



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

**“MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DE GOSSANS E LATERITOS AURÍFEROS NA
REGIÃO DE CARAJÁS: DEPÓSITOS DE IGARAPÉ BAHIA E ÁGUAS CLARAS”.**

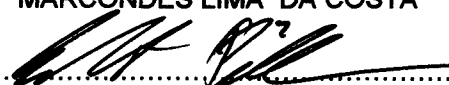
TESE APRESENTADA POR
RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA.


Data de Aprovação 20 / 03 / 1996

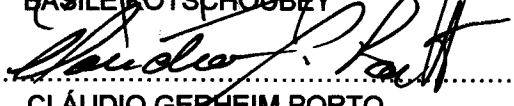
Comitê de Tese:


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


.....
HERBERT JOSEF PÖLLMANN (Co-orientador)


.....
SÔNIA MARIA BARROS DE OLIVEIRA


.....
BASILE KOTSCHOUBEY


.....
CLÁUDIO GERHEIM PORTO

BELÉM

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

**Mineralogia e Geoquímica de gossans e
lateritos auríferos na região de Carajás:
depósitos de Igarapé Bahia e Águas Claras**

TESE DE DOUTORADO

por

Rômulo Simões Angélica

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa
Co-Orientador: Prof. Dr. Dr. Herbert Pöllmann

Belém, Pará
Março de 1996

à minha família

— com muito amor —

a quem tão caro este trabalho custou.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar os meus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições que participaram direta ou indiretamente neste trabalho de tese:

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, pela orientação deste trabalho, além de todo apoio e incentivo, principalmente, durante os vários momentos de desânimo, ao longo de todos esses anos de convívio acadêmico e científico. Ao Prof. Dr. H. Pöllmann, co-orientador deste trabalho, por todas as discussões técnicas, das análises por microscopia eletrônica de varredura, mas principalmente, por tornar possível o meu trabalho na Alemanha.

Aos outros membros da banca examinadora deste trabalho: Profa. Dra. Sônia Maria Barros de Oliveira, Prof. Dr. Basile Kotschoubey e Prof. Dr. Cláudio G. Porto, pelas suas atenções e prontidões em participar como avaliadores deste trabalho, além das valiosas sugestões apresentadas.

Ao Centro de Geociências e Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA, pela utilização da infra-estrutura de pessoal e laboratórios, em diferentes fases deste trabalho.

A Companhia Vale do Rio Doce e a DOCEGEO, pela permissão em trabalhar nas áreas Igarapé Bahia e Águas Claras, por todo apoio fornecido nas diferentes etapas de campo realizadas, além do apoio financeiro através do projeto "*Geoquímica do ouro e associados do alvo Águas Claras*" (Convênio: 532/88 - CVRD/UFPA). Agradeço ainda aos técnicos dessas companhias, geólogos José Luzimar do Rego, Anselmo Soares e Luis Pedro Martins, pelas discussões e apoio durante os trabalhos de campo.

Ao Mineralogisches Institut da Universidade de Erlangen-Nürnberg, Alemanha, pela utilização de toda a infra-estrutura dos seus laboratórios e por me acolher, como estudante, durante o período de outubro de 1993 a setembro de 1994.

Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico - DAAD, pela bolsa de estudos durante a minha estada na Alemanha, e a CAPES pelo pagamento das passagens aéreas. Ambas as instituições estão patrocinando o projeto "*Mineralogia aplicada a impactos ambientais e depósitos minerais na Amazônia*", dentro do Programa Brasil-Alemanha - PROBRAL nº 011/94, no qual esse trabalho de tese está inserido.

Ao PADCT-FINEP, através do projeto "*Apoio Institucional ao Centro de Geociências da UFPA - Sub-projeto: Evolução geoquímica supergênica durante o Cenozóico da Amazônia*"

Oriental" (Convênio: 65.92.0025.00), pelo suporte financeiro, para as etapas de campo e algumas análises laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Henrique Kahn e a geóloga Sara Lais Rahal Lenharo, do Laboratório de Caracterização Tecnológica, da Escola Politécnica da USP, pela realização de análises por MEV-EDS em algumas amostras deste trabalho.

Finalmente, a CPRM, empresa a que pertenço, pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho, e principalmente, pela liberação em tempo integral durante a etapa na Alemanha.

SUMÁRIO

	Pag.
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
RESUMO	01
ABSTRACT	03
1 INTRODUÇÃO	05
1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS	05
1.2 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL	08
1.3 METODOLOGIA	10
1.3.1 Campo	10
1.3.2 Laboratório	11
2 RESULTADOS	14
2.1 IGARAPÉ BAHIA	14
2.1.1 Características gerais	14
2.1.2 O perfil laterito-gossânico	19
2.1.3 Mineralogia	25
2.1.4 Geoquímica	26
2.2 ÁGUAS CLARAS	32
2.2.1 Características gerais	32
2.2.2 O perfil laterito-gossânico	35
2.2.3 Mineralogia	39
2.2.4 Geoquímica	39
2.3 MICROMORFOLOGIA E QUÍMICA MINERAL	44
2.3.1 Apresentação	44
2.3.2 Sulfetos primários	45
2.3.3 Teluretos	46
2.3.4 Uraninita	50
2.3.5 Wolframita	52
2.3.6 Turmalina	56
2.3.7 Cassiterita	58
2.3.8 Cuprita	59
2.3.9 Fosfato-Sulfato de ETR	59
2.3.10 Hematita	61
2.3.11 Goethita	62
2.3.12 Gibbsita	65

	Pag.
2.4 MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DO OURO	67
2.4.1 Nos solos superficiais da área Igarapé Bahia	67
2.4.2 Nos perfis laterito-gossânicos e trincheiras	70
2.4.2.1 Na área Igarapé Bahia	70
2.4.2.2 Na área Águas Claras	73
2.4.3 Morfologia e geoquímica dos grãos de Au	78
2.4.3.1 Na zona de sulfetos primários	79
2.4.3.2 Nos veios de quartzo	85
2.4.3.3 Nos gossans	87
2.4.3.4 Nas crostas lateríticas	93
2.4.3.5 Nos latossolos	95
2.4.4 Discussão sobre o comportamento geoquímico do ouro	98
2.4.4.1 Caracterização do ouro primário e secundário	98
2.4.4.2 Condições de formação do ouro supergênico	101
3 EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DAS ÁREAS ESTUDADAS	107
3.1 QUADRO EVOLUTIVO DOS PERFIS LATERÍTICOS DA AMAZÔNIA	107
3.2 PROPOSTA DE EVOLUÇÃO GEOLÓGICA SUPERGÊNICA E DISTRI- BUIÇÃO DO OURO NOS PERFIS LATERITO-GOSSÂNICOS	111
4 CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICE: Reflexões calculadas e observadas para a ferberita da área águas claras, comparada com duas diferentes ferberitas obtidas a partir das fichas do JCPDS	138

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	Pag.
Figura 1.1 Mapa de localização das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras e esboço simplificado da geologia da folha Serra dos Carajás	08
Figura 2.1 Malha de amostragem da Docegeo sobre o platô Igarapé Bahia	14
Figura 2.2 Detalhe da figura anterior, destacando os corpos mineralizados e os locais de coleta de amostras, seções geológicas e furos de sondagem estudados	15
Figura 2.3 Seção geológica LT-700, fornecida pela CVRD, e localizada na Figura 2.2	16
Figura 2.4 Gossan na porção central e o saprólito vermelho das encaixantes (Igarapé Bahia)	16
Figura 2.5 Estruturação geral do perfil gossânico/laterítico da área Igarapé Bahia	17
Figura 2.6 Perfis realizados na cava da mina Igarapé Bahia	18
Figura 2.7 Latossolos vermelhos em contato irregular com a crosta laterítica (Ig. Bahia)	19
Figura 2.8 Contato entre os latossolos e a crosta laterítica, com linhas de pedras	19
Figura 2.9 Modo de ocorrência das crostas lateríticas na encosta do platô Igarapé Bahia	20
Figura 2.10 Crosta ferruginosa laterítica com fragmentos dos gossans	21
Figura 2.11 Crosta laterítica contendo fragmentos grosseiros das encaixantes	21
Figura 2.12 Texturas pisolíticas finas, em crosta laterítica da área Igarapé Bahia	22
Figura 2.13 Material argiloso em arcabouço hematítico das crostas lateríticas (Igarapé Bahia)	22
Figura 2.14 Gossan terroso, com textura <i>box-work</i> (Igarapé Bahia)	23
Figura 2.15 Diagrama $Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ para o perfil composto da área Igarapé Bahia	27
Figura 2.16 Distribuição dos elementos maiores no perfil composto da área Igarapé Bahia	28
Figura 2.17 Distribuição de alguns elementos-traço no perfil da cava da mina Igarapé Bahia .	31
Figura 2.18 Mapa de localização dos principais corpos mineralizados na área Águas Claras ..	33
Figura 2.19 Seção geológica dos furos 76 e 79, na área Águas Claras	34
Figura 2.20 Estruturação geral do perfil gossânico do furo 23-vertical, na área Águas Claras.	35
Figura 2.21 Crostas ferruginosas do platô do F-17, Águas Claras	36

Figura 2.22	Seção geológica da parede NW da trincheira 35, na área Águas Claras	37
Figura 2.23	Níveis de caulim intercalados aos gossans em furos de sondagem (Águas Claras).	38
Figura 2.24	Distribuições geoquímicas dos elementos maiores no furo 23, Águas Claras	40
Figura 2.25	Diagrama triangular $Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ para as amostras do perfil do F-23	41
Figura 2.26	Distribuições geoquímicas de alguns elementos-traço no F-23, Águas Claras	42
Figura 2.27	Fotomicrografia de calcopirita no núcleo de concreções ferruginosas, A. Claras ..	45
Figura 2.28	Cristais tetartoidais de cobaltita inclusos na pirita, ACL-F-79 (MEV)	46
Figura 2.29	Cristal de AgTe incluído na cobaltita (MEV) e espectro de EDS correspondente ...	47
Figura 2.30	Grãos de Au e de BiTe inclusos na cobaltita (MEV) e espectro de EDS	48
Figura 2.31	Fotografia ao MEV de teluretos de Ag preenchendo micro-fraturas-na cobaltita ..	49
Figura 2.32	Espectro EDS de pequenos cristais de Bi nativo inclusos na pirita (ACL-F-76) ...	49
Figura 2.33	Grãos de uraninita inclusos na calcopirita e magnetita (MEV), Igarapé Bahia	50
Figura 2.34	Uraninita ao longo de clivagens, na área Igarapé Bahia	51
Figura 2.35	Espectro EDS da uraninita descrita na zona sulfatada da área Igarapé Bahia	51
Figura 2.36	Cristal wolframita ao microscópio petrográfico (nicóis //), Águas Claras	52
Figura 2.37	Cristais anédricos de wolframita ao microscópio petrográfico (nicóis //)	52
Figura 2.38	Fotografia ao MEV de um grão de wolframita incluído em cavidades nos gossans.	53
Figura 2.39	Padrão difratométrico da ferberita da área Águas Claras	54
Figura 2.40	Cristais euédricos de dravita, formando drusas, em cavidades nos gossans	56
Figura 2.41	Início da destruição dos cristais de dravita ao longo do F-44, Águas Claras	57
Figura 2.42	Estágio mais avançado da destruição dos cristais de dravita ao longo do furo 44 .	57
Figura 2.43	Detalhe ao MEV de grão euédrico de cassiterita incluído em calcopirita	58
Figura 2.44	Cristais octaédricos de cuprita em cavidades, nos gossans da área Águas Claras .	59
Figura 2.45	Cristais de cuprita com formas combinadas de cubo e dodecaedro (MEV)	59
Figura 2.46	Padrão difratométrico do fosfato-sulfato de ETR da área Igarapé Bahia	60

Figura 2.47	Feição textural dos gossans da área Águas Claras (MEV)	61
Figura 2.48	Detalhe ao MEV da feição textural da figura anterior	61
Figura 2.49	Intemperismo dos cristais de hematita pseudomórficos segundo a magnetita	62
Figura 2.50	Detalhe da hematita da figura anterior, com hábito de "rosetas", neo-formados	62
Figura 2.51	Goethita com hábito botrioidal, nos gossans da área Águas Claras (MEV)	63
Figura 2.52	Detalhe de hábito botrioidal da figura 2.51 (MEV)	63
Figura 2.53	Cristais de goethita formando drusas no núcleo de concreções ferruginosas	64
Figura 2.54	Detalhe das drusas de goethita da figura anterior (MEV)	64
Figura 2.55	Prisma ortorrômbico de goethita, com terminação (MEV)	64
Figura 2.56	Cristais aciculares de goethita, preenchendo cavidades romboédricas (MEV)	64
Figura 2.57	Cavidades na crosta laterítica da mina Igarapé Bahia (MEV)	65
Figura 2.58	Cristais monoclinicos euédricos de gibbsita nos vazios da crosta laterítica	65
Figura 2.59	Pequenos filmes de gibbsita intercalados às camadas goethíticas (MEV)	66
Figura 2.60	Detalhe da figura anterior (MEV)	66
Figura 2.61	Sumário estatístico e histogramas do Au, Fe, Co e Mo, Igarapé Bahia	67
Figura 2.62	Mapa de distribuição dos teores de Au no platô da mina Igarapé Bahia	68
Figura 2.63	Mapa de distribuição dos teores de Mo no platô da mina Igarapé Bahia	69
Figura 2.64	Distribuição vertical dos teores médios de Au, Ag, As, Cu, B, Bi, Sn e Mo no perfil composto da cava da mina Igarapé Bahia	73
Figura 2.65	Distribuição dos teores de Au, Cu, Sn, Mo, W e As, bem como dos minerais hematita e goethita, no perfil do F-23 da área Águas Claras	74
Figura 2.66	Distribuição dos resultados de Au, Ag, Cu e As, fornecidos pela Docegeo, no perfil do Furo 23, área Águas Claras	74
Figura 2.67	Distribuição lateral dos teores de Au, Ag, Mo, As, Cu e W na parede noroeste da trincheira 35, na área Águas Claras	77
Figura 2.68	Fotografia (MEV) de grãos de Au associados à pirita e calcopirita	79
Figura 2.69	Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na pirita e calcopirita	80

Figura 2.70	Espectro da análises por EDS do grão de ouro da figura 2.69	81
Figura 2.71	Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na arsenopirita	82
Figura 2.72	Espectro da análise por EDS em grãos de Au inclusos na arsenopirita	83
Figura 2.73	Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na cobaltita	84
Figura 2.74	Espectro da análise por EDS em grãos de Au inclusos na cobaltita da fig. 2.73 ...	84
Figura 2.75	Partículas de Au associadas aos veios de quartzo, na área Igarapé Bahia (MEV) .	85
Figura 2.76	Películas de material ferruginoso na superfície das partículas de Au	85
Figura 2.77	Correlações Au-Fe e Au-Pd, em partículas de Au dos veios de quartzo	86
Figura 2.78	Partículas de Au associadas aos gossans na área Águas Claras (MEV)	87
Figura 2.79	Partículas de Au da figura 2.78, associadas aos gossans	87
Figura 2.80	Mapeamento de pontos com o MEV-EDS, em grãos de ouro nos gossans	89
Figura 2.81	Partícula de Au associada a gossan, na amostra T-35-2, Águas Claras (MEV)	90
Figura 2.82	Partícula de Au associada a gossan, na amostra T-35-2, Águas Claras (MEV)	90
Figura 2.83	Imagens do mapeamento geoquímico da Ag (verde) com MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, na área Águas Claras (ACL-F-23-2)	91
Figura 2.84	Imagens do mapeamento geoquímico do Au (vermelho), da Ag (verde) e Fe (azul) com o MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, ACL	92
Figura 2.85	Imagens do mapeamento geoquímico da Ag com o MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, na área Águas Claras	92
Figura 2.86	Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV)	93
Figura 2.87	Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV)	93
Figura 2.88	Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV)	94
Figura 2.89	Imagens do mapeamento geoquímico da Ag (verde) com o MEV-EDS, em grão de ouro associado a crostas lateríticas, do F-25, na área Águas Claras	95
Figura 2.90	Partícula de Au envolvida por matriz ferruginosa, nos latossolos (MEV)	96
Figura 2.91	Correlação Au-Pd, na partícula de Au dos latossolos, na área Igarapé Bahia	97
Figura 2.92	Proposta de classificação das partículas de ouro	99

Figura 2.93	Campos de estabilidade dos complexos Au-tiosulfatados (GRAY et al., 1992) ...	104
Figura 3.1	Quadro de evolução supergênica, com ênfase nos lateritos da Amazônia	108
Figura 3.2	Fase I, de formação dos gossans auríferos	112
Figura 3.3	Diagrama de NICKEL & DANIELS (1985)	113
Figura 3.4	Fases de desenvolvimento do perfil laterito-gossânico na área Igarapé Bahia	115
Figura 3.5	Quadro geomorfológico do final da fase III	116
Figura 4.1	Assinatura geoquímica dos gossans da área Igarapé Bahia	120
Figura 4.2	Estruturação do perfil laterito-gossânico da área Igarapé Bahia	122

TABELAS

	Pag.	
Tabela 2.1	Composição mineralógica calculada do perfil da cava da mina Igarapé Bahia	25
Tabela 2.2	Composição química para os óxidos maiores do perfil da cava da mina Ig. Bahia.	26
Tabela 2.3	Concentração de alguns elementos-traço no perfil da cava da mina Ig. Bahia	29
Tabela 2.4	Concentrações médias de alguns elementos-traço em gossans da literatura	30
Tabela 2.5	Composição mineralógica calculada do perfil gossânico do F-23, Águas Claras.	39
Tabela 2.6	Composição química para os óxidos maiores do perfil do F-23, Águas Claras	40
Tabela 2.7	Concentrações de alguns elementos-traço no perfil do F-23, Águas Claras	42
Tabela 2.8	Minerais descritos nas áreas Igarapé Bahia e Águas Claras	44
Tabela 2.9	Composição química dos sulfetos de cobre no corpo sulfetado do furo 79	46
Tabela 2.10	Análise quantitativa por EDS na uraninita da área Igarapé Bahia	50
Tabela 2.11	Análise química por microsonda eletrônica das amostras de wolframita	53
Tabela 2.12	Parâmetros da cela unitária para a ferberita da área Águas Claras	55
Tabela 2.13	Análise química por Microsonda Eletrônica de hematitas nos gossans	62
Tabela 2.14	Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço no perfil da mina Ig. Bahia.	70
Tabela 2.15	Concentrações médias de elementos-traço em gossans auríferos na literatura	71

Tabela 2.16	Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço no perfil do F-23, ACL	73
Tabela 2.17	Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço, na trincheira 35, ACL	75
Tabela 2.18	Partículas de ouro analisadas neste trabalho	78
Tabela 2.19	Análises químicas (MEV-EDS) em grãos de ouro inclusos na piritita e calcopiritita.	80
Tabela 2.20	Resultados por microsonda eletrônica em partícula de Au na calcopiritita	81
Tabela 2.21	Análises químicas (MEV-EDS) para grãos de Au inclusos na arsenopiritita	82
Tabela 2.22	Análises químicas (MEV-EDS) para grãos de Au inclusos na cobaltita	84
Tabela 2.23	Análises químicas (MEV-EDS) para grãos de Au associados a veios de quartzo.	85
Tabela 2.24	Análises químicas (MEV-EDS) para grãos de Au associados a gossans	88
Tabela 2.25	Análises por MEV-EDS em grãos de Au em gossans na amostra T-35-2	89
Tabela 2.26	Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a crostas lateríticas	94
Tabela 2.27	Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a crostas lateríticas	95
Tabela 2.28	Análises por MEV-EDS em partícula de Au nos latossolos da área Igarapé Bahia	96
Tabela 2.29	Pureza e tamanho das partículas de ouro inclusas nos sulfetos estudados	98
Tabela 2.30	Complexos e ligantes químicos e ambientes favoráveis a mobilização do Au comumente descritos em perfis lateríticos	102
Tabela 3.1	Proposta de evolução geológica supergênica e fases de mobilização do ouro nos perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras	111
Tabela 4.1	Principais diferenças entre os perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras	118

RESUMO

A mina Igarapé Bahia e o prospecto Águas Claras são exemplos de mineralizações de ouro supergênico relacionados a gossans e lateritos. Ambas as áreas estão situadas na região de Carajás, Estado do Pará, pertencem a Companhia Vale do Rio Doce e foram pesquisadas pela Docegeo. Neste trabalho foram estudados a mineralogia e a geoquímica dos perfis laterito-gossânicos dessas duas áreas, com ênfase para a distribuição do ouro e outros elementos associados.

As duas áreas em questão apresentam estilos de mineralização primária semelhantes e dentro do mesmo contexto geológico regional, a saber, ouro associado a zonas de sulfetos maciços ou disseminados, ligados a processos de alteração hidrotermal em zonas de cisalhamento, cujas rochas hospedeiras são seqüências metavulcano-sedimentares do Arqueano-Proterozóico. Os produtos supergênicos são divididos em dois grupos distintos: os do sistema gossânico e os do sistema laterítico, onde foi evidenciada a superposição do último sistema sobre o primeiro.

Na descrição dos perfis supergênicos, através de amostras e informações de superfície e sub-superfície, os seguintes horizontes e zonas foram caracterizados, da base para o topo:

(1) no sistema gossânico: zona de sulfetos primários, zona de cementação e espessa zona de oxidação; (2) no sistema laterítico: crosta laterítica com fragmentos dos gossans, crosta laterítica desmantelada ou linhas de pedras e latossolos. O perfil laterítico se desenvolveu sobre gossans pré-existentes, com obliteração das suas feições originais e promovendo remobilização química e física do ouro e dos outros elementos. No quadro geomorfológico atual, a área Igarapé Bahia apresenta essa estruturação completa, enquanto que na área Águas Claras, o perfil laterítico sobre os corpos mineralizados foi truncado e os gossans estão aflorantes.

A composição mineralógica da porção superior dos gossans e dos lateritos é essencialmente à hematita, goethita (com teores variáveis de Al), maghemita, gibbsita, caulinita e quartzo, em diferentes proporções. Nos gossans é nítido o domínio da hematita sobre os demais minerais. Nas porções mais profundas dos gossans, em direção a zona de sulfetos primários, foram identificados: malaquita, cuprita e cobre nativo, predominantemente, e associados a hematita, além de azurita, crisocola e quartzo; na zona de sulfetos primários observou-se uma paragênese um pouco distinta, entre as duas áreas. Em Igarapé Bahia dominam: calcopirita, magnetita, clorita, siderita e quartzo, enquanto em Águas Claras foram descritos: calcopirita, pirita, arsenopirita, cobaltita, magnetita, quartzo, wolframita e turmalina. O ouro primário ocorre finamente disseminado, incluso nos sulfetos, apresentando diferentes graus de pureza. Na área Águas Claras, ocorre associado a uma grande variedade de teluretos de Bi, Ag, Pb e Bi nativo. Ainda nesta área, turmalina (dravita) e wolframita (do tipo ferberita) são importantes minerais acessórios, comportando-se como resistatos, durante o desenvolvimento dos perfis, enriquecendo-se nos gossans e nas crostas, na forma de agregados centimétricos, e servindo como importantes guias na prospecção desses corpos.

A composição química dos perfis, em termos dos elementos maiores, é caracterizada por teores extremamente elevados de Fe nos gossans, que diminuem, progressivamente, em direção aos latossolos, e inversamente, Si, Al, Ti e H₂O (perda ao fogo), enriquecendo-se para o topo dos perfis. Cálcio, Mg, Na e K estão completamente empobrecidos na maioria das amostras estudadas. Em relação aos elementos-traço, as associações geoquímicas são bastante variáveis, entre os perfis das duas áreas, refletindo, fundamentalmente, as variações químico-mineralógicas das zonas primárias. Nos corpos gossânicos mineralizados, as seguintes assinaturas geoquímicas foram caracterizadas: Au, Cu e Mo, na área Igarapé Bahia; e Au, Cu, As, B, W, Sn e Bi, na área Águas Claras.

Diferentes partículas de Au de diversos pontos dos perfis, associadas a sulfetos, veios de quartzo, gossans, crostas lateríticas e latossolos foram observadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura e analisadas com o Sistema de Energia Dispersiva, com grandes variações observadas, em termos da morfologia e da composição química das mesmas. Prata, Pt, Pd, Fe e Cu foram

frequentemente encontrados nas análises, onde os teores de Ag variavam de menos de 1% até a composição do electrum. As partículas estudadas foram divididas em: (1) Partículas de ouro primárias (associadas aos sulfetos primários); e (2) Partículas de Au secundárias ou supergênicas, associadas aos gossans, crostas lateríticas e latossolos, sendo essas últimas classificadas como (2.1) residuais, aquelas, em geral, com mais de 30 μm de diâmetro médio, núcleo primário e bordas lixiviadas em Ag; e (2.2) autigênicas ou neo-formadas, de elevada pureza, e extremamente diminutas ($< 5 \mu\text{m}$), via de regra na periferia dos grãos maiores, residuais. Em todas as partículas de ouro relacionadas aos perfis laterito-gossânicos estudadas, as formas e os contatos delas com os principais minerais hospedeiros, goethita e hematita, indicam uma cristalização contemporânea do ouro com esses minerais.

Os resultados obtidos levaram a interpretação do desenvolvimento dos perfis laterito-gossânicos em quatro fases principais, de abrangência regional, onde cada uma dessas fases desempenhou um importante papel na redistribuição do ouro:

A fase I, denominada de **Fase de formação dos gossans**, está relacionada ao desenvolvimento dos gossans, em condições climáticas tropicais semi-áridas a sazonalmente úmido (savana), e considerados neste trabalho como anteriores ao Terciário Inferior. Durante essa fase, o ouro foi remobilizado das zonas sulfetadas através, principalmente, de soluções ou complexos Au-tiosulfatados, reprecipitando na zona oxidada, junto com os óxidos e hidróxidos de ferro. As partículas neoformadas, resultantes, apresentam granulação fina e pureza média (teor algo elevado de Ag);

A fase II foi denominada de **lateritização Madura** e está relacionada ao marcante processo de intemperismo laterítico que aconteceu na região Amazônica, como um todo, durante o Terciário Inferior. Perfis lateríticos maduros se formaram, indistintamente, sobre os gossans, e sobre as suas encaixantes, com o desenvolvimento de crosta laterítica brechóide contendo fragmentos dos gossans. Com essa superposição de processos, o sistema gossânico foi aberto, e uma nova remobilização aconteceu, dessa vez em condições mais oxidantes e, certamente, com uma importante atuação dos complexos orgânicos, cianetos e complexos aquo-hidrolisados na mobilização do ouro. Além da mobilização química desse elemento, importante dispersão física aconteceu, com o início da formação da feição morfológica tipo "cogumelo".

Na fase três, descrita neste trabalho como **pós-lateritização Madura**, assiste-se a uma retomada de condições favoráveis a lateritização, semelhantes as da fase anterior, com o intemperismo dos perfis lateríticos maduros, a partir do Mioceno Médio. Os principais produtos deste período são os latossolos da área Igarapé Bahia. Com a nova abertura de sistema, o ouro é novamente remobilizado, através dos mesmos mecanismos físico-químicos e com a atividade orgânica desempenhando um papel mais intenso em relação a fase anterior, com forte dispersão física, no sentido do espalhamento ou abertura dos halos de dispersão do Au e diminuição do sinal deste elemento. A intensidade deste ciclo de lateritização foi menor que o do Terciário Inferior, já que a mudança para condições mais secas no Plioceno e início do Pleistoceno, levou a uma intensa denudação da paisagem, com a erosão e truncamento dos perfis na área Águas Claras e exposição dos gossans. Importantes depósitos coluvionares (na área Águas Claras) e aluvionares auríferos, a nível regional, são relacionados a esse período.

A fase IV estão associados todos os processos de destruição/intemperismo do quadro geomorfológico estabelecido no final da fase III, em função das condições, predominantemente, úmidas, que passaram a prevalecer a partir do final do Pleistoceno e início do Holoceno, dando origem a novos níveis de latossolos, linhas de pedras, colúvios e aluviões.

ABSTRACT

The Igarapé Bahia mine and the Águas Claras prospect are examples of supergene gold mineralization in gossans and laterites. They are located in the Carajás mining district, Pará state, Northern Brazil. These areas belong to Vale do Rio Doce Company and all the exploration programs were conducted by DOCEGEO. In this work, mineralogical and geochemical studies were performed in the weathering profiles of both areas focussing on the behaviour and distribution of gold and associated elements.

The two areas exhibit similar primary geological context, with gold-bearing sulphide zones associated with shear zones and intense hydrothermal alteration, related to Archaean to Proterozoic metavolcano-sedimentary sequences. The supergene products are divided in two main groups: The gossan system and the lateritic system with evidences of superimposition of the latter on the former.

The profiles were studied after different surface and subsurface sampling. The following horizons and zones were described, from base to top: (1) in the gossan system: primary sulphide zone, secondary sulphide zone and a thick oxidation zone; (2) in the laterite system: a brecciated lateritic iron crust, a dismantled iron crust or stone-lines and latossols. The lateritic iron crust developed over the pre-existing gossans, resulting in a complete obliteration of the primary textures and structures and promoting a new remobilization of gold and other elements. This structuration can be observed today in the Igarapé Bahia area while at Águas Claras the laterite profile over the mineralized bodies was truncated and exposing the gossans.

The mineralogical composition of gossans and laterites is mainly represented by hematite, and variable amounts of goethite, Al-goethite, maghemite, gibbsite, kaolinite and quartz. Hematite predominates in the gossans and goethite becomes progressively enriched toward the laterites. In the deepest parts of the gossans the following minerals were identified: malachite, cuprite and native copper, mainly associated with hematite, besides azurite, chrysocolla and quartz; the Águas Claras area presents a broader paragenesis in the primary sulphide zone, that includes: chalcopyrite, pyrite, arsenopyrite, cobaltite, quartz, magnetite, wolframite and tourmaline. Primary gold occur as diminute particles finely disseminated in the sulphides and with different compositions in the Au-Ag alloy. In the Águas Claras area it occurs associated with a wide range of Bi-, Ag- and Pb-tellurides, besides native bismut. Tourmaline (dravite) and wolframite (ferberite) also occur as important accessory minerals, both in the primary and secondary environment. In the gossans they occur as centimetric cumulates, acting as important guides for gossans identification.

Major element geochemistry of the profiles is mainly characterized by very high iron contents in the gossans, that progressively diminish toward the latossols. On the other hand, the contents of Si, Al, Ti and LOI increase toward the top of the profiles. Calcium, Mg, Na e K are completely depleted in the gossans and laterites. Geochemical associations of trace elements are variable for the two areas and reflect mainly the chemical and mineralogical variations from the primary zones. In the mineralized bodies (gossans + iron crust) the following geochemical signatures were characterized: Au, Cu and Mo, for the Igarapé Bahia area; and Au, Cu, As, B, W, Sn and Bi, for the Águas Claras area.

From the various horizons and zones 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. Silver, Pt, Pd, Fe e Cu were frequently detected, where Ag contents range from less than 1% to more than 25%. The studied grains were divided in two groups: (1) Primary particles associated with primary sulphides; and (2) Secondary or supergene particles, associated with gossans, laterites and latossols. These were further divided in two groups: (2.1) residuals particles, generally with more than 30 μm

of mean diameter and exhibiting a primary core with Ag-depleted rims; and (2.2) authigenic or neoformed particles, which are extremely fine ($< 5 \mu\text{m}$) and of very high fineness, frequently associated to the coarser and residual grains.

The results obtained allowed us to interpret the supergene evolution of the area in four main phases, each one associated with or related to a major period of gold remobilization:

Phase I - Gossan formation: related to the development of gossanic bodies in tropical climatic conditions which ranged from semi-arid to seasonally humid (savannas). In this work this is considered as prior to Lower Tertiary. During this phase, gold was remobilized from lower primary zones through thiosulphates complexes and reprecipitated in the upper oxidized zones associated with iron oxy-hydroxides. The reprecipitated gold is fine-grained and of medium fineness.

Phase II - Mature Lateritization: related to the broad lateritic weathering processes that took place in the whole Amazon region during Early Tertiary times. Mature lateritic profiles were formed above the gossans and their wall-rocks, with the development of a brecciated lateritic iron crust that includes gossans fragments. The gossan system was obviously opened during this phase resulting in physical and chemical dispersion of gold. The role of organic matter related to biological activity was very important in the chemical remobilization of gold.

Phase III - Post-Mature lateritization: related to all weathering processes that took place in the region after the establishment of the lateritic profiles during the transition Upper Oligocene-Middle Miocene. The main supergene products of this phase are the upper latosols of the Igarapé Bahia area. After the weathering of gold-bearing lateritic crusts, this element is once again remobilized following the same chemical mechanisms of phase II, but under increasing biological activity. This resulted in an intensive physical dispersion, broadening of geochemical haloes and weakening of gold signals. This new lateritic cycle was less intensive as compared to the previous one. It took place in the transition to more arid conditions during the Plio-Pleistocene, resulting in an intense denudation of the landscape with erosion, truncation and exposure of the Águas Claras gossans. Widespread gold-bearing coluvium (in the Águas Claras area) and Placer deposits are important supergene products regionally related to this phase.

All the weathering processes that took place after the establishment of the landscape in the end of phase III are considered in this work as phase IV. These are related to prevailing humid conditions that become dominant after the end of Pleistocene and during the Holocene, giving rise to new latosols, stone-lines, coluvium and aluviums.

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

Um dos objetivos da pesquisa mineral no ambiente tropical sempre foi a procura de determinados tipos de afloramentos ferruginosos supergênicos, com morfologia tipo chapéu-de-ferro, derivados da oxidação de corpos sulfetados — os gossans — e que poderiam conter importantes concentrações anômalas de Au, Cu, Ni, Ag, Pb e Zn (ROSE et al., 1979; LEVINSON, 1980). Esse interesse remonta vários séculos e até milênios, com importantes referências na literatura científica relacionadas à origem e mecanismos de formação dos gossans foram feitas na primeira metade desse século (TAYLOR & THORNER, 1992). Mais recentemente, as décadas de 60 e 70 registraram intensa pesquisa sobre gossans, especialmente aqueles portadores de Ni e outros metais base nos terrenos lateríticos da Austrália, e com um grande número de trabalhos e artigos de revisão publicados (BULL & MAZZUCHELLI, 1975; THORNER, 1975a,b; BLAIN & ANDREW, 1977; MOESKOPS, 1977; NICKEL et al., 1977, WILHELM & KOSAKEVITCH, 1979; ANDREW, 1980; NICKEL & DANIELS, 1985, dentre outros). No Brasil, não são encontradas referências na literatura científica, nesse período, de estudos relacionados a gossans. Já no final da década de 80, há a citação de gossans niquelíferos e a platinóides em Fortaleza de Minas, no Estado Minas Gerais (TAUFEN & BRENNER, 1987), além de gossans cupríferos na região de Palmeirópolis, Goiás. Atualmente, é sabido que várias empresas de mineração atuando no Brasil não só estavam atentas para os gossans, como mapearam muitos corpos dessa natureza, mas cujas informações ficaram restritas aos seus relatórios internos, fechados para o domínio público.

A partir do final da década de 70, assistiu-se ao desaceleramento da pesquisa dos metais base, com conseqüente direcionamento dos investimentos em pesquisa mineral para o ouro. Dentro desse novo cenário, as regiões tropicais com registros de intemperismo laterítico continuaram a atrair a atenção dos mineradores e pesquisadores dos processos supergênicos, desta vez para os importantes depósitos de ouro associados aos perfis lateríticos, gerando intensa discussão sobre os aspectos da dissolução-mobilização-reprecipitação desse metal no ambiente laterítico. Estes trabalhos novamente tem como alvo principal as regiões lateritizadas da Austrália (MANN, 1984; WEBSTER & MANN, 1984; WILSON, 1984; DAVY & EL-ANSARY, 1986; MONTI, 1987) e também alguns países da África ocidental (COLIN & LECOMTE, 1988; FREYSSINET et al. 1989a,b; DAVIES et al., 1989;

LECOMTE & COLIN, 1989; SÈA et al., 1990). Nessas duas regiões, as pesquisas realizadas tiveram uma grande contribuição no sentido do desenvolvimento de modelos para a pesquisa mineral, especialmente à prospecção geoquímica no ambiente laterítico (BUTT & SMITH, 1980; BUTT & ZEEGERS, 1992). Em relação ao Brasil, os primeiros trabalhos descrevendo ocorrências de ouro em perfis lateríticos começaram a aparecer no final da década de 80, principalmente nas regiões semi-áridas do centro-oeste (SANTOS, 1984; BASKARA RAO, 1987; MICHEL, 1987; PORTO, 1991; OLIVEIRA & CAMPOS, 1991) e nordeste (CARVALHO, 1984; CARVALHO et al., 1987; GRIMM & FRIEDRICH, 1991; VASCONCELLOS & KYLE, 1991). Em alguns desses trabalhos já é notado um grande avanço nas pesquisas do ouro laterítico, no sentido da evolução micromorfológica e química das partículas e a relação das mesmas com o desenvolvimento dos perfis lateríticos portadores da mineralização.

Dentro do quadro apresentado acima, é possível distinguir-se dois diferentes períodos da pesquisa mineral no ambiente laterítico:

- (a) o período de 60-70, dos metais-base em gossans; e
- (b) as décadas de 80-90, a do ouro laterítico;

e com um aparente hiato entre esses dois períodos, no sentido da falta de relação entre os dois principais produtos/processos supergênicos:

- a) os gossans e os seus processos de formação, ou gossanização;
- b) os lateritos e a lateritização.

Um exemplo dessa falta de relação é que na análise dos trabalhos desse segundo período, observa-se um aparente desuso do termo gossan, apesar de na maioria das áreas citadas, as ocorrências de ouro secundário estarem, invariavelmente, relacionadas ao intemperismo de zonas contendo sulfetos primários. Não há também citações à possível superposição desses dois processos, e à existência de *gossans lateritizados*. No trabalho de SMITH & PERDRIX (1983), no distrito de Golden Grove, na Austrália, observa-se uma das primeiras referências à utilização do horizonte concrecionário laterítico na prospecção de gossans, onde segundo esses autores, em uma tentativa de interrelação entre esses dois processos, essas concreções poderiam conter fragmentos/relictos da dispersão mecânica dos gossans e assim servir como importantes guias na prospecção desses corpos. WILMSHURST & FISHER (1983) foram os primeiros a utilizar, de uma maneira bastante discreta, o termo *gossans lateritizados*, em uma proposta de classificação de tipos de ironstones, no entanto sem apresentar exemplos de gossans lateritizados. TAYLOR (1987) trata os lateritos, juntamente com os

calcretes e silcretes, como *duricrusts*, os quais ocorrem nas regiões áridas e semi-áridas da Austrália, modificando os gossans, e descrevendo a necessidade de se estudar as suas naturezas e processos de formação, a fim de melhor avaliar os gossans. Já em publicações mais recentes como a de FREYSSINET (1993), na área de Kangaba, em Mali (África), volta-se a falar em gossans e lateritos portadores de ouro, onde o autor utiliza, indiscriminadamente, os termos ferricrete maciço e gossan para o horizonte ferruginoso e que evolui para um ferricrete sub-pisolítico a pisolítico. Apesar de não haver dúvidas no entendimento e na caracterização desses dois produtos supergênicos, não parece clara a distinção espacial e temporal dos dois processos — gossanização e lateritização — e o papel dos mesmos na redistribuição do ouro.

Neste trabalho de tese, escolheu-se dois exemplos típicos de mineralização de ouro associada a gossans, onde estes mostram evidências da superposição de processos lateríticos (COSTA, 1987, 1991a), com o desenvolvimento de crosta laterítica brechóide (com fragmentos dos gossans) e de latossolos, e com uma nova redistribuição do Au e dos elementos associados. Essas áreas são a mina Igarapé Bahia e o depósito de Águas Claras, pertencentes a Companhia Vale do Rio Doce, CVRD e localizados na região de Carajás, uma das regiões mais importantes no cenário nacional da mineração, e detentora de um enorme potencial metalogenético. A área Igarapé Bahia é a única que apresenta estudos anteriores sobre o comportamento do ouro no perfil laterítico (ZANG & FYFE, 1993) e nos solos, drenagens e vegetação (ANDRADE et al., 1991, MACHESKY et al., 1993), sendo que nesses trabalhos não se mencionou a existência de gossans na referida área e nem a questão do intemperismo laterítico superimposto. Desta maneira, objetiva-se com esse trabalho, fornecer subsídios para um melhor entendimento da mineralogia e geoquímica desses perfis, e em especial do comportamento do ouro, avaliando a contribuição gossânica e laterítica e sua decomposição em solos, e assim fornecer subsídios para o estabelecimento de modelos ou técnicas para a pesquisa mineral — particularmente à prospecção geoquímica — em terrenos lateríticos da Amazônia.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL

As áreas Igarapé Bahia e Águas Claras estão localizadas na parte sudoeste do distrito mineral de Carajás, cerca de 450 km a sudoeste de Belém (Figura 1.1).

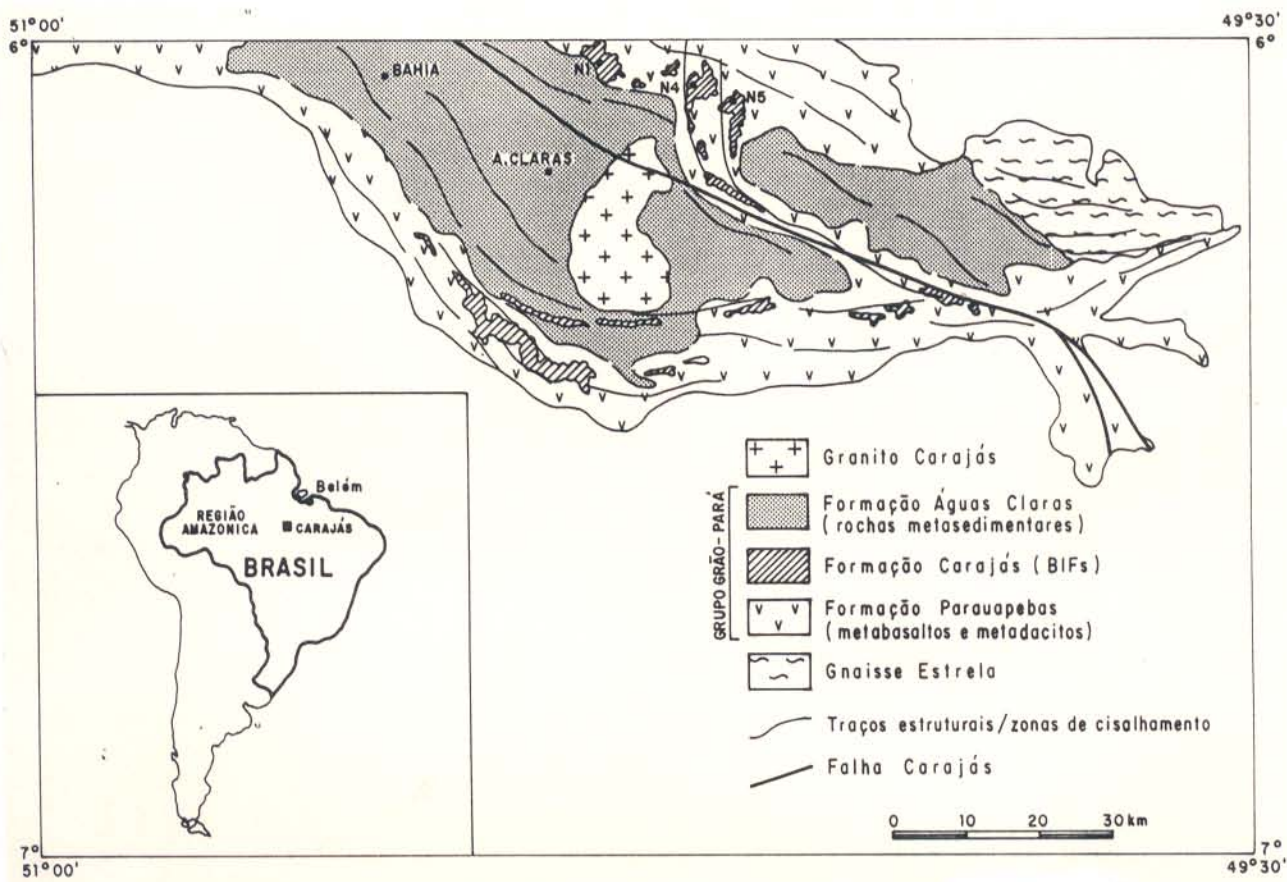


Figura 1.1 - Mapa de localização das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras e esboço simplificado da geologia da folha Serra dos Carajás (SB.22-Z-A), em escala 1:250.000, segundo ARAÚJO & MAIA (1991).

O clima atual é do tipo Af-tropical úmido de floresta chuvosa, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual na região de Carajás em torno de 2000 mm, com período de chuvas indo de dezembro a abril, enquanto de junho a setembro ocorre um período mais seco e com chuvas ocasionais. Na região é comum o relevo do tipo platôs, com altitudes médias de 600 m. A vegetação é predominantemente do tipo floresta equatorial, enquanto no topo dos platôs é do tipo savana.

Em termos da geologia regional, desde a descoberta do minério de ferro de Carajás, no final da década de 60, até os dias de hoje, muitos trabalhos de prospecção mineral e de geologia básica/mapeamento tem sido realizados nessa região. Nos últimos anos, importantes revisões lito-estratigráficas foram apresentadas por HIRATA et al. (1982), DOCEGEO (1988) e ARAÚJO & MAIA (1991). A Figura 1.1 apresenta um esboço da geologia da região de Carajás, segundo esses últimos autores, destacando-se o domínio transcorrente do cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, de idade Arqueana, e representado pelo Grupo Grão-Pará, que é constituído pelas Formações Parauapebas (metabasaltos e metadacitos), Carajás (formações ferríferas bandadas), e Águas Claras (rochas meta-sedimentares), esta última anteriormente denominada como Formação Rio Fresco. Intrusivo nessa seqüência encontra-se o granito Carajás, representante de uma suíte granítica anorogênica Proterozóica.

Em ambas as áreas a mineralização de ouro primária está relacionada a zonas de sulfetos maciços ou disseminados, de extensão e espessura variável, com nítido controle estrutural por zonas de cisalhamento (DOCEGEO, 1988; SOARES et al., 1994). Uma importante diferença no contexto geológico primário das duas áreas, é que o corpo mineralizado da área Igarapé Bahia, encontra-se em uma área de espessura de cobertura sedimentar (Formação Águas Claras) menor, onde diferentes furos de sondagens atravessaram grandes espessuras da porção das meta-vulcânicas e das formações ferríferas (FERREIRA FILHO, 1985). É nítido, nessa área, a forte mistura litológica e brechação com registros de intenso hidrotermalismo. Já na área Águas Claras, as rochas encaixantes dos corpos mineralizados são exclusivamente os meta-arenitos da formação homônima, via de regra em contato com diques ou soleiras de meta-gabros. Outros aspectos da geologia de cada área e da geologia de superfície serão apresentados no próximo capítulo.

Os trabalhos de prospecção na área Igarapé Bahia tiveram início em 1976 pela Docegeo, subsidiária da CVRD, em diversas fases, e só no final da década de 80 teve início a lavra para ouro. Em Águas Claras, a pesquisa encontrava-se em fase de sondagens/avaliação durante o final do ano de 1992, época da última etapa de campo nesta área, relacionada a este trabalho de tese.

1.3 METODOLOGIA

1.3.1 Campo

O material utilizado neste trabalho consiste essencialmente de amostras coletadas pelo autor e orientador, em duas etapas de campo realizadas em setembro de 1991 e setembro de 1992. Em março de 1995, após a realização do exame de qualificação deste trabalho de tese, uma curta visita foi feita apenas à área Igarapé Bahia, com a coleta de algumas amostras e fornecimento de informações pela equipe que trabalha na lavra.

Além disso, diferentes tipos de amostras, testemunhos de sondagem, resultados analíticos, mapas e seções geológicas foram fornecidos pela Docegeo - Distrito Amazônia e pela CVRD. Um resumo do material trabalho, por área, é apresentado a seguir:

a) na área Igarapé Bahia:

- Amostragem na cava principal da mina, localizada, a época do trabalho de campo, na porção centro-SE do corpo principal, totalizando 30 amostras. As amostras foram tomadas em diferentes porções e profundidades, dentro e fora da cava, nas bancadas laterais, além de amostras de superfície fora da zona mineralizada, o que resultou em um perfil composto, que será apresentado ao longo deste trabalho.
- Malha de amostragem realizada pela Docegeo, recobrimdo todo o platô e composta de 1142 amostras, com resultados para Au, Fe, Co e Mo, que foram retrabalhados e serão apresentados no item 2.4.1.
- Amostras e resultados do furo 282, que atingiu a zona de sulfetos primários, cujas amostras foram analisadas ao microscópio eletrônico de varredura.

b) Águas Claras:

- Foram coletadas diferentes amostras de solos e crostas ferruginosas nas trincheiras e furos de sondagens. Serão apresentados os resultados completos de análises geoquímicas e mineralógicas do furo 23 (ACL-F-23) e da trincheira 35 (ACL-TR-35). Dos outros furos ou trincheiras, serão mencionadas amostras ou intervalos específicos, como dos furos 76 e 79 que também atingiram a zona de sulfetos primários, onde foram feitas análises de detalhe e por microscopia eletrônica de varredura.

1.3.2 Laboratório

Todas as análises mineralógicas deste trabalho, quando não especificadas, foram executadas no Instituto de Mineralogia da Universidade de Erlangen-Nürnberg, na Alemanha, no período de outubro de 1993 a setembro de 1994, e consistiram de:

a) **Microscopia ótica** em lâminas delgadas e seções polidas;

b) **Difração de raios-x**, em difratômetros de raios-x Philips e Siemens D-5000 automatizados, com condições de operação de 35 kV, 20 mA e radiação $\text{CuK}\alpha_1$ (1,54050 Å) cujos resultados (difratogramas) são apresentados em arquivos em disco, para tratamento e interpretação com softwares específicos. Os estudos foram realizados em amostra total e em minerais isolados (método do pó), com 2θ variando de 5-65°, em steps de 0,02°. A identificação mineralógica nas fichas do JCPDS foi efetuada através do sistema Diffrac-At, também da Siemens.

Um estudo mineralógico de detalhe foi realizado nas wolframitas da área Águas Claras, envolvendo o cálculo e refinamento dos parâmetros da cela unitária deste mineral, através de programas utilizando o método dos mínimos quadrados. Diferentes amostras foram analisadas, com 2θ variando de 4-70°, em steps de 0,01° e utilizando-se o silício como padrão interno.

Análises quantitativas foram realizadas utilizando-se o sistema Siroquant, desenvolvido e comercializado pelo CSIRO, da Austrália. Neste sistema, a quantificação se dá através do ajuste matemático conhecido como Método de refinamento de Rietveld, onde as seguintes variáveis são ajustadas ou refinadas, a fim de se aproximar os dois padrões existentes: instrument zero, linear *halfwidth* (W), parâmetros da cela unitária (a, b, c, α , β , γ), *non-linear halfwidths* (V, U), orientação preferencial, *peak shape factor* (Pearson m) e *asymmetry factor*. A quantificação consiste de se comparar o difratograma da amostra com um difratograma teórico onde é informado ao programa quais os minerais presentes na amostra. A experiência adquirida com a utilização deste sistema mostrou que o mesmo funciona muito bem para poucas fases mineralógicas, fases essas bem definidas e bem cristalizadas, o que não é o caso da maioria das amostras utilizadas neste trabalho. Os difratogramas apresentam, via de regra, elevado efeito de *background* devido a grande abundância de ferro, além da presença de soluções-sólidas. A presença de argilo-minerais também representa um fator crítico, e no próprio manual desse programa os autores fazem referência a um Siroquant só para argilas. Além do exposto, outros problemas foram detectados e que precisam ser levados em

consideração na avaliação quantitativa dos resultados: (1) É preciso conhecer muito bem todas as variáveis anteriormente descritas, para saber quais vão ser refinadas e dentro de que seqüência, já que o programa só trabalha com, no máximo, 16 variáveis. Quanto maior o número de minerais presentes, menor o número de variáveis que podem ser refinadas simultaneamente; (2) O programa tem um banco de dados com cerca de 150 minerais mais comuns, que fazem o papel do padrão interno; No caso das amostras das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras, a maioria das goethitas presentes é do tipo Al-goethita (ca. 30%mol. $\text{AlO}(\text{OH})$, segundo THIEL, 1969), com padrão difratométrico próprio e que, obviamente, não coincide com o padrão que está no banco de dados do Siroquant, que é o de uma goethita comum. Portanto, esse é o mineral mais problemático, e em cuja quantificação pode haver erro. Assumindo, no entanto, que as amostras apresentam aproximadamente a mesma composição mineralógica (efeito de matriz), podemos assumir que o erro é semelhante em todas as amostras e aceitar a quantificação realizada.

c) Microscopia Eletrônica de Varredura com Sistema de Energia Dispersiva (MEV-SED) para as fotografias e análises químicas de detalhe. Essas análises foram realizadas em em dois locais distintos: no Instituto de Mineralogia na Universidade de Erlangen, onde foram feitas a maior parte das fotografias, e no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da USP, onde foram realizadas a maior parte das análises químicas de detalhe. Neste último laboratório, as análises foram realizadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura STEREOSCAN 440 da Leica-Cambridge, com detector de Ge, que permite análises a partir do elemento B ($Z=5$), e Sistema de Energia Dispersiva modelo eXLII da Link analytical ZAF4/FLS. Esse sistema permite a realização de análises quantitativas a partir da utilização de diferentes padrões internos, além de utilizar um parâmetro denominado de *Fit Index* (FI), que indica o grau de acurácia da análise (as melhores análises apresentam fit index em torno de 1, enquanto neste trabalho, as análises com FI maiores do que 5 foram descartadas ou consideradas como semi-quantitativas). O FI depende de várias condições instrumentais (diferentes tipos de ajustes do aparelho) e das condições da amostra, principalmente em relação ao grau de polimento ou horizontalidade da superfície da mesma e tamanho das partículas a serem analisadas. Um outro recurso disponível neste equipamento, e que será apresentado neste trabalho, é o *Dot Mapping* (mapeamento de pontos), onde, ao invés de análises pontuais, imagens coloridas de distribuição de elementos são geradas pelo EDS.

d) Tratamento específico para o Ouro - todas as amostras onde o ouro foi detectado foram analisadas por MEV-SED; a maioria das amostras consistiram de seções polidas, visando a análise quantitativa. No caso de pepitas de ouro, as mesmas foram embebida em resina epoxi e polidas, de modo que as análises efetuadas por MEV-EDS refletissem o núcleo da mesmas.

Algumas análises por microsonda eletrônica foram realizadas pelo prof. Marcondes Costa no laboratório de Microsonda Eletrônica, do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

As análises geoquímicas totais de 50 amostras das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras foram executados nos laboratórios da Geosol. Foram analisados os seguintes elementos maiores por diferentes metodologias: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e Perda ao Fogo (PF). Dos elementos-traço, foram analisados:

- Cu, Pb, Bi, Ag, B, Ga, Mo, Sn, Ni, Cr, Ba, Mn, V, Zr e Y, por Espectrografia Ótica de Emissão
- As, Sb, Se e Te, por Absorção Atômica com Geração de Hidretos;
- W, por colorimetria;
- Au, por Fire-Assay/Absorção Atômica, com limite inferior de detecção de 0,05 ppm.

No tratamento dos dados e interpretação dos resultados obtidos, outros softwares foram utilizados, todos pertencentes ao Instituto de Mineralogia da Universidade de Erlangen-Nürnberg, onde esses dados foram trabalhados.

- *Plot-It* (SPE), tratamento geral dos dados geoquímicos e mineralógicos, como tratamentos estatísticos, confecção de diferentes tipos de diagramas, gráficos e tabelas.
- *Surfer* (Golden Software), para a geração de mapas e superfícies de contorno da distribuição dos elementos químicos.

2 RESULTADOS

2.1 IGARAPÉ BAHIA

2.1.1 Características gerais

A área Igarapé Bahia é geomorfologicamente representada por um platô de altitude média de 650 m. Nesta superfície, individualiza-se um corpo de minério supergênico, aqui denominado como *corpo principal*, de forma alongada, de aproximadamente 1 km de extensão por 100 m de largura, cujo contorno apresentado na Figura 2.1 foi obtido através da magnetometria terrestre. Um outro corpo menor conhecido como C-30, provavelmente relacionado ao maior, não vai ser considerado neste trabalho. Na Figura 2.1, o fim das linhas de amostragem coincide, aproximadamente, com o limite do platô, que apresenta declividade suave na parte oeste da área, e desnível bastante abrupto em direção ao igarapé Bahia, na porção centro-leste do mapa.

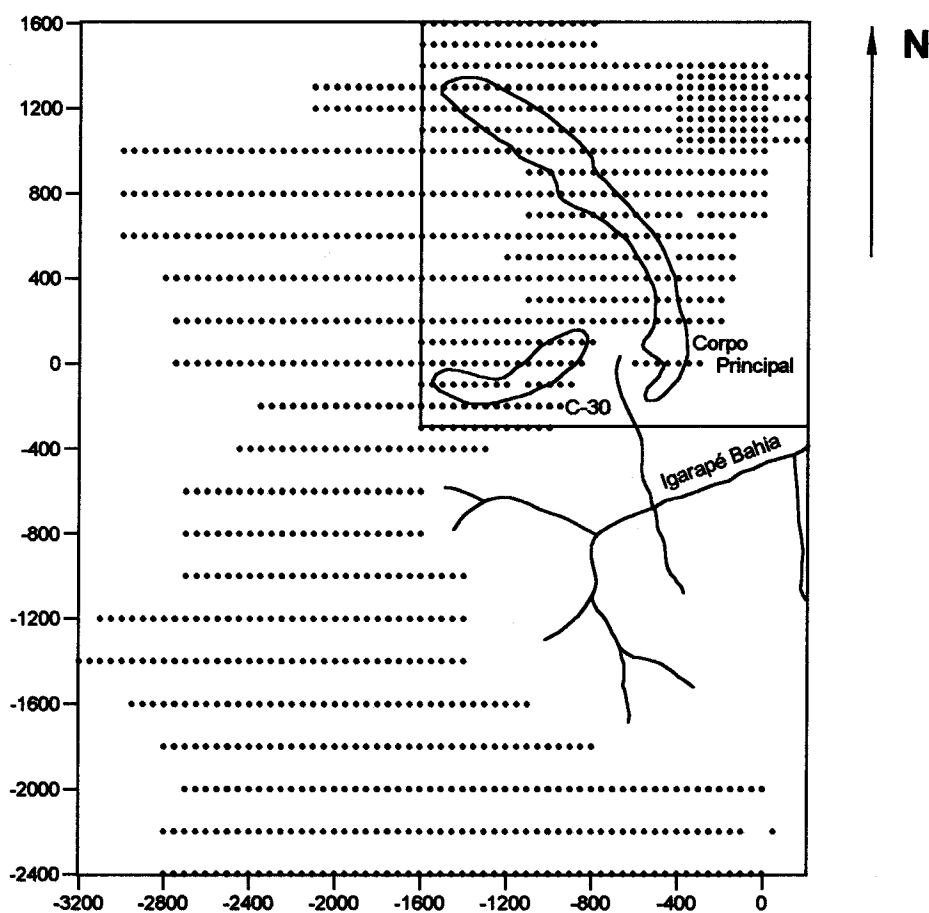


Figura 2.1 - Malha de amostragem da Docegeo sobre o platô Igarapé Bahia, destacando os corpos mineralizados no canto superior direito.

Na Figura 2.2 observa-se um detalhe da Figura anterior (canto superior direito), onde são indicados os locais de coletas de amostras e seções geológicas estudados neste trabalho. Nesta Figura destacam-se, as zonas de ocorrências das crostas ferruginosas e gossans ou porções concrecionárias derivadas destes, na parte sul (quebra do platô) e norte do corpo principal. No restante da área dominam os latossolos vermelhos, que em direção à porção oeste e fora dos corpos mineralizados, passam gradualmente para solos de coloração amarelada. Saprólitos das rochas metavulcânicas e metasedimentares encaixantes da mineralização afloram apenas nas encostas do platô, em direção as drenagens.

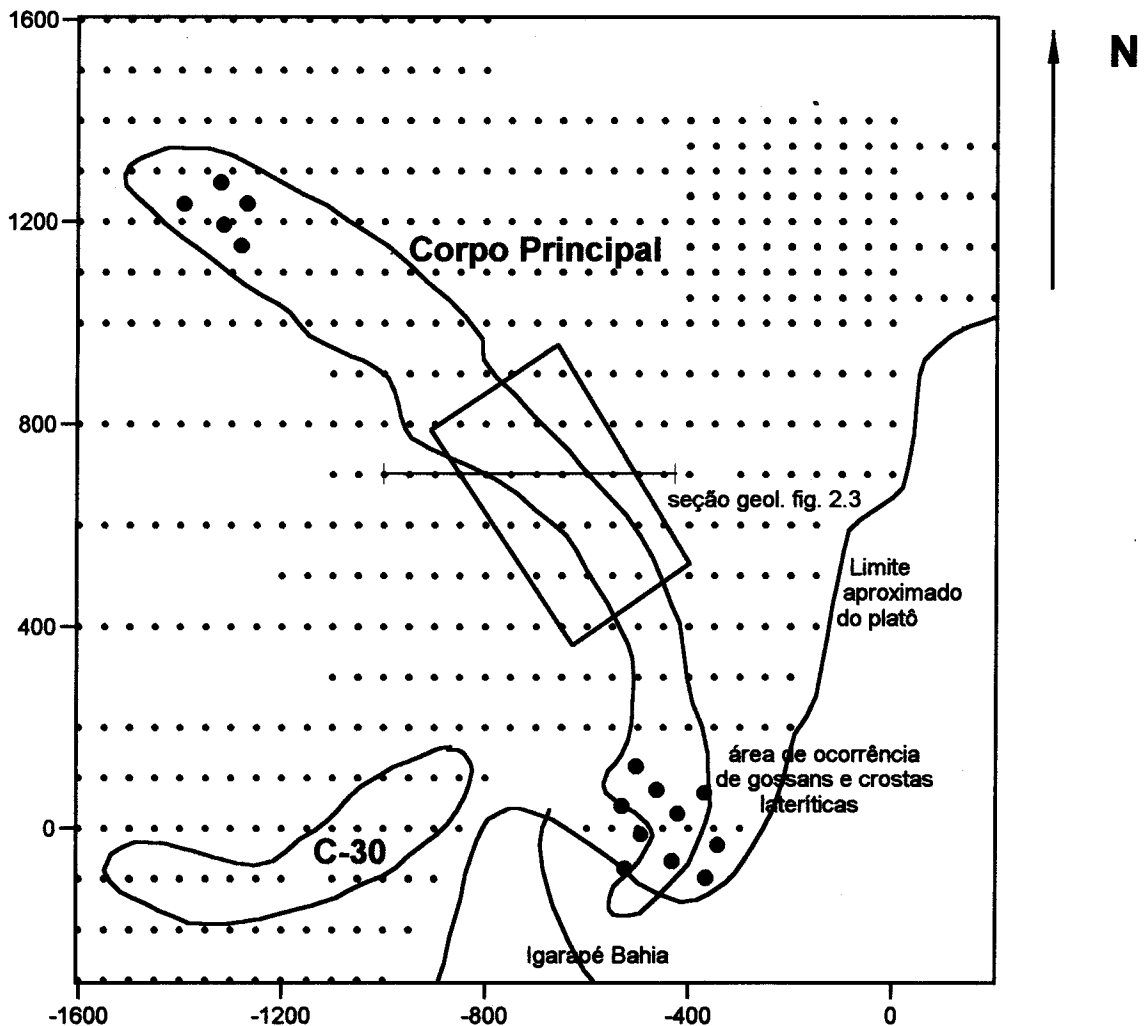


Figura 2.2 - Detalhe da Figura anterior, destacando os corpos mineralizados, onde o retângulo representa a situação aproximada do open pit, onde foi feita a amostragem do perfil composto, em setembro de 1992.

As Figuras 2.3 e 2.4 representam seções geológicas, aproximadamente, transversais ao corpo principal, as quais ilustram a estruturação do perfil gossânico-laterítico da área Igarapé Bahia, bem como das encaixantes, e que serão descritos a seguir.

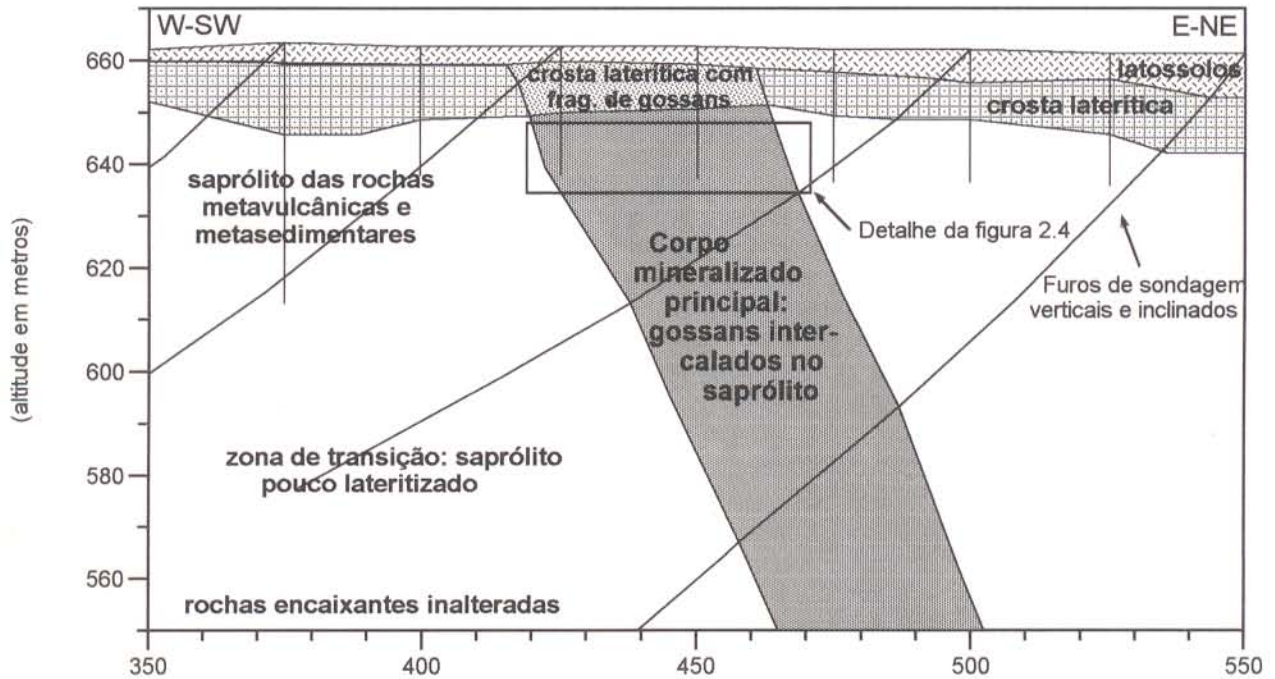


Figura 2.3 - Seção geológica LT-700, fornecida pela CVRD, e localizada na Figura 2.2.

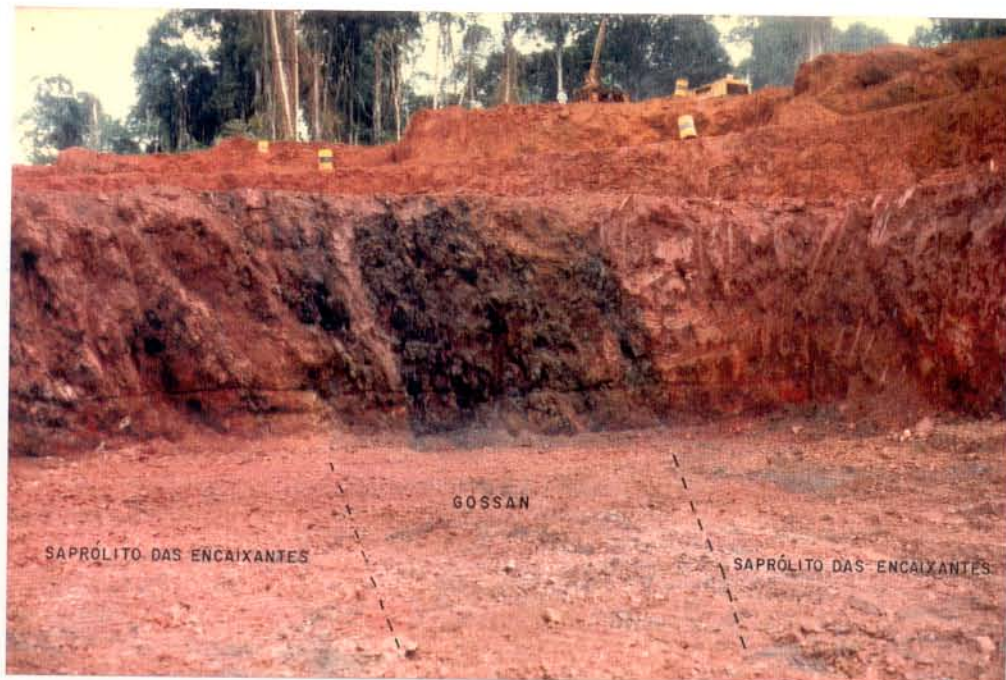


Figura 2.4 - Detalhe de uma seção na frente de lavra da cava da mina Igarapé Bahia, aproximadamente paralela a seção LT-700 da Figura anterior, destacando o gossan na porção central e o saprólito vermelho das rochas encaixantes. O nível de referência dessa foto é de 640 m, e não aparece mais a parte superior do perfil crosta laterítica e latossolos). A bancada vertical tem uma altura de 5 m. (Setembro de 1992).

Na Figura 2.3 os contatos entre o saprólito das encaixantes com a zona de transição, e desta com as rochas primárias, foram estimados a partir da integração de informações de outras seções geológicas transversais ao corpo mineralizado, assim como as profundidades médias que são apresentadas na Figura 2.5, juntamente com a terminologia utilizada para os diferentes horizontes de alteração e os termos utilizados pelos técnicos da CVRD para a caracterização dos diferentes tipos de minério.

<i>prof. (m)</i>	<i>Perfil Laterítico sobre as encaixantes</i>	<i>Perfil laterito-gossânico sobre o corpo de minério</i>	<i>prof. (m)</i>
5	Latossolos amarelos	Latossolos vermelhos	5
10	Crosta laterítica com fragmentos das encaixantes	Crosta laterítica com fragmentos de gossans (ZM* - Zona de Mistura)	10
40	Saprólito das rochas encaixantes (MPDGS*)	Gossan maciço a cavernoso (ZBG* - zona brechada gossanizada)	80
50	Zona de Transição: Encaixantes parcialmente lateritizadas e com sulfetos secundários	Zona de sulfetos secundários	100
60	Rochas metabásicas, metasedimentares e formações ferríferas bandadas, brechadas, cloritizadas e com sulfetos primários disseminados	Zona de sulfetos primários, maciços a disseminados	> 120

Figura 2.5 - Estruturação geral do perfil laterito-gossânico da área Igarapé Bahia. Estão marcados com * os termos usados pela CVRD: MPDGS - Metapelito deformado gossanizado saprolitizado.

Vale citar que a parte superior do perfil é a que está melhor representada, devido as facilidades da amostragem. Nas zonas de sulfetos primários e secundários, as informações são compostas a partir de amostras de diferentes furos de sondagens profundos, além de perfis e informações obtidas da CVRD. Outros perfis realizados na cava de amostragem da mina Igarapé Bahia estão apresentados na Figura 2.6, onde estão localizadas as amostras estudadas e que compõe o perfil composto, neste trabalho.

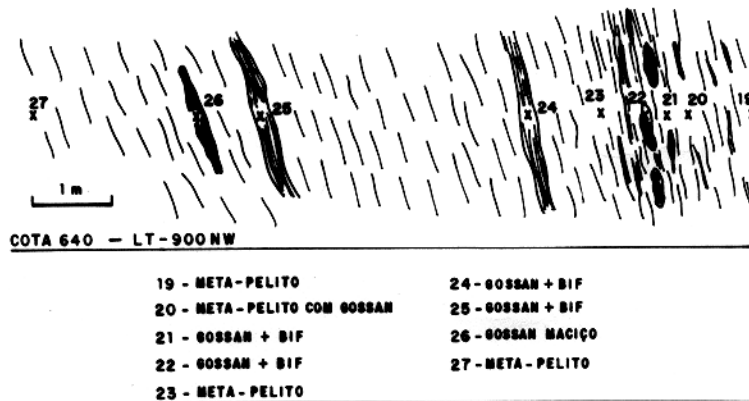
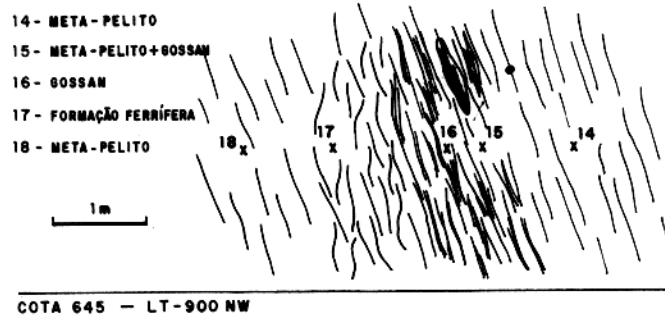
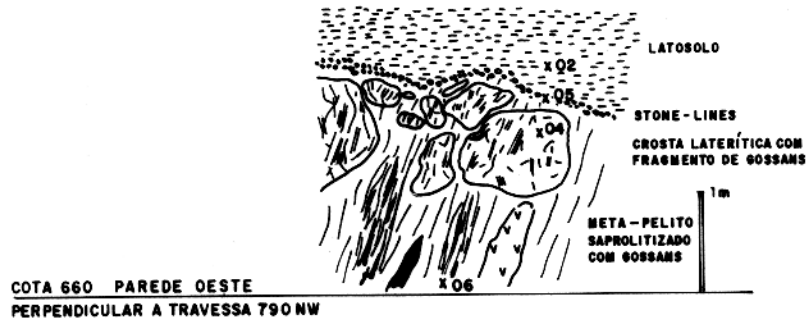


Figura 2.6 - Diferentes perfis realizados na cava da mina Igarapé Bahia (ver detalhe da Figura 2.2), com a localização das amostras estudadas e que compõe o perfil composto deste trabalho.

2.1.2 O perfil laterito-gossânico

Latossolos vermelhos - Na área Igarapé Bahia, o topo do perfil é freqüentemente recoberto por latossolos argilosos a argilo-arenosos (Figuras 2.6a e 2.7), com espessura variando de poucos centímetros (próximos a encosta do platô) até cerca de 10 m, na porção central do corpo principal. A cor avermelhada é característica e desempenha um importante papel na localização do corpo, já que fora da zona mineralizada, em direção as encaixantes, os mesmos são de coloração amarela, assemelhando-se às coberturas do tipo Belterra-Clay, amplamente descritas na Amazônia. Esses solos não apresentam estruturas sedimentares e localmente observam-se linhas de pedras no contato inferior com o horizonte ferruginoso (Figura 2.8). Esse contato é em geral abrupto, irregular e sem conformidade com a superfície atual.



Figura 2.7 - Bancada lateral da mina Igarapé Bahia, destacando os latossolos vermelhos em contato irregular com a crosta laterítica



Figura 2.8 - Detalhe da Figura anterior, ressaltando o contato entre os latossolos e a crosta laterítica, com o desenvolvimento localizado de linhas de pedras.

A origem dessas coberturas, bem como o seu carácter alóctone ou autóctone, é um tema bastante controverso na literatura. Alguns autores as consideram como coberturas sedimentares (SOMBROEK, 1966; TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY, 1981) e outros como residuais

(CHAUVEL et al., 1983; COSTA, 1991b). Trabalhos mais recentes advogam ainda a sua origem a partir da ação de termitas (TRUCKENBRODT et al., 1991). HORBE (1995) trabalhando na área Igarapé Bahia e em outros perfis lateríticos na Amazônia, conclui que os latossolos se desenvolveram a partir do intemperismo das crostas lateríticas subjacentes.

Crosta ferruginosa laterítica - Ocorre freqüentemente sob os latossolos, mas pode aflorar, principalmente, nas encostas do platô (Figura 2.9).



Figura 2.9 - Modo de ocorrência das crostas lateríticas na encosta do platô Igarapé Bahia, extremidade sul do corpo principal, em fotografia de agosto de 1987, anterior a lavra do minério.

Apresenta espessura bastante variável (em média 10 m), observando-se, no topo desse horizonte, um maior dismantelamento e desagregação (Figura 2.8), de forma gradativa, até o estabelecimento dos níveis de linhas de pedras ou latossolos. Um dos aspectos mais interessantes deste trabalho e que pode ser observado na seção geológica da Figura 2.3 é o desenvolvimento indistinto, dessa crosta, sobre a zona mineralizada — os gossans — e sobre as suas encaixantes, evidenciando a superposição dos processos lateríticos sobre os gossans, o que será enfatizado ao longo deste trabalho.

As texturas mais freqüentes nessas crostas são a cavernosa, concrecionária e pseudo-pisolítica nodular à pseudo-brechóide, contendo fragmentos ou esferólitos hematíticos, milimétricos à centimétricos, maciços a terrosos, subarredondados, derivados dos gossans (zona mineralizada, Figura 2.10) ou fragmentos das encaixantes (Figura 2.11). Texturas pisolíticas finas, de coloração avermelhada e contendo fragmentos terrosos centimétricos de gossans são apresentados na Figura 2.12 e porções mais amareladas, com material argiloso ou goethítico infiltrando-se em arcabouço hematítico, também foram descritas (Figura 2.13). Texturas ou estruturas primárias reliquiares não foram identificadas. Freqüentes venulações milimétricas a centimétricas de goethita de cor marrom-amarelado cortam, irregularmente, esse horizonte.



Figura 2.10 - Detalhe da Figura 2.9: crosta ferruginosa laterítica na mina Igarapé Bahia, com textura pseudo brechóide a pseudo-pisolítica, exibindo fragmentos hematíticos derivados dos gossans.



Figura 2.11 - Crosta ferruginosa laterítica na área Igarapé Bahia, fora da zona mineralizada, contendo fragmentos grosseiros das rochas metasedimentares e metabásicas encaixantes.



Figura 2.12 - Texturas pisolíticas finas, em crosta laterítica da área Igarapé Bahia, de coloração avermelhada e contendo fragmentos terrosos centimétricos de gossans.

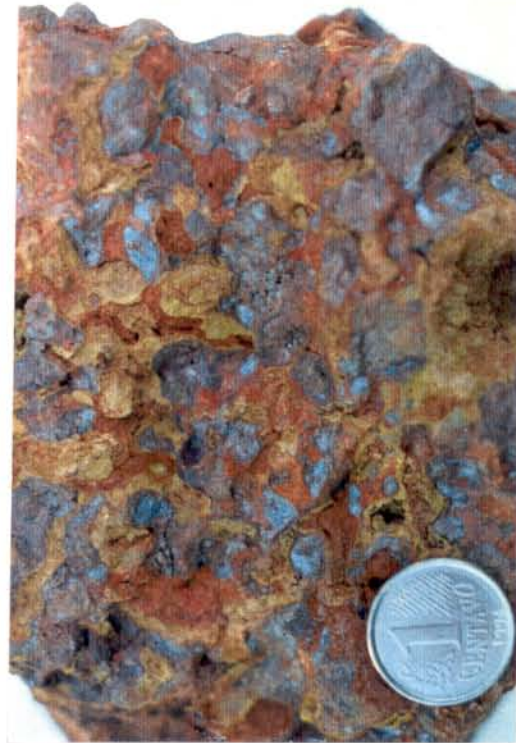


Figura 2.13 - Porções mais amareladas de material argiloso infiltrando-se em arcabouço hematítico das crostas lateríticas da área Igarapé Bahia

Gossans - foram descritos como gossans *sensu strictu* todos os materiais ferruginosos terrosos, inconsolidados ou compactos, em geral com carácter magnético, sub-aflorantes ou mesmo não-aflorantes, de aspecto ou textura predominantemente brechóide, constituídos essencialmente de hematita, com goethita e maghemita, subordinados, e descritos inicialmente na área Igarapé Bahia por COSTA (1987). Na cava da mina ocorrem, via de regra, como grandes corpos métricos, na forma de lentes tabulares, sub-verticais, de coloração cinza escura a preta, onde o conjunto destes é que delimita o contorno do corpo principal mineralizado em superfície (Figura 2.2) e em seção (Figuras 2.3 e 2.4). Esse conjunto é descrito pelos técnicos da CVRD como zona brechada gossanizada (ZBG) e nele ocorrem intercalados ou interdigitados, fragmentos ou lentes de formação ferrífera bandada, rochas metasedimentares e metabásicas. Essa é a zona principal de minério e que encontra-se atualmente em fase de lavra. É muito importante ressaltar que, no trabalho de ZANG & FYFE (1993), os primeiros a descreverem o perfil supergênico na área Igarapé Bahia, esses autores

não mencionam a ocorrência de gossans nessa área, descrevendo a porção supergênica, como um todo, como um perfil laterítico.

Em relação aos aspectos texturais, as observações macro e microscópicas revelaram corpos de composição extremamente heterogênea, com inúmeros tipos de fácies podendo ser descritas, sendo que as texturas mais comuns são a brechada, cavernosa ou em *box-work* (Figura 2.14). As partes superiores são mais lixiviadas, estando essas texturas, via de regra, ausentes. Na época da última visita à área Igarapé Bahia, em março de 1995, essa zona lixiviada, no corpo principal, já havia sido toda lavrada. Em profundidade (amostras dos furos de sondagem) são comuns porções extremamente brechadas, associadas com quartzo, exibindo os mais variados padrões texturais e com rica paragênese mineralógica, que será descrita posteriormente.



Figura 2.14 - Gossan brechóide, terroso, com textura semelhante a *box-work*, constituído essencialmente de hematita, de coloração cinza-escuro a avermelhada, na cava da mina Igarapé Bahia. O mineral esbranquiçado é gibbsita, preenchendo planos de fraturas.

A observação ao microscópio petrográfico mostrou que os gossans apresentam dois padrões texturais predominantes: um maciço e outro poroso ou brechado. As porções maciças apresentam, via de regra, carácter magnético, constituídas, predominantemente, por cristais de hematita pseudomórficos segundo a magnetita, além de goethita, em menores proporções e finos cristais idiomórficos de quartzo. As porções porosas, em geral, não apresentam esse carácter magnético.

Nestas, os cristais de hematita pseudomórficos segundo a magnetita são envolvidos por plasma ferruginoso de composição goethítica. Maiores detalhes sobre essa mineralogia serão apresentados no item 2.3.

Saprólito das rochas encaixantes (MPDGS) - corresponde a um saprólito das rochas metabásicas e/ou metasedimentares, encaixantes dos corpos mineralizados, que ocorrem imersos ou interdigitados nessa matriz (Figura 2.4). Apresenta coloração vermelha escura, característica, estando a estruturação/foliação sub-vertical original ainda preservada. A espessura média varia de 30 a 40 m, passando em profundidade (observações através dos testemunhos de sondagens) para uma zona de coloração mais esverdeada, de transição para as rochas metabásicas inalteradas. São freqüentes veios lenticulares de quartzo sacaroidal, sub-horizontais e discordantes em relação a estruturação da rocha. Em porções bastante ferruginizadas destes veios, foram observadas partículas centimétricas de ouro. Restos de formações ferríferas e dos meta-arenitos encaixantes pouco intemperizados, na forma de lentes ou fragmentos centimétricos a métricos, também são observados.

Zona de sulfetos secundários ou zona de cementação e zona de sulfetos primários - Neste trabalho, o número de amostras relativos a essas duas zonas é muito pequeno, sendo as mesmas observadas apenas através dos poucos furos de sondagens profundos, existentes a época da segunda etapa de campo, em setembro de 1992. Além disso, é importante destacar que o estudo do contexto geológico e mineralizações primárias das duas áreas selecionadas não constituíram em objetivo central deste trabalho, onde as amostras coletadas nessas zonas visavam apenas a análise das partículas de ouro para comparação com aquelas da mineralização supergênica.

Segundo os técnicos da CVRD, esses furos alcançaram as duas zonas a diferentes profundidades, onde a zona de cementação deve ser pouco espessa (entre 10 e 20 m), em comparação com a espessura total do perfil gossânico, que deve atingir até 160 m. Ambas apresentam diferentes características texturais e mineralógicas, sendo caracterizadas, essencialmente pela presença de sulfetos, fosfatos e carbonatos secundários, associados aos óxidos e hidróxidos de ferro, passando, em profundidade para os sulfetos maciços ou disseminados em rochas metabásicas encaixantes ou em veios de quartzo.

2.1.3 Mineralogia

A composição mineralógica calculada para o perfil da cava da mina está apresentada na Tabela 2.1. Essa quantificação foi feita utilizando-se o programa Siroquant com os resultados da difração de raios-x, segundo a metodologia descrita no item 1.4.2. A quantidade de Al (%mol. $\text{AlO}(\text{OH})$) nas goethitas foi determinada através das equações apresentadas nos trabalhos de THIEL (1969) e SCHÜLZE (1984). Na descrição a seguir, será enfatizada a distribuição mineralógica global e quantitativa do perfil da cava da mina, enquanto que descrições pormenorizadas dos diferentes minerais descritos, inclusive aqueles relacionados às zonas de sulfetos primários e secundários, bem como das transformações mineralógicas observadas, serão apresentadas no item 2.3.

Tabela 2.1 - Composição mineralógica calculada do perfil da cava da mina Igarapé Bahia, cuja numeração e localização das amostras está apresentada na Figura 2.6.

Perfil da cava	amostra	hematita	gibbsita	caulinita	goethita	quartzo	maghemita	magnetita
Latossolos	BAH-02	20,8	6,2	54,8	12,7*	5,5	-	-
Stone-lines	BAH-05	41,8	14,3	18,2	25,7	tr	tr	-
Crosta laterítica	BAH-04	39,0	14,8	17,3	28,9**	tr	-	-
Gossan	BAH-16	75,3	4,3	-	20,4	-	tr	-
Gossan/saprólito	BAH-15	38,0	11,1	16,0	34,8	-	-	-
Saprólito	BAH-14	49,3	42,2	8,4	-	-	-	-
BIF	BAH-17	70,2	7,6	-	22,3	-	-	tr

* Al-goethita ** goethita + Al-goethita tr < 1% - não detectado

Esta composição, para os três horizontes superiores, é típica dos perfis lateríticos maduros da Amazônia, como os descritos por COSTA (1991b). Caracteriza-se por uma paragênese mineralógica simples, constituída essencialmente de hematita, goethita, gibbsita, caulinita e quartzo, mas extremamente heterogênea, em termos da proporção dessas fases, nas diferentes amostras estudadas. Os latossolos são naturalmente mais enriquecidos em caulinita, seguidos de hematita e Al-goethita, além de gibbsita e quartzo. Os teores de Al (%mol. $\text{AlO}(\text{OH})$) nas goethitas são bastante variáveis, aumentando da crosta laterítica em direção aos latossolos, alcançando até próximo de 30% na amostra 02 (Tabela 2.1). As crostas lateríticas são, simplesmente, ricas em hematita e goethita, enquanto que nos gossans a razão hematita/goethita aumenta, sensivelmente, e a goethita não apresenta alumínio em sua estrutura. A maghemita, responsável pelo carácter magnético dos gossans, aparece frequentemente em traços, nos difratogramas de raios-x, e em amostras isoladas foram

detectados ilmenita, hidróxidos de manganês e turmalina. A gibbsita associada aos gossans, descrita inclusive a nível de afloramento, na forma de venulações centimétricas ou preenchendo fraturas (vide Figura 2.14) está, aparentemente, relacionada a soluções aluminosas posteriores aos gossans, contemporâneas a implantação do sistema laterítico, e que também serão apresentadas com maiores detalhes no ítem 2.3.

2.1.4 Geoquímica

A composição química total das amostras do perfil composto da cava da mina está apresentada na Tabela 2.2. A partir desta, as seguintes observações podem ser feitas:

Tabela 2.2 - Composição química para os óxidos maiores (% em peso) do perfil da cava da mina Igarapé Bahia.

Perfil da Cava	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.	Total
latossolo 1	16,5	26,7	36,1	0,85	0,03	0,02	0,07	2,90	0,09	16,50	99,76
latossolo 2	19,4	24,9	38,8	0,28	0,02	0,01	0,08	2,90	0,08	12,82	99,29
stone-lines 5	11,6	15,8	60,0	0,56	0,02	-0,01	0,22	1,60	0,21	9,89	99,90
crosta later. 3	6,1	7,7	74,2	0,71	0,02	0,02	0,13	0,71	0,95	9,14	99,68
crosta later. 4	6,1	9,8	73,2	0,21	0,02	-0,01	0,06	0,78	0,25	8,70	99,12
crosta later. 28	14,5	13,4	63,2	0,42	0,01	0,01	0,17	1,00	0,18	6,94	99,83
crosta later. 29	10,7	17,7	59,4	0,28	0,02	0,01	0,11	1,40	0,09	10,01	99,72
crosta later. 30	6,3	17,3	63,8	0,28	0,02	-0,01	0,07	1,00	0,10	10,90	99,77
gossan 16	1,1	1,4	92,9	1,20	-0,01	-0,01	0,24	0,17	0,36	2,13	99,50
gossan 21	5,3	4,9	81,1	0,28	0,02	0,01	0,73	0,34	0,48	6,55	99,71
gossan 24	2,4	2,6	84,3	0,28	-0,01	0,03	1,50	0,15	0,66	7,47	99,39
gossan 25	1,7	2,0	88,2	0,14	-0,01	0,04	1,50	0,10	0,81	5,09	99,58
gossan 26	0,78	1,0	89,9	0,42	-0,01	-0,01	0,06	0,08	1,20	6,36	99,80
sap./gossan 15	14,1	14,5	59,6	-0,1	-0,01	-0,01	0,14	0,93	0,48	9,86	99,61
sap./gossan 19	13,6	27,1	42,6	0,42	-0,01	0,01	0,31	0,46	0,23	14,91	99,64
saprólito 11	20,3	22,2	45,8	0,21	0,02	-0,01	0,11	1,70	0,21	8,71	99,26
saprólito 14	12,7	25,7	46,4	0,28	0,04	-0,01	0,14	0,96	0,08	13,20	99,50
saprólito 18	17,4	14,9	56,3	0,35	0,02	-0,01	0,17	2,40	0,20	7,39	99,13
BIF 6	2,7	5,1	82,7	0,99	0,01	0,01	0,08	0,61	0,48	6,97	99,65
BIF 7	0,8	0,5	92,2	5,30	-0,01	-0,01	0,03	0,05	0,06	0,87	99,81
BIF 17	2,3	2,6	88,6	0,85	-0,01	-0,01	0,06	0,24	0,35	5,25	100,3

- Os números na 1ª coluna correspondem a numeração de campo das amostras.

- CaO < 0,05 ppm MgO < 0,10 P.F. - Perda ao fogo -0,01 menor que

Os resultados mostram que Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂ são os elementos mais abundantes, e juntamente com PF (perda ao fogo), compõe mais de 95% do total das análises, o que é um padrão clássico para os lateritos em geral (SCHELLMANN, 1986; COSTA, 1991b). A composição química

é bastante variável, para as diferentes amostras estudadas, refletindo a grande heterogeneidade mineralógica, anteriormente descrita. O ferro é, destacadamente, o elemento mais abundante, com teores de Fe_2O_3 extremamente elevados para a maioria das amostras do perfil, especialmente para os gossans, cujo teor médio ultrapassa 85%. Essa tendência é melhor visualizada no diagrama Fe_2O_3 - Al_2O_3 - SiO_2 da Figura 2.15, onde observa-se o forte *trend* em direção ao vértice do Fe_2O_3 . SMITH et al. (1983) e TAYLOR & THORNBUR (1992) apresentaram resultados de composições médias (elementos maiores e traço) de diferentes gossans e ironstones na Austrália, onde teores de Fe nesta ordem de grandeza não foram identificados.

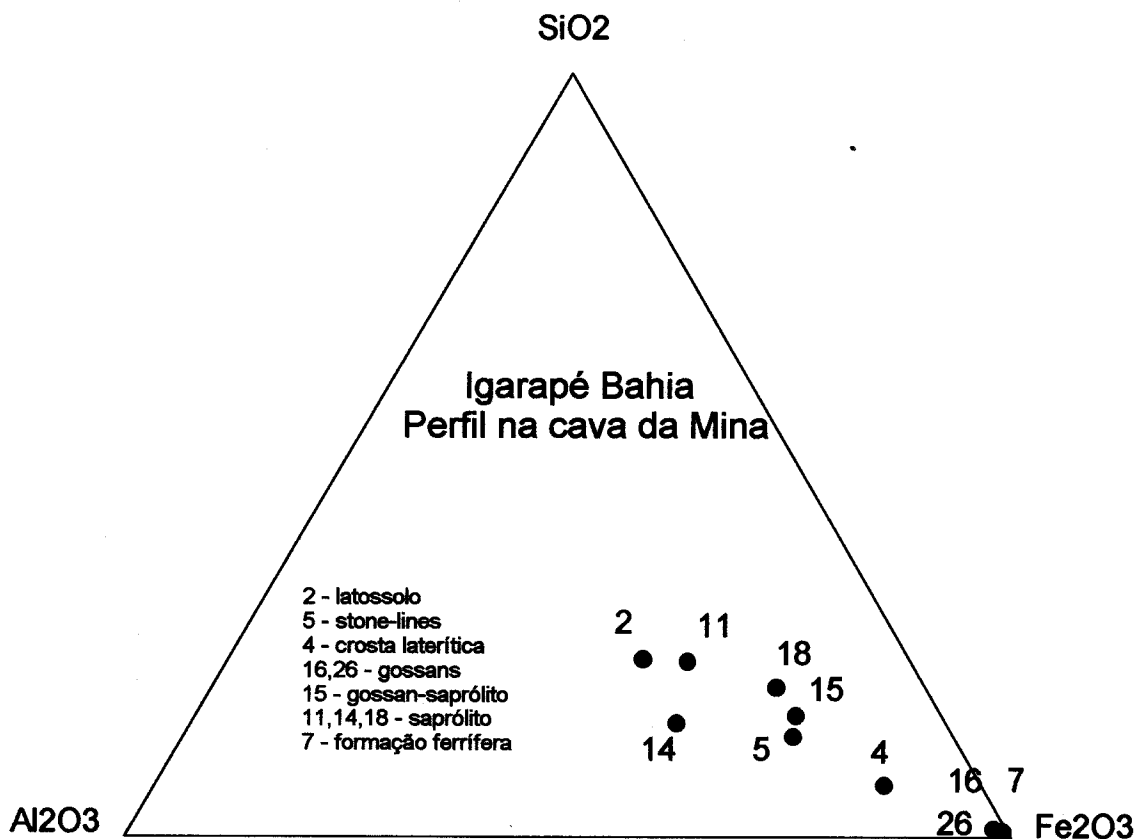


Figura 2.15 - Diagrama triangular Fe_2O_3 - Al_2O_3 - SiO_2 para as amostras do perfil composto da cava da mina Igarapé Bahia.

O alumínio é o segundo elemento mais abundante, relacionado, fundamentalmente, à caolinita e, subordinadamente, a gibbsita e Al-goethita.

Óxido de cálcio, MgO , Na_2O e K_2O apresentam-se completamente empobrecidos ao longo de todo o perfil, com a maioria dos resultados abaixo do limite inferior de detecção do método

empregado, o que também é um comportamento típico da parte superior de perfis lateríticos. Alguns gossans apresentaram teores de até 1,5 % de MnO, confirmando a presença de traços de minerais de manganês observados nos difratogramas de raios-x. Nessas amostras, o teor de K₂O, que está relacionado a esses minerais, atinge até 0,04% (Tabela 2.2).

As amostras dos saprólitos das rochas encaixantes da mineralização apresentam composição bastante homogênea, com teores médios de Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂ que confirmam o carácter aluminossilicático dessas rochas, que foram lateritizadas.

As distribuições da SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, PF, TiO₂ e P₂O₅, ao longo do perfil, são apresentadas na Figura 2.16. Com a linha tracejada nesta figura, procurou-se representar a separação entre o perfil laterítico, na parte superior, e as rochas encaixantes dos gossans, abaixo da linha. Assim, dos gossans em direção aos latossolos, observa-se um progressivo enriquecimento da SiO₂, Al₂O₃, PF, e TiO₂, com decréscimo apenas do Fe₂O₃ e P₂O₅.

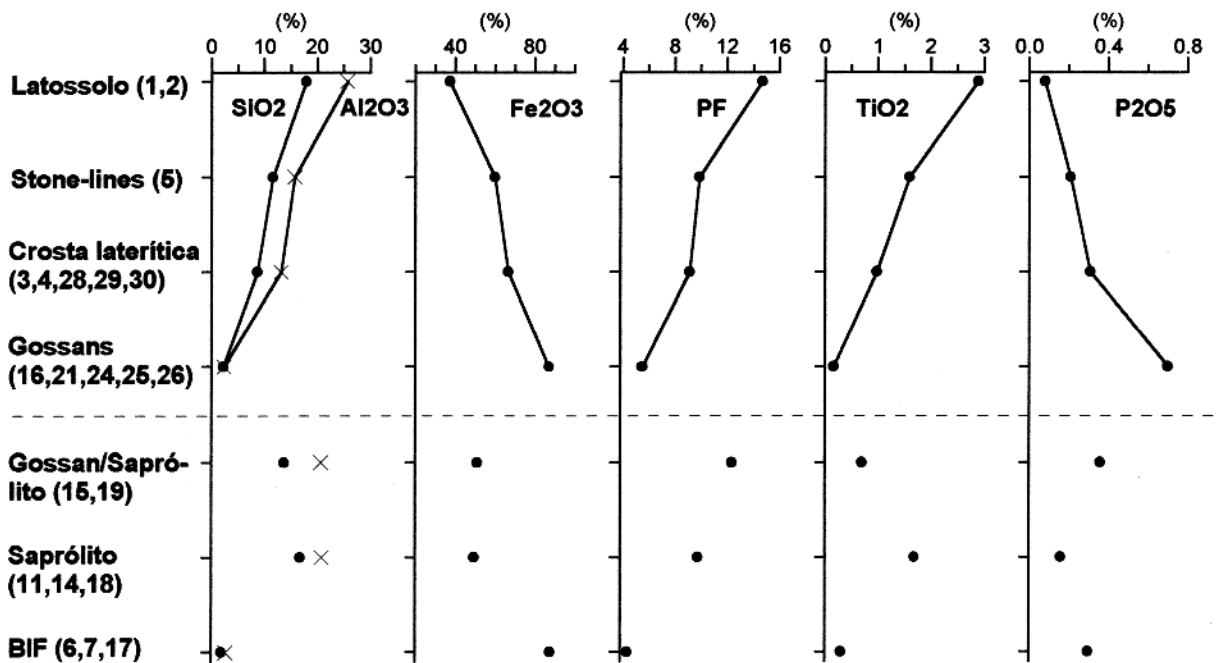


Figura 2.16 - Distribuições geoquímicas dos elementos maiores no perfil composto da cava da mina Igarapé Bahia. Os números entre parênteses correspondem a numeração de campo das amostras.

Em relação aos elementos-traço, a partir de tratamento estatístico multivariado preliminar, optou-se, para efeito de apresentação dos resultados, pela separação desses elementos em dois grupos distintos, tanto para a área Igarapé Bahia, como para a área Águas Claras:

a) Cu, Bi, Ag, B, As, Mo, Sn, Te e W, serão descritos juntamente com o Au, no item 2.3, além do fato desses elementos estarem, classicamente, associados ao ouro e serem usados como farejadores na pesquisa desse metal.

b) Pb, Ga, Ni, Cr, Mn, V, Zr, Y, serão descritos a seguir, e cujos resultados para o perfil da cava da mina estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Concentração (em ppm) de alguns elementos-traço no perfil da cava da mina Igarapé Bahia.

Perfil da Cava	Pb	Ga	Ni	Cr	Mn	V	Zr	Y
latossolo 1	48	55	44	420	580	380	780	60
latossolo 2	100	66	29	360	620	570	330	21
stone-lines 5	150	55	59	640	1700	570	170	18
crosta later. 3	220	48	134	370	1060	200	132	86
crosta later. 4	150	47	48	370	460	620	79	13
crosta later. 28	20	51	69	640	1680	400	200	67
crosta later. 29	-20	44	66	840	740	350	270	16
crosta later. 30	-20	42	32	360	350	290	186	25
gossan 16	330	8	100	190	1860	340	32	67
gossan 21	240	35	126	20	5120	176	76	106
gossan 24	640	42	186	18	11400	128	62	188
gossan 25	880	45	230	22	10400	150	54	162
gossan 26	310	10	250	160	460	170	30	30
sap./gossan 15	130	39	190	280	1050	370	76	6
sap./gossan 19	48	22	150	106	2500	210	138	28
saprólito 11	100	47	140	430	850	610	130	27
saprólito 14	110	39	100	380	1090	430	86	30
saprólito 18	430	50	63	280	1320	540	180	14
BIF 6	186	44	154	86	420	162	100	70
BIF 7	120	-5	30	150	230	15	25	-5
BIF 17	170	8	140	180	450	110	38	7
Média crustal	13	15	75	100	950	135	165	33

-5 menor que

A título de comparação, são apresentados na Tabela 2.4, teores médios para os elementos citados, para alguns gossans descritos na literatura, especialmente aqueles portadores de mineralização aurífera.

De uma maneira geral, repete-se para os elementos traços, as fortes variações de teores observadas para os elementos maiores. Esses apresentam, via de regra, valores superiores a média crustal, com exceção do Zr e Y, onde o primeiro apresenta um forte enriquecimento dos gossans em direção aos solos (Figura 2.17), característico da acumulação residual do zircão. Ainda nos gossans,

os teores médios algo elevados de Mn (5848 ppm), Pb (480 ppm) e Ni (178 ppm), podem ser considerados dentro do padrão de gossans não mineralizados nesses elementos (Tabela 2.4); e no caso do Mn, refletem as concentrações isoladas de óxidos-hidróxidos de Mn já detectadas na difração de raios-x. Os teores médios de V (193 ppm) são relativamente elevados para gossans, já que na compilação da Tabela 2.4, apenas os gossans de Bottle Creek apresentam teores médios maiores (293 ppm). A tendência de enriquecimento do V é nítida, em direção ao topo do perfil (Figura 2.17) e característica dos lateritos, em geral, atingindo até 620 ppm na crosta laterítica. Gálio e Cr apresentam, igualmente, tendência de enriquecimento para o topo do perfil, mas com teores baixos nos gossans, alguns abaixo da respectiva média crustal.

Tabela 2.4 - Concentrações médias (em ppm) de alguns elementos-traço em diferentes gossans.

Localidade		N	Pb	Ga	Ni	Cr	Mn	V	Zr	Y
Telfer ¹	MVR-W	36	320	-	240	255	-	-	-	-
	MVR-D	9	140	-	-20	265	-	-	-	-
	E Limb	16	555	-	120	185	-	-	-	-
	W Dome	9	55	-	140	90	-	-	-	-
Bottle Creek ¹	surface	12	270	-	28	125	-	95	62	-
	subsurf.	9	815	-	210	315	-	260	55	-
Mount	kaol-alunita	9	1170	-	24	50	200	-	49	-
Leyshon ¹	jarosita	7	300	-	25	39	300	-	44	-
Luiziânia ²		158	855	-	-	-	-	69	-	39
Victoria ³ (Australia)	Wilga	42	1660	-	-	-	160	-	-	-
	Currawong	63	2100	-	-	-	360	-	-	-
Arábia S ³	Al Masane	62	2500	-	20	-	5100	-	-	-
África S. ³	Letaba	50	1000	-	60	80	150	-	-	-
Irecê-BA ⁴	f. ferrugin.	7	6803	34	28	25	1100	106	56	10
	f. conglom.	2	1890	8	40	55	1300	85	97	16
Gossan Hill ⁵	gossans	109	27	7	-5	20	40	30	-	-
	pseudo-gos	257	80	1	50	20	200	30	-	-
Whim cr. ⁵		52	3000	20	50	50	80	30	-	-
Teutonic	A	52	7300	-	-	25	67	37	-	-
Bore ⁵	B	90	3200	-	25	-	140	150	-	-

¹ Gossans auríferos na Austrália (TAYLOR & THORNBUR, 1992)

² Gossans auríferos da região de Luiziânia, Goiás (OLIVEIRA et al., 1991)

³ Gossans associados a sulfetos maciços vulcanogênicos (TAYLOR & THORNBUR, 1992)

⁴ OLIVEIRA et al. (1993)

⁵ Austrália (SMITH et al., 1983)

- não analisado

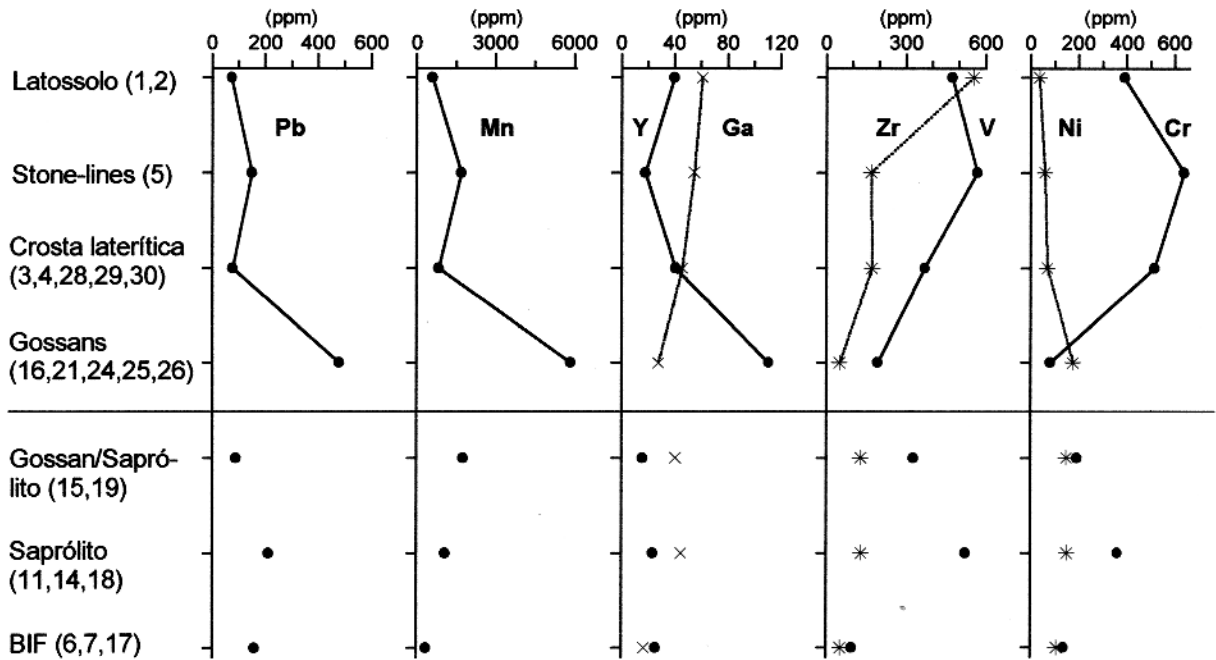


Figura 2.17 - Distribuições geoquímicas de alguns elementos-traço no perfil da cava da mina Igarapé. Bahia. Os números entre parênteses correspondem a numeração de campo das amostras.

O padrão geral da distribuição dos elementos maiores e traço, seus teores médios, assim como as transformações mineralógicas descritas, anteriormente, para esse perfil, apontam para uma seqüência de evolução laterítica, dos gossans para os latossolos. Dentro desse esquema, os latossolos seriam residuais e formados a partir do intemperismo das crostas lateríticas, e estas, teriam se formado a partir dos gossans pré-existentes. Os gossans atuaram, dessa forma, como a rocha mãe do perfil laterítico superimposto. Esses processos foram estudados com maior detalhe por HORBE (1995), nesta área e outros perfis lateríticos da Amazônia, com ênfase para os processos pedogenéticos de transformação das crostas lateríticas em latossolos.

2.2 ÁGUAS CLARAS

2.2.1 Características gerais

A área Águas Claras está localizada a cerca de 40 km a sudeste da área Igarapé Bahia e compreende vários corpos tabulares, subverticais — gossans — semelhantes ao corpo principal da área anterior, mas de menor possância (em geral poucos metros de largura) e representados, esquematicamente, no mapa da Figura 2.18.

A área apresenta um relevo bastante acidentado, e com um único remanescente de platô laterítico a uma altitude de 640 m, na porção sudeste da Figura 2.18. Em torno desse platô, ocorrem crostas lateríticas e gossans bastante desmantelados, via de regra na forma de espessos colúvios. No restante da área foram mapeados pela Docegeo, arenitos e siltitos da Formação Águas Claras e saprólitos de rochas metabásicas e gabros hidrotermalizados, que constituem diques ou soleiras intrusivos na seqüência sedimentar. Os corpos mineralizados apresentam-se encaixados nesses arenitos, ou no contato desses com as rochas metabásicas, e apresentam um nítido controle estrutural por zonas de cisalhamento (SOARES et al., 1994). Ocorrem freqüentemente associados a veios de quartzo bastante fraturados e destacam-se no relevo por formarem verdadeiras cristas, com a típica morfologia de chapéu-de-ferro, e por não apresentarem cobertura de latossolos.

Diversos furos e trincheiras foram realizados pela Docegeo, onde aqueles selecionados para este trabalho estão apresentados no mapa da Figura 2.18. A amostragem, nesta área, ficou restrita ao material superficial aflorante ou dentro das trincheiras e a algumas amostras de testemunhos de sondagens. A seguir serão apresentadas várias seções e perfis geológicos, na tentativa de melhor visualizar a disposição espacial dos corpos mineralizados e de reconstituir o perfil laterito-gossânico, a semelhança do que foi feito na área Igarapé Bahia.

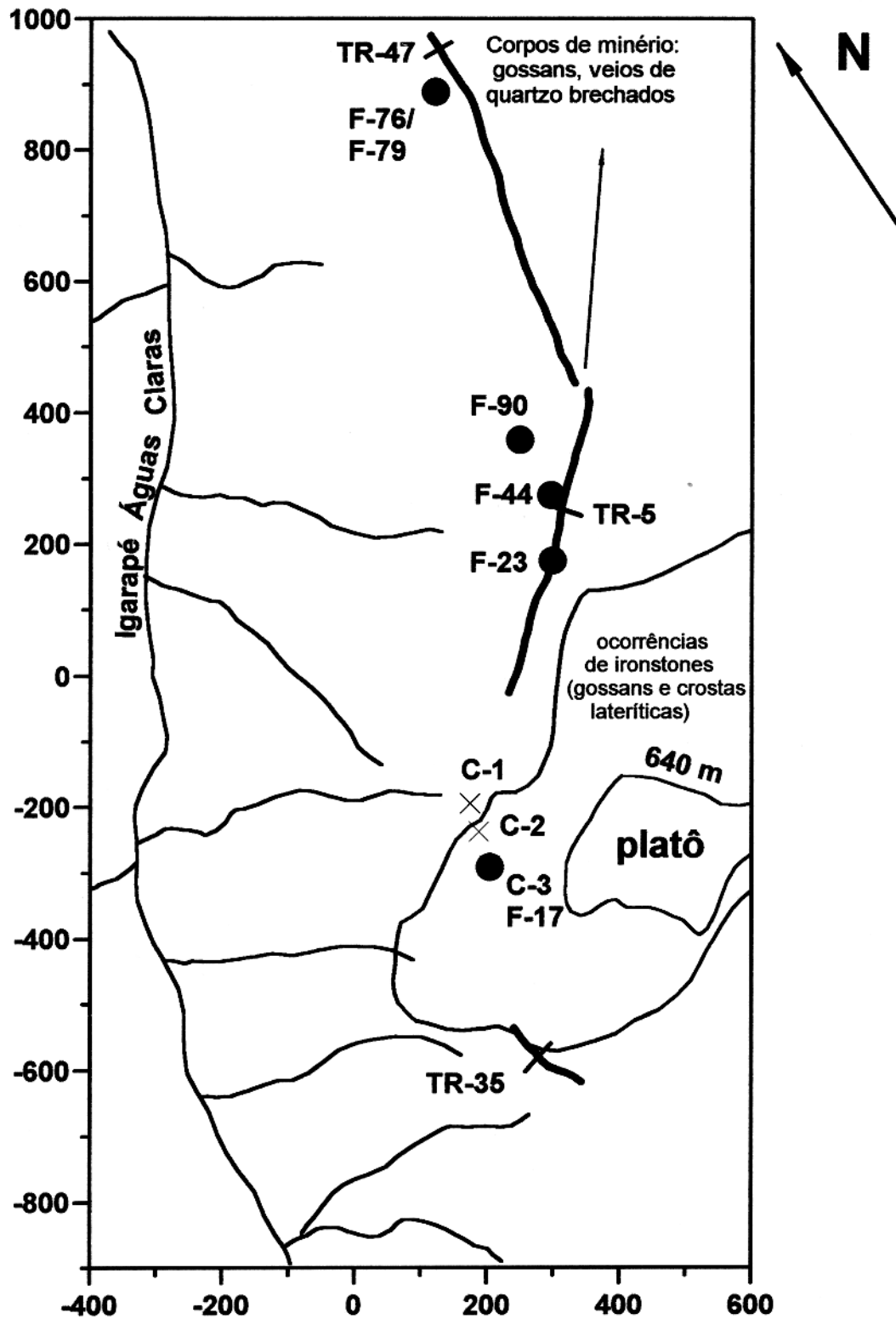


Figura 2.18 - Mapa de localização dos principais corpos mineralizados na área Águas Claras, com a localização dos furos de sondagem, trincheiras e amostras estudadas (Fonte: Docegeo).

A Figura 2.19 apresenta uma seção geológica obtida a partir da interpretação dos furos 76 e 79 (Figura 2.18). Nesta, é possível uma melhor visualização de um dos corpos mineralizados na área Águas Claras, e a sua relação com as encaixantes. O furo 79 atingiu a zona de sulfetos maciços, a uma profundidade de, aproximadamente 70 m, enquanto o furo 76 cortou a zona de sulfetos secundários.

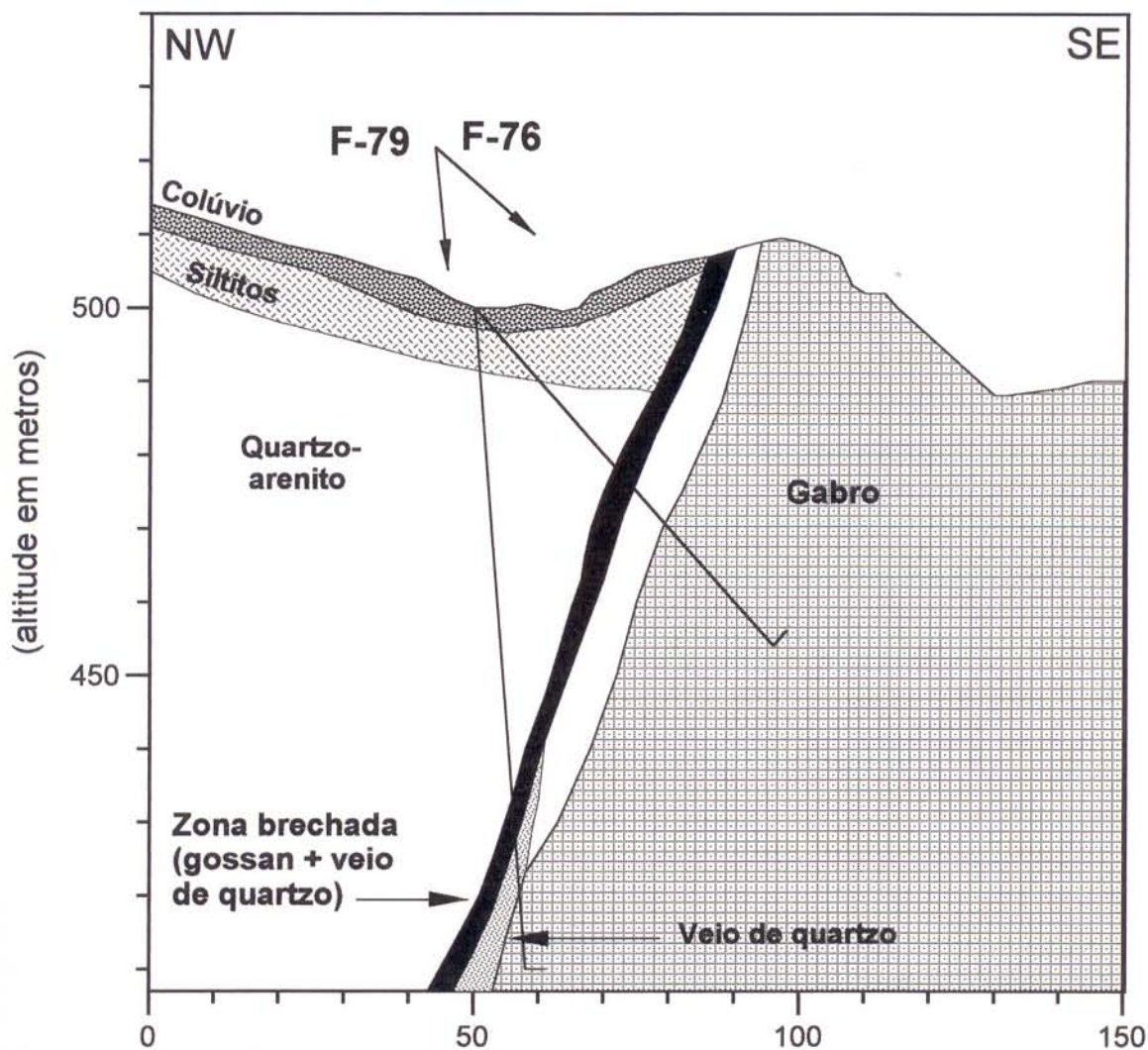


Figura 2.19 - Seção geológica dos furos 76 e 79, fornecida pela Docegeo, na área Águas Claras.

Na Figura 2.20 é apresentada a parte superior de um dos perfis mais completos da área Águas Claras, o do furo 23 (vertical), cuja mineralogia e geoquímica serão apresentados em detalhe a seguir.

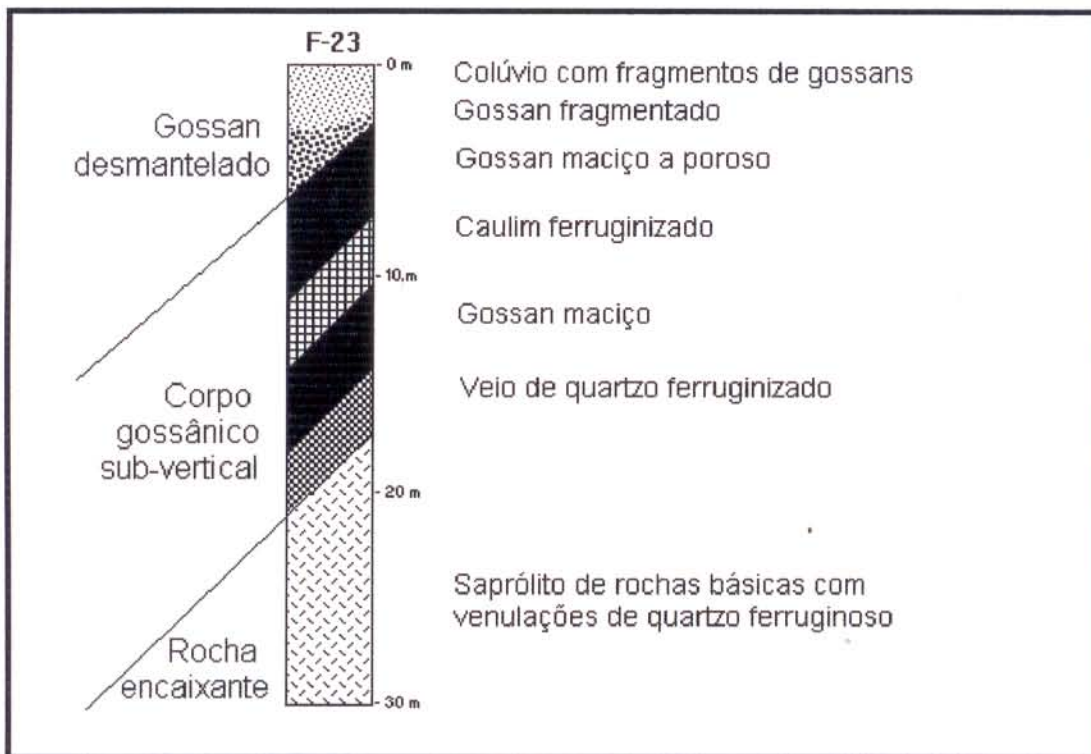


Figura 2.20 - Estruturação geral do perfil gossânico do furo 23 (localizado na Figura 2.18) na área Águas Claras.

Esse perfil foi descrito neste trabalho, como um corpo gossânico, subvertical, heterogêneo, representado por fácies porosos à maciços, com intercalações de lentes ou venulações de caulim e quartzo hidrotermais. A porção superior do perfil é representada pelo intemperismo ou dismantelamento dos gossans e formação de colúvios, mas sem um perfil laterítico com crosta ferruginosa e latossolos, como na área Igarapé Bahia. O saprólito das rochas metabásicas, encaixantes desse corpo, apresenta coloração avermelhada, com a foliação preservada, em contato abrupto com o gossan. A cerca de 80 metros observa-se a transição deste saprólito para uma rocha metamorfizada, de coloração esverdeada, rica em clorita.

2.2.2 O perfil laterito-gossânico

Latossolos - colúvios - Os latossolos nas regiões próximas às trincheiras e perfis estudados são em geral ausentes, sendo mais freqüente a ocorrência de colúvios, como o da Figura 2.20. Esses são, via de regra, espessos, ricos em fragmentos das rochas encaixantes e, especialmente, dos gossans

subjacentes, mineralizados a ouro. São de coloração amarelada a avermelhada, variando bastante de composição de acordo com a rocha de onde eles derivaram.

Crosta ferruginosa laterítica - Crostas ferruginosas lateríticas como as descritas na área Igarapé Bahia são ausentes na maioria dos perfis ou trincheiras relacionados aos corpos mineralizados da área Águas Claras. A única ocorrência dessas crostas foi descrita às proximidades de um remanescente de platô laterítico localizado na porção sudeste da área de trabalho (Figura. 2.18), onde três amostras *in situ* foram coletadas, segundo a Figura 2.21.

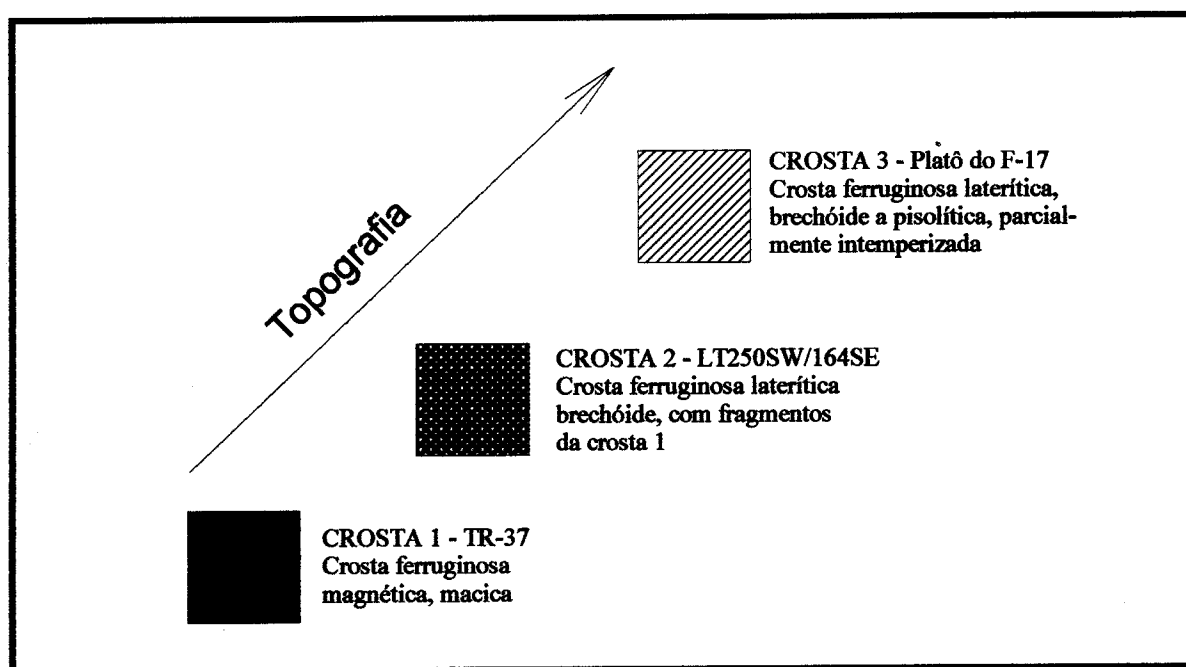


Figura 2.21 - Crostas ferruginosas do platô do F-17, Águas Claras, localizadas na Figura 2.18.

A crosta 1 é maciça, apresenta carácter magnético, com hematita dominante, interpretada como um gossan, ocorrendo na trincheira 37. As crostas 2 e 3 foram amostradas na encosta, em direção ao topo do platô, e são crostas lateríticas típicas, com texturas brechóide a cavernosa, e com fragmentos pisolíticos, centimétricos, de composição hematítica, provavelmente derivados da crosta 1, em uma situação de desenvolvimento de perfil laterítico sobre gossans semelhante a área Igarapé Bahia.

Gossans - Os gossans, na área Águas Claras, constituem vários corpos ferruginosos, tabulares, sub-verticais e de espessura métrica (Figuras 2.18 e 2.19), associados ou intercalados com veios de quartzo, via de regra, aflorantes e destacando-se na morfologia como um relevo positivo. Na Figura 2.22 está apresentada a parede noroeste da trincheira 35, perpendicular a um desses corpos mineralizados, e ilustrando, em superfície, a distribuição espacial desses gossans, a relação de contato com as rochas metasedimentares e com os espessos colúvios ricos em fragmentos desses corpos.

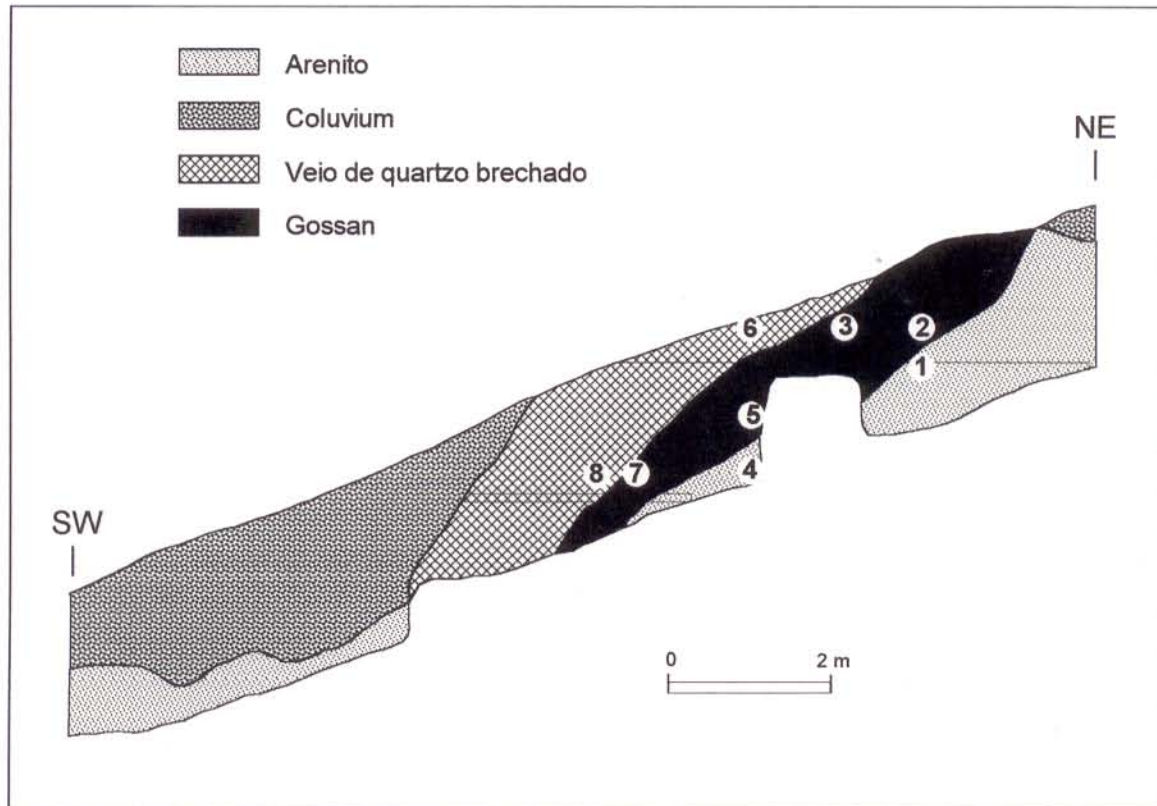


Figura 2.22 - Seção geológica da parede NW da trincheira 35, na área Águas Claras fornecida pela Docegeo, e localizada na Figura 2.18. Os números na Figura correspondem a amostragem realizada neste trabalho.

A variedade textural dos gossans é grande, ocorrendo porções maciças de coloração cinza-escuro (hematíticas), como as da área Igarapé Bahia (Figura 2.14), a marrom-escuro (goethíticas), dominantes, com porções mais terrosas e pulverulentas — em geral de carácter não-magnético — a brechadas, com intercalações de vênulas de quartzo bastante fraturado ou sacaróide. São comuns texturas tipo *box-work*, pseudo-bandamentos e pseudomorfos cúbicos de goethita, relictos dos sulfetos primários.

Em profundidade, alguns furos atingiram níveis métricos de caulim hidrotermal (Figura 2.23), como o do furo 23, provavelmente na forma de lentes, intercalados aos gossans.

Merece destaque, a ocorrência de agregados maciços, centimétricos de wolframita nos gossans da trincheira 35, e que serão descritos em detalhe no item 2.3.



Figura 2.23 - Níveis métricos de caulim hidrotermal intercalados aos gossans em diferentes testemunhos de sondagem na área Águas Claras.

Zona de sulfetos primários - Dos furos de sondagem selecionados para este trabalho, poucos haviam atingido a zona de sulfetos primários, à época dos trabalhos de campo em 1992. Em profundidade, observou-se o domínio da hematita compacta a terrosa (gossans), com a presença de níveis ricos em malaquita, azurita, crisocola, e cuprita, além de porções bastante caulinizadas (furos 76 e 90). Zonas expressivas de sulfetos maciços e sulfetos disseminados em veios de quartzo foram descritas no furo 79 (Figuras 2.18 e 2.19), descritos anteriormente, destacando-se a calcopirita abundante, além de pirita, pirrotita, magnetita, wolframita e turmalina. Venulações dessas porções sulfetadas atingem as rochas básicas encaixantes, que mostram um intenso hidrotermalismo (caulinização e cloritização). Na passagem dos gossans para a zona de sulfetos primários, não foi observado, nos furos estudados, o desenvolvimento de uma zona de sulfetos secundários ou de cementação expressiva, sendo descritos, localizadamente, bornita, calcocita e covelita.

2.2.3 Mineralogia

A composição mineralógica calculada para o perfil do furo 23 está apresentada na Tabela 2.5, onde a quantificação também foi feita utilizando-se o programa Siroquant, segundo a metodologia descrita no item 1.3.2.

Tabela 2.5 - Composição mineralógica calculada do perfil laterito-gossânico do F-23, Águas Claras.

ACL-F-23		prof. (m)	hematita	goethita	caulinita	quartzo	maghemita	turmalina
Colúvio	(1)	1,2	32,0	14,3	30,3	6,6	-	16,8
Gossan fragmentado	(2)	7,0	42,5	56,0	-	1,5	-	-
Gossan maciço	(3)	8,7	80,0	17,7	-	2,2	tr	-
Caulim ferruginoso	(4)	13,6	45,9	10,9	40,4	2,7	-	-
Gossan maciço	(5)	16,0	54,9	tr	-	2,1	43	-
Gossan/veio quartzo	(6)	19,0	30,7	23,2	-	46,1	-	-
Saprólito	(8)	27,0	31,0	18,2	48,5	2,2	-	-

Os números entre parênteses correspondem as numerações de campo das amostras. - não detectado

A composição geral dessas amostras é bastante semelhante a composição daquelas da área Igarapé Bahia, com a grande diferença da ausência de Al-goethita e gibbsita em todas as amostras estudadas, caracterizando, fundamentalmente, a ausência do perfil laterítico superimposto, como acontece na área anterior. Vale ressaltar a diferença entre as duas amostras de gossan maciço, que apesar de texturalmente semelhantes, a amostra 5 apresenta 43% de maghemita enquanto a amostra 3 é muito rica em hematita (80%). A caulinita é totalmente ausente nos gossans, onde a amostra 4 representa, unicamente, a presença de lentes desse mineral anteriormente descritas e intercaladas nos gossans. Outro fato interessante é a presença de turmalina em grande concentrações no colúvio (16,8%), acumulando-se residualmente nesse horizonte. Informações mais recentes de novos furos de sondagem da CVRD (Geol. José Luzimar do Rego, informação verbal), dão conta de níveis turmaliníferos preenchendo drusas ou cavidades, na zona mineralizada.

2.2.4 Geoquímica

Em relação a composição química, as diferentes amostras de gossans do furo 23 (2, 3 e 5) apresentam resultados para os elementos maiores (Tabela 2.6), semelhantes aos gossans da área Igarapé Bahia, com teores bastante elevados de Fe_2O_3 , em torno de 90,0%, baixos teores de SiO_2 e Al_2O_3 , sendo que os resultados de PF são relativamente mais altos, refletindo maior quantidade de goethita. A amostra 5 (gossan maciço) apresenta o maior teor de FeO (3,6%) dessas amostras, relacionado a presença de maghemita.

Tabela 2.6 - Composição química para os óxidos maiores (em %) do perfil do F-23, Águas Claras.

ACL-F-23	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	NaO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.	Total
colúvio (1)	19,2	13,7	55,9	0,85	0,09	0,22	0,16	0,04	0,42	0,42	7,67	98,67
gossan poroso(2)	2,4	1,5	87,7	0,35	-0,05	-0,10	0,01	-0,01	-0,05	0,43	6,52	98,91
gossan maciço(3)	2,3	1,3	93,4	0,35	-0,05	-0,10	0,02	-0,01	-0,05	0,23	2,04	99,64
caulim ferrug (4)	22,1	14,6	54,1	0,21	-0,05	-0,10	0,03	0,02	0,28	0,09	7,96	99,39
gossan maciço(5)	2,1	0,7	92,3	3,60	-0,05	-0,10	-0,01	-0,01	-0,05	0,07	0,76	99,53
goss/veio qtz (6)	44,1	3,2	47,9	0,35	-0,05	-0,10	0,02	0,02	0,06	0,21	3,87	99,73
saprólito (8)	26,9	19,6	40,9	0,14	-0,05	-0,10	0,01	0,18	1,10	0,06	10,25	99,14

P.F. - Perda ao fogo -0,05 - abaixo do limite de detecção

Assim como na área Igarapé Bahia, CaO, MgO, Na₂O e K₂O também apresentam-se completamente empobrecidos ao longo de todo o perfil, com teores acima do limite de detecção apenas no saprólito das encaixantes (amostra 8) e nos colúvios (amostra 1), relacionado à presença de altas concentrações de turmalina.

Na distribuição vertical desses elementos apresentada na Figura 2.24, apenas para as três amostras superiores pode-se tecer comentários em relação ao enriquecimento de SiO₂, Al₂O₃, PF e P₂O₅, bem como do decréscimo de Fe₂O₃ para o topo do perfil, à semelhança do que foi descrito para o perfil da área Igarapé Bahia.

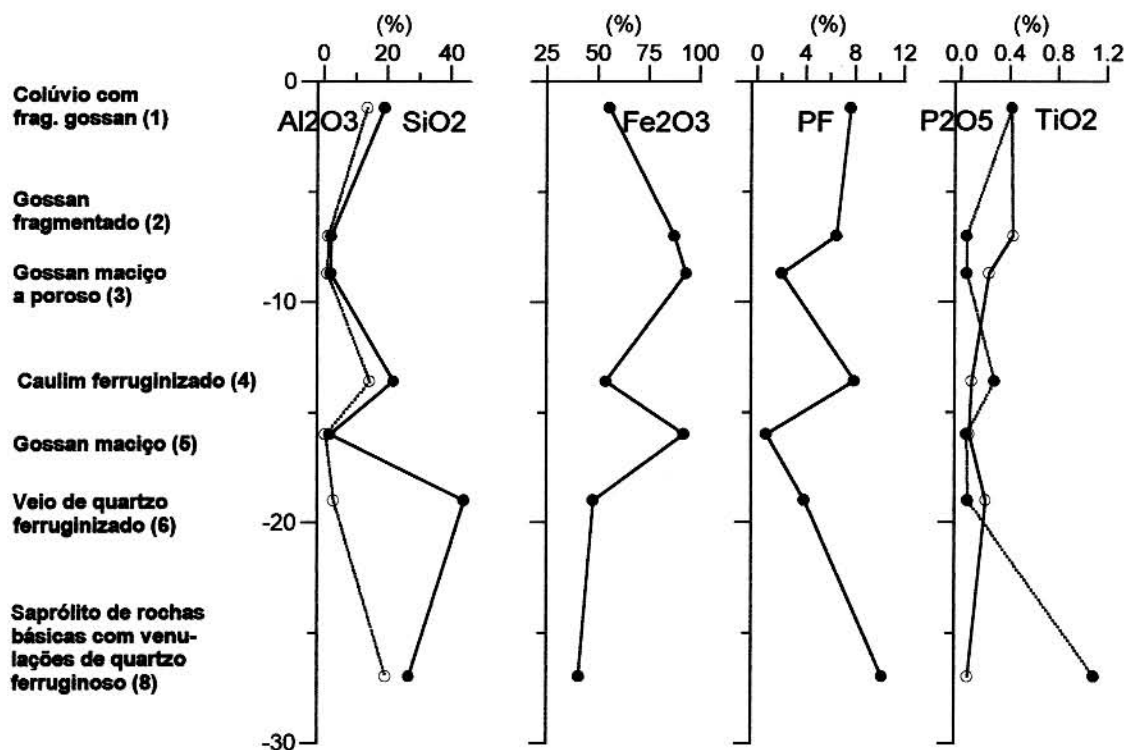


Figura 2.24 - Distribuições geoquímicas dos elementos maiores no perfil do furo 23, Águas Claras. Os números entre parênteses correspondem a numeração de campo das amostras.

O *trend* ferruginoso observado na Figura 2.24, em direção aos gossans, é melhor visualizado no diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ da Figura 2.25. Esse padrão pode ser interpretado de duas maneiras: (1) como representativo do início da implantação de um perfil laterítico sobre os gossans; (2) ou da existência anterior de um perfil desta natureza, correlacionado àquele da área Igarapé Bahia, e que agora encontra-se truncado.

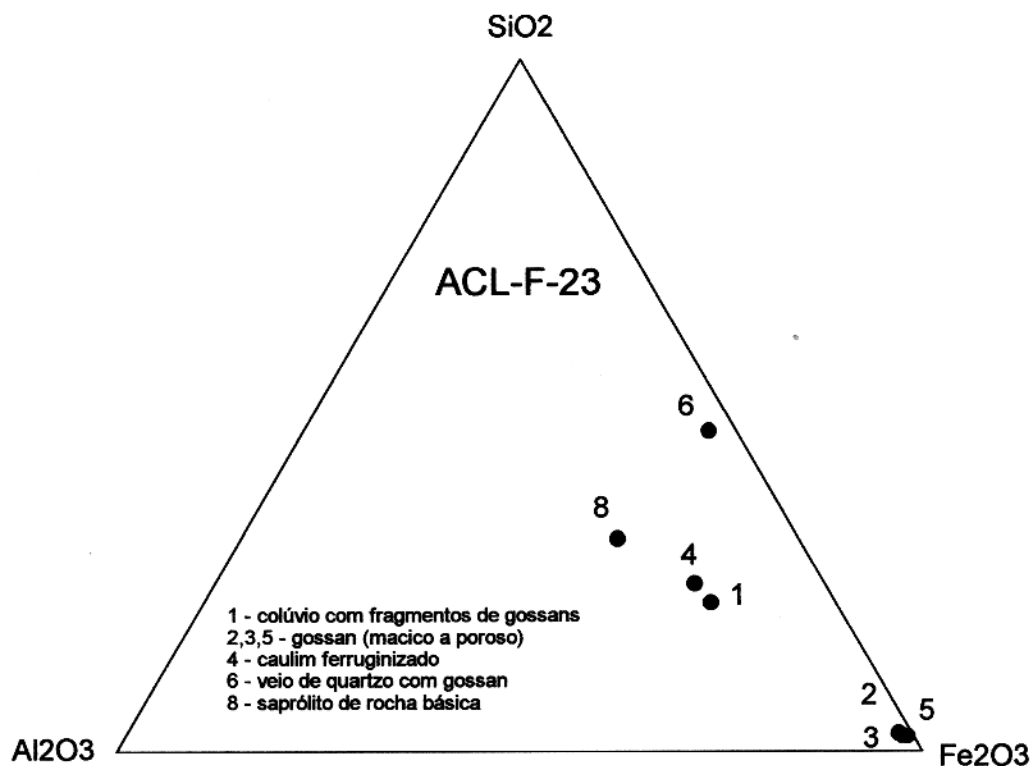


Figura 2.25 - Diagrama triangular $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ para as amostras do perfil do F-23.

Os teores dos elementos Pb, Ga, Ni, Cr, Mn, V, Zr e Y e as respectivas distribuições no perfil são apresentados na Tabela 2.7 e na Figura 2.26, respectivamente. Desses, Ni, Mn, Zr e Y apresentam, para todas as amostras do perfil, resultados abaixo da média crustal. A maioria dos elementos apresenta tendência de enriquecimento no topo do perfil, do gossan maciço (amostra 3), em direção aos colúvios (amostra 1). Ao contrário da área Igarapé Bahia, o vanádio apresenta-se bastante empobrecido nos gossans, apresentando maiores teores no saprólito (420 ppm) e nos colúvios (410 ppm), enquanto o Cr apresenta valores bem mais elevados, em comparação com a área anterior. Já o Pb apresenta teores maiores do que os gossans da área Igarapé Bahia, alcançando os valores mais elevados de 770 ppm nos colúvios, onde a goethita é certamente o mineral incorporador deste e da maioria dos outros elementos-traço.

Tabela 2.7 - Concentrações de alguns elementos-traço (em ppm) no perfil do F-23, Águas Claras.

ACL-F-23	Prof.	Pb	Ga	Ni	Cr	Mn	V	Zr	Y
colúvio (1)	1,2	770	70	48	390	310	410	86	14
gossan poroso (2)	7,0	680	8	40	150	480	83	26	13
gossan maciço (3)	8,7	380	12	19	150	530	67	28	15
caulim ferrug. (4)	13,6	210	70	54	220	73	120	120	12
gossan maciço (5)	16,0	130	10	20	140	770	11	26	6
gossan/veio qtz (6)	19,0	330	20	30	180	300	260	26	11
saprólito (8)	27,0	90	48	67	710	48	420	61	11
Média crustal		13	15	75	100	950	135	165	33

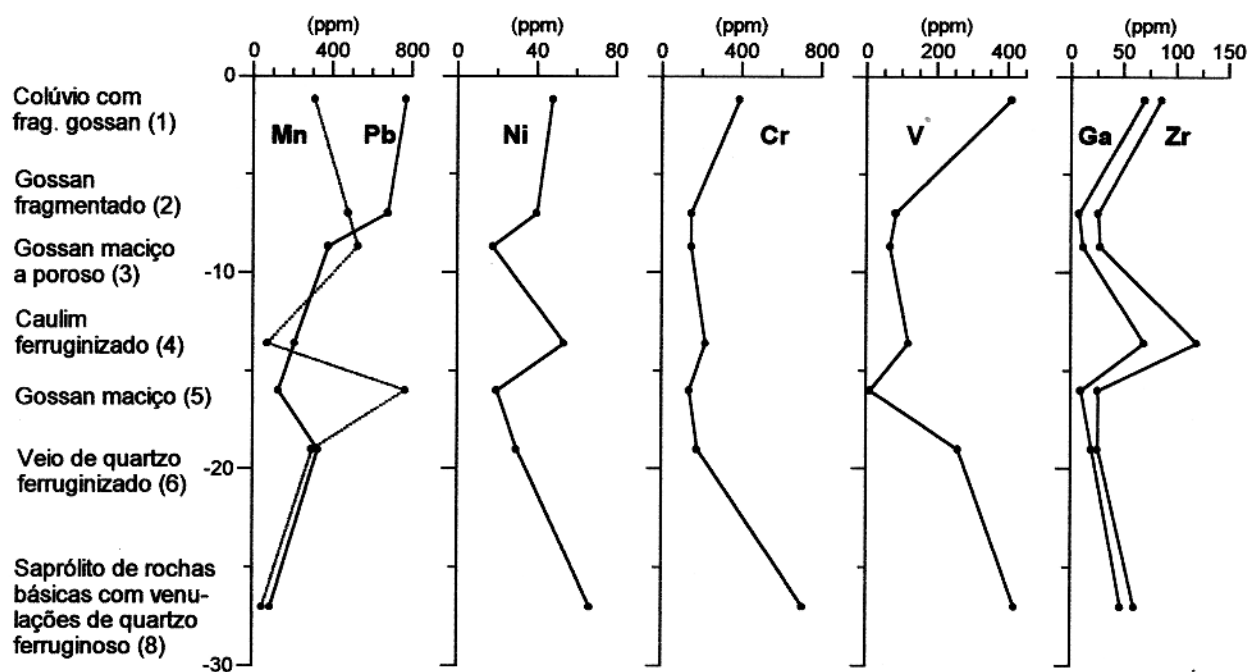


Figura 2.26 - Distribuições geoquímicas de alguns elementos-traço no perfil do F-23, Águas Claras.

Em resumo, conclui-se que os resultados químicos são, em grande parte, corroborados pelos resultados mineralógicos, destacando-se o carácter extremamente ferruginoso dos gossans. As grandes variações químicas e mineralógicas observadas, refletem, tão somente, a grande heterogeneidade e irregularidade dos corpos primários sulfetados.

Em relação aos elevados teores de maghemita descritos em intervalos do furo 23, esses podem estar relacionados a presença, originalmente, de grandes quantidades de magnetita, na forma de corpos ou lentes de *ironstones* oxidados intercalados aos gossans. Em Tennant Creek, na

Austrália, STOLZ et al. (1994) descreveram uma situação semelhante, onde os *ironstones* não-oxidados são ricos em magnetita, quartzo e clorita, estão mineralizados a Cu-Au-Bi e apresentam poucos sulfetos associados. Em superfície, esses corpos são constituídos, essencialmente, de hematita, com menores quantidades de quartzo, goethita, argilas e magnetita reliquiar.

Os gossans da área Águas Claras apresentam como principais diferenças em relação a área Igarapé Bahia: a possança (corpos menores) freqüentemente associados a veios de quartzo sacaróide; a composição mineralógica mais goethítica; e fundamentalmente, a ausência de um perfil laterítico superimposto, com crosta ferruginosa e latossolos. Admite-se, preliminarmente, a existência anterior de uma cobertura laterítica, que foi erodida, e deu origem aos espessos colúvios existentes na área, ricos em fragmentos de gossans, e conseqüentemente, mineralizados em ouro.

2.3 MICROMORFOLOGIA E QUÍMICA MINERAL

2.3.1 Apresentação

O objetivo deste capítulo é descrever aspectos micromorfológicos e geoquímicos e em parte, cristaloquímicos, das principais fases minerais que ocorrem nos perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras, informações essas obtidas a partir dos estudos realizados com a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-SED) e Microsonda Eletrônica. Devido a importância do ouro no escopo deste trabalho, o mesmo será descrito, separadamente, no item 2.4.

Na Tabela 2.8 são apresentados todos os minerais encontrados/descritos nas amostras estudadas nas áreas em questão, e a sua situação no perfil. A descrição que se segue, diz respeito àquelas fases mais abundantes, onde foi possível tecer maiores considerações, envolvendo aspectos de formas de ocorrência, relações de contato, granulação e abundância.

Tabela 2.8 - Minerais descritos nas áreas Igarapé Bahia e Águas Claras

Mineral	Posição no perfil	Mineral	Posição no perfil
Pirita	P	Monazita	P,G,L
Calcopirita	P	Ilmenita	P,G,L
Arsenopirita	P	caulinita	P,G,L
Cobaltita	P	Malaquita	G
Pirrotita	P	Azurita	G
Galena	P	Crisocola	G
Molibdenita	P	Cu nativo	G
Teluretos de Ag,Bi,Pb	P	Cuprita	G
Bi nativo	P	ETR-Fosfato/sulfato	G
Magnetita	P	Hematita	G,L
Clorita	P	Maghemita	G,L
Uraninita	P	Goethita	G,L
Au/electrum	P,G,L	Al-goethita	L
Ferberita	P,G,L	Gibbsita	G,L
Dravita	P,G,L	Anatásio	L
Quartzo	P,G,L	OH de Mn	G,L
Cassiterita	P,G,L		

P - Zona de Sulfetos Primários

G - Gossans

L - Crosta laterítica e latossolos

2.3.2 Sulfetos primários

Calcopirita - É o sulfeto de cobre mais abundante nas porções mineralizadas primárias, em ambas as áreas. Ocorre em granulação fina a grosseira, na forma maciça, disseminada ou preenchendo fraturas e vênulas, essas últimas formas, normalmente, inclusas na pirita. A calcopirita apresenta composição química próxima à da teórica (Tabela 2.9). Dentre os elementos-traço analisados foram detectados As, Co e Pb, além de Au e Ag em pontos isolados. Cristais reliquiares de calcopirita foram identificados nas crostas lateríticas, como parte dos núcleos de concreções ferruginosas (Figura 2.27). A análise por EDS obtida neste ponto também indicou composição próxima da calcopirita teórica.

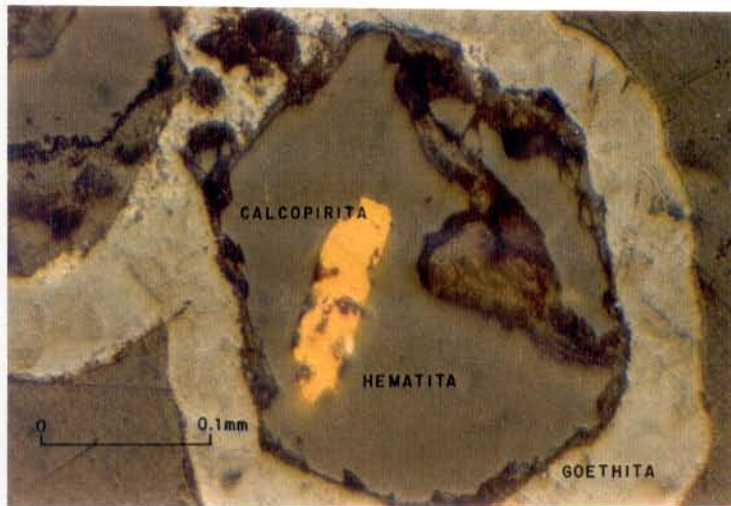


Figura 2.27 - Cristal sub-prismático de calcopirita fotografado ao microscópio petrográfico (nicóis //), reliquiar no núcleo de concreções ferruginosas, na amostra BF-888 (Águas Claras), da Docegeo.

Pirita - É o segundo sulfeto mais abundante, ocorrendo também como massas irregulares, de granulação fina a grosseira. O único ponto de análise deste mineral, por microsonda eletrônica, em cristais junto a calcopirita, é apresentado na Tabela 2.9, cujo resultado também se aproxima da pirita teórica, com pequenos teores de Cu.

Arsenopirita - Menos abundante que a pirita e a calcopirita, ocorre em granulações fina-grosseira, hábitos irregulares e freqüentemente inclusa na calcopirita. Inclusões de Au (electrum) também são comuns.

Cobaltita - Ocorre em granulações finas, mas em cristais idiomórficos, de hábito tetartoidal característico (Figura 2.28), normalmente inclusos na calcopirita.

Tabela 2.9 - Composição química dos sulfetos de cobre no corpo sulfetado do furo 79, Águas Claras, por microsonda eletrônica.

(%)	1	2	3	4	5	média	6
As	0,046	0,081	0,095	0,044	0,082	0,070	0,047
Fe	27,850	28,176	28,202	28,187	28,596	28,202	45,551
Zn	0,008	-	0,007	-	0,030	0,009	0,036
Cu	35,079	36,181	34,989	35,191	35,636	34,415	0,139
Se	-	-	-	-	-	-	0,057
Ni	-	0,019	0,023	0,018	0,008	0,014	0,044
Co	0,018	0,042	0,025	0,046	0,018	0,030	0,025
S	31,080	34,194	31,171	31,019	31,215	31,736	52,835
Ag	0,015	-	-	-	0,023	0,008	-
Au	-	0,025	-	0,109	-	0,027	-
Sb	-	-	-	0,035	-	0,007	-
Pb	0,063	0,046	-	0,080	0,019	0,042	-
Sn	-	0,010	-	-	-	0,002	-
Te	0,014	-	-	0,063	-	0,015	0,021

1 a 5 - calcopirita - calcopirita teórica: Cu:34,6; Fe:30,4; S:35,0 : $Cu_{0,98}Fe_{0,93}(S_{0,91})_2$

6 - pirita - pirita teórica: Fe:46,6; S:53,4 : $Fe_{0,98}(S_{0,99})_2$

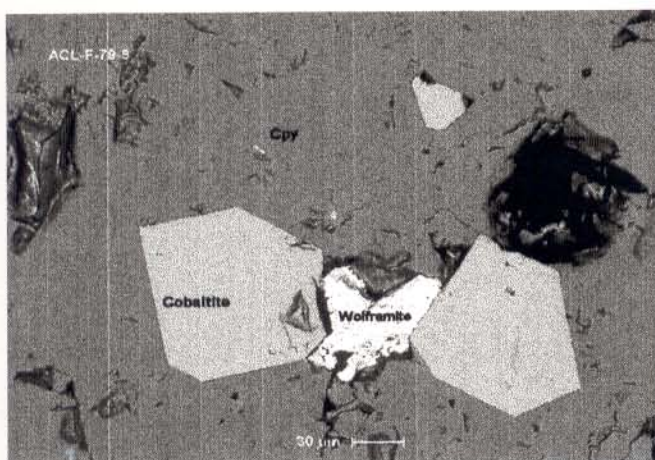


Figura 2.28 - Cristais tetartoidais de cobaltita inclusos na pirita, ACL-F-79 (MEV).

Em todos os sulfetos descritos anteriormente foram observadas e analisadas partículas de ouro de diferentes composições, o que será apresentado no item 2.4. Outros sulfetos como a pirrotita, galena e molibdenita também foram identificados, normalmente em pequenas quantidades, de granulação bastante fina e inclusos nos outros sulfetos mais abundantes (calcopirita e pirita).

2.3.3 Teluretos

Uma grande quantidade de teluretos de Ag, Bi e Pb, foi identificada na zona de sulfetos primários da área Águas Claras, normalmente associados ao ouro. Ocorrem, via de regra, na forma de pequenas pontuações, inclusos ou preenchendo microfraturas nos sulfetos, principalmente na

cobaltita (Figuras 2.29 a 2.31). A análise semi-quantitativa dos diferentes espectros de EDS revelou diferentes razões de Te/Ag e Te/Bi, podendo tratar-se de diferentes ligas, do tipo: hessita (Ag_2Te), empresita (AgTe), tetradimita ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$), telurobismutita (Bi_2Te_3), dentre outros. Raros e diminutos cristais de bismuto nativo ($< 5\mu\text{m}$) foram identificados, inclusos na pirita (Figura 2.32).

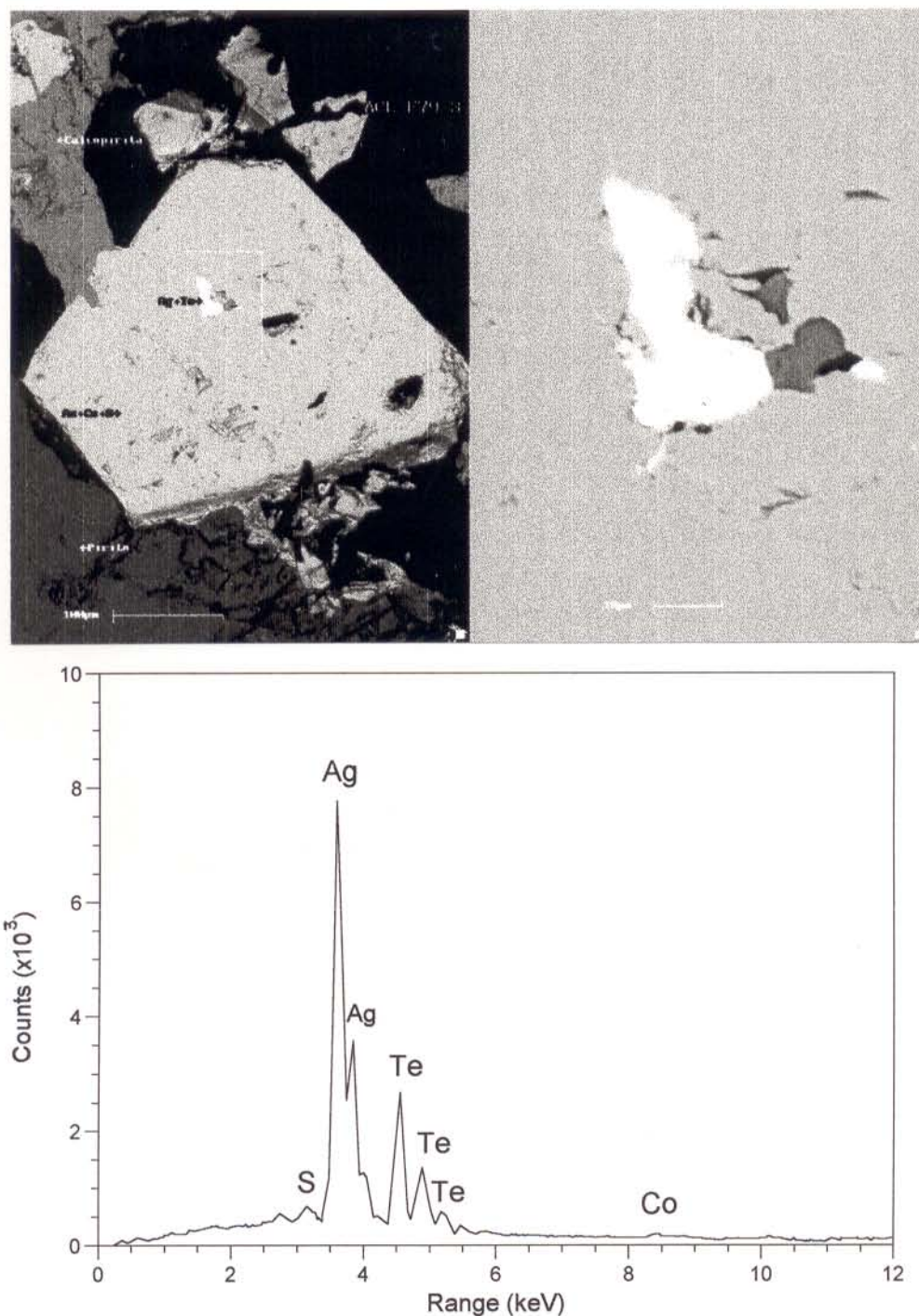


Figura 2.29 - Fotografia ao Microscópio Eletrônico de Varredura de cristal de AgTe incluído na cobaltita e espectro de EDS correspondente (ACL-F-79).

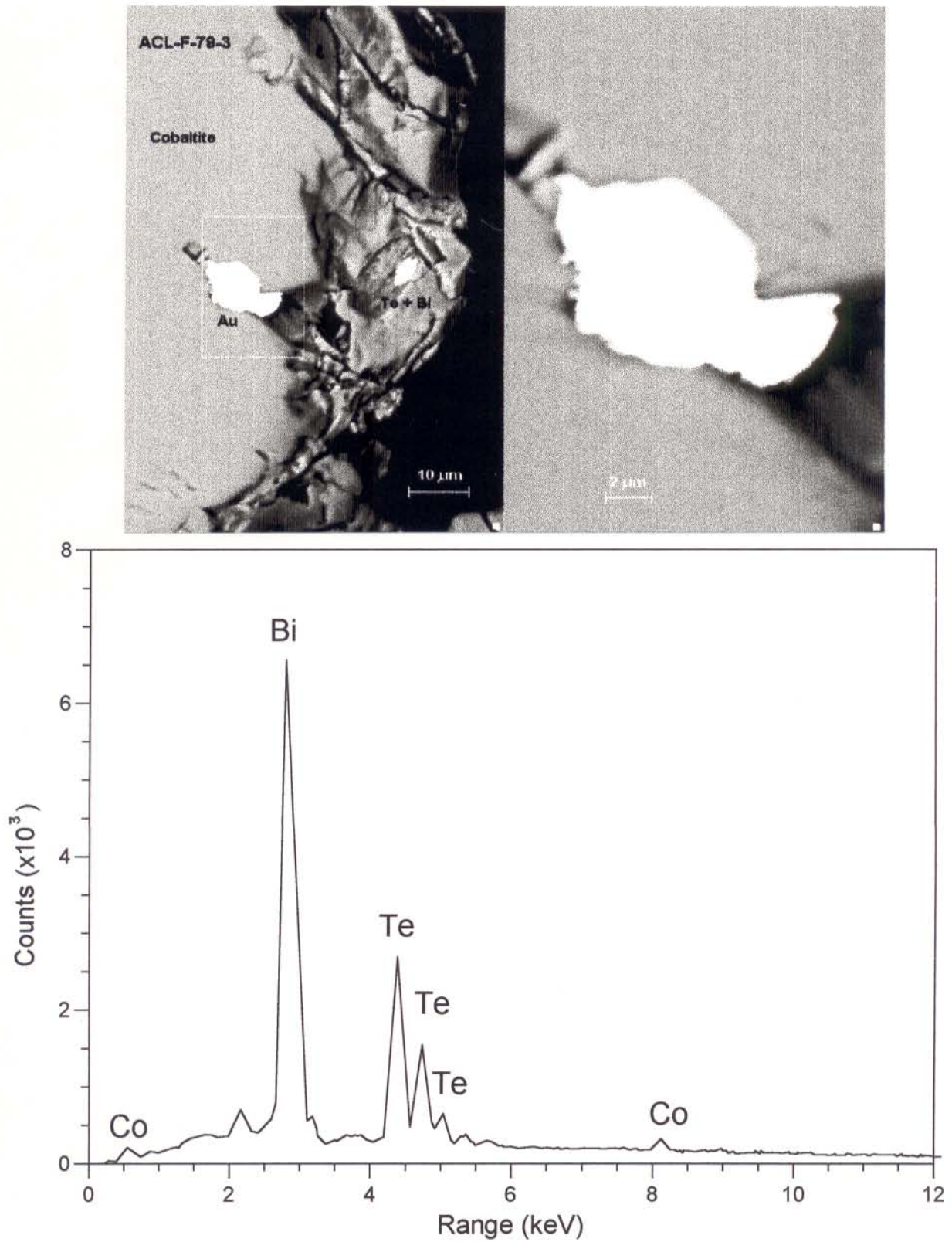


Figura 2.30 - Fotografia ao Microscópio Eletrônico de Varredura de cristais de Au e de BiTe inclusos na cobaltita e espectro de EDS correspondente ao BiTe (ACL-F-79).

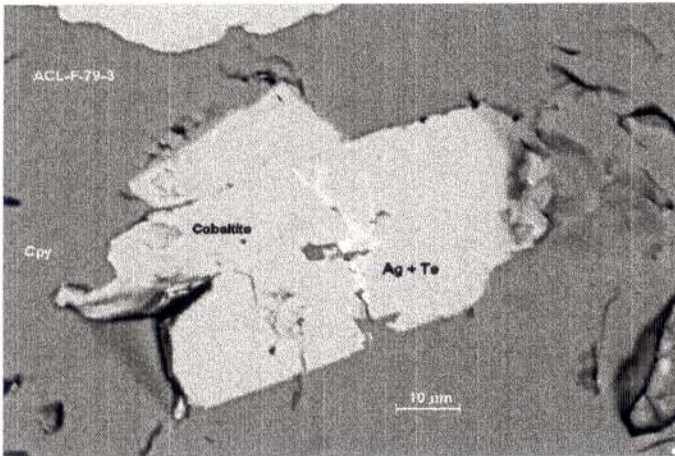


Figura 2.31 - Fotografia ao MEV de teluretos de prata preenchendo microfraturas na cobaltita (ACL-F-79).

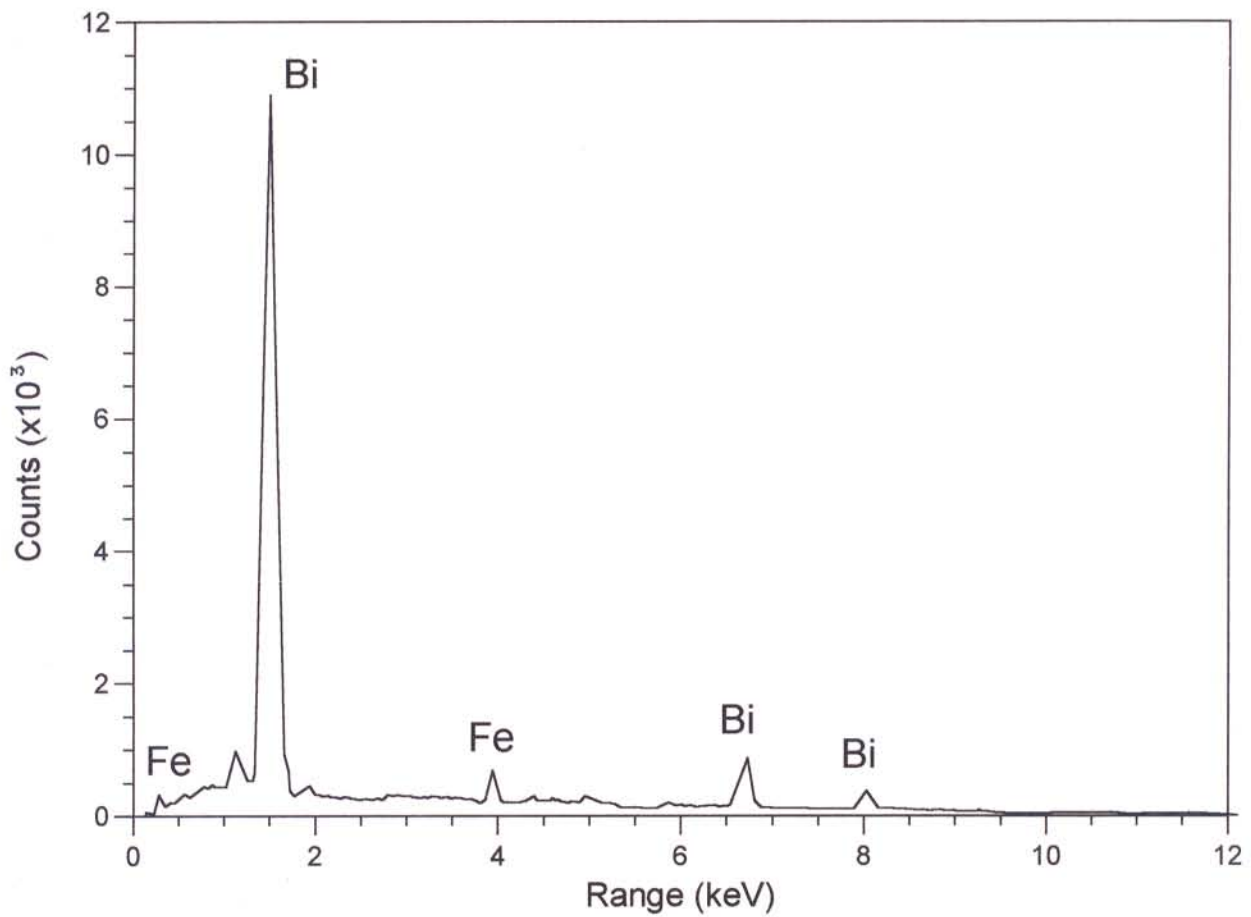


Figura 2.32 - Espectro EDS de pequenos cristais de Bi nativo inclusos na pirita (ACL-F-76).

2.3.4 Uraninita

A uraninita foi descrita apenas na área Igarapé Bahia, onde a análise de três amostras de diferentes intervalos na porção sulfetada do furo 282, revelou uma forte disseminação desse mineral, que ocorre em duas formas distintas: como diminutos grãos de 1 a 5 μm de diâmetro médio, inclusos na calcopirita e magnetita (Figura 2.33); ou preenchendo fraturas ou ao longo de clivagens em mineral de composição alumino-silicatada (Figura 2.34), provavelmente, clorita. A Tabela 2.10 apresenta resultados quantitativos obtidos por EDS (vide ítem 1.3.2 da metodologia) para esse mineral e revelaram elevados teores de PbO , variando de 26,13 a 41,7%. Os teores de FeO , SiO_2 e CuO são considerados como influência da matriz, no caso, os minerais clorita, magnetita e calcopirita, nos quais a uraninita está inclusa. Na Figura 2.35 é apresentado o espectro de EDS da uraninita estudada.

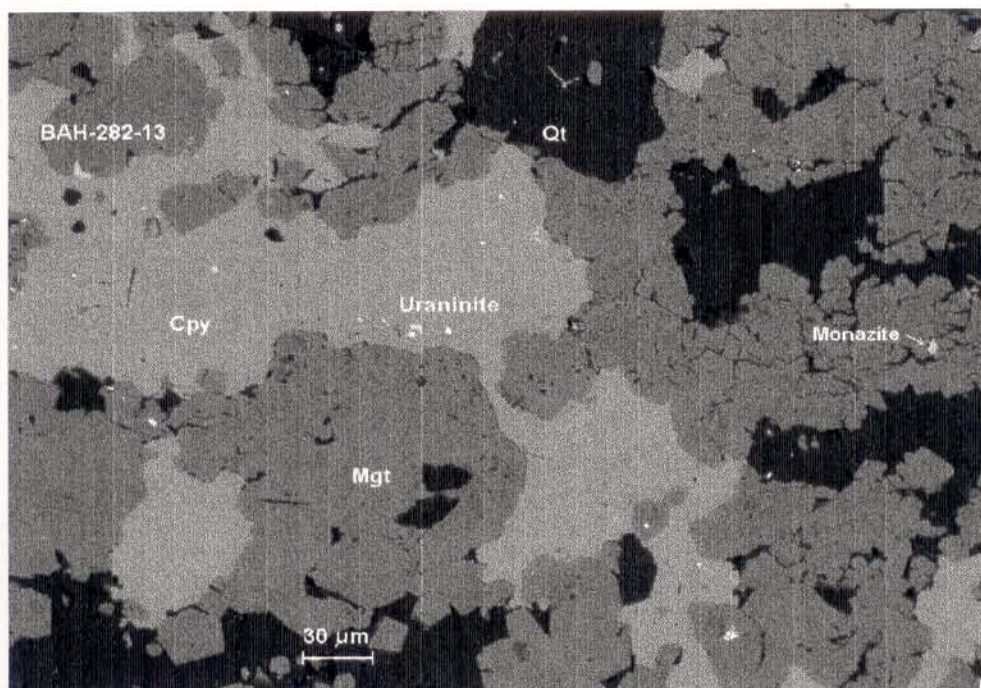


Figura 2.33 - Fotografia ao MEV de diminutos grãos de uraninita (pontuações esbranquiçadas), inclusos na calcopirita e magnetita, na área Igarapé Bahia.

Tabela 2.10 - Análise quantitativa por EDS na uraninita da área Igarapé Bahia

(%)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
UO_2	59,09	65,58	59,88	45,89	52,61
PbO	33,79	26,13	32,87	40,63	41,70
FeO	5,41	6,05	5,54	13,54	3,34
SiO_2	1,71	2,24	1,71	-	-
CuO	-	-	-	-	2,34

O fechamento das análises é em 100%

- não detectado

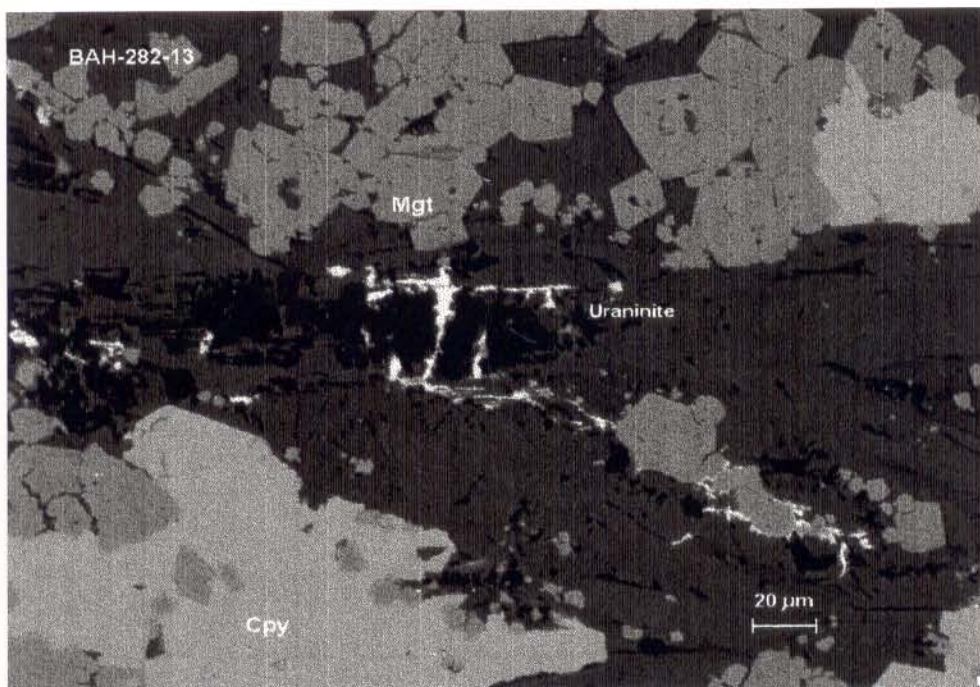


Figura 2.34 - Fotografia ao MEV de uraninita, preenchendo fraturas ou ao longo de clivagens em mineral de composição aluminosilicatada, na área Igarapé Bahia.

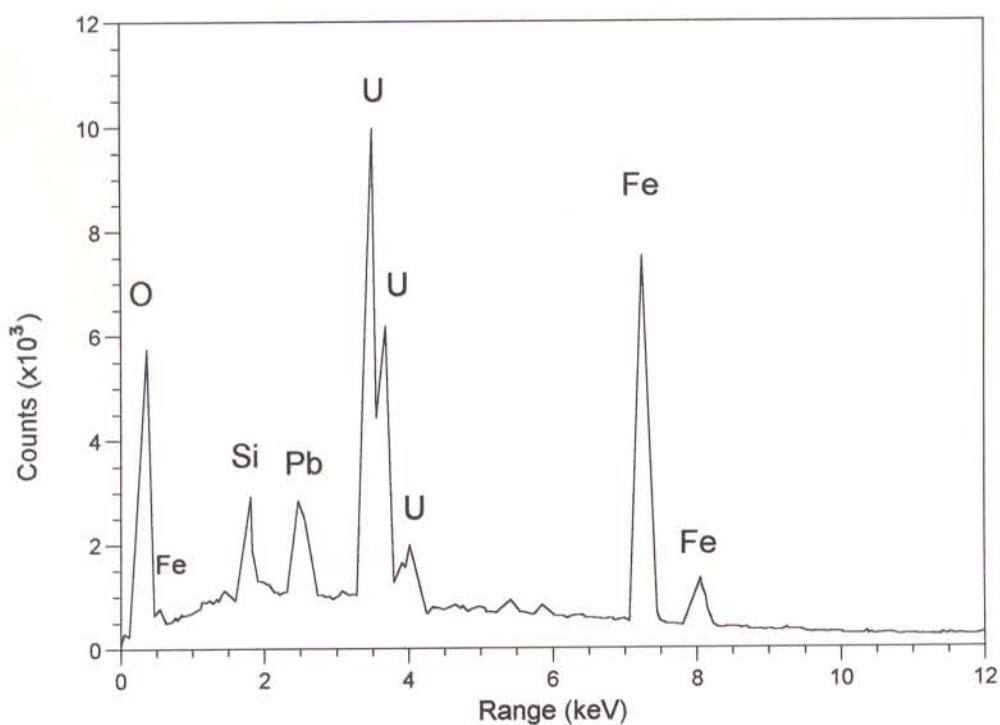


Figura 2.35 - Espectro EDS da uraninita descrita na zona sulfetada da área Igarapé Bahia.

Segundo informações verbais de técnicos da Docegeo, a ocorrência desse mineral, até então desconhecida, pode justificar a presença das anomalias geofísicas radiométricas encontradas à época do início dos trabalhos prospectivos nesta área.

2.3.5 Wolframita

A wolframita foi escolhida, neste trabalho, para um estudo mineralógico e geoquímico de detalhe, envolvendo indiciamento e refinamento dos parâmetros da cela unitária.

Este mineral chamou a atenção dos geólogos da Docegeo, durante os trabalhos de campo na área Águas Claras, por ocorrer associado aos gossans, principalmente, nos arredores da trincheira 35 (Figura 2.22). Esse mineral apresenta coloração preta, característica, cujos cristais podem atingir vários centímetros, sendo normalmente encontrados na forma de agregados maciços irregulares, ou como cristais tabulares, com um hábito lamelar ou placoso e exibindo a excelente clivagem $\{010\}$. Petrograficamente, a wolframita ocorre nas rochas primárias como cristais subédricos a anédricos, de dimensões variadas, em contatos irregulares com o quartzo ou sulfetos ou na forma de inclusões nestes minerais. Nos gossans, ela ocorre envolvida por um plasma ferruginoso, o qual pode infiltrar nos seus planos de clivagem (Figura 2.36) ou ainda ser encontrada no núcleo de concreções goethíticas fibro-radiais (Figura 2.37). Pode ainda atuar como o germe para a nucleação e desenvolvimento dessas texturas.

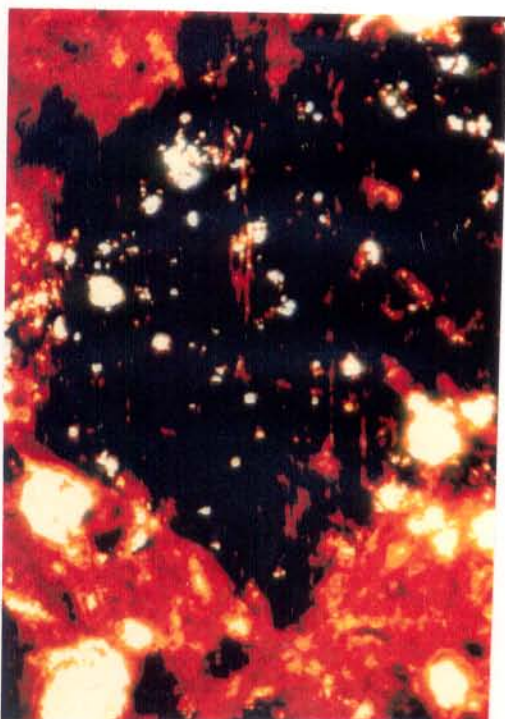


Figura 2.36 - Cristal subédrico de wolframita ao microscópio petrográfico (nicóis //), destacando plasma ferruginoso infiltrando nos planos de clivagem, nos gossans da área Águas Claras.

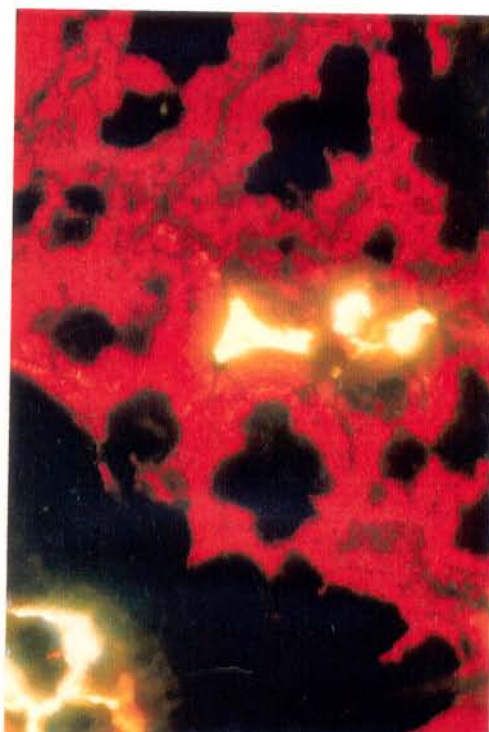


Figura 2.37 - Cristais anédricos de wolframita fotografados ao microscópio petrográfico (nicóis //), no núcleo de concreções goethíticas, nos gossans da área Águas Claras (TR-35).

A wolframita pode ocorrer ainda como grãos isolados no interior de cavidades (Figura 2.38), nas porções mais porosas das crostas ferruginosas. Os contornos irregulares ou subarredondados podem ser uma evidência da corrosão (*etching*) da superfície dos grãos pela ação das soluções supergênicas ácidas. É importante citar que este mineral não foi identificado na área Igarapé Bahia.



Figura 2.38 - Fotografia ao MEV de um grão de wolframita incluído em cavidades nos gossans da área Águas Claras.

Na Tabela 2.11 são apresentados os resultados de análises químicas por microsonda eletrônica, nas amostras das rochas primárias e das crostas ferruginosas, as quais apontam para o membro mais rico em Fe — ferberita. O outro membro da solução sólida, rico em Mn, é a hübnerita.

Tabela 2.11 - Análise química por microsonda eletrônica das amostras de wolframita dos gossans (1,2,3) e das zonas de sulfetos primários (4,5) da área Águas Claras.

	1	2	3	média	4	5	média
WO ₃	74,98	75,16	75,62	75,25	74,47	73,68	74,07
Nb ₂ O ₅	-	-	0,04	0,01	-	0,01	-
Fe ₂ O ₃	17,38	17,12	17,21	17,24	16,78	16,84	16,81
MgO	0,13	0,12	0,08	0,11	0,06	0,02	0,04
MnO	0,91	1,13	1,61	1,22	1,36	1,50	1,43
FeO	6,67	6,33	5,94	6,31	6,07	6,03	6,05
Total	100,07	99,86	100,50	100,14	98,74	98,08	98,40

Ferberita-gossans: (Fe_{0,96} Mn_{0,04})WO₄

Ferberita-sulfetos: (Fe_{0,94} Mn_{0,06})WO₄

A composição química obtida é aproximadamente a mesma para as amostras de wolframitas associadas a sulfetos $(\text{Fe}_{0,94}\text{Mn}_{0,06})\text{WO}_4$ e para as amostras das crostas ferruginosas $(\text{Fe}_{0,96}\text{Mn}_{0,04})\text{WO}_4$. Foram observados ainda teores de FeO relativamente altos (5,94-6,67 %), com baixos teores de MgO (< 0,12 %) e Nb_2O_5 (< 0,04 %).

A Figura 2.39 apresenta o padrão difratométrico da ferberita da área Águas Claras. Esses dados foram coletados em um difratômetro D-5000 da Siemens, utilizando condições padrões de 35 KV, 20 mA, radiação $\text{Cu K}\alpha_1$ (1,54050 Å), e 2θ variando de 4-70°, com steps de 0.01°/1 sec.

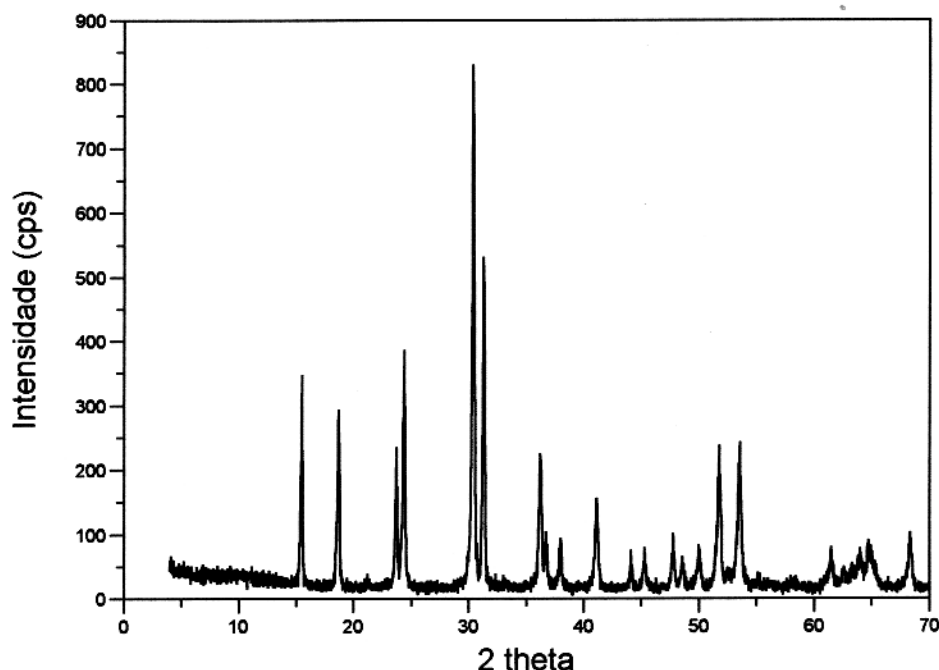


Figura 2.39 - Padrão difratométrico da ferberita da área Águas Claras.

Para a determinação dos parâmetros da cela unitária, o silício foi empregado como padrão interno, onde para os cálculos e refinamentos foram utilizadas 21 reflexões, com um programa que utiliza o método dos mínimos quadrados. As dimensões da cela unitária estão apresentadas na Tabela 2.12 e comparadas com diferentes padrões de wolframitas do JCPDS.

Tabela 2.12 - Comparação entre os parâmetros da cela unitária para a ferberita da área Águas Claras com outras wolframitas obtidas a partir das fichas do JCPDS (entre parênteses).

	a	b	c	β
1 Águas Claras	4,74	5,71	4,97	89,94
2 ferberita (12-792)	4,734	5,708	4,965	90,0
3 ferberita (21-436)	4,73	5,703	4,952	90,0
4 ferberita (27-256)	4,75	5,72	4,97	90,17
5 wolframita (11-591)	4,772	5,708	4,976	90,24
6 wolframita (12-727)	4,783	5,733	4,983	90,35
7 hübnerita (13-434)	4,79	5,74	4,99	90,28

Os resultados demonstram que as dimensões da cela unitária da ferberita da área Águas Claras são comparáveis aos outros padrões de ferberita apresentados na Tabela 2.12. As pequenas diferenças observadas podem ser atribuídas as baixas quantidades de Mn presente na sua estrutura (4-6%). As reflexões observadas e as calculadas são apresentadas no apêndice e também comparadas com duas diferentes ferberitas obtidas das fichas do JCPDS.

DANA (1951) e HSU (1976), descrevem vários tipos clássicos de ocorrências de wolframita, onde os seguintes poderiam ser correlacionados com a área Águas Claras: (1) em greisens, veios ricos em quartzo, ou veios pegmatíticos, associados com rochas graníticas; (2) em veios hidrotermais de alta temperatura, cujos minerais associados incluem vários tipos de sulfetos; e (3) em veios mesotermiais, não necessariamente associados com os dois tipos de depósitos anteriores. Nesses ambientes, a wolframita pode estar associada com cassiterita, arsenopirita, molibdenita, turmalina, topázio, fluorita e outros minerais. Além desses, outros trabalhos tem sido feitos, tratando das relações de estabilidade dos dois membros finais da série da wolframita, em ambiente hidrotermal (HSU, 1976); a aplicação da razão hübnerita:ferberita como geotermômetro (MOORE & HOWIE, 1978); além de estudos de inclusões fluidas em veios de quartzo contendo wolframita (QUILEZ et al., 1990). Esses estudos são importantes na identificação da natureza dos fluidos e no estabelecimento de modelos genéticos para a mineralização primária, incluindo o ouro, mas fogem do escopo desse trabalho.

Os resultados obtidos neste estudo mineralógico permitem concluir que a wolframita da área Águas Claras é do tipo ferberita, com menos de 1,6% de MnO na sua estrutura. A sua origem primária está relacionada ao evento granítico que ocorreu na área (Granito Carajás), e no ambiente supergênico, os resultados mostram que a ferberita praticamente não sofreu transformações durante os processos de gossanização e lateritização, comportando-se como um resistato e acumulando-se,

incorporados nas crostas ferruginosas. Devido ao seu fácil reconhecimento em campo, a ferberita pode ser utilizada como um importante guia na identificação de corpos semelhantes portadores de Au, na área de Águas Claras, atuando como um verdadeiro mineral *pathfinder* durante a pesquisa mineral e mapeamento geológico.

2.3.6 Turmalinas

São do tipo dravita, e assim como as wolframitas, ocorrem, principalmente, na área Águas Claras, já que na área Igarapé Bahia foram identificados apenas valores elevados de B nos gossans e no perfil laterítico, e que serão apresentados posteriormente, no item 2.4.2.1.

Na área Águas Claras, cristais prismáticos euédricos, formando drusas nas porções porosas dos gossans, foram identificados em diferentes pontos do furo 44 (Figura 2.40), associados com quartzo, cuprita e malaquita.



Figura 2.40 - Cristais euédricos de dravita, formando drusas, em cavidades, nos gossans da área Águas Claras (MEV).

A turmalina acumula-se, residualmente, nos horizontes superiores dos perfis (colúvios), como resultado da destruição dos gossans, conforme apresentado no F-23, onde atinge 16,8% (vide Tabela 2.5, na página 31). Em algumas amostras de furos de sondagens, foram descritos agregados centimétricos de dravita, intercalados aos planos de estratificação dos arenitos da formação Águas Claras, encaixantes da mineralização sulfetada.

Na observação de diferentes amostras ao longo desse furo, em direção ao topo do perfil, com o início da destruição dos gossans e a formação dos colúvios, nota-se um quebramento ou destruição física progressiva dos cristais de turmalina, com formação de uma película de goethita em torno desses cristais, como pode ser observado nas Figuras 2.41 e 2.42.



Figura 2.41 - Início da destruição dos cristais de dravita ao longo do F-44, Águas Claras (MEV).



Figura 2.42 - Estágio mais avançado da destruição dos cristais de dravita ao longo do furo 44, Águas Claras (MEV).

Estudos mineralógicos e geoquímicos mais detalhados sobre essas turmalinas, semelhantes aos realizados para a ferberita, estão sendo conduzidos, dentro do projeto que envolve este trabalho de tese, pelo estudante de mestrado Newton Costa, que observou que o núcleo dessas turmalinas é constituído de diminutos grãos de quartzo, conferindo uma extrema fragilidade, com forte tendência à destruição mecânica desses cristais.

Da mesma forma que a ferberita, a turmalina pode ser um importante guia na pesquisa dos gossans, principalmente por serem minerais tradicionalmente associados ao ouro em depósitos primários, do tipo veios de quartzo hidrotermais com sulfetos. Um interessante exemplo de mineralização de ouro associada a arenitos turmaliníferos, em um contexto geológico semelhante ao da área Águas Claras, foi descrito por ZEEGERS & LECOMTE (1992), no depósito de Loulo, Mali (África), onde os níveis turmaliníferos associados a óxidos-hidróxidos de ferro, formam verdadeiras cristas na topografia. Para a prospecção geoquímica, a grande dispersão mecânica da turmalina, tem como importante consequência, a possibilidade de utilização de malhas de amostragem de solo bastante abertas, onde no depósito de Loulo, uma malha regional de 1600 x 500 m conseguiu delimitar esses corpos de possança métrica, através de anomalias geoquímicas de B e Au.

2.3.7 Cassiterita

Merece ser citada a ocorrência de cassiterita na maioria das amostras estudadas da área Águas Claras, a qual, assim como a wolframita e a turmalina, comporta-se como um resistato, acumulando-se, residualmente, no topo dos perfis laterito-gossânicos. Nas porções primárias, este mineral foi observado através da microscopia eletrônica de varredura, na forma de diminutas inclusões na pirita e calcopirita, as vezes com formas pseudo-cúbicas (prismas tetragonais achatados) bem definidas (Figura 2.43). Ocorre ainda na forma de pequenas venulações, preenchendo micro-fraturas na pirita, e associada com o ouro, como será apresentado no item 2.4.3. Nos gossans, também foram freqüentemente observados através do MEV, grãos sub-arredondados, ocupando cavidades e vazios na matriz ferruginosa, semelhantes aos hábitos descritos para a wolframita, e comumente confundidos com esse mineral.

Apesar da cassiterita ocorrer em proporções bem menores do que a wolframita e a turmalina nos corpos mineralizados, tanto nos gossans como na zona de sulfetos primários, o Sn foi um dos elementos considerados como farejadores, durante a prospecção regional utilizando sedimentos de corrente e concentrados de bateia, na descoberta da área Águas Claras (informação verbal dos geólogos da Docegeo).

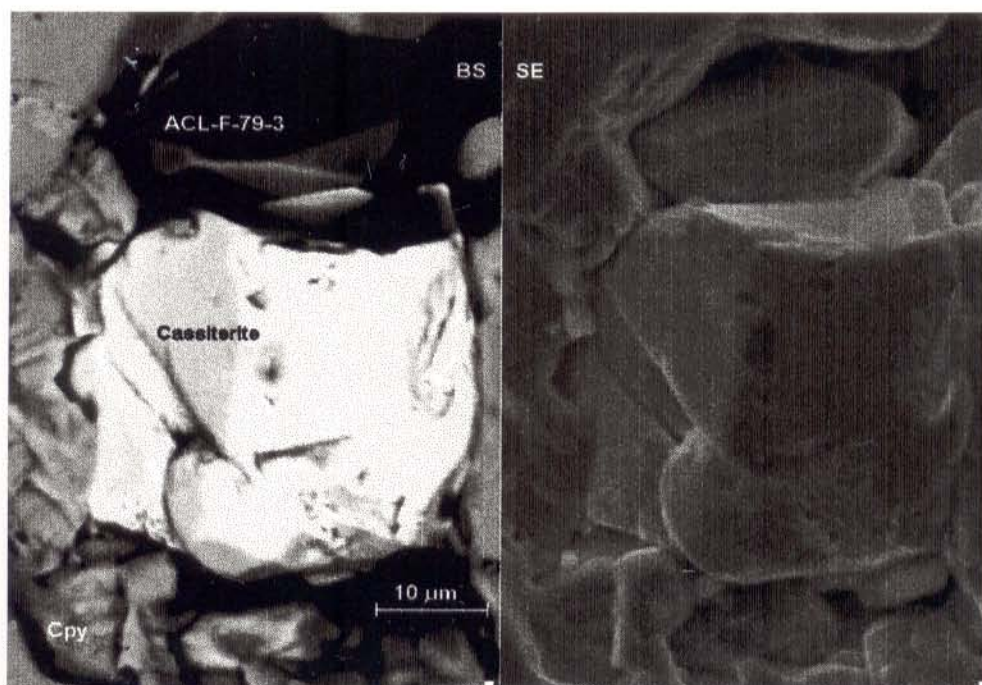


Figura 2.43 - Detalhe ao MEV de grão euédrico de cassiterita incluído em calcopirita, no furo 79 da área Águas Claras. A imagem da esquerda foi feita com elétrons retro-espalhados (BS) e a da direita com elétrons secundários (SE).

2.3.8 Cuprita

A cuprita é freqüentemente encontrada nas zonas oxidadas mais profundas, nos perfis de ambas as áreas. Foram observados cristais octaédricos perfeitos, visíveis a olho nu, de coloração vermelha escura a escarlate, associados a goethita e hematita, preenchendo cavidades nos gossans (Figura 2.44), nos furos 44, 76 e 90, da área Águas Claras. Outras formas de cuprita, como combinações de cubo $\{100\}$ e dodecaedro $\{110\}$ também foram descritas e fotografadas ao microscópio eletrônico (Figura 2.45).

Em diferentes amostras desses furos, e associados com a cuprita, foram descritos ainda malaquita, azurita, crisocola, e Cu nativo, caracterizando uma paragênese secundária bastante variada, característica de diferentes gossans descritos na literatura (NICKEL & DANIELS, 1985).



Figura 2.44 - Cristais octaédricos de cuprita que ocorrem em cavidades, nos gossans da área Águas Claras (Lupa binocular - A dimensão maior do cristal é de 0,5 cm).



Figura 2.45 - Cristais euédricos de cuprita, com formas combinadas de cubo e dodecaedro, nos gossans da área Águas Claras (MEV).

2.3.9 Fosfato-Sulfato de ETR

No último trabalho de campo realizado na área Igarapé Bahia, em março de 1995, foi descrita uma importante zona de material esverdeado a amarelado-pálido, na forma de bolsões ou lentes métricas e descontínuas, intercaladas em porções mais cavernosas dos gossans. A observação

detalhada revelou um mineral de coloração verde-amarelado, em diferentes hábitos, mas dominando formas botrioidais, intimamente relacionado a goethita colóforme ou fibro-radial. Análises por difração de raios-x foram realizadas, e o padrão obtido (Figura 2.46) se aproximou do mineral **woodhouseita**, $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ (ASTM 7-0469 e 37-469). Segundo DANA et al. (1951), a woodhouseita pertence ao grupo da beudantita, que é isostrutural com os grupos da alunita e da plumbogumita. No entanto, análises químicas preliminares por MEV-EDS, apesar de confirmarem a composição a base de fosfato-sulfato de alumínio, revelaram teores extremamente baixos de Ca (0,21%) para se tratar de woodhouseita, e o mais importante: elevados teores de elementos terras raras leves, incluindo 9,97 % de La e 5,53% de Nd (Figura 2.46).

Diferentes tipos de fosfatos e sulfatos, principalmente os do grupo da jarosita, são comuns em gossans descritos na literatura (e.g. TAYLOR & THORNER, 1992). OLIVEIRA et al. (1993) descreveram corkita, $\text{PbFe}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$, também pertencente ao grupo da beudantita, em gossans da região de Irecê-Lapão, na Bahia.

Estudos mineralógicos de detalhe ainda estão sendo realizados para classificar, corretamente, esse fosfato-sulfato, descrito na área Igarapé Bahia.

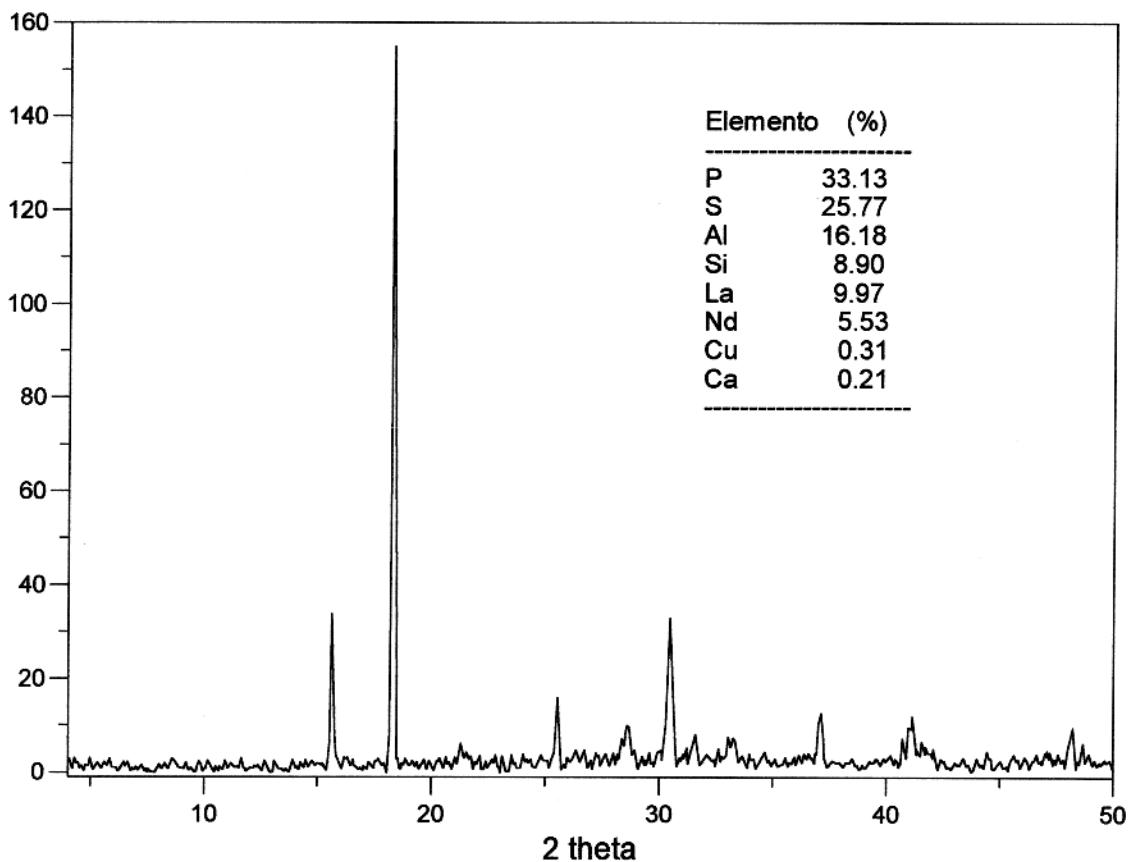


Figura 2.46 - Padrão difratométrico do fosfato-sulfato de ETR da área Igarapé Bahia, e composição química semi-quantitativa obtida por MEV-EDS.

2.3.10 Hematita

A hematita é o mineral mais abundante da porção oxidada dos diferentes perfis estudados, podendo ocorrer sob a forma friável, terrosa ou compacta, e as vezes pulverulenta. Sua coloração varia de vermelho vivo (terrosa) a cinza escuro (quando compacta). Petrograficamente, foram observados cristais octaédricos perfeitos, pseudomórficos segundo a magnetita (Figura 2.47), descritos anteriormente na literatura como martita. Muitos desses cristais apresentam carácter levemente magnético, podendo ser, na verdade, maghemita, cuja distinção com a hematita só pode ser feita através da difração de raios-x (Tabela 2.5). A evolução micromorfológica em direção ao topo do perfil se dá no sentido da progressiva destruição desses cristais (Figura 2.48), com a neoformação de diminutos cristais de hematita com hábito placóide ou de rosetas, nas faces dos antigos cristais (Figuras 2.49 e 2.50).

Análises químicas realizadas por microsonda eletrônica nas porções hematíticas mais compactas dos gossans da área Igarapé Bahia são apresentadas na Tabela 2.13, refletindo, quase que exclusivamente, a presença de Fe_2O_3 e a ausência de concentrações percentuais de elementos-traço.



Figura 2.47 - Feição textural dos gossans da área Águas Claras, observada ao MEV, destacando cristais de hematita pseudomórficos segundo octaedros de magnetita.



Figura 2.48 - Detalhe da feição textural da Figura anterior, em uma porção superior do perfil, mostrando o início da destruição dos cristais de hematita (MEV).

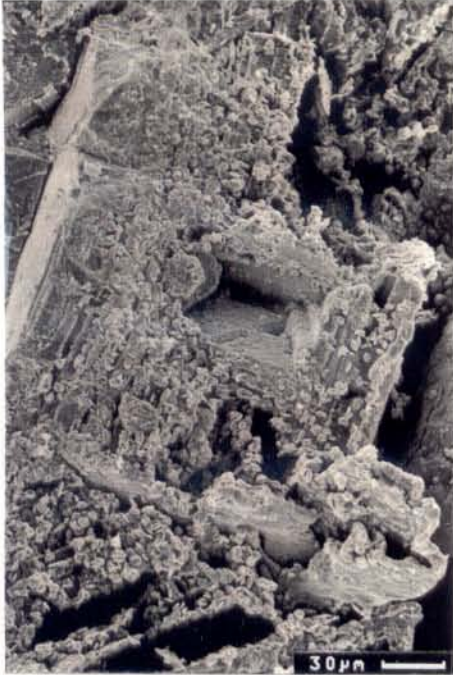


Figura 2.49 - Aspecto da alteração dos cristais de hematita pseudomórficos segundo a magnetita, onde os octaedros ainda estão parcialmente preservados e com a neoformação de "rosetas" de hematita (MEV).

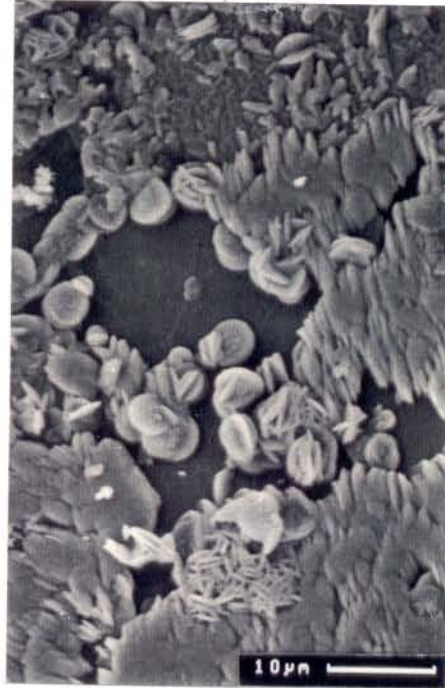


Figura 2.50 - Detalhe da hematita da Figura anterior, com hábito de "rosetas", neoformados sobre os restos dos octaedros (MEV),

Tabela 2.13 - Análise química por microsonda eletrônica nas porções hematíticas compactas nos gossans da área Águas Claras.

	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	MoO ₃	WO ₃	Ta ₂ O ₃
1	95,40	0,02	0,04	0,07	0,07	-
2	86,81	-	-	-	-	0,05
3	87,42	-	0,19	-	-	0,04
4	87,79	-	0,03	-	-	0,08
5	87,74	-	-	-	0,01	-

- não detectado

2.3.11 Goethita

A goethita é um dos minerais mais frequentes no topo dos perfis laterito-gossânicos nas duas áreas estudadas, apresentando uma grande variedade de hábitos e formas, principalmente, formando porções maciças marrons, na forma de pequenas camadas concêntricas, com superfícies reniformes ou botrioidais (Figura 2.51). Essas feições são individualizadas na forma de pseudo-oólitos ou

concreções micrométricas a centimétricas, com cristais de goethita dispostos radialmente a essas camadas (Figura 2.52).

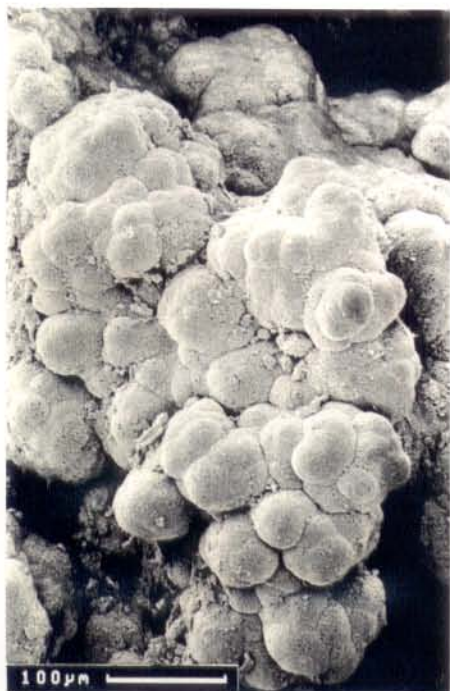


Figura 2.51 - Goethita com hábito botrioidal, nos gossans da área Águas Claras (MEV).



Figura 2.52 - Detalhe de hábito botrioidal, como o da Figura 2.51, mostrando as diferentes camadas concêntricas com cristais de goethita dispostos radialmente (MEV).

No núcleo dessas concreções ou entre esses pequenos níveis, são observados comumente, a nível de microscópio eletrônico, geodos ou drusas de cristais prismáticos, tabulares e sub-paralelos (Figuras 2.53 e 2.54) onde foram identificados perfeitos prismas ortorrômbicos com terminação esfenoïdal (Figura 2.55). Essas drusas podem ocorrer ainda preenchendo vazios ou contra-moldes romboédricos ou cúbicos (Figura 2.56), relictos da dissolução dos carbonatos e sulfetos primários.

Geoquimicamente, todas essas goethitas apresentam baixos teores de alumínio em sua estrutura ($< 5\% \text{mol. AlO(OH)}$). As porções mais aluminosas são encontradas, nas crostas lateríticas, onde a goethita apresenta-se na forma de cutans ou córtexes marrom-amarelados, terrosos e criptocristalinos, observados tanto em escala microscópica como a nível de afloramento. Nessas faixas, vários pontos de EDS indicaram teores de Al variando de 25 a 30 $\% \text{mol. AlO(OH)}$.



Figura 2.53 - Cristais de goethita formando drusas no núcleo de concreções ferruginosas, na crosta laterítica da área Igarapé Bahia.

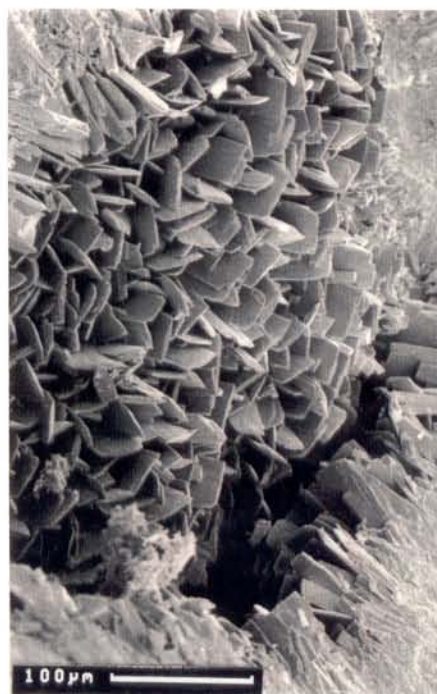


Figura 2.54 - Detalhe das drusas de goethita da Figura anterior (MEV).

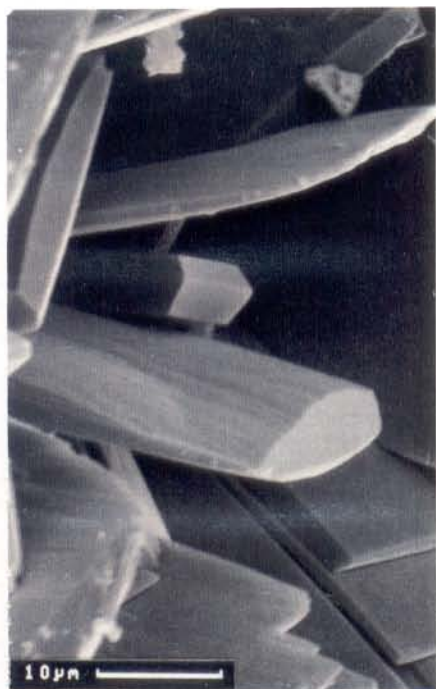


Figura 2.55 - Prisma ortorrômbico de goethita, com terminação esfenoidal, nas drusas da Figura 2.54 (MEV).



Figura 2.56 - Cristais aciculares de goethita, preenchendo cavidades romboédricas deixadas pela dissolução de carbonatos, nos gossans da área Águas Claras (MEV).

2.3.12 Gibbsita

A gibbsita foi freqüentemente identificada, a nível de microscopia eletrônica, preenchendo cavidades ou vazios nas crostas lateríticas (Figura 2.57), e em porções mais porosas ou brechóides dos gossans, na área Igarapé Bahia, na forma de diminutos cristais placóides ou pseudo-hexagonais, na verdade cristais monoclinicos euédricos característicos da gibbsita (Figura 2.58). Ocorre também associada a goethita, na forma de filmes ou películas esbranquiçadas de material criptocristalino, intercaladas nas camadas goethíticas das concreções ferruginosas (Figuras 2.59 e 2.60).

Análises químicas por microsonda eletrônica foram feitas nos cristais de gibbsita (Tabela 2.14). O teor de Al_2O_3 obtido é próximo ao da composição teórica deste mineral, enquanto aqueles obtidos para os outros elementos são muito baixos, próximos do limite de detecção do aparelho, e portanto, não significativos.

Tabela 2.14 - Análise química por microsonda eletrônica de gibbsitas da área Águas Claras.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	BaO	MoO ₃
1	0,04	64,15	0,82	0,02	0,02	0,019	0,025	0,018	0,007
2	-	64,66	0,62	-	0,01	0,015	0,016	-	-

- não detectado



Figura 2.57 - Cavidades na crosta laterítica da mina Igarapé Bahia, onde são observados cristais euédricos de gibbsita (MEV).



Figura 2.58 - Cristais monoclinicos euédricos de gibbsita cristalizados nos vazios ou cavidades (Figura 2.57) da crosta laterítica da mina Ig. Bahia.



Figura 2.59 - Pequenos filmes de gibbsita intercalados às camadas goethíticas nas concreções ferruginosas (MEV).



Figura 2.60 - Detalhe da Figura anterior (MEV).

2.4 MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DO OURO

2.4.1 Nos Solos Superficiais da Área Igarapé Bahia

Neste item, são apresentados os dados da distribuição do ouro na área Igarapé Bahia, com base na malha de amostragem realizada pela Docegeo (Figura 2.2, página 9), e cujos resultados analíticos para Au, Fe, Co e Mo foram aqui reinterpretados. Esta malha consistiu de 1142 amostras com um espaçamento de 200 x 50 m (Figura 2.1, página 14). Dessas, apenas 211 apresentaram valores de Au acima do limite inferior de detecção de 0,05 ppm, na porção do platô onde ocorrem os dois corpos mineralizados (Figura 2.2, página 15). Para este retrabalhamento de dados, foram utilizadas, portanto, apenas os resultados dessas 211 amostras.

As distribuições de frequência e os sumários estatísticos para Au, Fe, Co e Mo são apresentados na Figura 2.61. O teor médio de Au nessas amostras é de 0,24 ppm, com máximo de 1,28 ppm, próximo aos locais onde a crosta ferruginosa aflora. Ouro e Mo apresentam padrões de distribuição de frequência semelhantes, com assimetria positiva que se aproxima de uma curva lognormal. O teor médio de Mo é de 11 ppm, com máximo de 94 ppm também na porção onde o Au apresenta os seus maiores valores.

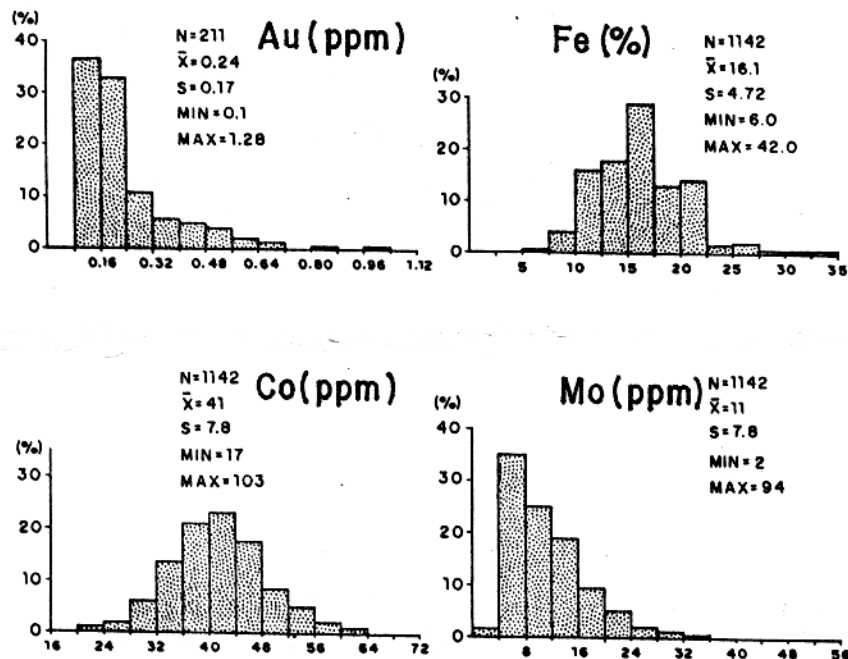


Figura 2.61- Sumário estatístico e diagramas de distribuição de frequência para Au, Fe, Co e Mo, nas amostras superficiais do platô da área Igarapé Bahia.

A Figura 2.62 apresenta a distribuição superficial dos valores de Au. O limite mais externo da anomalia de solo foi obtido com a isocurva de 0,1 ppm, em uma situação similar à descrita em Callion, na Austrália (GLASSON et al., 1988), onde a prospecção geoquímica de solos + pisólitos conseguiu delimitar depósito de Au laterítico relacionado a corpos tabulares primários, tipo veios de quartzo. No platô da área Igarapé Bahia, esse limite delinea, perfeitamente, os dois corpos mineralizados, cujos contornos, na Figuras foram obtidos a partir da magnetometria terrestre, realizada pela Docegeo. Em Dondo Mobi (Gabão, África), COLIN & VIEILLARD (1991) também descrevem o isovalor de 0,1 ppm como o halo mais externo de dispersão supergênica do Au, que delimita uma faixa mineralizada de lisvenitos auríferos, e que em perfil, caracteriza um padrão de dispersão superficial tipo cogumelo.

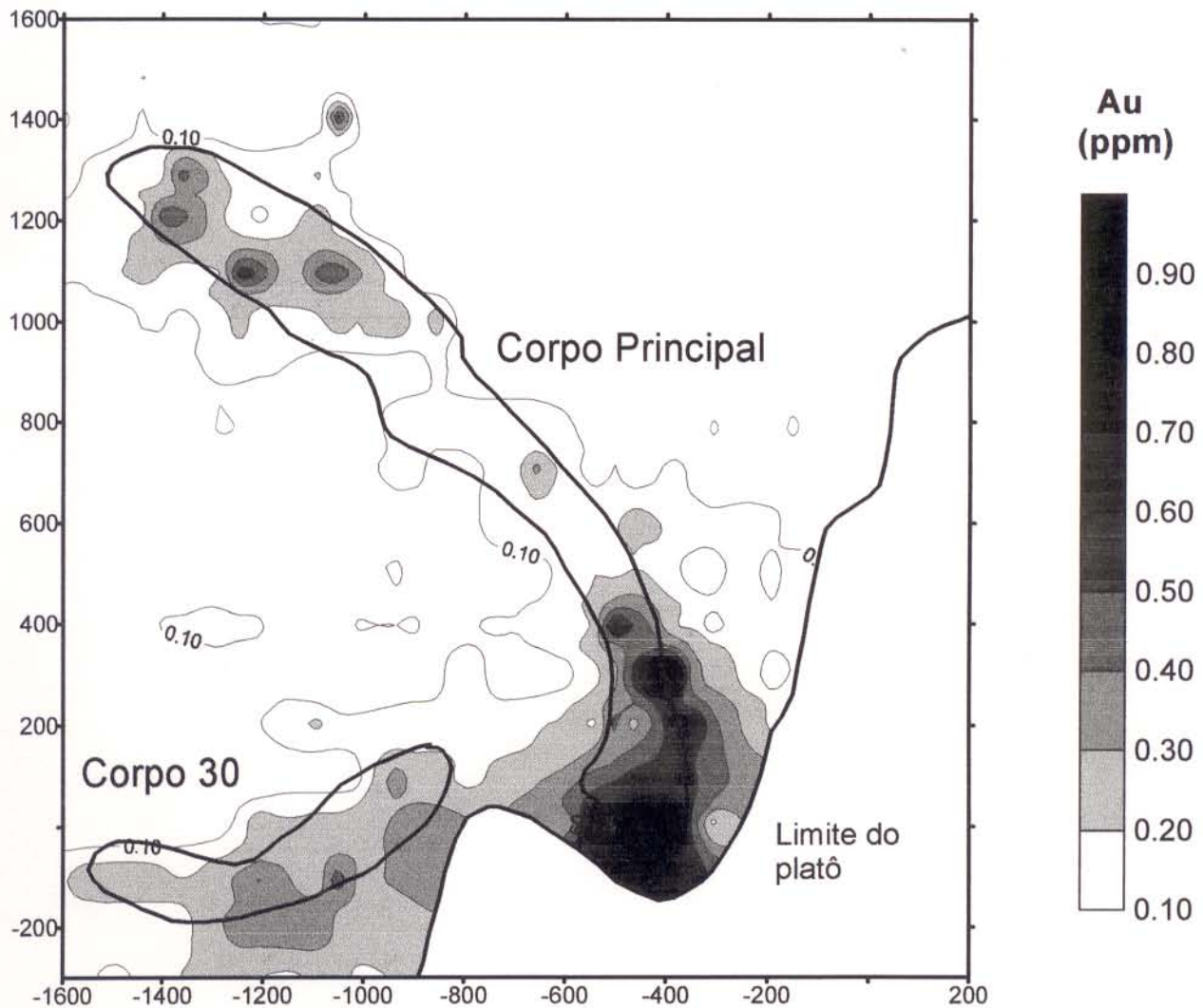


Figura 2.62 - Mapa de distribuição dos teores de Au no platô da mina Igarapé Bahia.

Os valores mais elevados de Au são observados na borda sudeste do platô, exatamente onde a crosta ferruginosa aflora e é truncada. Inversamente, os valores mais baixos de Au são observados na porção central do corpo principal, onde a anomalia de solos é quase ausente, e onde os latossolos são mais espessos (até 10 m). O espalhamento ou abertura das curvas de isotores na porção sudeste do corpo principal, coincide com a quebra do platô, refletindo a dispersão mecânica do material de superfície, com a remobilização de Au e o conseqüente deslocamento das anomalias.

No mapa da Figura 2.63 é apresentada a distribuição do Mo, o qual apresenta uma boa correlação com o Au, nas áreas onde aflora a crosta ferruginosa. Neste caso, a curva de isoteor de menor valor (20 ppm) não delinea o contorno do corpo principal, mostrando que o Mo está empobrecido nos latossolos.

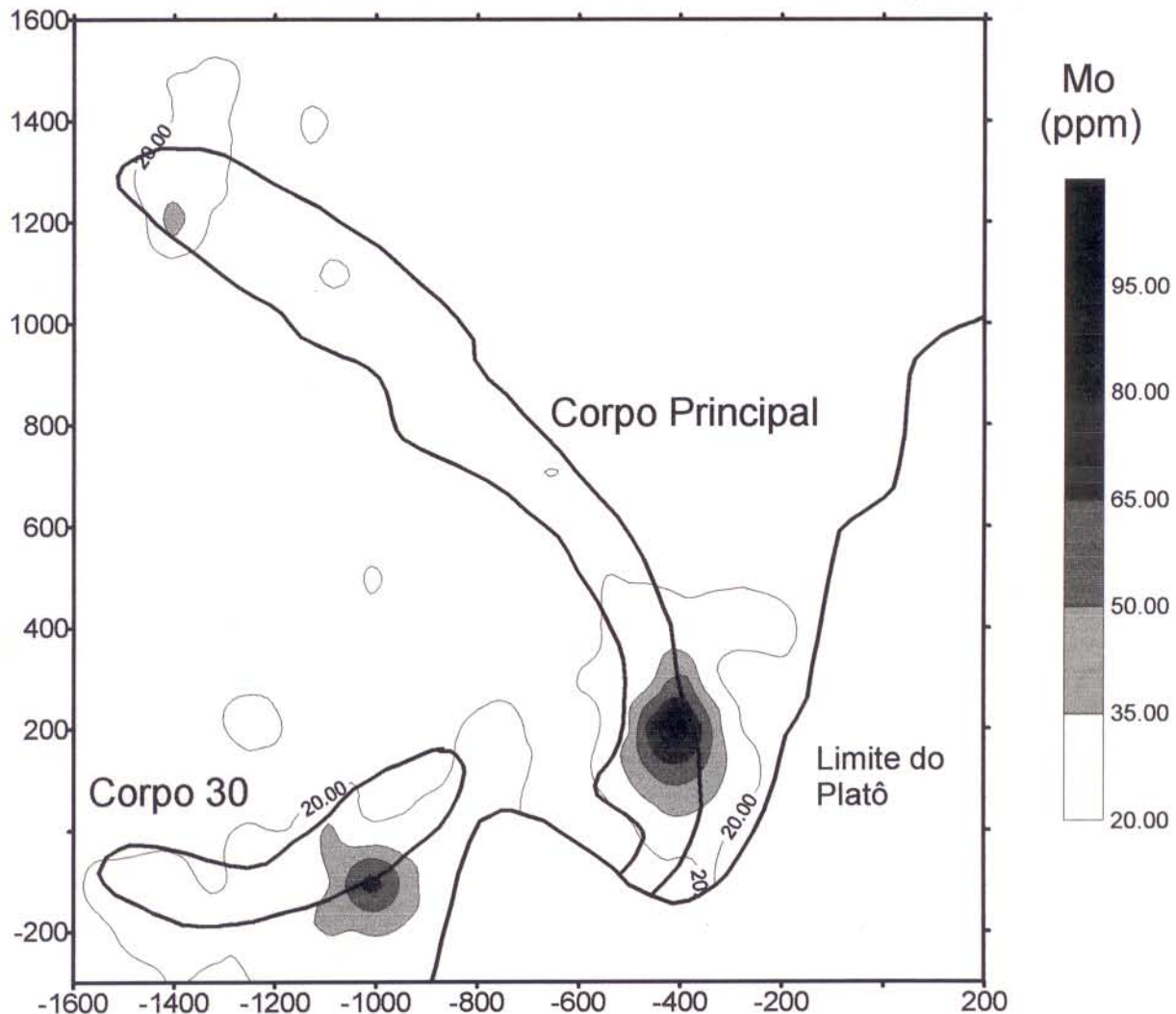


Figura 2.63 - Mapa de distribuição dos teores de Mo no platô da mina Igarapé Bahia

Foram gerados ainda mapas de isóteos para Fe e Co, que apresentam distribuições mais irregulares e espalhadas, sem correlação com os mapas do Au e Mo e não auxiliando no delineamento dos corpos mineralizados.

2.4.2 Nos Perfis Laterito-Gossânicos e Trincheiras

2.4.2.1 Na área Igarapé Bahia

Os resultados analíticos para Au e para os elementos Ag, As, B, Ba, Bi, Co, Cu, Mo, Sn, Te e W, no perfil da cava da mina Igarapé Bahia, e que não foram descritos no capítulo 2.2, estão apresentados na Tabela 2.14. Dentre esses elementos foram analisados ainda Sb e Se, também importantes na pesquisa do Au, cujos resultados obtidos para a maioria das amostras, estavam abaixo do limite inferior de detecção de 1 ppm, dos métodos utilizados.

Tabela 2.14 - Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço (em ppm), no perfil da mina Ig. Bahia.

	nº	Au	Ag	As	B	Ba	Bi	Co	Cu	Mo	Sn	Te	W
latossolo	01	0,25	-1	25	420	-	-10	5	110	52	-5	-1	-
latossolo	02	0,20	-1	28	530	-20	12	-	198	74	20	-1	-15
stone-lines	05	0,25	12	20	390	-20	12	-	371	136	99	-1	-15
crosta later.	03	1,65	7	13	290	-	-10	46	1800	240	-5	5	-
crosta later.	04	0,25	12	27	510	-20	10	-	364	138	14	-1	-15
crosta later.	28	-0,05	8	27	184	-	-10	21	555	104	-5	6	-
crosta later.	29	0,60	10	32	146	-	-10	-5	400	74	-5	6	-
crosta later.	30	0,70	5	25	96	-	-10	7	174	92	-5	5	-
gossan	16	2,40	5	4	114	130	-10	-	658	660	350	-1	39
gossan	21	3,00	11	2	560	-	-10	84	7200	330	-5	6	-
gossan	24	4,05	15	2	26	-	-10	162	5000	220	-5	4	-
gossan	25	7,35	13	3	56	-	-10	184	1800	260	-5	2	-
gossan	26	1,40	14	1	72	-20	14	-	1240	370	151	-1	-15
sap/gossan	15	3,65	-1	4	114	-20	12	-	840	106	22	-1	-15
sap/gossan	19	0,25	5	7	22	-	-10	31	1460	50	-5	2	-
saprólito	11	1,00	-1	10	675	-20	12	-	840	44	-5	-1	-15
saprólito	14	1,35	-1	9	890	-20	14	-	534	136	18	-1	-15
saprólito	18	1,70	-1	3	720	-20	10	-	797	480	150	-1	-15
BIF	06	0,25	-1	16	220	-	-10	84	315	160	-5	6	-
BIF	07	0,35	-1	5	-10	-20	-10	-	127	68	-5	-1	-15
BIF	17	3,20	16	4	116	-20	-10	-	732	250	224	-1	-15
Média crustal		4*	70*	1,8	10	425	0,17		55	1,5	2	1*	1,5

* em ppb

- não analisado

-1 abaixo do limite de detecção

A análise desses resultados revela, novamente, grandes variações composicionais, fato já observado na distribuição dos outros elementos-traço e dos elementos maiores. Das amostras do perfil, os teores mais elevados de ouro estão nos gossans, atingindo até 7,35 ppm na amostra 25, diminuindo, progressivamente, nas amostras da crosta laterítica e dos latossolos. É importante destacar a variação nos teores de Au nas crosta lateríticas, algumas apresentando valores elevados de até 1,65 ppm (amostra 3), o que diz respeito a maior presença de fragmentos de gossans. Aquelas com teores mais baixos foram amostradas fora da faixa mineralizada ou desenvolvidas sobre as encaixantes. As amostras dos saprólitos e das formações ferríferas também apresentam teores significativos de Au, já que a amostragem desse material foi feita na faixa central mineralizada, onde gossans e encaixantes estão intensamente misturados.

Na Tabela 2.15, novamente é apresentada, a título de comparação, teores médios de Au e dos elementos-traço aqui descritos, para diferentes gossans auríferos descritos na literatura.

Tabela 2.15 - Concentrações médias (em ppm) de alguns elementos-traço em diferentes gossans auríferos descritos na literatura.

Localidade	N	Au	Ag	As	B	Ba	Bi	Co	Cu	Mo	Sn	Te	W	
Telfer ¹	(a)	36	115	15	3050	-	780	-	640	2450	10	-	-	670
	(b)	9	78	8	3475	-	440	-	14	280	12	-	-	75
	(c)	16	45	9	2370	-	335	-	380	2310	10	-	-	1120
	(d)	9	6	-5	3645	-	250	-	430	435	-10	-	-	585
Bottle Creek ¹	(e)	12	2,53	-5	5425	-	2075	7	16	350	4	4	0,22	-5
	(f)	9	18	16	1,04%	-	615	16	210	800	9	7	0,31	-5
Mount Leyshon ¹	(g)	9	14	26	180	-	230	730	6	270	28	8	-	24
Luiziânia ²	(h)	7	4	2	410	-	460	76	-5	480	36	11	-	23
Victoria ³ (Australia)	(i)	158	2	3,9	-	34	-	-	-	135	-	-	-	-
	(j)	42	0,73	20	420	-	355	220	40	6400	-	-	-	-
	(k)	63	0,5	8	1230	-	530	73	28	630	-	-	-	-
Arábia S ³	(l)	15	0,18	3	520	-	-	-	28	35	-	-	-	-
	(m)	62	2	10	400	-	120	30	130	5200	80	6	-	-

¹ Gossans auríferos na Austrália: (a) MVR-W, (b) MVR-D, (c) E.Limb, (d) W. Dome, (e) superfície, (f) subsuperfície, (g) caulinita-alunita, (f) jarosita (TAYLOR & THORNER, 1992).

² Gossans auríferos da região de Luiziana, Goiás (OLIVEIRA et al., 1991).

³ Gossans associados a sulfetos maciços vulcanogênicos: (i) Wilga, (j) Currawong, (k) Gossans estéreis, (l) Al Masane (TAYLOR & THORNER, 1992).

Um elemento que se destaca por seus valores elevados, nos gossans da área Igarapé Bahia, é o Mo, com teores variando de 220 até 660 ppm (Tabela 2.14). Associação semelhante Au-Mo e teores elevados deste último elemento foram descritas por COSTA et al. (1993), em crostas lateríticas auríferas no depósito de Morro da Mina, no Amapá, e por DAVY & EL-ANSARY (1986), no depósito de ouro laterítico em Boddington, na Austrália. Em gossans, no entanto, teores de Mo desta ordem de grandeza não foram encontrados na compilação bibliográfica feita por TAYLOR & THORNER (1992).

Em relação a Ag, os seus teores são tão irregulares quanto os de Au, mas igualmente elevados nos gossans e na crosta laterítica, onde variam de 5 a 15 ppm, próximos aos teores médios apresentados na Tabela 2.15, estando ausente nos latossolos.

O As apresenta uma característica muito interessante na área Igarapé Bahia, que são os teores relativamente baixos para gossans (1 a 4 ppm), em comparação com aqueles da Tabela 2.15, que normalmente alcançam teores a nível de percentagem. No entanto, a sua concentração aumenta, relativamente, para o topo do perfil, alcançando valor máximo de 28 ppm nos latossolos, e confirmando a sua característica de guia de mineralização de Au, em horizontes onde esse elemento pode estar empobrecido (MAZZUCHELLI & JAMES, 1966). Em termos de prospecção geoquímica, teores dessa ordem ainda não são considerados elevados, mas devem ser cuidadosamente avaliados e sempre comparados com o *background* regional.

Comportamento semelhante ao As apresenta o B, que alcança teores de até 530 ppm nos latossolos. No entanto, os maiores teores desse elemento estão nos saprólitos das rochas encaixantes (variando de 675 a 890 ppm), confirmando a presença de rochas de natureza sedimentar neste conjunto. Bário e W, nos gossans, foram detectados apenas na amostra 16, notando que muitos gossans citados na compilação da Tabela 2.15 apresentam valores bastante elevados para esses elementos.

Em relação as curvas de distribuição dos elementos (Figura 2.64) é nítida a forte concentração de Au nos gossans, que diminui abruptamente em direção a crosta laterítica, e daí para os latossolos. Comportamento semelhante apresentam a Ag, Cu, Sn e Mo, este último já ressaltado anteriormente, além do Pb, Ni e Mn, descritos no item 2.1.4 (Figura 2.17, página 31). Inversamente ao Au, Ag, Cu, Sn e Mo, os elementos As e B apresentam tendência de enriquecimento para o topo do perfil, podendo constituir importantes elementos-guias na prospecção, na região de corpos de natureza semelhante e onde os latossolos são muito frequentes.

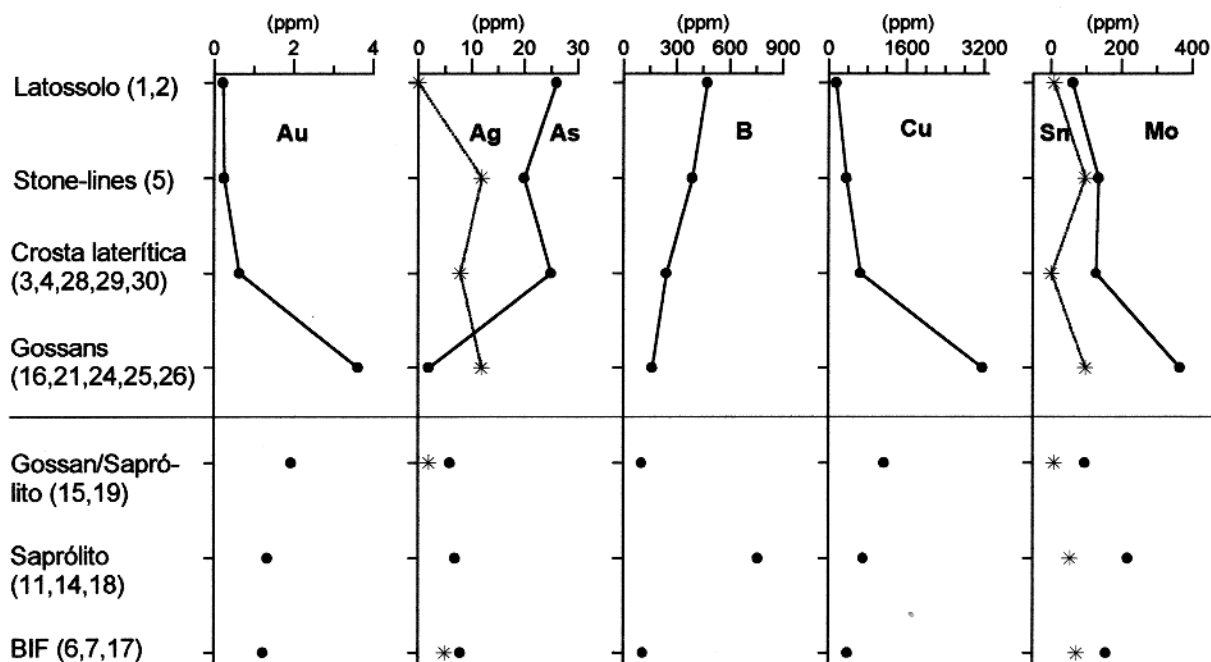


Figura 2.64 - Distribuição vertical dos teores médios de Au, Ag, As, Cu, B, Bi, Sn e Mo no perfil composto da cava da mina Igarapé Bahia.

2.4.2.2 Na área Águas Claras

Os resultados de Au, Ag e outros elementos-traço do furo 23 estão apresentados na Tabela 2.16, e as distribuições verticais dos elementos estão ilustradas na Figura 2.65. Neste furo, foram utilizados ainda, a título de comparação, os resultados de Au, Ag, Cu e As fornecidos pela Docegeo, para o mesmo furo, realizados a uma densidade maior de amostragem (Figura 2.66).

Tabela 2.16 - Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço (em ppm), no perfil do Furo 23.

ACL-F-23	Prof.	Au	Cu	Ag	B	Mo	Sn	Ba	As	W	
Colúvio	(1)	1,2	4,00	1500	7	1450	49	325	31	2170	1390
Gossan frag.	(2)	7,0	44,80	4727	19	-10	92	1120	-20	1770	680
Gossan maciço	(3)	8,7	4,10	596	-1	-10	65	116	-20	830	550
Caulim ferrug.	(4)	13,6	2,60	732	-1	400	39	136	-20	1150	2480
Gossan maciço	(5)	16,0	1,15	642	-1	-10	60	116	-20	290	120
Gossan/veio qtz	(6)	19,0	6,60	1120	-1	62	40	116	32	960	640
Saprólito	(8)	27,0	0,15	980	-1	73	30	54	33	15	39
Média crustal		0,004	55	0,17	10	1,5	2	425	1,8	1,5	

- 1 menor que o limite de detecção

Bi < 10 ppm

Sb < 1 ppm

Se < 1 ppm

Te < 1 ppm

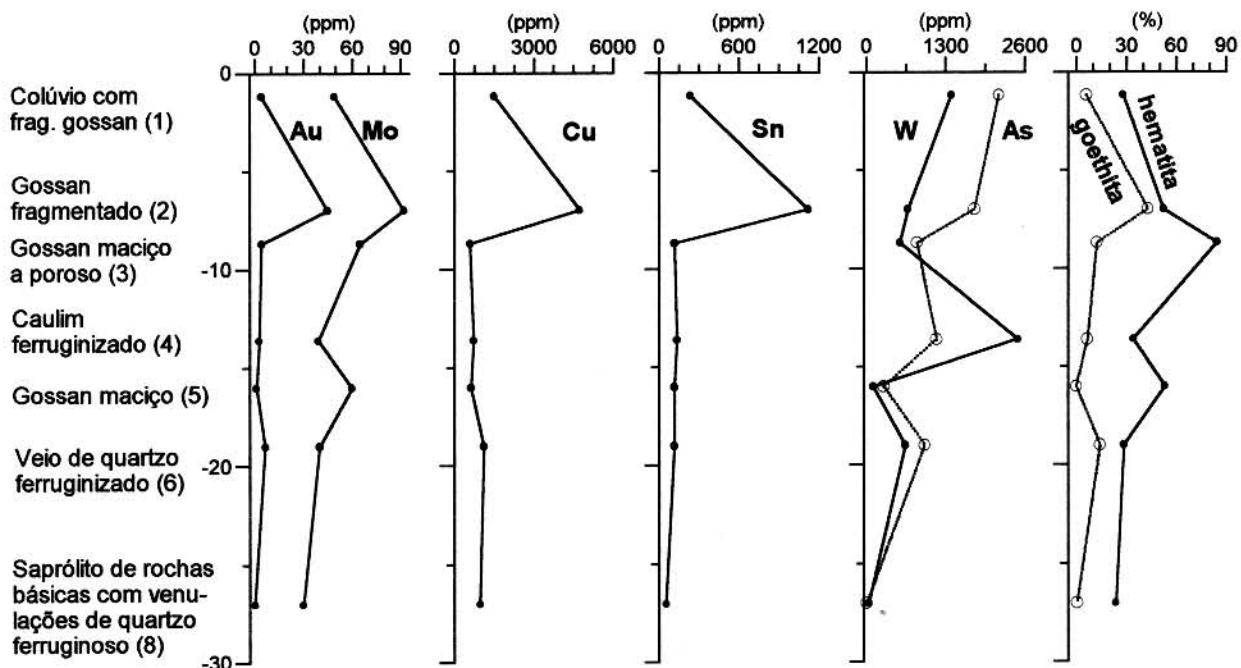


Figura 2.65 - Distribuição dos teores de Au, Cu, Sn, Mo, W e As, bem como dos minerais hematita e goethita, no perfil do F-23 da área Águas Claras.

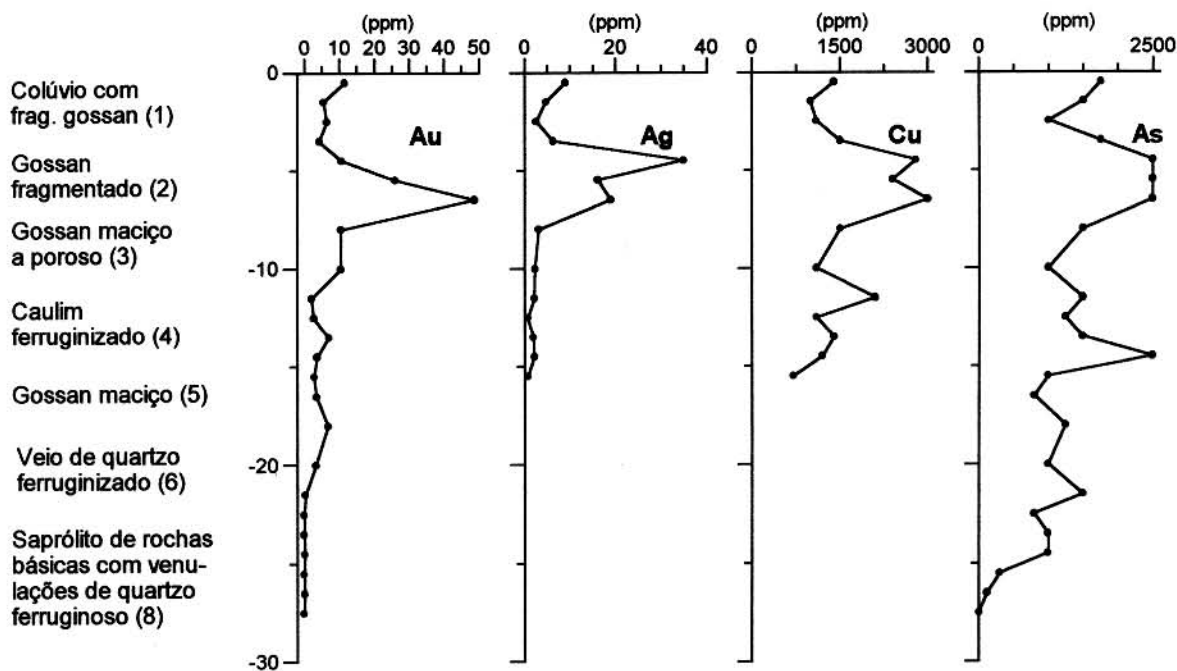


Figura 2.66 - Distribuição dos resultados de Au, Ag, Cu e As, fornecidos pela Docegeo, no perfil do Furo 23, área Águas Claras.

Para este furo, os teores desses elementos, assim como as suas distribuições verticais, são aparentemente diferentes dos observados na área Igarapé Bahia, resultado da diferente estruturação do topo dos perfis das duas áreas, como discutido no item 2.2.2. Apesar de neste perfil terem sido usadas apenas 7 amostras, representativas por horizonte, o aspecto geral das curvas de distribuição vertical dos elementos se assemelhem as da Docegeo, e permitem os seguintes principais comentários:

Ouro, Ag, Cu e As apresentam teores bastante elevados, maiores do que na área Igarapé Bahia, e apresentam os seus máximos de concentração no intervalo de transição entre o topo do gossan compacto e o início do gossan fragmentado, exatamente aonde aumentam os teores de goethita, em detrimento da hematita (Figura 2.65). Nessa Figura, Sn e Mo destacam-se ainda, em perfeita correlação com os outros elementos. O arsênio apresenta valores bastante elevados, atingindo 2170 ppm nos colúvios, próximos aos valores de gossans da Tabela 2.15. O Bismuto foi analisado e todos os resultados encontraram-se abaixo do limite de detecção inferior (10 ppm).

O wolfrâmio apresenta, de uma maneira geral, elevados teores no perfil, mas um padrão diferente dos outros elementos, com menores concentrações nos gossans e enriquecendo-se para os colúvios onde atinge 1390 ppm, assim como o B, que alcança 1450 ppm (Tabela 2.16), mas está ausente nas três amostras de gossans. Na amostra 4 (caulim ferruginizado), B e W apresentam os seus maiores teores, sendo aqui interpretada como representativa de uma zona de alteração hidrotermal, ao lado de concentrações anômalas de wolframita e turmalina.

Na Tabela 2.17 são apresentados os resultados para Au, Cu, Ag, B, Mo, Sn, Ba, As e W na trincheira 35 (Figura 2.22, página 29), onde são observados os teores mais elevados desses elementos, dentre todas as amostras estudadas neste trabalho.

Tabela 2.17 - Resultados analíticos de Au e outros elementos-traço (em ppm), na parede noroeste da trincheira 35, na área Águas Claras.

TR-35		Au	Ag	As	B	Ba	Bi	Cu	Mo	Sn	W
Quartzo-arenito	(1)	0,20	2	470	36	24	-10	213	5	8	560
Gossan-arenito	(2)	104,35	16	4850	28	-20	520	1,00 %	72	355	6,3 %
Gossan	(3)	66,35	22	8500	28	-20	385	0,96 %	85	560	1,1 %
Gossan	(5)	140,85	25	6900	100	39	80	0,87 %	60	525	9,6 %
Gossan-veio qtz	(7)	18,00	-1	2480	2200	-20	86	655	47	136	3,0 %
Veio de quartzo	(8)	0,60	-1	930	22	-20	-10	185	-5	17	1020
Média crustal		0,004	0,07	1,8	10	425	0,17	55	1,5	2	1,5
-10 abaixo do limite de detecção				Se < 1 ppm		Te < 1 ppm					

Na amostra 5, de gossan, Au e Ag alcançam 140,85 e 25 ppm, respectivamente. Os teores de As na faixa de 2000 a 8500 ppm são bastante elevados em comparação com os resultados da área Igarapé Bahia, mas semelhantes a vários gossans portadores de ouro (Bottle Creek e Telfer) e metais base (Teutonic Bore e Namoonna), na Austrália, descritos por TAYLOR & THORNER (1992) (Tabela 2.15). Os teores de Cu também são os mais elevados dentre os gossans aqui estudados, onde as três amostras de gossan apresentam teores próximos de 1 %, sem comparação com os gossans auríferos da Tabela 2.15, enquanto os elevados teores de W (até 9,6%) refletem os grandes acúmulos de ferberita descritos no item 2.3.5.

Na Figura 2.67 é possível visualizar a distribuição lateral do Au e dos outros elementos-traço e a relação da principal zona mineralizada — gossans intercalados/associados a veios de quartzo — com as rochas encaixantes. Os teores extremamente elevados de Au nos gossans mostram uma perfeita correlação com As, Cu, W e Ag, além do Sn e Bi, que não estão apresentados na figura 2.67, marcando a faixa central de ocorrência do gossan, e diminuindo abruptamente nas encaixantes. O bismuto apresenta aqui, os seus teores mais elevados, atingindo 520 ppm, já que não foi detectado nas amostras do F-23 e nem na área Igarapé Bahia. O molibdênio, nos gossans, apresenta teores semelhantes aos do F-23, variando de 40 a 80 ppm — mais baixos do que os teores nos gossans da área Igarapé Bahia que atingem até 660 ppm — mas também marcando a faixa central mineralizada. Os colúvios representados na Figura 2.67 são bastante ricos em fragmentos dos gossans, e segundo informação dos técnicos da Docegeo, os teores de Au também são bastante elevados, nos mesmos níveis dos resultados aqui descritos para os gossans.

A partir dos dados apresentados, alguns pontos principais podem ser levantados:

- a) a grande irregularidade na distribuição dos teores de ouro e da maioria dos elementos-traço estudados, não só nos gossans, mas na maioria das amostras estudadas, em ambas as áreas;
- b) a presença de uma associação geoquímica bem mais abrangente na área Águas Claras e com teores bem mais elevados de ouro e dos elementos-traço estudados, do que na área Igarapé Bahia, a saber:
 - na área Igarapé Bahia: Au-Mo-Cu;
 - na área Águas Claras: Au-Cu-As-B-W-Sn-(Bi).

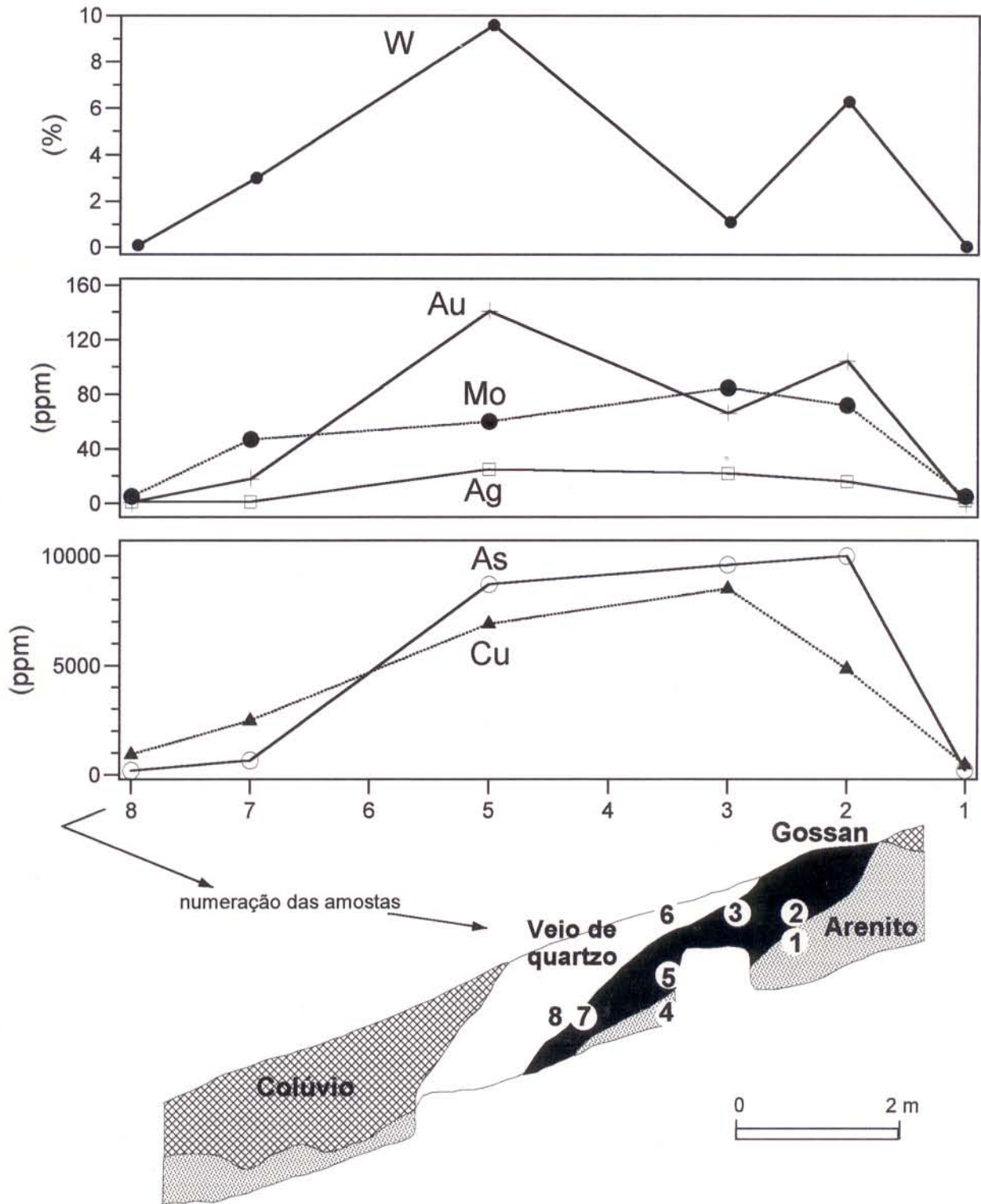


Figura 2.67 - Distribuição lateral dos teores de Au, Ag, Mo, As, Cu e W na parede noroeste da trincheira 35, na área Águas Claras.

c) A possança das zonas mineralizadas: na área Águas Claras, corpos/gossans pequenos (métricos), invariavelmente, associados a zonas bastante hidrotermalizadas, com veios de quartzo sacaroidal e lentes de caulim hidrotermal; enquanto na área Igarapé Bahia a zona mineralizada é mais larga, provavelmente relacionada a vários corpos gossânicos, intensamente misturados nas rochas vulcano-sedimentares hospedeiras.

d) A presença de um perfil laterítico superimposto aos gossans na área Igarapé Bahia, e fundamentalmente, a presença da cobertura de latossolos, diminuindo o sinal geoquímico do Au e da maioria dos elementos analisados, que já eram, relativamente baixos nos gossans mineralizados; enquanto na área Águas Claras, os gossans sub-aflorantes e o retrabalhamento desses — os colúvios — já com teores elevados, antes de ser o próprio minério, são o meio de amostragem geoquímica ideal nessa região.

2.4.3 Morfologia e Geoquímica das Partículas de Ouro

As partículas de ouro analisadas neste trabalho e a sua proveniência — horizonte — no perfil estão resumidas na Tabela 2.18. A sistemática a ser utilizada na apresentação dos resultados será a descrição, por horizonte, dos aspectos micromorfológicos e geoquímicos das diferentes partículas observadas.

Tabela 2.18 - Partículas de ouro analisadas neste trabalho.

Amostra	Horizonte ou posição no perfil	Área	Observações
-	Latossolos	Igarapé Bahia	pepita com córtex goethítico
BF-888	Crosta laterítica	Águas Claras	Seção polida fornecida pela Docegeo (Trincheira 16)
F-25-1	Crosta laterítica	Águas Claras	Seção polida fornecida pela Docegeo (Furo 25)
ACL-F-23-2	Gossan compacto com porções porosas	Águas Claras	Au = 44,8 ppm (teor na amostra)
ACL-T-35-2	Gossan com veios de quartzo	Águas Claras	Trincheira 35, Au = 104,35 ppm (teor na amostra)
-	Veios de quartzo no saprólito das encaixantes	Igarapé Bahia	partículas de Au livre
ACL-F-79-3	Zona de sulfetos primários	Águas Claras	Au = 34,5 ppm (teor na amostra) 18 pontos de análise em grãos de Au inclusos em diferentes sulfetos

2.4.3.1 Partículas de ouro na zona de sulfetos primários

Partículas de ouro primário foram identificadas em diferentes amostras na zona de sulfetos primários, apenas na área Águas Claras. Os grãos analisados apresentam os mais diferentes tipos de hábitos e formas, com contornos irregulares e denteados, em contato e/ou inclusos na calcopirita, pirita, cobaltita e arsenopirita. Em relação à composição química, observou-se uma grande variação na razão Au/Ag nos grãos associados aos diferentes sulfetos:

Os grãos de Au associados à **pirita** e **calcopirita** ocorrem finamente disseminados ou associados a microfraturas nesses minerais (Figuras 2.68 e 2.69), com tamanho, via de regra, menor que 30 μ m. Nessas fotografias, obtidas através do microscópio eletrônico de varredura, a calcopirita apresenta uma tonalidade de cinza mais clara que a pirita. Micro-venulações preenchidas por cassiterita também foram observadas (Figura 2.68), conforme descrito no item 2.3.7, destacando-se a freqüente associação deste mineral com o ouro, nos sulfetos. Estes grãos apresentam a menor razão Au/Ag dentre as partículas analisadas, com teores de Ag variando de 34,23 a 37,47% e Au variando de 58,68 a 62,53% (Tabela 2.19).

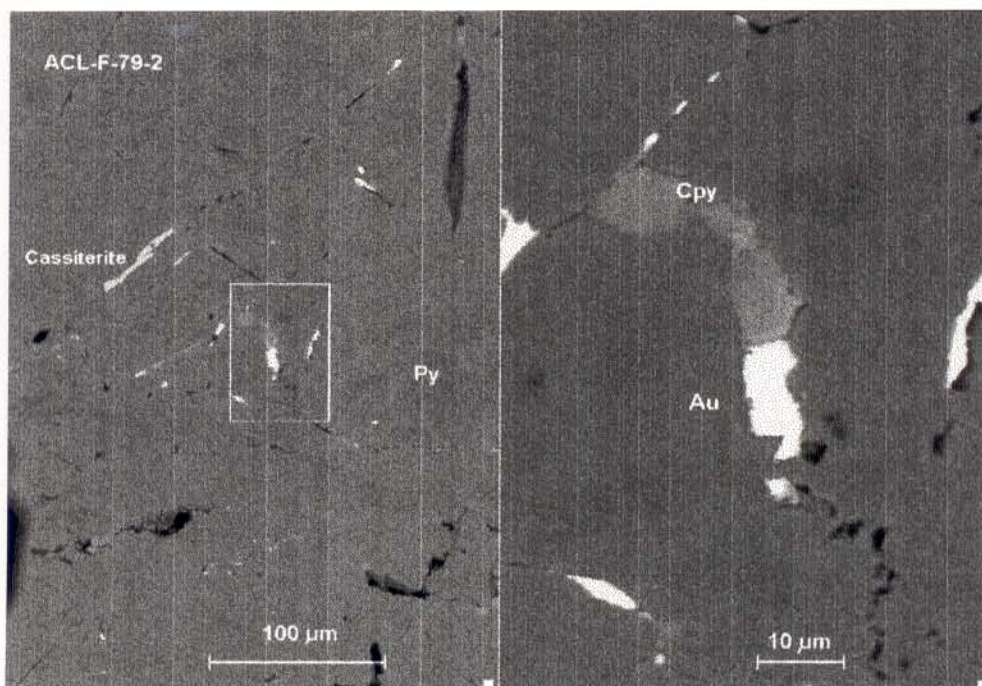


Figura 2.68 - Fotografia (MEV) de grãos de Au associados à pirita e calcopirita, disseminados ou associados a microfraturas nesses minerais.

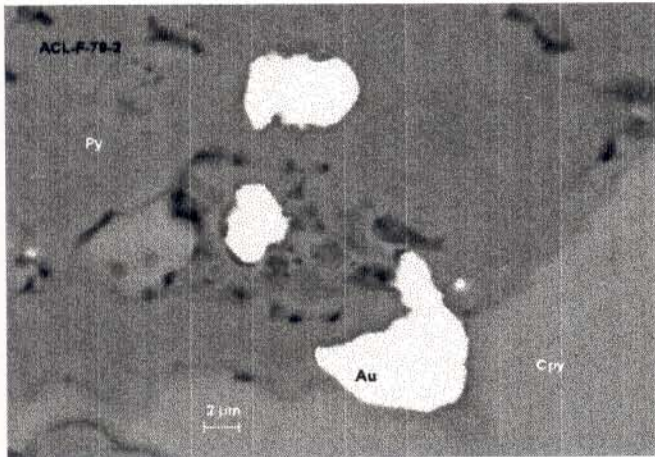


Figura 2.69 - Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na pirita e no contato desta com a calcopirita.

Tabela 2.19 - Análises químicas obtidas por MEV-EDS para grãos de ouro inclusos na pirita e calcopirita ou no contato entre esses minerais, na zona de sulfetos primários da área Águas Claras (Furos 76 e 79).

	Figura 2.68					Figura 2.69				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au	62,53	59,58	59,59	59,00	58,82	61,17	46,79	44,98	58,68	59,5
Ag	37,47	36,08	35,84	36,38	36,86	34,23	40,95	42,15	36,11	35,18
Fe	*	4,34	4,57	4,62	4,32	4,60	12,26	12,87	5,21	5,32
<i>f</i>	625	623	624	619	615	641	533	516	619	628
FI	1,95	2,10	1,85	2,24	2,05	1,85	45,61	46,77	1,84	2,03

* o Fe não foi inserido neste ponto

f - fineness

FI - Fit Index

Vale ressaltar o problema dos resultados obtidos para ferro, conforme já descrito no item 1.3.2, da metodologia. Foi observado que, para as partículas extremamente finas ($< 5 \mu\text{m}$), os teores de Fe, aparentemente, aumentavam (Tabela 2.19), mas na verdade, indicando que o feixe eletrônico estava medindo o Fe da matriz. Confirma esta assertiva o elevado valor do *Fit Index* (FI) para os pontos 7 e 8 na Tabela 2.19, caracterizando a análise, desses dois pontos, como semi-quantitativa. Na Figura 2.70 é apresentado um espectro da análises por EDS do grão maior da Figura 2.69, destacando os valores de Au, proporcionalmente, mais elevados do que a Ag, além das pequenas quantidades de Fe mencionadas.

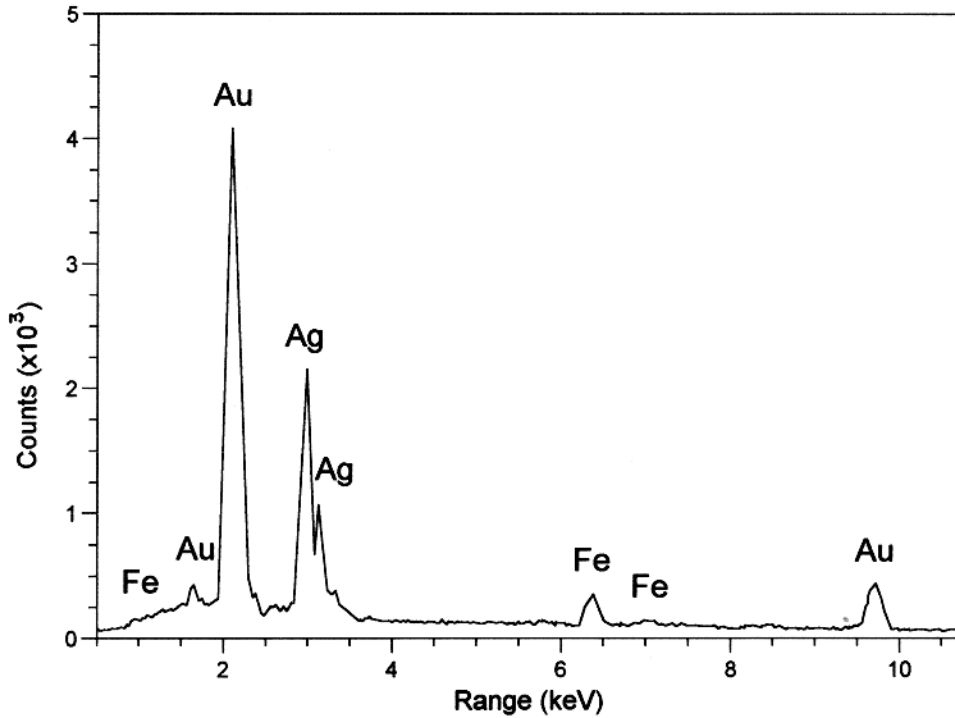


Figura 2.70 - Espectro da análises por EDS do grão maior de ouro da Figura 2.69.

A Tabela 2.20 apresenta a única análise por microsonda eletrônica, neste trabalho, realizada nas partículas de ouro das amostras estudadas. Foi analisada uma partícula de Au de cerca de 30 μm de diâmetro inclusa na calcopirita, cuja razão Au/Ag é mais baixa do que os resultados anteriores, obtidos por MEV-EDS, com teores médios de Au e Ag de 54,5 e 42,2%, respectivamente. Pequenas quantidades de Te, Se e Bi foram encontradas, e que não havia sido detectado nas análises por MEV-EDS.

Tabela 2.20 - Resultados obtidos por microsonda eletrônica em partícula de Au na zona de sulfetos primários, área Águas Claras.

	1	2	3	Média
Au	54.41	53.89	55.17	54.49
Ag	42.21	43.00	41.52	42.24
Te	0.06	0.13	0.16	0.12
Se	2.90	2.62	2.87	2.80
Bi	0.42	0.36	0.29	0.36
<i>fineness</i>	563	556	571	563

As partículas de Au inclusas na **arsenopirita** são extremamente finas (1-2 μm) (Figura 2.71) e novamente foram observados os problemas analíticos anteriormente descritos. Os valores do *Fit Index* são muito elevados e os resultados da Tabela 2.21 são aqui considerados como semi-quantitativos. Mesmo assim, observa-se um aumento considerável na razão Au/Ag, com valores de *fineness* variando de 921 a 923.

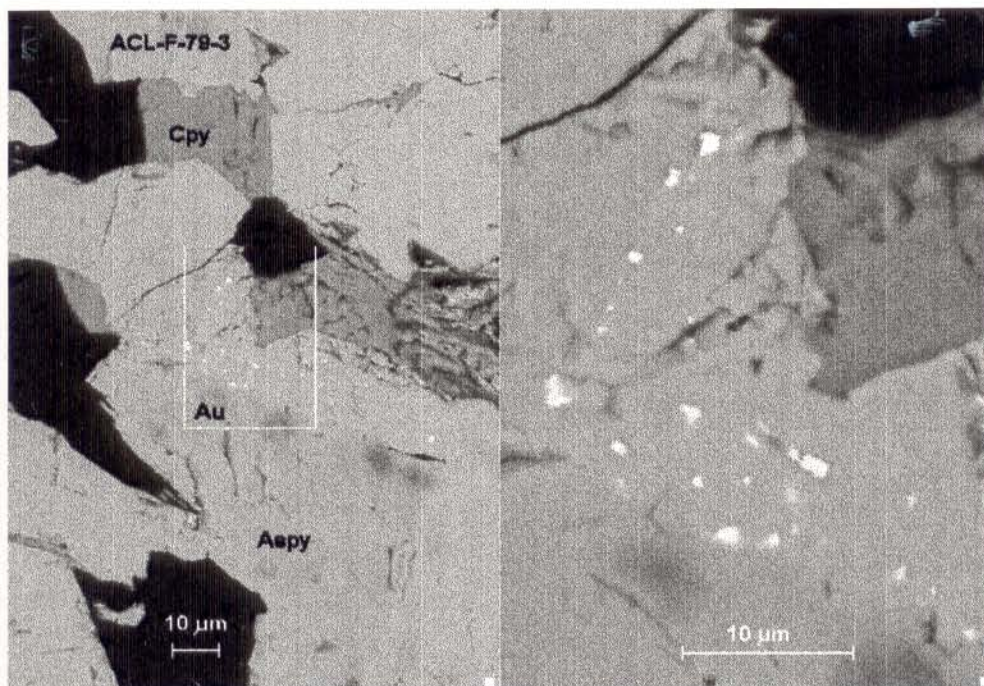


Figura 2.71 - Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na arsenopirita, na zona de sulfetos primários da área Águas Claras.

Tabela 2.21 - Análises químicas obtidas por MEV-EDS para grãos de ouro inclusos na arsenopirita, na zona de sulfetos primários da área Águas Claras (Furos 76 e 79).

	1	2	3
Au	85,31	85,21	85,28
Ag	7,11	7,32	7,24
Fe	7,58	7,47	7,48
<i>fineness</i>	923	921	922
<i>Fit Index</i>	21,30	17,90	18,52

No espectro de EDS da Figura 2.72, observa-se, nitidamente, as reflexões de As e de Fe, como influência da mineral/sulfeto da matriz, enquanto que a linha do enxofre não aparece porque coincide com a reflexão principal do Au (linha M).

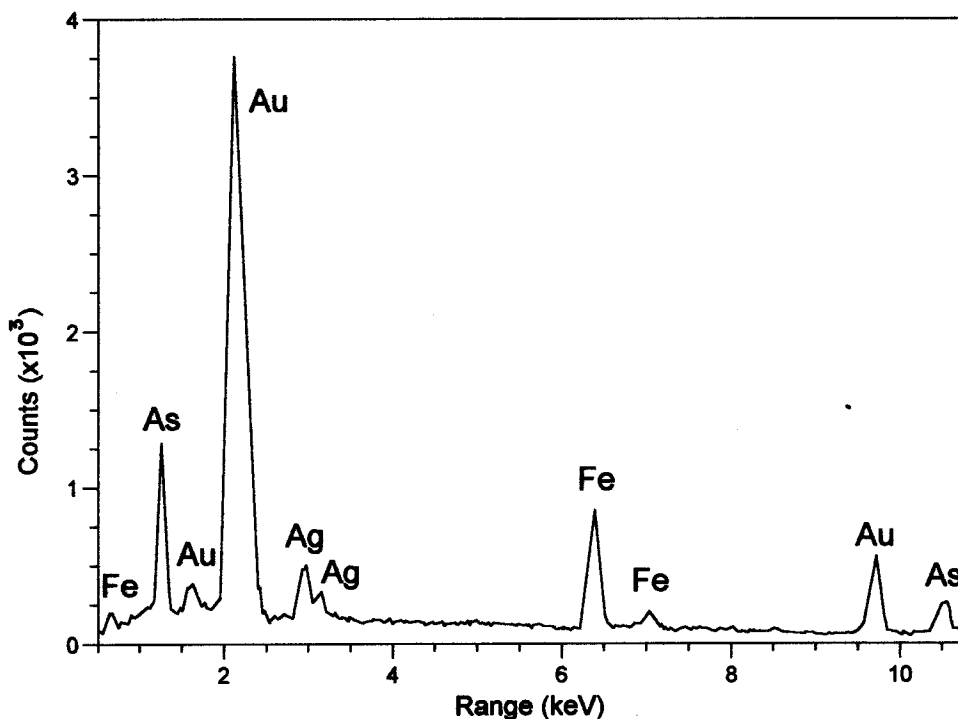


Figura 2.72 - Espectro da análise por EDS em grãos de Au inclusos na arsenopirita da Figura 2.71.

Em relação às partículas de Au inclusas na **cobaltita**, essas apresentam as características mais distintas, em comparação com as anteriormente descritas, associadas a pirita, calcopirita e arsenopirita. São partículas de granulação mais grosseira (30-50 μ m), não relacionadas a microfraturamentos no mineral (Figura 2.30 (página 48) e Figura 2.73) e com elevada pureza, como apresentado na Tabela 2.22. Além disso, as partículas de ouro, neste mineral, estão, via de regra, associadas a inclusões de teluretos de Ag, Pb e Bi, como descrito no ítem 2.3.3. Os diferentes pontos analisados, em grãos distintos, revelaram uma composição bastante homogênea, teores de Au e Ag variando de 98,07 a 99,23% e 0,77 a 1,03%, respectivamente, e a ausência do Fe nas análises, o que pode ser confirmado através do espectro de EDS da Figura 2.74, onde a reflexão da Ag, praticamente, não é delineada.

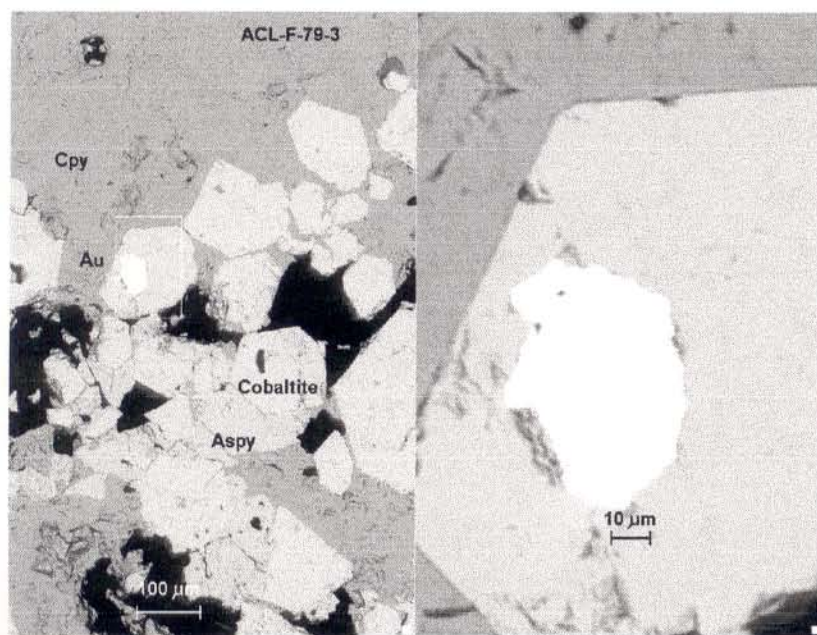


Figura 2.73 - Fotografia (MEV) de grãos de Au inclusos na cobaltita, na zona de sulfetos primários da área Águas Claras.

Tabela 2.22 - Análises químicas obtidas por MEV-EDS para grãos de ouro inclusos na cobaltita, na área Águas Claras (Furos 76 e 79).

	Figura 2.30		Figura 2.73		
	1	2	3	4	5
Au	99,01	99,23	99,02	98,97	98,07
Ag	0,99	0,77	0,98	1,03	0,93
<i>fineness</i>	990	992	990	989	981
<i>Fit Index</i>	1,77	1,45	2,78	2,38	2,64

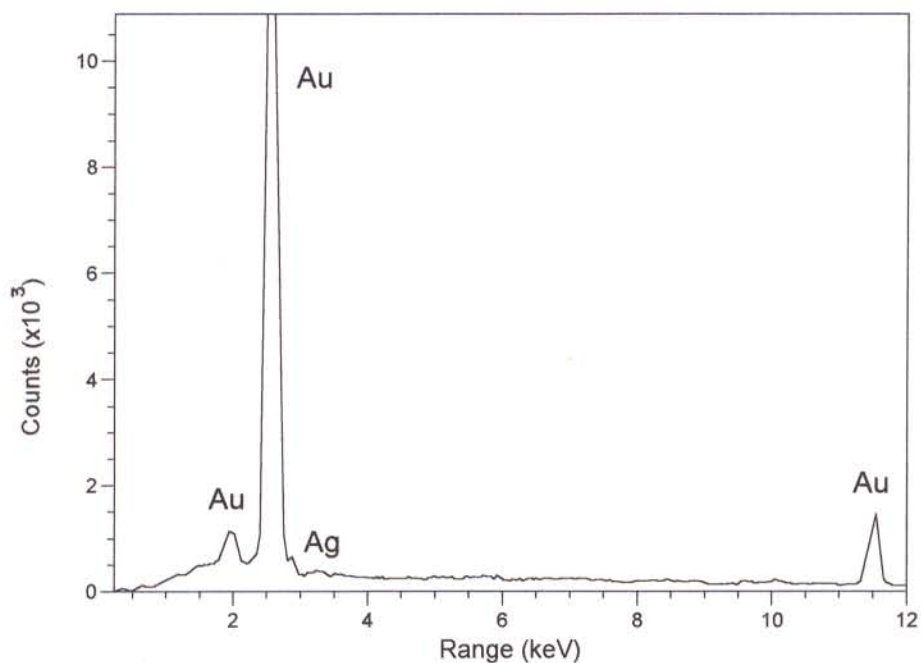


Figura 2.74 - Espectro da análise por EDS em grãos de Au inclusos na cobaltita da Figura 2.73.

2.4.3.2 Partículas de ouro nos veios de quartzo

Na área Igarapé Bahia, concentrações de ouro na forma de partículas milimétricas a centimétricas foram encontradas em veios de quartzo que cortam os saprólitos das rochas metabásicas, encaixantes dos corpos mineralizados. Foi a primeira vez, nesta área, em que partículas de ouro visíveis a olho nu foram encontradas. Essas partículas exibem aspecto geral e contornos bastante irregulares (Figura 2.75) e coloração amarronzada, pelo recobrimento de películas de material ferruginoso (Figura 2.76). Vários pontos de análise foram feitos nessas amostras, onde os resultados são apresentados na Tabela 2.23. É importante citar que essas partículas foram as únicas que não apresentavam uma superfície polida, para análise ao MEV-EDS.

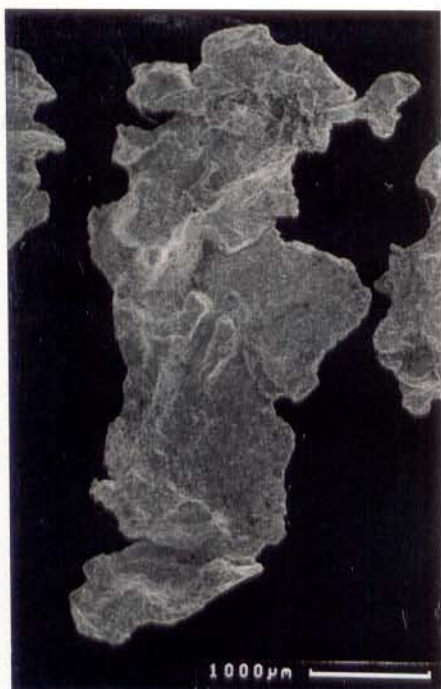


Figura 2.75 - Partículas de Au associadas aos veios de quartzo dos saprólitos das encaixantes, na mina Igarapé Bahia (MEV).



Figura 2.76 - Películas de material ferruginoso na superfície das partículas de Au da Figura 2.75 (ponto 5 da Tabela 2.23).

Tabela 2.23 - Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a veios de quartzo, na área Igarapé Bahia.

(%)	1	2	3	4	5
Au	75,99	87,08	81,66	94,09	10,74
Ag	0,40	7,20	2,68	-	0,11
Pd	-	0,31	0,76	0,08	-
Rh	-	-	-	1,03	0,51
Fe	23,61	5,40	14,52	4,80	88,55
Cu	-	-	0,37	-	0,10

- não detectado

Inicialmente, observa-se uma grande heterogeneidade composicional para os diversos pontos analisados. Os teores de ouro variam de 10,74 a 94,09%, onde o ponto 5, de maior teor de Fe, revelou uma espessura maior da película ferruginosa na superfície da partícula, inclusive com um início de cristalização de provável goethita (Figura 2.76). Na Figura 2.77, observa-se nítida correlação negativa entre Au e Fe (apesar da pequena representatividade estatística, apenas 5 pontos analisados) e mostrando o efeito relativo de superposições ferruginosas com a diminuição dos teores de Au. Os teores de Ag são baixos, em comparação com a amostra anterior da zona de sulfetos primários, indicando certamente lixiviação deste elemento, além do Pd, comprovada através da correlação negativa Au-Pd na Figura 2.77. Esses elementos devem migrar em direção aos horizontes ferruginosos, no topo do perfil, já que uma liga Ag-Pd foi descrita por ZANG et al. (1992), em vazios na crosta ferruginosa, desta área, o que será discutido posteriormente, no item 2.4.4. Teores menores de Cu e Rh foram detectados em alguns dos pontos realizados (Tabela 2.23).

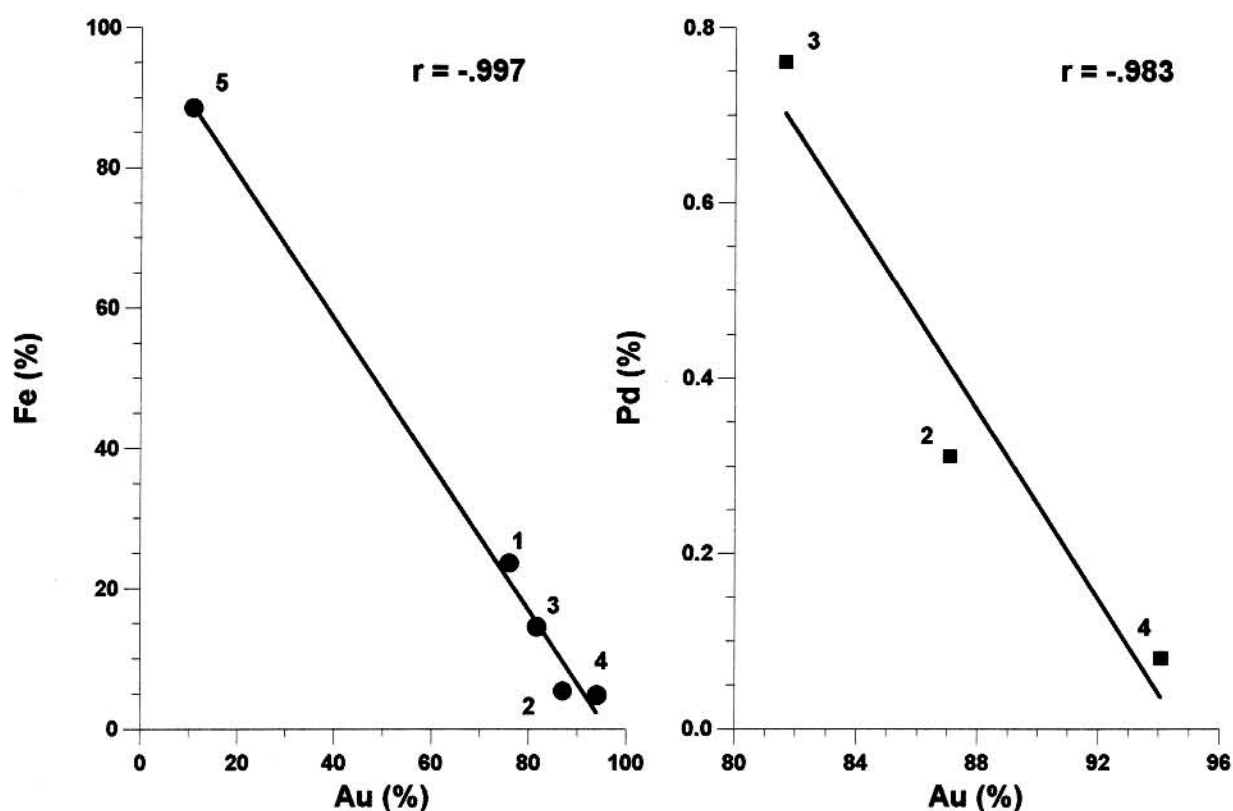


Figura 2.77 - Correlações Au-Fe e Au-Pd, em partículas de Au dos veios de quartzo da área Igarapé Bahia. Os números correspondem aos pontos de análise da Tabela 2.23.

2.4.3.3 Partículas de ouro nos gossans

Em algumas amostras do furo 23 (ACL-F-23-2) e da tricheira 35 (ACL-T-35-2), ambas na área Águas Claras, vários grãos de Au foram identificados, imersos na matriz ferruginosa dos gossans. As partículas apresentam tamanhos variáveis, com formas e contornos bastante irregulares (Figuras 2.78 e 2.79), onde a maior delas, apresenta cerca de 30 μm de maior comprimento.



Figura 2.78 - Partículas de Au incluídas nos gossans na área Águas Claras (MEV).



Figura 2.79 - Partículas de Au da Figura 2.78, associadas aos gossans, fotografadas ao microscópio petrográfico (nicóis //).

Os resultados da análise por MEV-EDS apresentados na Tabela 2.24 revelam composição bastante heterogênea para as diferentes partículas das Figuras 2.78 e 2.79.

Tabela 2.24 - Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a gossans, na área Águas Claras (ACL-F-23-2). Os pontos de análise correspondem aqueles das Figuras 2.78 e 2.79.

(%)	1	2	3	4	5
Au	77.78	95.32	70.30	85.74	-
Ag	19.76	1.46	26.24	0.83	-
Pt	0.34	-	0.10	-	-
Pd	0.12	1.85	-	2.44	-
Rh	1.31	0.54	1.47	0.81	-
Fe	0.69	0.84	1.90	10.17	> 90.00

- não detectado

Nesta Tabela, os pontos 1 e 3 foram feitos na porção central das maiores partículas, que estão numeradas na Figura 2.78, onde o grão 3 só aparece na fotografia ao microscópio petrográfico (Figura 2.79), devido a proximidade da mesma de um vazio ou cavidade no gossan, o que provocou uma dispersão no feixe eletrônico, e um branqueamento dessa porção da Figura 2.78. As partículas 1 e 3 apresentam elevados teores de Ag, com 19,76 e 26,24%, respectivamente, este último próximo da composição do eletrum, enquanto a partícula dois está completamente empobrecida em Ag. Já os pontos 4 e 5 foram realizados em partículas menores ($< 10 \mu\text{m}$), e a análise obtida indicou elevados teores de Fe, como influência da matriz. Teores elevados de Pd foram obtidos (2,44%), além de Rh e Pt, que ainda não havia sido detectada — a Pt — nas partículas de ouro anteriormente descritas.

A fim de melhor visualizar a relação Au/Ag, nessas partículas, foi utilizado um recurso do EDS denominado Mapeamento de Pontos (*Dot Mapping*). Nesta técnica, imagens coloridas da distribuição de cada elemento são geradas, onde o aumento na intensidade da cor (quantidade de pontos) é diretamente proporcional à concentração do elemento. Para as partículas das Figuras 2.78 e 2.79, o mapeamento de pontos está apresentada na Figura 2.80. Nesta, observa-se, claramente, o que as análises pontuais já haviam destacado. A partícula nº 2 da porção leste-nordeste da Figura, desaparece completamente, durante o mapeamento da Ag, em vermelho, revelando uma partícula completamente empobrecida em Ag, ao lado dos grãos 1 e 3, com elevado teor nesse elemento.

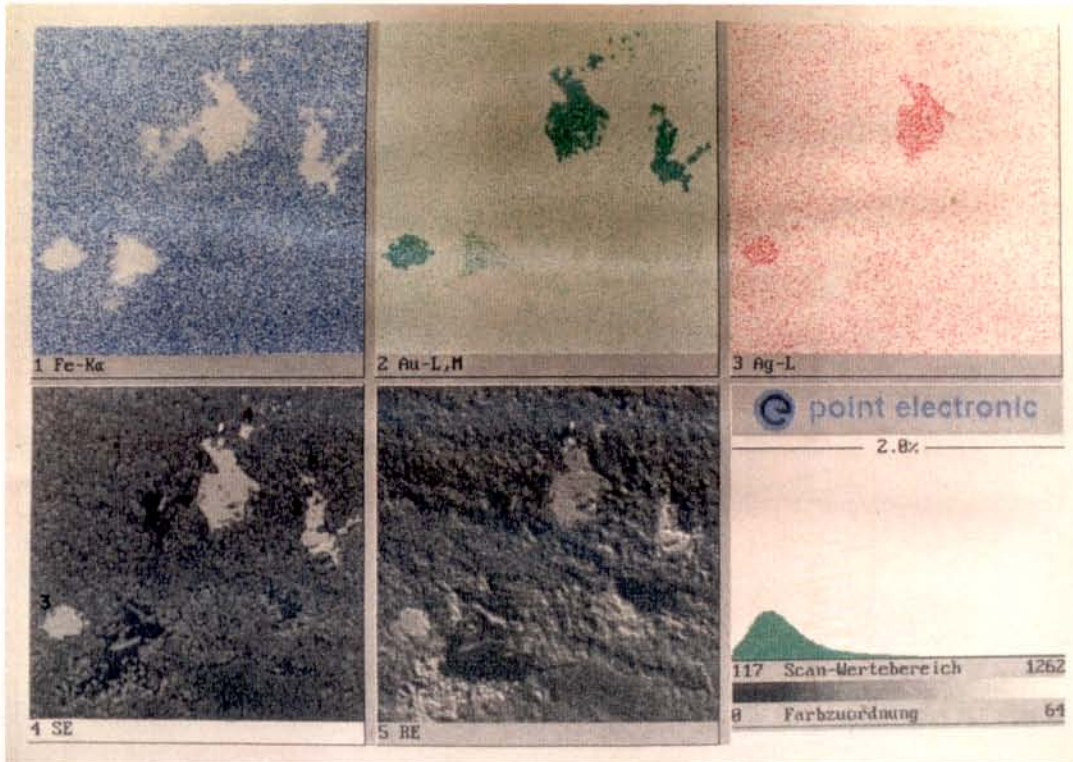


Figura 2.80 - Imagens do mapeamento de pontos com o MEV-EDS, em grãos de ouro associados a gossans, na área Águas Claras (ACL-F-23-2). RE= eletrons retroespalhados; SE= eletrons secundários.

Na Tabela 2.25 são apresentados outros pontos de análise por MEV-EDS, na amostra ACL-T-35-2, estas realizadas no laboratório da Politécnica-USP, enquanto que as anteriores, do F-23, foram feitas em Erlangen-Alemanha. As fotografias, indicadas na Tabela, estão apresentadas nas Figuras 2.81 e 2.82.

Tabela 2.25 - Análises por MEV-EDS em partículas de Au na amostra T-35-2 associadas a gossans, na área Águas Claras.

(%)	Figura 2.81					Figura 2.82		(sem foto)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au	72,73	94,51	64,53	67,47	91,95	69,78	92,02	66,57	50,72	67,06
Ag	21,86	0,41	16,34	19,28	0,77	22,58	0,53	28,22	30,63	27,58
Fe	5,41	5,08	19,13	3,25	7,28	7,64	7,45	5,21	18,65	5,36
<i>f</i>	769	996	798	778	992	756	995	702	623	709
FI	1,20	1,12	1,93	1,28	1,38	1,38	1,31	1,28	2,78	1,48

f - fineness

FI - Fit Index

As duas partículas apresentam em torno de 10 µm de maior comprimento, com formas e contornos bastante irregulares, e superfícies marcadas por reentrâncias, as vezes individualizando diminutas partículas, a partir das maiores. Os resultados das análises por MEV-EDS da Tabela 2.25 assemelham-se, em termos da grande variação nos teores de Au e Ag, aos resultados das partículas

do F-23 (Tabela 2.24), que variam de 50,72 - 94,51% e 0,41 - 30,63%, respectivamente. A maior diferença em relação às análises das partículas dos gossans do F-23 (Tabela 2.24), é a ausência de Pt, Pd e Rh, anteriormente descritos.

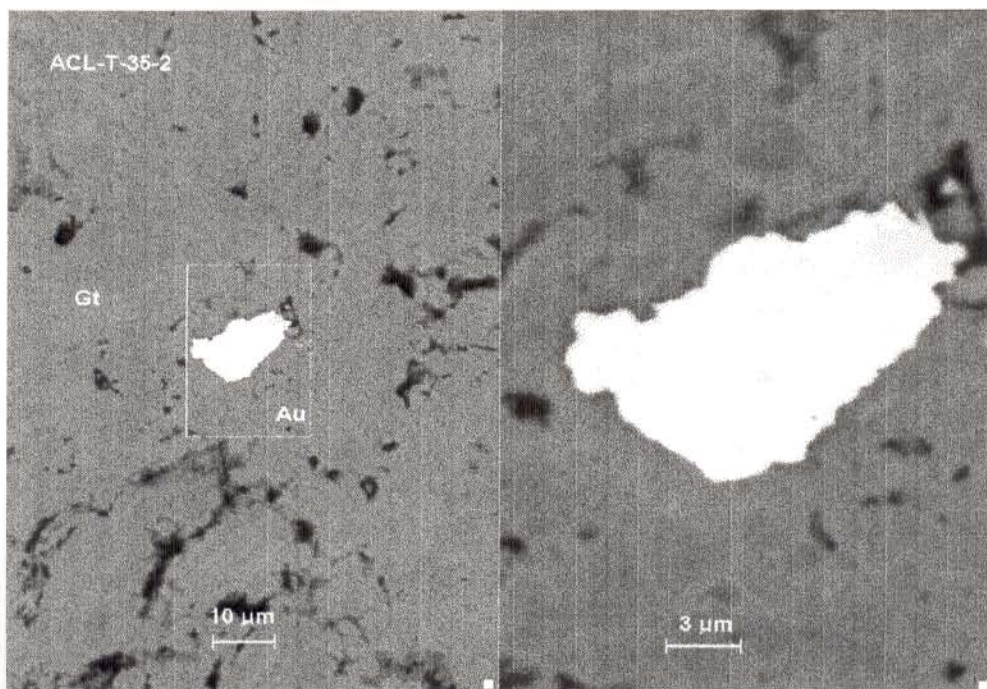


Figura 2.81 - Partícula de Au associada a gossan, na amostra ACL-TR-35-2, Águas Claras (MEV).



Figura 2.82 - Partícula de Au associada a gossan na amostra ACL-TR-35-23, Águas Claras (MEV).

O mapeamento de pontos também foi realizado para essas partículas (Figura 2.83) com uma interessante resposta obtida para o distribuição da Ag. Desta vez foi escolhida a cor verde, para mapear este elemento, onde uma faixa central, descontínua, com elevados teores de Ag, foi realçada, correspondente aos pontos 1= 21,86%, 3= 16,34% e 4=19,28%, da Tabela 2.25. Conseqüentemente, as bordas do grão, que não apresentam a coloração verde, estão empobrecidos em Ag, correspondentes aos pontos 2=0,41% e 5=0,77%, da Tabela 2.25.

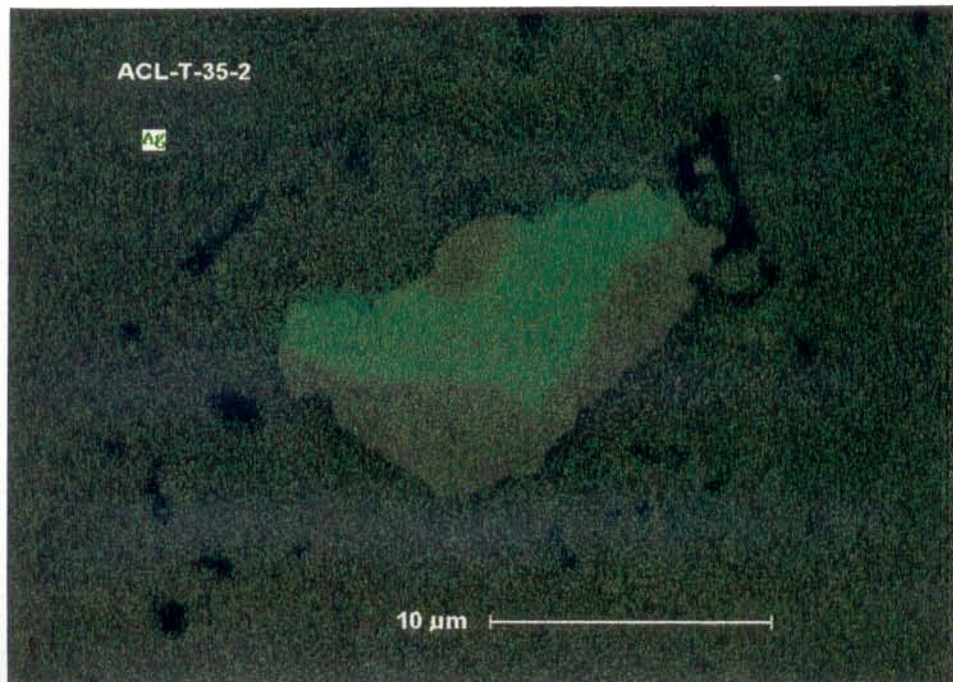


Figura 2.83 - Imagens do mapeamento geoquímico da Ag (verde) com MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, na área Águas Claras (ACL-F-23-2).

Já para o grão de ouro da Figura 2.82, o mapeamento de pontos também revelou um núcleo rico em Ag. Na primeira imagem obtida (Figuras 2.84 e 2.85), foi superposto o mapeamento do Au, de coloração vermelha. No entanto, o grão imediatamente inferior a partícula maior apresentou coloração verde, sem Au (vermelho). A Análise pontual feita em seguida, revelou tratar-se de uma partícula de cassiterita, onde a coincidência das cores é devido a reflexão do Sn superpor com a da Ag, no espectro eletromagnético.



Figura 2.84 - Imagens do mapeamento geoquímico do Au (vermelho), da Ag (verde) e Fe (azul) com o MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, na área Águas Claras. O grão inferior, apesar da coloração verde é cassiterita.

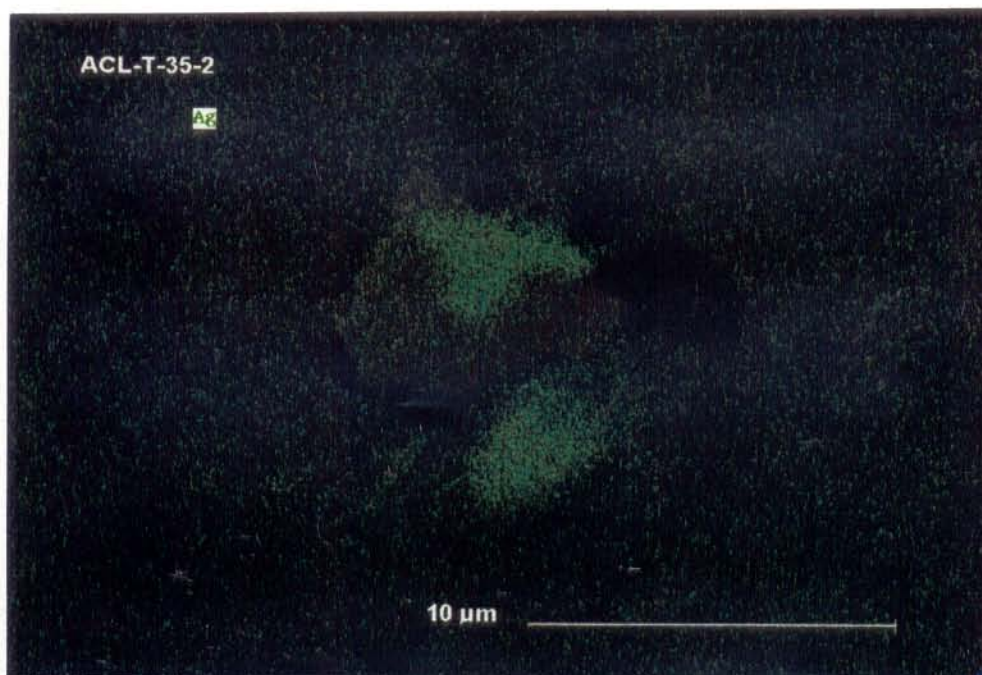


Figura 2.85 - Imagens do mapeamento geoquímico da Ag com o MEV-EDS, em grão de ouro associado aos gossans, da TR-35, na área Águas Claras. O grão inferior, apesar da coloração verde é cassiterita.

2.4.3.4 Partículas de ouro nas crostas lateríticas

As partículas de Au das Figuras 2.86 a 2.88 foram identificadas em crostas lateríticas da área Águas Claras. Essas partículas apresentam características mineralógicas semelhantes às dos gossans, exibindo formas ligeiramente alongadas e contornos bastante irregulares, com comprimento da maior dimensão variando de 30-50 μm . Na Figura 2.88, destaca-se a textura cavernosa a porosa da matriz ferruginosa, com um interessante aspecto observado: todas as partículas de ouro relacionadas aos gossans e às crostas lateríticas, descritas neste trabalho, não estão ocupando os vazios ou cavidades dessas porções porosas, como acontece, freqüentemente, com a wolframita (Figura 2.38, página 53) e a cassiterita, minerais que se acumulam, caracteristicamente, de maneira residual. Ao contrário, as partículas de ouro são encontradas, via de regra, nas porções mais maçicas, imersas ou envolvidas pela matriz ferruginosa.



Figura 2.86 - Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV). Amostra BF-888 (Docegeo).

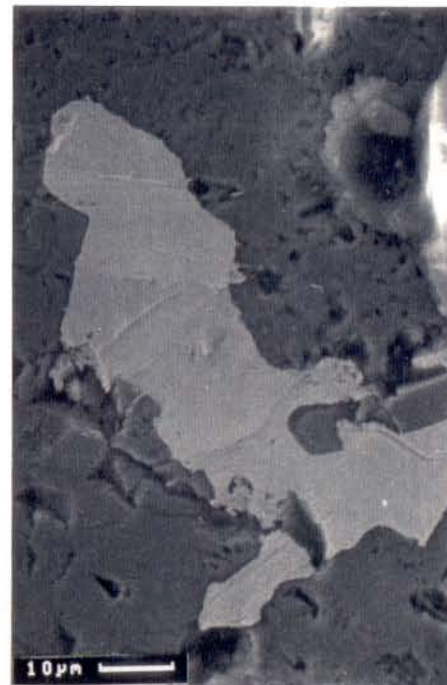


Figura 2.87 - Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV). Amostra BF-888 (Docegeo).



Figura 2.88 - Partícula de Au associada à crostas lateríticas na área Águas Claras (MEV). Amostra do F-25-1 (Docegeo).

Os resultados das análises por MEV-EDS nas duas partículas das Figuras 2.86 e 2.87 estão apresentados na Tabela 2.26. Nesta, repete-se a grande variação composicional, especialmente na razão Au/Ag, descrita para os gossans, cujos teores de Au e Ag estão próximos à composição do electrum; na partícula 1 (Tabela 2.26), os teores entre parênteses foram recalculados sem o Fe, admitindo-se interferência da matriz ferruginosa nessa análise. Teores elevados de Rh, atingindo 5,09%, além de Pd e Cu também foram evidenciados.

Na amostra do Furo-25 (Figura 2.88), com mais pontos analisados por MEV-EDS (Tabela 2.27), observa-se, novamente, a presença das porções empobrecidas em Ag (pontos 2 e 5), e a confirmação através do mapeamento geoquímico da Ag na Figura 2.89. Nesta, ao invés de um efeito de borda, observa-se a região empobrecida neste elemento, na porção central da partícula.

Tabela 2.26 - Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a crostas lateríticas, na área Águas Claras (BF-888). Os valores entre parênteses estão recalculados sem o Fe.

(%)	Partícula 1 (Figura 2.86)	Partícula 2 (Figura 2.87)
Au	51,72 (68,35)	70,27
Ag	18,62 (24,59)	26,04
Pd	-	1,38
Rh	5,09 (6,72)	1,99
Fe	24,29 (0,00)	0,31
Cu	0,25 (0,33)	-

- não detectado

Tabela 2.27 - Análises por MEV-EDS nas partículas de Au associadas a crostas lateríticas, na área Águas Claras (F-25) (Figuras 2.88 e 2.89).

%	1	2	3	4	5	6
Au	72,05	91,90	61,91	69,50	89,69	70,61
Ag	22,45	0,94	34,21	25,20	3,01	23,04
Fe	5,50	7,16	3,88	5,30	7,30	6,35
<i>f</i>	762	990	644	734	968	754
FI	1,40	1,52	1,29	1,51	1,40	1,56

f - fineness FI - Fit Index



Figura 2.89 - Imagens do mapeamento geoquímico da Ag (verde) com o MEV-EDS, em grão de ouro associado a crostas lateríticas, do F-25, na área Águas Claras.

2.4.3.5 Partícula de ouro nos latossolos

A partícula de ouro relacionada aos latossolos, constitui um verdadeiro efeito pepita, já que esses solos são extremamente empobrecidos em ouro. Esta amostra representa um grão de ouro de aproximadamente 0,5 cm de diâmetro, envolvida em matriz ferruginosa e assemelhando-se a uma concreção ou pisólito. A mesma foi fornecida pelo geólogo Lucival R. da Fonseca, obtida quando da execução dos primeiros furos rasos no platô da área Igarapé Bahia, e recuperada através da sondagem reversa logo nos primeiros metros. Durante a preparação das amostras, essa pepita foi

embebida em resina epoxi e polida a fim de que as análises efetuadas por MEV-EDS refletissem o núcleo da mesma. Na Figura 2.90 é ilustrada a seção obtida, com os pontos de análises efetuados, os quais são apresentados na Tabela 2.28.

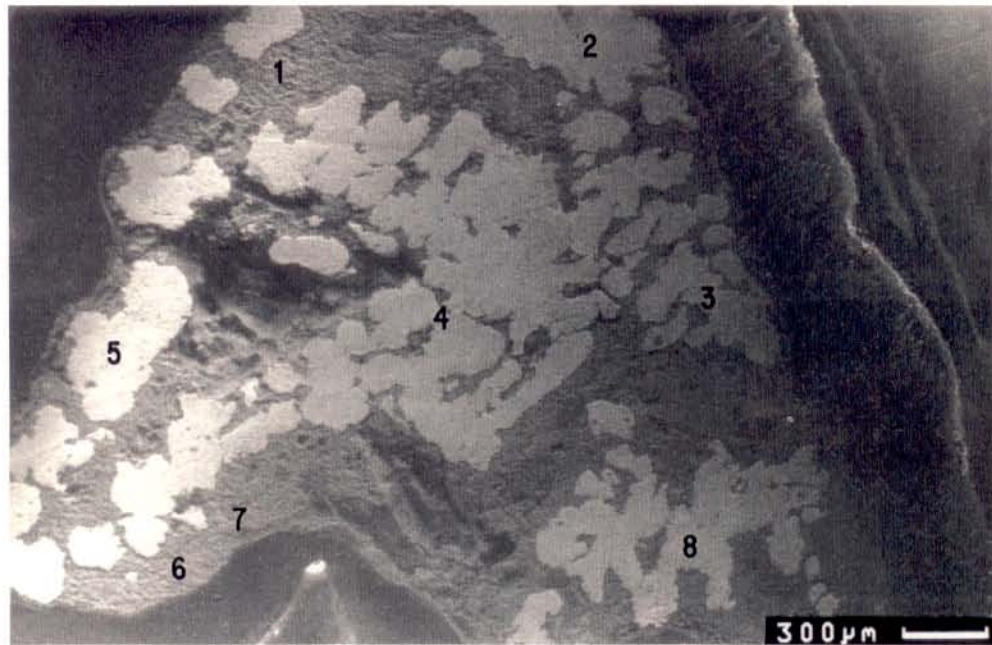


Figura 2.90 - Partícula de Au envolvida por matriz ferruginosa, onde os números representam pontos de análise ao MEV-EDS, apresentados na Tabela 2.28.

Tabela 2.28 - Análises por MEV-EDS em uma partícula de Au nos latossolos da área Igarapé Bahia

(%)	1	2	3	4	5	6	7	8
Au	-	92.96	93.95	93.68	92.15	-	-	93.53
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-
Pt	-	0.44	1.32	0.05	-	-	-	0.31
Pd	-	5.28	3.04	5.52	6.61	-	-	5.65
Fe	76.82	1.33	1.34	0.75	1.23	37.63	76.26	-
Cu	-	-	0.35	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	0.44	0.88	-
Cr	-	-	-	-	-	0.54	0.53	-
Al	17.22	-	-	-	-	8.58	15.36	-
Si	4.86	-	-	-	-	52.82	5.03	-
P	1.10	-	-	-	-	-	1.94	-

Pontos 1,6 e 7: matriz ferruginosa
- não detectado

Pontos 2,3,4,5 e 8: ouro

Na amostra, os pontos 1, 6 e 7 foram efetuados na matriz ferruginosa, e indicam a presença de elevados teores de Si e Al, além de traços de P, Mn e Cr, evidenciando a presença de quartzo e, provavelmente, gibbsita, caolinita ou fosfato, o que pode sugerir que essa pepita representa um fragmento da crosta laterítica, reliquiar nos latossolos. Os pontos restantes foram feitos na partícula de ouro, propriamente dita, onde os resultados mostram uma composição bastante homogênea para a mesma, com pequenas variações nos teores de Au, em torno de 93%, bastante diferente da composição das partículas relacionadas às crostas lateríticas e aos gossans, anteriormente descritas. Mas um dos aspectos mais interessantes desses resultados é a total ausência da Ag, e os maiores teores observados de Pd (6,61%) e Pt (1,32%), de todas as partículas aqui estudadas. O Rh que vinha sendo freqüentemente observado, também não foi detectado. O gráfico da Figura 2.91 ilustra a correlação negativa entre Au e Pd, e assim como na partícula de Au dos veios de quartzo (Figura 2.77), pode indicar a saída do Pd (juntamente com a Ag, que já foi totalmente lixiviada) e o enriquecimento relativo do Au (ZANG et al., 1992).

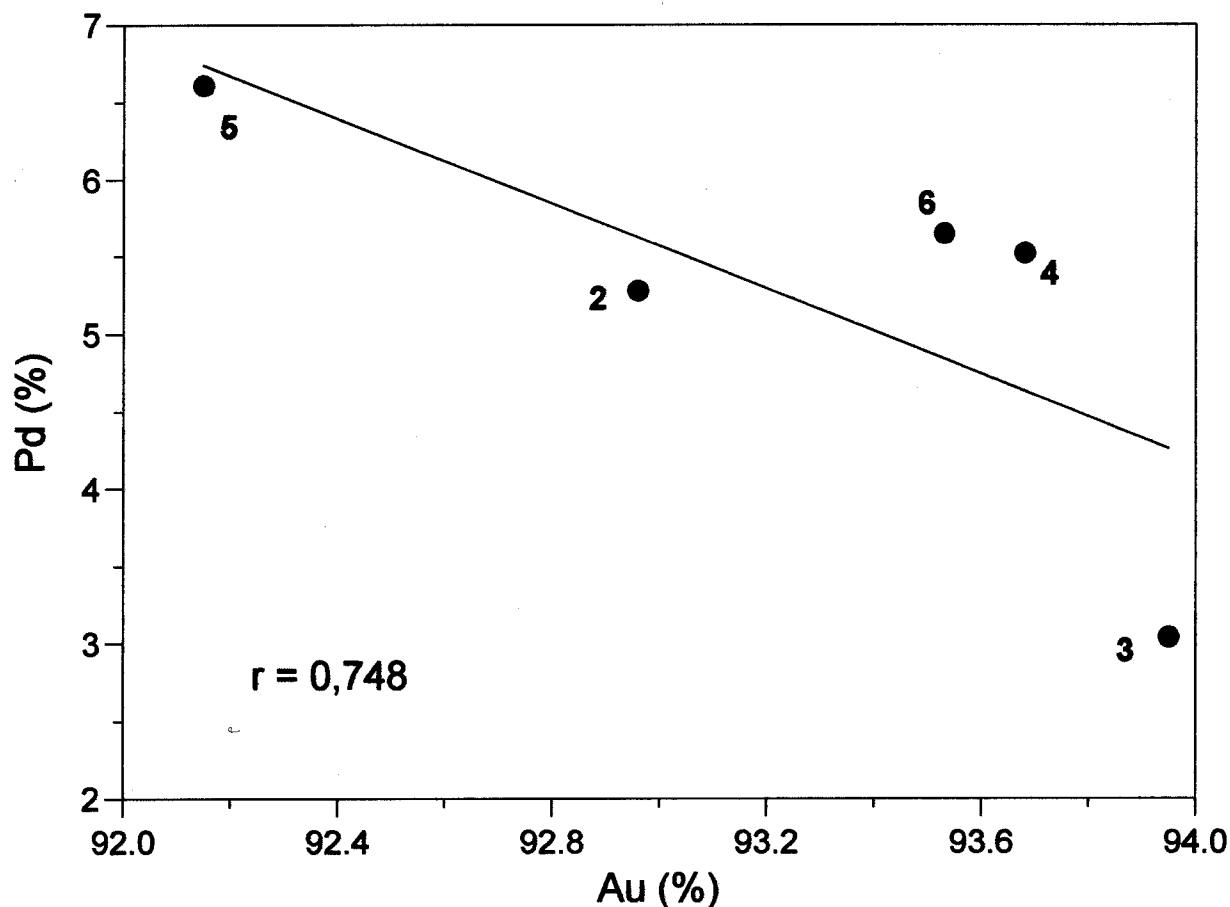


Figura 2.91 - Correlação Au-Pd, na partícula de Au dos latossolos, na área Igarapé Bahia. Os números correspondem aos pontos de análise da Tabela 2.28.

2.4.4 Discussão sobre o comportamento geoquímico do ouro

2.4.4.1 Caracterização do ouro primário e secundário

As partículas de ouro descritas neste trabalho podem ser divididas em dois grupos principais: (1) Partículas de Au primárias; e (2) Partículas de Au secundárias ou supergênicas, cujas principais características podem ser resumidas a seguir:

1) Partículas de Au primárias, ou seja, aquelas descritas associadas às zonas de sulfetos primários. Apresentam composição bastante variável, dependendo do sulfeto no qual estão inclusas, cuja razão Au/Ag aumenta, consideravelmente, das partículas associadas a pirita-calcopirita, em direção aquelas associadas a arsenopirita e a cobaltita, segundo a Tabela 2.29.

Tabela 2.29 - Pureza e tamanho das partículas de ouro inclusas nos diferentes sulfetos estudados.

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

É sabido que a cobaltita é um dos primeiros sulfetos a se formar, daí a sua maior tendência ao desenvolvimento de cristais idiomórficos do que a maioria dos outros minerais (e.g., RAMDOHR, 1969), como observado neste trabalho. Assim, baseados, principalmente, nas relações texturais da cobaltita com os outros sulfetos, acredita-se que o ouro incluso nesse mineral possa estar relacionado a uma primeira fase de geração de fluidos hidrotermais — juntamente com os teluretos de Ag, Bi e Pb e Bi nativo — com menor quantidade de Ag e com partículas mais grosseiras. Os outros sulfetos, que apresentam partículas de ouro inclusas com composição da liga mais rica em prata (Tabela 2.29), podem estar relacionados a fases posteriores, onde estudos mais detalhados (e.g., inclusões fluidas, isótopos, etc.) se fazem necessários para se tecer maiores considerações em termos da origem dos fluidos mineralizantes, e que não constituíram como objetivo deste trabalho.

2) Partículas de Au secundárias ou supergênicas, aquelas associadas aos gossans, crostas lateríticas e latossolos, que constituíram o objetivo central deste trabalho, e que foram subdivididas ou classificadas segundo o esquema da Figura 2.92, e que serão descritas a seguir:

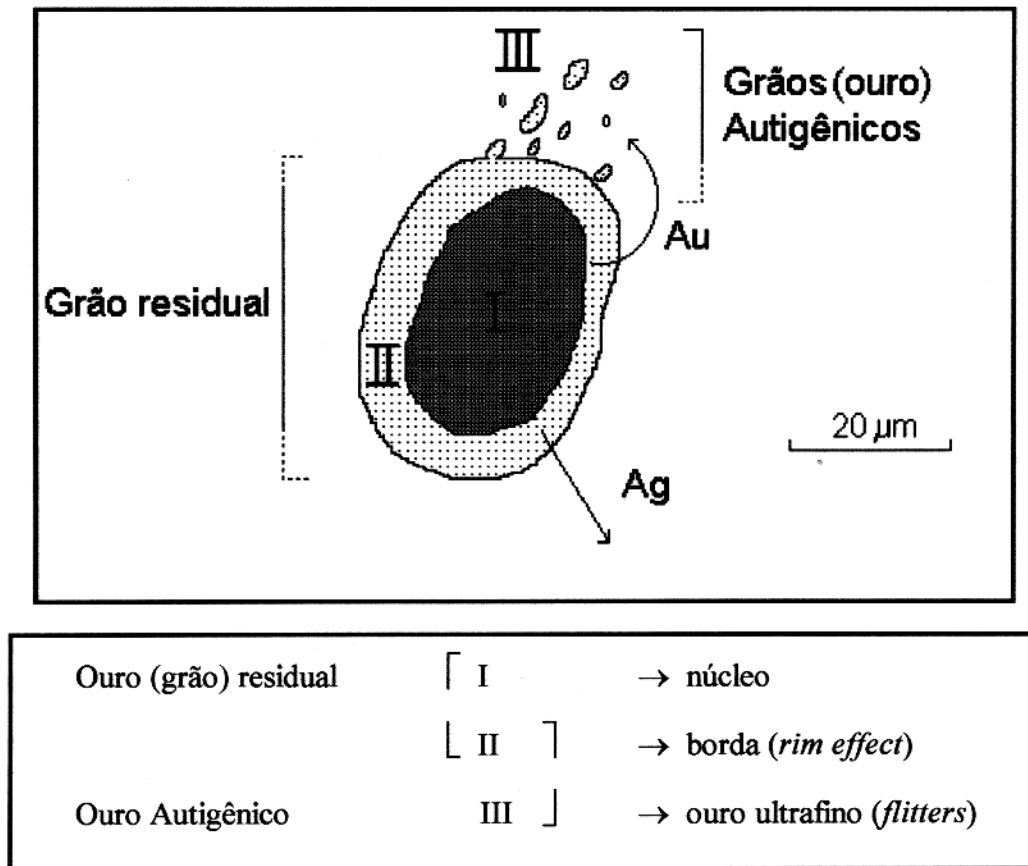


Figura 2.92 - Proposta de classificação das partículas de ouro associadas aos perfis laterito-gossânicos nas áreas Igarapé Bahia e Águas Claras.

2.1) Partículas de Au supergênico residuais - Os núcleos dessas partículas (I, da Figura 2.92) apresentam elevados teores de Ag, guardando ainda a composição da liga original, em situação semelhante às descritas em diferentes perfis lateríticos da Austrália e África, por MANN (1984), WILSON (1984), FREYSSINET (1989a), dentre outros. Acumulam-se, dessa forma, residualmente, em direção ao topo dos perfis, onde as suas bordas (II, da Figura 2.92) sofrem corrosão química, com progressivo arredondamento e lixiviação da Ag, formando bordas de alta pureza (*rim effect*). Apresentam granulometria em geral maior do que 30 µm. É muito importante destacar, que as partículas de ouro associadas aos sulfetos primários analisadas neste trabalho, apesar da grande variação composicional anteriormente descrita, dentro das partículas, a composição das mesmas era,

sistematicamente, homogênea, sem os efeitos de borda observados e cartografados com o MEV-EDS nas partículas supergênicas.

2.2) Partículas de Au neo-formadas ou autigênicas. São as partículas extremamente finas (III, da Figura 2.92), normalmente menores que 5 μm , e de elevada pureza de Au, na forma de dendritos, “flitters”, pontuações, microglóbulos ou córtexes, relacionados às periferias dos grãos maiores/residuais, além das próprias bordas desses (II, da Figura 2.92), onde a Ag foi lixiviada, ou o Au secundário foi reprecipitado. As formas e os contatos, da maioria dessas partículas, com os minerais encaixantes — óxidos e hidróxidos de ferro — apontam para uma cristalização contemporânea do ouro com esses constituintes.

A partícula dos latossolos é interpretada como uma verdadeira pepita de ouro supergênico, com elevados teores de Pd e sem Ag, envolvida em matriz ferruginosa, provavelmente, um fragmento reliquiar da crosta laterítica. Dentro do esquema da Figura 2.92, é associada às partículas III — neo-formadas — mas de tamanho centimétrico.

É importante ressaltar que aquelas partículas associadas aos veios de quartzo da área Igarapé Bahia (item 2.4.3.2) podem ser consideradas tanto como primárias, e apenas com um efeito superficial (coating) de ferruginização; ou como supergênicas, em havendo remobilização, dentro do sistema de veios, durante a lateritização das rochas encaixantes. A esse tipo de situação, onde veios de quartzo com ouro “sobrevivem” em um perfil de alteração, GRAY et al. (1992) denominaram como depósitos de ouro supergênico saprolítico.

Merece citação a ocorrência da liga Ag-Pd, descrita por ZANG et al. (1992) em vazios da crosta laterítica da mina Igarapé Bahia. Segundo esses autores, a partícula tem formas angulares, com maior comprimento em torno de 15 μm e interpretada por esses autores como sendo de origem laterítica, caracterizando, dessa forma, que uma parte da Ag lixiviada do electrum pode ficar retida no próprio perfil.

Outro aspecto importante: não foram observadas diferenças significativas em termos da composição química e da morfologia das partículas associadas aos gossans, daquelas associadas as crostas lateríticas. Partindo-se do princípio que as crostas lateríticas possuem fragmentos dos

gossans, é provável que as partículas de ouro analisadas nesse horizonte, sejam, na verdade, dos gossans. Já a partícula dos latossolos, com composição bastante distinta das anteriores é aqui considerada como um fragmento reliquiar da crosta laterítica, como descrito acima.

2.4.4.2 Condições de formação do ouro supergênico

1) Sobre a evolução micro-morfológica das partículas - Vários autores tem se preocupado com a evolução morfológica das partículas ao longo dos perfis, no sentido do progressivo arredondamento dos grãos e corrosão da superfície dos mesmos (COLIN et al., 1989; FREYSSINET et al., 1989a; GRANT et al., 1991; SANTOSH & OMANA, 1991, VASCONCELLOS & KYLE, 1991; dentre outros). Neste trabalho, apesar da pequena quantidade de partículas analisadas, não observou-se essa tendência de aumento de arredondamento da base, em direção ao topo dos perfis.

2) Sobre a origem dos “efeitos de borda” (*rim effect*) - Embora inicialmente os efeitos de borda nas partículas de ouro fossem interpretados como típicos de grãos de depósitos de placer (BOYLE, 1979; EVANS, 1981), diversos trabalhos tem mostrado que este efeito está relacionado a: (1) lixiviação da Ag por difusão atômica ou pela dissolução da liga com perda de Ag; (2) reprecipitação *in situ* do ouro autigênico nas bordas das partículas primárias (NAHON et al., 1992), através de diferentes condições físico-químicas, que serão descritas a seguir.

3) Em relação aos mecanismos de dissolução-migração-reprecipitação do ouro:

As condições físico-químicas requeridas para a solubilização do Au no ambiente supergênico tem sido intensivamente estudadas por diferentes autores, onde um resumo dessas principais condições é apresentada na Tabela 2.30.

Não é objetivo deste trabalho entrar em discussões termodinâmicas mais aprofundadas, mas sim, através da comparação dos resultados obtidos com os exemplos da literatura, tentar estabelecer um modelo para o comportamento geoquímico do Au nos perfis laterito-gossânicos das área estudadas.

Tabela 2.30 - Complexos e ligantes químicos e ambientes favoráveis a mobilização do Au comumente descritos em perfis lateríticos.

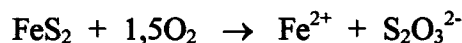
Ligantes/Complexos	Condições físico-químicas	Produto: Au precipitado	Referências
Cloretos: $Au^{\circ} + 2Cl^{-} \rightarrow AuCl_2^{-}$ $4Au^{\circ} + 16Cl^{-} + 3O_2 + 12H^{+} \rightarrow 2AuCl_4^{-} + 3H_2O$	oxidante, ácido (pH < 4) e com alta concentração de Cl^{-} (> 35000 mg/L)	pureza alta a muito alta e granulação grosseira	KRAUSKOPF (1951) MANN (1984) SANTOSH & OMANA (1991)
Tiosulfatos: $Au^{\circ} + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow Au(S_2O_3)_2^{3-}$	oxidante, moderadamente ácido a moderadamente alcalino, levemente carbonático	pureza média e granulação fina	WEBSTER & MANN (1984) WEBSTER (1986) BENEDETTI & BOULÈGUE (1991)
Complexos orgânicos: ácidos húmicos e aminoácidos $Au^{\circ} + \text{ácido orgânico} + O_2 + H^{+} \rightarrow Au[\text{humato}]^{n-} + H_2O$	oxidante, neutro-ácido; atividade biológica	pureza alta e granulação fina	BAKER (1978) BERGERON & HARRISON (1989) BUTT & ZEEGERS (1992)
Au coloidal: $Au^{+} + MO^{-} \rightarrow Au^{\circ}$	pode ser formado durante a redução do Au pela matéria orgânica	pureza alta e granulação fina	GRAY et al. (1992)
Cianetos: $2Au^{\circ} + 4CN^{-} + \frac{1}{2}O_2 + 2H^{+} \rightarrow 2Au(CN)_2^{-} + H_2O$	oxidante; presença de cianeto da atividade biológica	pureza baixa e granulação fina	LAKIN et al. (1974) BOYLE (1979)
Complexos aquo-hidrolisados: $Au(OH)(H_2O)^{\circ}$	Ausência de concentrações significativas de outros ligantes		VLASSOPOULOS & WOOD (1990) SÉA et al. (1993)

Adaptada a partir de diferentes compilações feitas por GRAY et al. (1992), LAWRENCE (1995), NICHOL et al. (1995).

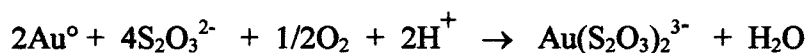
Em diversos estudos sobre o Au, a sua dissolução e migração são comprovadas, mas os processos químicos correspondentes não são claramente indicados, como nos trabalhos de COLIN et al. (1989) e DAVIES et al. (1989), ou diferentes condições são utilizadas para explicar a sua mobilidade, como as apresentados na Tabela 2.30. Podem ser considerados exceção os trabalhos em vários depósitos de ouro nos terrenos áridos da Austrália, onde os autores, via de regra, advogam os complexos clorados como responsáveis pela solubilização do Au (MANN, 1984; WEBSTER & MANN, 1984; DAVY & EL-ANSARY, 1986). Outros estudos realizados em regiões semi-áridas à tropicais da África (NAHON et al., 1992) e da Índia (SANTOSH & OMANA, 1991) também justificam a mobilidade do ouro através desses complexos. No entanto, uma das principais críticas a esse modelo está relacionada a necessidade de concentrações elevadas de Au e Cl, muito maior do que o encontrado em águas supérgenas naturais (BENEDETTI & BOULÈGUE, 1991, BOWELL et al., 1993).

Alternativamente, o modelo de complexos tiosulfatados tem sido usado por diferentes autores (WEBSTER & MANN, 1984; WEBSTER, 1986; BENEDETTI & BOULÈGUE, 1991), os quais desempenham um importante papel na zona de oxidação de sulfetos, com o desenvolvimento dos gossans. Dos trabalhos já realizados na área Igarapé Bahia, ZANG & FYFE (1993) também atribuem a mobilidade do ouro à presença de soluções tiosulfatadas. Assim, o seguinte esquema poderia ser proposto:

a) Durante a oxidação da pirita e sob condições de pH neutro a alcalino, o íon tiosulfato pode ser produzido (WEBSTER, 1984; GRAY et al., 1992), segundo a reação:



e podendo dissolver o ouro sob condições levemente oxidantes (LAKIN et al., 1974; WEBSTER & MANN, 1984), conforme apresentado na Tabela 2.30, segundo a reação:



onde os campos de estabilidade dos complexos Au-tiosulfatados estão apresentados na Figura 2.93.

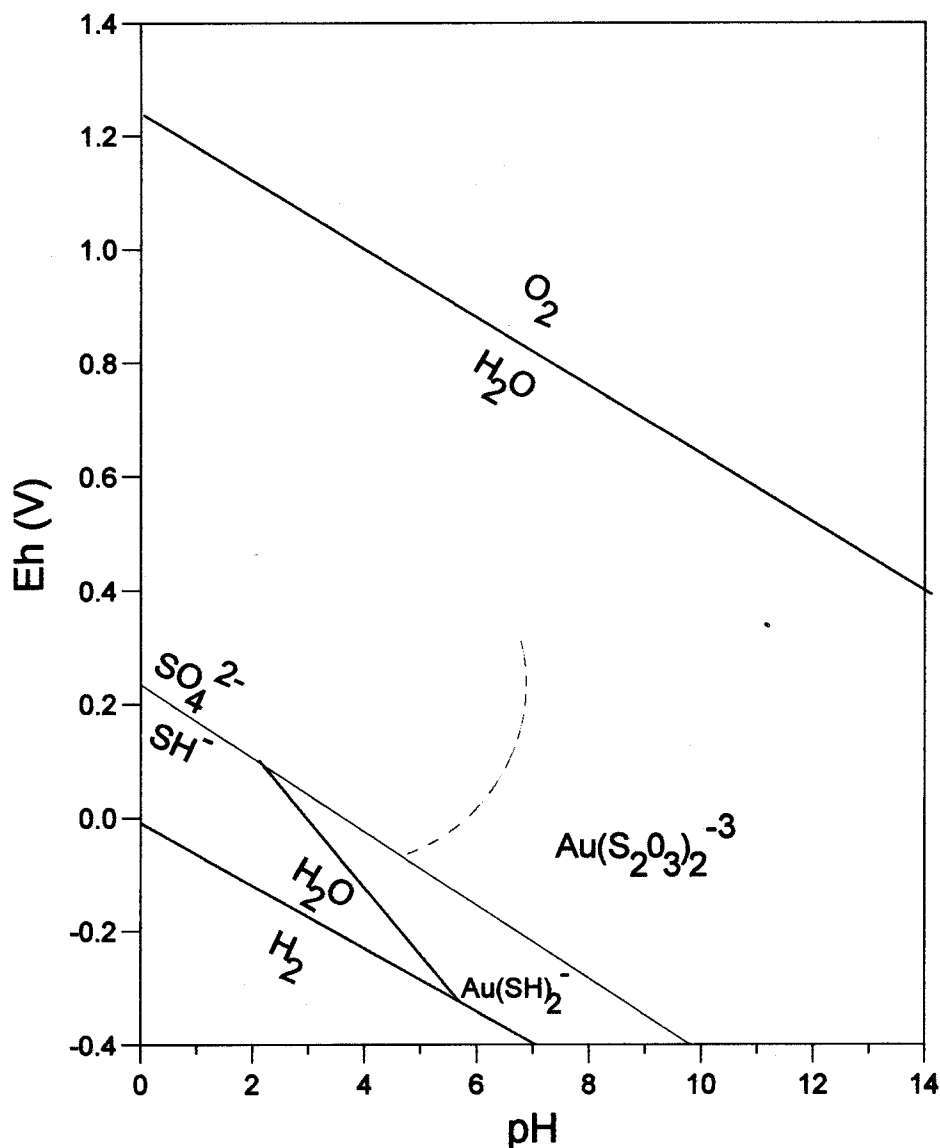
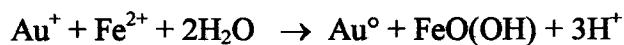
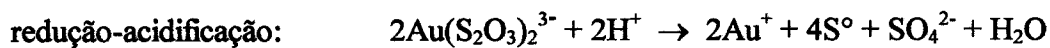


Figura 2.93 - Campos de estabilidade dos complexos tiosulfatados de Au, segundo GRAY et al. (1992).

b) A precipitação do Au se daria através de mudanças nas condições físico-químicas, segundo NICHOL et al. (1995), por:



onde os grãos de ouro neoformados seriam de granulacão fina e média pureza (Tabela 2.30).

c) merece destaque, o importante papel dos elementos Fe e Mn, abundantes nos minerais primários das duas áreas estudadas, nos processos de oxidação-redução das reações acima, além de atuarem na estabilidade do ânion tiosulfato (GRAY et al., 1992);

d) A quantidade de tiosulfato produzida será maior na presença de espécies alcalinas que atuem como *buffers* (ZEEGERS & LEDUC, 1991). No caso da área Igarapé Bahia, as rochas encaixantes da mineralização são ricas em silicatos (como a clorita) e carbonatos, ambos relacionados ao intenso hidrotermalismo que afetou essas seqüências, gerando as condições necessárias à formação desses complexos. Além do importante papel das encaixantes, as informações mais recentes de sondagens profundas atingindo a mineralização primária, dão conta de níveis sulfetados ricos em carbonatos com teores de até 30% de siderita (Geol. José Luzimar do Rego, informação verbal).

e) A prata pode migrar nas formas $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-$ ou $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$, ou ainda na forma de um complexo misto do tipo $(\text{Au},\text{Ag})(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$, como sugerido por WEBSTER (1986), reprecipitando junto com o Au, formando partículas secundárias de médio fineness já que a maior pureza do Au seria obtida apenas na presença de complexos clorados, onde a Ag permanece em solução, sendo lixiviada para fora do sistema (MANN, 1984). WEBSTER (1986) ressalta ainda, que esses complexos são desestabilizados com o aumento da fugacidade de oxigênio.

f) Da mesma forma que a prata, o Paládio também pode migrar na forma de complexos tiosulfatados como $\text{Pd}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$ ou $\text{Pd}(\text{S}_2\text{O}_3)_4^{6-}$, ou na forma de um complexo misto com a Ag e Au do tipo $(\text{Au},\text{Ag},\text{Pd})(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ (WEBSTER, 1986; ZANG et al., 1992), durante a oxidação dos sulfetos, como descrito no item anterior. A precipitação desses elementos se daria em condições mais oxidantes — na lateritização dos gossans — onde os complexos tiosulfatados se desestabilizariam, justificando assim, os teores de Pd encontrados em algumas partículas de Au estudadas, assim com a liga Ag-Pd descrita por ZANG et al. (1992), na área Igarapé Bahia.

Dentre os modelos termodinâmicos mais recentes para explicar a mobilização do ouro, destaca-se o de VLASSOUPoulos & WOOD (1990), onde o ouro formaria complexos aquo-hidrolisados do tipo $\text{Au}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})^\circ$, na ausência de concentrações significativas de outros ligantes. Outros autores tem aplicado esse modelo em perfis na África (SÉA et al., 1993; COLIN et al., 1993) e até mesmo na região de Carajás, no depósito de Cu-Au de Salobo (BENEDETTI et al., 1990). É

importante destacar que tais estudos se dão a partir da avaliação de águas subterrâneas de áreas de mineralização conhecida, onde essas águas dizem respeito as condições físico-químicas atuais, e que, não necessariamente, devem ter prevalecido durante a implantação dos sistemas gossânico e laterítico, ainda no Terciário Inferior

Dentro desse contexto, é importante ainda citar a presença de complexos orgânicos originados a partir da atividade de bactérias na decomposição da matéria orgânica e inorgânica e complexação do Au (BAKER, 1978). Essa hipótese foi levantada por ZANG & FYFE (1993), para a área Igarapé Bahia, já que todas as amostras de material supergênico analisadas por esses autores, por espectroscopia fotoeletrônica de raios-x, revelaram um recobrimento da superfície das mesmas com C (3,54-25,53%) e N (até 0,92%). Esses complexos devem desempenhar um importante papel no topo dos perfis, em especial em regiões outrora sob clima tropical com densa cobertura vegetal, como na região de Carajás, ou na Amazônia, como um todo. GRAY et al. (1992) citam ainda que, todas as espécies químicas anteriormente citadas e que podem causar a mobilidade do ouro, incluindo os tiosulfatos, são parcial- ou extensivamente influenciadas por fatores biológicos.

Um outro importante exemplo é o de BOWELL et al. (1993), que estudaram a mobilidade do Au em um perfil laterítico, atualmente, sob um sistema de floresta tropical em Ashanti (Ghana), na África. Esses autores concluem, através de cálculos de solubilidade, que a complexação do Au em solos da área trabalhada — foram analisadas as águas intersticiais dos poros dos solos — se dá pela atuação da maioria dos complexos anteriormente descritos, como $\text{Au}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})^\circ$, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{-3}$, $\text{Au}(\text{NH}_3)^{+2}$, além de um complexo Au-fulvato.

Finalmente, a partir dos resultados obtidos e da discussão pertinente na literatura consultada, pode-se concluir, preliminarmente, que em ambas as áreas, o ouro associado a corpos sulfetados foi, pelo menos parcialmente, solubilizado e reprecipitado junto aos óxidos e hidróxidos de ferro supergênicos, durante o desenvolvimento dos perfis laterito-gossânicos. A análise dos trabalhos existentes revela ainda que, dificilmente, um só tipo de modelo ou de condições termodinâmicas devem prevalecer, ou ter prevalecido, durante o desenvolvimento de perfis laterito-gossânicos, onde ocorreu solubilização-lixiviação do ouro. Acredita-se, dessa forma, na existência de micro-ambientes dentro dos perfis, os quais não devem persistir por longas distâncias em relação à rocha-mãe (FREYSSINET, et al., 1987; ZEEGERS & LEDUC, 1991; GRAY et al., 1992). O ouro, dessa maneira, deve migrar a pequenas distâncias antes de ser reprecipitado junto com os óxidos e hidróxidos de ferro, sendo pouco lixiviado do perfil (WEBSTER & MANN, 1984; DAVY & EL-ANSARY, 1986, FREYSSINET, et al., 1989a).

3 EVOLUÇÃO SUPERGÊNICA DAS ÁREAS ESTUDADAS

3.1 QUADRO EVOLUTIVO GERAL DOS PERFIS LATERÍTICOS DA AMAZÔNIA

O objetivo dessa discussão é apresentar, de uma maneira bastante geral, uma síntese do conhecimento atual sobre o quadro supergênico da Amazônia, apresentado na Figura 3.1, com base nos mais diversos estudos de perfis lateríticos que tem sido realizados na região, a fim de embasar a proposta de evolução supergênica para as áreas aqui estudadas.

A análise de diferentes trabalhos realizados, revela um contexto bastante variado, que envolveu aspectos genéticos e evolutivos complexos para o desenvolvimento dos perfis lateríticos da Amazônia. Para se chegar a um quadro evolutivo mais consistente, certamente se farão necessários ainda muitos dados relativos a própria geologia do Quaternário, dados de paleoclimatologia, geomorfologia-neotectônica e datações geocronológicas dos materiais supergênicos.

A maioria das idéias aqui levantadas são baseadas nos modelos propostos por KOTSCHOUBEY & TRUCKENBRODT (1981) e COSTA (1991b) para a classificação dos perfis lateríticos da Amazônia, assim como as questões relativas a gênese e evolução desses perfis. Os dados relativos ao movimento do nível do mar e à evolução climática durante o Cenozóico (Figura 3.1) são extraídos dos trabalhos de KROOK (1979) — referente a dados palinológicos e sedimentológicos da região costeira do Suriname — e FRAKES (1979). Esses autores fazem uma interessante observação que, durante o Cenozóico, de um modo geral, as transgressões marinhas coincidiram com períodos de clima úmido e as regressões com períodos onde o clima era mais seco.

ERA	EPOCA	CLIMA	MOVIMENTOS NIVEL DO MAR	PRODUTOS SUPERGÊNICOS	PROCESSOS SUPERGÊNICOS	GEOLOGIA	
C E N O Z Ó I C O	Holoceno	→ Atual: quente-úmido ↕ principalmente úmido	transgressão	Latossolos e linhas de pedras	destruição/intemperismo dos perfis e formação de latossolos	- Aluviões e coluviões - Pós-Barreiras (SA, 1969)	
		↕ úmido → e relativ. seco →	transgressões e regressões	LATERITOS IMATUROS	↕ 2° Ciclo de Lateritização	→ Encouraçamento parcial dos perfis imaturos → Superfície Velhas	
	Pleistoceno	↕ relativamente seco durante a regressão	principalmente regressivo	→ Colúvios do Águas Claras	Neotectônica; Denudação das superfícies lateríticas;	→ Fm. Barreiras continental → Fm. Barreiras marinho → Fm. Pirabas	
		↕ relativam. seco (?) → muito úmido → relativam. seco	→ grande regressão → transgressivo → grande regres/trans	→ Latossolos do Platô Ig. Bahia	→ novo ciclo de lateritização ou retomada do 1°	→ Estabelecimento da Superfície Sul-Americana	
	Oligoceno	sem dados	transgressão	LATERITOS MATUROS (Amazônia e Guianas)	↕ 1° Ciclo de Lateritização (?)		
		↕ relativam. seco (?) → principalm. úmido → principalm. úmido	→ regressão → transgressão → regressão/transgr.	↓ GOSSANS (?)			
	Paleoceno	↕ principalm. úmido	regressão/transgres.				
		70 m.a.	começa clima tropical úmido na Amazônia	principalmente regressivo			
	M C J		Clima árido				

Figura 3.1 - Quadro de evolução supergênica, com ênfase nos lateritos da Amazônia (modificado de COSTA, 1991b). Os dados relativos ao clima e movimentos do nível do mar são de KROOK (1979).

Dentro do contexto maior da tectônica de placas e da deriva dos continentes, no Jurássico, todo o continente sul-americano encontrava-se abaixo da linha do Equador, onde a região amazônica apresentava condições climáticas áridas e quentes, iniciando o Cenozóico com condições, progressivamente, equatoriais úmidas (TARDY et al., 1988 e 1991). Desta maneira, um dos registros mais marcantes neste quadro, a partir do final do Mesozóico e início do Terciário, é a formação dos **perfis lateríticos maduros** (COSTA, 1991b). Esses lateritos refletem uma evolução completa, com até quatro horizontes bem diferenciados geoquímica e mineralogicamente. Esse primeiro ciclo de lateritização iniciou, talvez ainda no final do Cretáceo, com condições de clima quente úmido, alternando-se, até o Eoceno-Oligoceno, em condições semi-áridas à áridas, propiciando o selamento dos perfis com o desenvolvimento de extensivas crostas ferruginosas lateríticas. Correlacionáveis aos lateritos maduros são as bauxitas do escudo das Guianas (ALEVA, 1981).

O Mioceno Médio é, novamente e, marcadamente, úmido, e com condições favoráveis ao início de um novo ciclo de intemperismo laterítico, que atinge os perfis recém-formados, ou segundo alguns autores (e.g. KOTSCHOUBEY & TRUCKENBRODT, 1981), retomada do primeiro ciclo. Neste trabalho, os latossolos que recobrem os perfis laterito-gossânicos da área Igarapé Bahia são interpretados como sendo formados nessa fase, e assim, considerados como paleossolos.

Um importante processo que atuou durante o Cenozóico na região Amazônica e de fundamental importância para o entendimento geomorfológico dos perfis lateríticos é a Neotectônica ou Tectônica Ressurgente. SENA-COSTA et al. (1993), admitem a existência de dois importantes episódios de movimentação, sendo um no Terciário Superior (Mioceno-Plioceno) e outro no Quaternário, onde diversos exemplos tem sido apresentados na Amazônia, de perfis lateríticos maduros e imaturos afetados por falhamentos (COSTA, 1990; FERNANDES-FILHO et al., 1995). Na região do Gurupi (NE do Pará - NW do Maranhão), ou mesmo em Carajás, muitos platôs podem ter se individualizado nesta época, permanecendo até os dias de hoje, como remanescentes de uma superfície laterítica maior (COSTA, 1991b).

O final do Terciário foi bastante seco, prevalecendo condições de clima semi-árido em todo o Plioceno, com conseqüente decréscimo da cobertura vegetal e aumento da erosão. Tem início, então, um acentuado processo de dissecação dos perfis lateríticos maduros, com o aplainamento das superfícies mais elevadas, movimentadas pela neotectônica. O desmantelamento das crostas

ferruginosas lateríticas dá origem a expressivas faixas de linhas de pedras, além do desenvolvimento de espessos pacotes de coberturas de aspecto argiloso, provenientes dos lateritos, que irão preencher os blocos subsidentes. Correlacionáveis a esses materiais argilo-arenosos são as coberturas tipo Argila de Belterra. O Plioceno, como um todo, é principalmente regressivo, com clima relativamente seco, tendo início a sedimentação siliciclástica da Formação Barreiras, onde os lateritos maduros devem ter atuado como importante área fonte para essa deposição.

No Quaternário, de um modo geral, a região Amazônica como um todo passou a experimentar ciclos alternados de umidez-aridez de menor duração, em relação ao Terciário, com domínio das condições úmidas. No início do Pleistoceno (talvez ainda no final do Plioceno), assiste-se a um novo ciclo de lateritização, de menor duração que o anterior e que encerra no Pleistoceno Superior. São os **Lateritos Imaturos**, de COSTA (1991b), caracterizados por um menor grau de desenvolvimento, em comparação com os maduros, em termos da estruturação dos seus horizontes, ausência de um horizonte aluminoso ou bauxítico, e no selamento apenas parcial das crostas ferruginosas. Esses novo ciclo de lateritização atingiu também os sedimentos continentais da Formação Barreiras, com importantes registros em toda a região, especialmente nas falésias, ao longo dos rios e na região litorânea.

Ainda no final do Pleistoceno e início do Holoceno, com o retorno de condições de clima mais úmido e reinstalação de floresta tropical, tem início um novo e importante período de denudação e intemperismo das rochas pré-existentes, incluindo os lateritos imaturos. Tudo indica que esses perfis, talvez ainda no final do Pleistoceno, foram truncados erosivamente, levando a exposição das crostas, com o desenvolvimento de linhas de pedras e formação de latossolos. Todo esse material alimentou os extensos aluviões e coluviões da Amazônia, muitos, especialmente e conhecidamente, ricos em ouro, cassiterita, tantalita, ilmenita, dentre outros.

A situação atual, de clima tropical úmido chuvoso, com floresta densa, na maior parte da região amazônica, ainda é de desequilíbrio para os perfis lateríticos, que continuam sendo intemperizados.

3.2 PROPOSTA DE EVOLUÇÃO GEOLÓGICA SUPERGÊNICA E DISTRIBUIÇÃO DO OURO NOS PERFIS LATERITO-GOSSÂNICOS DAS ÁREAS ESTUDADAS

A partir dos estudos mineralógicos e geoquímicos realizados nos perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras — cuja ênfase foi dada para a distribuição do ouro nesses perfis — e dentro do contexto mais global do quadro supergênico da Amazônia, apresentado no item anterior, o seguinte esquema de evolução supergênica desses perfis está sendo proposto, o qual está resumido na Tabela 3.1, cujas fases serão apresentadas e discutidas a seguir:

Tabela 3.1 - Proposta de evolução geológica supergênica e fases de mobilização do ouro nos perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras

Fases	Idade	Processos	Ouro
IV Denudação-Pedogênese Holocênica	Plioceno Superior até os dias atuais	- Poucos registros na área; - Intemperismo atual.	- latossolos, aluviões e colúvios auríferos recentes.
III Pós-lateritização Matura	Mioceno Médio ao Plioceno Superior	- formação dos latossolos; - soerguimento do Igarapé Bahia e denudação do Águas Claras → truncamento dos gossans do do Águas Claras.	- Mobilização: complexos orgânicos, aquo-hidrolisados; - nova abertura do sistema → maior diminuição do sinal Au; - formação dos colúvios auríferos do Águas Claras.
II Lateritização Matura	Terciário Inferior	- Intemperismo laterítico: formação dos lateritos maturos com fragmentos dos gossans.	- Mobilização: complexos orgânicos, clorados (?); - abertura do sistema gossânico → diminuição dos teores de Au; - dispersão química e física: formação dos “cogumelos”.
I Formação dos Gossans	Pré-Terciário Inferior	- oxidação dos sulfetos → formação dos gossans.	- Mobilização: na forma de tiossulfatos; - enriquecimento do Au nos gossans em sistema fechado; - não há dispersão física, fora do sistema gossânico

Fase I - Formação dos Gossans

Esta fase está, fundamentalmente, relacionada a formação dos gossans, a partir das zonas de sulfetos primários, ricas em ouro, pré-existentes (Figura 3.2), segundo os mecanismos de oxidação de sulfetos já intensamente estudados e descritos por diferentes autores (e.g. THORNBUR, 1975a,b; BLAIN & ANDREW, 1977; ANDREW, 1980; TAYLOR & THORNBUR, 1992) e que não serão aqui apresentados.

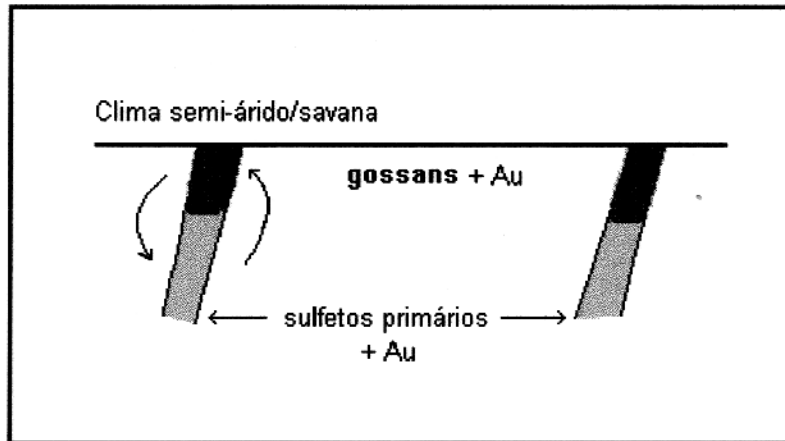


Figura 3.2 - Fase I, de formação dos gossans auríferos.

Em relação ao ouro, nesta fase, os agentes principais da mobilização desse metal foram, certamente, as soluções tiosulfatadas, em ambiente fechado — restrito ao perfil gossânico — com a reprecipitação do Au no topo desses perfis, os gossans s.s., associado aos óxidos e hidróxidos de ferro, segundo o esquema apresentado no item 2.4.4.2. As principais características das partículas associadas aos gossans, e descritas nesse trabalho, são a granulação fina e a pureza média, com presença constante dos efeitos de borda; características essas que confirmam experimentos de laboratório da complexação do ouro em soluções tiosulfatadas descritas por LAWRENCE (1995).

A época de formação desses gossans ainda é uma questão em aberto, principalmente, pela ausência de datações geocronológicas. Apenas a sua idade mínima pode ser estabelecida ou sugerida: anterior ao Terciário Inferior ou Pré-lateritos maduros.

Os gossans são, tradicionalmente conhecidos por se formarem em climas áridos até temperados, já que condições de clima úmido com intensa pluviosidade são desfavoráveis a sua formação (e.g. NICKEL & DANIELS, 1985), segundo o diagrama esquemático da Figura 3.3.

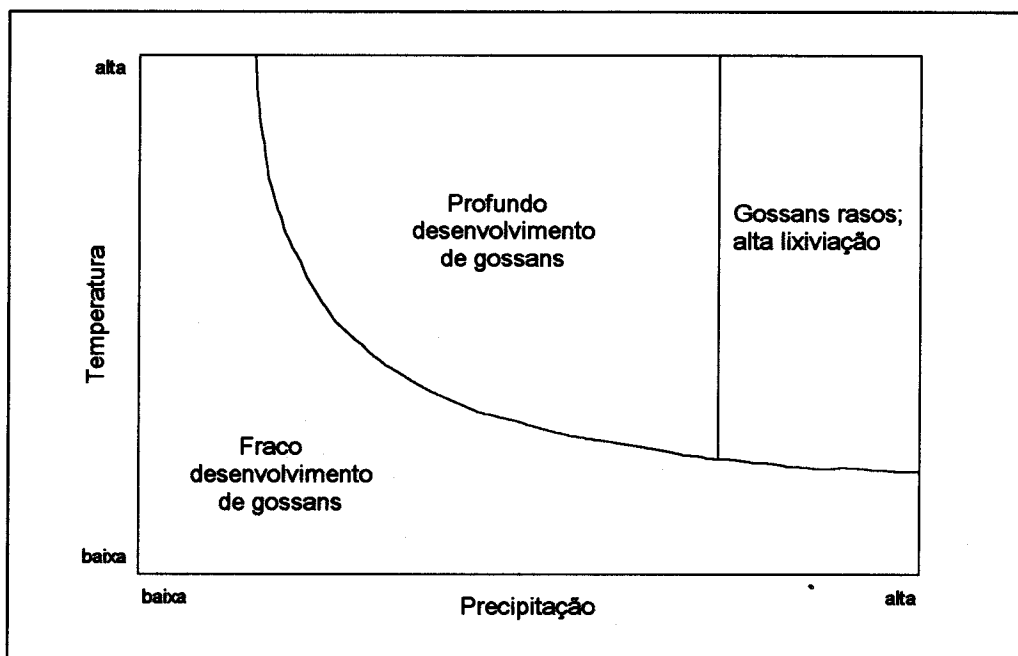


Figura 3.3 - Diagrama de NICKEL & DANIELS (1985) ilustrando, qualitativamente, o efeito dos fatores climáticos no desenvolvimento de gossans

Acredita-se, neste trabalho, que os corpos gossânicos da região de Carajás possam ter se estabelecido a partir do Jurássico Superior até o Cretáceo Superior, quando prevaleceram, na Amazônia, condições de clima semi-árido, que podem ter propiciado o desenvolvimento de gossans. Faltam, no entanto, estudos geocronológicos nesses corpos, estudos esses que agora começam a ser implementados para materiais supergênicos (e.g., VASCONCELOS et al., 1994), e que podem dar importantes informações, não só quanto ao posicionamento estratigráfico desses corpos, mas para um melhor entendimento do ambiente supergênico no Cenozóico da Amazônia.

Fase II - Implantação do sistema laterítico superimposto aos gossans

Corresponde ao perfil laterítico atual, da área Igarapé Bahia, que apresenta uma crosta laterítica bem desenvolvida, com fragmentos dos gossans e das rochas metavulcano-sedimentares encaixantes, que deram origem a esse perfil, e enquadrados na classificação de perfis lateríticos maduros de COSTA (1991b). A área Águas Claras também foi submetida a esses processos, onde

remanescentes desses perfis, na forma de um pequeno platô, ainda são encontrados, a uma altitude de, aproximadamente, 640 m e correlacionável ao platô do Bahia como representantes de uma mesma superfície de lateritização. No entanto, atualmente, os corpos gossânicos da área Águas Claras encontram-se, praticamente, livres de perfis lateríticos, o que será discutido na fase III, descrita em seguida.

Em relação ao ouro, a distribuição dos teores deste elemento no perfil da cava da mina Igarapé Bahia, apesar da grande heterogeneidade dos resultados nas amostras estudadas, observou-se uma progressiva diminuição dos teores dos gossans em direção aos latossolos. Essa é uma evidência de um dos aspectos mais importantes da superimposição dos lateritos sobre os gossans: a lateritização abriu o sistema gossânico inicial, com uma nova redistribuição do ouro e dos outros elementos, através da atuação combinada dos processos de dispersão física e química:

(a) quimicamente, com nova remobilização do Au, cuja atuação deve ter sido maior de agentes como: complexos orgânicos, ácidos húmicos, cianetos e complexos aquo-hidrolisados; Os complexos tiosulfatados, se existentes, são lixiviados para fora do perfil; enquanto o papel dos complexos clorados deve ter sido pequeno, creditando-se a baixa concentração do ion Cl^- nas águas supérgenas.

(b) fisicamente, na dispersão mecânica e formação dos halos de dispersão, parâmetros esses controlados pela topografia, movimentos da água subterrânea, além do próprio estilo da mineralização primária, e levando a formação da morfologia tipo cogumelo.

Fase III - Pós-lateritização: Intemperismo-denudação-truncamento dos perfis lateríticos

Os perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras, apesar de contemporâneos e sujeitos aos mesmo processos de gossanização e lateritização das fases I e II, anteriormente descritas, encontram-se, atualmente, sob contextos geomorfológicos bastante distintos, resultantes de processos diferenciados de modelamento do relevo, associados neste trabalho como fase III.

Esses processos começaram a atuar na região a partir do Terciário Superior, mais provavelmente, no Mioceno Médio, pela combinação de diferentes, complexos e, muitas vezes, sucessivos episódios de movimentação neotectônica, truncamento/dissecação dos perfis, com formação das linhas de pedras e dos latossolos, e peneplanização, provavelmente no Plioceno

Superior-Pleistoceno Inferior. O Mioceno Médio é considerado como um marco, na passagem da fase II para a III, em função da retomada de um novo período de clima úmido e floresta tropical, propiciando o início de um novo ciclo de lateritização ou retomada do anterior. Assim, os latossolos vermelhos da área Igarapé Bahia, e que recobrem atualmente o platô, são interpretados como sendo formados nessa fase, com o desenvolvimento *in situ* a partir do intemperismo intenso das crostas lateríticas maduras recém-consolidadas no Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (COSTA, 1993; HORBE, 1995).

No caso do ouro, a formação dessas coberturas tipo latossolos tem uma importância fundamental para a prospecção mineral, em função de uma nova fase de remobilização do Au, no sentido de uma diminuição progressiva dos teores de Au a partir do topo da crosta laterítica em direção aos latossolos. Uma importante evidência dessa nova “abertura do sistema” foi observada pelos geólogos que trabalham na lavra do minério da área Igarapé Bahia, onde o topo da crosta laterítica é conhecida por esses técnicos como uma zona de empobrecimento em ouro, conforme ilustrado na Figura 3.4.

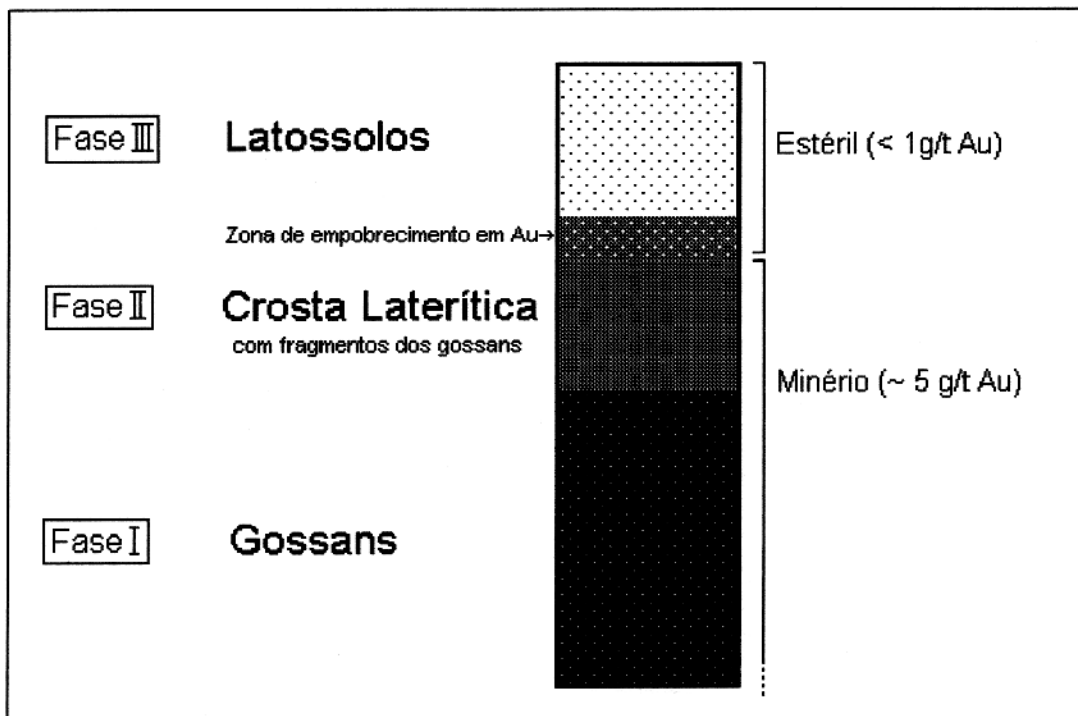


Figura 3.4 - Perfil esquemático da área Igarapé Bahia, com a representação das três primeiras fases de desenvolvimento do perfil laterítico-gossânico e as consequências na mobilização do ouro e constituição do minério.

Corroborar ainda a hipótese da formação dos latossolos a partir das crostas subjacentes, a presença das partículas de ouro livres, nesses latossolos, envolvidas em um córtex sílico-alumino-ferruginoso, reliquiar dessas crostas. Em relação aos mecanismos de mobilização do ouro, nesta fase III, pela semelhança com os processos de início de lateritização do início da fase II, acredita-se na repetida atuação de agentes como: complexos orgânicos, ácidos húmicos, cianetos e complexos aquo-hidrolisados, e novamente nos processos de dispersão física, abrindo ou espalhando, lateralmente, os halos da dispersão secundária.

Para se chegar ao quadro geomorfológico atual, acredita-se que a região de Carajás, como um todo, tenha sido submetida a movimentos neotectônicos diferenciados, provavelmente, ainda no Mioceno, com soerguimento e rebaixamento de diferentes áreas, como o Igarapé Bahia e Águas Claras. Nessa última, os processos de denudação durante o Plioceno foram mais intensos, com o forte truncamento dos perfis laterito-gossânicos, e conseqüente formação de espessos colúvios — especialmente ricos em fragmentos dos gossans e das crostas lateríticas, ambos auríferos — e exposição dos gossans, esquematicamente apresentado na figura 3.5.

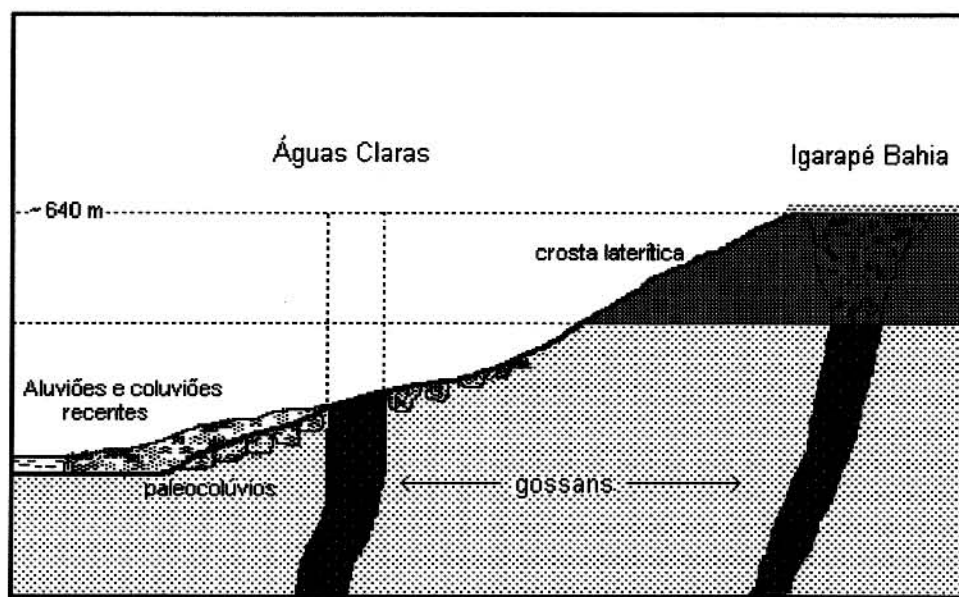


Figura 3.5 - Quadro geomorfológico do final da fase III, onde os aluviões e colúvios recentes são atribuídos à fase IV.

É importante frisar o papel das litologias encaixantes dos corpos laterito-gossanizados, em ambas as áreas, já que na área Igarapé Bahia o predomínio das rochas vulcano-sedimentares e formações ferríferas bandadas favorece o desenvolvimento de feições morfológicas tipo platôs, ao contrário da morfologia acidentada sobre rochas metasedimentares na área Águas Claras. O final desse processo, provavelmente na transição Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior, coincide com o aplainamento Velhas, de abrangência regional.

Fase IV - Lateritos Imaturos e Denudação-Pedogênese Holocênica

À essa fase IV compreendem todos os processos do Quaternário, de formação dos lateritos imaturos no Pleistoceno e denudação-pedogênese no Holoceno, com formação de latossolos e linhas de pedras, no sentido de modificação da situação geomorfológica estabelecida na transição Plio-Pleistoceno (Fase III). É importante ressaltar que esses perfis estiveram e continuam até hoje em desequilíbrio, em especial as crostas ferruginosas que sustentam esses perfis, em relação as condições climáticas atuais, de clima tropical úmido chuvoso, com floresta densa.

4 CONCLUSÕES

Os resultados dos estudos mineralógicos e geoquímicos nos perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras, obtidos neste trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

As duas áreas estudadas apresentam estilos de mineralização primária, aparentemente, semelhantes e dentro do mesmo contexto geológico regional, a saber, ouro associado a zonas de sulfetos maciços ou disseminados, ligados a processos de alteração hidrotermal em zonas de cisalhamento, cujas rochas hospedeiras são seqüências metavulcano-sedimentares do Arqueano-Proterozóico.

Os perfis laterito-gossânicos dessas duas áreas são bastante semelhantes, em termos da sua estruturação, evolução, contemporaneidade e características mineralógicas e geoquímicas (dos elementos maiores), cujas principais diferenças estão apresentadas na Tabela 4.1 e serão discutidas a seguir:

Tabela 4.1 - Principais diferenças entre os perfis laterito-gossânicos das áreas Igarapé Bahia e Águas Claras.

	Águas Claras	Igarapé Bahia
Corpos mineralizados	- vários corpos de pequena possança (métricos).	- corpos de maior possança.
Situação geomorfológica atual	- perfis truncados, gossans aflorantes.	- perfil completo - platô pouco dissecado.
Coberturas - meio de amostragem na prospecção	- latossolos restritos; - colúvios dominantes e mineralizados, espessos com fragmentos dos gossans: forte sinal do Au.	- latossolos vermelhos, espessura variável, pouco transportados, residuais: baixo sinal Au
Assinaturas geoquímicas*	- Au-Cu-As-B-W-Sn-(Bi)	- Au-Cu-Mo
Mineralogia dos gossans	- gossans mais goethíticos; - wolframita, turmalina, (cassiterita) como resistatos nos gossans.	- gossans predominantemente hematíticos.
Mineralogia das zonas primárias mineralizadas	- calcopirita, pirita, arsenopirita, cobaltita, quartzo, magnetita, wolframita e turmalina	- calcopirita, magnetita, siderita, clorita, quartzo, (turmalina**)

* Assinaturas geoquímicas dos corpos supergênicos mineralizados: gossans + crosta laterítica;

** Níveis enriquecidos em turmalina na zona de sulfetos primários, em sondagens profundas recentes da CVRD (1995/96) para a avaliação da mineralização primária (Geol. Luzimar do Rego, informação verbal)

Em termos da estruturação dos perfis e a mineralização supergênica associada:

Nas duas áreas trabalhadas, foram identificados três principais processos supergênicos, responsáveis tanto pelo desenvolvimento, como pela destruição dos perfis laterito-gossânicos estudados, e evidenciando, sempre a superposição do último evento sobre o anterior, dentro das três grandes fases da evolução geológica supergênica apresentadas no capítulo 3, a saber:

Fase I - a fase de formação, com o desenvolvimento dos corpos gossânicos, provavelmente, pré-Terciário Inferior;

Fase II - a lateritização matura, do Terciário Inferior, de abrangência regional, com o desenvolvimento de perfil laterítico sobre os gossans e;

Fase III - Pós-lateritização matura, envolvendo a transformação/intemperismo dos perfis anteriores, com a formação dos latossolos da área Igarapé Bahia e denudação da paisagem, com o truncamento dos perfis da área Águas Claras.

Em cada uma dessas fases, diferentes condições climáticas prevaleceram, propiciando o desenvolvimento de diferentes ambientes ou condições físico-químicas para a remobilização do ouro.

A evidência mais clara da superposição desses processos está na área Igarapé Bahia, onde as crostas lateríticas contém fragmentos dos gossans, comprovando que estes são mais antigos, e portanto, anteriores à lateritização. Este fato da superposição de eventos supergênicos — lateritização sobre os gossans e pós-lateritização sobre as crostas — é considerado como o ponto fundamental no entendimento global de todo o quadro supergênico e prospectivo da área, no sentido da existência de diferentes fases de redistribuição do ouro, e assim para a correta implementação de métodos de pesquisa de depósitos de natureza semelhante, na região.

Em termos das associações geoquímicas dos diferentes materiais supergênicos estudados, as seguintes conclusões foram obtidas:

Como as crostas lateríticas foram formadas às expensas dos perfis gossânicos, as crostas incorporam, em grande parte, as assinaturas geoquímicas dos gossans, as quais tornam-se, progressivamente mais atenuadas ou diluídas, em direção aos latossolos, segundo o esquema da (Figura 4.1). Assim, para a área Igarapé Bahia, Cu e Mo, devido aos seus teores relativamente elevados nos gossans, além de estarem, freqüentemente, associados ao Au, são descritos neste trabalho como caracterizando a assinatura geoquímica dos gossans dessa área. Esses elementos,

juntamente com Ag, Pb, Mn e Sn, apresentam seus teores mais elevados nos gossans, com teores diminuindo, progressivamente, em direção ao topo do perfil, enquanto que, As, B, V, Zr, e Cr, apresentam comportamento contrário (Figura 4.1).

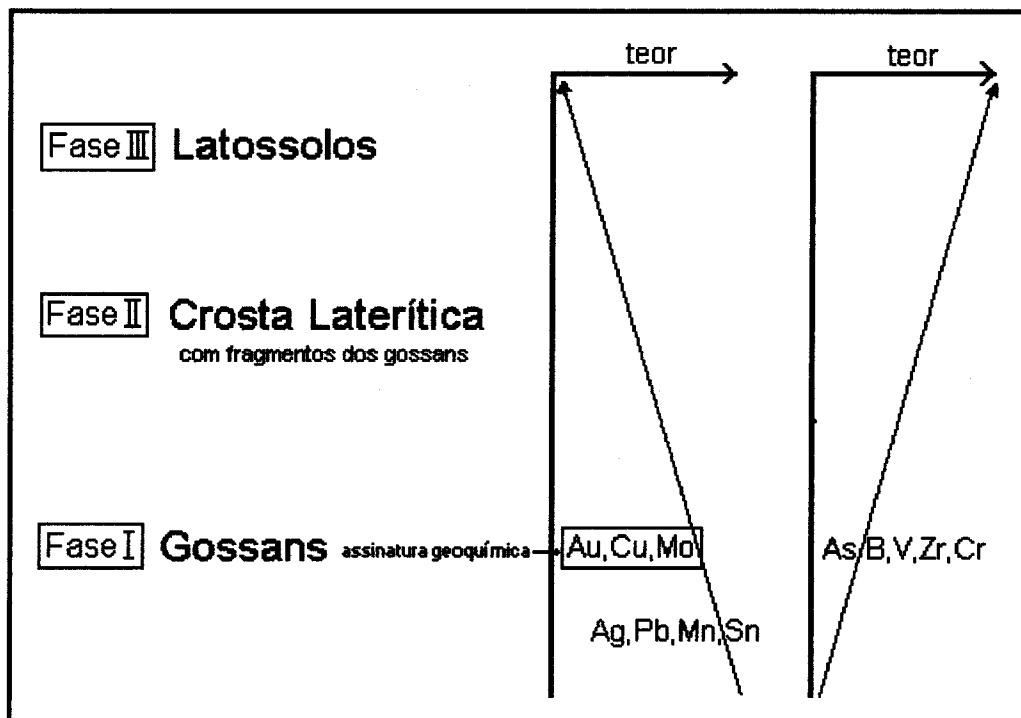


Figura 4.1 - Assinatura geoquímica dos gossans da área Igarapé Bahia e distribuição geral de alguns elementos-traço no perfil laterítico-gossânico, que podem funcionar como "farejadores" nos trabalhos prospectivos.

No caso do As, apesar dos valores relativamente baixos para todas as amostras analisadas (no máximo 32 ppm), em comparação com os resultados a níveis até percentuais nos gossans da área Águas Claras, essa tendência de enriquecimento para o topo dos perfis confirma o seu carácter de "farejador" do Au e reforça a sua utilização na prospecção de corpos de natureza semelhante.

Já na área Águas Claras, sem exposição de crostas lateríticas sobre os corpos mineralizados, Au, Cu, As, B, W, Sn e de certa forma o Bi, constituem a assinatura geoquímica desses corpos. Os extensos colúvios mineralizados, formados a partir do retrabalhamento de gossans e crostas pré-existentes preservam ainda essa assinatura.

A distinção entre as crostas lateríticas e os gossans é clara, em termos da estruturação dos horizontes ou zonas, dos processos químicos dominantes nos gossans (oxidação-redução) e nos lateritos (hidrólise), além das características mineralógicas e geoquímicas desses diferentes materiais supergênicos, apresentadas ao longo deste trabalho. Petrograficamente, uma das diferenças mais importante reside no fato das crostas lateríticas não apresentarem vestígios ou relictos da mineralogia dos sulfetos, como pseudomorfos octaédricos ou cúbicos, clivagens preservadas, etc. Enquanto nos gossans predomina o pseudomorfismo, com a preservação das texturas originais dos sulfetos, na lateritização o sistema é completamente aberto, com destruição total das feições originais.

Outros pontos devem ser ainda ressaltados, em relação as variações no contexto geológico das duas áreas, e que levaram as diferenças nos perfis supergênicos das duas áreas, apresentadas na Tabela 4.1:

(1) distância das áreas em relação ao granito Carajás, principal responsável pela intensa alteração hidrotermal na área. A área Águas Claras dista apenas 4 km da borda oeste do granito Carajás, onde esta apresenta assinatura geoquímica-mineralógica mais abrangente e compatível com fontes graníticas, destacando a wolframita, turmalina e cassiterita associados aos gossans. Já a área Igarapé Bahia está localizada em porção de borda de bacia sedimentar (vide mapa geológico da Figura 1.1), com maior influência das rochas metavulcânicas e formações ferríferas e intensa misturação litológica entre essas unidades.

(2) Os sucessivos e complexos processos de modelamento da paisagem durante o Cenozóico, com diferentes fases de formação e destruição de perfis lateríticos apresentadas no capítulo 3, onde o truncamento mais intenso do perfil na área Águas Claras, levou a exposição atual, da porção menos lixiviada e mais ricas em estruturas reliquiares dos gossans, em comparação com a área Igarapé Bahia. Nessa última, o perfil foi truncado apenas, parcialmente, na fase III (Pós-lateritização Madura) e as porções mais inferiores, à semelhança da área Águas Claras, agora é que estão sendo expostas, mas em função da lavra do minério.

Ainda em relação ao quadro geomorfológico atual, na área Igarapé Bahia, a expressão superficial da mineralização supergênica apresenta uma configuração típica de “cogumelo” (Figura 4.2), com halo de dispersão mais externo de 0,1 ppm, nos latossolos.

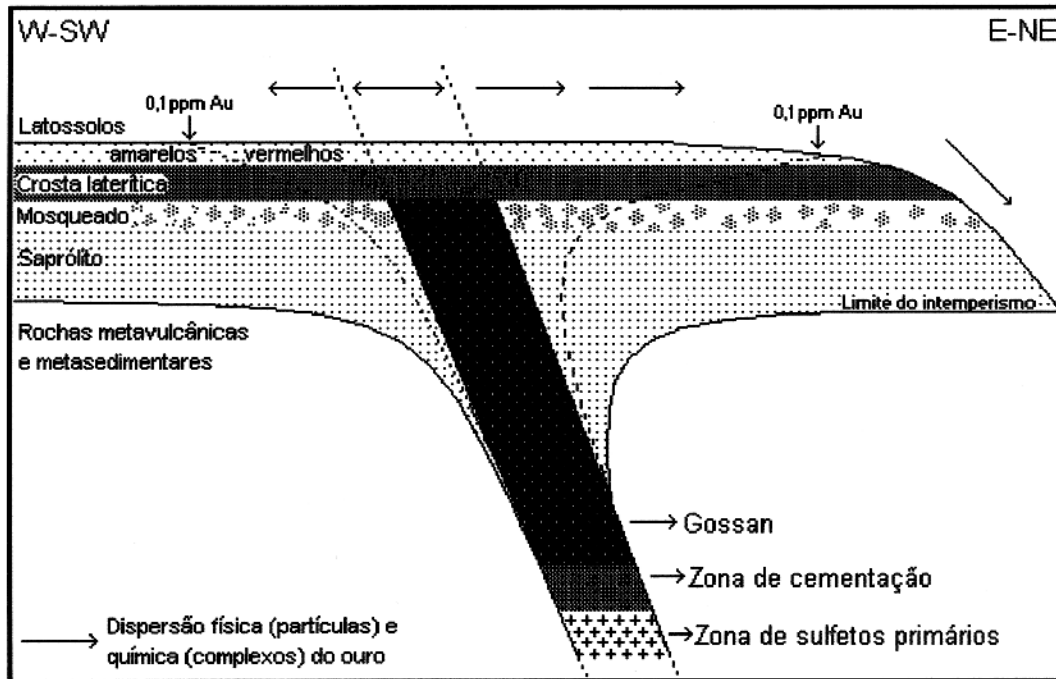


Figura 4.2 - Seção esquemática com a estruturação do perfil laterito-gossânico da área Igarapé Bahia, destacando a morfologia tipo “cogumelo” definida pelo halo de dispersão de 0,1 ppm e os *trends* da dispersão física e química do ouro.

Este modelo assemelha-se a vários exemplos clássicos na literatura, como: Ity, Costa do Marfim (GRANIER et al., 1963), Goldfields, W-Australia (GLASSON et al., 1988) e Dondo Mabi, Gabão (COLIN & VIEILLARD, 1991).

Em relação a classificação dos gossans:

A composição química dos corpos gossânicos nas duas áreas estudadas é extremamente variável, refletindo variações similares na natureza e no próprio teor da mineralização primária, e podendo ser classificados segundo diferentes parâmetros:

a) Em relação ao grau de truncamento, os gossans de ambas as áreas podem ser classificados como: **completos**, na área Igarapé Bahia, e **truncados** na zona de oxidação-lixiviada, na área Águas Claras;

b) Em relação ao grau de amadurecimento/estruturação, como: **maturos** (segundo NICKEL, 1983), com perfis semelhantes àqueles sobre depósitos de Cu maciços, com uma espessa zona de oxidação e pequena zona de cimentação, segundo a classificação de TAYLOR & THORNBUR (1992), onde a zona de carbonatos estaria ausente.

c) Em relação a mineralização que eles encerram, como **gossans auríferos**; utilizando-se o mesmo critério adotado por TAYLOR & THORNER (1992), na compilação de diferentes gossans descritos na literatura. É importante destacar que gossans portadores de Au são, relativamente, raros na literatura, onde esses autores citam apenas as ocorrências de Mount Leyshon, Bottle Creek e Telfer, todas na Austrália. No Brasil é conhecida a ocorrência de Luiziânia (Goiás), descrita por OLIVEIRA et al. (1991) e Cachoeira (Pará), descrita por TRARBACH & KOTSCHOUBEY (1991).

Nesse momento, vale a citação, para efeitos de comparação, de duas importantes ocorrências ou depósitos minerais na região de Carajás, interpretados por COSTA (1991a) como gossans, e também mineralizados a ouro. O primeiro é o garimpo de Serra Verde, truncado ao nível de uma zona de carbonatos, sulfatos e fosfatos de cobre, aparentemente, bastante espessa, onde COSTA & COSTA (1985) descreveram: pseudomalaquita, libethenita, malaquita, azurita, brochantita e crisocola. O segundo é o depósito de Cu-Ag-Au do Salobo 3A, este com um nível de truncamento bem mais profundo, a nível de uma zona de sulfetos secundários (SILVA et al., 1991).

Em relação ao comportamento do ouro:

Os estudos realizados apontam para a mobilização desse metal em três fases principais:

(a) durante a formação dos perfis gossânicos, sendo mobilizado através de soluções tiosulfatadas e reprecipitado na porção oxidada dos perfis;

(b) durante a instalação dos perfis lateríticos sobre os perfis gossânicos, com uma importante atuação dos complexos orgânicos, cianetos e complexos aquo-hidrolisados, mais característicos do sistema laterítico;

(c) Na destruição das crostas lateríticas e formação dos latossolos, provavelmente, através dos mesmos mecanismos físico-químicos e com a atividade orgânica desempenhando um papel mais intenso em relação a fase anterior, com intensa dispersão física, no sentido do espalhamento ou abertura dos halos de dispersão do Au e diminuição do sinal deste elemento.

Através dos estudos mineralógicos e geoquímicos de detalhe nas partículas de ouro, as mesmas foram divididas em:

- 1) Partículas de ouro primárias (associadas aos sulfetos primários); e
- 2) Partículas de Au secundárias ou supergênicas (gossans, crostas lateríticas e latossolos)
 - 2.1) residuais: $> 30 \mu\text{m}$, núcleo primário e bordas lixiviadas em Ag (*rim effect*);
 - 2.2) neo-formadas ou autigênicas: $< 10 \mu\text{m}$, elevada pureza.

O ouro primário ocorre finamente disseminado, incluso nos sulfetos, onde apresenta diferentes graus de pureza, relacionado, provavelmente, a diferentes gerações de fluidos hidrotermais. Em todas as partículas de ouro relacionadas aos perfis laterito-gossânicos estudadas, as formas e os contatos delas com os principais minerais hospedeiros, goethita e hematita, indicam uma cristalização contemporânea do ouro com esses minerais.

Em relação a utilização desses resultados para a prospecção geoquímica:

O entendimento da estruturação dos diferentes tipos de perfis e o seu grau de erosão/truncamento são fundamentais na orientação das campanhas de amostragem e na interpretação dos resultados obtidos. Devido a preponderante associação de Au com os óxidos e hidróxidos de ferro supergênicos, os horizontes ferruginosos (gossans, crostas lateríticas, linhas de pedras) constituem os horizontes principais de amostragem geoquímica, podendo ser inclusive o próprio minério ou nível mineralizado. Os latossolos da área Igarapé Bahia, apesar de apresentarem sinal enfraquecido para o Au em relação aos horizontes inferiores, teores na ordem de 0,1 ppm, conseguiram delimitar os corpos mineralizados.

É fundamental a utilização de análises geoquímicas multielementares a fim de se caracterizar os diferentes tipos de ironstones (gossans ou lateritos) ou horizontes existentes e melhor caracterizar as zonas anômalas favoráveis para o ouro.

Associado aos métodos geoquímicos, os estudos mineralógicos constituem também uma importante ferramenta na pesquisa mineral, na identificação da rica paragênese mineral dos corpos gossânicos, onde nas áreas estudadas importantes informações podem ser obtidas a partir dos estudos da wolframita, turmalina e cassiterita (na interpretação dos resultados da prospecção geoquímica) e maghemita e uraninita (na prospecção geofísica).

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.
- 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.
- ANDREW, R.L. 1980. Supergene alteration and gossan textures of base metals in Southern Africa. **Miner. Sci. Eng.**, 12:193-215
- ARAÚJO, O.J.B & MAIA, R.G.N. 1991. **Serra dos Carajás - Folha SB.22-Z-A, Estado do Pará.** Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, CPRM/DNPM, Brasília, 136 p.
- BAKER, W.E. 1978. The role of humic acid in the transport of gold. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 42:645-649
- BÁRDOSSY, G. & ALEVA, G.J.J. 1990. **Lateritic Bauxites.** Amsterdam, Elsevier. 624 p. (Developments in Economic Geology, 27).
- BASKARA RAO, A. 1987. Lateritized gravel bed: a new guide for lateritic gold. **Chem. Geol.**, 60:287-291.
- 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., HIÉRONYMUUS, B., KOTSCHOUBEY, B., PINTO DA SILVA, E.R. 1990. **Chem. Geol.**, 84:2729.
- BERGERON, M. & HARRISON, Y. 1989. Le transport chimique de l'or dans les environnements de surface, formation d'un colloïde et complexation organique. **Can. J. Earth Sci.**, 26:2327-2332.

- 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., FOSTER, R.P., GIZE, A.P. 1993. The mobility of gold in tropical rain forest soils. **Econ. Geol.**, 88:999-1016.
- BOYLE, R.W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. **Geol. Surv. Can. Bull.**, 280, 254p.
- BULL, A.J. & MAZZUCHELLI, R.H. 1975. Application of discriminant analysis to the geochemical evaluation of gossans. In: ELLIOT, I.L. & Fletcher, W.L., eds. **Geochemical Exploration 1974**. Amsterdam, Elsevier. p. 219-226. (Developments in Economic Geology).
- BUTT, C.R.M. & SMITH, R.E. (Editores) 1980. **Conceptual Models in Exploration Geochemistry, 4 - Australia**. Amsterdam, Elsevier. 275 p. (Developments in Economic Geology, 13).
- 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.; 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.
- CHAUVEL, A.; BOULET, R.; JOIN, P.; BOCQUIER, G., 1983. Aluminum and iron oxyhydroxides segregation in nodules of latosols developed on a Tertiary sediment (Barreiras Group), near

Manaus, Amazon Basin, Brasil. In: A.J. Melphi and A. Carvalho (Editors), 2nd Int. Seminar on Lateritisation Processes. São Paulo, pp. 508-526.

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.

COLIN, F.; LECOMTE, P.; BOULANGÉ, B. 1989. Dissolution features of gold particles in a lateritic profile at Dondo Mobi, Gabon. **Geoderma**, 45:241-250.

COLIN, F.; VIEILLARD, P.; AMBROSI, J.P. 1993. Quantitative approach to physical and chemical gold mobility in equatorial rainforest lateritic environment. **Earth Plan. Sci. Letters**, 114: 269-285.

COSTA, M.L. 1987. **Impressões geológicas colhidas na região de Carajás. Relatório de viagem.** Belém, Docegeo/UFPa. 25 p. (inédito).

COSTA, M.L. 1990. 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. & COSTA, W.A.M. 1985. Os verdes minerais da Serra Verde. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 2., Belém, 1985. *Anais...* Belém, SBG-NO. v. 2, p. 189-199.
- 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.*, 510:41-51.
- DANA, J.D. 1951. **A system of Mineralogy**. New York, John Wiley & Sons. 7. ed. v. 2.
- DAVIES, T.C.; FRIEDRICH, G.; WIECHOWSKI, A. 1989. Geochemistry and mineralogy of laterites in the Sula Mountain greenstone belt, Lake Sonfon gold district, Sierra Leone. *J. Geochem. Explor.*, 32:75-98.
- DAVY, R. & EL-ANSARY, M. 1986. Geochemical patterns in the laterite profile at the Boddington Gold Deposit, Western Australia. *J. Geochem. Explor.*, 26:119-124.
- 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.
- EVANS, D.L. 1981. Lateritisation as a possible contributor to gold placers. *Eng. Min. J.*, 182: 86-89.
- FERNANDES-FILHO, L.A.; COSTA, J.B.S.; COSTA, M.L. 1995. Bacia de Manaus: uma estrutura pull-apart do Quaternário. In: SIMP. NAC. ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, 1995. *Resumos Expandidos...* Gramado, SBG/CPGQ, p. 425-426.
- FERREIRA-FILHO, C.F. 1985. **Geologia e mineralizações sulfetadas do prospecto Bahia, Província mineral de Carajás, Pará**. Brasília, UnB. 112 p. Tese (Mestrado). UnB, 1985 (inédito).
- FRAKES, L.A. 1979. **Climates throughout geologic time**. Amsterdam, Elsevier. 310p.

- FREYSSINET, Ph. 1993. Gold dispersion related to ferricrete pedogenesis in South Mali: Application to geochemical exploration. **Chron. rech. min.**, 510: 25-40.
- FREYSSINET, Ph; LECOMTE, P.; EDIMO, A. 1989b. 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. 1989a. Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali. **J. Geochem. Explor.**, 32:17-31.
- GLASSON, M.J.; LEHNE, R.W.; WELLMER, F.W. 1988. Gold exploration in the Callion area, eastern Goldfields, Western Australia. **J. Geochem. Explor.**, 31:1-19.
- 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.
- GRAY, D.J.; BUTT, C.R.M.; LAW RANCE, L.M. 1992. The geochemistry of gold in lateritic terrains. In: BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H., eds. **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains**. Amsterdam, Elsevier, pp. 461-482.
- GRIMM, B. & FRIEDRICH, G. 1991. Precipitation and concentration of gold in colluvial soils in the semi-arid region of Gienio do Ouro, Central Bahia, Brazil. In: LADEIRA, E.A., ed. **Brazil Gold'91**. Rotterdam, 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.
- HORBE, A.C. 1995. **Evolução mineralógica e geoquímica multi-elementar de perfis de solos sobre lateritos e gossans na Amazônia.** Belém, CPGG/UFPa. 213 p. Tese (Doutorado) - CPGG, UFPA, 1995. (inédito).
- HSU, L.C. 1976. The stability relations of the wolframite series. *Amer. Mineral.*, 61:944-955.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1981. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas - Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). *Rev. Bras. Geoc.*, 11: 193-202.
- KRAUSKOPF, K.B. 1951. The solubility of gold. *Econ. Geol.*, 46: 858-878.
- KROOK, L. 1979. **Sediment petrographical studies in northern Suriname.** Amsterdam, Vrije Universiteit, Academisch Proefchrift, Utrecht. 154 p.
- LAKIN, H.W.; CURTIN, G.C.; HUBERT, A.E. 1974. Geochemistry of gold in the weathering cycle. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1330, 80 p.
- LAWRANCE, L.M. 1995. Redox controls on the formation of supergene gold deposits. In: INTER. GEOCHEM. EXPLOR. SYMP., 17, Townsville, 1995. **Extended Abstracts...** Townsville, AEG, p. 27-30.
- LECOMTE, P. & COLIN, F. 1989. Gold dispersion in a tropical rainforest weathering profile at Dondo Mobi, Gabon. *J. Geochem. Explor.*, 34:285-301.
- LEVINSON, A.A. 1980. **Introduction to Exploration Geochemistry.** 2. ed. Wilmette, Applied Publishing. 924 p.

- MACHESKY, M.L.; ROSE, A.W.; ANDRADE, W.O., BLISS, L.; KATO, T. 1993. Gold speciation and mobility near the Igarapé Bahia deposit, Pará State, Brazil. **Chron. rech. min.**, 510:53-60.
- MANN, A.W. 1984. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. **Econ. Geol.**, 79:38-49.
- 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.
- MICHEL, D. 1987. Concentration of gold in *in situ* laterite from Mato Grosso. **Mineral. Deposita**, 22:185-189.
- MOESKOPS, P.G. 1977. Yilgarn nickel gossan geochemistry — a review with new data. **J. Geochem. Explor.**, 8: 247-258.
- MONTI, R. 1987. The Boddington lateritic gold deposit, Western Australia: a product of supergene enrichment processes. In: HO, S.E. & GROVES, D.I., eds. **Recent Advances in Understanding Precambrian Gold Deposits**. Fremantle, U.W.A. Ext. Serv. Publ. v.11, p. 355-368.
- MOORE, F. & HOWIE, R.A. 1978. Application of the hübnerite:ferberite ratio as a geothermometer. **Mineral. Deposita**, 13:391-397.
- 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.
- NICHOL, I.; HALE, M.; FLETCHER, W.K. 1995. Drainage geochemistry in gold exploration. In: HALE, M. & PLANT, J.A., eds. **Handbook of Exploration Geochemistry**, 6. Amsterdam, Elsevier. p. 499-558.

- NICKEL, E.H. 1983. Weathering of sulphide bodies — generalized gossan profile-mineralogical and textural considerations. In: SMITH, R.E., ed. **Geochemical Exploration in Deeply Weathered Terrain**. CSIRO Division of Mineralogy, Floreat Park, Western Australia. p. 73-87.
- NICKEL, E.H. & DANIELS, J.L. 1985. Gossans. In: WOLF, K.W., ed. **Regional studies and specific deposits**. Amsterdam, Elsevier. p. 261-390. (Handbook of stratabound and stratiform ore deposits, 13).
- NICKEL, E.H.; ROSS, J.R.; THORNER, M.R. 1977. The supergene alteration of pyrrhotite-pentlandite ore at Kambalda, Western Australia. **Econ. Geol.**, 69: 93-107.
- 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.; MAGAT, Ph.; BLOT, A. 1993. O Gossan de Irecê-Lapão (BA). **Geochim. Brasil.**, 7(2):131-149.
- POLYA, D.A. 1988. Compositional variations in wolframites from the Barroca Grande mine, Portugal: evidence for fault-controlled ore formation. **Mineral. Mag.**, 52:497-503.
- 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: LADEIRA, E.A., ed. **Brazil Gold'91**. Rotterdam, Balkema. p. 721-728.
- QUILEZ, E.; SIERRA, J.; VINDEL, E. 1990. A fluid-inclusion study and genetic model of wolframite-bearing quartz veins, Garganta de los Montes, Spanish Central System. **Mineral. Mag.**, 54:267-278.

- RAMDOHR, P. 1969. **The ore minerals and their intergrowths**. Pergamon Press - VEB Akademie-Verlag, 1174 p.
- ROSE, A.W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. 1979. **Geochemistry In Mineral Exploration**. London, Academic Press. 637 p.
- SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos quaternários e terciários da região Bragantina, Estado do Pará. **Bol. Inst. Geoc. Rio de Janeiro**, 3: 21-36.
- 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. .
- SANTOSH, M. & OMANA, P.K. 1991. Very high purity gold from lateritic weathering profiles of Nilambur, Southern India. **Geology**, 19: 746-749.
- SCHELLMANN, W. 1986. On the geochemistry of laterites. **Chem. Erde**, 45:39-52.
- SCHÜLZE, D.G. 1984. The influence of Al on iron oxides. VIII: Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals**, 32:36-44.
- SÈA, F.; TANGUAY, M.G.; TRUDEL, P.; BERGERON, M. 1993. Solubilité de l'or dans les eaux intertitielles de la latérite coiffant le gîte aurifère de Misséni, au Mali. **Canad. J. Earth Sci.**, 30: 1553-1565.
- 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.
- SENA-COSTA, J.B.; HASUI, Y.; BEMERGUI, R.; BORGES, M.S.; COSTA, A.R.; TRAVASSO, J.A.M.; IGREJA, H.L.S. 1993. Aspectos fundamentais da neotectônica da Amazônia brasileira.

In: Simp. Intern. Quaternário da Amazônia, Manaus, 1992. Resumos e Contribuições Científicas...Manaus, ABEQUA, p. 103-106.

SILVA, E.R.P.; KOTSCHOUBEY, B. HYERONYMUS, B. 1991. O perfil de intemperismo da área Salobo 3A, Serra dos Carajás-PA e o comportamento geoquímico do ouro. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, Anais... Belém, SBG-NO, p. 555-568.

SMITH, R.E. & PERDRIX, J.L. 1983. Pisolitic laterite geochemistry in the Golden Grove Massive Sulphide District, Western Australia. **J. Geochem. Explor.**, 18:131-164.

SMITH, R.E.; CAMPBELL, N.A.; PERDRIX, J.L. 1983. Identification of some Western Australian gossans by multi-element geochemistry. In: SMITH, R.E., eds. **Geochemical Exploration in Deeply Weathered Terrain**. CSIRO, Australia, Division of Mineralogy, Floreat Park, Western Australia. p. 75-90.

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.

SOMBROEK, W.G. 1966. **Amazon soils: a reconnaissance of the soils of the brasilian region**. Wageningen, Holland, Centre Agri. Publ. Doc. 292 p.

STOLZ, A.J.; LARGE, R.R.; ROBINSON, P.; WEDEKIND, R. 1994. Criteria for distinguishing between gold-bearing and barren ironstone at Tennant Creek, Northern Territory, Australia. **J. Geochem. Explor.**, 51:247-264.

TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. 1991. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 milion years and implications for Indian and Australia. **J. African Earth Sci.**, 12(1/2):283-295.

- TARDY, Y.; MELFI, A.J.; VALETON, I. 1988. Climats et paléoclimats tropicaux périallantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques: température et activité de l'eau, sur la répartition et la composition minéralogique des bauxites et des cuirasses ferrugineuses, au Brésil et en Afrique. **C. R. Acad. Sci. Paris**, t. 306, Série II, p.289-295.
- 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(1):1-18.
- TAYLOR, G.F. 1987. **Gossan and ironstone evaluation in mineral exploration. Course notes**, Rio de Janeiro, SBGq. 78 p.
- TAYLOR, G.F. & THORNBUR, M.R. 1992. Gossan formation and gossan surveys. In: BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H., eds. **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains**. Amsterdam, Elsevier. p. 115-202.
- THIEL, R. 1969. Zum System α -FeOOH — α -AlOOH. *Zeit. Anorg. Allg. Chemie*, Band 326, p. 70-78.
- THORNBUR, M.R. 1975a. Supergene alteration of sulphides, I. A chemical model based on massive nickkel sulphide deposits at kambalda, Western Australia. **Chem. Geol.**, 15:1-14.
- THORNBUR, M.R. 1975b. Supergene alteration of sulphides, II. A chemical study of the Kambalda nickel deposits, Western Australia. **Chem. Geol.**, 15:117-144.
- 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.
- TRUCKENBRODT, W. & KOTSCHOUBEY, B. 1981. Argila de Belterra: cobertura Terciária das bauxitas da Amazônia. **Rev. Bras. Geoc.**, 11:203-208.

- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B.; GOES, A.M. 1982. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1., Belém, 1982. *Anais...Belém*, SBG/NO. v. 1, p. 201-209.
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B.; SCHELLMANN, W. 1991. Composition and origin of the clay cover on north brazilian laterites. *Geol. Rundschau*, 80(3): 591-610.
- 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.
- VASCONCELOS, P.M.; BECKER, T.A.; RENNE, P.R.; BRIMHALL, G.H. 1994. Direct dating of weathering phenomena by K-Ar an $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis of supergene K-Mn oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58:1635-1665.
- VLASSOPOULOS, D. & WOOD, A.S. 1990. Gold speciation in natural waters: I. solubility and hydrolysis reaction of gold in aqueous solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54:3-12.
- 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.
- WILHELM, E. & KOSAKEVITCH, A. 1979. Utilisation des chapeaux de fer comme guides de prospection. *Bull. Bur. Rech. Geol. Minieres*, 2:109-140.
- WILMSHURST, J.R. & FISHER, N. 1983. Classification scheme for ironstones. In: SMITH, R.E., ed. *Geochemical Exploration in Deeply Weathered Terrain*. CSIRO Division of Mineralogy, Floreat Park, Western Australia. p. 104-106.

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.

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. & 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.

APÊNDICE - Reflexões calculadas e observadas para a ferberita da área Águas Claras, comparada com duas diferentes ferberitas obtidas a partir das fichas do JCPDS.

hkl	ferberita (12-729)		ferberita (21-436)		ferberita (Águas Claras)		
	d(Å)	I/Io	d(Å)	I/Io	d (obs.)	d(calc.)	diff.
010	5.71	15	5.72	20	5.709	5.7127	.010
100	4.736	40	4.69	80	4.737	4.7396	.010
011	3.745	35	3.75	60	3.7481	3.7483	.001
110	3.644	35	3.65	50	3.6465	3.6476	.008
111	2.940	100	2.94	100	2.9396	2.9389	-.007
020	2.856	25	2.85	20	2.8557	2.8564	.007
002	2.481	25	2.476	60	2.4835	2.1835	.001
021	2.474	30	2.470	60	2.4760	2.4761	.001
120	2.443	10	2.440	10	2.4461	2.4464	.006
200	2.367	15	2.366	20	2.3686	2.3689	.019
012	-	-	2.271	5	-	-	-
102	-	-	2.195	50	-	-	-
121	2.194	20	2.189	50	2.1962	2.1951	-.022
112	2.051	5	2.047	20	2.0520	2.0521	.003
211	2.000	10	1.999	20	2.0029	2.0023	-.013
030	1.902	5	1.900	10	1.9034	1.9042	.021
022	1.873	10	1.870	10	1.8746	1.8742	-.011
220	1.823	10	1.819	10	1.8245	1.8239	-.019
130	1.765	20	1.763	20	1.7670	1.7670	-.001
122	-	-	1.738	5	-	-	-
202	1.712	30	1.711	50	-	-	-
221	-	-	1.708	50	1.7128	1.7125	-.012
013	-	-	1.586	10	-	-	-
113	-	-	1.504	40	1.5079	1.5081	.008
222	-	-	1.472	5	-	-	-
311	-	-	1.453	10	1.4563	1.4562	-.002
132	-	-	1.436	20	1.4400	1.4400	.001