
2) Cr - V - Ga - Mo - Ni - Zn; |
| Colúvios: | 1) As - Y - Cu - Mn - Pb - Mo
2) Au - W - B - F; |
| Crosta laterítica | 1) As - W - Au - B - F - Sn
2) Cu - Ni - Pb - Zn - Sc |

A associação geoquímica mais característica em todos os horizontes é aquela representada por Au-B-W-As, eventualmente com Sn-Cu-F devem refletir a assinatura geoquímica das mineralizações primárias Au-sulfetadas, além da influência das sedimentares encaixantes além das intrusões graníticas. Outras associações ou pares de correlações que envolvam Cr-V-Ga-Mo-Zn estão relacionadas a facilidade desses elementos serem incorporados na estrutura dos óxidos e hidróxidos de ferro, abundantes em todos os horizontes estudados.

As partículas de ouro encontradas nos vários horizontes, apresentam morfologia e pureza bastante variadas, podendo indicar a presença de várias fases de mobilização desse metal no ambiente supergênico. Quanto aos elementos-traço, ocorrem anomalias fortes de W, Sn e B, tendo como minerais responsáveis pelos altos teores, respectivamente, a wolframita, a cassiterita e a turmalina, sendo esta última pertencente ao campo composicional da dravita-schorlita, ricas em ferro, se aproximando bastante ao campo das ferridravitas.

Dentro do exposto, pode-se dizer que apesar da simplicidade mineralógica, a concentração dos elementos-traço é bastante heterogênea, mas com assinaturas características que permanecem nos diferentes horizontes e que permitem delinear os corpos supergênicos mineralizados e inferir a composição dos corpos primários. O entendimento da dispersão e a caracterização dessas assinaturas geoquímicas revela-se de grande importância na prospecção geoquímica, na exploração de outros corpos de natureza semelhante na região.

ABSTRACT

The Águas Claras area is situated in the Carajás Mineral Province, in the S-SE part of the Pará State, northern Brazil. This is an important area for gold research and has been prospected since 1991 by DOCEGEO, a subsidiary of Vale do Rio Doce Company - CVRD, the sponsor of the Carajás Mining District. This area is covered by deeply weathered profiles under tropical dense rain forest, in a similar context of the known lateritic terrains of Western Australia and West Africa. In the Amazon region, the old-mature laterite profiles have undergone post-lateritization weathering processes with further development of latosols and other supergene products, that mask or superimpose geochemical signatures.

The main objective of this work is to study the gold geochemical behaviour and other trace elements like B, W, Sn and Cu in the outcropping supergene materials of the Águas Claras area. The recognition and establishment of different mineralogical and geochemical associations for each weathered product can help in the identification of primary signatures of the ore bodies and parent rocks, besides the evaluation of secondary dispersion patterns in establishing geochemical exploration models.

Field work was conducted in two targets of the Águas Claras area, denominated "**Corpo da Anomalia Au-As**" and "**Corpo do F-23**", and involved surface geological mapping and sampling of the weathering materials. Samples collected included latosols, colluviuns, lateritic iron crusts and gossans, besides sedimentary wall-rocks and quartz veins.

Laboratory works comprised several phases of sample preparation and separation of the heavy-mineral concentrates for further mineralogical and geochemical analysis. Petrographical analysis were conducted in some samples (mainly the hardened ferruginous materials) while all the samples were submitted to X-ray (powder method). From the various samples, different gold and other heavy-minerals particles were separated and analysed by Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive System. A detailed mineralogical study was conducted in the tourmalines, that are important accessory minerals associated with gold, which included refinement of the unit-cell parameters.

Major geochemical analysis included: Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 (colorimetry); SiO_2 and LOI (gravimetry); Al_2O_3 (titrimetry); Na, Mn, K, Mg (Atomic Absorption Spectrometry) besides Au and some trace elements. Statistical treatment of the geochemical data was performed based on correlation coefficients through correlation matrixes and R-Mode Cluster Analysis. Isocontent maps for different elements were also generated in order to better evaluate dispersion patterns.

The supergene geology of the area is characterized by different outcropping weathered products that were interrelated in the following composite profile, from top to base: **Soil Horizon (latosol), Colluvium, Laterite iron crust and Gossans**, where the latter are the main gold-bearing mineralized bodies. The mineralogy of the different horizons is mainly represented by variable amounts of quartz, kaolinite and iron oxi-hydroxides. Tourmaline, wolframite, cassiterite and muscovite are important accessory minerals frequently described in the different horizons studied.

The geochemical associations obtained through multi-element analysis can be summarized as follow:

- | | |
|-----------------|--|
| Latosols: | 1) As - Cu - B - Au - W - (Mn) - (Pb);
2) Cr - V - Ga - Mo - Ni - Zn; |
| Coluvium: | 1) As - Y - Cu - Mn - Pb - Mo
2) Au - W - B - F; |
| Lateritic Crust | 1) As - W - Au - B - F - Sn
2) Cu - Ni - Pb - Zn - Sc |

The geochemical associations described above can be strictly associated with the primary geochemical signature of the gold-sulphide ore bodies, specially the main cluster **Au-B-W-As**, besides **Sn-Cu-F**, that remains in all the horizons studied. Other important associations or correlation pair that encompass Cr-V-Ga-Mo-Zn are related to the ability of the iron oxy-hydroxides to scavenger these elements that are abundant in all horizons of the profile.

From the various horizons of the profiles, different gold particles were separated and analysed by Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive System. Strong variations were described in terms of morphology and chemical compositions in the Au-Ag alloy, that can be interpreted both as (1) Primary residuals particles of different compositions or generations; and (2) Secondary particles, probably related to several phases of gold remobilization in the supergene environment.

Wolframite, tourmaline (dravite) and cassiterite are important accessory minerals described in all horizons. They accumulate themselves as resistates and, associated with gold, are responsible for the main geochemical signature of the area and can be useful pathfinder minerals in the search for new ore-bodies.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVO

A principal área mineral do Estado do Pará, e uma das maiores do Brasil, é reconhecidamente, a Província Mineral de Carajás, localizada no sudeste do Craton Amazônico. A exploração mineral da área, de fato, começa em 1967, com a descoberta de depósitos de ferro, pelos geólogos da antiga United States Steel Corporation (hoje USX Corporation, Pittsburgh, PA, USA), quando realizavam o levantamento geológico dos terrenos Pré-Cambrianos entre os rios Araguaia e Xingu (TOLBERT et al., 1971). A partir desta data, começaram a aparecer os primeiros trabalhos geológicos de cunho regional, por vezes prospectivos, onde foram descritos litotipos, que deram origem aos primeiros agrupamentos rochosos e unidades litoestratigráficas. Como resultado desses trabalhos, outras ocorrências minerais foram encontradas, e atualmente, três depósitos estão sendo explorados pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), estatal detentora do direito de lavra da área de Carajás. Esses depósitos são: a Mina de Ferro do N4, com reservas de 1,2 bilhões de tonelada de minério; Mina do Azul, com reserva de 65 milhões de toneladas de óxido de manganês, apropriado para o uso na produção de baterias eletrolíticas, assim como para o uso na metalurgia e indústria química; A Mina do Igarapé Bahia, um depósito de ouro laterítico com mais de 80 milhões de toneladas de metros cúbicos de reserva de minério (KISHIDA et al., 1990). Junto as minas de ferro, manganês e ouro já em produção, um grande número de depósitos ou jazimentos de cobre (Pojuca), níquel (Vermelho), estanho (Xingu) e alumínio (bauxita do N5), foram descobertos nestes últimos anos.

O Alvo Águas Claras, localizado entre as minas do Salobo e Bahia, apresenta valores anômalos de ouro, e foi estudado pela equipe da DOCEGEO de 1991 a 1996. Este alvo, assim como a Mina Igarapé Bahia, estão situados na zona intertropical com densa cobertura de floresta chuvosa, cujos perfis geológicos encontram-se fortemente intemperizados, mostrando semelhanças com os jazimentos auríferos descritos em várias outras regiões, como por exemplo: na Austrália

por BUTT & SMITH (1980), BUTT (1987) e BUTT & ZEEGERS (1989 e 1992), e na África por MATHEIS (1982), FREYSSYNET et al. (1989a e 1989b), dentre outros.

A prospecção mineral em ambientes tropicais, no qual o Alvo Águas Claras está inserido, teve origem principalmente durante o “boom do níquel” do início dos anos 70, cujos trabalhos realizados neste período contribuíram para o reconhecimento de afloramentos ferruginosos supergênicos, derivados da oxidação de corpos sulfetados (gossans) podendo conter concentrações anômalas de Au, As, Sb, Ag, Zn, Cu, Pb, Ni e Bi, e das couraças lateríticas (*ironstones*) que possuem preferencialmente concentrações anômalas de Al, Si, Cr, V, Ti, Mn e Ni (OLIVEIRA et al., 1991), sendo desenvolvidos métodos para identificar e caracterizar os gossans de Ni, através de parâmetros texturais e da geoquímica multi-elementar. Esses estudos mostraram que a prospecção direta do metal de interesse, sem um estudo completo dos elementos-traço, resultavam em insucessos, pois várias anomalias relacionadas às mineralizações também eram detectadas em outras formações ferruginosas, não gossânicas, genericamente descritas como *ironstones*.

A exploração geoquímica do ouro nesses terrenos tropicais, fortemente intemperizados, apresenta os mesmos problemas da prospecção dos metais base, que foram muito estudados em décadas passadas, e que serviram de base para o estudo da prospecção do Au supergênico. Os trabalhos, relacionados ao Au foram desenvolvidos mais exaustivamente nas últimas duas décadas, principalmente na África, Austrália, China e mais recentemente na Amazônia. Na região amazônica os perfis lateríticos, estão sofrendo intensa alteração intempérica com conseqüente formação de solos que recobrem diferentes áreas em diferentes horizontes dos perfis lateríticos (COSTA, 1991b). Assim, amostras de solo podem está representando tanto a parte superior do perfil quanto qualquer outro ponto, o que pode resultar em problemas de interpretação, já que nos perfis lateríticos os elementos não possuem distribuição homogênea (COSTA, 1993).

Desta forma, o objetivo desse trabalho de tese é estudar com maior detalhe o comportamento do ouro, na superfície desses terrenos lateríticos truncados, e sua relação com elementos-traço como B, W, Sn e Cu, principalmente em amostras de colúvios, latossolos e

crostas laterito-gossânicas, aflorantes no alvo Águas Claras. Trabalhos preliminares realizados na área pela DOCEGEO em amostras de solo e furos de sondagem (informações verbais) e por ANGÉLICA (1996) verificaram que a wolframita, assim como a turmalina e a cassiterita, fontes dos elementos anteriormente citados, ocorrem com frequência associadas ao Au. Assim, propõe-se o estudo geoquímico e mineralógico detalhado desses materiais supergênicos, desenvolvidos sobre mineralizações de ouro, a fim de auxiliar na identificação das assinaturas geoquímicas indicativas da natureza primária das mineralizações e rochas associadas. Espera-se ainda avaliar a dispersão e mobilidade dessas assinaturas durante as transformações das crostas lateríticas e gossans em latossolos e colúvios, para o estabelecimento de critérios na prospecção geoquímica desses corpos laterito-gossânicos em regiões profundamente intemperizadas.

1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área Águas Claras está localizada a cerca de 90 Km a oeste do Núcleo de Carajás, município de Parauapebas, sudeste do Estado do Pará, cabendo a Companhia Vale do Rio Doce - CVRD, o direito de pesquisa e lavra (Figura 1.1).

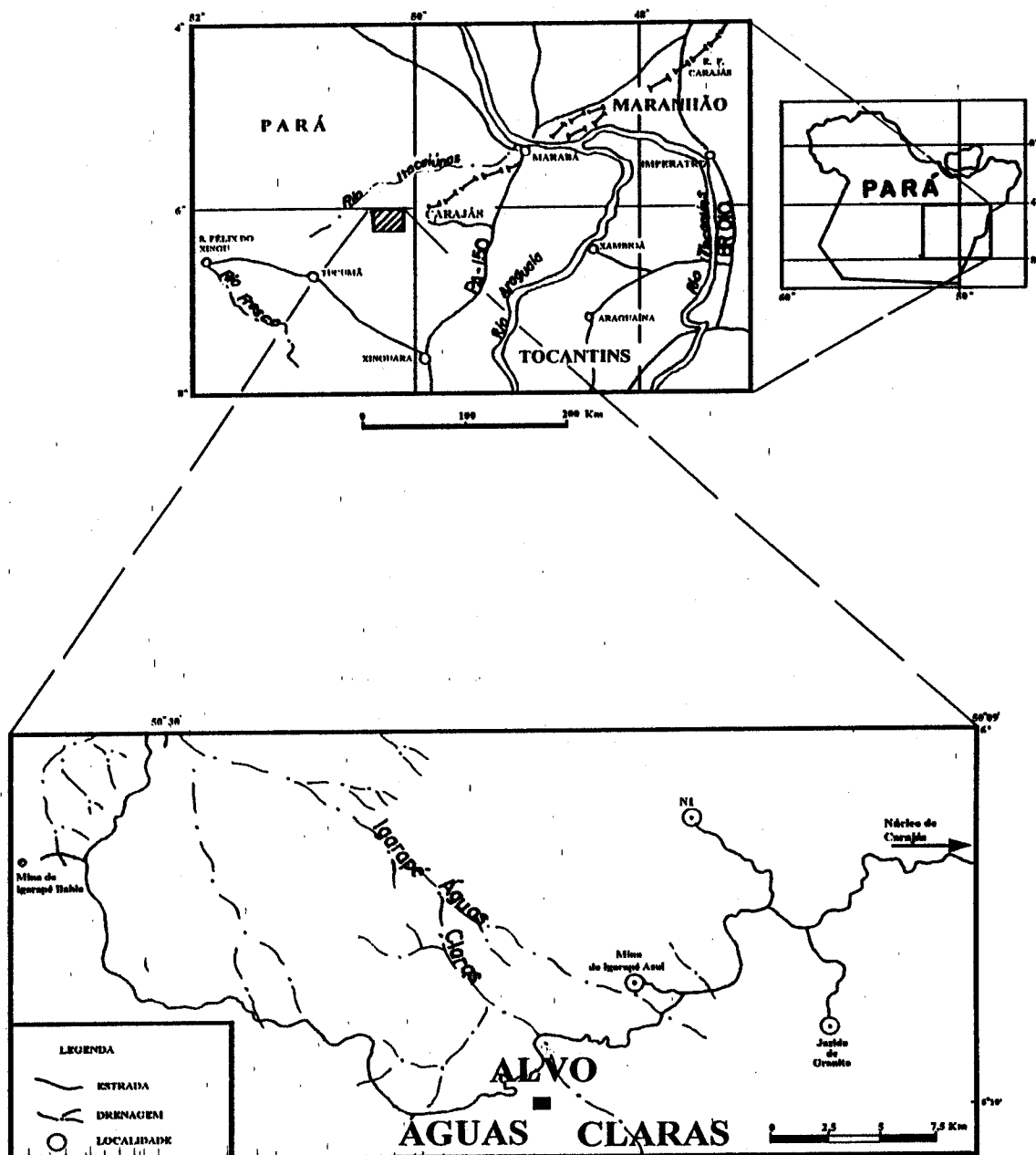


Figura 1.1 - Mapa de localização do Alvo Águas Claras.

1.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS

A geomorfologia e fisiografia da região de Carajás foi descrita por BEISIEGEL et al. (1973) e complementada por SILVA et al. (1974), durante o projeto RADAMBRASIL. De acordo com as observações desses autores e segundo a classificação de Köpen, a região de Carajás está inserida numa área de clima do tipo Am. Esse tipo de clima corresponde ao tropical-úmido de monção, com precipitação pluviométrica excessiva durante alguns meses (220 e 370 mm/mês de novembro a maio), o que compensa a ocorrência de um ou dois meses de precipitações inferiores a 60 mm (entre 20 e 40 mm/mês de junho a outubro). Na classificação de Thorntwaite (BEISIEGEL et al., 1973), que considera os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica, o clima seria úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água, megatérmico com concentração de verão sempre inferior a 48%. Segundo o Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira, a temperatura média anual varia de no mínimo 10 a 26 °C e no máximo 25 a 35 °C. A umidade relativa média anual é 85% e a pluviosidade média no ano de 1988 foi 160,5 mm/mês.

A vegetação da região é bastante heterogênea com domínio de floresta aberta, enclaves de floresta/cerrado e, secundariamente, a floresta densa, nas áreas com maiores altitudes, além da vegetação esclerófila que se desenvolve sobre as formações ferríferas, e que se caracteriza pelo aspecto arbustivo e esparso.

A geomorfologia da região de Carajás, pode ser dividida em dois sistemas de relevo: 1) Relevo de Serras, dividido nos domínios centro-norte com amplitude média de 300m, alcançando valores superiores a 400m, equivalendo a cotas de 700m e o domínio sul-sudoeste, com morros de amplitudes médias em torno de 100m, com máximos de até 300m, equivalendo a cotas de 600m; 2) Relevo de Morros, onde junto com o relevo colinoso, constitui a denominada depressão periférica do sul do Pará, ocorrendo morros com amplitudes da ordem de 300m, alcançando localmente cotas de até 500m.

1.4 - GEOLOGIA

1.4.1 - Regional

Diferentes trabalhos de cunho geológico regional, com propostas de classificação estratigráfica para a região de Carajás, tem sido publicado nas últimas décadas (BEISIEGEL et al., 1973; SILVA et al., 1974; HIRATA et al., 1982; TASSINARI et al., 1982; CORDANI et al., 1984; MEIRELES et al., 1984; DOCEGEO, 1988; MONTALVÃO et al., 1988; ARAÚJO et al., 1988 e 1991; HÜHN et al., 1988). Entretanto, para efeito de organização das unidades geológicas, adotou-se a proposta da equipe da DOCEGEO (1988), que baseada na coluna estratigráfica de HIRATA et al. (1982), sugere a seguinte revisão estratigráfica (Figura 1.2) para a geologia da região de Carajás:

Complexo Xingu e Pium - Com ampla distribuição na Província Amazônia Central, CORDANI & NEVES (1982), reúnem as rochas de alto grau metamórfico, constituído por rochas gnáissicas, às vezes migmatizadas, de composições tonalíticas, trondhjemíticas, tidas como resultado do retrabalhamento metamórfico sobre terrenos graníticos arqueanos. São também englobados no Complexo Xingu os granitóides arqueanos que compõem grande parte dos terrenos *greenstones* da região de Rio Maria, datados por MONTALVÃO et al. (1984), através do método Rb/Sr, resultando idades de 2660 ± 40 Ma (RI 0,7009). HUHNE et al. (1988) relatam a maior penetratividade de zonas de cisalhamento nos terrenos gnáissicos quando comparados aos terrenos granito-greenstone da região de Rio Maria.

Supergrupo Andorinhas - englobam as rochas mais antigas do sudeste do Pará, que constitui a borda sudeste do Craton Amazônico de ALMEIDA (1978), englobando os terrenos tipo greenstone-belt. Os grupos que formam o Supergrupo Andorinhas são: Grupo Babaçu na base do supergrupo, sendo dividido na Formação Igarapé Encantado e Formação Mamão. Mineralizações a ouro ocorrem em veios de quartzo e em rochas intensamente hidrotermalizadas.

ERA	IDADE (s.a)	SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	COMPLEXO	SUITE	GRANITÓIDES/GRANITOS	VARIAÇÃO NA COLUNA	
PROTÉROZOICO	SUPERIOR	ITACAIUNAS	TOCANTINS/ RIO FRESCO	DIQUES BÁSICOS \ ACIDOS*			SERINGA, JAMON		
				GABRO STA. INÊS*			CARAJÁS, CIGANO MLSA, GRADALIS* BOPRACHILDO*		
				RIO NAJA IG. AZUL		QUATIPURU	XINGUARA* SÃO JOSÉ* SÃO JOÃO* CACHOEIRINHA* MARAJOARA*, ETC		
				BURITIRAMA IG. BAHIA			ESTRELA* (?)		
				GRÃO PARÁ	SUMIDOURO GROTA DO VIZINHO		TONALITO PARAZONA		
				IG. POJUCA	PALEOVULCÂNICA SUPERIOR		TRONCHIMENTO MOGNO		
				IG. SALOBO	CARAJÁS PARAUPEBAS	LUANGA \ SERRA AZUL*	GRANDICORITO RIO MARIA		
				ANDORINHAS	LAGOA SECA/ RIO PRETO BABAÇU/ STA. LÚCIA	CORPO QUATRO			
						CINZENTO TRÊS ALFA GNAISSE CASCATA	XINGU		
						RECANTO AZUL FAZENDA DO QUINCAS MAMÃO	PRIM*		
IG. ENCANTADO									

Figura 1.2 -Coluna estratigráfica para a região de Carajás, proposta por DOCEGEO (1988).

Grupo Lagoa Seca - constitui a seqüência de topo do Supergrupo Andorinhas, englobando duas unidades denominadas Formação Fazenda dos Quincas e Formação Recanto Azul. A Formação Fazenda dos Quincas abrange um conjunto de metassedimentos clástico-químicos, intercalados com metavulcânicas básica-ultrabásicas e níveis esporádicos de metavulcânicas/subvulcânicas intermediárias a ácidas constituindo faixa estreita e alongada. A Formação Recanto Azul engloba um conjunto de metavulcânicas/subvulcânicas intermediárias a ácidas, intercaladas com metassedimentos clásticos e níveis esporádicos de metavulcânicas básicas/ultrabásicas.

Supergrupo Serra do Inajá - ocorrem unidades litológicas correlacionáveis com o Grupo Grão Pará e ao "greenstone-belt" de Andorinhas, e devido suas similaridades com o Supergrupo Andorinhas, justifica a elevação deste a supergrupo, permitindo seu desmembramento em duas grandes unidades denominadas Grupo Santa Lúcia e Grupo Rio Preto, caracterizados por basaltos e vulcânicas ácidas associadas a formação ferríferas e metabasaltos.

Complexo Intrusivo Luanga é considerado pertencente ao Supergrupo Andorinhas, sendo constituído por peridotitos e dunitos na base, gradando a gabros anortosíticos para o topo.

Supergrupo Itacaiúnas - reúne o Grupo Grão Pará, descrito por TOLBERT et al. (1971), CVRD/CMM (1972) e BEISIEGEL et al. (1973), e demais unidades a ele associadas que ocorrem na Serra dos Carajás, as quais são definidas como grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia e Buritirama, apresentando características de evolução em contexto vulcano-sedimentar, de idade arqueana, com graus metamórficos variados e litologias distintas do Supergrupo Andorinhas.

O domínio transcorrente do cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, de idade arqueana, engloba os sistemas Cinzento e Serra dos Carajás. O primeiro sendo caracterizado por seqüência vulcano-sedimentar tipo *greenstone-belt* pertencente ao Grupo Rio Novo. O sistema Serra dos Carajás abrange o granito gnassificado Estrela e o Grupo Grão Pará (CVRD/CMM, 1972) constituído pelas formações Parauapebas (metabasaltos e matadacitos - HIRATA et al., 1982), Carajás (formações ferríferas bandadas-BEISIEGEL et al., 1973) e Águas Claras (rochas meta-sedimentares-ARAÚJO et al., 1988, redefinida por NOGUEIRA, 1994) descrita anteriormente como Formação Rio Fresco por BARBOSA et al. (1966). Essa unidade meta-sedimentar será melhor descrita na geologia local.

Os corpos graníticos pós-tectônicos que ocorrem na região tiveram sua idade de formação estudadas, com resultados em torno de 1.88 Ga (MACHADO et al., 1991; LAFON & MACAMBIRA, 1992). Destacam-se os da região de Rio Maria, os Granitos Jamon, Musa e os

corpos Serra dos Carajás e Pojuca, possivelmente responsáveis pelo intenso hidrotermalismo que deu origem as mineralizações do Igarapé Bahia e Águas Claras, entre outras.

Coberturas Lateríticas - Sobre as rochas dos grupos Grão Pará e Formação Águas Claras desenvolveu-se um espesso manto intempérico, apresentando no topo uma crosta laterítica ferruginosa a ferro-aluminosa, com variações texturais marcantes e responsáveis pelas acumulações de metais base, Au, Cu e Zn.

1.4.2 Local

Os trabalhos de geologia e de prospecção e avaliação na área do Águas Claras foram realizados pela DOCEGEO. O produto desse trabalho de pesquisa facilitou o desenvolvimento da tese, tanto na fase de campo quanto na fase pós-campo. Neste item se fez uma copilação dos dados do mapa geológico elaborado pela equipe da DOCEGEO, entre eles o trabalho de SOARES et al. (1994) e anotações realizadas durante a etapa de campo pelo autor.

O Alvo Águas Claras, segundo o mapa da Figura 1.3, apresenta uma geologia formada essencialmente por arenitos da Formação Águas Claras, caracterizada por uma seqüência de sedimentos siliciclásticos, anquimetamórficos, na qual alojam-se corpos ígneos máficos na forma de diques e *sills* de metagabros hidrotermalizados (BARROS et al., 1994). Os corpos mineralizados estão encaixados nos sedimentos, ou no contato desses com as rochas máficas, apresentando um nítido controle estrutural por zona de cisalhamento. Intrusivo nessa seqüência, cerca de 4 Km a leste do Alvo Águas Claras, tem-se o granito Carajás, representante de uma suíte granítica anarogênica, do Proterozóico, com mineralizações de wolframita e cassiterita (SOARES, et al. 1994).

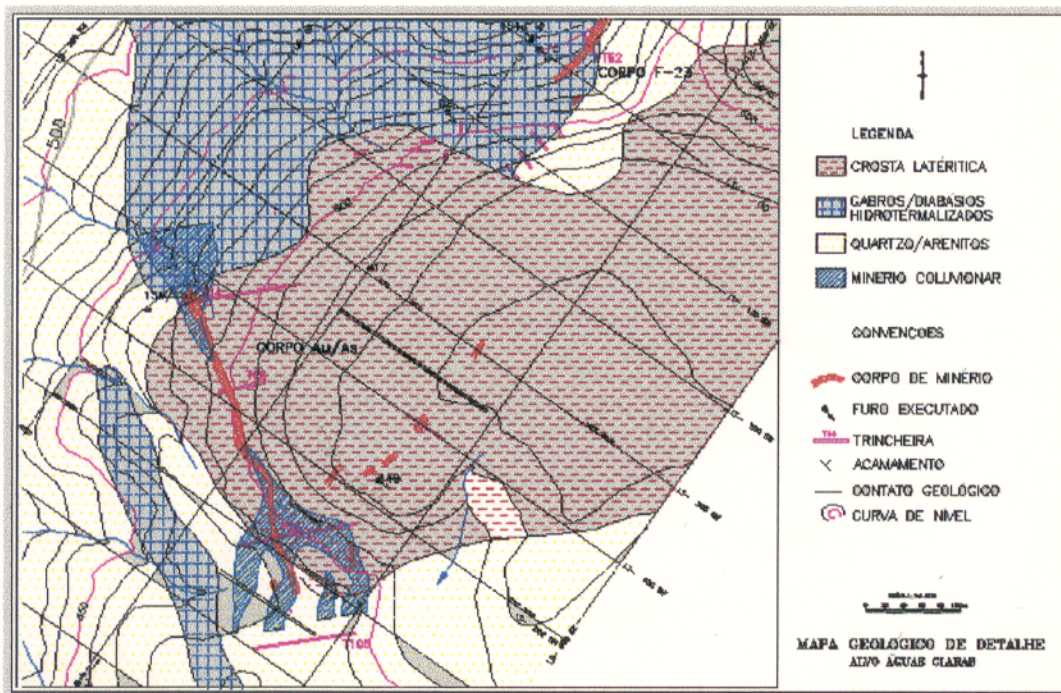


Figura 1.3 - Mapa geológico do Alvo Águas, elaborado e cedido pela DOCEGEO.

Segundo ARAÚJO et al., (1988) a Formação Águas Claras (FAC) apresenta contato discordante com o Grupo Grão Pará e Pojuca subjacentes. Admitindo essa discordância, os sills básicos associados a FAC seriam mais jovens que as rochas básicas dos Grupos Grão Pará e Pojuca. NOGUEIRA (1994) destaca uma outra unidade (Fm. Gorotire), sobrejacente e discordante em relação à Formação Águas Claras, que possui rochas deformadas ao longo de falhas direcionais com estruturas tectônicas de caráter predominantemente rúptil, em forma de horst/graben, como se pode ver na Figura 1.4.

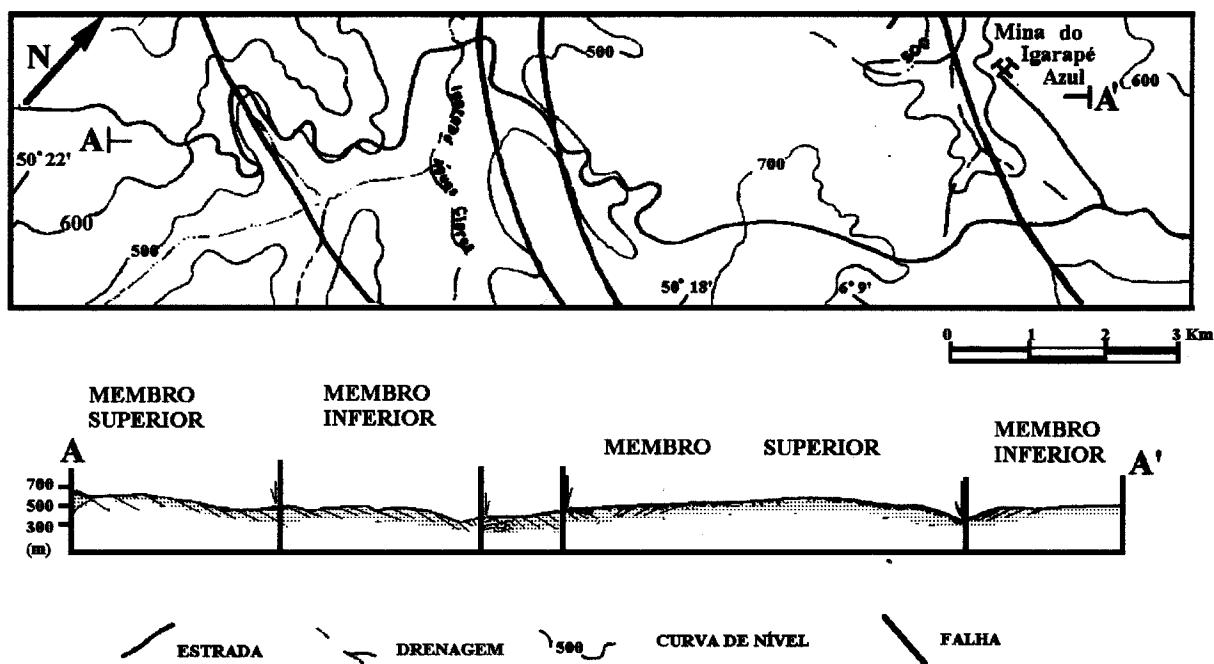


Figura 1.4 - Arranjo estrutural tipo *host-graben* na área-tipo da Formação Águas Claras até a mina do Igarapé Azul, segundo NOGUEIRA (1994).

NOGUEIRA (1994) indica que a espessura da Formação Águas Claras, segundo dedução gráfica utilizando mapa geológico, é de 1500 m, distribuídos em 22 litofácies agrupadas em dois membros (com passagem gradacional entre si), definidos como produto de sistemas fluviais, litorâneos e marinhos. Estas rochas apresentam silicificação heterogênea e elevado grau de intemperismo, indicado por cores vermelho-rosadas a esbranquiçadas, enquanto tons esverdeados, azulados e cinza-claros, refletem menor grau de alteração. A Figura 1.5 apresenta uma seção geológica obtida através da interpretação dos furos de sondagem, mostrando a disposição dos corpos mineralizados e sua relação com as rochas encaixantes.

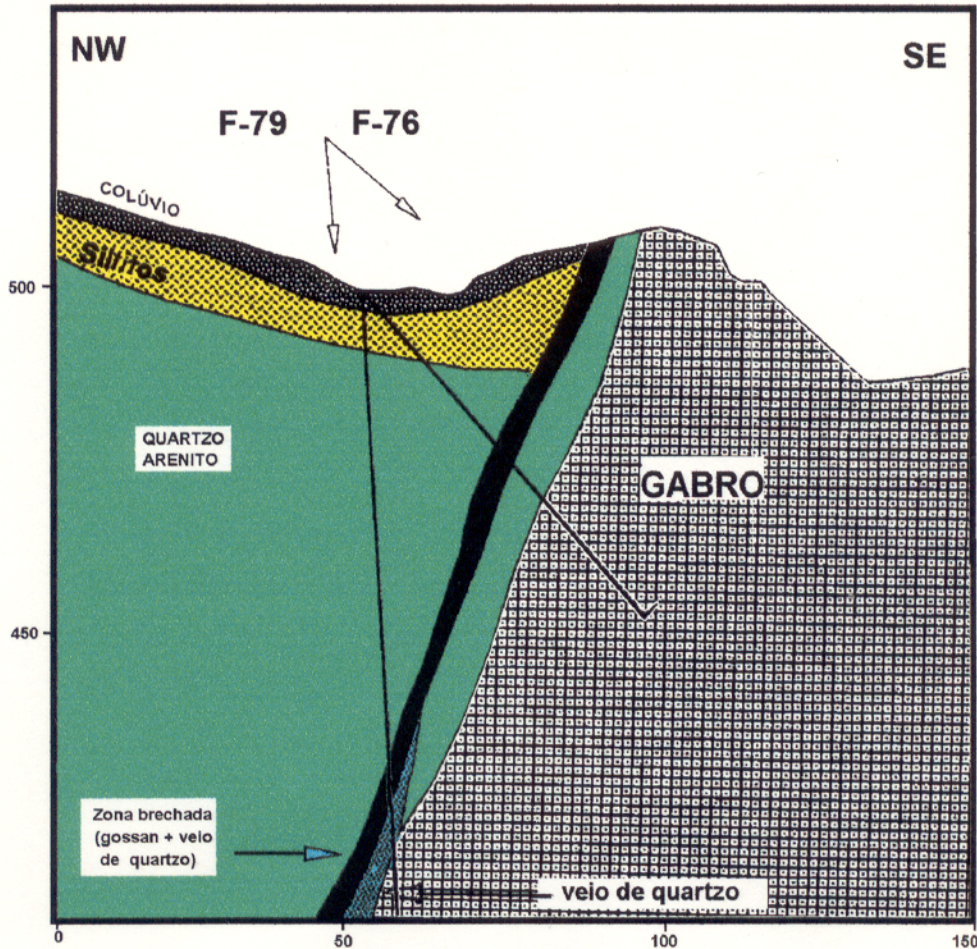


Figura 1.5 - Seção geológica do Corpo F-23, mostrando a estruturação dos veios e sua relação com a encaixante, fornecido pela DOCEGEO.

A morfologia da área é marcada por platô com altitude de 640 m e desníveis na ordem de 200 m (Figura 1.3), cuja superfície é caracterizada pela presença de uma couraça laterítica, onde a vegetação é mais escassa e arbustiva. Na base dos vales até próximo das encostas ocorre uma vegetação de maior porte, ajudando na sustentação dos colúvios e latossolos da borda do platô, na forma de feições tipo sutura de colapso. Durante a amostragem foi possível identificar e separar na área de trabalho a ocorrência de horizontes de solo (latossolos variados), colúvio, crosta ferruginosa laterítica envolvendo porções gossânicas, desenvolvidos sobre os sedimentos e corpos sulfetados da mineralização primária. A descrição do perfil de alteração e detalhes dessa geologia de superfície, serão mostrados no item 3.1. e seus dados serão discutidos ao longo do trabalho.

1.5 - MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 - Trabalhos de campo e amostragem

O trabalho foi desenvolvido na porção sul do platô Águas Claras, em cima dos corpos da anomalia Au/As (Figuras 1.6) e corpo do F-23, próximo as trincheiras 05 e 91 (Figura 1.7).

No campo, os objetivos principais foram o reconhecimento da área, descrição e mapeamento das unidades geológicas e coleta de amostras de superfície, tomando cuidado, no sentido de evitar o material que tenha sofrido ação antropogênica, como por exemplo, a porção do solo transportado devido a construção de vias de acesso. A coleta das amostras, como pode ser observada nas Figuras 6 e 7, está localizada na porção média a superior da encosta. Utilizou-se trincheiras e furos de sondagem, realizados pela DOCEGEO para facilitar a localização dos pontos trabalhados.

As amostras coletadas foram, na sua maioria, amostras de latossolo, colúvio, crosta laterítica e gossans. Coletou-se também algumas amostras de arenitos, siltitos e veios de quartzo. O procedimento adotado no campo foi o de fazer linhas onde se pudesse realizar uma amostragem o mais regular possível, mas que cobrisse toda a área. Alguns pontos foram deslocados devido a topografia íngreme ou para desviar de porções reviradas pela construção de estradas.

Foram coletadas 113 amostras na área de trabalho. No Anexo segue a descrição sucinta das amostras, sendo identificado o tipo de tratamento realizado em cada amostra.

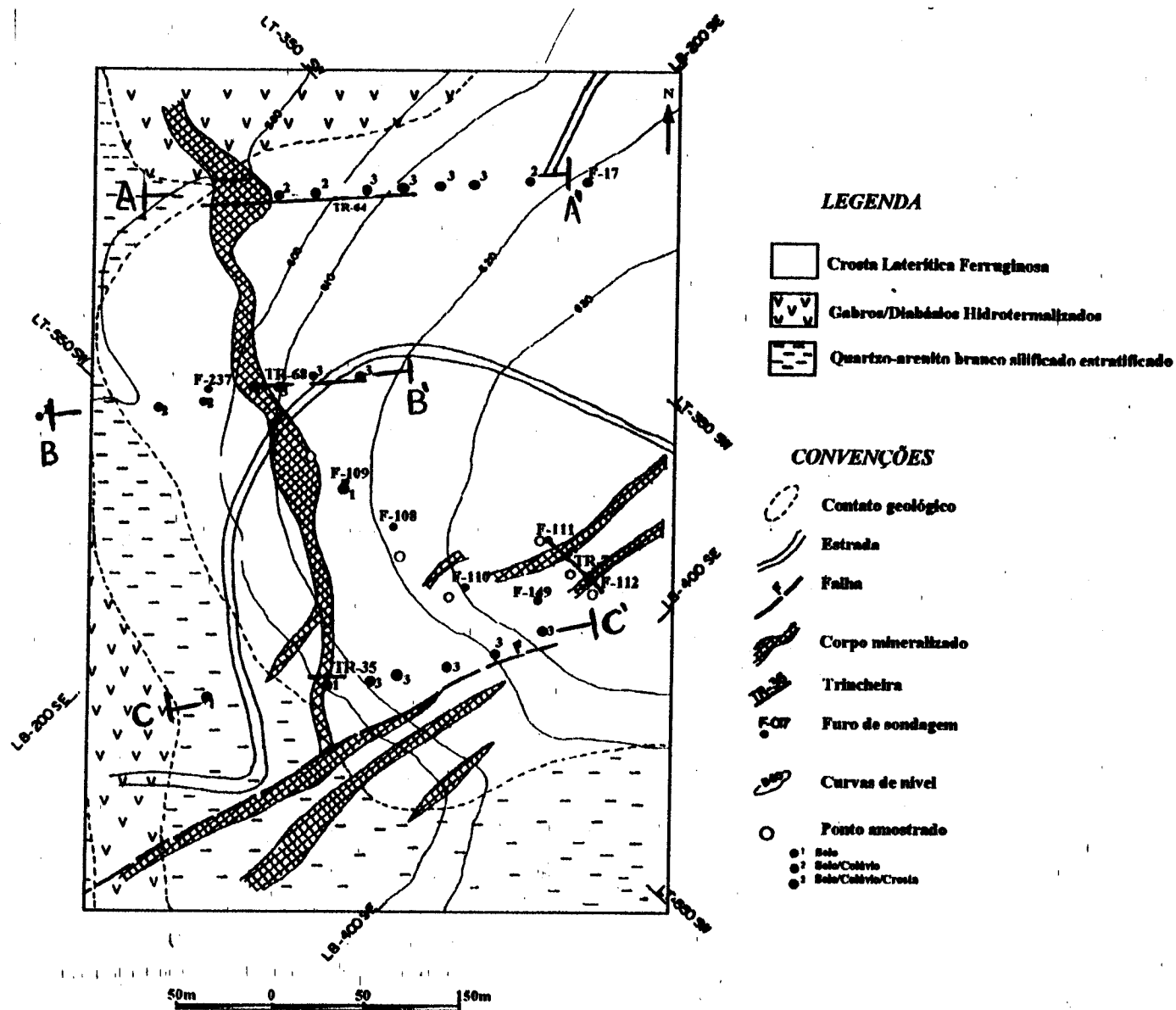


Figura 1.6 - Mapa de amostragem no corpo da anomalia Au/As, com base nos mapas geológicos elaborados e cedidos pela DOCEGEO.

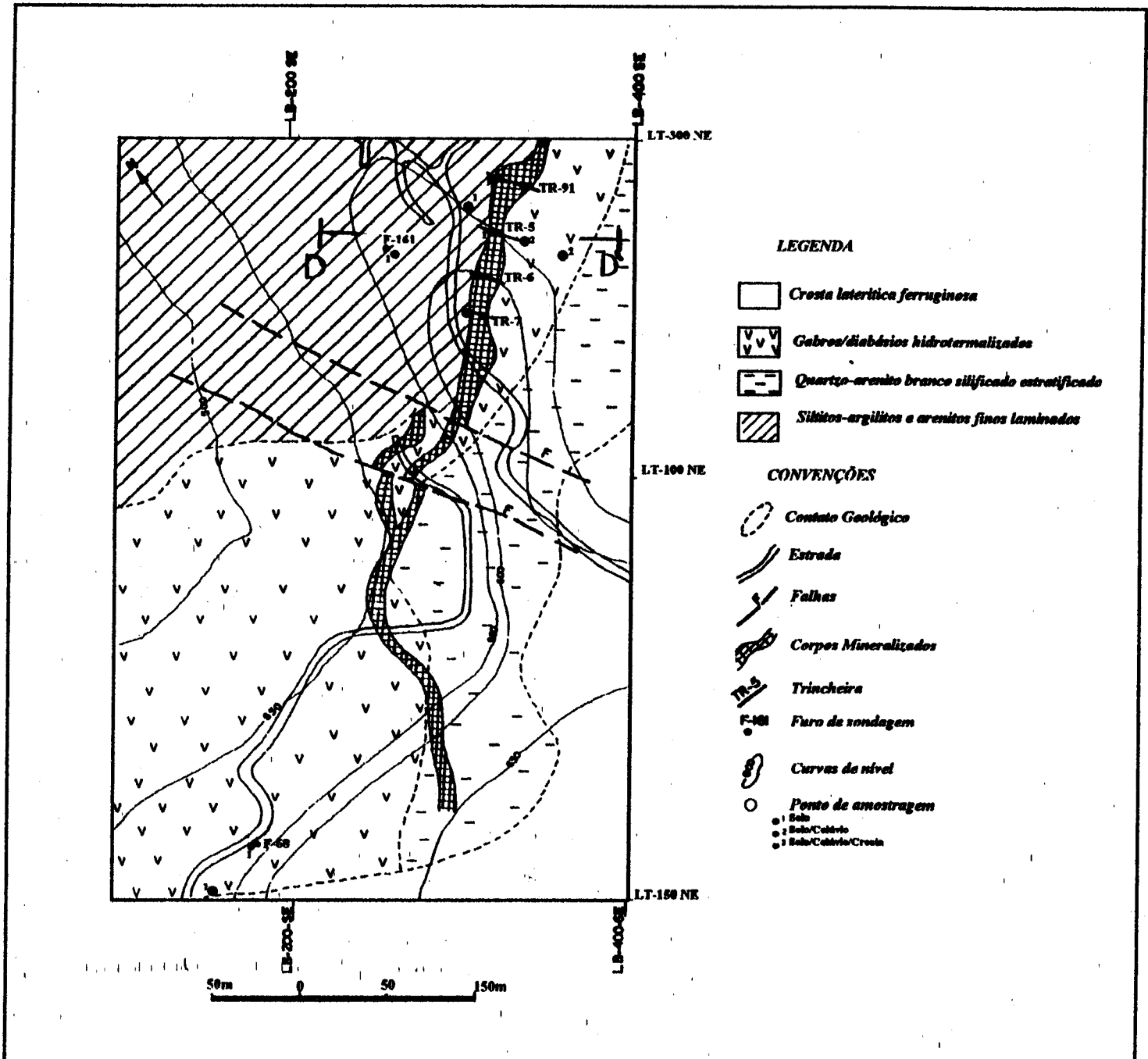


Figura 1.7 - Mapa de amostragem no corpo F- 23, com base nos mapas geológicos elaborados e cedidos pela DOCEGEO.

1.5.2 - Procedimentos analíticos

1.5.2.1 - Tratamento das amostras em laboratório

A secagem das amostras foi feita em estufa, a temperatura de 50° C durante um período de 8 dias. Posteriormente, foi realizado o quarteamento e separação de alíquotas de 200g para pulverização e 100g para separação dos minerais pesados e insolúveis de amostras pré-selecionadas.

A separação dos minerais pesados insolúveis, foi realizada em 6 amostras de solos, 2 de lateritos e 1 de gossan, previamente selecionadas através dos teores mais elevados de boro e ouro, principalmente. O procedimento metodológico está descrito no tópico 1.5.2.6. Os grãos de ouro e turmalina extraídos através deste processo, foram separados manualmente com auxílio de microscópio petrográfico e montados em lâminas com fita de grafite para análises ao MEV-SED. Esse procedimento foi estendido os demais minerais pesados.

1.5.2.2 - Análises petrográficas

Inicialmente foram feitas descrições macroscópicas das amostras coletadas e em seguida, foram confeccionadas 8 seções polidas e 17 lâminas delgadas em amostras de lateritos e gossans. O estudo petrográfico foi realizado com microscópio ótico com luz refletida e transmitida, onde procurou-se identificar as relações entre os minerais, suas formas de ocorrência, estruturas internas, entre outras características petrográficas úteis na interpretação da gênese das formações estudadas, baseando-se, principalmente, nos trabalhos de AUGUSTITHIS (1982); COSTA (1991b); COLIN & VIEILLARD (1991); GRANT et al., (1991); LAWRENCE & GRIFFIN (1994); ANGÉLICA (1996); dentre outros.

1.5.2.3 - Análises mineralógicas por difração de raios-X

Todas as amostras foram submetidas à análise por difração de raios-X, método do pó, tanto em amostras totais como de minerais isolados, no Laboratório de raios-X do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. Para isso, utilizou-se difratômetro Philips, modelo PW 3710, automatizado com microprocessador INTEL 486, tubo ânodo de cobre, com radiação $\text{CuK}\alpha_1$ (1,54050 Å) e monocromador, gerador de tensão a 45 kV e corrente a 40 mA, com 2θ variando de 5-65°, em steps de 0,02°. Os resultados obtidos (difratogramas), foram apresentados em arquivos em disco e retrabalhados com o software APD, também da Philips, para comparação com as fichas do JCPDS. Um estudo mineralógico de detalhe foi desenvolvido sobre as turmalinas, envolvendo o cálculo e refinamento dos parâmetros da cela unitária e análises por MEV, cujo resultados estão apresentados no item 3.4.2.

1.5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura com Sistema de Energia Dispersiva (MEV- SED).

As análises mineralógicas de detalhe, assim como as fotografias, foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da USP. O Aparelho utilizado foi um Microscópio Eletrônico de Varredura STEREOSCAN 440 da Leica-Cambridge, com detector de Ge, que permite, a princípio, análises a partir do elemento B ($Z=5$), e Sistema de Energia Dispersiva modelo eXLII da Link analytical ZAF4/FLS. Foram consideradas semi-quantitativas as análises com *fit index* (F.I) superior a 5. O F.I. é um índice matemático fornecido pelo sistema, que depende de fatores como condições instrumentais (diferentes ajustes do aparelho) e condições da amostra (polimento, tamanho das partículas, horizontalidade). Através do SED foram geradas imagens coloridas por mapeamento de pontos (Dot Mapping) de alguns grãos de ouro. Para as análises de turmalina foram realizadas leituras preliminares qualitativas e em seguida, logo após a identificação dos elementos presentes, foi feita a análise quantitativa.

1.5.2.5 - Análises químicas

Os óxidos maiores Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 foram determinados por colorimetria; SiO_2 e perda ao fogo (P.F) por gravimetria; Al_2O_3 por titrimetria e Na, K, Mg por absorção atômica. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas do Centro de Geociências, da Universidade Federal do Pará.

Foram feitas análises comerciais para 27 elementos-traço nos laboratórios da GEOSOL/GEOLAB, em amostra total de solos (30 amostras), colúvio (22 amostras), crosta laterítica (18 amostras) e gossans (4 amostras). Os elementos analisados e os métodos utilizados estão representados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Elementos analisados e métodos utilizados.

ELEMENTOS	MÉTODO
Au (0,05), Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	Absorção Atômica
Cl (20) e W (15)	Fluorescência de Raios-X
Ag (1), B (10), Be (2), Ga (5), Mo (5), Sc (5), Sn (5), Sr (50), V, Y(10), Zr e Bi (10).	Espectrografia Ótica de Emissão
As (1), Hg (50), Se (1) e Sb.	Geração de Hidretos
Te (1)	ICP - AES
F (30)	Íon Seletivo

OBS: Os números entre parênteses representam os respectivos limites inferiores de detecção de cada elemento, em ppm, e Hg em ppb.

1.5.2.6 - Separação das partículas de ouro e dos outros minerais pesados.

Foram selecionadas 6 (seis) amostras de latossolos, 2 (duas) de crostas lateríticas e 1 (uma) de gossan, para separação dos minerais pesados. Foi dada atenção especial aos grãos de ouro, além da turmalina, wolframita e cassiterita, visando o estudo das características micromorfológicas e químicas, grau de arredondamento e abrasão desses minerais. As amostras foram inicialmente pesadas, lavadas, separadas no bromofórmio e atacadas com ácido clorídrico (HCl) a 30% e fluorídrico (HF) para retirar totalmente a sílica. No caso particular dos latossolos, a fração tratada, foi a menor que 1 mm, enquanto que as amostras de lateritos e gossan, foram previamente trituradas e atacadas com ácido clorídrico concentrado (HCl) para remoção do ferro, e com ácido fluorídrico (HF) para remoção da sílica dos minerais menos resistentes.

1.5.2.7 - Tratamento dos dados.

No tratamento dos dados químicos e de difração de raios-X, foram utilizados softwares do tipo ACAD e DIAG desenvolvido pelo Prof. Dr. Thomas Scheller, do Centro de Geociências-UFPa, GEOQUANT versão 3, da CPRM, APD da Philips, entre outros pequenos programas de autoria própria.

No tratamento estatístico dos dados, utilizou-se principalmente os estudos de correlação, baseado no coeficiente de correlação de Pearson (r), através de diagramas binários de correlação, matrizes de correlação e dendrogramas da análise de agrupamento em modo-R. Foram confeccionados mapas de isovalores para melhor visualização, em superfície, do comportamento de alguns elementos como ouro, boro, wolfrâmio e arsênio

2. A PROSPECÇÃO DE OURO EM LATERITOS: ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

Apesar dos lateritos terem sido descritos pela primeira vez no século XVIII por Francis Buchanann (BUTT, 1987), foi somente a partir da década de 40 que intensificaram-se as pesquisas sobre esse material, abundantemente nas regiões tropicais do planeta. Um grande número de trabalhos já foi escrito ressaltando a importância dos processos lateríticos na formação de depósitos minerais, principalmente Al, Fe, Mn, Ni, e mais recentemente, o Au. O interesse foi tanto, que no final da década de 70 foram promovidos seminários internacionais patrocinados pelo IGCP-UNESCO, sobre processos lateríticos, sendo realizados na Índia (1979), no Brasil (1982) e outro no Japão (1985). Outros eventos relacionados com a prospecção geoquímica em terrenos lateríticos foram realizados, entre eles o simpósio de Caracas-Venezuela (1977), sob o título "Técnicas de exploração mineral em áreas de florestas tropicais", patrocinado pela AGID, e o da Austrália, realizado em Perth (1983) como um encontro regional sobre "Exploração geoquímica em terrenos Áridos e profundamente intemperizados" (DAVY & MAZZUCHELLY 1984). Vários outros importantes trabalhos vêm sendo publicados em revistas e periódicos como "Journal of Geochemical Exploration"(JGE) da AEG, "Chemical Geology", "Chronique Recherche Minière", "Journal of Soil Science", "Geochemica et Cosmochimica Acta", "Economic Geology", "Mineralium Deposita", dentre outras. No âmbito nacional destaca-se a Revista Brasileira de Geociências e a Geoquímica Brasiliensis.

As regiões onde os processos lateríticos foram mais intensamente estudadas são a África Ocidental e Austrália, seguidas pela Índia, Indonésia e América do Sul. Esses estudos levaram a formulação de vários modelos de prospecção geoquímica desenvolvidos com o intuito de ajudar no planejamento, execução e interpretação das pesquisas minerais e no entendimento da dispersão geoquímica (BUTT & SMITH, 1980; BUTT & ZEEGERS, 1989 e 1992).

No Brasil, destacam-se alguns trabalhos específicos sobre processos lateríticos, poucos com ênfase na mineralogia e na distribuição dos ouro, como os realizados por COSTA & SÁ (1980), COSTA (1984, 1988, 1990a e b, 1991b e 1991a), KOTSCHOUBEY & LEMOS (1985), SILVA (1988), ZANG & FYFE (1993), ARAÚJO (1994), HORBE (1995), ANGÉLICA (1996), na região amazônica; RAO et al. (1983), SANTOS (1984), RAO (1986 e 1987), MICHEL (1987), OLIVEIRA & CAMPOS (1991), PORTO (1991), PORTO & HALE (1995) no centro oeste, e CARVALHO (1984), CARVALHO et al. (1987 e 1988), OLIVEIRA et al. (1988), VASCONCELOS & KYLE (1991), CARVALHO (1992), MELLO (1992) na Bahia, entre outros.

2.2 - EVOLUÇÃO DOS PERFIS LATERÍTICOS

Segundo COSTA (1988) os lateritos auríferos diferem dos demais apenas pela presença do ouro em concentrações anômalas com relação aos níveis crustais, ao nível de jazida econômica. Assim, os fatores externos que condicionam a sua formação como clima (pluviosidade, temperatura, estações bem definidas), vegetação, atividade biológica, relevo (erosão/sedimentação), são exatamente os mesmos dos demais lateritos. As peculiaridades residem nas reações químicas e mineralógicas, que ocorrem ao longo do perfil geológico, com os movimentos do lençol freático, formando as concentrações de ouro.

No trabalho de BUTT (1987), o clima pode se tornar um fator dominante na determinação da natureza dos processos geoquímicos de dispersão física e química, caso permaneça inalterado por longos períodos de tempo. Assim, BUTT (1987) e LECOMTE (1988) referem-se as zonas climáticas de BÜDEL (1992) para descrever a distribuição global dos perfis lateríticos. Estas zonas representam regiões do globo que tiveram histórias de intemperismo e desenvolvimento da paisagem (landform) amplamente similares, sendo definidas em termos dos efeitos dos processos geomórficos ativos em regolitos preexistentes. A Figura 2.1 representa as zonas morfoclimáticas

segundo BÜDEL (1992), onde qualquer modelo aplicado a terrenos profundamente intemperizados pode ser aplicado em regiões entre latitudes 35° N e 35° S, definida por três zonas:

Zona Tropical Interior ou Intertropical - relacionada à região de florestas equatoriais úmidas, onde se encontra grande parte da região Amazônica (norte do Brasil, Guianas, Colômbia, Bolívia e Peru); porção centro-ocidental da África (Serra Leoa, Libéria, Costa do Marfim, Gana, Togo, Nigéria, Camarões e Gabão) e parte do sudeste asiático (extremo sul da Índia, Indonésia e Filipinas);

Zona Peritropical - regiões de savanas;

Zona Árida Quente - regiões semi-áridas e desérticas.

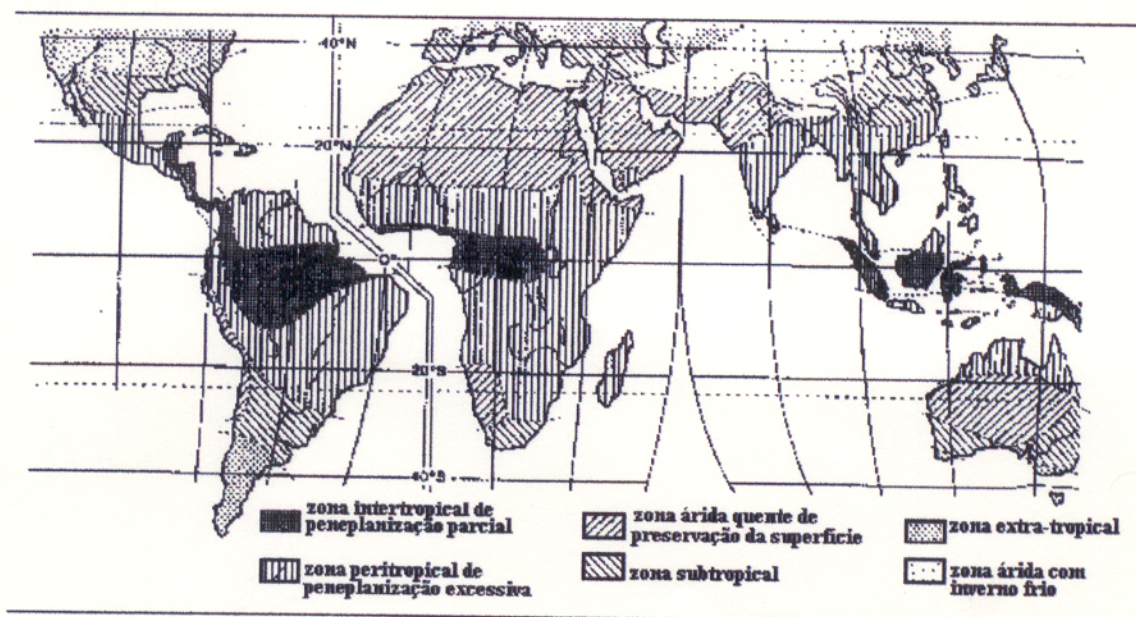


Figura 2.1 - Zonas morfoclimáticas mundial segundo BÜDEL (1992).

Nestas zonas, predomina o intenso intemperismo químico com forte lixiviação e oxidação dos elementos. Para este ambiente, BUTT (1987) e BUTT & ZEEGERS (1989) são os primeiros a propor modelos de prospecção baseados em estudos do intemperismo laterítico na forma da análise dos perfis de alteração com ênfase na dispersão dos elementos em seus diferentes horizontes. A base do modelo é a mesma dos modelos derivados da Austrália (BUTT & SMITH, 1980), ou seja, o grau de dissecação do perfil. Desta forma, haveria um modelo do perfil de intemperismo completo e o do perfil truncado (pelo soerguimento e/ou mudanças climáticas).

BUTT & ZEEGERS (1989 e 1992), com base no arranjo de letras e números, propõem a classificação para os perfis, apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação dos modelos de dispersão geoquímicas em terrenos tropicais intemperizados, segundo BUTT & ZEEGERS (1992).

Clima atual			
Savana (Sazonalmente úmido; Aw,Cwa)			
Floresta tropical (Af, Am, Cwa)			
Árido quente (Bsh, Bwh)			
() Classificação de Köppen			
Modificação no perfil pré-existente em cada zona climática:			
Perfil	Lixiviação	Acumulação recente	Cobertura
Pré-existente	atual	ou neoformação	
A: Inteiramente preservado	0: nenhum 1: fraco	0 : nenhum Al: Al-silicatos ou óxidos	0 : nenhum 1 : in situ
B: Parcialmente truncado	2: moderado 3: forte	Ca : calcrete Fe : óxido de ferro Si : sílica Sm: smectita	2: transportado
C: Completamente truncado			
Ex: A 0 0 (0): crosta ou couraça laterítica aflorante; B 0 Ca (2): perfil truncado com calcrete podogênico e cobertura transportada.			

Impulsionadas pela demanda contínua e crescente para o ouro, as pesquisas sofreram um forte incremento, intensificando-se bastantes nesta última década. O grande número de dados obtidos e o acúmulo de informações sobre os depósitos, permitiram o modelamento genético para

muitos diferentes tipos de depósitos de ouro, assim como o desenvolvimento dos modelos de prospecção geoquímica e de novas técnicas de exploração.

A formulação de modelos, segundo BRADSHAW (1975), tem como objetivo ilustrar a natureza da expressão geoquímica da mineralização no ambiente secundário, que é um resultado de efeitos combinados de sucessivos episódios de intemperismo na dispersão física e química dos elementos relacionados. Desta forma, os modelos propostos ajudarão no planejamento, execução e interpretação das futuras campanhas, permitindo prever os tipos de halos geoquímicos bem como as características de dispersão dos elementos.

Baseado neste princípio, propostas de modelos foram sugeridas com base em pesquisas realizadas nos países precursores da prospecção geoquímica como a antiga União Soviética, Suécia, Noruega, Canadá, Estados Unidos, com características morfoclimáticas bastante específicas, onde os processos do intemperismo físico predominam em relação aos do processo químico, já que durante grande parte do ano suas terras ficam cobertas por gelo. A Tabela 2.2, mostra os principais modelos de prospecção geoquímica aplicados nas diferentes partes do globo que, de uma maneira geral, são genericamente extrapoladas, não levando em conta as diferenças morfoclimáticas.

Tabela 2.2 - Principais modelos de prospecção geoquímica aplicados às diversas regiões do globo

Modelo/Região Geográfica	Clima Atual	Referência
AMERICANO (Canadá e parte dos Estados Unidos)	frio/glacial	BRADSHAW (1975)
EUROPEU	frio/glacial	KAURANNE (1976)
AMERICANO ÁRIDO (oeste do EUA e norte do México)	árido	LOVERING & McCARTHY (1978)
AUSTRALIANO	árido	BUTT & SMITH (1980)

2.3 - COMPORTAMENTO DO OURO SUPERGÊNICO

Desde o século XIX, durante a corrida do ouro na Califórnia, estudiosos admitem uma origem não detrítica para as pepitas de ouro nos aluviões, pois o transporte do ouro como partículas, causaria redução de tamanho, como ocorre com os demais materiais detríticos. Desta forma, surgia a necessidade de uma nova idéia para explicar a origem das pepitas encontradas distante dos depósitos primários, do que simplesmente processos puramente físicos (EVANS, 1981).

Trabalhos pioneiros foram realizados no início do século, no leste da Austrália, por LIVERSIDGE (1893) e GIBB-MAITLAND (1919), onde mencionavam a presença de cristais de ouro com alta pureza (*"fineness"*), além da presença de ouro detrítico, maciço e arborescente, interpretados como de origem secundária. Assim, vários autores, em estudos experimentais, demonstraram que o ouro é solúvel na presença de determinados ions, o que torna a presença desses ions, fator fundamental no comportamento do ciclo do ouro supergênico. Um sumário do comportamento do ouro supergênico pode ser confrontado em KRAUSKOPF (1951), CLOKE & KELLY (1964), ONG & SWANSON (1969), GOLEVA et al. (1970), BAKER (1978), MANN (1984), WEBSTER & MANN (1984) e WEBSTER (1986), entre outros.

Segundo WEBSTER (1986), o ouro no seu estado sólido é muito estável (Au^0); em soluções aquosas ele pode ocorrer em estado de oxidação 1 e 3. Au^+ e Au^{+++} são instáveis e portanto tendem a formar complexos com ligantes tais como Cl^- , Br^- , $(\text{CN})^-$, $(\text{S}_2\text{O}_2)^-$, ou matéria orgânica (Tabela 2.3). O ouro também pode migrar na forma de colóides ou 'partículas' de ouro.

Considerações da cinética das possíveis reações responsáveis pela mobilização do ouro através da formação de cloratos, tiosulfatos ou outros compostos (humatos, tiocloratos, etc.) demonstram que condições fisico-químicas extremas são exigidas. Estas condições podem atualmente ocorrer em alguns microambientes, porém não resistem a grandes distâncias da fonte do ouro, devido a baixa estabilidade dos complexos formados. Isto é ilustrado por exemplo por

FREYSSINET et al. (1987), que mostram que pelo menos parte do ouro mobilizado nos perfis lateríticos é reprecipitado próximo a fonte do ouro primário.

Tabela 2.3 - Mobilização do ouro no solo, segundo WEBSTER (1986).

Ligante	Ambiente químico	Reações
cloretos	oxidante, baixo pH Cl ⁻ alto	$4\text{Au} + 16\text{Cl}^- + 3\text{O}_2 + 12\text{H}^+$ $= 4\text{AuCl}_4^- + 6\text{H}_2\text{O}$
Tiosulfatos	S alto; oxidante; moderadamente ácido para pH alcalino	$\text{Au} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ $= \text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$
Cianetos	oxidante; moderadamente ácido para pH alcalino	$4\text{Au} + 8\text{CN}^- + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $= 4[\text{Au}(\text{CN})_2]^- + 4\text{OH}^-$
Tiocianetos	oxidante; moderadamente ácido para pH alcalino	$\text{Au} + 4[\text{CNS}]^-$ $= [\text{Au}(\text{CNS})_4]^-$
Orgânicos	oxidante; moderadamente ácido para pH neutro	$\text{Au} + \text{ácido orgânico} + \text{O}_2 + \text{H}^+$ $= \text{Au}(\text{humate})^{3+} + \text{h}_2\text{O}$

Apesar dos diversos estudos comprovando a dissolução e migração do ouro, os processos químicos correspondentes não são claramente indicados, com exceção de trabalhos realizados em vários depósitos de ouro, nos terrenos áridos da Austrália e terrenos semi-áridos a tropicais da África, cujos autores (MANN, 1984; WEBSTER & MANN, 1984, NAHON et al., 1992), justificam a mobilidade do ouro através de complexos clorados. Porém, WILSON (1984), BENEDETTI & BOULÈGUE (1991) e BOWELL et al. (1993) criticam este modelo considerando que as águas supérgenas teriam que apresentar concentrações de Au e Cl muito mais elevadas do que as naturais.

O conteúdo de enxofre na mineralização é assumido como sendo muito importante para mobilização do ouro principalmente se no ambiente tiver a presença de carbonatos, em tal situação o ouro pode ser mobilizado na forma de tiosulfatos. Vários autores (WEBSTER & MANN, 1984; WEBSTER, 1986; ZANG & FYFE, 1993) tem admitido que este modelos pode desempenhar importante papel na zona de oxidação de sulfetos, com o desenvolvimento de gossans. A presença de óxido de Mn ou Fe é também considerado favorável para mobilização do ouro em algumas circunstâncias.

Processos químicos, portanto, contribuem para a formação de halos de dispersão secundária de ouro, junto com processos mecânicos. O balanço entre ambos os processos vai depender sobretudo das condições morfológicas e climáticas, o estilo da mineralização (atributos primários), e o horizonte de solo, enfatizado no trabalho de BOYLE (1979).

De um modo geral, fica claro que no ambiente supergênico, o ouro pode ser solubilizado e mobilizado, dependendo de condições físico-químicas adequadas e fatores importantes como o tipo de ocorrência primária, a natureza da rocha (sulfetada ou não), tipo de mineralização, minerais de ganga, clima, posição do nível freático, vegetação e a natureza dos ligantes disponíveis. Porém, acredita-se que a dissolução e migração do ouro não ocorre somente em função da disponibilidade de um ou outro ligante específico, e sim que eles dependem de um conjunto de fatores, inclusive da presença simultânea de vários agentes ligantes no meio intempérico, fato esse que gera uma grande diversidade de situações.

2.4 - A PROSPECÇÃO DO OURO LATERÍTICO NO MUNDO

Os principais trabalhos aplicados a prospecção de ouro laterítico na África são: GRANIER et al. (1963); ZEEGERS (1987); LECOMTE (1988); COLIN & LECOMTE (1988); DAVIES et al. (1989); FRYSSINET et al. (1989 a,b); SÉA et al. (1990); ROQUIN et al. (1991); e na

Austrália: MAZZUCHELLI & JAMES (1966); MANN (1984); WILSON (1984); BUTT (1989a e 1989b); SMITH (1989).

A exploração geoquímica para ouro em terrenos temperados, áridos, semi-áridos e floresta chuvosa foi tema do trabalho de ZEEGERS & LEDUC (1991), que examinam técnicas geoquímicas que podem ser utilizadas na exploração para diferentes tipos de mineralização de ouro, como por exemplo as assinaturas geoquímicas específicas e os vários modos de amostragem (rocha, solos, etc) usados para a exploração. Segundo esses autores, dois principais componentes da assinatura geoquímica podem ser distinguidos: Au e os elementos guias, pois o uso destes últimos, é muito útil em terrenos onde os afloramentos são pobres, dando uma indicação das litologias e processos mineralizantes.

Os trabalhos de BUTT & SMITH (1980), BUTT (1987) e BUTT & ZEEGERS (1989) mostram modelos de prospecção voltados para regiões lateríticas no oeste da Austrália. TAYLOR & SYLVESTER (1982) fazem uma análise de um perfil alterado sobre mineralizações sulfetadas de Mugga Muga, no oeste da Austrália, com ênfase a mineralogia e geoquímica das mineralizações maciças de pirita-pirrotita, com conteúdos menores de magnetita, esfarelita e galena, do perfil de alteração na superfície desses gossans. O comportamento geoquímico mostra que na interface entre sulfetos e rochas alteradas ocorre a lixiviação de Mg, Ca, K, S, Zn, Cd, Hg e Ba. Quanto a elementos como As, Sb, Mo, Cr e V, ocorre um aumento em seus teores na zona alterada. SiO₂, TiO₂, P₂O₅, SO₃, Pb, Zn, Hg, Sb, Ca, Ni, W, Ba, Sn e Zr decrescem em direção ao topo do perfil, enquanto que o Al₂O₃, Fe₂O₃, CO₂, Cu e As aumentam.

LAWRANCE & GRIFFIN (1994) apresentam um estudo das características cristalinas do ouro supergênico da região de Hannan South, oeste da Austrália, que sofreu remobilização durante a alteração profunda de mineralizações sulfetadas, alojadas em basaltos. O ouro aparentemente foi precipitado como cristais octaédricos euédricos e placas, entretanto, onde a dissolução e recristalização associada com flutuações no ambiente químico sobre a frente de redox, têm levado ao desenvolvimento mais comum de ouro na forma dentrítica irregular, observada em outros depósitos supergênicos. A composição dos cristais de ouro supergênicos

contém impurezas de metais não detectáveis (grau de pureza do Au > 999), ao passo que o ouro primário contém acima de 5,18 wt% de Ag .

BOWELL et al. (1991) descrevem as características minerais e químicas do perfil de alteração tropical em Gana e suas implicações para exploração de ouro. A área compreende estreita zona de cisalhamento aurífera (1-3 m), veios de quartzo mineralizados a ouro e sulfetos auríferos disseminados em rochas hospedeiras filíticas e básicas alteradas. Expressivas anomalias de As e Cu definem zonas de sulfeto, e altos valores de K, Rb e Al representam alteração da parede da rocha. O ouro ocorre como grãos livres, como inclusões na arsenopirita disseminada e como um componente secundário (teluretos de ouro) em alguns veios de quartzo. O ouro é liberado pelo minério hipogênico tanto por desagregação mecânica como por dissolução química, o último envolvendo tiosulfatos, cianetos, complexos orgânicos carboxílicos e fenol com pH de 5,1-6,8. Dissolução e reprecipitação do ouro apresenta-se em grande parte “in situ” com pequenas evidências de enriquecimento supergênico. Elementos-traço como As, Cu e Rb fornecem uma assinatura adicional para a zona de minério e zona alterada, e podem ser usados com razoável segurança como elemento guia “regional” para identificação dos corpos auríferos.

2.5 - A PROSPECÇÃO DO OURO LATERÍTICO NO BRASIL

No Brasil, um grande número de trabalhos foram realizados nessa última década a nível de prospecção de ouro em terrenos lateríticos, tanto nas regiões Nordeste e Centro-Oeste (CARVALHO, 1984; VEIGA et al., 1985; RAO, 1986 e 1987; MICHAEL, 1987; GRIMM & FRIEDRICH, 1991; OLIVEIRA & CAMPOS, 1991; OLIVEIRA et al., 1991, PORTO, 1991; VASCONCELOS & KYLE, 1991; dentre outros), como na região Amazônica. Nesta última, destacam-se os trabalhos de diferentes pesquisadores do Centro de Geociências da UFPA, na região de Cassiporé-AP (COSTA et al., 1993), na região do Gurupi (TRARBACH & KOTSCHOUBEY, 1991; COSTA & ARAÚJO, 1995), e principalmente, na região de Carajás-PA (SILVA et al., 1991a e 1991b; COSTA, 1993; ANGÉLICA et al., 1995).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - DESCRIÇÃO DO PERFIL

A Figura 3.1 apresenta alguns perfis de pontos descritos neste trabalho durante a fase de campo e correlacionados com o perfil gossânico do furo 23, descrito em ANGÉLICA (1996). As informações obtidas através da análise desses perfis, mostram que a cobertura do platô, com altitude superior a 610 m, é essencialmente formada pela crosta laterítica, com formação de colúvio pisolítico. No nível mais abaixo, entre 580 a 610 m, é mais freqüente a ocorrência dos corpos alongados, às vezes magnéticos, descritos como gossans e associados a veios de quartzo brechado, sacaroidal. Nesta região, a quantidade de colúvio é mais expressiva, assim como a ocorrência de latossolo é mais freqüente. Nas áreas de vale, latossolos e colúvios apresentam maior espessura, e a vegetação é mais densa, além de um maior número de afloramento das encaixantes, principalmente do arenito.

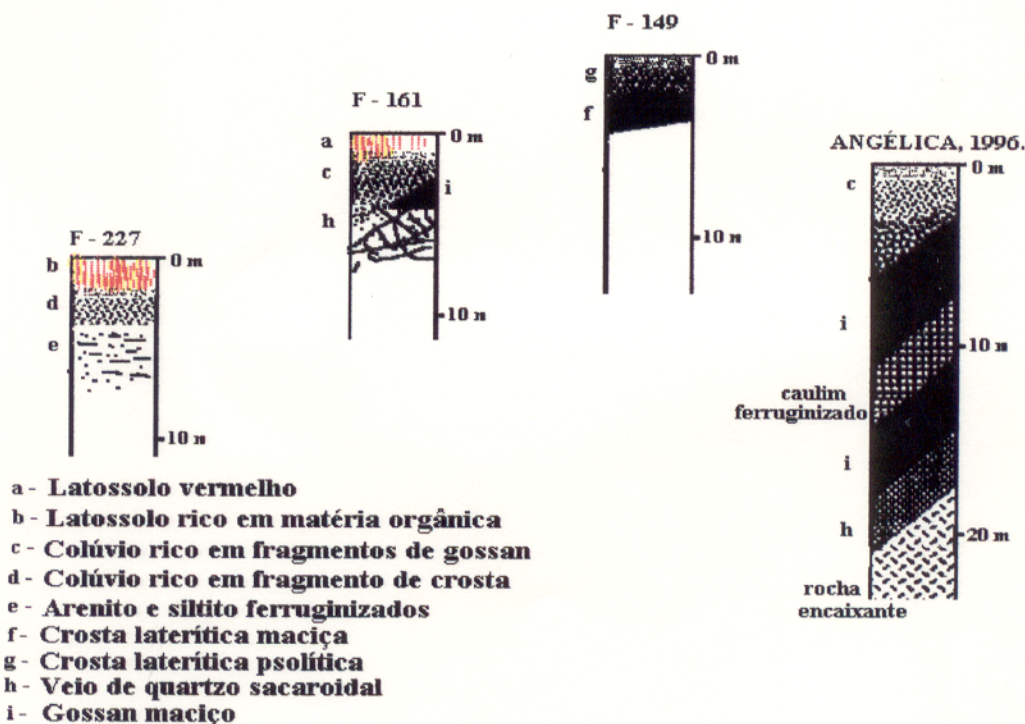


Figura 3.1 - Perfis de pontos descritos neste trabalho durante a fase de campo e correlacionados com o perfil gossânico do furo 23, descrito em ANGÉLICA (1996).

O perfil de alteração observado no Alvo Águas Claras é composto do topo para a base pelos seguintes horizontes:

3.1.1. Latossolo - apresenta espessura máxima de 40 cm, principalmente na porção sul do platô (Figura 1.4), nas zonas com altitudes mais baixas e coberta por vegetação, às proximidades da TR/35 (Figura 3.2), onde desenvolve uma camada de solo húmico, com espessura máxima de 15 cm. Na porção superior do platô, onde está localizado o corpo da anomalia Au/As, o latossolo é praticamente ausente, e quando ocorre, apresenta coloração vermelha e amarelo avermelhado, não desenvolvendo o solo húmico de topo.

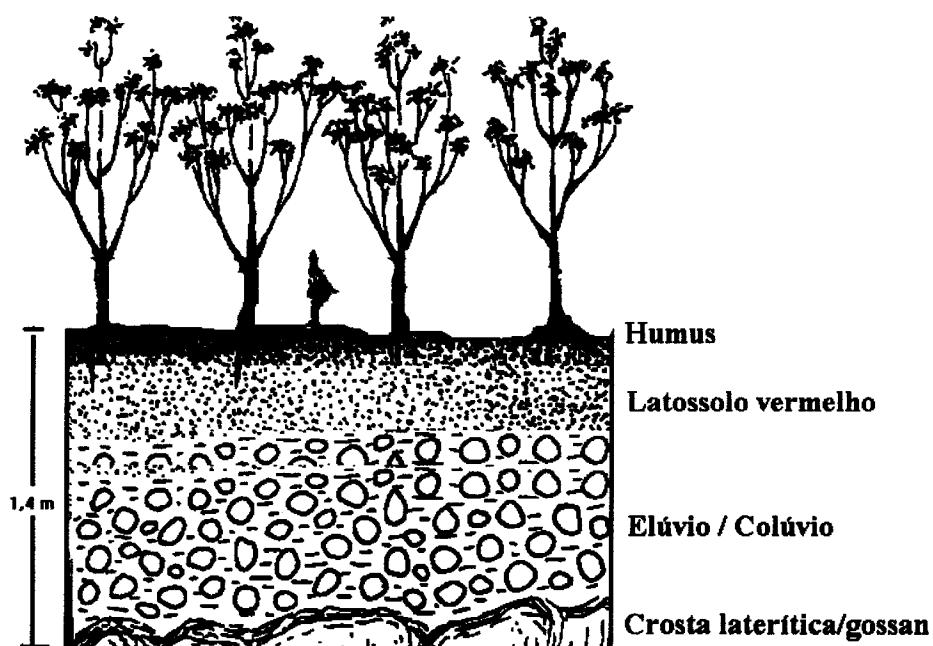


Figura 3.2 - Aspecto do latossolo que ocorre às proximidades da TR-35, com o solo húmico capeando o topo do perfil.

3.1.2. Colúvio - com espessura variando de poucos centímetros chega a alcançar até dois metros e apresenta-se quase sempre recoberto por uma camada de latossolo. São geralmente ricos em fragmentos da crosta laterítica e/ou gossânica com matriz de coloração vermelho-amarelado,

quartzosa, e argilominerais variando na sua quantidade, assemelhando-se ao latossolo. A quantidade de matriz varia entre 25 a 40 %. Na parte superior do corpo da anomalia Au/As, ocorre predominantemente de forma pseudopisolítica, com reduzida quantidade de matriz (~10%), e capea o topo do platô laterítico. Os fragmentos normalmente possuem formas alongadas, sub-arredondadas a esferoidais e diâmetros variando entre 1 a 15 cm (Figura 3.3), sendo basicamente de composição hematítica, com córtex goethítico.



Figura 3.3 - Aspecto do colúvio encontrado na área de Águas Claras.

3.1.3. Crosta laterítica - aflora principalmente na porção sul da área, constituindo toda a superfície do platô (Figura 1.3). Nas encostas, apresenta-se freqüentemente desmantelada e seus fragmentos são encontrados dispersos por toda a área, formando colúvios e elúvios, tendo em

alguns locais o desenvolvimento de estruturas tipo marcas ou cicatrizes de colapso, com o desenvolvimento de “*stone lines*” e fluxo de massa.

No topo do platô, a crosta laterítica apresenta-se parcialmente intemperizada e ocorre com textura brechóide a pisolítica. O fragmento da crosta laterítica da Figura 3.4, apresenta forma alongada com dimensões 5x4x2 cm, textura cavernosa, e nódulos cinza escuro de hematita, envolvido por uma matriz avermelhada, ainda endurecida, e em alguns pontos a matriz encontra-se amarelada (amarelo ocre). Dentro dos tubos (ou cavidades), responsáveis pela individualização dos pisólitos, tem-se um material amarelado pulverulento argilo-arenoso. Nos níveis logo abaixo do topo do platô, encontra-se crosta ferruginosa brechóide a cavernosa com fragmentos da crosta superior, e crosta ferruginosa maciça (Figura 1.3). Associadas a essas últimas, encontra-se ainda, corpos maciços, magnéticos descritos como gossans, localizados na trincheira 37 e próximo ao furo 68 (Figura 1.7).



Figura 3.4 - Aspecto de fragmentos da crosta laterítica.

3.1.4. Gossans - Ocorrem de maneira mais restrita, constituindo corpos ferruginosos, tabulares e subverticais, com espessuras métricas, freqüentemente associados a veios de quartzo brechoide, sacaroidal, e apresentam geralmente morfologia destacada por relevo positivo, representando os corpos mineralizados em ouro que foram prospectados pela DOCEGEO (Figura 1.3). Foram amostrados gossans das trincheiras TR - 35, TR - 68, TR - 05/91, TR - 07 e F-68 (vide mapa de localização das Figuras 1.6 e 1.7), e representados na Figura 3.5.

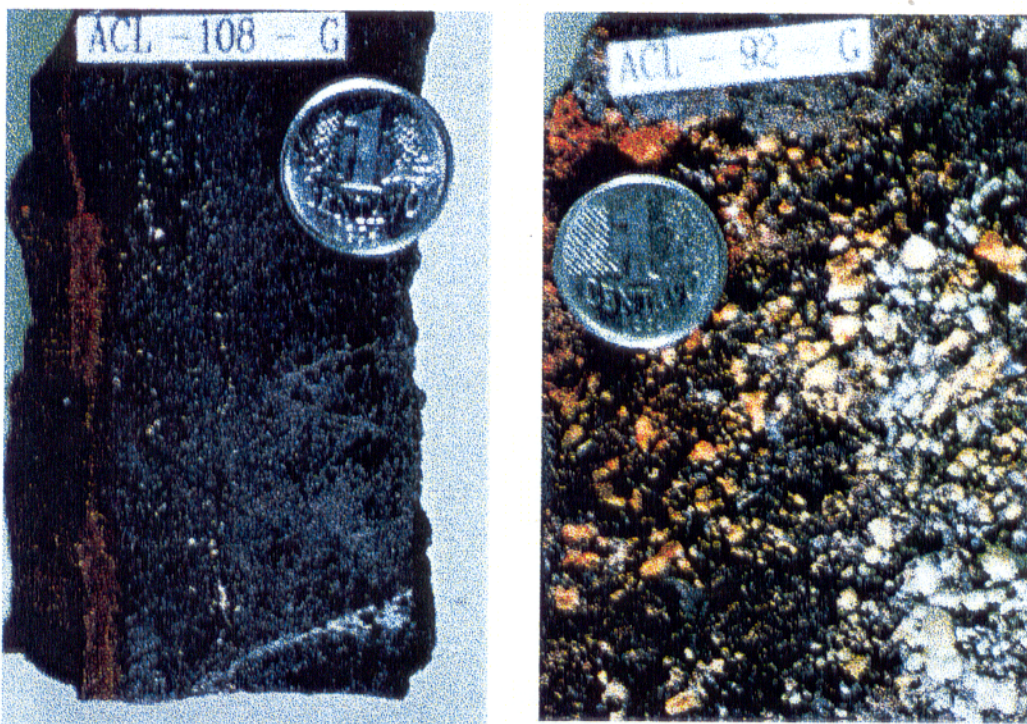


Figura 3.5 - a) Aspecto da crosta gossânica hematítica, apresentando porções com textura maciça e porções com textura cavernosa, onde ocorre quartzo residual; b) Fragmento de gossans do contato da zona de quartzo sacaróide.

A textura é bastante variada (maciça, terrosa e pulverulenta, brechadas com vênulas de quartzo sacaróide e box-work) apresentando freqüentes moldes constituídos por goethita. A coloração varia de cinza escuro da hematita a marrom escuro das goethitas (Figura 3.5). Os grãos

de quartzo que ocorrem imersos na matriz hematítica-maghemítica, encontram-se corroídos e bastante fraturados.

A seção geológica da parede NW da trincheira 35 (Figura 3.6), ilustra a distribuição espacial desses gossans e sua relação de contato com o pacote sedimentar e com a espessa camada de colúvios ricos em fragmentos desse corpo.

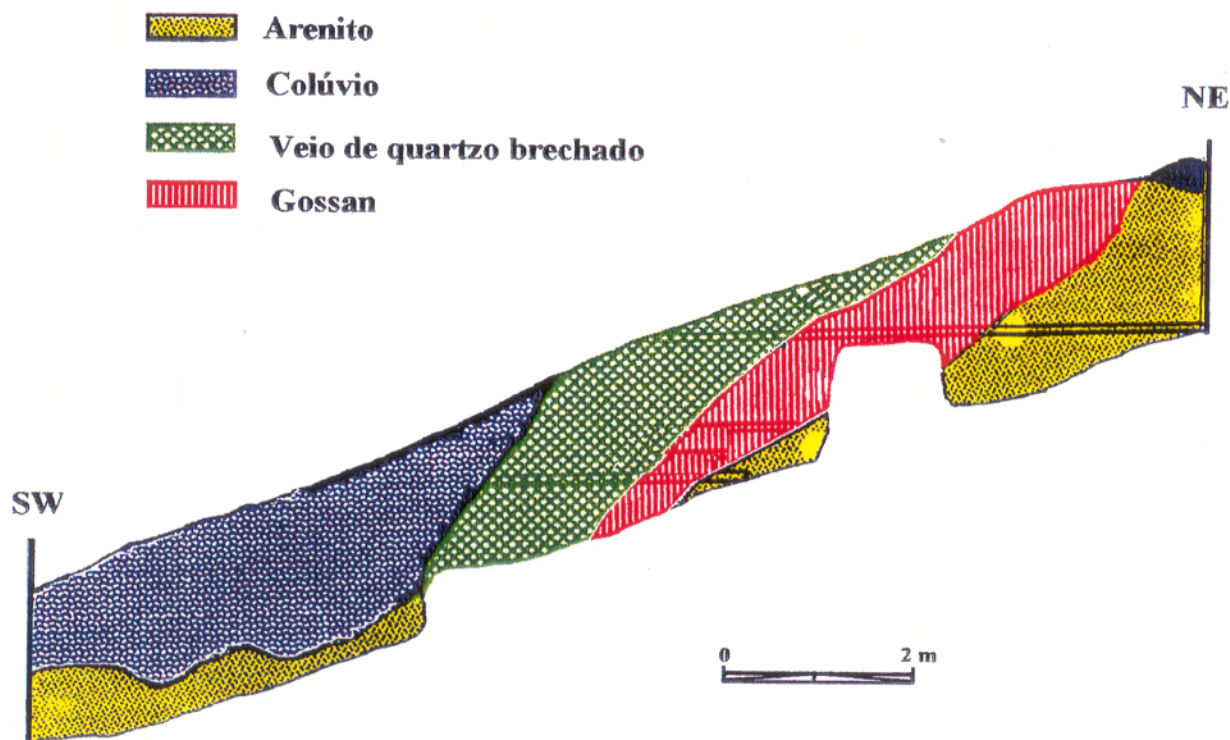


Figura 3.6 - Seção geológica da parede NW da TR-35, na área Águas Claras fornecida pela DOCEGEO. Modificada de ANGÉLICA (1996).

3.1.5. Rocha encaixante dos corpos mineralizados - está representada pelo membro superior da Formação Águas Claras, caracterizada na região por arenitos e siltitos de coloração amarela, lilás, cinza e branca avermelhada. A granulometria dos arenitos varia de média a fina, podendo ocorrer porções com granulometria grossa. Esses arenitos e siltitos foram afetados por metamorfismo de baixo grau. Em NOGUEIRA (1994), esses sedimentos são definidos como saprólito, devido a

alteração na sua cor original cinza pela oxidação do ferro (Figura 3.7), e por ter preservado estruturas primárias sedimentares, como a estratificação cruzada de baixo ângulo. Os diques de metagabros, que juntamente com os arenitos e siltitos, servem de encaixantes do corpo mineralizado, encontram-se intemperizados e apresentam venulações de quartzo ferruginoso e coloração cinza escuro. Próximo ao furo 68 e trincheira 35 é possível visualizar a relação entre latossolo, colúvio, gossans, veio de quartzo e encaixante (Figura 3.6).

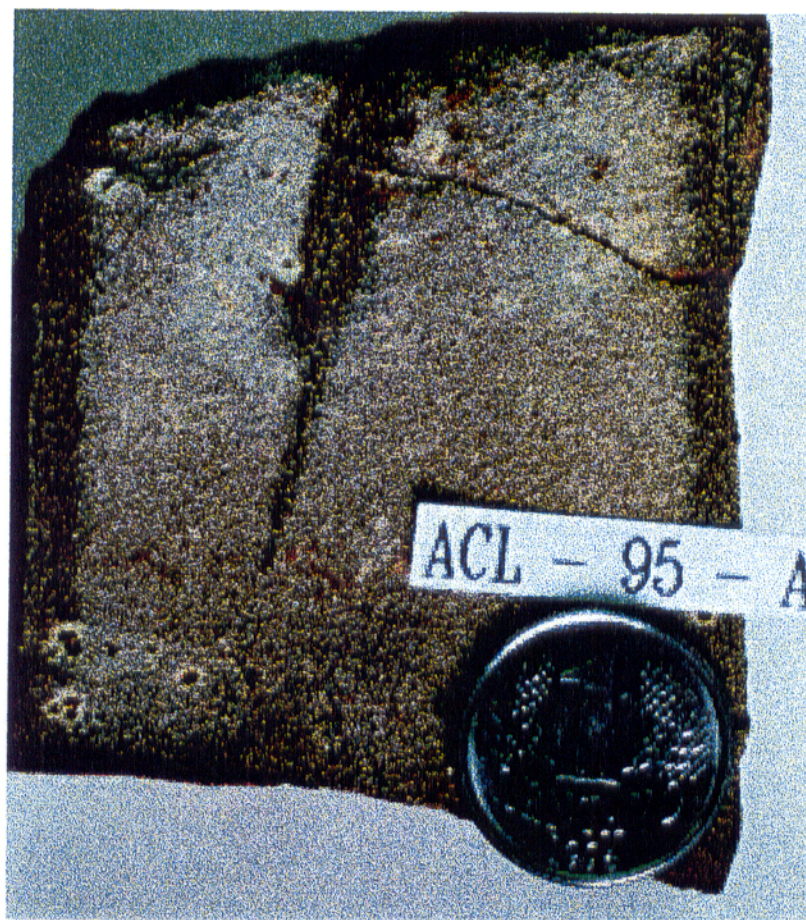


Figura 3.7 - Aspecto macroscópico do arenito que constitui a encaixante dos veios mineralizados.

3.1.6. Discussão

O perfil supergênico descrito na área se enquadra na classificação de COSTA (1991b) como laterito maturo, formado principalmente no Terciário Inferior. Devido a ocorrência de fragmentos de gossans na crosta laterítica, admite-se que esses gossans sejam mais antigos que os lateritos, da mesma forma como já descrito para a área Igarapé Bahia por ANGÉLICA (1996). Processos intempéricos da pós-lateritização matura, resultado da atuação alternada de climas tropical úmido com floresta e com períodos mais áridos, tem modificado o relevo, levando ao truncamento dos antigos perfis lateríticos maduros e formação de colúvios e latossolos. O bloco diagrama da Figura 3.8, está representa a atual paisagem encontrada na área.

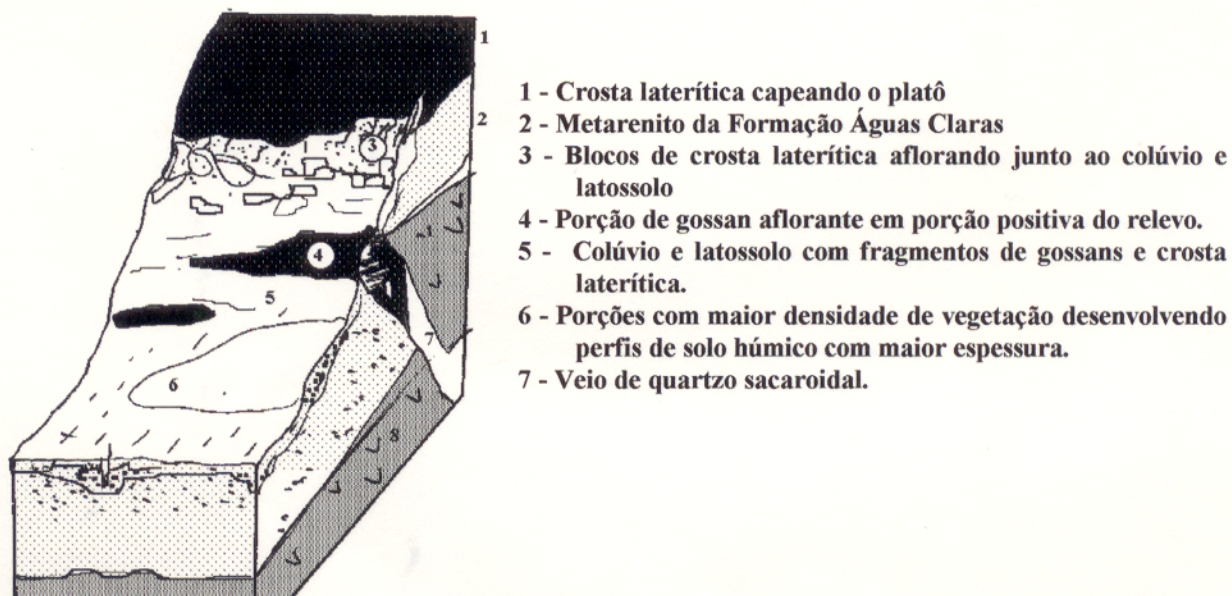


Figura 3.8 - Esquema geral do perfil de alteração descrito nas encostas do Alvo Águas Claras.

3.2 - MINERALOGIA

3.2.1. Latossolos

Os latossolos são constituídos basicamente de quartzo, caulinita e óxido-hidróxidos de ferro, principalmente hematita. Nos níveis intermediários até a base dos vales, onde se desenvolve o solo húmico de 10 a 15 cm, a matéria orgânica chega a constituir aproximadamente 40% desse horizonte. Na Figura 3.9 estão representados os espectros da difração de raios-X de quatro amostras de latossolos, onde verifica-se distribuição quase homogêneo do quartzo, ao passo que a caulinita apresenta variações mais visíveis na sua abundância, refletida pela intensidade dos picos, e cristalinidade, ressaltada pela abertura de seus picos.

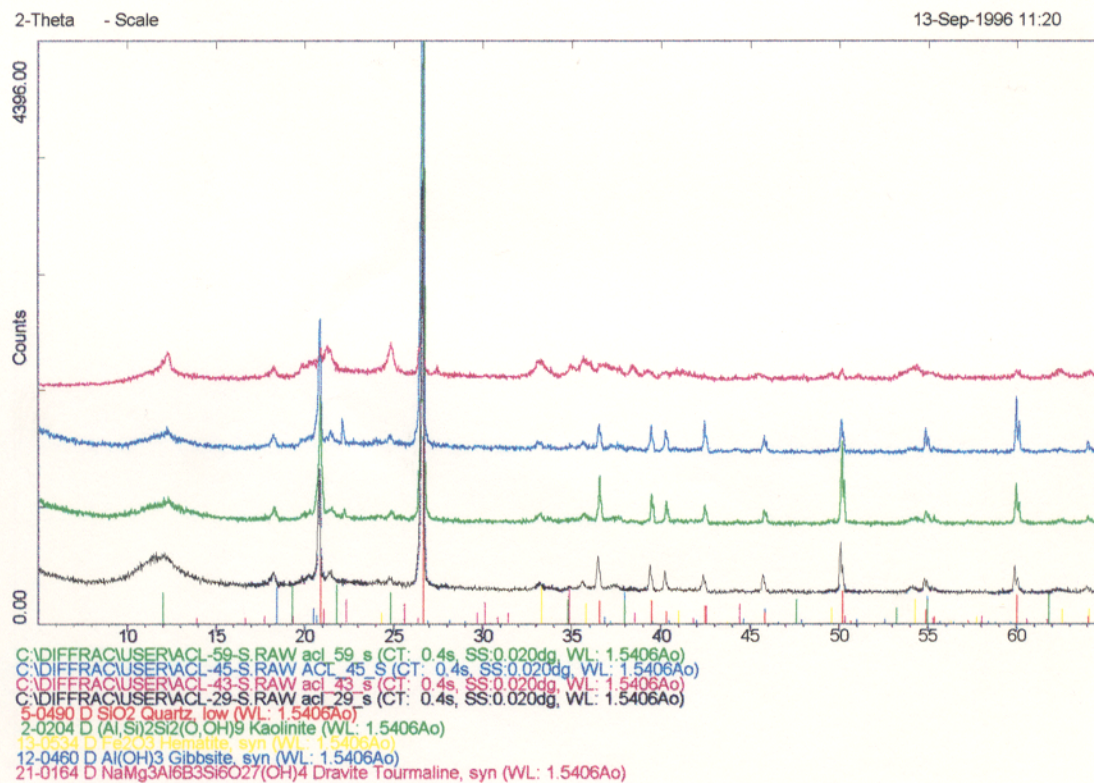


Figura 3.9 - Espectros da difração de raios-X de algumas amostras de latossolos.

O resultado da avaliação qualitativa da mineralogia obtida através da difração de raios-X, das amostras de latossolos que mais se diferenciaram mineralogicamente, está representada na Tabela 3.1. De maneira geral, os resultados não apresentaram grandes diferenças entre si, variando simplesmente a quantidade de cada fase mineral nas diferentes amostras analisadas. O quartzo e a caulinita aparecem como os minerais mais abundantes. A dravita encontrada juntamente com a muscovita foram observadas com frequência, assim como a hematita e gibbsita. A wolframita e goethita estão presentes com menor frequência da mesma forma que a ilmenita, magnetita e maghemita.

Tabela 3.1 - Avaliação qualitativa por DRX das amostras de latossolos da área de Águas Claras.

Amostra.	quartzo	dravita	muscovita	caulinita	hematita	gibbsita	goethita	wolframita
ACL-29-S	***	*	*	**	*	*	*	--
ACL-43-S	**	--	*	***	*	*	--	--
ACL-45-S	***	*	--	**	--	--	--	--
ACL-46-S	***	--	--	**	*	*	--	--
ACL-65-S	***	*	*	**	--	**	--	*

*** muito freqüente ** freqüente * pouco freqüente --- não detectado

Nos concentrados de minerais pesados das amostras de latossolos, foram identificados por microscopia ótica e estéreo-microscópio, alguns cristais de cianita, estaurolita e rutilo, além de cassiterita, wolframita, turmalina e ouro. Alguns desses grãos foram montados em lâminas para análises detalhadas por MEV e SED, apresentados no item 3.4.

3.2.2. Colúvio

O colúvio, como descrito anteriormente, é constituído quase sempre de uma matriz areno-argilosa a argilo-arenosa e fragmentos de lateritos e/ou gossans. Os resultados da avaliação qualitativa da mineralogia por DRX, de algumas amostras que apresentam composição mais distintas entre si, podem ser visualizados na Tabela 3.2 e seus espectros na Figura 3.10. A quantidade de hematita nessas amostras é elevada, enquanto o quartzo aparece com quantidades bastante variadas, assim como a caulinita e a dravita. A muscovita, gibbsita e wolframita estão em menor abundância.

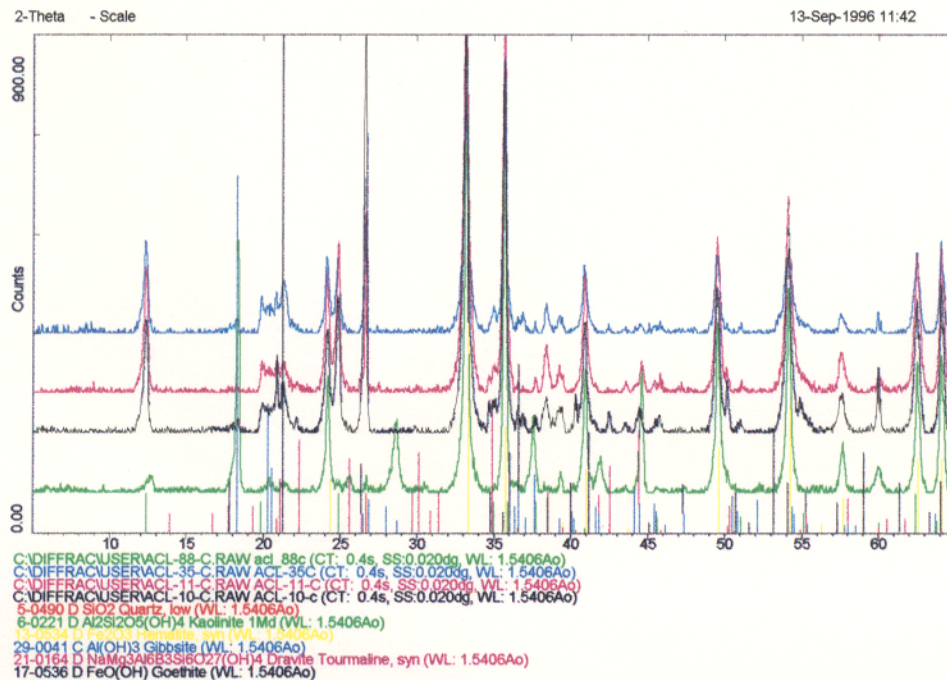


Figura 3.10 - Espectros de DRX de algumas amostras de colúvio.

Tabela 3.2 - Avaliação qualitativa por DRX das amostras de colúvio da área de Águas Claras.

Amostras	quartzo	dravita	muscovita	caulinita	hematita	gibbsita	goethita	wolframita
ACL-10-C	***	**	--	*	***	--	--	*
ACL-11-C	**	*	-	*	***	--	*	--
ACL-35-C	*	*	*	**	***	*	*	---

*** muito freqüente ** freqüente * pouco freqüente --- não detectado

A hematita e goethita, neste horizonte, estão presentes principalmente nos fragmentos da crosta laterítica e gossans, na forma de plasma avermelhado escuro, cimentando grãos de quartzo, de wolframita, de turmalinas e de outros minerais resistentes.

3.2.3. Crosta laterítica e gossan

Na crosta laterítica ferruginosa a hematita e a Al-goethita ocorrem como minerais principais, e em quantidades menores aparecem caulinita e quartzo preenchendo fissuras ou vazios.

A avaliação qualitativa por DRX da mineralogia das amostras de crosta laterítica está resumidas na Tabela 3.3, e os espectros respectivos, estão apresentados na Figura 3.11, onde os picos da hematita, goethita, quartzo, caulinita, dravita e wolframita estão identificados.

Tabela 3.3 - Avaliação qualitativa por DRX de amostras de crosta laterítica da área Águas Claras.

amostra	quartzo	dravita	mica	caulinita	hematita	cromita	goethita	wolframita
ACL-17-L	*	*	*	*	***	--	*	--
ACL-40-L	*	--	--	**	***	--	--	--
ACL-80-L	--	--	--	*	***	*	*	*
***	muito freqüente		**	freqüente	*	pouco freqüente		--- não detectado

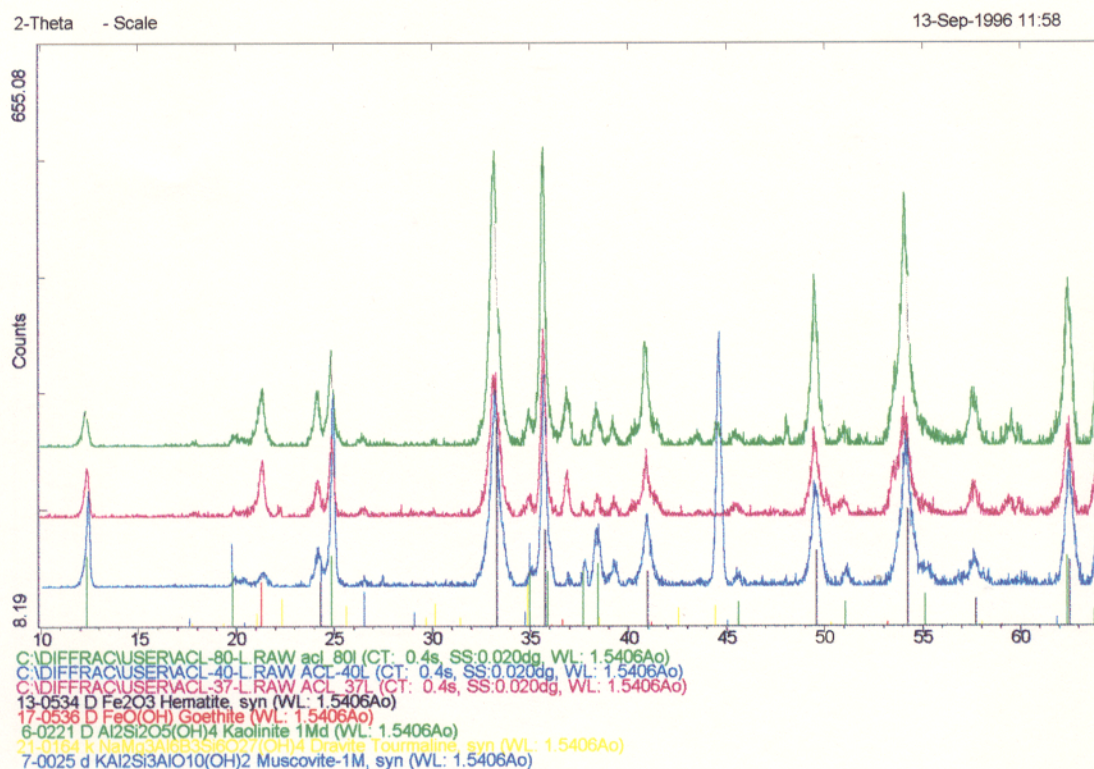


Figura 3.11 - Espectros de DRX de algumas amostras de crosta laterítica.

Os resultados qualitativos da mineralogia das três amostras de gossans estão representados na Tabela 3.4, ressaltando a grande diferença (composicional) entre eles, o que nem sempre é possível ser observado verificando somente os aspectos texturais, coloração e estruturas. Os espectros da DRX das três amostras estão apresentados na Figura 3.12.

Tabela 3.4 - Avaliação qualitativa por DRX das amostras de gossans da área Águas Claras.

Amost/min.	maghemita	dravita	caulinita	hematita	gibbsita	goethita	cromita	wolframita
ACL-15-G	*	*	*	***	---	***	--	**
ACL-87-G	--	**	*	***	--	--	*	--
ACL-108-G	--	--	--	***	***	*	*	--

*** muito freqüente ** freqüente * pouco freqüente --- não detectado

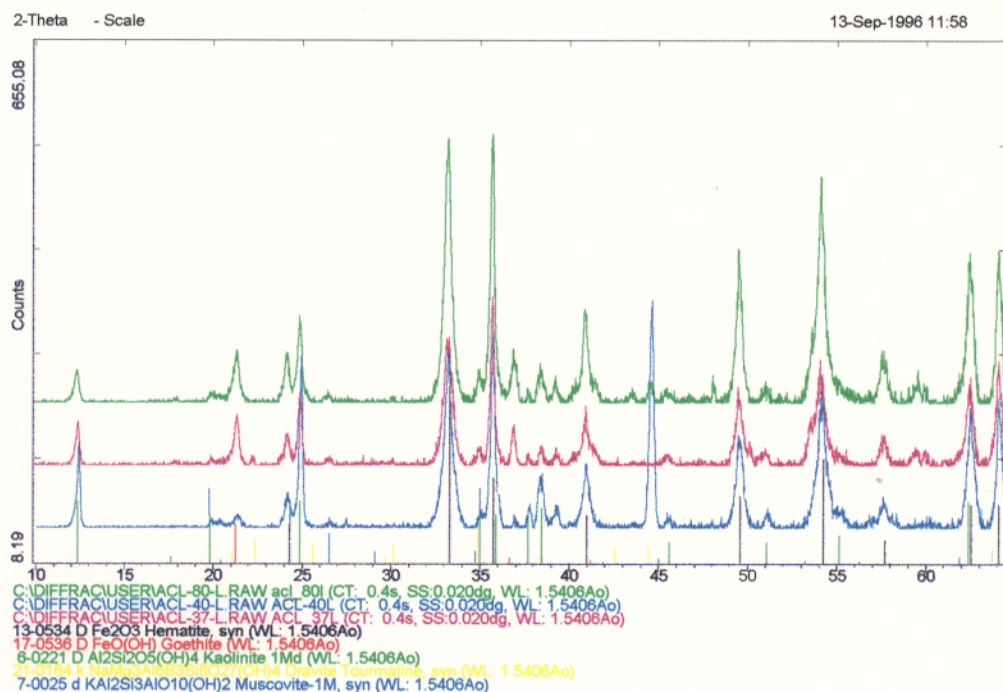


Figura 3.12 - Espectros da DRX das três amostras de gossans analisadas.

As três amostras de gossans se diferenciam, ora pela presença de maghemita associada a wolframita, dravita e goethita (ACL-15-G), e ora pela presença de gibbsita associada com cromita e goethita (ACL-108-G), entretanto, a hematita apresenta-se, nas três amostras analisadas como o mineral mais abundante.

Das observações petrográficas realizadas nos materiais gossânicos e crosta laterítica, observou-se que nos gossans a hematita é geralmente maciça, principalmente na amostra ACL-108-G, ou tipo “box work” com plasma hematítico mais avermelhado, preenchendo alguns vazios, juntamente com goethita. Na crosta laterítica o plasma hematítico-goethítico é mais claro, mostrando feições coliformes mais abundantes, marcadas por bandas mais claras e mais escuras.

Minerais como turmalina, wolframita, cassiterita e muscovita são frequentemente encontrados, ocorrendo em quantidades variadas, praticamente em todas as amostras. Entre os minerais pesados de algumas amostras, foram observados vários grãos de ouro e turmalina,

juntamente com cristais de cianita, wolframita e grãos de cassiterita de cor cinza, bem polidas e de forte brilho metálico. Alguns minerais pesados estão descritos com maior detalhe no item 3.4.

3.2.4 - Discussão

A composição mineralógica determinada através da difração de raios-X, dos vários materiais analisados, mostra uma heterogeneidade mineralógica, que ocorre não em termos de variedade de minerais, mas nas proporções das fases mineralógicas, nos diferentes materiais coletados, sendo percebida até mesmo dentro de amostras de um mesmo horizonte. Os minerais que apresentam maior abundância entre as amostras são o quartzo e a hematita. O primeiro ocorre abundantemente no latossolo e diminuindo sensivelmente nas amostras de crosta laterítica com quase total desaparecimento nas amostras de gossans, enquanto o comportamento da hematita é o inverso.

Os gossans, podem ser diferenciados pelo caráter magnético, constituídos principalmente por maghemita/hematita, e apresentando em geral textura maciça. Texturalmente os gossans que não apresentam esse caráter, são cavernosos ou tipo “*box work*” com a hematita como mineral principal.

Nos lateritos a ocorrência de uma matriz pulverulenta e texturas brechóides a pseudo-oolíticas é mais freqüente, assim como a presença de argilominerais do grupo da caulinita. A turmalina ocorre em maior quantidade nas crostas lateríticas e gossans, diminuindo sua quantidade no colúvio, e mais sensivelmente no latossolo.

Minerais como wolframita, cassiterita e turmalina, não são comuns em lateritos e gossans, e assim apresentam-se como uma singularidade para o alvo Águas Claras.

3.3 - GEOQUÍMICA

3.3.1 - Latossolos

Das amostras de latossolos coletadas neste trabalho, trinta foram analisadas para elementos-traço, e destas, apenas seis foram escolhidas para análise dos elementos maiores, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Composição química para os óxidos maiores (em %) das amostras de latossolo.

Amostras	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	P.F.*	TOTAL	Na	K	Mg
					(total)				(ppm)	(ppm)	(ppm)
ACL-03-S	72,78	0,70	9,51	0,72	9,30	0,02	5,96	98,99	161	1112	25
ACL-29-S	69,25	0,70	10,15	0,86	10,30	0,03	8,75	100,04	166	490	18
ACL-45-S	85,56	0,70	3,78	0,65	4,64	0,01	4,61	99,95	144	943	20
ACL-59-S	73,56	1,08	7,60	1,00	10,61	0,03	6,35	100,23	138	526	17
ACL-65-S	66,01	0,91	10,02	1,65	10,40	0,03	11,31	100,33	141	337	22
ACL-82-S	31,72	1,24	19,53	1,72	28,31	0,10	17,16	99,78	334	852	60
Média	66,50	0,89	10,10	1,10	12,26	0,04	9,02	99,91	181	710	27

*P.F. Perda ao fogo.

Os valores expostos, ressaltam a heterogeneidade química das amostras, como consequência da variação na proporção das fases mineralógicas presentes, como visto anteriormente, no item 3.2.

Dos resultados da Tabela 3.5, observa-se que o silício é, destacadamente, o elemento mais abundante, com média dos valores de SiO₂ em 66,5%, variando entre 31,72% a 85,56%, o que representa um valor relativamente alto, entretanto compatível com os valores apresentados por SCHELLMANN (1986), para lateritos desenvolvidos sobre arenitos, e os apresentados por COSTA (1991b) para os latossolos da Amazônia. O teor de SiO₂ nos latossolos é determinado, principalmente, pela abundância de quartzo e caulinita. Na matriz de correlação das amostras de latossolos (Figura 3.13), SiO₂ se correlaciona com negativamente com Fe₂O₃ e Al₂O₃ (-0,99) indicando a perda desses dois últimos elementos e enriquecimento do primeiro, fato compatível em solos lateríticos. SiO₂ correlaciona-se ainda negativamente com P₂O₅ (-0,98), P.F. (-0,98), MgO (-0,92) e Na₂O (-0,92).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na	K	Mg	P.F.*
SiO ₂	1									
TiO ₂	-	1								
Al ₂ O ₃	-0,99	-	1							
FeO	-	-	-	1						
Fe ₂ O ₃	-0,99	-	0,97	-	1					
P ₂ O ₅	-0,98	0,86	0,94	-	0,99	1				
Na	-0,92	-	0,91	-	0,94	0,92	1			
K	-	-	-	-	-	-	-	1		
Mg	-0,92	-	0,89	-	0,94	0,93	0,98	-	1	
P.F.*	-0,96	-	0,94	0,90	0,92	0,93	0,82	-	0,85	1

Valores significativos para n = 6 amostras ($\alpha = 0,05$ %) estão representados por $r \geq 0,82$
P.F.* - Perda ao fogo (-) valores não significativos.

Figura 3.13 - Matriz de correlação dos elementos maiores das amostras de latossolos.

Depois do silício, ferro e alumínio são os elementos mais abundantes, com teores médios de Fe₂O₃ e Al₂O₃ de 12,26 % e 10,10 %, respectivamente. As variações observadas nestes teores, cujos valores mais elevados estão na amostra ACL-82-S, estão relacionados a maior ou menor presença de fragmentos ou concreções ferruginosas nesses latossolos, com diminuição dos teores de sílica e justificando as correlações negativas entre SiO₂ com Al₂O₃ e Fe₂O₃, anteriormente descritas. Os valores de Perda ao Fogo (P.F.) variam de 4,61 % a 17,16 %, com média de 9,02 %, e traduzem a quantidade de caulinita e oxi-hidróxidos de gibbsita presente nas amostras. Outra característica desses resultados, é o empobrecimento em Na, K e Mg, com teores a nível de ppm, o que também é um comportamento típico em materiais lateríticos. P₂O₅ apresenta teor médio de 0,04%, abaixo da média crustal.

Com relação aos elementos-traço, os resultados analíticos de 30 amostras de latossolos com um sumário estatístico estão apresentados na Tabela 3.6. Para efeito de comparação, são apresentados valores da média crustal e da média de rochas relacionadas ao contexto geológico da área, como granitos, basaltos e folhelhos, compilados de KRAUSKOPF (1951), além da média nos solos, segundo REEDMAN (1979).

Tabela 3.6 - Concentrações dos elementos-traço (em ppm) analisados nas amostras de latossolo. Os teores de Hg estão em ppb (continua)

Amostra	Ag	As	Au	B	Be	Cl	Cr	Cu	F	Ga	Hg
ACL-3-S	<1	171	0,65	340	<2	66	180	43	100	10	160
ACL-4-S	3	120	0,35	400	<2	74	140	33	110	19	90
ACL-5-S	<1	84	0,45	320	<2	112	69	25	110	9	70
ACL-6-S	<1	86	0,25	370	<2	103	130	31	90	21	90
ACL-7-S	<1	64	0,2	370	<2	114	92	26	53	27	190
ACL-8-S	<1	79	0,25	400	<2	53	135	177	110	38	120
ACL-22-S	<1	100	0,35	350	<2	128	150	24	80	28	130
ACL-29-S	<1	136	0,45	510	<2	135	115	36	108	31	110
ACL-30-S	<1	128	0,2	400	<2	127	210	58	69	31	150
ACL-31-S	<1	145	0,3	380	<2	135	130	39	116	25	100
ACL-32-S	<1	171	0,15	300	<2	85	440	83	49	38	80
ACL-43-S	<1	64	0,1	142	<2	74	235	160	120	33	60
ACL-45-S	6	102	0,3	290	<2	129	85	30	125	16	110
ACL-46-S	<1	42	0,15	172	<2	109	54	21	112	14	60
ACL-59-S	<1	90	0,25	360	<2	137	130	57	91	26	80
ACL-60-S	<1	64	0,2	270	<2	124	130	60	91	35	300
ACL-61-S	<1	65	0,1	250	<2	121	275	99	60	35	390
ACL-62-S	<1	110	0,15	250	<2	102	465	120	44	49	310
ACL-63-S	<1	100	0,1	174	<2	40	510	115	45	49	290
ACL-64-S	<1	65	0,1	142	<2	94	355	93	72	42	260
ACL-65-S	<1	69	0,5	370	3	162	110	25	55	24	410
ACL-73-S	<1	140	<0,05	120	<2	20	1015	183	<30	78	320
ACL-82-S	<1	608	0,9	780	4	114	215	312	101	30	330
ACL-83-S	2	348	0,75	470	<2	73	225	245	50	38	250
ACL-84-S	2	704	0,75	570	6	67	240	422	81	36	240
ACL-85-S	<1	480	0,3	1240	6	125	150	235	238	32	330
ACL-86-S	<1	264	0,2	750	5	73	155	140	236	35	300
ACL-93-S	<1	138	0,05	162	<2	83	120	94	230	30	210
ACL-97-S	<1	147	0,1	520	4	70	385	322	101	38	220
ACL-106-S	<1	64	0,05	56	4	55	410	128	91	35	120
n	4	30	29	30	7	30	30	30	29	30	30
Média	3,25	165	0,29	374	1	97	235	114	98	32	196
Máximo	6	704	0,9	1240	6	162	1015	422	238	78	410
Mínimo	2	42	0,05	56	3	20	54	21	44	9	60
Desv.Padrão	2	162	0,22	235	2	33	193	103	54	13	107
Med.crystal ¹	0,07	1,8	0,003	10	3	130	100	50	650	18	0,02
Méd.granito ¹	0,1	2	0,005	3	2	200	200	45	700	15	0,5
Méd.basalto ¹	0,1	2	0,004	5	0,5	60	200	100	400	18	0,01
Méd.folhelho ¹	0,1	10	0,003	100	3	170	100	50	600	25	0,3
Média Solos ²	0,1	1-50	—	2-100	6	—	5-1000	2-100	—	15	0,03

(<) menor que o limite de detecção. ¹ KRAUSKOPF (1951) ² REEDMAN (1979)

Tabela 3.6 - Concentrações dos elementos-traço (em ppm) analisados nas amostras de latossolo. (conclusão)

Amostra	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Se	Sn	V	W	Y	Zn	Zr
ACL-3-S	37	<5	9	17	<5	1	70	90	313	<10	7	178
ACL-4-S	43	<5	11	20	11	1	66	188	160	<10	8	310
ACL-5-S	34	<5	8	13	5	1	19	106	141	<10	6	210
ACL-6-S	45	<5	11	18	11	1	51	180	140	<10	7	280
ACL-7-S	55	<5	12	15	16	1	86	230	95	<10	7	600
ACL-8-S	56	<5	19	22	49	1	54	420	94	30	21	500
ACL-22-S	66	7	12	19	6	1	92	162	114	28	9	450
ACL-29-S	62	11	12	16	70	1	78	162	224	19	8	540
ACL-30-S	86	12	13	23	14	1	60	230	93	45	12	430
ACL-31-S	59	7	11	19	5	1	34	160	184	25	8	310
ACL-32-S	120	15	18	33	19	3	1460	360	58	19	13	320
ACL-43-S	61	17	30	26	41	1	<5	370	32	63	40	240
ACL-45-S	47	<5	10	13	56	1	<5	90	183	<10	8	300
ACL-46-S	34	<5	9	8	6	1	<5	90	99	<10	7	194
ACL-59-S	49	<5	12	16	49	1	<5	210	141	42	10	380
ACL-60-S	79	7	15	20	10	1	<5	176	41	45	12	450
ACL-61-S	95	13	21	25	12	1	<5	280	26	28	16	470
ACL-62-S	135	19	26	31	23	<1	138	480	30	25	22	410
ACL-63-S	169	14	29	32	34	<1	70	500	19	28	25	430
ACL-64-S	147	14	30	28	48	<1	200	370	28	28	22	400
ACL-65-S	52	6	10	14	31	<1	100	132	189	<10	8	290
ACL-73-S	400	40	42	47	90	4	<5	860	28	16	37	210
ACL-82-S	376	7	24	78	86	1	148	180	234	<10	28	168
ACL-83-S	524	12	26	100	15	1	90	330	113	<10	31	172
ACL-84-S	493	22	28	117	38	1	260	260	168	28	41	110
ACL-85-S	104	12	21	35	26	1	220	220	97	<10	22	162
ACL-86-S	88	11	17	29	28	1	74	200	65	<10	24	260
ACL-93-S	57	<5	17	21	28	1	<5	180	37	<10	23	230
ACL-97-S	189	15	34	28	5	1	<5	460	21	25	43	220
ACL106-S	259	13	36	31	62	1	<5	460	<15	22	42	270
n	30	20	30	30	29	26	20	30	29	17	30	30
Média	134	9	19	30	30	1	112	271	105	17	19	316
Máximo	524	40	42	117	90	4	1460	860	313	63	43	600
Mínimo	34	6	8	8	5	1	34	90	19	16	6	110
Desv. padrão	137	9	9	25	25	1	263	166	77	17	12	127
Med. crustal ¹	1000	1,5	75	12,5	20	0,05	2,5	110	1,3	35	70	165
Méd. granito ¹	1000	1	80	15	5	0,09	3	110	1	40	65	160
Méd. basalto ¹	1700	1	150	3,5	35	0,05	2	250	0,8	30	30	140
Med. folhelho ¹	850	2	80	20	15	0,6	6	130	1,8	35	70	180
Média Solo ²	850	20	5-500	5-80	—	0,02	10	20-500	2-20	—	10-300	300

Bi < 10, Sb = 1, Sr < 50, Te < 1

(<) menor que o limite de detecção. ¹ KRAUSKOPF (1951) ² REEDMAN (1979)

A avaliação geral da Tabela 3.6, permite os seguinte comentários:

Assim como para os elementos maiores, observa-se uma forte variação nos teores da maioria dos elementos-traço, representada por uma grande amplitude entre os valores mínimos e máximos ou elevados valores de desvio-padrão.

Em relação a concentração dos elementos analisados, As, Au, B, W, Hg, Sn e Ga apresentam resultados acima da média crustal e média dos solos em geral. Os teores de Cu são bastante variáveis, com parte das amostras abaixo da média crustal e de solos, mas com uma população de 12 amostras de valores elevados (115 a 422 ppm), que assim como os outros elementos desse grupo, podem estar relacionadas a latossolos que ocorram às proximidades e/ou derivados (contendo fragmentos) das crostas laterito-gossânicas mineralizadas em ouro. Da mesma forma o As, antes tradicional “farejador” do Au, apresenta teores médios bastante elevados, alcançando até 704 ppm na amostra ACL-84-S. Outra característica desse grupo de elementos é a presença de amostras isoladas com valores bastante elevados (por ex. Sn = 1460 ppm na amostra ACL-32-S, B = 1240 ppm na amostra ACL-85-S) interpretados como acumulações residuais de alguns resistatos que ocorrem com frequência na área, como cassiterita e turmalina.

Cromo, Mo, Pb, V e Zr, apresentam teores médios superiores a média crustal, mas abaixo da média dos solos, com exceção do Zr que apresenta 50% das amostras na faixa de 300 a 600 ppm. No caso do Pb, três amostras (ACL-82,83 e 84) apresentam os maiores teores desse elemento, e que coincidem com os teores mais elevados de Au (0,9; 0,75 e 0,75 ppm), além de As, Cu e Mn. Cloro, F, Ni, Mn, Y e Zn estão empobrecidos com relação a média crustal e a média dos solos em geral. Prata, Be e Se apresentaram a maioria dos seus resultados próximos ou menores que o limite inferior de detecção dos métodos utilizados, enquanto que Bi, Sb, Sr e Te apresentaram todos resultados menores que o limite de detecção, não estando, esses últimos incluídos na Tabela 3.6.

As associações geoquímicas nos latossolos foram estudadas através de matrizes de correlação e dendrogramas da análise de agrupamento modo-R, apresentados nas Figura 3.14 e 3.15. Os elementos Sb, Bi, Sr e Te, que apresentam teores abaixo dos respectivos limites de detecção, e Se, Ag e Be, por apresentarem pequenas variações em seus teores, foram desconsiderados nesse tratamento estatístico.

	As	Au	B	Cl	Cr	Cu	F	Ga	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Sn	V	W	Y	Zn	Zr
As	1																			
Au	,67	1																		
B	,70	,47	1																	
Cl	-	-	-	1																
Cr	-	-,74	-	-,63	1															
Cu	,78	-	,43	-,44	-	1														
F	-	-	,51	-	-,50	-	1													
Ga	-	-,36	-	-,52	,86	,43	-,36	1												
Hg	-	-	-	-	-	,38	-	,48	1											
Mn	,66	,39	-	-,45	,50	,77	-	,53	,37	1										
Mo	-	-	-	-,44	,85	,51	-,36	,85	,42	,61	1									
Ni	-	-,25	-,12	-,66	,79	,67	-,25	,80	,38	,68	,80	1								
Pb	,83	,56	,30	-,34	-	,82	-	,36	-	,93	,47	,50	1							
Sc	-	-	-	-	,41	-	-	,47	-	,40	,39	,47	-	1						
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1					
V	-	-,44	-	-,69	,92	,40	-,44	,91	-	,48	,79	,86	-	,42	-	1				
W	-	,78	-	,37	-,48	-	-	-,60	-	-	-,44	-,59	-	-	-	-,63	1			
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-,40	1		
Zn	,39	-	-	-,65	,56	,82	-	,61	-	,70	,67	,91	,61	,40	-	,67	-,48	-	1	
Zr	-,55	-,36	-	-	-	-,49	-	-	-	-,44	-	-	-,46	-	-	-	-,36	-,40	1	

Valores significativos para $n = 30$ amostra ($\alpha = 0,05 \%$) estão representado por $r > 0,36$

(-) valores não significativos.

Figura 3.14 - Matriz de correlação dos elementos-traço das amostras de latossolos.

De um modo geral, o dendrograma da Figura 3.15 destaca dois grandes grupos, com características e/ou correlações particulares:

No Grupo I, os elementos As, Cu, B, Au e W, enquadram-se naqueles descritos anteriormente com teores médios bastante elevados e acima da média crustal e média para solos. Esta associação já foi descrita por ANGÉLICA (1996), como característica da assinatura geoquímica dos corpos gossânicos mineralizados em Au da área Águas Claras e que refletem os corpos primários associados a sulfetos (As, Cu), turmalina (B) e wolframita (W). Nessa associação, vários pares de elementos apresentam fortes correlações positivas (Figura 3.14), como Au-W (0,78), As-B (0,70), As-Cu (0,78), dentre outros, que podem ser visualizados nos diagramas de dispersão da Figura 3.16. A presença do Pb e do Mn com uma forte correlação (0,93), pode estar relacionada àquelas três amostras anteriormente descritas (ACL-82, 83 e 84) que apresentam os maiores teores de Au, As, Cu, Pb e Mn das amostras de latossolos. O flúor,

apesar de fazer parte do grupo, correlaciona-se a um nível bem baixo com o restante dos elementos e sem significado estatístico.

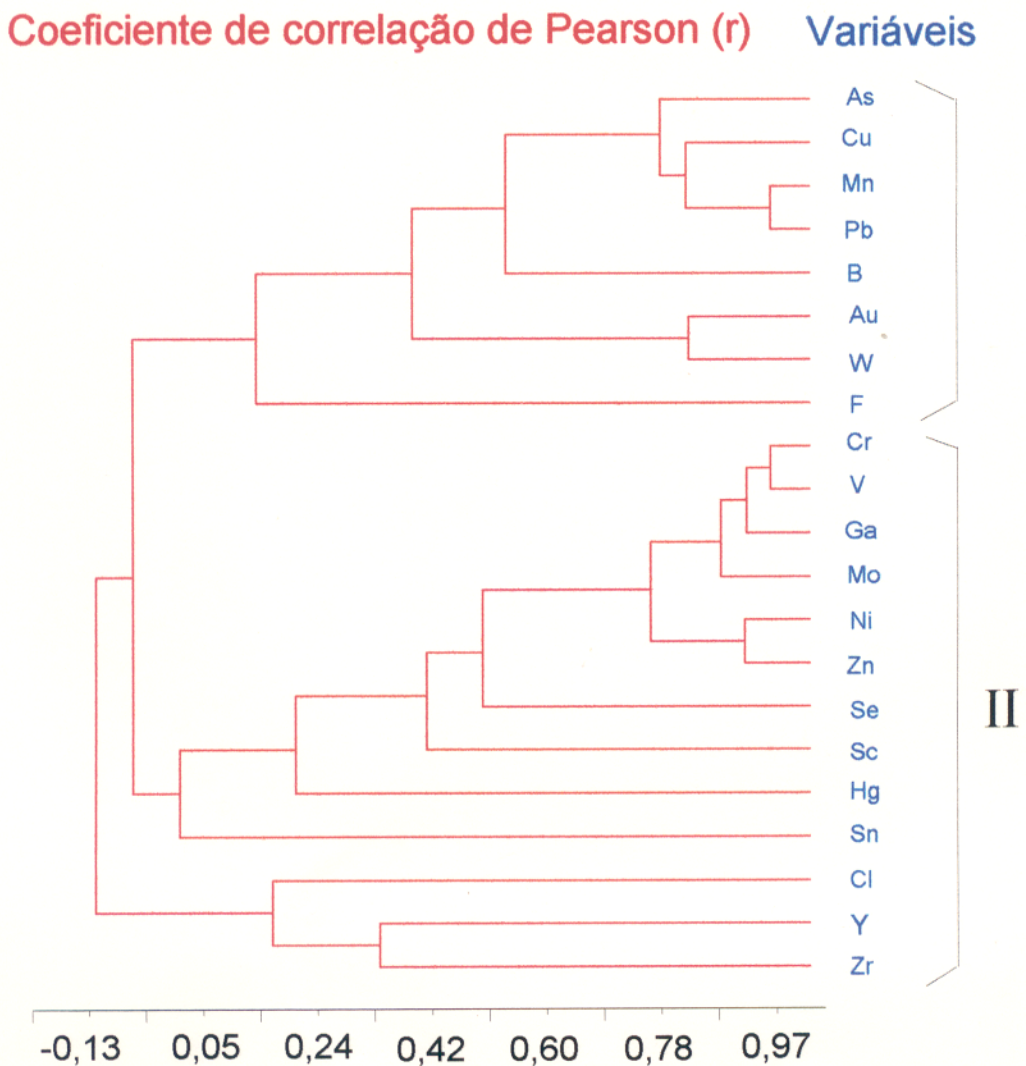


Figura 3.15 - Dendrograma da análise de agrupamentos em modo-R dos elementos-traço das amostras de latossolos.

Já no Grupo II, destaca-se a associação ou sub-grupo Cr-V-Ga-Mo-Ni-Zn, com valor de $r > 0,75$, aparentemente não associados aos corpos mineralizados, mas que refletem a associação com o ferro e mineralogicamente por estarem na estrutura dos óxidos e hidróxidos de ferro.

Selênio, Sc, Hg, Sn, Cl, Y e Zr, estão correlacionados ao sub-grupo do ferro a valor de r muito baixo, sem aparente significado geológico/mineralógico.

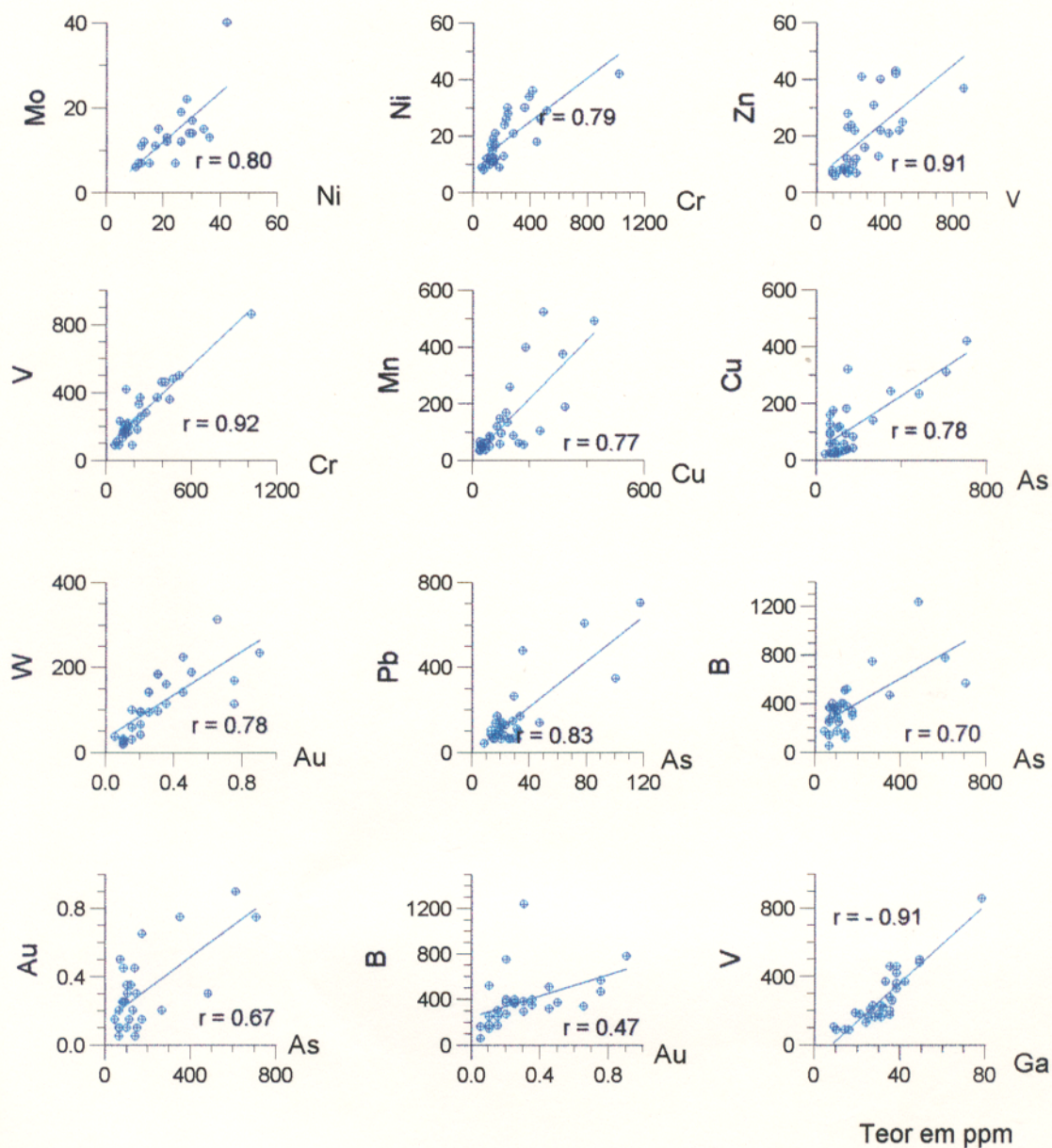


Figura 3.16 - Pares de correlação selecionados nas amostras de latossolos.

3.3.2 - Colúvios

Dentre as amostras de colúvio coletadas neste trabalho, vinte e duas foram analisadas para os elementos-traço, e destas, apenas seis foram escolhidas para análise dos elementos maiores, cujos resultados e seus valores médios estão apresentados na Tabela 3.7. A matriz de correlação dessas amostras pode ser visualizada na Figura 3.17.

Tabela 3.7 - Composição química para os óxidos maiores (em %) das amostras de colúvio.

Elem. %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃ (total)	P ₂ O ₅	P.F.*	TOTAL	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
ACL-09-C	37,17	1,07	14,42	0,79	38,58	0,04	6,79	101,86	431	569	67
ACL-10-C	28,44	1,08	13,67	0,36	49,25	0,04	7,17	100,01	227	252	24
ACL-11-C	19,08	1,24	15,21	0,36	55,98	0,03	7,13	99,03	231	163	22
ACL-35-C	20,92	1,36	16,51	0,36	51,01	0,02	8,23	98,41	289	151	23
ACL-36-C	17,21	0,70	15,87	0,29	57,42	0,03	7,93	99,45	247	32	21
ACL-90-C	13,68	0,65	13,27	0,71	64,01	0,16	7,23	99,71	688	1377	99
Média	22,75	1,01	14,84	0,48	52,70	0,05	7,41	99,24	352	424	43

P.F.* - Perda ao fogo.

	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na	K	Mg
SiO ₂	1						
FeO	-	1					
Fe ₂ O ₃	-0,97	-	1				
P ₂ O ₅	-	-	-	1			
Na	-	0,82	-	0,91	1		
K	-	-	-	0,95	0,98	1	
Mg	-	0,90	-	0,86	0,98	0,97	1

Valores significativos para n=6 amostras estão representados por $r \geq 0,82$

(-) valores não significativos.

Figura 3.17 - Matriz de correlação dos elementos maiores das amostras de colúvio

Com relação à composição química apresentada, a principal diferença em relação aos resultados dos latossolos está nos teores bem mais baixos de SiO₂ e conseqüentemente, maiores teores dos outros elementos, principalmente do ferro. Observa-se uma maior amplitude entre os valores mínimos e máximos, nos resultados de SiO₂ (13,7 % a 37,2 %) e Fe₂O₃ (38,6 % a 64,0 %). Esses teores e a variação observados refletem, principalmente a maior ou menor abundância de matriz areno-argilosa (quartzo e caulinita) e de fragmentos ferruginosos (oxi-hidróxidos de

ferro), e que pode ser ressaltado na forte correlação negativa $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (-0,97), apresentada na Figura 3.17. Da mesma forma como nos latossolos, Na, K, e Mg também são bastante empobrecidos, onde teores isolados de K (1377 ppm) refletem a presença de muscovita que foi detectada a nível de traço nos difratogramas de raios-X.

Os elementos-traço analisados estão apresentados na Tabela 3.8, juntamente com os resultados da estatística básica.

Tabela 3.8 - Concentrações dos elementos-traço (em ppm) analisados nas amostras de colúvio. Os valores de Hg estão em ppb (continua).

AMOSTRA	As	Au	B	Cl	Cr	Cu	F	Ga	Hg	Mn
ACL-9-C	795	3,4	1400	29	340	205	375	46	260	71
ACL-10-C	315	0,85	480	<20	420	69	110	44	510	168
ACL-11-C	248	0,3	750	<20	460	26	111	86	390	47
ACL-12-C	209	0,6	182	21	390	59	43	62	410	128
ACL-13-C	218	<0,05	240	<20	495	43	69	57	280	63
ACL-14-C	264	<0,05	240	38	680	161	105	84	280	83
ACL-33-C	234	0,4	172	<20	685	159	48	52	540	230
ACL-34-C	218	0,15	172	<20	790	197	<30	67	320	178
ACL-35-C	233	0,4	510	55	710	135	80	48	260	174
ACL-36-C	414	0,2	520	43	640	293	80	60	340	201
ACL-47-C	240	0,05	196	<20	515	58	66	50	120	172
ACL-48-C	227	0,2	264	<20	560	89	81	45	170	224
ACL-66-C	312	0,1	460	<20	640	186	46	46	340	137
ACL-68-C	160	0,05	200	37	660	293	91	56	350	92
ACL-69-C	77	0,15	126	23	540	274	39	47	390	71
ACL-70-C	82	0,15	150	<20	455	283	<30	42	330	88
ACL-71-C	141	<0,05	112	22	870	194	<30	42	80	307
ACL-72-C	160	<0,05	150	<20	805	120	<30	53	290	331
ACL-88-C	1450	1,05	174	<20	71	3507 **	70	52	280	5000 **
ACL-89-C	1024	0,85	820	<20	102	2033 **	122	76	160	5000 **
ACL-90-C	576	0,2	1800	<20	645	189	260	54	190	112
ACL-91-C	704	1,6	800	40	240	116	143	46	90	211
n	22	18	22	9	22	20	18	22	22	20
Média	377	0,49	451	34	532	143	88	55	290	140
Máximo	1450	3,40	1800	55	870	293	375	86	540	331
Mínimo	77	0,05	112	23	71	26	30	42	80	47
Dev. Padrão	339	0,76	438	28	213	94	87	13	122	89
Med. cristal ¹	1,8	0,003	10	130	100	50	650	18	0,02	1000
Méd. granito ¹	2	0,005	3	200	200	45	700	15	0,5	1000
Méd. basalto ¹	2	0,004	5	60	200	100	400	18	0,01	1700
Méd. folhelho ¹	10	0,003	100	170	100	50	600	25	0,3	850
Média Solo ²	1-50	—	2-100	—	5-1000	2-100	—	15	0,03	850

Ag < 1, Be < 2, Bi < 10, Sb = 1, Sr < 50, Te < 1

(<) menor que o limite de detecção

¹KRAUSKOPF (1951) ²REEDMAN (1979)

** *Outliers*, desconsiderados no tratamento estatístico

Tabela 3.8 - Concentrações dos elementos-traço (em ppm) nas amostras de colúvio(conclusão).

AMOSTRA	Mo	Ni	Pb	Sc	Se	Sn	V	W	Y	Zn	Zr
ACL-9-C	22	17	45	20	2	142	390	780	34	12	210
ACL-10-C	24	16	42	33	3	290	540	174	26	11	230
ACL-11-C	34	17	37	58	5	300	840	147	28	14	300
ACL-12-C	30	18	35	48	3	584	770	96	30	14	250
ACL-13-C	29	18	41	37	5	118	670	55	28	13	360
ACL-14-C	32	35	44	60	4	106	880	24	33	24	240
ACL-33-C	26	23	48	55	4	750	570	86	25	16	162
ACL-34-C	22	24	48	48	4	134	520	18	16	19	134
ACL-35-C	26	27	45	40	3	92	570	66	28	17	260
ACL-36-C	25	22	42	38	4	1460	630	30	28	15	140
ACL-47-C	25	20	39	5	3	75	520	65	<10	14	210
ACL-48-C	22	22	44	37	3	182	510	57	<10	16	220
ACL-66-C	26	22	42	5	2	<5	620	32	28	18	178
ACL-68-C	30	30	42	53	2	<5	1000	15	<10	28	340
ACL-69-C	22	25	38	104	3	<5	540	<15	<10	24	168
ACL-70-C	22	29	31	94	3	<5	740	<15	<10	23	134
ACL-71-C	23	40	47	90	3	<5	640	35	25	32	126
ACL-72-C	26	36	42	59	3	<5	990	24	31	28	178
ACL-88-C	43	50	1134 **	14	4	152	320	186	92	101 **	310
ACL-89-C	64	59	1414 **	58	2	<5	350	225	90	102 **	290
ACL-90-C	28	24	69	59	3	74	430	220	25	60	260
ACL-91-C	44	22	108	28	1	550	250	350	63	43	200
n	22	22	20	22	22	15	22	20	17	20	22
Média	29	27	46	47	3	228	604	122	29	22	223
Máximo	64	59	108	104	5	1460	1000	780	92	60	360
Mínimo	22	16	31	5	1	5	250	15	10	11	126
DesvPadrão	10	11	16	26	1	346	204	173	25	12	68
Med.crustal ¹	1,5	75	12,5	20	0,05	2,5	110	1,3	35	70	165
Méd.granito ¹	1	80	15	5	0,09	3	110	1	40	65	160
Méd.basalto ¹	1	150	3,5	35	0,05	2	250	0,8	30	30	140
MedFolhelho ¹	2	80	20	15	0,6	6	130	1,8	35	70	180
Média Solo ²	20	5-500	5-80	—	0,02	10	20-500	2-20	—	10-300	300

Ag < 1, Be < 2, Bi < 10, Sb = 1, Sr < 50, Te < 1.

(<) menor que o limite de detecção.

¹ KRAUSKOPF (1951) ² REEDMAN (1979)** *Outliers*, desconsiderados no tratamento estatístico

A observação desses resultados revela algumas semelhanças em relação aos latossolos, no sentido da grande variação de teores e em teores médios maiores para a maioria dos elementos analisados. Em relação a separação em grupos anteriormente realizada, novamente Au, As, B, W, Ga, Hg, Sc, Sn e V, destacam-se com resultados maiores que a média crustal e média dos solos em geral, para a maioria das amostras. A questão da variação composicional desses colúvios é reforçada por valores extremamente elevados de determinados elementos-traço em amostras isoladas que apresentam maior quantidade de fragmentos ferruginosos e que podem conter

sulfetos reliquiais aprisionados nos óxidos e hidróxidos de ferro. São exemplos as amostras ACL-88 e 89, com os maiores teores de As (1450 e 1024 ppm), Cu (3507 e 2033 ppm), Mn (5000 ppm), Pb (1134 e 1414 ppm), dentre outros, além de Au (1,05 e 0,85 ppm). Merece destaque o elemento Bi, que aparece com valores significativos em apenas três amostras desse horizonte, cujo teor médio é de 110 ppm, muito acima da média crustal.

As associações geoquímicas foram extraídas da análise da matrizes de correlação na Figura 3.18 e do dendrograma da análise de agrupamentos em modo-R, apresentado na Figura 3.19.

	As	Au	B	Cr	Cu	F	Ga	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Se	Sn	V	W	Y	Zn	Zr	
As	1																				
Au	,58	1																			
B	,42	,53	1																		
Cr	-,75	-,56	-	1																	
Cu	,84	-	-	-,63	1																
F	,46	,74	,87	-	-	1															
Ga	-	-	-	-	-	-	1														
Hg	-	-	-	-	-	-	-	1													
Mn	-,46	-	-	,65	-,49	-	-	-	1												
Mo	,68	-	-	-,68	,64	-	,45	-	-,45	1											
Ni	,51	-	-	-	,75	-	-	-	-	,65	1										
Pb	,80	-	-	-,67	,91	-	-	-	-,49	,84	,81	1									
Sc	-,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1								
Se	-	-	-	-	-	-	,44	-	-	-	-	-	-	1							
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1						
V	-,66	,53	-,42	,54	-	-	-	-	-	-	-	-,44	-	-	-	1					
W	,57	,96	,71	-,51	-	,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-,52	1				
Y	,86	-	-	-,64	,74	-	-	-	-	,83	,61	,80	-	-	-	-	-	1			
Zn	,80	-	-	-,56	,86	-	-	-	-	,79	,82	,90	-	-	-	-,45	-	,77	1		
Zr	-	-	-	-,43	-	-	-	-	-,60	,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Valores significativos para n = 22 amostra ($\alpha = 0,05\%$) estão representado por $r > 0,42$

Figura 3.18 - Matriz de correlação dos elementos-traço das amostras de colúvio

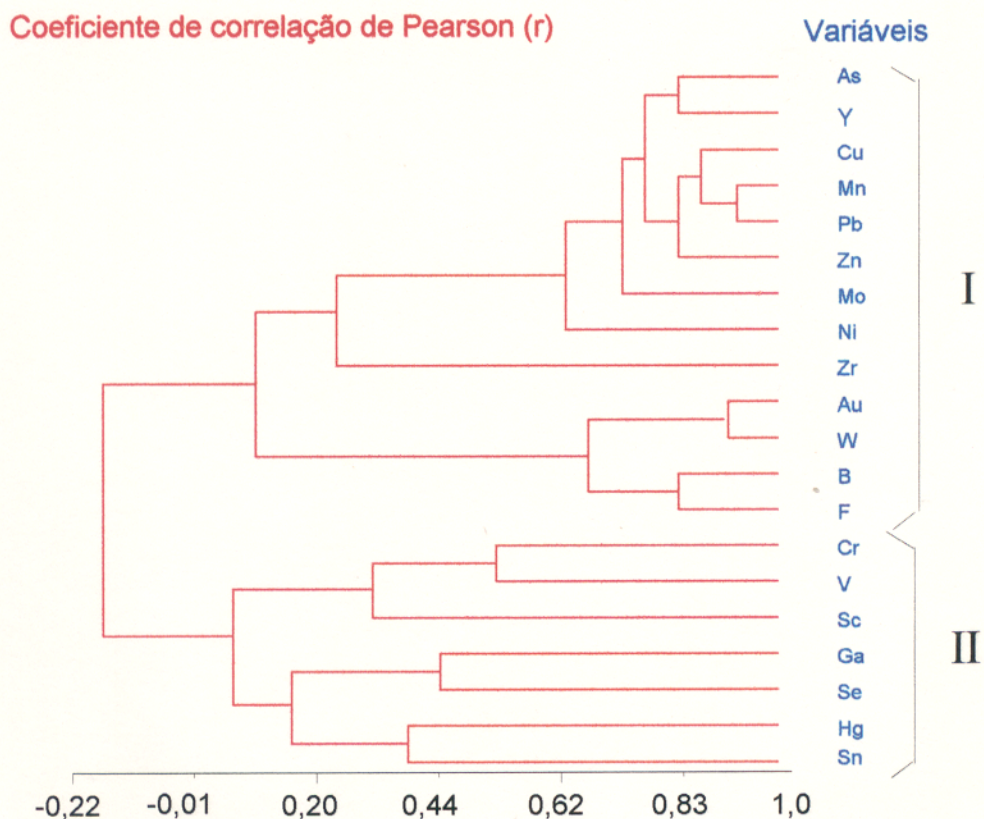


Figura 3.19 - Dendrograma da análise de agrupamento em modo-R dos elementos-traço nas amostras de colúvio.

Para as amostras de colúvio, observa-se uma modificação no arranjo do dendrograma, em comparação com os latossolos, no sentido de uma mistura da associação principal anteriormente descrita (As, Cu, B, Au e W), que caracteriza os corpos mineralizados. Porém, alguns agrupamentos ou pares de correlação daquela associação maior permanecem, como Au-W-B, além da boa correlação do par Au-As (0,58), que juntamente com Cu, Mn e Pb também fazem parte do Grupo I. Essa mistura deve-se a grande heterogeneidade composicional desses colúvios, já ressaltada na discussão dos teores dos elementos maiores e traço. Os principais pares de correlação extraídos da matriz da Figura 3.18 são: Au-W (0,96), Cu-As (0,84), Cu-Mn (0,64),

Cu-Pb (0,91), Mn-Cr (0,65), Cu-Zn (0,86), As-Zn (0,80), entre outras apresentadas nas Figura 3.20.

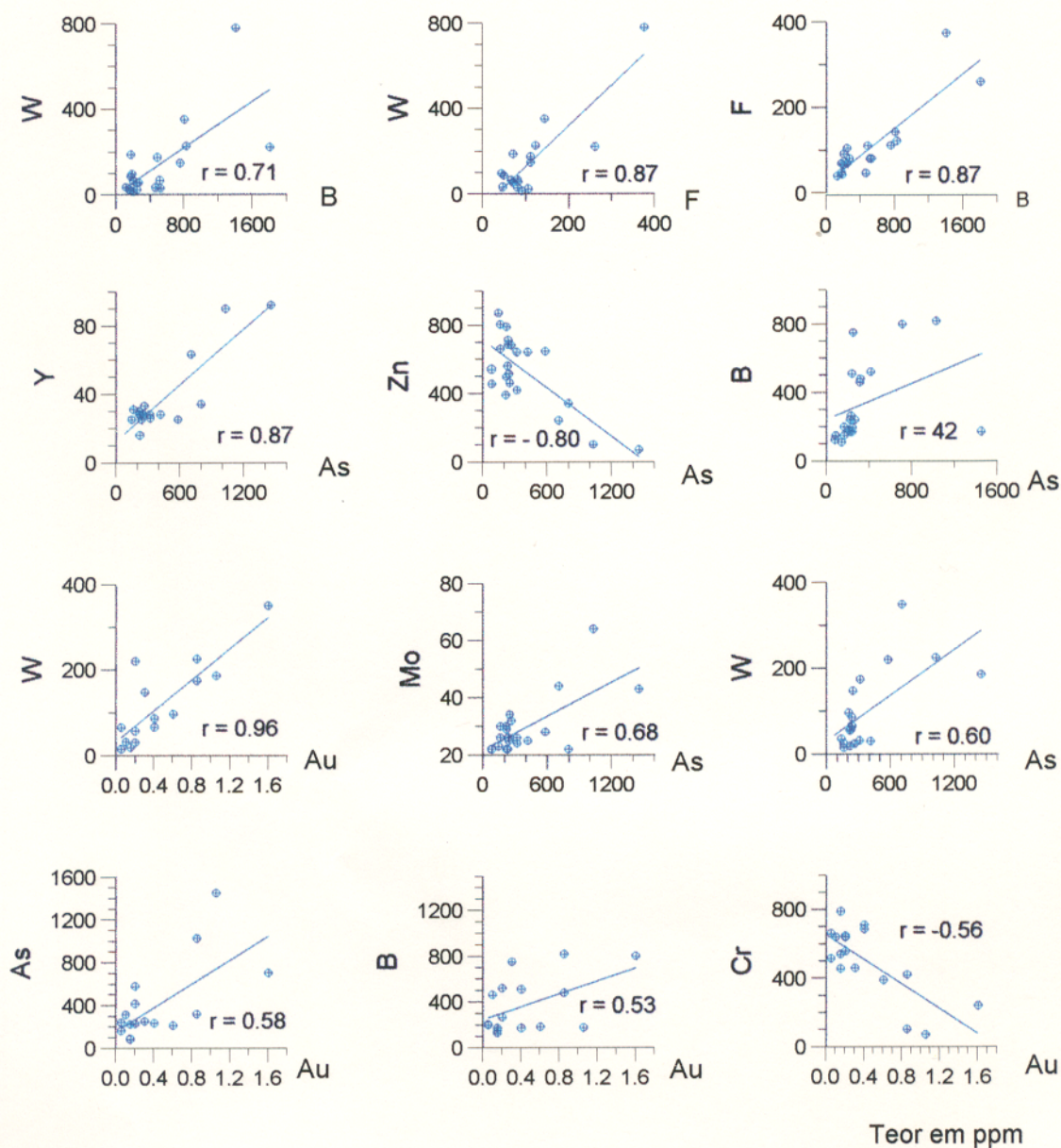


Figura 3.20 - Pares de correlação selecionados nas amostras de colúvios.

3.3.3 - Crosta laterítica e gossans

Das 18 (dezoito) amostras de crosta laterítica analisadas para os elementos-traço, foram escolhidas 5 (cinco) para a determinação dos teores de elementos maiores, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.9, juntamente com a única análise de óxidos maiores realizada nos gossans (ACL-15-G).

Tabela 3.9 - Resultado da análise química para elementos maiores:

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃ total)	P.F	Total	P ₂ O ₅ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
ACL-15-G	6,08	0,67	10,04	0,14	75,89	6,34	99,16	2065	1901	8	100
ACL-16-L	16,72	0,86	19,54	0,21	55,57	6,98	99,88	203	748	249	374
ACL-17-L	17,56	1,01	18,66	0,14	54,49	7,21	99,07	91	1733	249	324
ACL-21-L	12,89	1,12	17,06	0,21	60,80	7,89	99,97	317	474	250	125
ACL-50-L	17,34	1,13	18,25	0,21	53,72	8,92	99,57	<25	1452	249	175

P.F. - Perda ao fogo

A grande diferença desses resultados em relação aqueles dos latossolos e colúvios, está nos valores elevados de Fe₂O₃, que variam de 53,7 a 60,8% nas amostras da crosta laterítica. No entanto, não só esses teores, mas a composição química como um todo, estão próximos da composição média de crostas lateríticas de perfis maduros na região do Gurupi descritos por COSTA (1991b). A única amostra de gossan analisada exibe o maior teor de Fe₂O₃ encontrado (75,9 %), próximo da média dos gossans analisados por ANGÉLICA (1996) na área Águas Claras e Igarapé Bahia.

Quanto aos elementos-traço nas amostras de crosta laterítica (Tabela 3.10), observa-se ainda a grande heterogeneidade composicional descrita anteriormente para os latossolos e colúvios, com destaque para a mesma associação de elementos de elevados teores em relação a média crustal e a média dos solos em geral, composta por Au, As, B, W, Ga, Hg, Sc, Sn e V. Desta feita, os teores médios de As (256 ppm), Au (0,22 ppm), B (328 ppm) e Zr (199 ppm) são mais baixos do que nos latossolos e colúvios, enquanto todos os outros elementos, com destaque para Cr (642 ppm), Cu (209 ppm), Sn (332 ppm) e V (708 ppm), apresentam-se mais enriquecidos na crosta laterítica.

Tabela 3.10 - Concentrações dos elementos-traço (em ppm) analisados nas amostras de crosta laterítica. os teores de Hg estão em ppb. (continua)

AMOSTRA	As	Au	B	Cr	Cu	Ga	Hg	Mn
ACL-16-L	662	0,5	640	520	65	33	380	123
ACL-17-L	224	0,2	1000	545	66	64	360	80
ACL-18-L	222	0,25	138	505	89	47	480	110
ACL-19-L	205	<0,05	186	560	26	60	240	71
ACL-21-L	256	<0,05	186	700	142	100	240	117
ACL-37-L	648	0,9	1000	430	143	50	250	47
ACL-38-L	192	0,15	500	560	95	62	350	174
ACL-39-L	293	0,35	630	470	61	88	320	34
ACL-40-L	480	0,1	150	525	212	59	370	105
ACL-49-L	192	0,3	150	480	34	53	330	267
ACL-50-L	269	0,6	162	625	137	59	260	111
ACL-74-L	146	0,1	150	605	174	47	360	72
ACL-76-L	187	0,05	230	685	124	100	230	88
ACL-77-L	128	0,1	126	585	755	49	340	124
ACL-78-L	81	0,20	162	650	864	48	420	132
ACL-79-L	84	0,20	162	890	391	67	400	88
ACL-80-L	211	<0,05	150	1135	221	69	250	421
ACL-81-L	141	<0,05	174	1080	156	60	350	310
n	18	14	18	18	18	18	18	18
Média	257	0,22	328	642	209	62	329	137
Desv. Padrão	170	0,24	295	199	235	18	71	99
Mínimo	81	0,05	126	430	26	33	230	34
Máximo	662	0,9	1000	1135	864	100	480	421

AMOSTRA	Mo	Ni	Pb	Sc	Sn	V	W	Zn	Zr
ACL-16-L	15	21	52	25	300	420	158	15	110
ACL-17-L	28	26	48	38	1360	590	100	18	300
ACL-18-L	21	21	44	31	<5	600	57	18	220
ACL-19-L	25	18	45	26	<5	610	48	15	300
ACL-21-L	39	39	46	66	<5	760	17	29	280
ACL-37-L	29	23	35	51	400	600	166	16	122
ACL-38-L	25	17	42	55	96	620	21	12	240
ACL-39-L	38	15	38	72	182	1040	29	11	260
ACL-40-L	29	22	42	50	138	610	20	17	178
ACL-49-L	24	17	42	29	56	510	48	13	280
ACL-50-L	23	40	46	37	<5	560	47	38	154
ACL-74-L	22	24	42	89	<5	620	16	29	260
ACL-76-L	36	25	50	54	<5	860	<15	21	200
ACL-77-L	22	62	74	114	<5	710	<15	53	116
ACL-78-L	20	65	64	102	122	710	25	46	110
ACL-79-L	27	44	49	90	<5	1060	<15	57	138
ACL-80-L	28	29	53	96	<5	1120	24	35	188
ACL-81-L	30	34	42	86	<5	750	15	37	138
n	18	18	18	18	8	18	15	18	18
Média	27	30	47	61	332	708	44	27	199
Desv. Padrão	6	15	9	29	431	195	49	15	69
Mínimo	15	15	35	25	56	420	15	11	110
Máximo	39	65	74	114	1360	1120	166	57	300

Ag < 1, Be < 2, Bi < 10, Sb = 1, Te < 1, Sr < 50 (ppm)

(<1) menor que o limite de detecção.

A matriz de correlação e o dendrograma da análise de agrupamentos em modo-R, usados para a análise das associações geoquímicas das crostas lateríticas estão apresentados nas Figuras 3.21 e 3.22.

	As	Au	B	Cr	Cu	Ga	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Sn	V	W	Zn	Zr
As	1																
Au	,65	1															
B	,57	,58	1														
Cr	--	-,50	--	1													
Cu	--	--	--	--	1												
Ga	--	--	--	--	--	1											
Hg	--	--	--	--	--	-,54	1										
Mn	--	--	--	,70	--	--	--	1									
Mo	--	--	--	--	--	,92	-,53	--	1								
Ni	--	--	--	--	,90	--	--	--	--	1							
Pb	--	--	--	--	,81	--	--	--	--	,79	1						
Sc	-,49	--	--	,54	,74	--	--	--	--	,68	,52	1					
Sn	--	--	,79	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1				
V	--	--	--	,62	--	,60	--	--	,56	--	--	,61	--	1			
W	,80	,75	,75	-,44	--	-,46	--	--	--	--	--	-,56	,54	-,53	1		
Zn	-,52	--	-,48	,57	,76	--	--	--	--	,89	,65	,75	--	--	-,46	1	
Zr	--	--	--	--	-,58	--	--	--	--	-,56	--	--	--	--	--	-,55	1

Valores significativos para $n = 18$ amostra ($\alpha = 0,05\%$) estão representado por $r > 0,44$

Figura 3.21 - Matriz de correlação dos elementos-traço da amostras da crosta laterítica.

No dendrograma da Figura 3.22 observa-se um novo arranjo das associações, mas o que é mais interessante é que a divisão dos dois grandes grupos permanece, onde no Grupo I Au-As-W-B-Sn se mantém como a assinatura geoquímica principal, enquanto grupo II destaca a associação típica dos elementos associados aos óxidos e hidróxidos de ferro. Os pares de correlação mais fortes no grupo I são Au-As (0,65), Au-W (0,75), As-W (0,80) e Sn-B (0,79), enquanto no Grupo II, destacam-se: Ga-Mo (0,92), Cu-Ni (0,90), Ni-Pb (0,79), Au-W (0,75), Cr-Mn (0,70), mostrados na Figura 3.23.

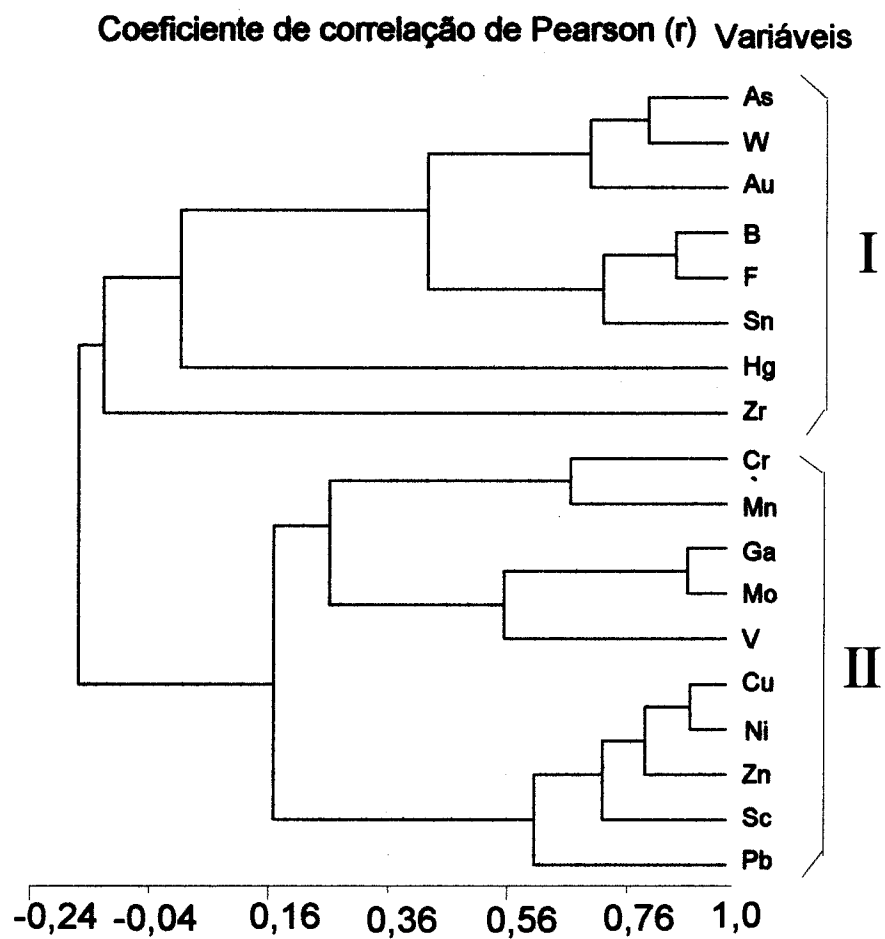


Figura 3.22 - Dendrograma da análise de agrupamento em modo-R dos elementos-traço das amostras de crosta laterítica.

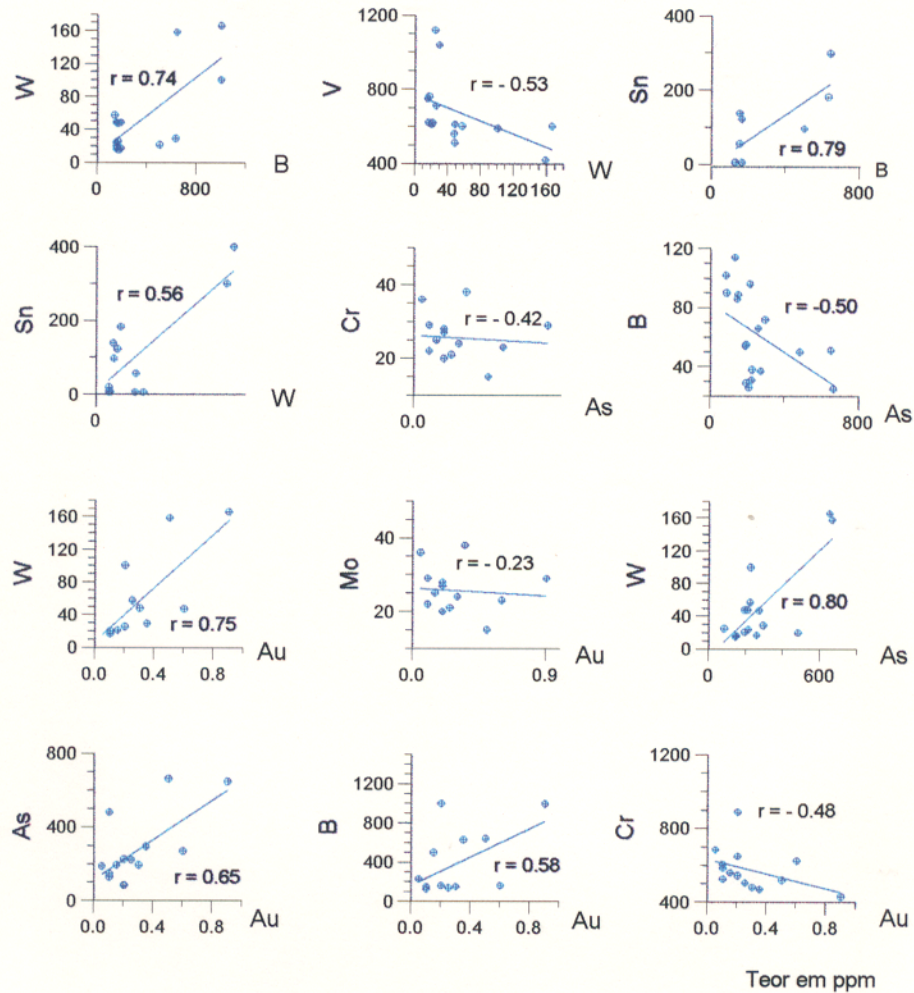


Figura 3.23 - Pares de correlação selecionados nas amostras da crosta laterítica

Em relação aos gossans, em apenas quatro amostras foram realizadas análises para elementos-traço, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.11. Merece referência o teor mais elevado de Au (40,65 ppm - ACL-15-G), das amostras estudadas neste trabalho, além do As (6272 ppm), Cu (2859 ppm) e W (3500 ppm), que apresentam-se igualmente enriquecidos nas outras amostras.

Tabela 3.11 - Resultado das análises químicas para elementos-traço nas amostras de gossan.

	ACL-15-G	ACL-41-G	ACL-87-G	ACL-92-C
Ag	8	<1	<1	<1
As	6272	1830	2091	844
Au	40,65	0,05	0,75	0,25
B	150	650	1560	1910
Be	<2	20	35	72
Cl	<20	21	<20	<20
Cr	6	33	155	45
Cu	2859	120	749	1021
F	90	111	290	184
Ga	20	79	46	49
Hg	<50	50	100	150
Mn	1004	310	168	223
Mo	42	29	28	32
Ni	47	36	68	68
Pb	151	45	115	110
Sc	22	47	18	16
Sn	340	550	90	260
V	68	180	172	122
W	3500	29	2304	450
Y	70	290	51	182
Zn	84	15	56	105
Zr	29	28	55	44

3.3.4. Distribuição do ouro e elementos associados.

Na Tabela 3.12 está representado a estatística básica dos teores de ouro encontrados nos latossolos, colúvios, crosta laterítica e nas três amostras de gossan, e que foram apresentados anteriormente nas Tabelas 3.6, 3.8, 3.10 e 3.11. Uma das características mais marcante desses resultados, além dos teores médios elevados, está relacionada a grande variação dos teores de

ouro, em todos os horizontes trabalhados, refletindo a grande heterogeneidade composicional desses materiais, especialmente dos colúvios, cujo desvio padrão (0,76) é duas vezes o teor médio de Au (0,34 ppm), e que apresenta quantidade variáveis de fragmentos de corpos mineralizados em Au.

Tabela 3.12 - Valores médios, máximos e mínimos do ouro no solo, colúvio, crosta laterítica e os valores do Au nas três amostras de gossan.(valores em ppm)

HORIZONTE	n	MÉDIA	Desvio Padrão	MÍNIMO	MÁXIMO
Latossolo	29	0,29	0,22	0,05	0,90
Colúvio	22	0,34	0,76	0,05	1,60
Crosta Laterítica	14	0,22	0,24	0,05	0,90
Gossan	3	0,75	-	0,05	40,65

Para ilustrar o distribuição espacial do Au e elementos-traço associados na área, foram confeccionados mapas de isotores e perfis com a distribuição desses elementos. Esse tratamento foi realizado através do “*software*” SURFER, com plotagem dos dados químicos sobre a geologia e corpos mineralizados, para verificar suas relações espaciais e dispersões laterais.

Os mapas de isotores apresentados a seguir (Figuras 3.24, 3.25, 3.26, 3.27), mostram claramente a individualização dos corpos mineralizados pelas linha de isotores do Au, assim como as isolinhas do B, W e As. Elementos como o Hg, Mo e Sn, apresentam boa resposta no delineamento dos corpos mineralizados nos resultados da **crosta**, no entanto, nos latossolos não chegam a marcar com nitidez o corpo mineralizado..

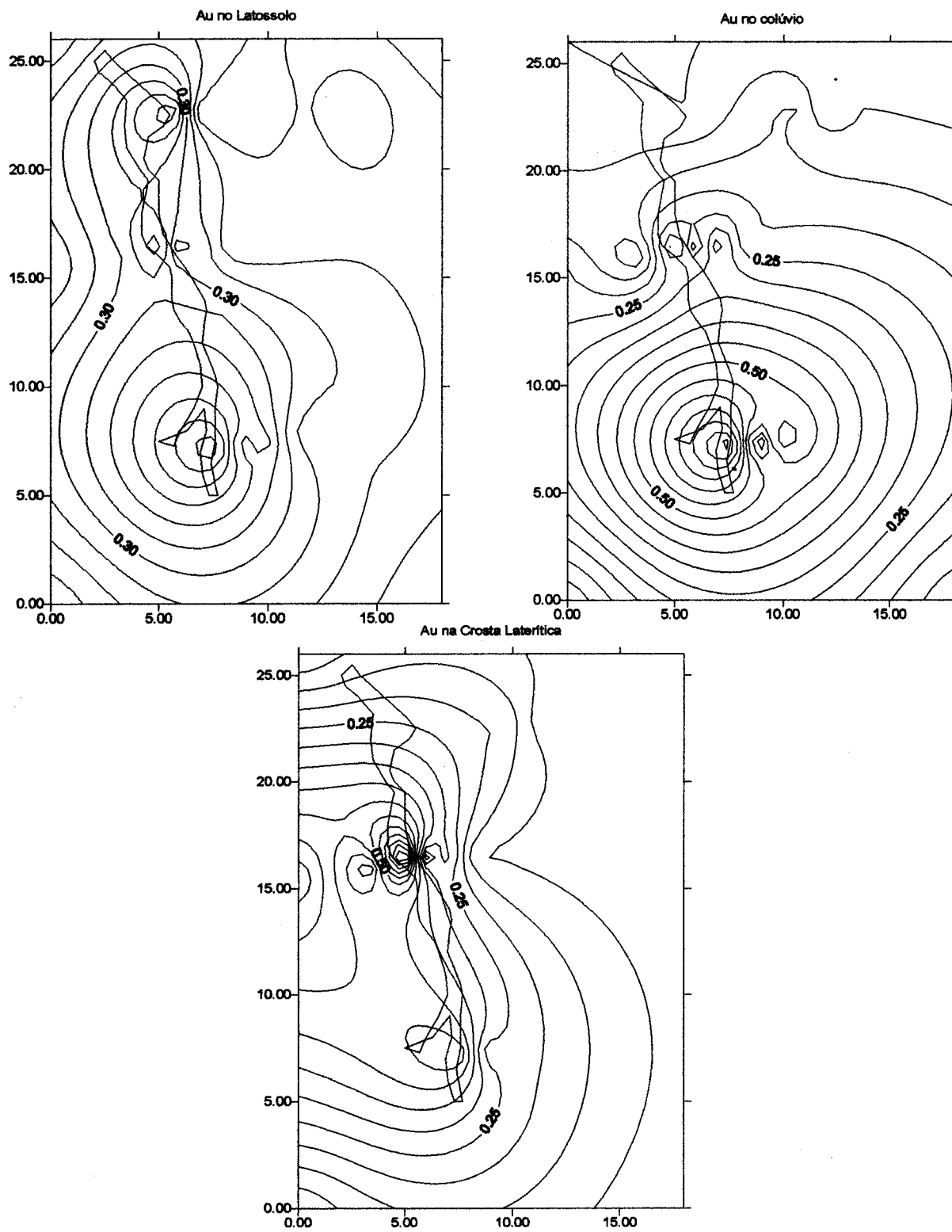


Figura 3.24 - Mapas de isoteor de Au no corpo da anomalia Au/As

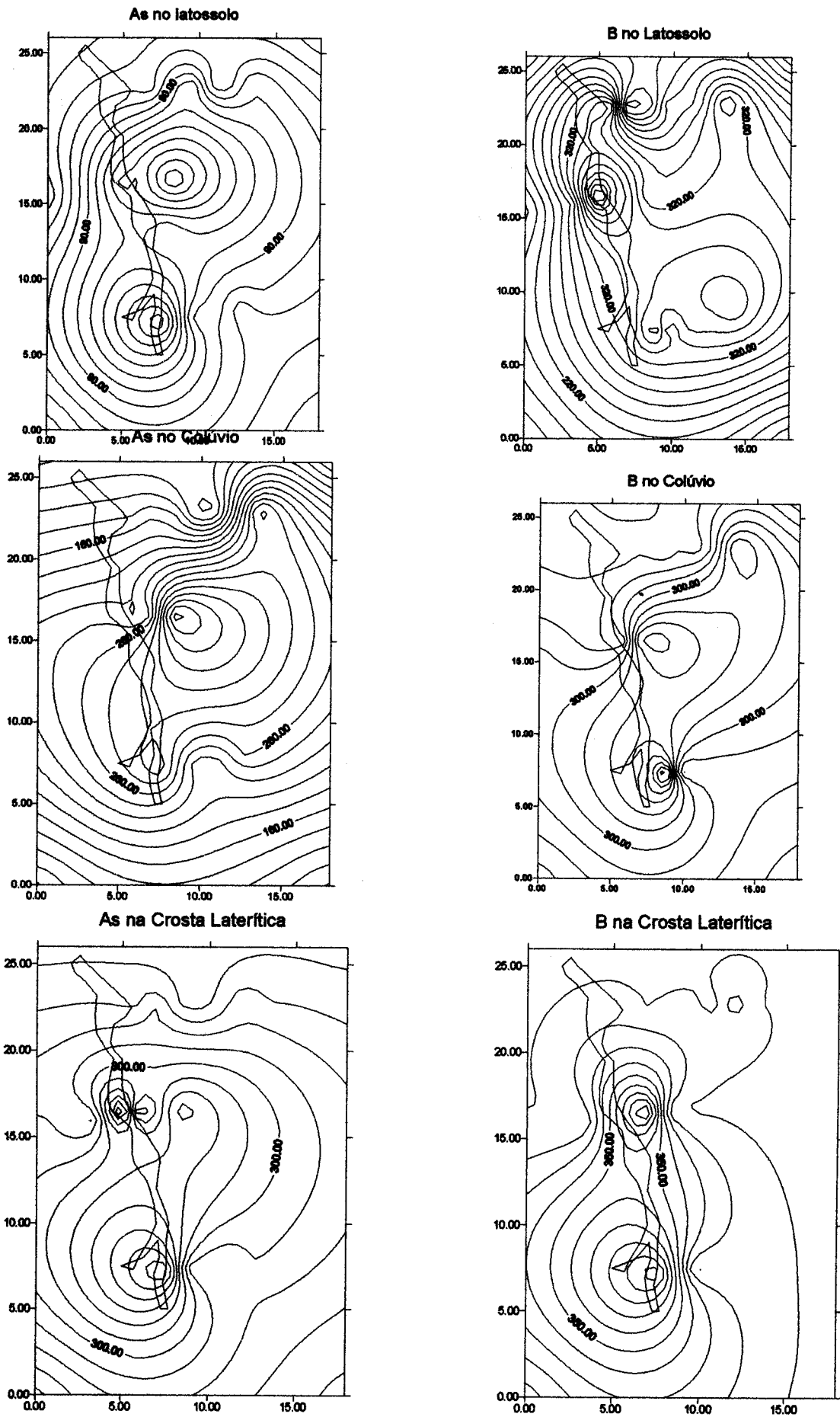


Figura 3.25 - Mapas de isoteor de As e B no corpo da anomalia Au/As.

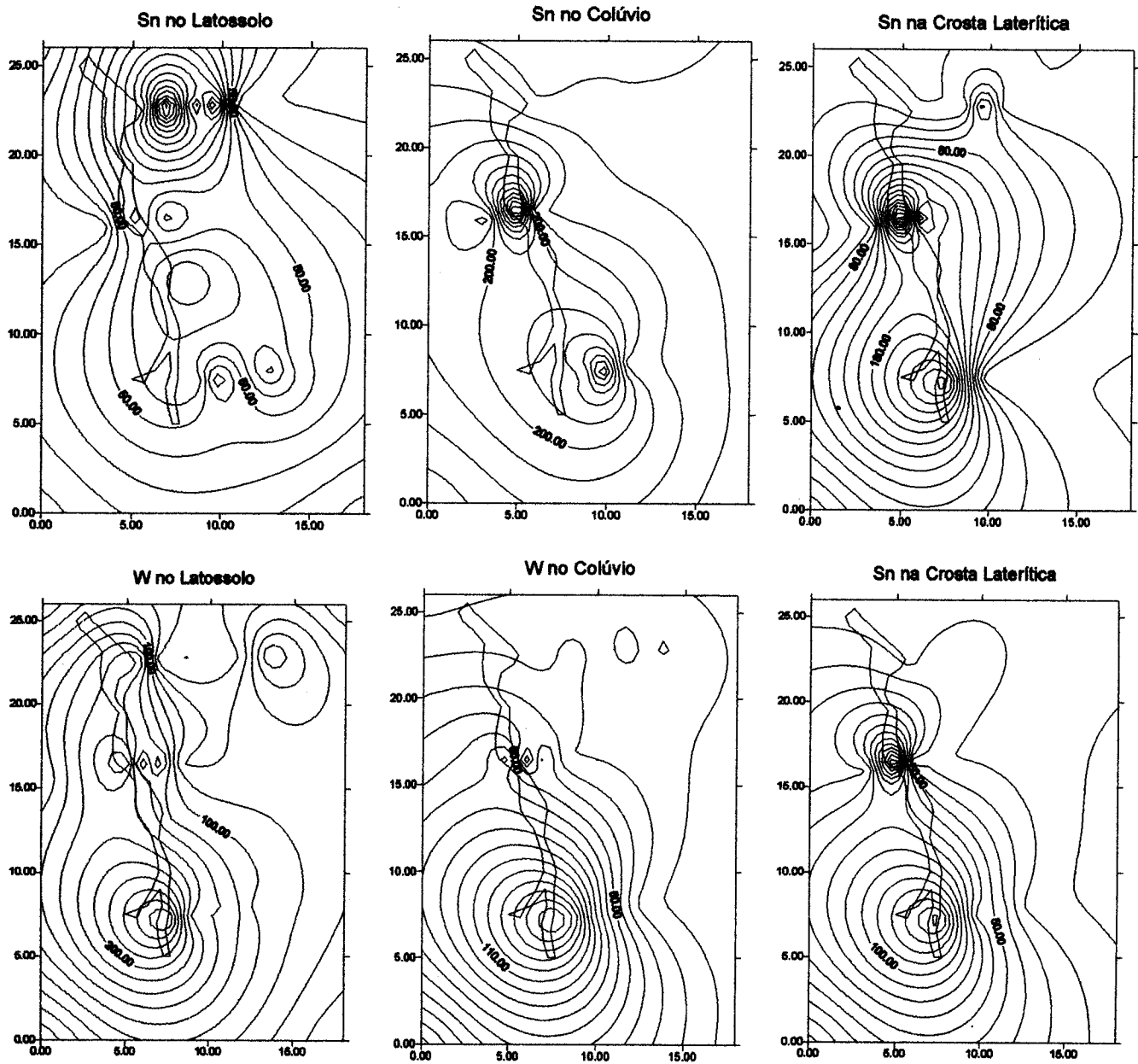


Figura 3.26 - Mapas de isótopos de Sn e W no corpo da anomalia Au/As.

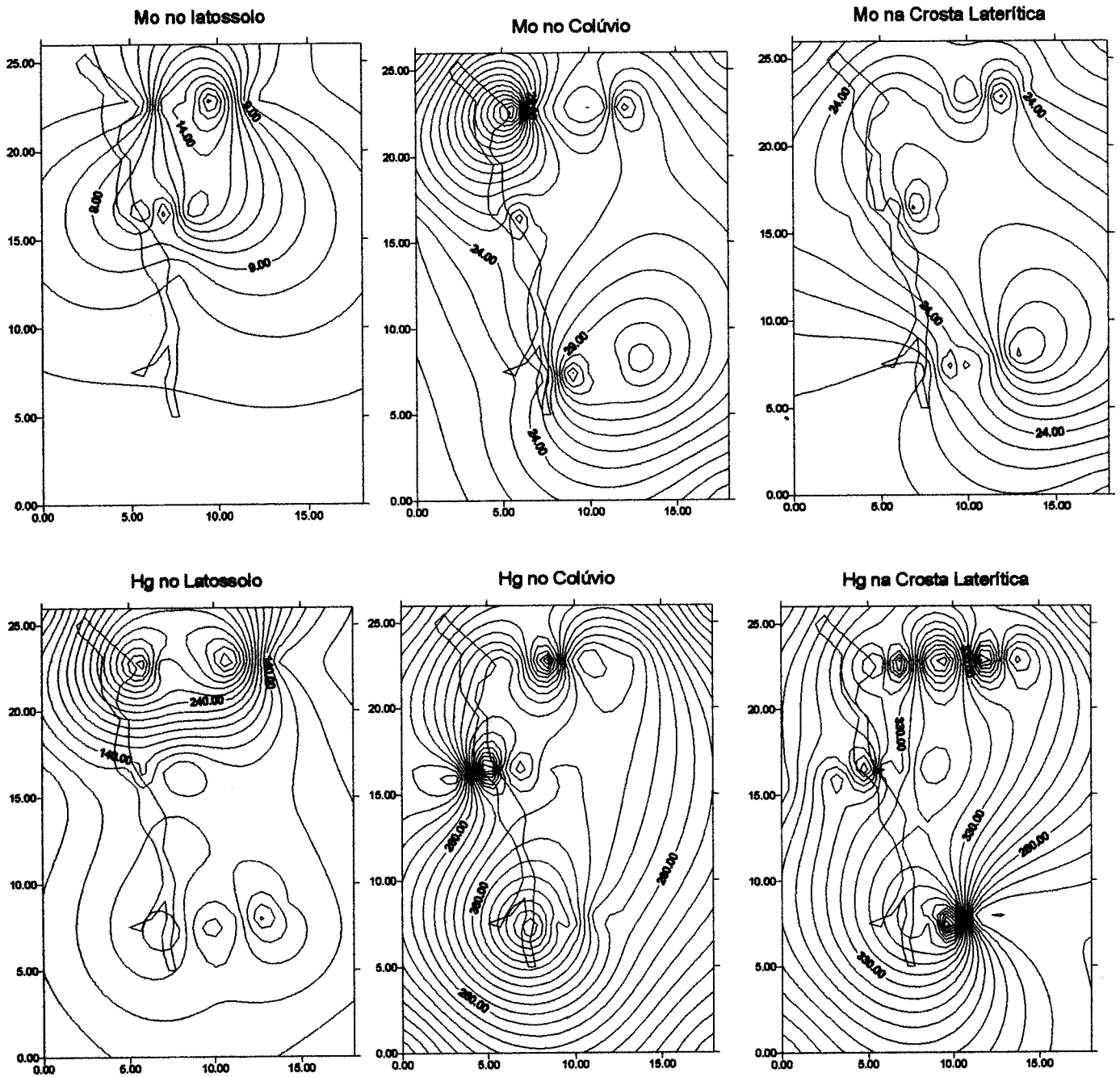
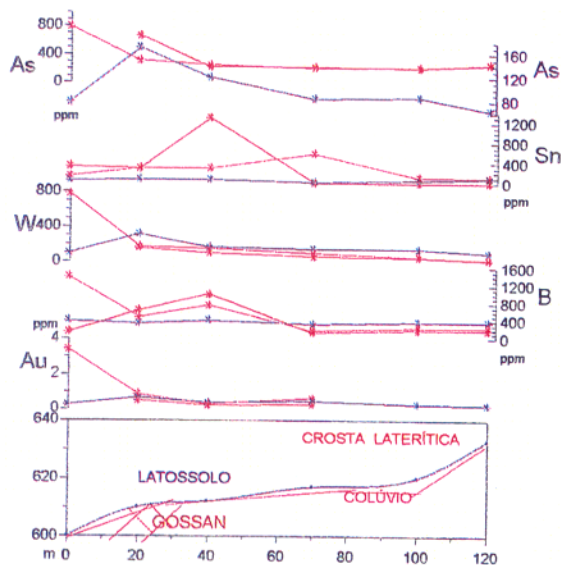
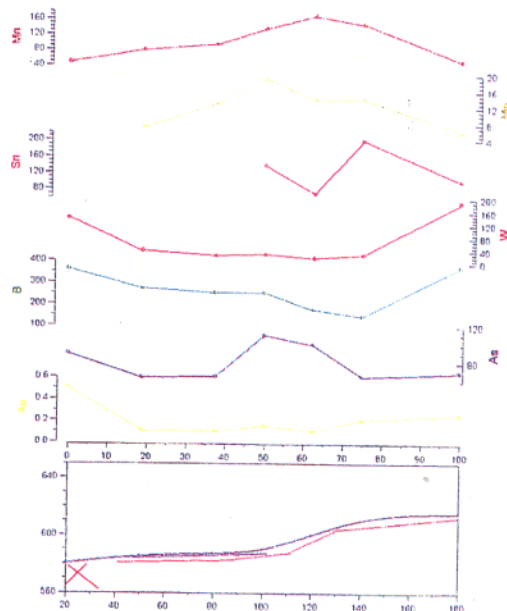


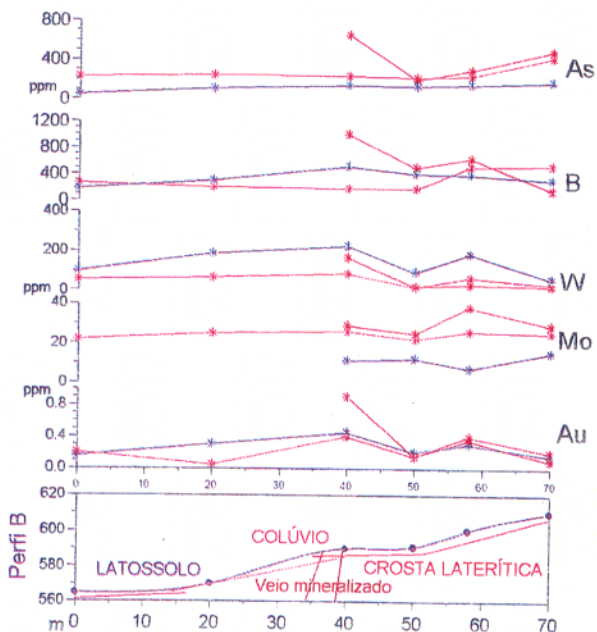
Figura 3.27 - Mapas de isoteor de Mo e Hg no corpo da anomalia Au/As.



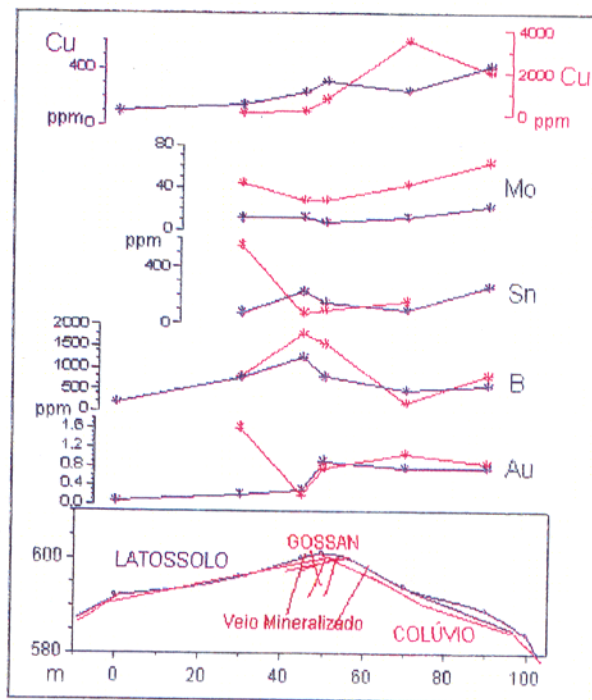
Perfil A-A' sobre a TR-64 até o Furo 17



Perfil B-B' sobre a TR-68 até o topo do plato



Perfil C-C' sobre a TR-35 até o topo do plato



Perfil D-D' sobre o corpo do Furo - 23

Figura - Distribuição do ouro em alguns perfis sobre o corpo de anomalia Au-As e F-23 e outros elementos tradicionalmente associados ao ouro.

O comportamento do Au e outros elementos associados, estão plotados nos quatro perfis realizados (Figura 3.28), sendo três no corpo da anomalia Au/As e um no corpo do F-23, coincidindo com as trincheiras TR-64, TR-68, TR-35 e TR-05 (Figura 1.6 e 1.7)).

O perfil B-B', C-C' e A-A' da Figura 3.28, estão indicados na Figura 1.6. No perfil B-B' o teor de ouro nos três horizontes são bastante semelhantes e possuem o mesmo comportamento do B e W no latossolo e crosta laterítica, e delineiam o corpo mineralizado com seus teores mais elevados. No perfil C-C' o comportamento desses elementos são semelhantes, porém no perfil A-A' a resposta do Au apresenta um deslocamento na isolinha em direção ao declive, mostrando uma dispersão, principalmente nas amostras de colúvio.

Na área do F-23, só foi possível a amostragem de cinco pontos e em cada um deles foi coletado somente amostras de latossolo e colúvio. Os resultados mais expressivos estão plotados no perfil D da Figura 3.28. Os valores a oeste do corpo mineralizado, que coincidem com uma região de maior declive, vegetação mais densa e maior volume de colúvio, refletem teores de Cu e Mo mais altos em relação aos teores obtidos nas amostras de latossolo e colúvio diretamente acima do corpo mineralizado. Quanto ao Au, Sn e B, apresentam comportamento semelhantes e definem, com seus teores mais elevados, a posição do corpo mineralizado.

3.3.5 - Discussão

Assim como foi descrito para a mineralogia, os materiais supergênicos estudados - latossolos, colúvios, crosta laterítica e gossans apresentam uma grande variedade composicional, em termos de elementos maiores e traço.

Com relação os elementos maiores, observa-se que os latossolos e em parte os colúvios, são mais ricos em sílica e mais pobres em ferro. Isso pode ser explicado em parte pela acumulação residual de grãos de quartzo dos sedimentos e das outras encaixantes, como por exemplo os veios de quartzo associados aos gossans mineralizados a ouro. Há que se levar em conta o aporte de sílica nos latossolos, proveniente da degradação da matéria vegetal / orgânica (COSTA, 1991a), o que foi estudado por HORBE (1995) na área Igarapé Bahia, onde esse autor mostra a formação de latossolos a partir do intemperismo de crostas ferruginosas pré-existentes, com correspondente enriquecimento de SiO_2 a partir de crostas lateríticas.

No caso dos latossolo, além da grande quantidade de quartzo, ocorre ainda abundância de caulinita. Em contra partida, os óxidos de ferro, principalmente a hematita, são predominantes nos horizontes litificados (crosta laterítica e gossan), que além da hematita, contém muitas vezes fosfatos, responsáveis pelas concentrações relativamente mais elevadas de fósforo (> 2000 ppm) da amostra ACL-15-G.

O diagrama triangular SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 (Figura 3.29) ilustra perfeitamente os comentários anteriores, além de mostrar que o teor de Al_2O_3 não variam muito nos vários horizontes. Quando se compara esse diagrama com o de SCHELLMANN (1986), verifica-se uma coincidência, principalmente no campo extremo do ferro, onde se localiza a única amostra de gossan, correspondendo a lateritos derivados de metamorfitos básicos e de basaltos; assim como as amostras de latossolo mais ricas em sílica que correspondem ao campo dos lateritos derivados de arenitos. É interessante esta correlação pois corresponde exatamente com as unidades geológicas ocorrentes na área.

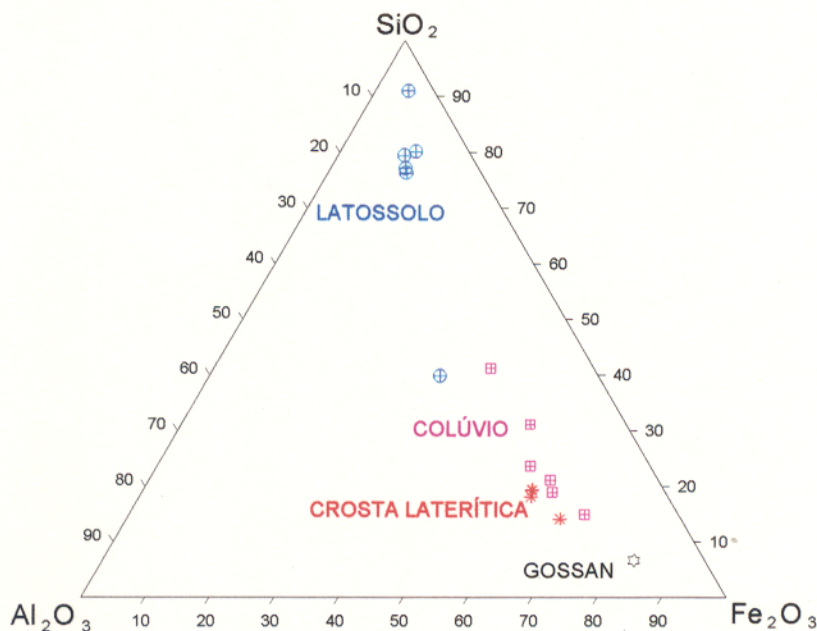


Figura 3.29 - Diagrama Triangular SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 localizando os horizontes amostrados.

Em relação aos elementos-traço, vários pontos podem ser ressaltados: os teores de Cr e Ni, devido a contribuição das rochas básicas ocorrentes na área, apresentam médias relativamente altas em todos os horizontes, sendo que nos gossans os teores chegam a atingir 115ppm e 68 ppm, respectivamente.

O molibdênio apesar de apresentar valores acima da média crustal, principalmente no horizonte ferruginoso, sugerindo a possível associação do Mo aos óxi-hidróxidos de ferro, ou mais especificamente ao plasma hematítico que constitui a matriz dos gossans e crosta laterítica, não chega a ter valores significantes nos latossolos, cuja média de 9 ppm é bem inferior a média de solos de REEDMANN (1979). Isso se deve provavelmente a desintegração desses dois horizontes (colúvios e latossolos) durante sua formação, com o Mo sendo liberado e lixiviado, diminuindo desta forma sua resposta nos latossolos.

No caso do B e W, bastante enriquecidos nos colúvios, apresentam teores elevados nos latossolos, marcando nas curvas de isotores, os corpos mineralizados a ouro. Esse processo de

enriquecimento é exclusivamente físico-residual. Esse processo de acumulação parece não ter ocorrido só no estágio atual de lateritização, pois em algumas lâminas e seções polidas de lateritos é possível verificar a ocorrência de pequenas acumulações de cristais de turmalina, wolframita e outros minerais resistentes.

No caso das associações geoquímicas estudadas, ficam muito bem marcada, para todos os horizontes analisados, a associação Au-As-B-W-Cu, fundamentalmente relacionada aos corpos gossânicos mineralizados a Au, e refletindo a paragênese primária sulfetada descrita por SOARES et al. (1994) e ANGÉLICA (1996).

Outros elementos como Pb, Mn, Sn, Mo, podem ou não fazer parte dessa associação, mas via de regra constituem um segundo grupo, dentro dos dendrogramas da análise de agrupamento em modo-R, que refletem apenas contatos litológicos clássicos (Ni-Cr, Cr-V). No diagrama triangular da Figura 3.30, pode-se através da comparação com os resultados obtidos por TAUFEN & BRENNER (1987), caracterizam esses gossans como no limite entre verdadeiros e falsos e ricos em Cu. Ao mesmo tempo constata-se que crosta, latossolos e colúvios constituem mesmo campo composicional

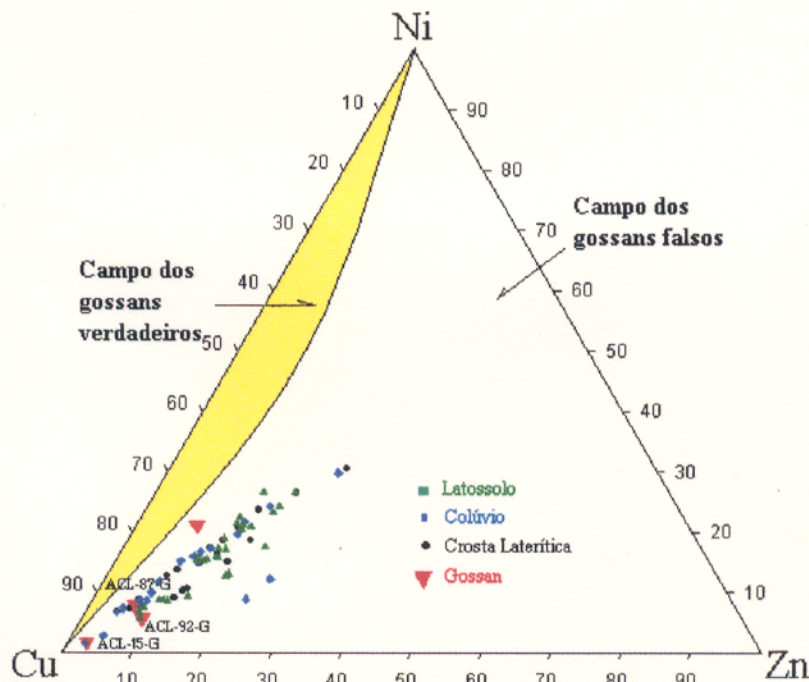


Figura 3.30 - Diagrama triangular Ni-Zn-Cu, segundo TAUFEN & BRENNER (1987).

3.4 - QUÍMICA MINERAL

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises químicas feitas por Microscopia Eletrônica de Varredura - Sistema de Energia Dispersiva (MEV-SED), nos grãos e partículas de ouro, turmalina e alguns outros minerais pesados e insolúveis, além do estudo da morfologia desses grãos e partículas encontrados nas seções polidas de fragmentos da crosta laterítica e gossânica e latossolos. Todas essas análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP.

3.4.1. Ouro

O número de partículas de ouro analisadas e sua proveniência estão resumidos na Tabela 3.13. A sistemática a ser utilizada será a descrição, por horizonte, dos aspectos micromorfológicos e geoquímicos das diferentes partículas observadas.

Tabela 3.13 - Amostras estudadas e os horizontes onde as partículas de ouro foram identificadas e analisadas por MEV-SED.

AMOSTRA	HORIZONTE	OBSERVAÇÕES
ACL-15-G	Gossan	Seções polidas
ACL-42-A	Crosta Laterítica	Seções polidas
ACL-45-S	Latossolos	Grãos extraídos a partir da metodologia descrita no item 1.5.2.1
ACL-82-S	Latossolos	“

Nos latossolos:

Foram identificadas várias partículas em diferentes amostras de latossolos, sendo analisadas apenas das amostras ACL-45 e ACL-82. As partículas apresentam diferentes formas e hábitos e possuem tamanhos variados com contornos irregulares e sub-arredondados. A superfície dessas partículas é normalmente bastante corroída e rugosa, mostrando textura microesponjosa.

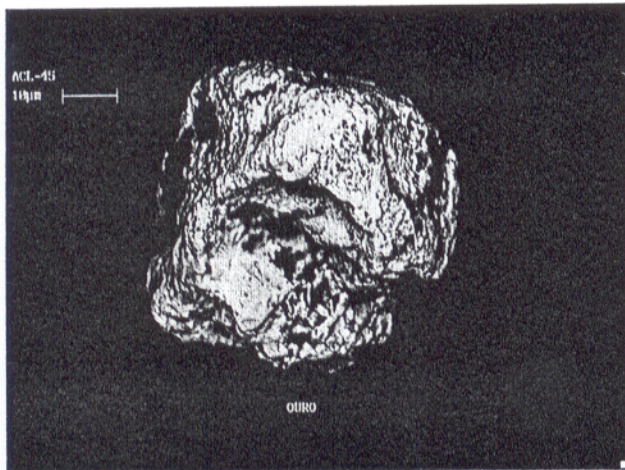
Algumas dessas partículas conservam um aspecto facetado como pode ser observado na Figura 3.31-a. A maior partícula encontrada apresenta comprimento de 200 μm (Figura 3.31-b) e mostra-se bastante corroída, quase individualizando subpartículas. Na Figura 3.31-c, a partícula de ouro apresenta-se arredondada e rugosa, ao lado de um grão de cassiterita bastante corroído, indicando intenso ataque químico e algum arredondamento por transporte.

A composição química desta partícula, apresentada na Figura 3.31a, indica uma *fineness* de 882, para uma F.I. de 1,09. É importante ressaltar que as análises realizadas em todos os grãos, extraídos dos latossolos, foram realizadas em lâminas montadas com auxílio de fita de carbono, portanto, as análises refletem a composição da superfície dos grãos, diferente das análises das partículas dos gossans, que podem mostrar o zoneamento até o núcleo..

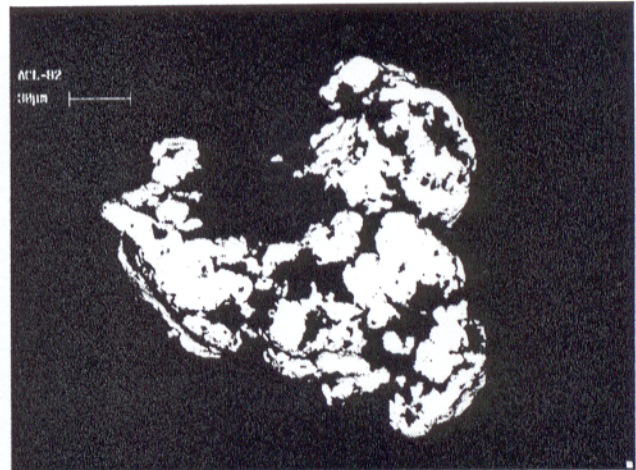
Tabela 3.14 - Composição de algumas partículas de ouro.

Figura	3.31-a	3.31-a	3.31-a	3.31-b	3.31-b	3.31-b	3.31-b	3.31-c
Au	81,99	66,10	65,70	83,60	84,07	83,31	83,59	88,20
Ag	18,04	39,90	34,30	10,30	15,31	16,69	16,41	11,80
Fe	--	--	--	3,57	0,62	---	---	--
<i>f</i>	819	660	657	890	846	833	835	882
F.I	1,30	2,39	2,41	1,09	2,15	1,84	1,89	1,09

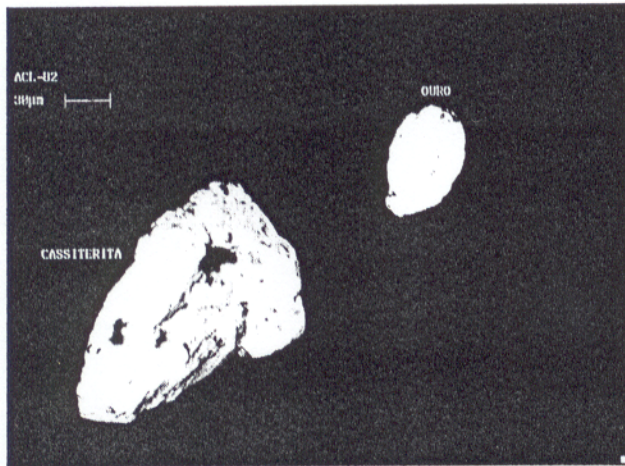
A partícula de ouro da Figura 3.31-a, mostra superfície bastante corroída, microesponjosa. Apresenta arestas polidas e contornos arredondados e desgastados indicando provável retrabalhamento físico por rolamento, sendo difícil inferir formato original. A composição química desta partícula apresentou *fineness* muito baixo ($f = 660$) para um Fit Index de 2,39. Esses valores são muito próximos aos encontrados por ANGÉLICA (1996) nas partículas de ouro inclusos na pirita e calcopirita ou no contato entre esses minerais, na zona de sulfeto primário de Águas Claras.



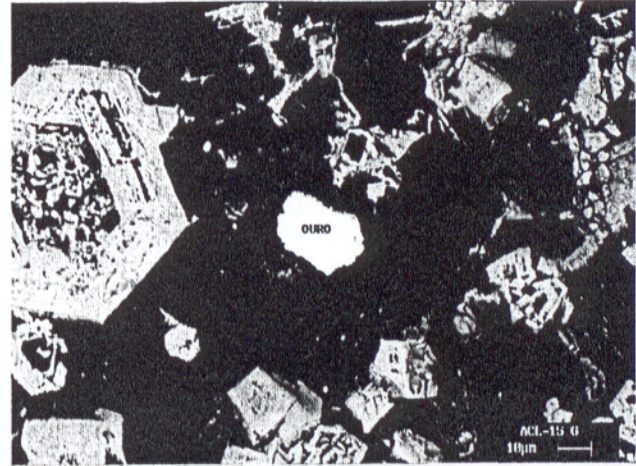
a) Partícula de Au encontrado no latossolo



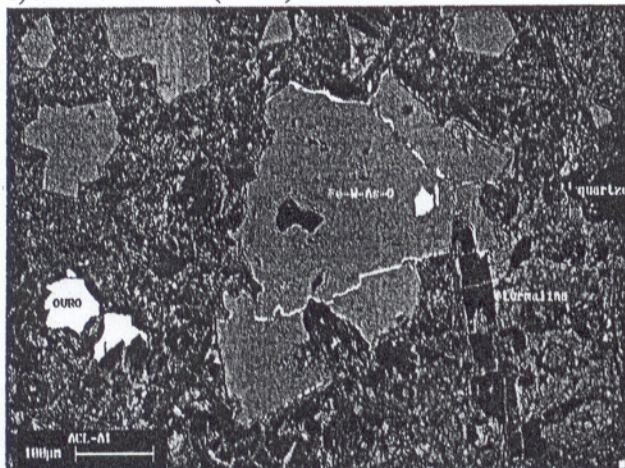
b) Partícula de Au do latossolo bastante corroída.



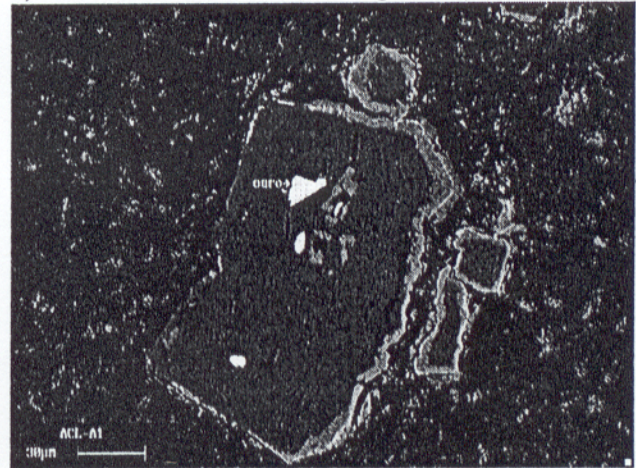
c) Au e Cassiterita (maior) encontrados no latossolo



d) Partícula de Au encontrada no gossan.



e) Partícula de Au da porção junto ao contato veio de quartzo - encaixante, lateritizado.



f) Partícula de Au incluso no grão de hematita

Figura 3.31 - Micrografias de partículas de Au do Águas Claras, obtidas através de MEV.

A ocorrência de partículas ricas em prata, nos latossolos, indica que nesses materiais ocorrem, também, partículas de ouro primário, residual e preservada provavelmente pela matriz hematítica dos gossans, onde foram descritas e analisadas a maioria das partículas ricas em prata.

Crosta Laterítica e Gossan:

Na Figura 3.31-d, a partícula de ouro está inclusa numa matriz hematítica-goethítica argilosa de uma amostra de gossan, apresentando 18 μm de maior comprimento, contorno sub-arredondado com bordas serrilhadas. Os resultados das análises nesta partícula não alcançaram fit index razoável (F.I. > 5,00), sendo considerada como análise semi-quantitativa.

A maior partícula de ouro, com quase 100 μm de maior comprimento foi encontrada na crosta laterítica desenvolvida sobre o contato entre arenito e veio de quartzo, e pode ser visualizado na Figura 3.31-e. O ouro ocorre associado ao grão de wolframita, tanto incluso como preenchendo fraturas. As análises realizadas por MEV-SED estão representadas na Tabela 3.15, onde verifica-se que a *fineness* da partícula maior é de 882. O ouro preenchendo a fratura do grão de wolframita apresenta *fineness* em torno de 760. Quanto a partícula inclusa nesse mesmo grão, a *fineness* cai para algo em torno de 630. Essa diminuição progressiva na *fineness* do ouro, em direção ao núcleo do grão de wolframita, sugere estágios de mobilização e precipitação do ouro diferenciados.

Tabela 3.15 - Resultado das análises por MEV-SED das partículas da Figura 3.31-e.

	Au (partícula maior)		Au (fratura)		Au incluso	
Au	72.104	70.173	75.632	76.538	64.622	62.59
Ag	9.663	9.359	24.582	23.612	20.197	19.184
Fe	3.237	3.933	--	--	--	--
O	14.996	16.536	--	--	--	--
<i>f</i>	881	882	756	765	646	625
FI	3.54	3.04	1.35	0.94	0.93	0.87

F.I - Fit index

Na Figura 3.31-f, a partícula está inclusa num fragmento hematítico da crosta ferruginosa, localizado junto ao contato arenito/veio de quartzo/gossan, do corpo mineralizado da TR-64. Essa hematita, envolta por uma matriz hematítica-goethítica argilosa, parece ser o que foi descrito por ANGÉLICA (1996) como crosta com fragmentos de gossans, e pode justificar a presença de ouro com alta “*fineness*” no latossolo, já que na fragmentação dessa crosta esses núcleos hematíticos mais resistentes impedem que soluções ácidas solubilizem essas partículas de ouro.

3.4.2. Turmalina

A turmalina é o mineral pesado mais freqüente nas amostra analisadas, acumulando-se residualmente nos horizontes superiores do perfil (colúvio e latossolo), como resultado da destruição dos gossans, crosta laterítica, paredes dos veios mineralizados, além de porções dos metarenitos da encaixante, que apresentam agregados milimétricos a centimétricos desse mineral intercalados nos planos de estratificação. É praticamente o único mineral de boro encontrado na área. A grande abundância deste mineral e sua freqüente associação com ouro, motivou a realização de um estudo mais detalhado das características mineralógicas destas turmalinas, usando a DRX e MEV-SED.

A turmalina possui, via de regra, coloração escura, variando de negra a verde escuro. É geralmente encontrada no latossolo, matriz do colúvio, além da crosta laterítica e gossan, na forma de cristais prismáticos euédricos a subédricos, com tamanho variando entre 0,1 a 1 mm (Figura 3.32). Ao microscópio ótico, as turmalinas encontradas na rocha encaixante e veios mineralizados, apresentam-se formando mosaico microgranoblástico com o quartzo (Figura 3.33), na forma de cristais prismáticos e localmente aciculares radiais (Figura 3.34), sugerindo uma cristalblastese, com diminutos cristais de quartzo penetrando a turmalina, muitas vezes constituindo seus próprios núcleos. Esta relação resulta em uma extrema fragilidade para a turmalina, facilitando a destruição mecânica de seus cristais, pela dissolução do quartzo.

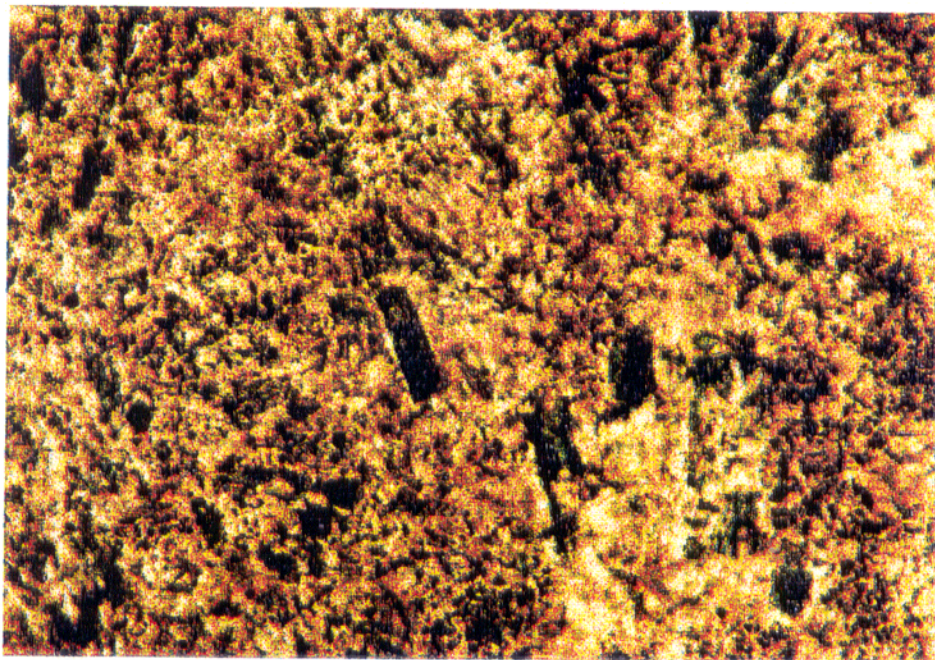


Figura 3.32 - Massa de turmalina e quartzo, com a formação de cristais subédricos a euédricos.

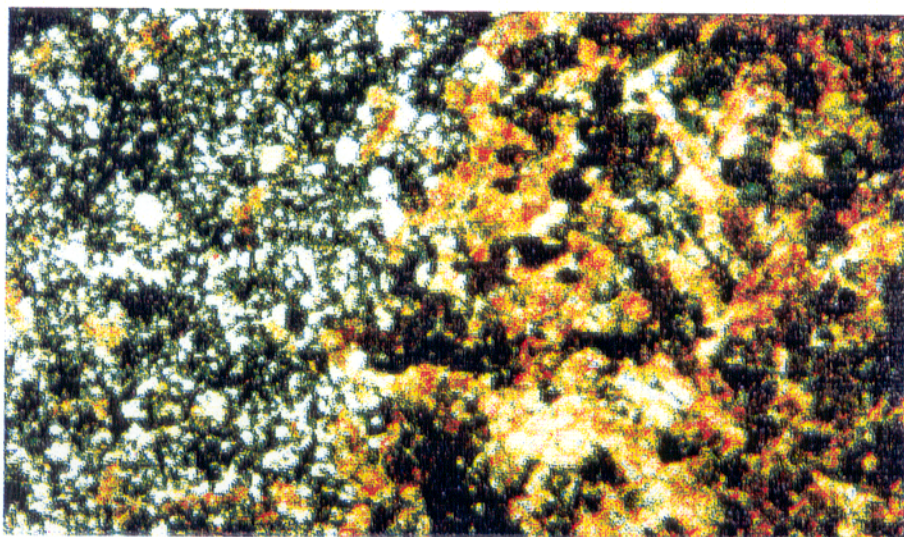


Figura 3.33 - Fotomicrografia mostrando o mosaico formado pela turmalina e quartzo na porção inalterada do veio mineralizado turmalínifero.

A estrutura radial desenvolvida pode ser observada ao microscópico ótico, onde na Figura 3.34 os cristais de turmalina apresentam forte zoneamento, caracterizado por zonas concêntricas de cores diferentes. Esse tipo de turmalina foi encontrado principalmente na zona de contato entre o metarenito e os veios de quartzo.

de cores diferentes. Esse tipo de turmalina foi encontrado principalmente na zona de contato entre o metarenito e os veios de quartzo.

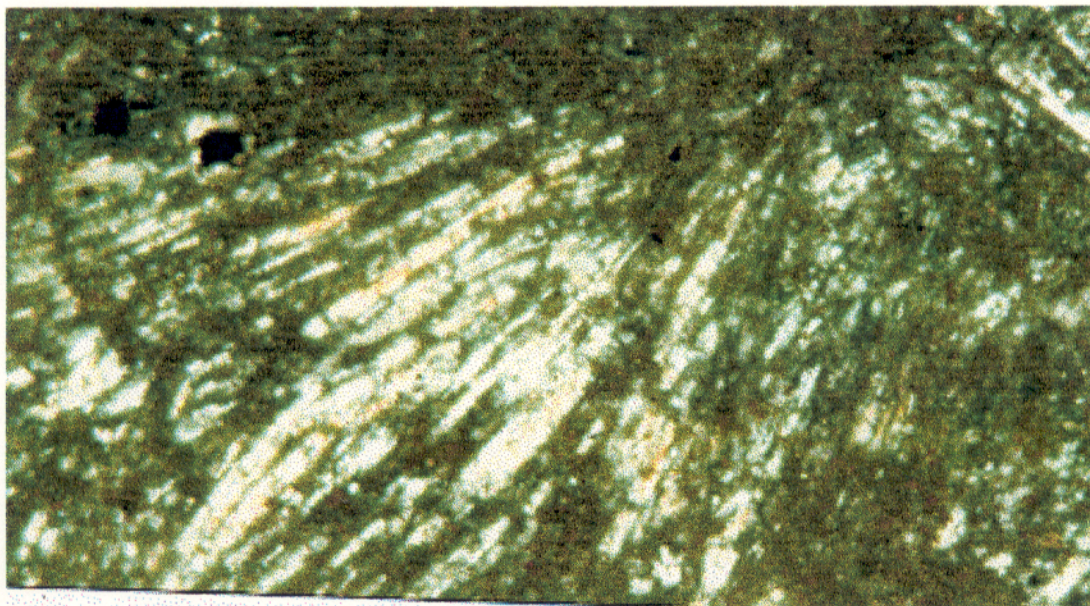


Figura 3.34 - Fotomicrografia mostrando a estrutura radial desenvolvida na turmalina da zona de contato entre os metarenitos e os veios de quartzo.

Imagens de MEV-SED estão mostradas nas Figuras 3.35 e 3.36, de grãos isolados, extraídos de amostras de latossolo e colúvio, sendo possível verificar as dimensões dos maiores cristais observados, que atingem 0,03 mm de diâmetro e 0,1 mm de comprimento. No detalhe da Figura 3.37 é mostrado o intercrescimento de cristais, sendo interessante notar que o núcleo do cristal intercrescido encontra-se vazio e a superfície do cristal hospedeiro próximo a ele está fortemente cominuída.

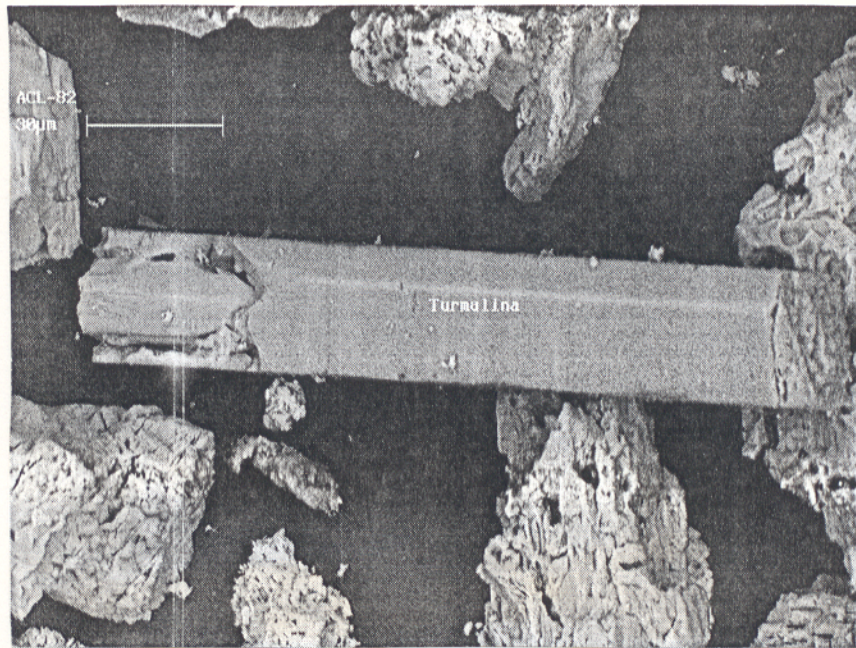


Figura 3.35 - Cristal euédricos concêntricos de turmalina.

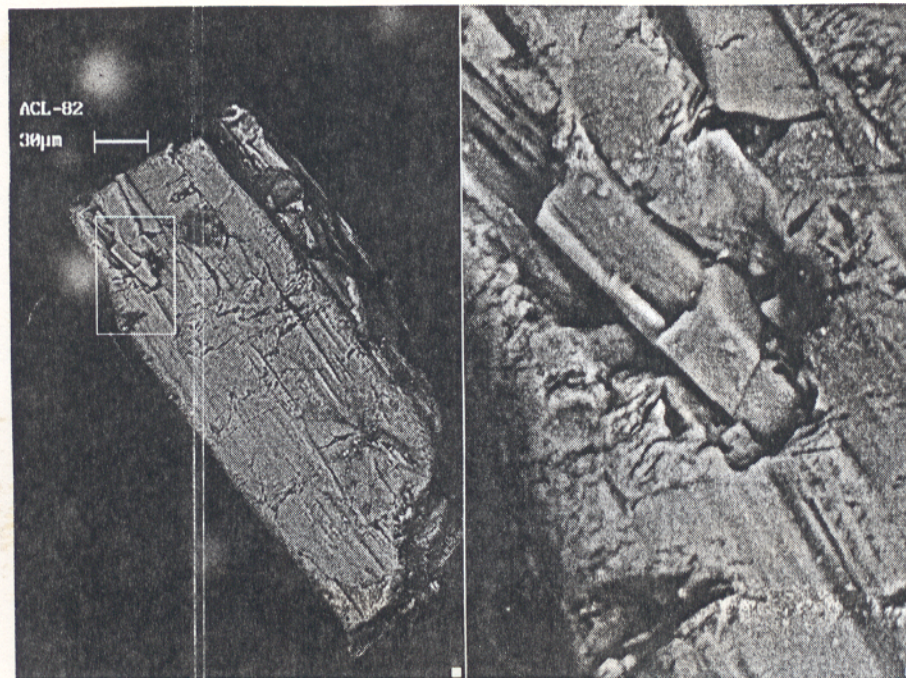


Figura 3.36 - Cristal de turmalina euédrico com microcristal intercrescido, cujo núcleo encontra-se ausente, provavelmente dissolvido.

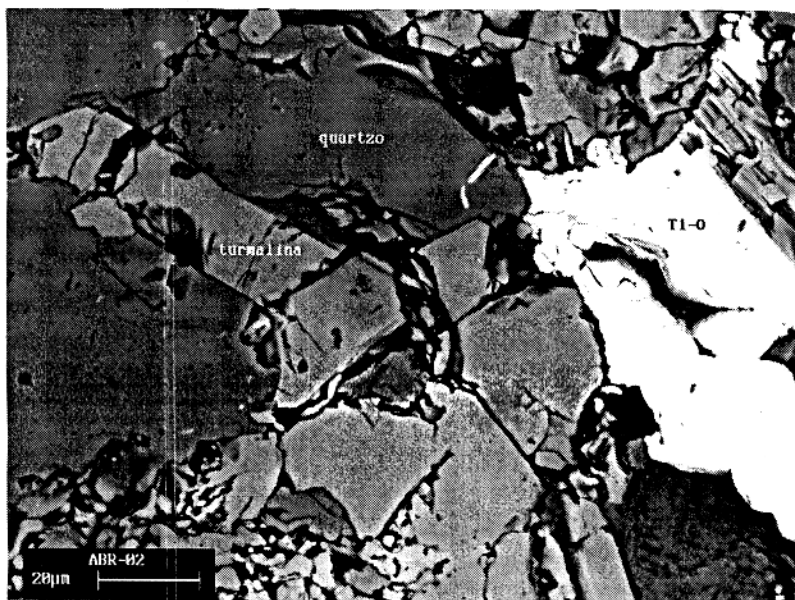


Figura 3.37 - Detalhe do mosaico formado entre o quartzo e a turmalina, em porções dos veios de quartzo e encaixante.

Os parâmetros da cela unitária da turmalina da área Águas Claras foram calculadas a partir das análises de DRX com programa baseado no método dos mínimos-quadrados, cujo espectro está representado na Figura 3.38, dando como resultado $a = 16.20$ e $c = 7.47$. Os parâmetros da cela unitária das turmalinas plotados no gráfico de EPPRECHT (1953), sugerem composição ao longo da série de solução sólida schorlita-dravita com uma forte tendência para variedades muito ricas em ferro (Figura 3.39), indicando que trata-se de ferridravita, semelhante as descritas por TOMISAKA (1968) e WALENTA & DUNN (1979).

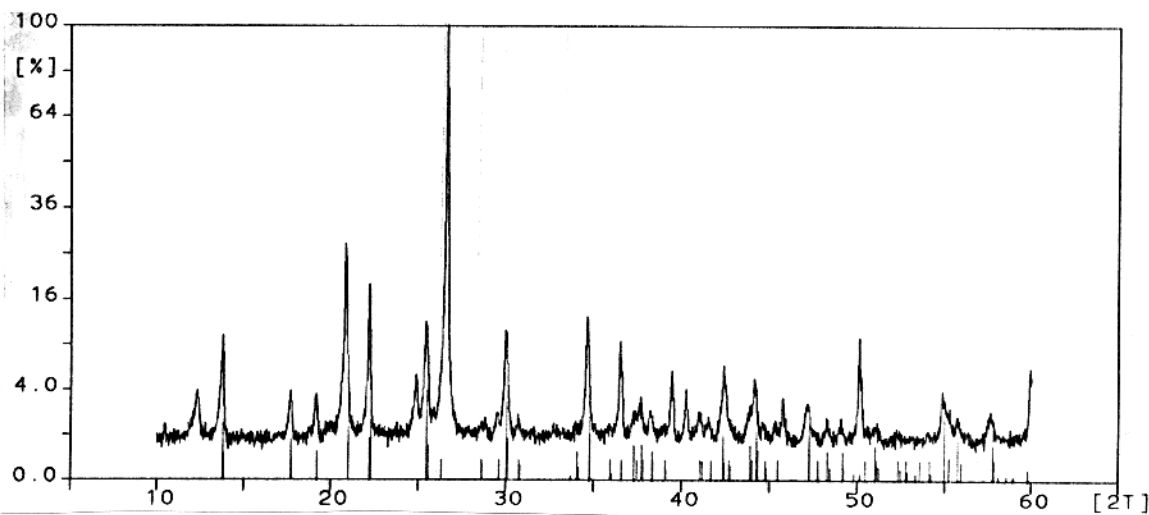


Figura 3.38 - Padrão difratométrico das turmalinas do Alvo Águas Claras.

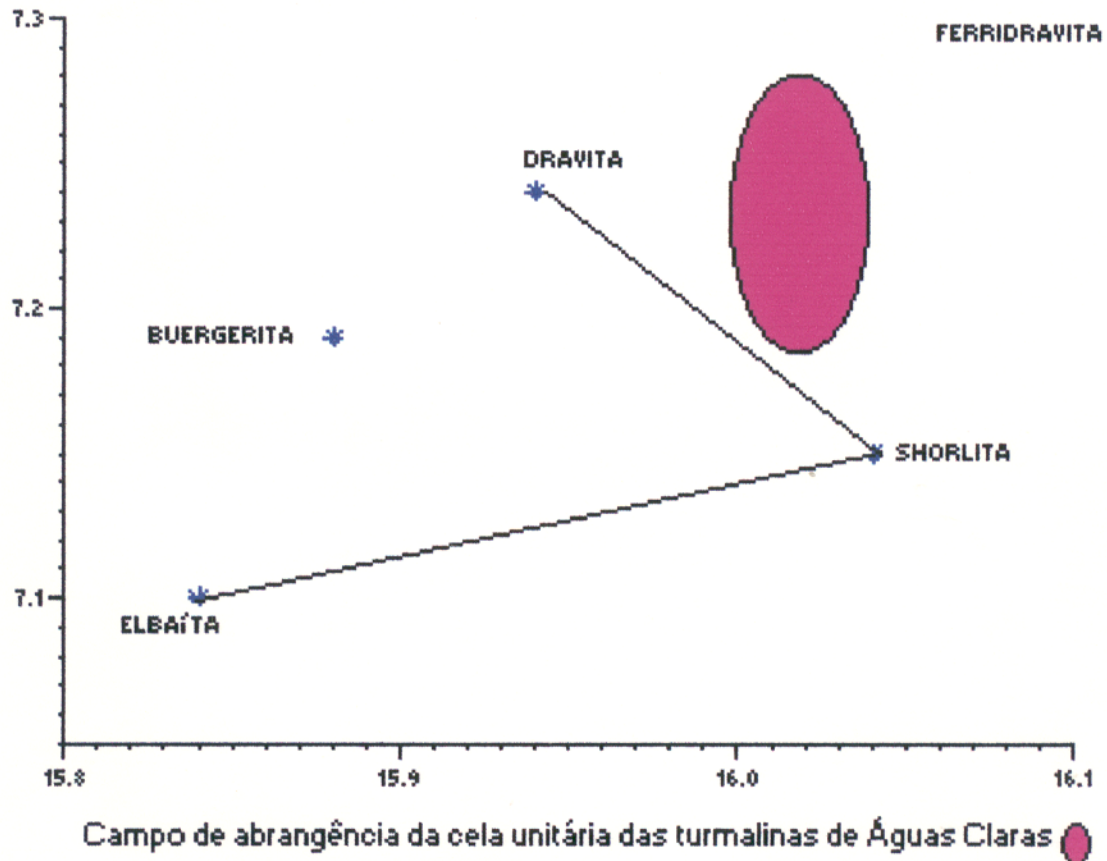


Figura 3.39 - Localização da turmalina do Águas Claras, segundo o campo composicional elaborado por EPPRECHT (1953).

Nas Tabelas 3.16 e 3.17 estão apresentados os dados da análise químicas de alguns cristais de turmalina. Esses dados estão representados na forma de elementos e transformados em óxido. Não foi possível a determinação dos teores de boro, pois o equipamento não estava calibrado para análise deste elemento leve. Assim que, para o cálculo da fórmula estrutural destas turmalinas, adotou-se os valores de boro obtidos por TOMISAKA (1968), devido a aproximação composicional determinada pelos parâmetros da cela unitária. Na Tabela 3.17, tem-se as análises semi-quantitativas dos grãos encontrados no latossolo.

Tabela 3.16 - Composição química da turmalina da Figura 3.36, por MEV-EDS.

	Cristal hospedeiro		Criptocristal	
	borda inferior	borda superior	borda	núcleo
F.I.	4,80	5,03	4,23	2,73
O	61,64	61,27	60,94	61,24
Si	13,76	13,75	13,84	14,13
Al	15,30	15,28	14,78	14,24
Na	1,61	1,86	1,76	1,84
Mg	2,43	2,42	2,26	2,46
Fe	5,12	5,12	5,77	5,35
Ca	0,11	0,17	0,17	0,24
Ti	0,03	0,13	0,48	0,50
Total	100	100	100	100
SiO ₂	29,46	29,41	29,56	30,19
Al ₂ O ₃	28,93	28,88	27,92	26,92
Na ₂ O	2,16	2,51	2,38	2,49
MgO	4,00	4,02	3,77	4,10
Fe ₂ O ₃	7,08	7,07	7,98	7,40
CaO	0,16	0,24	0,25	0,34
TiO ₂	0,06	0,23	0,80	0,84
Total	71,85	72,36	72,66	72,28

Tabela 3.17 - Composição química da turmalina do Alvo Águas Claras, por MEV-EDS.

F.I.	1.89	4.52	2.07	4.0	1.21	4.52	2.68	2.39	2.64	Média
O	63,68	62,84	64,12	58,67	62,16	58,20	59,46	60,72	61,51	61,26
Si	13,93	14,03	13,65	13,36	14,43	13,38	12,39	12,40	13,16	13,52
Al	14,58	14,42	14,39	13,42	14,49	13,80	13,04	12,88	13,29	13,81
Na	1,71	1,93	1,62	1,08	1,92	0,94	1,92	1,83	1,73	1,63
Mg	2,17	2,32	2,14	0,84	2,46	0,81	1,09	1,04	0,91	1,53
Fe	3,79	4,24	3,95	12,63	4,31	12,87	11,04	9,90	7,92	7,85
Ca	0,06	0,06	0,03	--	--	--	--	--	--	0,02
Ti	0,08	0,16	0,09	--	0,16	--	1,05	1,13	1,43	0,45
Total em elemt	100	100	99,99	100	99,93	100	99,99	99,90	99,95	100,07
SiO ₂	29,78	29,96	29,21	28,58	30,84	28,62	26,51	26,54	28,15	28,69
Al ₂ O ₃	27,54	27,46	27,20	25,36	27,39	26,08	24,64	24,35	25,12	26,13
Na ₂ O	2,31	2,61	2,19	1,45	2,60	1,27	2,60	2,48	2,34	2,20
MgO	3,61	3,86	3,56	1,40	4,10	1,35	1,82	1,73	1,51	2,54
Fe ₂ O ₃	5,24	5,86	5,46	17,46	5,96	17,79	15,26	13,68	10,95	10,85
CaO	0,09	0,09	0,04	-	-	-	-	-	-	0,02
TiO ₂	0,14	0,27	0,15	-	0,27	-	1,76	1,89	2,39	0,76
Total em oxido	68,71	70,11	67,81	74,25	71,16	75,11	72,59	70,67	70,46	71,19

Os resultados apresentados nas Tabelas 3.16 e 3.17 mostram que os teores de Al, Na, Ca, e Ti estão dentro do campo normal de composição da série shorlita-dravita, enquanto que os teores de Si estão um pouco abaixo da média dos valores encontrados na literatura e o Fe encontra-se muito acima, assemelhando-se as encontradas por DONNAY et al. (1966) relacionadas com depósitos de ouro.

3.4.3 -Outros minerais.

Hematita

A hematita é um dos minerais mais abundantes, em todos os horizontes estudados, como descrito no item 3.2. Ocorre sob os mais diferentes hábitos e texturas, mas principalmente de forma friável, pulverulenta, terrosa e compacta, com coloração variando de vermelho vivo nas amostras terrosas e pulverulentas até cinza escuro nas amostras compactas. É possível identificar relictos de cristais euédricos hexagonais, nas seções polidas das amostras de gossans. A Figura 3.40, apresenta um cristal de hematita bem preservado, com aproximadamente 80 μm de comprimento. Apesar de parcialmente destruído, com sua superfície apresentando feições de dissolução, é possível observar planos de partição romboédrica. Cristais bem formados não são comuns, ocorrendo basicamente nos gossans e raramente na crosta laterítica.

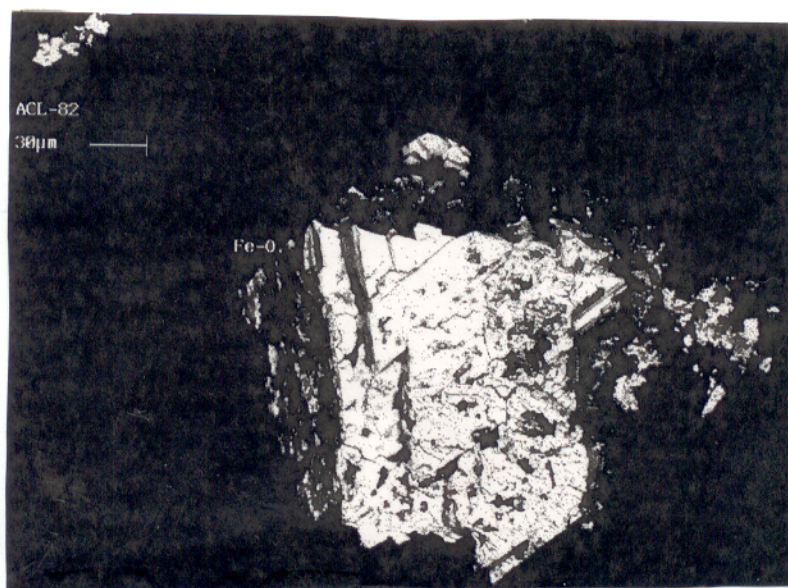


Figura 3.40 - Microcristal de hematita, encontrado em fragmentos de gossan no latossolo.

Goethita

A goethita ocorre frequentemente como córtex marrom claro, maciço, envolvendo a hematita. É encontrada preenchendo vênulas e microfraturas e/ou microveios de minerais como a hematita e fosfato. Na Figura 3.41 é possível observar o hábito fibroradial e microbotrioidal que preenche vazios nos gossans e crosta laterítica, estando normalmente associada com a caolinita.

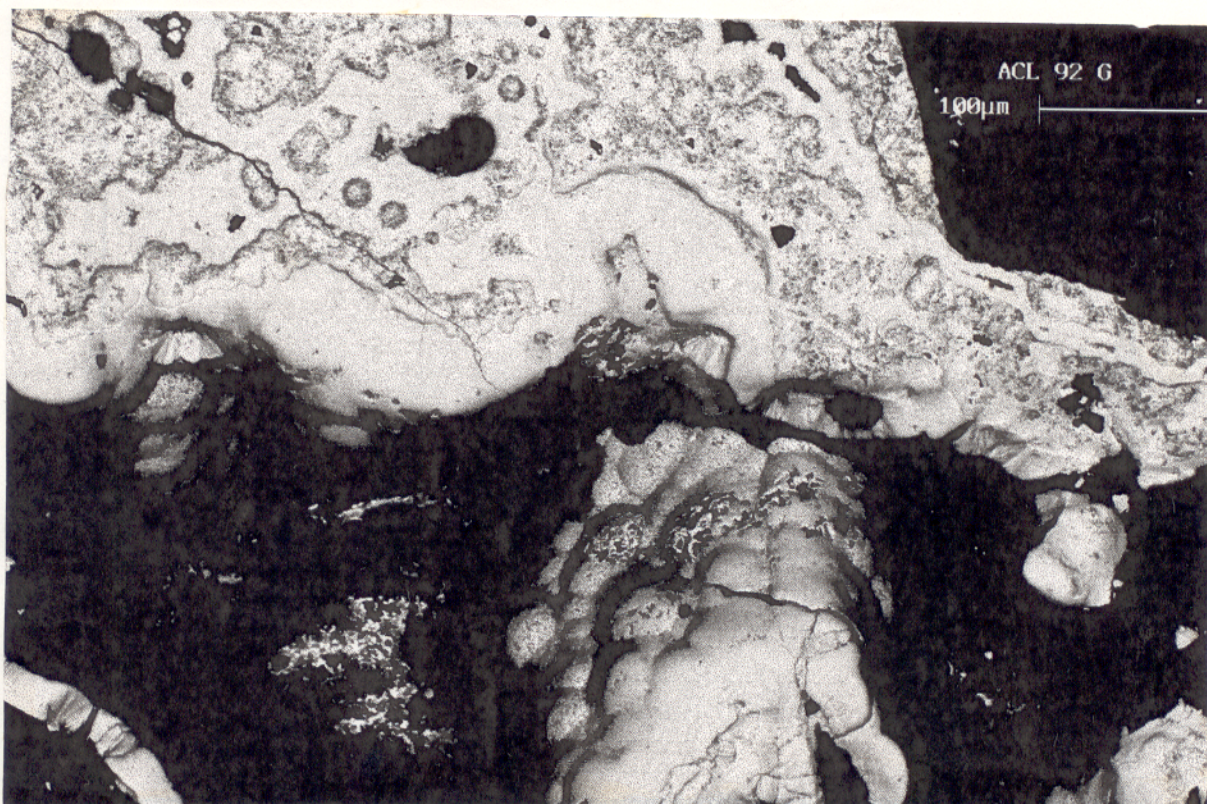


Figura 3.41 - Aspecto da goethita botrioidal, nas cavidades do gossan, associada a caolinita..

Pirrotita

O grão de pirrotita, analisado no microscópio eletrônico, foi encontrado também em amostras de latossolo, e está apresentado na Figura 3.42. O grão apresenta superfície polida, e quando observado ao microscópio com luz refletida, possui forte brilho metálico. Isso mostra que mesmo nos latossolos onde é inviável a ocorrência de sulfetos, certamente ocorrem por encapsulamento pelos minerais residuais de ferro.

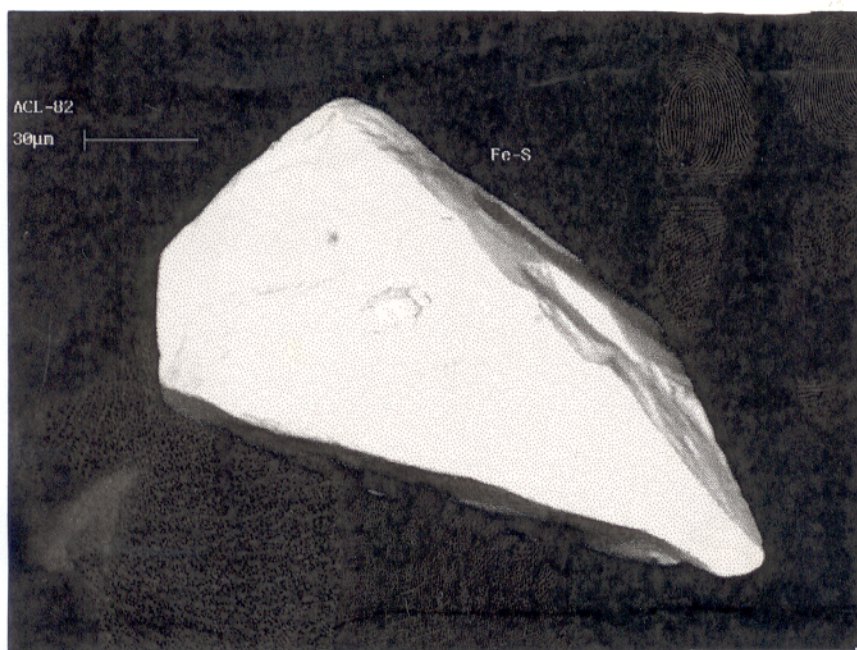


Figura 3.42 - Cristal de pirrotita encontrado no latossolo do Águas Claras.

Wolframita

A wolframita é um mineral acessório bastante comum nos gossans mineralizados a Au da área Águas Claras. Esse mineral foi descrito inicialmente pelos geólogos da DOCEGEO, durante os trabalhos de campo, em função da sua forma de ocorrência, na forma de acumulações maciças centimétricas, associados aos materiais ferruginosos ou veios de quartzo. Foi posteriormente estudada em detalhe por ANGÉLICA et al. (1995), sendo caracterizada como membro ferberita de composição $(\text{Fe}_{0,96}\text{Mn}_{0,04})\text{WO}_4$.

A Figura 3.43 mostra um cristal de wolframita na crosta laterítica em adiantado processo de desagregação e infiltração química, caracterizado, principalmente, pela infiltração de um plasma goethítico em seus planos de clivagem e em fraturas e desgaste quase que total das bordas/faces do cristal.

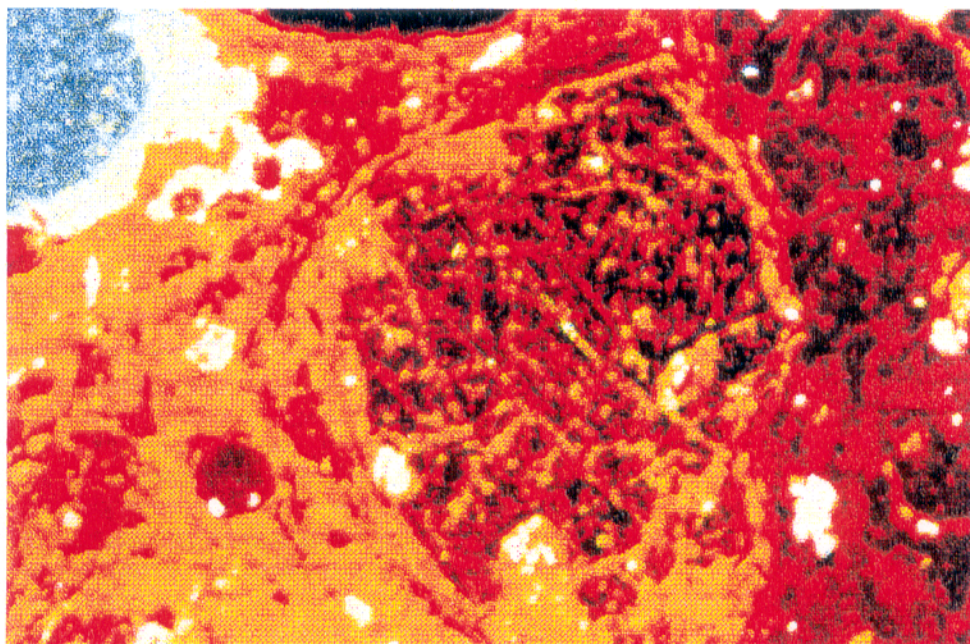
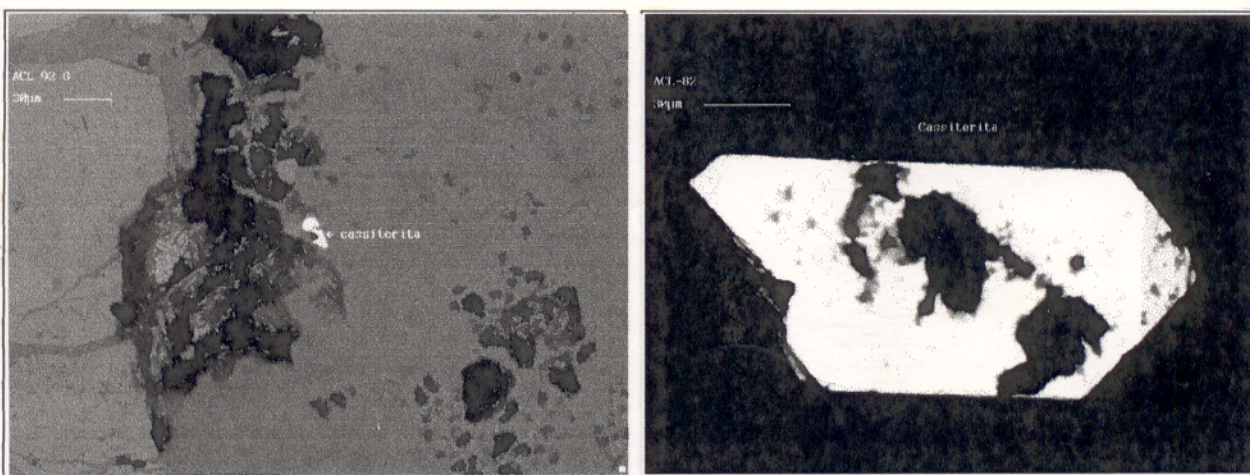


Figura 3.43 - Grão de wolframita parcialmente destruído, envolto a um plasma hematítico-goethítico.

Cassiterita

A cassiterita ocorre disseminada na matriz hematítica dos gossans e menos freqüente na crosta laterítica, entretanto pode ocorrer tanto no colúvio quanto no latossolo. Na Figura 3.44, tem-se um cristal de cassiterita incluso no plasma hematítico do gossan, onde o teor de FeO foi o mais alto encontrado, e um cristal bem formado, encontrado no latossolo, na amostra ACL-82-S.



a) Fotomicrografia MEV-EDS, eletro retro-espalhado
 b). Fotomicrografia MEV-EDS, eletro retro-espalhado

Figura 3.44 - a) Cristal de cassiterita na matriz hematítica de gossan

b) Cristal bem formado encontrado no latossolo

Fosfatos de Terras-raras

Os fosfatos foram encontrados nas amostras de gossans, apresentando em sua composição teores à níveis de % de elementos terras-raras. Em ANGÉLICA (1996) também é citada a ocorrência de fosfatos na área Igarapé Bahia, definidos como woodhouseita - $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ (ASTM 7-0469 e 37-469). Estudos posteriores realizados nesses fosfatos (M.L.da Costa, informação verbal) mostraram tratar-se de uma La-Nd-Florencita, que aparecem comumente associados aos gossans, na forma de bolsões misturas, em diferentes partes da frente de lavra da Mina Igarapé Bahia. A Tabela 3.18 representa os valores encontrados nas análises por MEV-SED dos fosfatos da Figura 3.45.

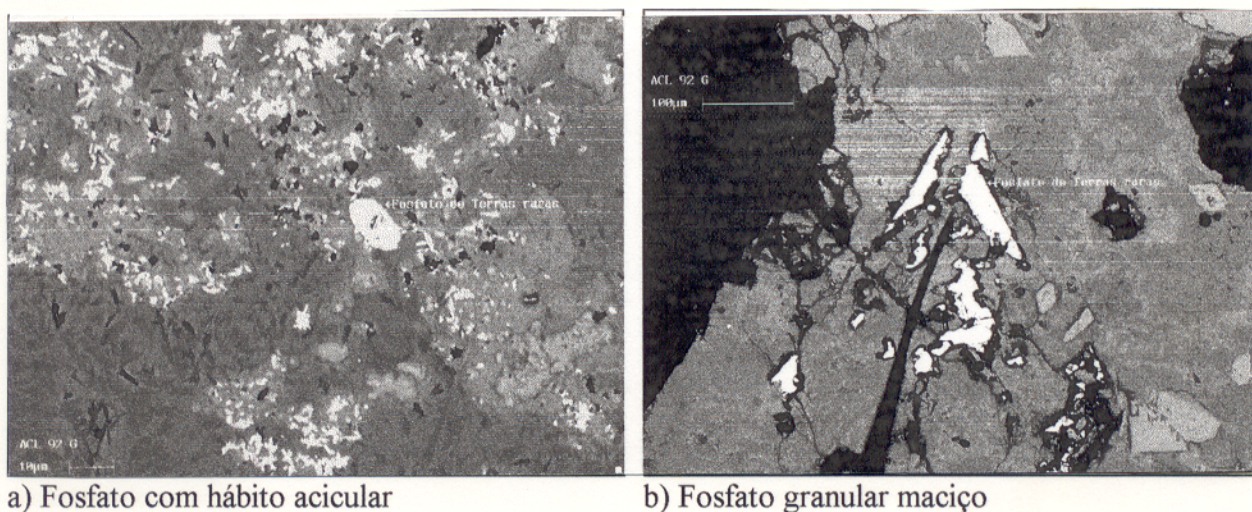


Figura 3.45 - Micrografia por MEV-SED de fosfato encontrado nos gossans do Águas Claras.

Tabela 3.18 - Resultado das análises por MEV-SED dos fosfatos da Figura 3.45.

a)		b)	
P	55,6	P	56,8
Ce	25,0	Dy	4,4
La	12,3	Y	34,8
Nd	6,9	Tb	3,8

3.4.4. DISCUSSÃO

Os resultados das análises de ouro das partículas do latossolo, mostram uma variação relativamente grande na razão Au/Ag, onde a *fineness* varia de 890 a 650. Em termos de morfologia, observa-se, também, uma grande variação, que pode ser enquadrada, dentro do modelo evolutivo da área, proposto por ANGÉLICA (1996), como resultado de remobilizações e reprecipitações durante as fases de gossanização e lateritização que a área sofreu.

Em relação a questão da mobilização do ouro no ambiente supergênico e os mecanismos de solubilização/reprecipitação, inúmeros trabalhos tem sido realizados nas últimas décadas, inclusive no Brasil (RAO, 1987; PORTO, 1991; ANDRADE et al., 1991; CARVALHO, 1992;

COSTA, 1993) com destaque para aqueles conduzidos nos terrenos lateríticos da Austrália e África Ocidental (BAKER, 1978; BENEDETTI & BOULÈGUE, 1991; BOWELL et al., 1993). Na área Águas Claras, estudos desta natureza foi realizado por ANGÉLICA (1996), inclusive com dados das partículas de Au associados a zonas de sulfetos primários.

Apesar do pequeno número de análises aqui realizadas, algumas principais conclusões podem ser levantadas:

A grande variação morfológica-composicional das partículas estudadas poderia ser explicada de duas formas:

1. A presença de grãos de ouro residuais com diferentes teores de prata na liga primária original, como mostrado por ANGÉLICA (1996) na Tabela abaixo.

Tabela 3.19 - *Fineness* e tamanho das partículas de ouro inclusas em diferentes sulfetos, segundo ANGÉLICA (1996).

Au incluído na:	<i>fineness</i>	Tamanho das Partículas
pirita-calcopirita	615-641	
arsenopirita	921-923	↓
cobaltita	989-992	

2. Grãos de elevada *fineness* (baixo teor de Ag) seriam secundários, neoformados e em geral de granulometria menor.

Em relação as turmalinas, SILVA (1991) realiza uma avaliação preliminar das ocorrências de camadas turmalíferas do Arqueano e Proterozóico brasileiro e sua importância na determinação de depósitos de ouro, porém, os trabalhos analisados foram desenvolvidos nas

regiões Sul, Sudeste, Centro Oeste. Na região Norte, COSTA & ARAÚJO (1995) descrevem um exemplo em contexto de terrenos lateríticos. EITHIER & CAMPBELL (1977), SLACK et al. (1993), LUBIS et al. (1994), são alguns exemplos da literatura internacional que mostram a turmalina como um importante guia na pesquisa dos gossans, já que estão freqüentemente associados ao ouro em depósitos primários de tipo veios de quartzo hidrotermais com sulfetos. Na Amazônia tem-se conhecimento de vários exemplos da mineralização de ouro associada a grandes quantidades de turmalinas, entretanto estas informações estão somente nos relatórios internos das companhias de mineração que atuam na região. O mais importante trabalho realizado na região Norte e o exemplo de ouro associado a veios ricos em dravita, em crostas lateríticas, descrito em COSTA & ARAÚJO (1996), na área da Serra do Pirocaua, no Maranhão.

Assim como a ferberita, descrita por ANGÉLICA (1996) como guia da mineralização aurífera na área Águas Claras, a turmalina apresenta-se também importante na prospecção desses gossans, tradicionalmente associados com ouro de depósitos primários do tipo veio de quartzo hidrotermais com sulfetos. Um importante exemplo, em ambiente semelhante ao Águas Claras, é a ocorrência clássica do depósito de Loulo, na África, descritos por ZEEGERS & LECOMTE (1992), onde ressaltam ainda a importância da grande dispersão mecânica da turmalina, que possibilita a utilização de malhas de amostragem de solo bastante abertas, na escala regional de 1600 x 500 m, conseguindo delimitar corpos de possança métrica, através de anomalias geoquímicas de boro e ouro.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitem tecer as seguintes conclusões:

Os principais materiais superficiais do alvo Águas Claras, são: gossans, crostas ferruginosas lateríticas, colúvios e latossolos. Eles se sobrepõem a um relevo complexo, com platôs, vales profundos e ingremes.

Os **gossans** estão mineralizados em ouro, principais objetos da exploração mineral na área Águas Claras. São produtos da oxidação de veios ou zonas de quartzo primários, sulfetados, alcançados apenas em profundidade, através de sondagens. Em geral são sub-aflorentes, ocasionalmente recobertos por colúvios e/ou latossolos. As **crostas ferruginosas lateríticas** estão representadas na área por um pequeno platô, além de blocos desmantelados, prováveis remanescentes de uma superfície maior de lateritização, correlacionada ao horizonte ferruginoso dos lateritos maduros de COSTA (1991b), do Terciário Inferior. Essas crostas apresentam evidências de campo e texturais de terem se desenvolvidos posteriormente e envolvendo os gossans. **Colúvios e latossolos** apresentam composição bastante heterogênea, fruto do desmantelamento das crostas lateríticas e gossans..

A prospecção geoquímica em uma área desta natureza, em termos de material de amostragem aflorante, se depara com uma grande variedade dos materiais supergênicos descritos, com conseqüente mistura das assinaturas mineralógicas e geoquímicas. Essa heterogeneidade é função, principalmente, da superposição de eventos supergênicos — formação/destruição de produtos intempéricos — em diferentes ciclos, quando os processos de lateritização do Terciário Inferior atingiram gossans pré-existentes, que por sua vez sofreram intemperismo para gerar colúvios e latossolos (COSTA, 1991b; HORBE, 1995; ANGÉLICA, 1996).

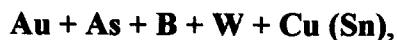
A assembléia mineralógica é constituída de poucas fases supergênicas, que apresentam uma grande variação entre os vários materiais analisados e até dentro em diferentes amostras de um mesmo horizonte. A hematita é o mineral predominante na maioria das amostras estudadas. Os gossans são, via de regra, mais hematíticos, enquanto as crostas lateríticas, que podem conter

fragmentos de gossans, são em geral mais ricas em goethita e Al-goethita. O quartzo e a caulinita ocorrem com grande abundância, principalmente nos latossolos e colúvios. Gibbsita e muscovita ocorrem com frequência na maioria das amostras analisadas, enquanto que a magnetita e maghemita ocorrem, em menores proporções, quase que exclusivamente nos gossans. Contém entretanto minerais não convencionais com a turmalina (dravita), a wolframita e a cassiterita são acessórios importantes encontrados nos vários horizontes, comportando-se como resistatos e às vezes formando acumulações na forma de agregados maciços centimétricos nos gossans e crostas lateríticas, como é o caso da wolframita.

Assim como na mineralogia, em termos geoquímicos, os materiais supergênicos estudados também apresentam uma grande variedade composicional no conteúdo dos elementos maiores e traço. A sílica apresenta seus maiores teores nos latossolos e em parte nos colúvios. Nesses horizontes, são observados os teores mais baixos de ferro, uma verdadeira desferruginização, que ocorre durante a desintegração das crostas lateríticas e gossans, na formação dos colúvios e latossolos. Os gossans da área Águas Claras caracterizam-se por teores extremamente elevados de Fe_2O_3 (> 80 %) em comparação com outros gossans descritos na literatura.

Em relação ao ouro, os teores médios são bastante elevados, nos diferentes materiais amostrados: 0,22 ppm (crostas lateríticas); 0,29 ppm (latossolos); 0,34 ppm (colúvios) e 0,75 ppm (gossans). A variabilidade desses teores também é muito alta e, no caso das crostas, dos latossolos e dos colúvios, pode refletir: a) a distância em relação aos corpos mineralizados, e/ou b) a presença em maior ou menor número de fragmentos dos gossans.

O estudo das associações geoquímicas mostrou que, apesar da grande variabilidade composicional dos diferentes horizontes estudados, uma importante e marcante assinatura permanece em todos os dendrogramas da análise de agrupamentos em modo-R realizados: a associação



refletindo, fundamentalmente, a paragénese primária ouro-sulfetada, além do contexto geológico das rochas encaixantes (arenitos da Formação Águas Claras ricos em turmalina) e do intenso hidrotermalismo provocado pela atividade granítica (wolframita + cassiterita). Os mapas de isoteores dos elementos B e W, nos colúvios e latossolos, permitiram o delineamento dos corpos gossânicos

mineralizados, enquanto que os mapas de elementos como Hg, Mo e Sn, apresentaram uma melhor resposta na crosta laterítica.

Quanto aos resultados das análises de ouro das partículas estudadas, verifica-se uma grande variação composicional das mesmas, em termos da razão Au/Ag, com *fineness* variando de 650 a 890, além dos mais variados padrões morfológicos, como formas e tamanhos. Essa heterogeneidade pode estar relacionada a presença de várias fases de mobilização desse metal no ambiente supergênico, e/ou a presença de grãos de ouro de diferentes gerações, originalmente de composições distintas, e que se enriqueceram residualmente.

Os minerais acessórios descritos anteriormente, turmalina, wolframita e cassiterita, responsáveis pela assinatura geoquímica da área Águas Claras, são típicos resistatos e que se acumulam residualmente nos horizontes supergênicos estudados. Esses minerais estão normalmente associados com ouro em depósitos primários tipo veio de quartzo hidrotermais com sulfeto, ou depósitos arqueanos tipo *lode*. A turmalina enquadra-se no campo da solição sólida dravita-schorlita, ricas em ferro, tipo ferridravita, e fisicamente frágeis, propiciando grande dispersão física. Consequentemente esse mineral se apresenta como um importante mineral-guia para corpos auríferos, a exemplo de Águas Claras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEVA, G.J.J. 1981. Essential differences between the bauxitic deposits along the southern edges of the Guiana Shield, South America. **Econ. Geol.**, 76:1142-1152.
- ALMEIDA, F.F.M. 1978. A evolução dos crátons Amazônico e de São Francisco comparadas com seus homólogos do hemisfério norte. In: CONG. BRAS. GEOL.,30., Recife, 1978. **Anais...** Recife, SBG. v.1, p. 2393-2407.
- ANDRADE, W.O.; MACHESKY, M.L.; ROSE, A.W. 1991. Gold distribution and mobility in the surficial environment, Carajás region, Brazil. **J. Geochem. Explor.**, 40:95-114.
- ANGÉLICA, R.S. 1991a. Associações geoquímicas nos lateritos superficiais do Complexo de Maicuru, Estado do Pará. **Geochim. Brasil.**, 5(1/2): 101-115.
- ANGÉLICA, R.S. 1991b. **Dispersão mineralógica e geoquímica em crostas e solos lateríticos aplicada à caracterização do substrato do Complexo de Maicuru, Pará.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 168 p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1991.
- ANGÉLICA, R.S. 1996. **Mineralogia e geoquímica de gossans e lateritos auríferos na região de Carajás: depósitos de Igarapé Bahia e Águas Claras.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 116 p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1996.
- ANGELICA, R.S.; COSTA, M.L.; PÖLLMANN, H. 1995. Gold, wolframite, tourmaline bearing lateritized gossans in the Amazon region, Brazil. In: INT. GEICHEMICAL EXPL. SYMP. 17. Townsville, Australia. **Extended Abstracts.** P.269-270
- ARAÚJO, E.S., 1994, **Geoquímica multi-elementar de crostas e solos lateríticos da Amazônia Oriental.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 241 p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1994.
- ARAÚJO, O.J.B & MAIA, R.G.N. 1991. **Serra dos Carajás - Folha SB.22-Z-A, Estado do Pará.** Brasília, CPRM/DNPM, 136 p.(Programa de Levantamentos Geológicos Básicos)
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X.S.; COSTA, J.B.S. 1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONG. LAT. AMER. GEOL., 7., Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG. v.1, p.324-338.

- AUGUSTITHIS, S.S. 1982. **Atlas of sphaeroidal textures and structures and their genetic significance**. Athenas, Theophrastus Publications S.A. 210p.
- BAKER, W.E. 1978. The role of humic acid in the transport of gold. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 42:645-649
- BARBOSA, O.; RAMOS, J. R. A.; GOMES, F. A.; HEMBOLD, R. 1966. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia**. Div. Geol. e Min./DNPM, 95p. (Monografia, 19)
- BARROS, C.E.M.; DALL'AGNOL, R.; SOARES, A.D.V.; DIAS, G.S. 1994. Metagabros de Águas Claras, Serra dos Carajás: Petrografia, Geoquímica e Transformações Metamórfico-Hidrotermais. **Acta Geológica Leopoldensia**, 40: 31-70.
- BEISIEGEL, V.R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. **Rev. Bras: Geoc.**, 3: 215-242.
- BENEDETTI, M. & BOULÈGUE, J. 1991. Mechanism of gold transfer and deposition in a supergene environment. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 55:1539-1547.
- BENEDETTI, M.; BOULÈGUE, J.; HIÉRONYMUS, B.; KOTSCHOUBEY, B.; SILVA, E.R. 1990. **Chem. Geol.**, 84:2729.
- BLAIN, C.F. & ANDREW, R.L. 1977. Sulphide weathering and the evaluation of gossans in mineral exploration. **Minerals. Sci. Eng.**, 9:119-150.
- BOWELL, R.J. 1994. Sulfide oxidation and production of gossans, Ashanti Mine, Ghana. **International Geology Review.**, 36:732-752.
- BOWELL, R.J., FOSTER, R.P., GIZE, A.P. 1993. The mobility of gold in tropical rain forest soils. **Econ. Geol.**, 88:999-1016.
- BOWELL, R.J.; FOSTER, R.P.; GIZE, A.P.; HOPPE, H.A.; LAFFOLEY, N.d'A.; REX, A.J. 1991. Mineralogical and chemical characteristics of a tropical weathering profile in Ghana: Implications for gold exploration: In: **Symposium Brazil Gold'91**, Belo Horizonte, 1991. **The economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 713-719.
- BOYLE, R.W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. **Geol. Surv. Can. Bull.**, 280:1-254p.
- BRADSHAW, P.M.D. 1975. Conceptual models in exploration geochemistry - The Canadian Cordilhera and Canadian Shield - **J. Geochem. Explor.**, 4:1-213.

- BÜDEL, J. 1992. **Climatic Geomorphology**. Princeton, N.Y., Princeton University Press. 433pp. (translated by L. Fisher and D. Busche, 1982).
- BUTT, C.R.M., 1987. A basis for geochemical exploration models for tropical terrain. **Chemical Geology**, 30: 5-16.
- BUTT, C.R.M. 1989a. Geomorphology and climatic history-keys to understanding geochemical dispersion in deeply weathered terrains, exemplified by gold. In: GARLAND, G.D., ed. **Proceedings of Exploration '87**, Ontario Geol. Surv. Toronto, Special Vol. 3:323-334.
- BUTT, C.R.M. 1989b. Genesis of supergene gold deposits in the laterite regolith of the Yilgarn Block, Western Australia. **Economic Geology Monograph**, 6:460-470.
- BUTT, C.R.M. & SMITH, R.E., ed. 1980. **Conceptual Models in Exploration Geochemistry, 4 - Australia**. Amsterdam, Elsevier. 275 p. (Developments in Economic Geology, 13).
- BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H., 1989. Classification of geochemical exploration models for tropically weathered terrain. **J. Geochem. Explor.**, 12:89-365.
- BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H. 1992. Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains. In: GOVETT, G.J.S., ed. **Handbook of Exploration Geochemistry**. Amsterdam, Elsevier. 607 p.
- CARVALHO, I.G. 1984. Mineralizações auríferas de Gentio do Ouro (Bahia): Características micromorfológicas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais...*Rio de Janeiro, SBG. v. 8, p. 4024-4031.
- CARVALHO I.G. 1992. Contribuição ao conhecimento da concentração secundária de ouro em lateritos ferruginosos do semi-árido baiano. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG. v.1, p.575.
- CARVALHO, I.G.; MESTRINHO, S.S.P.; GOEL, O.P. 1987. Alguns aspectos geoquímicos de coberturas lateríticas da região semi-árida do estado da Bahia: Laterita aurífera da porção ocidental da Chapada Diamantina e laterita do município de Sento Sé. In: CONGR. BRAS. GEOQ., 1., Porto Alegre, 1987. *Anais...*Porto Alegre, SBG. p. 53-68.
- CARVALHO, I.G.; PACHECO, S.S.; GOEL, P.D. 1988. Comportamento geoquímico de elementos-traço nas lateritas ferruginosas de Sento Sé, Estado da Bahia. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. vol. 4, p.1878-1881.
- CLOKE, P.L. & KELLY, W.C. 1964. Solubility of gold under inorganic supergene conditions. **Ecom. Geol.**, 59:259-270.

- COLIN, F. & LECOMTE, P. 1988. Étude minéralogique et chimique du profil d'altération du prospect aurifère de Mébaga Mvomo (Gabon). **Chron. Rech. Min.**, 491:55-65.
- COLIN, F. & VIEILLARD, P. 1991. Behaviour of gold in the lateritic equatorial environment and surface dispersion of residual gold particles, at Dondo Mobi, Gabon. **Applied Geochem.**, 6:279-290.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (CVRD)/CMM. 1972. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 25., Belém, 1972. **Anais..** Belém, SBG. p. 78-80.
- CORDANI, U.G. & NEVES, B.B.B. 1982. The Geologic Evolution of South America During the Archean and Early Proterozoic. **Rev. Bras. Geoc.**, v.12 n.1,2,3. P. 78-88.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; KAUASHITA, K. 1984. A Serra dos Carajás como região limitrofe entre províncias tectônicas. **Ciências da Terra**, Salvador, 9:6-11.
- COSTA, J.A.V. 1992. **Geoquímica dos lateritos auríferos do Morro da Mina - Cassiporé (Amapá)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 107 p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1992.
- COSTA, J.A.V. & COSTA M.L. 1991. O padrão da distribuição de ouro na perfil laterítico do Morro da Mina . Região de Cassiporé-AP. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais..** Belém, SBG, Núcleo Norte. p.421-434.
- COSTA, M.L. 1984. A dinâmica da formação das lateritas: o exemplo NE do Pará e do NW do Maranhão. In: CONGR. BRAS. GEOL. , 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v.10, p.4823-4837.
- COSTA, M.L. 1987. **Impressões geológicas colhidas na região de Carajás. Relatório de viagem.** Belém, Docegeo/UFPA. 25 p. (inédito).
- COSTA, M.L. 1988. **Geologia, mineralogia, geoquímica, gênese e depósitos lateríticos.** Belém, CPGG-CG/UFPA. 188p (texto básico para a disciplina da Pós-Graduação).
- COSTA, M.L., 1990a. Potencial metalogenético dos lateritos da Amazônia. In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990. **Anais...** Natal, SBG. v.3, p. 1371-1385.
- COSTA, M.L. 1990b. Lateritos e Lateritização. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990. **Anais...** Natal, SBG. v. 1, p. 404-421.
- COSTA, M.L. 1991a. Gossans na Amazônia: notícias tardias !(?). In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais...** Belém, SBG-NO. p.449-464.

- COSTA, M.L. 1991b. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Rev. Bras. Geoc.**, 21(2): 147-160.
- COSTA, M.L. 1993. Gold distribution in lateritic profiles in South America, Africa and Australia: applications to geochemical exploration in tropical regions. **J. Geochem. Explor.**, 47:143-163.
- COSTA, M.L. & ARAÚJO, E.S. 1995. Application of multielementar chemistry in gold a phosphate bearing lateritic crust in the identification of parent rocks (serra do Pirocaua, Eastern Amazon region, Brazil). In: INT. GEICHEMICAL EXPL. SYMP. 17. Townsville, Australia. **Extended Abstracts**. P.279-280.
- COSTA, M.L. & SÁ, J.H.S. 1980, Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: geologia, mineralogia, geoquímica e correlação com as bauxitas da Amazônia. In: CONG. BRAS. GEOL., 31., Geological Congress, Proceedings, vol. 3, p. 1459-1472.
- COSTA, M.L.; VIEIRA-COSTA, J.A.; ANGÉLICA, R.S. 1993. Gold-bearing bauxitic laterite in a tropical rain forest climate: Cassiporé, Amapá, Brazil. **Chron. rech. min.**, 510:41-52.
- DAVIES, T.C.; FRIEDRICH, G.; WIECHOWSKI, A. 1989. Geochemistry and mineralogy of laterites in the Sula Montain greenstone belt, Lake Sonfon gold district, Sierra Leone. **J. Geochem. Explor.**, 32:75-98.
- DAVY, R. & MAZZUCHELLY, R.H., ed. 1984. Geochemical Exploration in arid and deeply weathered terrains. **J. Geochem. Explor.**, 22(1/3).
- DOCEGEO. 1988. Revisão lito-estratigráfica da província mineral de Carajás. In CONGR. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. **Anexo aos Anais...** Belém, SBG. p. 11-54.
- DONNAY, G.; INGAMELLS, C.O.; MASON, B. 1966. Buergerite, a new species of tourmaline. **The American Mineralogist**. 51:1-198.
- EPPRECHT, W. 1953. Die Gitterkonstanten der turmalin schweiz. **Min.Petr.Mitt.**, 33:481-493.
- ETHIER, V.G. & CAMPBELL, F.A. 1977. Tourmaline concentrations in Proterozoic sediments of the southern Cordilleira of Canada and their economic significance. **Can. J. Earth. Sci.**, 14:2348-2363.
- EVANS, D.L. 1981. Lateritisation as a possible contributor to gold placers. **Eng. Min. J.**, 182:86-89.

- FARIAS, E.S.; PINTO DA SILVA, E.R.; TRARBACH, M.; KOTSCHOUBEY, B. 1992. Estudo dos minerais pesados nas formações supergênicas do setor Cachoeira NE do Estado do Pará - ênfase na distribuição e morfologia do ouro. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos**. São Paulo, SBG. v.1, p.244.
- FREYSSINET, Ph; LECOMTE, P.; EDIMO, A. 1989a. Dispersion of gold and base metals in the Mborguéné lateritic profile, east Cameroun. **J. Geochem. Explor.**, 32:99-116.
- FREYSSINET, Ph.; ZEEGERS, H.; TARDY, Y. 1987. Néof ormation d'or dans les cuirasses latéritiques: dissolution, migration, précipitation. **C.R. Acad. Sci. Paris**, 305:867-874.
- FREYSSINET, Ph.; ZEEGERS, H.; TARDY, Y. 1989b. Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali. **J. Geochem. Explor.**, 32:17-31.
- GIBB-MAITLAND, A. 1919. **The gold deposits of Western Australia**. Australian Ggeol. Survey. 3 p (Men., 1)
- GOLEVA, G.A.; KRIVENKOV, V.A.; GUZ, Z.G. 1970. Geochemical trends in the occurrence and migration forms of gold in natural water. **Geochemical Internacional**, 7:518-529.
- GRANIER, C.; LAJDINIE, J.P.; VITALI, C. 1963. Géochimie de l'or et du cuivre dans les formations letéritiques argileuses du mont Fiotono, Ity, Côte d'Ivoire. **Bull. Soc. Fr. Miner. et Crist.**, 86: 252-258.
- GRANT, A.H.; LAVIN, O.P.; NICHOL, I. 1991. The morphology and chemistry of transported gold grains as an exploration tool. **J. Geochem. Explor.**, 40:73-94.
- GRIMM, B. & FRIEDRICH, G. 1991. Precipitation and concentration of gold in colluvial soils in the semi-arid region of Gentio do Ouro, Central Bahia, Brazil. In: **Simposium Brazil Gold'91**, Belo Horizonte, 1991. **The economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 343-351.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. 1982. Geologia regional da província mineral de Carajás. In: **SIMP. GEOL. AMAZ.**, 1., Belém, 1982. **Anais...** Belém, SBG/NO. v. 1, p. 100-110.
- HOCQUARD, C.; ZEEGERS, H.; FREYSSINET, Ph. 1993. Supergene gold: an approach to economic geology. **Chron. Rech. Min.** , 510:3-11
- HORBE, A.C. 1995. **Evolução mineralógica e geoquímica multi-elementar de perfis de solos sobre lateritos e gossans na Amazônia**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 213 p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1995.

- HÜHN, W.K.; SANTOS, A.B.S.; AMARAL, A.F.; LEDSHAM, E.J.; GOUVEIA, J.L.; MARTINS, L.B.P.; MONTALVÃO, R.M.G.; COSTA, V.G. 1988. O Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Sul do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém. *Anais*. Belém, SBG. v.3, p. 1438-1453.
- KAURANNE, L.K. 1976. Conceptual Models in Explorations Geochemistry. Norden. *J. Geochem. Explor.*, 5:175-420.
- KAVALIERIS, I. 1994. High Au, Ag, Mo, Pb, V and W content of fumarolic deposits of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *J. Geochem. Explor.*, 50:479-491.
- KISHIDA et al. 1990. Introdução: Brasil. *Ecom.Geol.*, 85:899-903
- KOTSCHOUBEY, B. & LEMOS, V.P. 1985. Considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2., Belém, 1985. *Anais...* Belém, SBG. Núcleo Norte. v.3, p.48-61.
- KRAUSKOPF, K.B. 1951. The solubility of gold. *Econ. Geol.*, 46: 858-878.
- LAFON, J. M. & MACAMBIRA, M. J. B. 1992. Evolução da Província Mineral de Carajás com base em novos dados geocronológicos. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. *Resumos Expandidos*. São Paulo, SBG. v.2, p. 174-175.
- LAWRANCE, L.M. & GRIFFIN, B.J. 1994. Crystal features of supergene gold at Hannan South, Western Australia. *Mineral Deposit.*, 29:391-398.
- LECONTE, P. 1988. Stone-line profile: Importance in geochemical exploration. *J. Geochem. Explor.*, 30:35-62.
- LIVERSIDGE, A. 1893. On origin of gold nuggets. Royal Soc. New South Wales. *Jour. Proc.*, 27:303-343.
- LOVERING, J.G. & McCARTHY, J.H. 1978. Conceptual models in exploration geochemistry. The basis and range province of the western United States and northern Mexico. *J. Geochem. Explor.*, 9:113-276.
- LUBIS, H.; PRIHATMOKO, S.; JAMES, L.P. 1994. Bulagidun prospect: a copper, gold and tourmaline bearing porphyry and breccia system in northern Sulawesi, Indonesia. *J. Geochem. Explor.*, 50:257-278.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z. G.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Prec. Res.*, 49:329-354.

- MANN, A.W. 1984. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. **Econ. Geol.**, 79:38-49.
- MATHEIS, G. 1982. Geochemical soil survey applied to geological reconnaissance mapping of the tropical environment. In: D.J.C. LAMING AND A.K. GIBBS (Eds.), **Hidden Wealth: Mineral Exploration Techniques in Tropical Forest Areas**. AGID Rep., 118-124.
- MAZZUCHELLI, R.H. & JAMES, C.H. 1966. Arsenic as a guide to gold mineralization in laterite-covered areas of Western Australia. **Trans. Inst. Min. Metall., Sect. B, Appl. Earth Sci.**, 75:286-294.
- MEIRELLES, E. M.; HIRATA, W.K.; AMARAL, A.F.; MEDEIROS FILHO, C.A.; GATO, W.C. 1984. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v.5, p. 2164-2174.
- MELLO, E.F. 1992. Alteração supergênica do minério aurífero de Ibiajara-BA. In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos**. São Paulo, SBG. v.1, p583.
- MICHEL, D. 1987. Concentration of gold *in situ* laterite from Mato Grosso. **Mineral. Deposita**, 22:185-189.
- MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI, C.C.F.; BEZERRA, P.E.L.; PRADO, P. 1984. Geocronologia dos granitóides e gnaisses das regiões de Ria Maria, Fazenda Mata Grande e Rio Itacaúnas, sul do Pará (Distrito de Carajás - Cumarú). In: CONG. BRAS. GEOL., 34., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v.6, p.275-2766.
- MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI, C.G.C.; TEIXEIRA, W.; VASCONI, A.V. 1988. Caracterização Geocronológica Rb/Sr dos Terrenos Granodioríticos e trondjemíticos da Região de Rio Maria, Sul da Serra dos Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG, v.3, p. 1478-1487.
- NAHON, D.; BOULANGÉ, B.; COLIN, F. 1992. Metallogeny of weathering: an introduction. In: MARTINI, I.P. & CHESWORTH, W., eds. **Weathering, Soils & Paleosols**. Amsterdam, Elsevier. p. 445-471.
- NAIR, N.G.K.; SANTOH, M.; MAHADEVAN, R. 1987. Laterization as a possible contributor to gold placers in Nilambur Valley, Southwest India. **Chemical Geology**, 60:309-315.
- NOGUEIRA, A.C.R. 1994. **Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, Serra dos Carajás - Pa**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 213 p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1994.

- OLIVEIRA, N.M.; OLIVEIRA, S.M.B.; BORGES, O.C. 1991. Caracterização mineralógica e geoquímica dos gossans auríferos da região de Luizânia, GO. In: CONGR. BRAS. GEOQ., 3., São Paulo, 1991. *Anais...* São Paulo, SBGq. v. 2, p. 554-558.
- OLIVEIRA, S.M.B. & CAMPOS, E.G. 1991. Gold-bearing iron duricrusts in Central Brazil. *J. Geochem. Explor.*, 41:309-323.
- OLIVEIRA, S.M.B.; BRUNS, R.; LOPES, L.M. 1988. Análise fatorial varimax de dados geoquímicos de materias lateríticos. Aplicação à prospecção geoquímica. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v4, p.1765-1780.
- OLIVEIRA, S.M.B.; MAGAT, Ph.; BLOT, A. 1993. O Gossan de Irecê-Lapão (BA). *Geochim. Brasil.*, 7(2):131-149.
- ONG, H.L. & SWANSON, V.E. 1969. Natural organic acids in the transportation, deposition, and concentration of gold. *Quarterly Journal of the Coloraso School of Mines*, 64:395-425.
- PARISOT, J.C.; SOUBIES, F.; AUDRY, P.; ESPOUTEILLE, F. 1989. Some implication of lateritic weathering on geochemical prospecting - two brazilian exemples. *Journal of Geochemistry Exploration*, 32:133-147.
- PORTO, C.G. 1991. Grade distribution and morphology of gold grains in the stone line lateritic profile of the Posse deposit, Mara Rosa, Goiás, Brazil In: *Symposium Brazil Gold'91*, Belo Horizonte, 1991. *The economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits*. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 721-728.
- PORTO, C.G. & HALLE, M. 1995. Gold distribution in the stone line lateritic profile of the Posse Deposit, Central Brazil. *Economic Geology*, 90:308-321.
- RAO, A.B. 1986. Guide horizons for gold mineralisation in lateritic crusts. *Chem. Geol.*, 60: 293-298.
- RAO, A.B. 1987. Lateritized gravel bed: a new guide for lateritic gold. *Chem. Geol.*, 60:287-291.
- RAO, A.B.; BARROS, J.G.C.; ADSUMILLI, M.S. 1983. Lateritic Ore Projctct. In: A. MELFI & A. CARVALHO. eds. *International Symposium of Lateritization Processes*. 2, São Paulo, 1982. IAG - USP. p. 159.176.
- REEDMAN, J.H. 1979. *Techniques in Mineral Exploration*. London, Ed. Applied Science. 553p.
- ROQUIN, C.; FREYSSINET, Ph.; NOVIKOFF, A; TARDY, Y. 1991. Geochemistry of termitaria and soils covering ferricrete: application to gold exploration in Western Africa. In: EUROLAT, Berlim. 1991. **Abstract**.

- SANTOS, J.F. 1984. O ouro elúvio-laterítico de Jatobá - MT. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 8. p. 4012-4023.
- SCHELLMANN, W. 1986. On the geochemistry of laterites. *Chem. Erde*, 45:39-52.
- SÈA, F.; TANGUAY, M.G.; TRUDEL, P.; PERRAULT, G. 1990. Résultats préliminaires d'une étude sur la dispersion de l'or en milieu latéritique autour de l'indice aurifère de Misséni, au Mali. *Canad. J. Earth Sci.*, 27:1686-1698.
- SILVA, E.R.P. 1988. **Pesquisa do minério alterado do Salobo 3A**. Relatório interno de pesquisa. Belém, CVRD/DOCEGEO, 7p.
- SILVA, L.C. 1991. A preliminary evolution of the Brazilian Archean and Proterozoic strata-bound tourmalinites and their significance as potential gold deposits. In: SIMPOSIUM BRAZIL GOLD'91, Belo Horizonte, 1991. **The economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 241-246.
- SILVA, E.R.P.; KOTSCHOUBEY, B. HYERONYMUS, B. 1991a. As mineralizações de ouro e cobre na área Pojuca-Leste, Serra dos Carajás-Para (Brasil). In: CONG. BRAS. GEOQ., 3., São Paulo, 1991. *Anais ...* São Paulo, v. 1. p. 565-569.
- SILVA, E.R.P.; KOTSCHOUBEY, B. HYERONYMUS, B. 1991b. O perfil de intemperismo da área Salobo 3A, Serra dos Carajás-PA e o comportamento geoquímico do ouro. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. *Anais...* Belém, SBG-NO. p. 555-568.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.; GUIMARÃES, G. 1974. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB-22 Tocantins**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM, v.4, p. 1-143. (Levantamentos de Recursos Naturais)
- SLACK, J.F.; PALMER, M.R.; STEVENS, B.P.J.; BARNES, R.G. 1993. Origin and significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill District, Australia. *Ecom. Geol.*, 88(3):505-541.
- SMITH, R.E. 1989. Using lateritic surface to advantage in mineral exploration. In: GARLAND G.O. (ed.). **Proceedings of Exploration '87**, Ottawa, Ontario. Geol. Surv. Toronto. V.3, p.312-322. (Special Volume).
- SMITH, R.E. & PERDRIX, J.L. 1985. Pisolithic laterite geochemistry in the Golden Grove Massive Sulphide District, Western Australia. *J. Geochem. Explor.*, 18:131-164.
- SOARES, A.V.; SANTOS A.B.; VIEIRA, E.A.; BELLA, V.M.; MARTINS, L.P.B. 1994. Área Águas Claras - Contexto geológico e mineralizações. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 4., Belém, 1994. *Resumos expandidos...* Belém, SBG/NO, p. 379-382.

- SOUZA, C.I.J. 1993. **Estudo da cobertura laterítica ferro-aluminosa da aba norte da Serra dos Carajas**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 152 p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1993.
- TASSINARI, C. C. G.; HIRATA, W.K.; KAWASHITA, K. 1982. Geological Evolution of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil. **Rev. Bras. Geoc.**, 12 (1/3): 263-267
- TAUFEN, P.M. & BRENNER, T.L. 1987. Geochemical orientation survey of the Fortaleza de Minas O'Toole Ni deposit, southwestern Minas Gerais, Brazil. **Geochim. Brasil.**, 1(11):1-18.
- TAUFEN, P.M. & MARCHETTO, C.M.L. 1989. Tropical weathering control of Ni, Cu, Co, and platinum group element distributions at the O'Toole Ni-Cu sulphide deposit, Minas Gerais, Brazil. **J. Geochem. Explor.**, 32:185-197.
- TAYLOR, G.F. & SYLVESTER, C.G. 1982. Analysis of a weathered profile on sulfide mineralization at Mugga, western Australia. **J. Geochem. Explor.**, 16:105-134.
- TOLBERT, G.E.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. **Econ. Geol.**, 66:985-894.
- TOMISAKA, T. 1968. Synthesis of some end-members of the tourmaline group. **Mineralogical Journal**, 5:355-364.
- TRARBACH, M. & KOTSCHOUBEY, B. 1991. Estudo do comportamento do ouro nas lateritas ferruginosas e corpos gossânicos da região de Cachoeira, nordeste do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais...Belém, SBG/NO**. p. 584-595.
- VASCONCELOS, P.M. 1987. **Gold geochemistry in a semi-arid weathering environment: a case study of the Fazenda Brasileiro Deposit, Bahia, Brasil**. Austin, Universidade do Texas. 213 p. Tese (Doutorado em Ciências).
- VASCONCELOS, P. & KYLE, J.R. 1991. Supergene geochemistry and crystal morphology of gold in a semiarid environment: application to gold exploration: **J. geochem. Explor.**, 40:115-132.
- VEIGA, A.T.C.; BRAIT FILHO, L.; OLIVEIRA, C.A.C. 1985. Geologia da província aurífera do Cassiporé - AP. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2., Belém, 1985. **Anais..** Belém, SBG. v.3. p.135-146.
- WALENTA, K. & DUNN, P.G. 1979. Ferridravite, a new mineral of tourmaline group from Bolivia. **The American Mineralogist**, 64:945-948.

- WEBSTER, J.G. 1986. The solubility of gold and silver in the system Au-Ag-S-O₂-H₂O at 25°C and 1 atm. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 50:1837-1845.
- WEBSTER, J.G. & MANN, A.W. 1984. The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. **J. Geochem. Explor.**, 22:21-42.
- WILSON, A.F. 1984. Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils - a review and some new observations. **Australian J. Earth Sci.**, 31: 303-316.
- WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI, W. 1986. U-Pb zircon ages of the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite. **Rev. Bras. Geoc.**, 16: 195-200.
- ZANG, W. & FYFE, W.S. 1993. A three-stage genetic model for the Igarapé Bahia lateritic gold deposit, Carajás, Brazil. **Econ. Geol.**, 88: 1768-1779.
- ZANG, W.; FYFE, W.S.; BARNETT, R.L. 1992. A silver-palladium alloy from the Bahia lateritic gold deposit, Carajás, Brasil. **Mineral. Magazine**, 56:47-51.
- ZEEGERS, H. 1979. Regional geochemical prospecting in equatorial areas - an example in French Guyana. In: WATTERSON J.R. & THEOBALD P.K., ed. **Geochemical Exploration 1978**. Toronto, AEG, p.209-225.
- ZEEGERS, H. 1987. Remanients de surface et prospection geochimiqui de l'or. **Chron. Rech. Min.**, 488:55-61.
- ZEEGERS, H. & LECOMTE, P. 1992. Seasonally humid tropical terrains (savannas). In: BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H., eds. **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains**. Amsterdam, Elsevier. p. 203-240.
- ZEEGERS, H. & LEDUC, C. 1991. Geochemical exploration in temperate, arid and tropical rain forest terrains. In: FOSTER, R.P., ed. **Gold Metallogeny and exploration**. Glasgow, Blackie & Sons. p. 309-355.