MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

CONVÊNIO DNPM - CPRM

PROJETO COBRE – CURAÇÁ

RELATÓRIO FINAL

DISTRITO CUPRÍFERO DO RIO CURAÇÁ BAHIA - BRASIL

METODOLOGIA E SISTEMÁTICA DE PROSPECÇÃO

TEXTO

VOLUME IV - A

I-96

CPRM
SUREMI
SEDOTE
ARQUIVO TÉCNICO
Relatório n.º 459_S
N.º de Volumes: 30 V.: 4A
OSTENSIVO

PHL-010783

Inácio de Medeiros Delgado
João Dalton de Souza
Dorival Correia Bruni
Antonio Carlos Motta
Paulo E. Lima da Silva

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

DIRETORIA DE OPERAÇÕES

AGÊNCIA SALVADOR

1975

PROJETO COBRE - CURAÇÁ

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DOS VOLUMES

VOL.	I - A	TEXTO	**GEOLOGIA ECONÔMICA DO DISTRITO CUPRÍFERO DO RIO CURAÇÁ**
VOL.	I - B	ANEXO	MAPAS
VOL.	II - A	TEXTO	**GEOLOGIA DO DISTRITO CUPRÍFERO DO RIO CURAÇÁ**
VOL.	II - B	ANEXO	MAPAS DE PONTOS E CAMINHAMENTO E MAPAS GEOLÓGICOS
VOL.	II - C	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - D	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - E	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - F	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - G	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - H	ANEXO	FICHAS DE DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS
VOL.	II - I	ANEXO	FICHAS DE ANÁL. PETROGRÁFICAS E BOLETINS DE ANÁL. QUÍMICAS
VOL.	III	TEXTO	**NOTA EXPLICATIVA DAS FOLHAS GEOLÓGICAS 15' x 15'**
VOL.	IV - A	TEXTO	**METODOLOGIA E SISTEMÁTICA DE PROSPECÇÃO**
VOL.	IV - B	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	V - A	TEXTO	**PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE**
VOL.	V - B	ANEXO	MAPAS GEOQUÍMICOS
VOL.	VI - A	TEXTO	**PESQUISA COMPLEMENTAR DE ALGUMAS ÁREAS MINERALIZADAS**
VOL.	VI - B	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VII - A	TEXTO	**PROSPECÇÃO DOS ALVOS**
VOL.	VII - B	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VII - C	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VII - D	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VII - E	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VII - F	ANEXO	CADERNETAS DE GEOFÍSICA E BOLETINS DE ANÁLISES QUÍMICAS
VOL.	VIII - A	TEXTO	**DEPÓSITOS DE COBRE DE L. DA MINA E C. VELHO - FAZ ANGICO**
VOL.	VIII - B	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	VIII - C	ANEXO	PERFIL COMPOSTO DE SONDAGEM
VOL.	IX - A	TEXTO	**DEPÓSITO DE COBRE DE PIRULITO - FAZ. SERTÃOZINHO**
VOL.	IX - B	ANEXO	PLANTAS E PERFIS
VOL.	IX - C	ANEXO	PERFIL COMPOSTO DE SONDAGEM

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO 1

2. PROSPECÇÃO GEOLÓGICA 4

2.1. Controle litológico da mineralização 5

2.2. Controle regional-subestratigráfico da mineralização 6

2.3. Controles locais da mineralização 7

3. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE ... 11

3.1. Histórico 12

3.2. Estudos orientativos pioneiros 12

3.3. Estudos orientativos nas ocorrências de Murcho e Chico Ferreira 17

3.4. Aplicação e limitação do método 28

4. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLO RESIDUAL 33

4.1. Revisão dos trabalhos anteriores 34

4.2. Estudo orientativo na área de Pirulito 43

4.2.1. Objetivo do estudo 45

4.2.2. Caracterização geológica da área 46

4.2.3. Clima, vegetação e topografia 50

4.2.4. Características pedológicas 52

4.2.5. Perfil pedológico típico 54

4.2.6. Técnicas de amostragem e análise 55

4.2.7. Aplicação de técnicas estatísticas 59

4.2.7.1. Discussão dos métodos 59

4.2.7.2. Técnicas estatísticas convencionais 62

4.2.7.3. Técnicas de processamento em computador 89

Correlação linear simples 90

Regressão linear múltipla sequencial 108

Revisão de conceitos 108
Resultados obtidos.. 122
4.2.8. O ambiente geoquímico em termos de pH e Eh..... 126
4.2.8.1. Revisão de conceitos..... 126
4.2.8.2. Condições de pH e Eh no Alvo - teste..... 128
4.2.9. O ambiente da dispersão secundária..... 137
4.2.9.1. Revisão de conceitos..... 137
4.2.9.2. A distribuição de cobre no Alvo-teste..... 141
4.2.9.3. Considerações sobre a distribuição de metais pesquisados.. 154
4.2.9.4. Perfis geoquímicos..... 171
4.2.10. Conclusões estraídas do estudo orientativo..... 180
5. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA - MÉTODO ELÉTRICO (POLARIZAÇÃO INDUZIDA)..... 189
5.1. Generalidades..... 190
5.1.1. Histórico..... 190
5.1.2. Conceitos físicos..... 192
5.1.3. Aparelhagem..... 199
5.2. Dispositivo dos arranjos..... 199
5.2.1. Schlumberger..... 199
5.2.2. Polo-dipolo..... 202
5.2.3. Dipolo-dipolo..... 203
5.3. Fatores geométricos..... 204
5.3.1. Schlumberger..... 204
5.3.2. Polo-dipolo..... 206
5.3.3. Dipolo-dipolo..... 207
5.4. Técnicas operacionais..... 207
5.5. Estudos orientativos..... 209

5.5.1. Arranjo dipolo-dipolo..... 209
5.5.1.1. Objetivos do estudo 210
5.5.1.2. Programa estabelecido..... 211
5.5.1.3. Considerações sobre o método de IP..... 211
5.5.1.4. Apresentação dos resultados.. 214
Experimentação instrumental... 215
Lagoa da Mina - linha F..... 216
Perfil da P.E.F..... 216
Perfil do Fator de Metal..... 219
Perfil das Resistividades..... 219
Surubim..... 219
Perfil da P.E.F..... 222
Perfil do Fator de Metal..... 222
Perfil das Resistividades..... 223
Senhor de Lisboa..... 223
Perfil da P.E.F..... 223
Perfil do Fator de Metal..... 226
Parfil das Resistividades..... 226
5.5.1.5. Considerações finais..... 226
5.5.2. Arranjo Schlumberger..... 228
5.5.3. Arranjo polo-dipolo..... 232
5.6. Aplicações e limitações..... 238
5.6.1. Arranjo Schlumberger..... 238
5.6.2. Arranjo polo-dipolo..... 238
5.6.3. Arranjo dipolo-dipolo..... 239

5.7. Fontes de interferência .....: 239
5.8. Produção..... 246
6. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA - MÉTODO MAGNÉTICO..... 250
6.1. Generalidades..... 251
6.1.1. Histórico..... 251
6.1.2. Conceitos físicos..... 252
6.1.3. Aparelhagem..... 254
6.2. Prospecção magnética - componente vertical.... 255
6.3. Prospecção magnética - intensidade total..... 271
6.4. Técnica operacional..... 274
6.5. Correções..... 276
6.6. Determinação do residual..... 278
6.6.1. Programa de computador adotado..... 282
6.6.1.1. Programação N.S.T..... 283
6.6.1.2. Exemplo da aplicação no Alvo S-12..... 288
Delimitação de contactos..... 290
Demarcação de falhas..... 290
Identificação de corpos máficos e ultramáficos..... 291
Conclusões..... 292 a
6.7. Determinação da susceptibilidade magnética.... 293
6.8. Exemplo de aplicação do método magnético - intensidade total..... 299
6.9. Aplicações e limitações..... 302
6.10. Produção..... 302
7. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA - MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (AFMAG) 304
7.1. Generalidades..... 305
7.1.1. Histórico..... 305
7.1.2. Conceitos físicos..... 306
7.1.3. Aparelhagem..... 308
7.2. Técnica operacional..... 308

7.3. Estudos orientativos..... 308
7.4. Aplicações e limitações..... 309
7.5. Produção..... 309
8. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA - MÉTODO GRAVIMÉTRICO..... 311
8.1. Generalidades..... 312
8.1.1. Histórico..... 312
8.1.2. Conceitos físicos do método..... 313
8.1.3. Aparelhagem utilizada..... 315
8.2. Estudo orientativo..... 316
8.2.1. Técnicas operacionais..... 317
8.2.1.1. Constituição de equipes..... 317
8.2.1.2. Técnica de campo..... 319
Gravimetria..... 319
Altimetria..... 321
Planimetria..... 322
8.2.2. Trabalhos de computação..... 323
8.2.2.1. Obtenção do BOUGUER..... 323
8.2.2.2. Separação do REGIONAL-RESIDUAL 323
8.2.2.3. Situação dos mapas..... 324
8.2.3. Dados técnicos..... 324
8.2.3.1. Precisão das medidas..... 324
8.2.3.2. Dados geofísicos..... 327
8.2.4. Interpretação..... 327
8.2.4.1. Locação das falhas da área... 328
8.2.4.2. Estudo do corpo de Lagoa da Mina..... 328
Modelo gravimétrico do corpo. 328
Cálculo da Diferença Mínima de Densidade entre o Corpo de Lagoa da Mina e as Encaixantes 329
Cálculo da Massa Anômala (M) e das Reservas (R)..... 329

8.2.4.3. Estudo das anomalias residuais positivas..... 330
8.2.4.4. Alternativas para o regional 333
8.3. Aplicações e limitações do método..... 335
8.4. Produção..... 336
8.4.1. Dados de produção..... 338
9. SISTEMÁTICA DE PROSPECÇÃO..... 340
9.1. Apresentação dos dados..... 341
9.2. Proposição de um modelo de prospecção..... 346
9.3. Comentário final..... 350
10. CONCLUSÕES..... 352
11. BIBLIOGRAFIA 361

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Concentrações de cobre e níquel em sedimentos de corrente na ocorrência de Murcho..... 29

Tabela II - Concentrações de cobre e níquel em sedimentos de corrente na ocorrência de Chico Ferreira..... 30

Tabela III - Comprimento de onda e variação da concentração dos elementos traços para o método da análise espectrográfica semi-quantitativa..... 57

Tabela IV - Sumário das estatísticas para a população total (Dados brutos)..... 91

Tabela V - Matriz da Variância-Covariância para a população total (Dados brutos)..... 92,93

Tabela VI - Matriz dos coeficientes de Correlação para a população total (Dados brutos).. 94,95

Tabela VII - Sumário das estatísticas para a população total (Dados log-transformados).... 96

Tabela VIII - Matriz da Variância-Covariância para a população total (Dados log-transformados)..... 97,98

Tabela IX - Matriz dos coeficientes de Correlação para a população total (Dados log-transformados)..... 99,100

Tabela X - Sumário (parcial) das estatísticas para as populações do Alvo-teste segundo os quatro níveis testados..... 101

Tabela XI - Sumário das estatísticas para cobre segundo as população em solos residuais das litologias regionais..... 102

Tabela XII - Sumário das estatísticas para cobre na pupolação total (26 estações) da faixa do Pirulito..... 102
Tabela XIII - Sumário (parcial) das estatísticas para as populações isoladas (Dados log-transformados, com referência aos teores dos perfis B-B_1, D-D_1 e F-F_1)..... 103 a 106
Tabela XIV - Sumário da regressão linear múltipla sequencial..... 119,120
Tabela XV - Equações lineares de correlação do Cu (variável dependente) e outros metais (variáveis independentes)..... 121
Tabela XVI - Faixa de variação de valores médios ("Background") em partes por milhões (ppm) nos solos derivados das variedades de rochas existentes em Caraiba (segundo R.W. Lewis e A.M. Santos, 1966).. 143
Tabela XVII - Relações de minerais que apresentam propriedade da condução eletrônica..... 198
Tabela XVIII - Quadro representativo da produção dos diferentes arranjos..... 249
Tabela XIX - Comparação das falhas interpretadas nos mapas qualitativos..... 291
Tabela XX - Comparação dos mapas magnetométricos com o mapa geológico..... 292 b
Tabela XXI - Grupos de diferentes susceptibilidades magnéticas..... 297
Tabela XXII - Quadro da susceptibilidade magnética de diferentes tipos litológicos..... 298
Tabela XXIII - Quadro de produção do método magnético. 302
Tabela XXIV - Quadro de dados para perfuração..... 332
Tabela XXV - Dados de produção..... 338

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coluna estratigráfica parcial do vale do rio Curaçá com considerações sobre a posição dos corpos máficos-ultramáficos e zoneamento da mineralização..... 8

Figura 2 - Prospecção geoquímica de reconhecimento através da drenagem principal da área de Paredão. Representação gráfica de cobre total em sedimentos fluviais arenosos e grosseiros..... 14

Figura 3 - Idem. Representação gráfica de cobre total em sedimentos fluviais argilosos..... 15

Figura 4 - Prospecção geoquímica de reconhecimento através da drenagem principal das áreas de Lagoa da Mina e Cercado Velho. Representação gráfica de cobre total em sedimentos fluviais argilosos..... 16

Figura 5 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Murcho. Representação gráfica de cobre total..... 19

Figura 6 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira. Representação gráfica de cobre total..... 20

Figura 7 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Murcho. Representação gráfica de cobre solúvel..... 22

Figura 8 - Prospecção geoquímica de orientação atra

vés da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira. Representação gráfica de cobre solúvel..... 23
Figura 9 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de Murcho (Mapa de locação das amostras e respectivos teores de níquel)..... 25
Figura 10 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira. Representação gráfica de níquel.... 26
Figura 11 - Prospecção geoquímica em solo residual, mapa de localização da área-teste de Pirulito..... 44
Figura 12 - Mapa geológico do Alvo L-2..... 47
Figura 13 - Histograma de frequência para os teores de cobre na cobertura residual. Horizontes A e B (nível superior)..... 65
Figura 14 - Idem. Horizontes B (nível inferior) e C... 66
Figura 15 - Idem. Horizontes A, B(superior e inferior) e C. Dados log-transformados..... 67
Figura 16 - Histograma de frequência para os teores de níquel na cobertura residual. Horizontes A e B (nível superior)..... 68
Figura 17 - Idem. Horizontes B (nível inferior) e C... 69
Figura 18 - Idem. Horizontes A, B(superior e inferior) e C. Dados log-transformados..... 70
Figura 19 - Histograma de frequência para os teores de cromo na cobertura residual. Horizontes A e B (nível superior)..... 71

Figura 20 - Histograma de frequência para os teores de cromo na cobertura residual. Horizontes B (nível inferior) e C..... 72
Figura 21 - Idem. Horizontes A,B (superior e inferior) e C. Dados log-transformados..... 73
Figura 22 - Histograma de frequência para os teores de cobalto na cobertura residual..... 74
Figura 23 - Histograma de frequência para os teores de cobalto na cobertura residual (dados log-transformados)..... 75
Figura 24 - Histograma de frequência para os teores de ferro na cobertura residual..... 76
Figura 25 - Histograma de frequência para os teores de manganês na cobertura residual..... 77
Figura 26 - Histograma de frequência para os teores de zircônio na cobertura residual..... 78
Figura 27 - Histograma de frequência para os teores de escândio na cobertura residual..... 79
Figura 28 - Histograma de frequência para os teores de vanádio na cobertura residual..... 80
Figura 29 - Histograma de frequência para os teores de cálcio na cobertura residual..... 81
Figura 30 - Histograma de frequência para os teores de bário na cobertura residual..... 82
Figura 31 - Histograma de frequência para os teores de estrôncio na cobertura residual..... 83
Figura 32 - Histograma de frequência para os teores de magnésio na cobertura residual..... 84
Figura 33 - Ajustamento dos teores de Cu, Cr, Ni e Co segundo a lei log-normal. Horizonte A..... 85
Figura 34 - Idem. Horizonte B (nível superior)..... 86
Figura 35 - Idem. Horizonte B (nível inferior)..... 87

Figura 36 - Ajustamento dos teores de Cu, Cr, Ni e Co segundo a lei log-normal. Horizonte C..... 88
Figura 37 - Correlação entre os teores de Cu e Cr na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 109
Figura 38 - Correlação entre os teores de Cu e Ni na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 110
Figura 39 - Correlação entre os teores de Cu e Co na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 111
Figura 40 - Correlação entre os teores de Cu e Mg na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 112
Figura 41 - Correlação entre os teores de Cu e Fe na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 113
Figura 42 - Correlação entre os teores de Cu e Mn na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 114
Figura 43 - Correlação entre os teores de Cu e Sc na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 115
Figura 44 - Correlação entre os teores de Cu e Y na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 116
Figura 45 - Correlação entre os teores de Cu e Ba na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B e C)..... 117
Figura 46 - Diagrama Eh-pH para vários metais com delimitação do ambiente do solo máfico do Alvo-teste..... 132

Figura 47 - Relações deeestabilidade entre alguns compostos de cobre no sistema $Cu-H_2O-S-CO_2$... 133
Figura 48 - Histograma de frequência para os valores de pH na cobertura residual (faixa máfica) 134
Figura 49 - Ambiente geoquímico em termos de pH e Eh , na cobertura máfica do Pirulito. Oxidação dos sulfetos primários. Horizontes A e B (nível superior)..... 135
Figura 50 - Idem. Horizontes B (nível inferior) e C... 136
Figura 51 - Mapa de distribuição geoquímica para cobre em solo residual do Alvo L-2..... 142
Figura 52 - Mapa de distribuição geoquímica para cobre em solo residual do depósito do Pirulito. Horizonte A..... 146
Figura 53 - Idem. Horizonte B (nível superior)..... 147
Figura 54 - Idem. Horizonte B (nível inferior)..... 148
Figura 55 - Idem. Horizonte C..... 149
Figura 56 - Seção $B-B_1$. Perfil do solo e respectivos perfis geoquímicos para cobre, cromo, níquel e cobalto..... 173
Figura 57 - Seção $D-D_1$. Idem..... 174
Figura 58 - Seção $F-F_1$. Idem..... 175
Figura 59 - Perfil geoquímico vertical em solo máfico. Poço DB-L-8..... 176
Figura 60 - Idem. Poço DB-L-21..... 176
Figura 61 - Idem. Poço DB-L-33..... 176
Figura 62 - Perfil geoquímico vertical em solo derivado de gnaisse. Poço DB-L-411..... 177
Figura 63 - Idem. Poço DB-L-403..... 177
Figura 64 - Despesas e métodos usados em 1972 em geofísica terrestre para minerais..... 193
Figura 65 - Polarização induzida de uma partícula metálica condutora em uma rocha..... 194

Figura 66 - Resistividade aproximada de algumas rochas, minerais, minérios e metais..... 197
Figura 67 - Bloco diagrama do transmissor do IP..... 200
Figura 68 - Bloco diagrama do receptor do IP..... 201
Figura 69 - Corrente primária e voltagem medida no domínio de frequência..... 199
Figura 70 - Dispositivo do arranjo Schlumberger modificado..... 199
Figura 71 - Dispositivo do arranjo polo-dipolo..... 202
Figura 72 - Plotação dos dados do arranjo polo-dipolo. 203
Figura 73 - Dispositivo do arranjo dipolo-dipolo..... 203
Figura 74 - Plotação dos dados do arranjo dipolo-dipolo..... 204
Figura 75 - Dispositivo Schlumberger apresentando os elementos da dedução..... 205
Figura 76 - Localização da linha experimental de IP no corpo de Lagoa da Mina..... 217
Figura 77 - Perfil F (experimental) de IP na área de Lagoa da Mina..... 218
Figura 78 - Croqui de localização da linha experimental de IP na corpo de Surubim..... 220
Figura 79 - Perfil experimental de IP na área de Surubim..... 221
Figura 80 - Localização da linha experimental de IP no corpo de Senhor de Lisboa..... 224
Figura 81 - Perfil D (experimental) de IP na área de Senhor de Lisboa..... 225
Figura 82 - Perfil experimental de IP na área de Surubim integrado com seção de sondagem..... 229
Figura 83 - Perfil G de IP no Alvo da Macambira..... 230
Figura 84 - Perfil E de IP no Alvo da Macambira..... 231
Figura 85 - Perfil E de IP na área de Lagoa da Mina integrado com seção de sondagem..... 234

Figura 86 - Perfil F de IP na área de Lagoa da Mina integrado com seção de sondagem..... 235
Figura 87 - Perfil E de IP na área de Lagoa da Mina com espaçamento entre as estações de 25 metros..... 236
Figura 88 - Perfil F de IP na área de Lagoa da Mina com espaçamento entre as estações de 25 metros..... 237
Figura 89 - Perfil A de IP no Alvo do Cupim..... 240
Figura 90 - Perfil experimental sobre zona de aluviões na área da Fazenda Mari..... 243
Figura 91 - Perfil A da área de Pirulito..... 244
Figura 92 - Perfil R de IP no Alvo da Macambira..... 247
Figura 93 - Gráfico da produção/tempo dos trabalhos de IP..... 248
Figura 94 - Anomalias magnéticas da fazenda Angico-componente vertical..... 258
Figura 95 - Detalhe da anomalia magnética positiva ao sul do corpo..... 260
Figura 96 - Detalhes das anomalias magnéticas negativas ao norte do corpo..... 261
Figura 97 - Anomalias na componente horizontal do campo terrestre-perfis selecionados..... 262
Figura 98 - A intensidade total do campo magnético da Terra..... 272
Figura 99 - Anomalias magnéticas de intensidade total para várias inclinações-hemisfério sul.... 271
Figura 100 - Integração magnetométrica com sondagem.Perfil A - Depósito do Pirulito..... 275
Figura 101 - Programa NST. Relacionamento entre os subprogramas..... 284
Figura 102 a - Folha de codificação FORTRAN(programa NST) 285

Figura 102 a - Folha de codificação FORTRAN(programa NST) 286
Figura 103 - Susceptibilidade magnética. Curva de frequência..... 296
Figura 104 - Mapa de intensidade total. Depósito de Pirulito..... 300
Figura 105 - Mapa do residual magnetométrico. Depósito de Pirulito..... 301
Figura 106 - Polígono de fechamento das medidas gravimétricas..... 320
Figura 107 - Mapa de fechamento e ajustamento gravimétrico. Pontos de 1ª ordem..... 325
Figura 108 - Mapa de fechamento altimétrico. Pontos de 1ª ordem..... 326
Figura 109 - Modelo teórico proposto para prospecção de cobre no Distrito Cuprífero do Rio Curaçá. 351

CPRM

RESUMO

O estudo de metodologias prospectivas para cobre, no Distrito Cuprífera do Rio Curaçá, constituiu um dos objetivos principais do Projeto Cobre, de interesse do Departamento Nacional da Produção Mineral.

Através dos mapeamentos geológicos executados em diversas escalas e estudos dos testemunhos de sondagem dos depósitos investigados, delineou-se os controles geológicos da mineralização cuprífera.

O método da prospecção geoquímica de sedimentos de corrente foi testado em riachos que drenam diversas ocorrências cupríferas, comprovando a sua eficiência na seleção de áreas prioritárias para pesquisa de cobre. Foram estudadas as técnicas de amostragem e analíticas, definidos os valores de "background" e "threshold" e analisados alguns aspectos que caracterizam a dispersão do cobre ao longo do curso dos rios.

O método da prospecção geoquímica de solo residual tem sido aplicado com sucesso na pesquisa do cobre do vale do rio Curaçá e várias ensaios de estudos orientativos já foram realizados, cada qual contribuindo com informações técnicas adicionais, importantes para o conhecimento cada vez mais fundamentado do uso do método. Neste trabalho o método foi testado sobre o corpo de Pirulito, encravado no Alvo L-2. As amostras coletadas em diversos horizontes do solo foram analisadas para 30 elementos, por espectrografia semi-quantitativa, sendo que 17 elementos (Cu, Cr, Ni, Co, Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Ba, La, Y, Pb, Sr, V, Zr e Sc) apresentaram concentrações acima do limite de sensibilidade do instrumento. Foram estudados, com especial ênfase, os elementos Cu, Cr, Ni e Co, devido a importância dada aos mesmos

nos programas de prospecção geoquímica executados em épocas anteriores. O estudo da regressão linear múltipla sequencial, na definição das variáveis que melhor explicam(accounted for) a variabilidade do cobre, mostrou ser uma técnica aplicável a problemas desse tipo na região, definindo as principais associações e correlações de metais na faixa máfica mineralizada. Estudos adicionais permitiram uma boa caracterização geoquímica do solo residual em termos de pH (variando de 5,00 a 8,00) e Eh (numa faixa de + 90 a + 300 m V), fornecendo subsídios úteis quanto aos movimentos dos metais no meio secundário da dispersão. Foi estabelecido o nível ideal de amostragem de solo e definidos os padrões da dispersão secundária dos metais.

O método elétrico da Polarização Induzida, domínio da frequência,foi empregado segundo os dispositivos dipolo-dipolo, Schlumberger modificado e polo-dipolo, utilizando-se um aparelho da Geoscience, manufaturado pela ETL, constituído de uma unidade transmissora, modelo T-2800 e uma receptora, modelo R401/S. O método utiliza três parâmetros na interpretação: ρ a (resistividade aparente); PFE (efeito percentual da frequência); e MCF (Fator de condução metálica). A viabilidade do método em indicar zonas anômalas condutoras devido a presença de sulfetos disseminados em corpos máficos-ultramáficos foi comprovada,nos estudos orientativos,sobre depósitos mineralizados, já conhecidos anteriormente. Entretanto, zonas de falhamento condutivas (preenchidas com grafite, magnetita, água salinizada, argila, etc); depósitos aluviais; e zonas com disseminação irregular de grafite, provocam falsas anomalias de IP que a experiência demonstrou ser possível separá-las das anomalias significativas relacionadas aos depósitos de sulfetos.

O método magnético foi empregado,inicial-

mente,utilizando-se a componente vertical (aparelhagem Gfz e Gfs da Askania) e,posteriormente,a intensidade total (aparelho da Geometrics, modelo G-806, com a precisão de um gama). O trabalho experimental utilizando a componente vertical foi realizado na área da fazenda Angico. O emprego da intensidade total foi preliminarmente testado na área do depósito de Pirulito e em face aos bons resultados obtidos(definição de corpos máficos-ultramáficos e indicação de zonas de falha) passou a ser aplicado sistemáticamente na prospecção de cobre no vale do rio Curaçá. Visando aprimorar a interpretação dos dados, estudou-se mais detalhadamente a obtenção do residual, tendo para isto utilizado-se também um programa de computador para os dados obtidos no Alvo S-12 (Alvo de Santa Fé). O estudo das susceptibilidades magnéticas (k),na região,permitiu estabelecer,estatísticamente as relações entre esta propriedade e as diferentes litologias e graus de mineralizações.

O método eletromagnético indutivo da audio-frequência magnética (AFMAG) foi testado na prospecção de cobre, utilizando-se um aparelho da McPhar, modelo A651, operando nas frequências de 470cps e 145cps. Testado preliminarmente no Alvo S-1 (Alvo da Macambira) os resultados obtidos comprovaram a eficiência do método no delineamento dos eixos de condução, normalmente relacionados às zonas de falha..

O método gravimétrico, foi testado no depósito de Lagoa da Mina, utilizando-se na prospecção um gravímetro modelo Prospector, tipo Worden com uma precisão de ± 0,01 mgal. As medidas gravimétricas e altimétricas foram feitas através de pontos de 1ª e 2ª ordens, controladas por polígonos de fechamento. O erro médio Bouguer foi da ordem de ± 0,05 mgal. Na interpretação foram confeccio-

nados mapas Bouguer, Residual e da Segunda Derivada. A interpretação qualitativa e quantitativa constou dos cálculos: (1) do modelo gravimétrico do corpo de Lagoa da Mina; (2) dos contrastes de densidades; (3) da massa anômala; e (4) das reservas. Adicionalmente a interpretação constou do estudo de todas anomalias residuais positivas. Os resultados obtidos,com o método,em detectar corpos máficos-ultramáficos mineralizados,foram confirmados no estudo orientativo.Sendo um método indireto e de custo operacional relativamente alto a sua utilização na rotina da pesquisa do cobre fica condicionada à situações particulares.

As técnicas operacionais dos diversos métodos geofísicos (constituição das equipes, malhas dos levantamentos, tipos de eletrodos, etc) foram estudadas detalhadamente durante o desenvolvimento dos trabalhos de prospecção.

Elaborou-se sugestões sobre a sistemática a ser adotada nos futuros trabalhos de prospecção de cobre no vale do rio Curaçá, sugerindo-se a utilização dos dados aeromagnéticos a serem obtidos do Projeto Serra de Itiúba, como ponto de partida para a escolha das "áreas-alvos", selecionadas para os programas de semi-detalhe e detalhe.

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório consubstancia os estudos realizados com os métodos de prospecção, testados e aplicados no vale do rio Curaçá, na pesquisa desenvolvida pelo projeto Cobre.

O emprego de uma sistemática de prospecção adequada à pesquisa do cobre foi dificultado por vários aspectos. Geologicamente, a área se mostra bastante complexa devido ao estilo tectônico, ao alto grau de metamorfismo e a granitização das rochas. O uso da geoquímica para cobre e outros elementos tem suas limitações devido às condições climáticas, ao tipo de solo desenvolvido e às condições de pH, neutro a levemente alcalino. A prospecção geofísica tem sua aplicação limitada pela salinização do solo, pela presença de falhas preenchidas por materiais condutores e pela distribuição irregular de minerais magnéticos nas rochas. Sobre outros aspectos, o controle litológico da mineralização não foi suficiente para orientar toda a sistemática da prospecção, tendo em vista o elevado número de corpos máficos - ultramáficos que se mostraram estéreis em relação à geoquímica dirigida e à ocorrência de corpos mineralizados sem conotação fotogeológica, como os depósitos de Surubim e Cercado Velho.

Por conta dessa problemática tornou-se necessário a integração de métodos de prospecção para se atingir os objetivos da pesquisa, voltados para a descoberta de depósitos de cobre ou para o descarte de áreas não favoráveis.

O estudo de cada método de prospecção em áreas geologicamente bem conhecidas, a que se denominou de

" estudos orientativos", foi de grande utilidade para o conhecimento adequado das técnicas de operação e de interpretação dos dados.

A insistência com que se pesquisou os métodos geofísicos, notadamente a polarização induzida, durante dois anos consecutivos, até se conseguir resultados satisfatórios, reflete a credibilidade dos técnicos na aplicação de um método, que vem sendo mundialmente utilizado para depósitos de sulfetos disseminados. Apesar de todas as interferências que foram gradativamente sendo reconhecidas,analisadas e corrigidas, no final da campanha já era possível separar, com relativa segurança, as anomalias significativas de IP das anomalias não significativas.

Procurou-se,neste volume, descrever detalhadamente todas as nuances de aplicação de cada método,desde o "modus operandi" até a interpretação final, exemplificando-as, sempre que possível, para melhor caracterização dos fatos.

Foram realizados testes nos seguintes campos da pesquisa mineral: a) prospecção geoquímica de sedimentos de corrente; b) prospecção geoquímica de solo residual; e c) prospecção geofísica: AFMAG, magnetometria, gravimetria e polarização induzida.

A importância dos estudos realizados, não se prende unicamente ao conhecimento das aplicações e limitações dos métodos em si, mas também em que fase da pesquisa mineral há conveniência na sua utilização, tendo em vista os aspectos técnico-econômicos da pesquisa.

Espera-se que os dados ora apresentados sejam utilizados,com sucesso,pelas empresas detentoras de concessão de pesquisa para cobre no vale do rio Curaçá.Com es

ta contribuição, supõe-se ter atingido um dos objetivos principais do projeto, de interesse do Departamento Nacional da Produção Mineral.

CPRM

2. PROSPECÇÃO GEOLÓGICA

Inácio de Medeiros Delgado
João Dalton de Souza

As conclusões extraídas em função dos levantamentos geológicos realizados em diversas escalas, das análises macroscópicas, microscópicas e químicas dos testemunhos de sondagem dos depósitos pesquisados e do estudo de inúmeras ocorrências cupríferas, agrupadas segundo os diferentes tipos genéticos (Vol. I), contribuiram decisivamente para uma compreensão dos fenômenos geológicos condicionantes da mineralização de cobre, no tempo e no espaço, e que constituem os controles da mineralização abordados nos itens seguintes.

2.1. Controle litológico da mineralização

Foi caracterizado desde os primeiros trabalhos de pesquisa executados na área: LEWIS JR et SANTOS (1966), BARBOSA et alii (1964), LEWIS JR et alii (1970) e LADEIRA et alii (1969). A associação de sulfetos de cobre com as rochas máficas-ultramáficas constitui um controle determinante da mineralização cuprífera do vale do Curaçá, tendo sido, desde o princípio, utilizado como guia para a prospecção geoquímica dirigida para as "manchas" identificadas nas aerofotos.

Pelo mapeamento geológico diferenciou-se, em função da natureza petrográfica dominante dos blocos autóctones preservados sobre o solo residual das rochas máficas-ultramáficas, quatro tipos principais de corpos:

- corpos piroxenítico-serpentiníticos;
- corpos anfibolíticos;
- corpos norítico-piroxeníticos; e
- corpos gabro-dioríticos.

Em relação as mineralizações de sulfetos constatou-se que:

1) os corpos piroxenítico-serpentiníticos, que ocorrem principalmente na Sequência Tanque Novo, não são mineralizados;

2) os corpos anfibolíticos e gabro-dioríticos, em qualquer das duas Sequências (Rio Curaçá ou Tanque Novo), podem apresentar fraca disseminação de sulfetos mas sem interesse econômico, de acordo com os elementos atualmente conhecidos; e

3) os corpos norítico-piroxeníticos da Sequência Rio Curaçá são os mais ricamente mineralizados, correspondendo aos atuais depósitos conhecidos.

2.2. Controle regional-subestratigráfico da mineralização

Os corpos norítico-piroxeníticos que constituem os depósitos de cobre do vale do Curaçá estão restritos a área de domínio da Sequência Rio Curaçá. Outrossim, os depósitos de Caraíba, Baraúna-Imburana, Pirulito, Surubim, Lagoa da Mina, Cercado Velho e Santa Fé são balizados pela ocorrência de rochas da Unidade Bom Despacho que constituem a base da Sequência Tanque Novo. Este fato não parece uma mera coincidência, tendo em vista que: (1) ainda não ocorreu nenhuma exceção a esta regra; e (2) inúmeras ocorrências de cobre foram constatadas ao longo dos "trends" de mineralizações que coincidem com este controle regional, que se denominou de subestratigráfico para diferenciá-lo dos controles estratigráficos perfeitamente definidos em sequências sedimentares ou de baixo grau de metamorfismo.

Admitindo-se que as rochas noríti

ca-piroxeníticas sejam intrusivas vulcânicas, estes derrames de rochas básicas-ultrabásicas, portadores de cobre, devem ter se processado antes da deposição da Sequência Tanque Novo.

Outro fato significativo que confirma, em parte, esse controle subestratigráfico, é a situação tectônica dos depósitos atualmente conhecidos, distribuídos em torno da zona axial do Anticlinório Rio Curaçá, com exceção do campo de Caraíba que localiza-se próximo à zona de terminação periclinal sul da referida estrutura.

A figura 1 representa, esquematicamente, a coluna estratigráfica parcial do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá onde são feitas anotações quanto ao posicionamento das mineralizações.

2.3. Controles locais da mineralização

Dobramento - Nas zonas axiais e de terminação periclinal processou-se frequentemente remobilização dos sulfetos de cobre mesmo em corpos com fraca mineralização. No depósito de Lagoa da Mina a remobilização dos sulfetos ao longo das zonas sanfonadas da terminação periclinal parece evidente. Embora seja praticamente impossível reconstituir o dobramento em detalhe, a configuração geral dos corpos de minério só poderia ser explicada através dessa hipótese. Fenômeno idêntico parece ocorrer com os corpos de minério, interpretados em seções verticais, do depósito de Caraíba.

Metamorfismo - Os estudos de testemunhos de sondagem mostraram a preferência da mineralização por determinadas litologias, normalmente hiperstenitos e noritos. Entretanto, para litologias idênticas, a estrutura metamórfica controla a mineralização, constatando-se frequentemente que uma mesma

PERÍODO	GRUPO	DIVISÕES DO GRUPO		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	POSIÇÃO ESTRATIGRÁFICA APROXIMADA DOS CORPOS MÁFICOS-ULTRAMÁFICOS	MINERALIZAÇÃO
PRÉ - CAMBRIANO INFERIOR (?)	GRUPO CARAÍBA	SEQUÊNCIA TANQUE NOVO	Unidade Bogó	Quartzito recristalizado, frequentemente fuchsítico, às vezes feldspatizado, sobreposto a quartzo - feldspato-granado - gnaisse e gnaisse kinzigítico com intercalações delgadas de anfibolito e menos comumente calco - silicatado e quartzito ferrífero.	Corpos exclusivamente anfibolíticos.	Teor baixo de cobre nos corpos. (± 0,1 % Cu)
			Unidade Banguê	Biotita - hornblenda - gnaisse bandeado e gnaisses félsicos com intercalações delgadas de anfibolito, norito - piroxenito, serpentinito, calco-silicatada e menos comumente quartzito ferrífero.	Abundância de corpos anfibolíticos, norítico - piroxeníticos e serpentiníticos.	
			Unidade Bom Despacho	Biotita - gnaisse migmatizado e kinzigito com abundantes intercalações delgadas de calco-silicatada, quartzito ferrífero, quartzito gnaissificado, anfibolito e raramente serpentinito.		
		SEQUÊNCIA RIO CURAÇÁ		Complexo lito - estratigráfico constituído dos agrupamentos litológicos (sem conotação estratigráfica) abaixo caracterizados: 1) Unidade Cachoeira: Migmatito listrado a biotita e/ou hornblenda com intercalações delgadas de anfibolito e raros corpos gabro - dioríticos. 2) Unidade Arapuá: Biotita - gnaisse migmatizado e quartzo - feldspato - gnaisse com abundantes intercalações de anfibolito. 3) Unidade Mari: Biotita - gnaisse migmatítico e biotita - hornblenda - gnaisse migmatítico com intercalações de corpos norito-piroxeníticos, gabro-dioríticos e anfibolíticos. 4) Unidade Poço de Fora: Gnaisses charnockíticos e granulitos diversos com intercalações de corpos norito - piroxeníticos, gabro - dioríticos, anfibolíticos e raramente serpentiníticos. 5) Unidade Serra da Barriguda: Biotita - piroxênio - granulito com lentes de granulito básico.	Predominância de corpos norítico - piroxeníticos.	Zona de mais alta concentração de cobre (± 1,0 % Cu)
					Predominância de corpos gábrico - dioríticos e anfibolíticos.	Teor baixo de cobre nos corpos. (± 0,1% Cu)

Figura 1 - Coluna estratigráfica parcial do vale do Rio Curaçá com considerações sobre a posição dos corpos máficos-ultramáficos e zoneamento da mineralização.

rocha quando isótropa mostra-se melhor mineralizada que o seu equivalente foliado. Este fenômeno já tinha sido comprovado por LADEIRA et alii (op. cit.).

Granitização - Localmente o condicionamente da mineralização é imposto pelos processos de granitização (migmatização e metassomatismo) das rochas máficas-ultramáficas. Os agentes migmatizantes remobilizam os sulfetos concentrando-os em faixas que se acomodam, normalmente, na periferia das partes mais granitizadas. Nas zonas granitizadas propriamente ditas, permanece dispersa disseminação de sulfetos, notadamentè pirita que, no caso, apresenta menor mobilidade do que a calcopirita.

Os mobilizados pegmatóides constituem, sem dúvida, os veículos de expressivas remobilizações de cobre, às vezes atingindo distâncias relativamente grandes da fonte do metal.

Hidrotermalismo e metassomatismo - O conceito de hidrotermalismo usado pelos autores deste relatório é bem amplo e relaciona-se a todo mobilizado de natureza hidrotermal independente qual tenha sido a sua origem.

Os processos de alteração hidrotermal e transformações metassomáticas aconteceram em diversos estágios da evolução geológica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá, desde a formação dos primeiros migmatitos até a última fase de injeções de diques de quartzo que atingiram os metassedimentos do Grupo Canudos. Em todas as fases possivelmente aconteceram remobilizações da mineralização de cobre.

Uma fase bem característica relaciona-se a formação dos granitos róseos anatéticos que às ve

zes migraram ao longo de zonas tectonicamente preparadas. A este evento relacionam-se as mais expressivas remobilizações de caráter hidrotermal-metassomático.

O condicionamento da mineralização a zonas de cisalhamento é muito frequente e as mineralizações remobilizadas para estas zonas foram frequentemente atingidas pelo nível de oxidação, se originando desta forma a maioria das inúmeras ocorrências secundárias de cobre espalhadas pelo vale do Curaçá. É muito comum que tais ocorrências sejam controladas por falhas longitudinais, e, nestes casos, as concentrações de cobre são mais expressivas. Este sistema de falha N-S, por ser o mais antigo da área com evidências atuais, foi influenciado inclusive pela fase de metassomatismo potássico que atingiu generalizadamente as rochas do vale do Curaçá, provocando transformações retrometamórficas.

Associação com grafite - A associação de sulfetos com grafite é comum nas mineralizações singenéticas sedimentares que ocorrem nas rochas anfibolíticas e calco-silicáticas pertencentes a Sequência Tanque Novo.

Na Sequência Rio Curaçá, nos corpos mineralizados de Surubim, Lagoa da Mina e Cercado Velho, a grafite observada está intimamente associada às zonas cisalhadas ou mais frequentemente às zonas de alteração hidrotermal-metassomática, razão pela qual não se pode precisar a sua origem primária.

CPRM

3. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE

Inácio de Medeiros Delgado

3.1. Histórico

A prospecção geoquímica de sedimentos ativos foi desencorajada por LEWIS e SANTOS (1966) durante os trabalhos de detalhe com caráter de orientação desenvolvidos na área da jazida de Caraíba. Entretanto, a necessidade de desenvolver um método rápido de reconhecimento geoquímico, de custos reduzidos, capaz de cobrir grandes áreas com poucas amostras, motivou os técnicos da GEOSOL a realizarem novos trabalhos de orientação visando a definição de técnicas de amostragem e analíticas que possibilitassem a aplicação do método referido.

3.2. Estudos orientativos pioneiros

Os primeiros estudos orientativos foram então realizados por LADEIRA et alii (1969) em riachos que drenavam áreas comprovadamente mineralizadas, como Lagoa da Mina e Paredão. Sobre os resultados desses estudos assim se manifestaram LADEIRA et alii (op. cit.):

> " Para este tipo de amostragem, adotamos o seguinte procedimento: em cada ponto de amostragem foram coletadas duas amostras; uma, constituída de material superficial do aluvião, de granulação grosseira, pobre em argila; a outra, mais profunda, atingindo-se o nível argiloso do aluvião, coletando-se o material respectivo, dominantemente constituído por minerais de argila; os pontos de amostragem foram locados em "overlays" das aerofotos. As amostras fo-

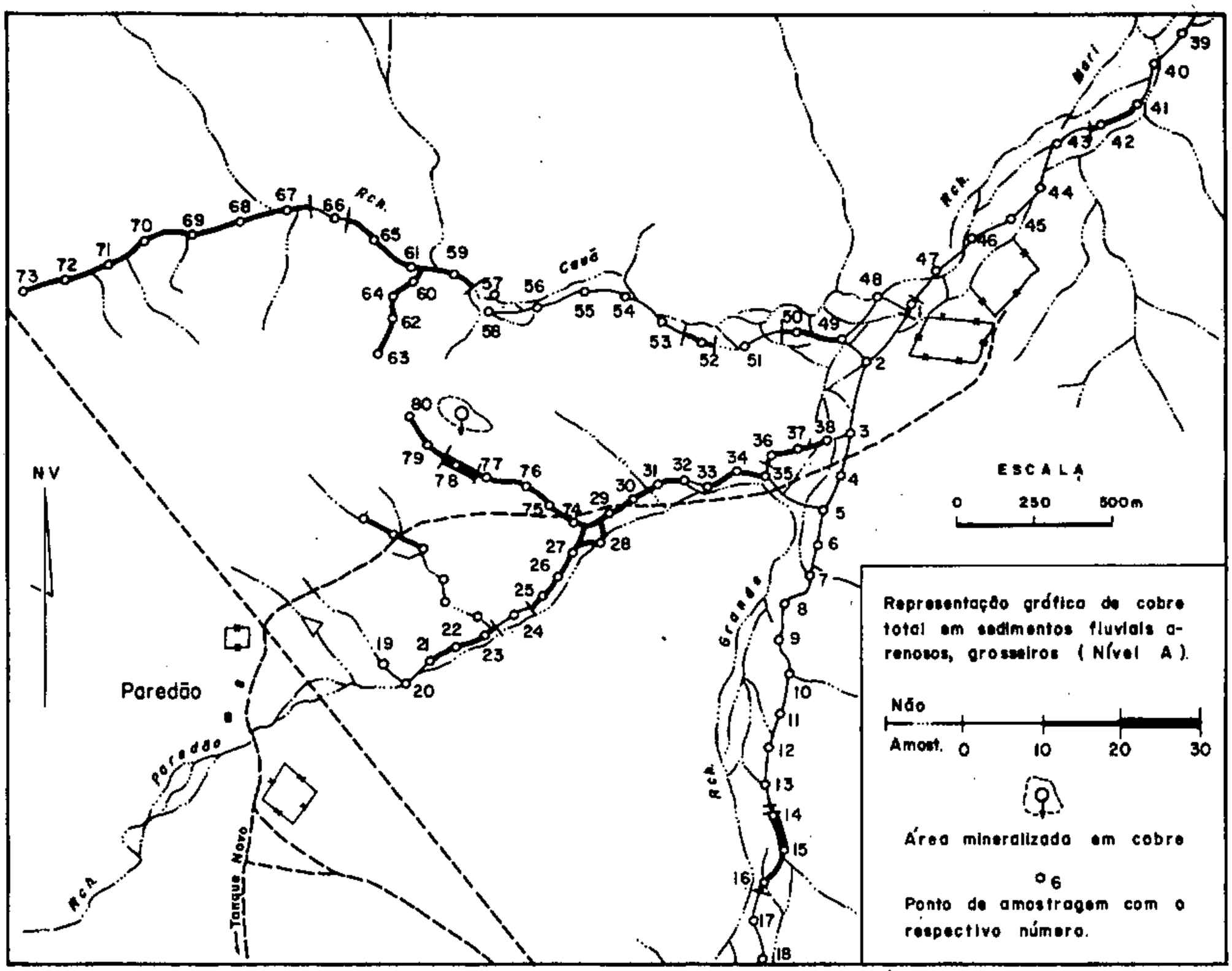
ram tomadas no canal principal dos riachos mais significativos, drenantes das áreas mineralizadas, e depressões de acumulação d'água, tanto a montante como a jusante destes. As amostras totais de cada nível foram analisadas, espectroquimicamente, por C.V. Dutra".

" Os resultados analíticos, figurados nas figuras 2, 3 e 4 mostram, contrariamente à assertiva de Lewis Jr., que a geoquímica de aluviões funciona perfeitamente na área, contanto que se amostre o nível apropriado do aluvião, que no caso deve ser o nível argiloso. Tal fato é muito natural, pois como se sabe, os ions de cobre são facilmente fixados pelas argilas, principalmente quando com estas, encontram-se misturados restos de matéria húmica, o que existe na fração argilosa, não incomumente, na região".

" Ademais, como os minerais cupríferos são facilmente atacados pelo intemperismo, torna-se improvável sua presença na fração densa dos aluviões, sob a forma de minerais residuais."

"Deve-se observar que os valores anômalos para cobre, encontrados nos sedimentos aluvionares, são marcantemente inferiores aos valores considerados para os solos residuais de mafitos e ultramafitos. Enquanto nestes, o limiar (Threshold) situa-se entre 250 ppm, para o caso da fração argilosa dos aluviões, os valores anômalos encontrados oscilaram de 30 a 90 ppm.

Sobre as análises de cromo e níquel, assim



Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
1	14	32	11
2	7	ND	ND
3	6	ND	ND
4	6	ND	ND
5	7	ND	ND
6	8	ND	ND
7	9	ND	ND
8	9	ND	ND
9	14	25	12
10	8	24	11
11	11	26	12
12	7	ND	ND
13	6	ND	ND
14	26	ND	ND
15	22	32	15
16	11	28	ND
17	9	ND	ND
18	10	ND	ND
19	10	ND	ND
20	10	ND	ND
21	14	24	11
22	14	23	11

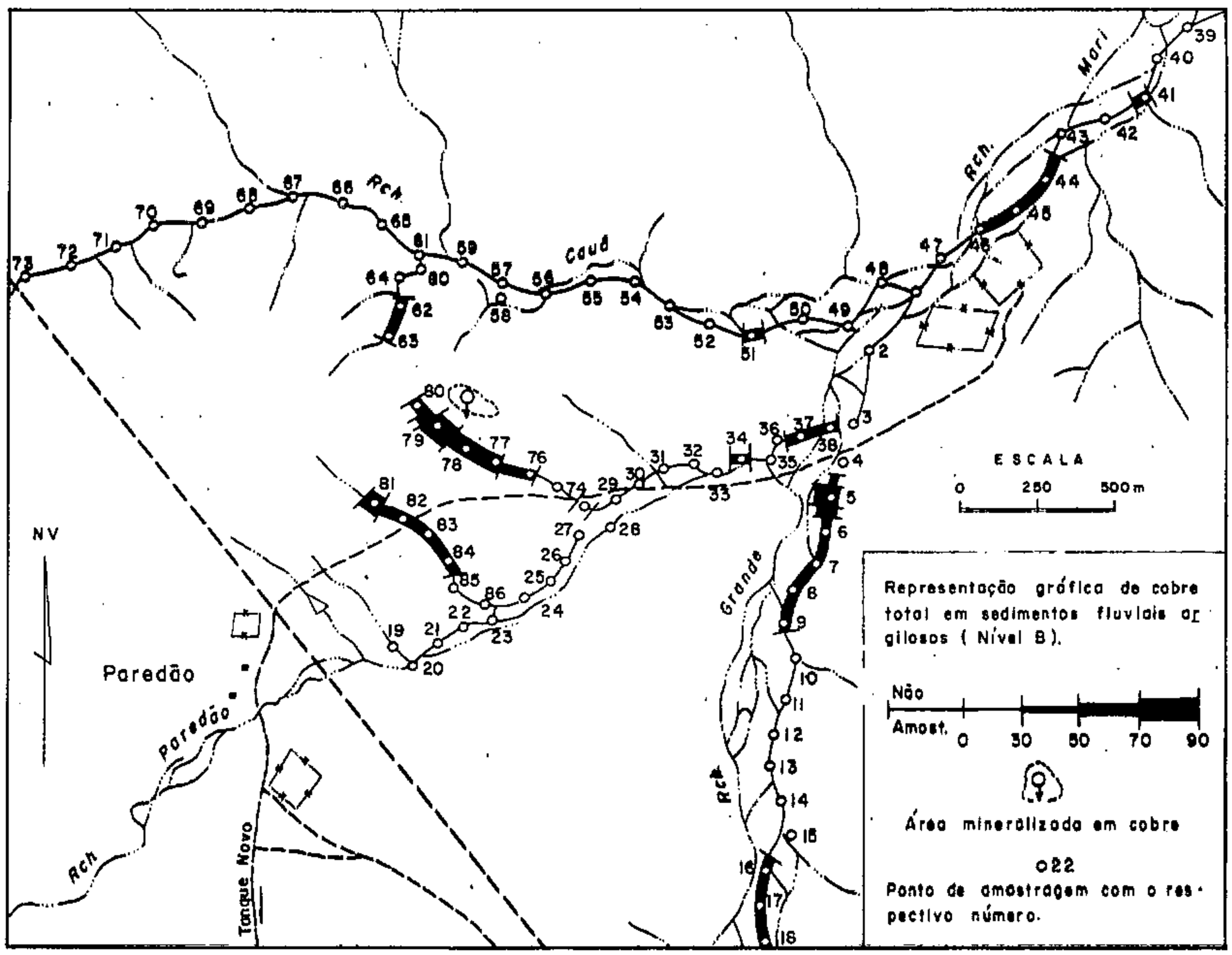
Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
23	14	ND	ND
24	9	ND	ND
25	10	ND	ND
26	15	ND	ND
27	11	ND	ND
28	10	23	12
29	12	28	13
30	14	40	14
31	13	34	13
32	22	27	13
33	14	27	ND
34	13	27	11
25	8	28	ND
36	9	41	ND
37	13	30	ND
38	10	26	ND
39	11	27	ND
40	9	23	ND
41	10	28	ND
42	11	25	ND
43	8	ND	ND
44	8	ND	ND

Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
45	8	28	ND
46	9	25	ND
47	7	ND	ND
48	7	ND	ND
49	10	ND	ND
50	13	ND	ND
51	9	ND	ND
52	12	ND	ND
53	9	ND	ND
54	8	ND	ND
55	7	ND	ND
56	8	ND	ND
57	8	ND	ND
58	11	19	12
59	12	14	9
60	12	ND	ND
61	17	ND	ND
62	14	31	11
63	14	35	12
64	16	43	18
65	12	ND	ND
66	9	15	11

Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
67	14	14	10
68	12	25	11
69	11	15	9
70	17	19	13
71	19	30	15
72	20	ND	11
73	18	ND	10
74	18	35	10
75	14	29	ND
76	18	44	16
77	11	29	ND
78	28	35	13
79	18	31	12
80	15	29	10
81	13	30	12
82	19	42	19
83	17	47	17
84	-	-	-
85	-	-	-
86	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Dosagem espectroquímica por C.V. Dutra.

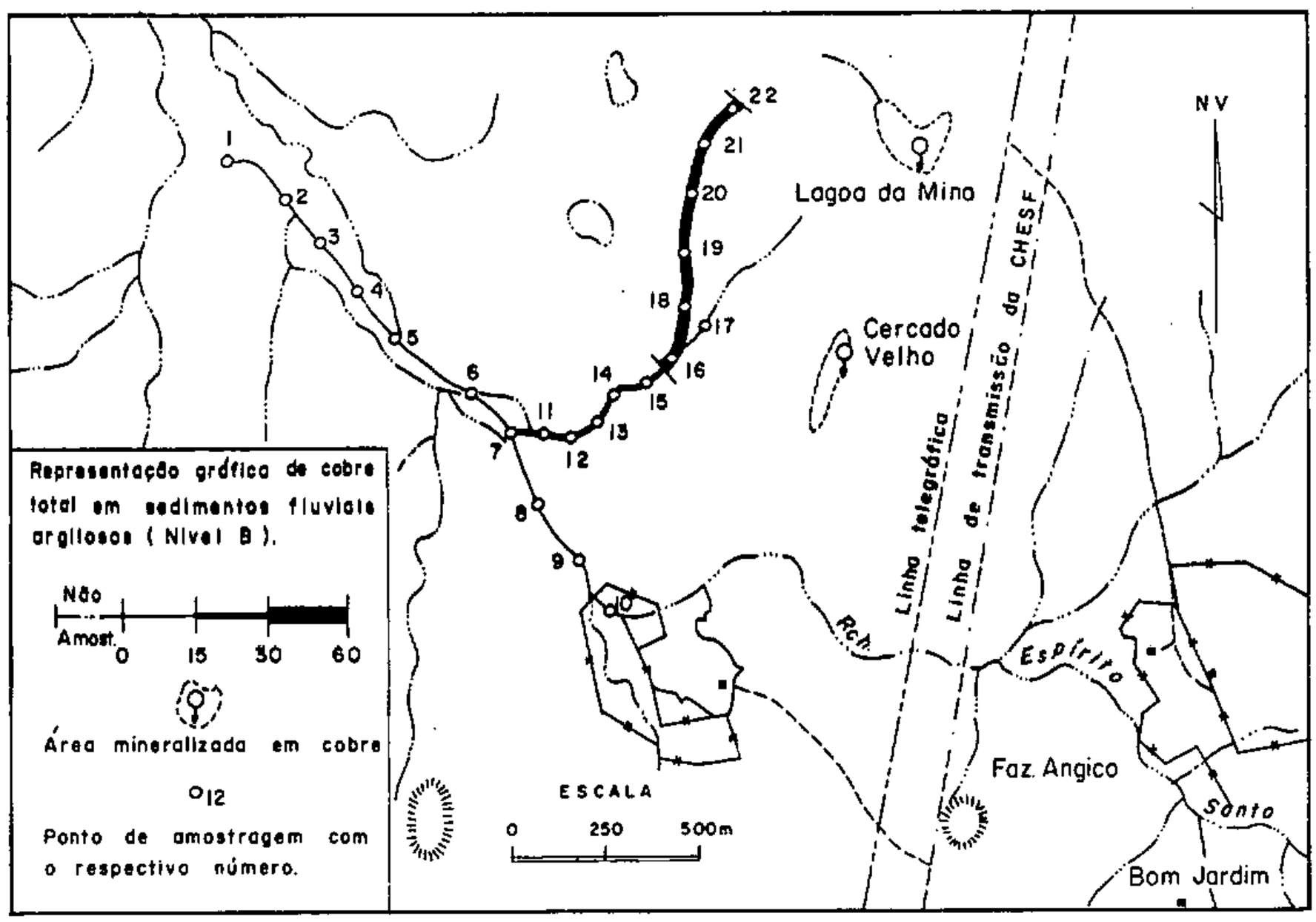
Figura 2 - Prospecção geoquímica de reconhecimento através da drenagem principal da área de Paredão, por meio da amostragem de sedimentos fluviais. No desenho acima, representou-se graficamente os teores de cobre total detectados espectroquímicamente nas amostras do nível superficial grosseiro do aluvião. Na tabela, encontram-se registrados os resultados analíticos de cobre, cromo e níquel em ppm, das amostras coletadas (Segundo Ladeira et alii, 1969)



Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL	Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL	Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL	Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
1	10	20	17	23	19	26	17	45	37	76	34	67	18	34	19
2	13	35	15	24	25	62	26	46	30	71	31	68	28	45	25
3	19	49	20	25	12	16	10	47	13	25	15	69	20	37	17
4	23	69	28	26	16	27	16	48	17	22	12	70	22	35	36
5	92	68	35	27	25	59	27	49	20	39	18	71	23	29	15
6	42	110	49	28	28	30	20	50	27	35	18	72	21	33	16
7	33	93	37	29	29	70	35	51	35	66	28	73	28	46	25
8	35	100	42	30	24	31	19	52	26	37	18	74	41	46	18
9	36	100	44	31	22	45	19	53	21	24	16	75	23	28	18
10	12	35	15	32	21	35	14	54	26	48	20	76	31	50	30
11	12	38	17	33	22	23	15	55	28	53	33	77	56	95	46
12	30	76	32	34	34	62	24	56	28	41	22	78	70	90	52
13	16	52	22	35	25	56	26	57	36	35	20	79	88	76	74
14	10	26	15	36	27	71	24	58	25	38	15	80	36	78	52
15	26	81	32	37	44	100	46	59	18	35	13	81	64	120	140
16	34	87	38	38	32	69	30	60	22	43	18	82	31	48	32
17	30	81	41	39	14	34	13	61	26	37	20	83	42	60	38
18	32	88	42	40	19	41	18	62	31	56	23	84	42	53	47
19	23	23	15	41	43	100	43	63	38	43	26	85	10	63	38
20	16	20	15	42	18	45	18	64	23	43	20	86	12	38	24
21	15	23	11	43	28	81	26	65	15	30	11	-	-	-	-
22	14	28	15	44	39	84	39	66	31	52	23	-	-	-	-

Dosagem espectroquímica por C.V. Dutra

Figura 3 - Prospecção geoquímica de reconhecimento através da drenagem principal da área de Paredão, por meio da amostragem de sedimentos fluviais. No desenho representou-se graficamente os teores de cobre total detectado espectroquímicamente nas amostras do nível inferior do aluvião de natureza argilosa. Na tabela encontram-se registrados os resultados analíticos de cobre, cromo e níquel das amostras coletadas. Observa-se que o nível argiloso acusa teores em cobre mais elevados, em virtude da absorção do cobre pela argila. (Segundo Ladeira et alii, 1969).



Número da Amostra	COBRE	CROMO	NIQUEL
1 A	9	ND	ND
2A	9	ND	ND
3A	8	28	ND
4A	8	ND	ND
5A	7	ND	ND
6A	7	ND	ND
7A	8	ND	ND
8A	9	30	9
9A	8	ND	ND
10A	9	ND	ND
11A	13	30	ND

Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
12 A	13	27	ND
13 A	11	29	ND
14 A	13	31	ND
15 A	12	27	ND
16 A	13	ND	ND
17 A	12	44	ND
18 A	27	45	14
19 A	23	39	12
20 A	36	46	16
21 A	34	54	17
22 A	30	51	15

Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
1 B	9	30	17
2 B	6,5	24	14
3 B	11	35	19
4 B	8,2	23	16
5 B	12	40	17
6 B	9	21	13
7 B	15	31	17
8 B	7	22	14
9 B	8	27	13
10 B	17	62	28
11 B	25	32	19

Número da Amostra	COBRE	CROMO	NÍQUEL
12 B	16	22	13
13 B	23	28	18
14 B	31	35	24
15 B	27	23	13
16 B	34	35	27
17 B	7	30	14
18 B	58	35	31
19 B	50	30	24
20 B	36	42	20
21 B	51	80	45
22 B	47	35	22

Dosagem espectroquímica por C. V. Dutra.

Figura 4 - Prospecção geoquímica de reconhecimento através da drenagem principal da área da Lagoa da Mina e Cercado Velho, com amostragem de sedimentos fluviais. As amostras indicadas por A correspondem ao material arenoso, superficial do aluvião, e as designadas por B ao nível inferior argiloso. Os teores referem-se aos elementos totais detectados espectroquímicamente. (Segundo Ladeira et alii, 1969).

se manifestaram LADEIRA et alii (op. cit.):

" Pelos teores de cromo e níquel, determinados nas mesmas amostras, constantes das tabelas, apenas às figuras citadas nota-se que a distribuição desses elementos, principalmente o níquel, tende a acompanhar a distribuição do cobre, refletindo a constituição litológica dos maciços de onde este elemento provém".

Concluindo, LADEIRA et alii (op. cit.), sugeriram a utilização da prospecção geoquímica de reconhecimento, através da amostragem dos sedimentos ativos, recomendando um intervalo de amostragem inicial de(500 a 1.000)metros, com densificação posterior nos trechos anômalos dos riachos.

3.3. Estudos orientativos nas ocorrências de Murcho e Chico Ferreira

Dando continuidade aos trabalhos orientativos,desenvolveram-se estudos em duas outras áreas: Murcho e Chico Ferreira; objetivando principalmente estabelecer uma técnica de amostragem para os tributários menores que não apresentam os níveis argilosos dos aluviões recomendados por LADEIRA et alii (op. cit.) para a amostragem geoquímica.Aproveitando esses estudos realizaram-se análises para cobre solúvel que, regra geral, tem se comportado muito bem em trabalhos de prospecção geoquímica,para cobre, sobre sedimentos de corrente.

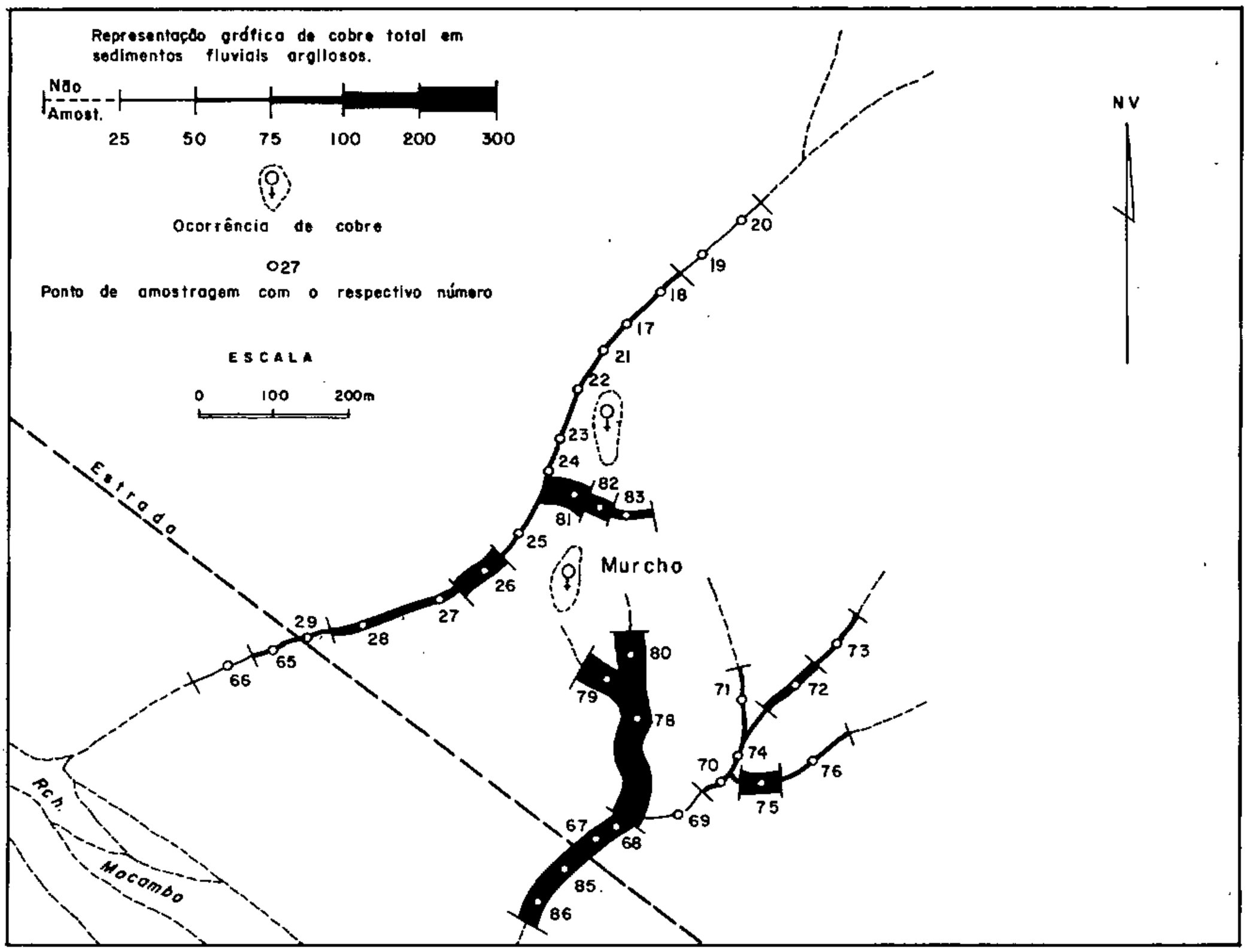
Na ocorrência de Murcho, as amostras foram coletadas em pequenos e médios tributários (drenagens de 3ª e 2ª ordem). Nos menores tributários, dado a inexistência de níveis argilosos, realizou-se a amostragem, a título experimental, coletando-se o material argiloso acumulado sob blocos de rocha que,não incomumente,se encontram,ligeiramente soterrados, no curso principal desses córregos. Para os tributários médios, tanto em Murcho como em Chico Ferreira, adotou-se a técnica de amostragem já testada por LADEIRA et alii (op. cit.), amostrando-se o nível mais argiloso dos aluviões, no curso principal dos riachos que drenam as áreas.

Cobre total

As análises para cobre total foram realizadas na fração natural da amostra, inferior a 80 mesh, através da abertura com $K_2S_2O_7$.

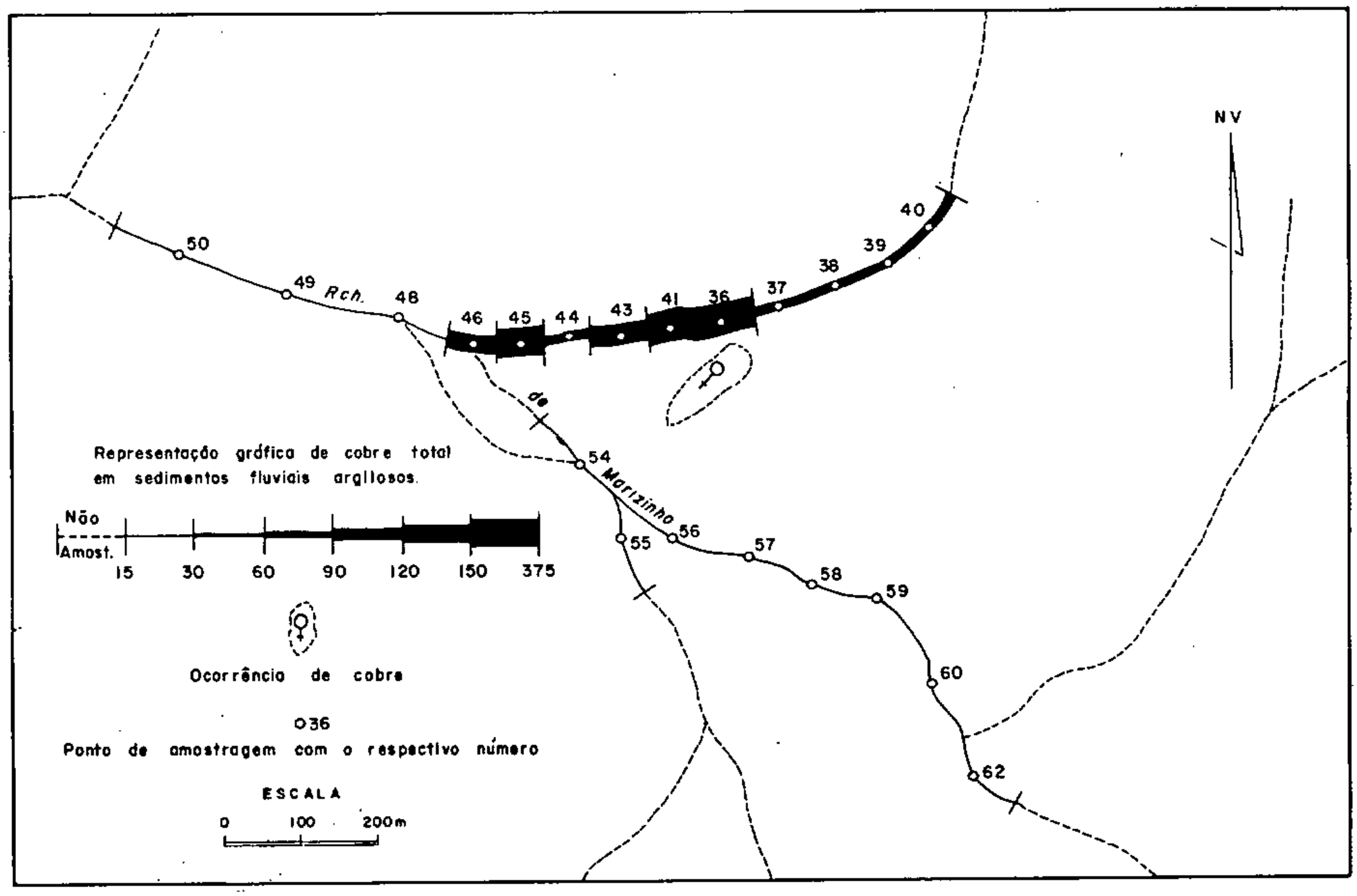
Para a área de Murcho, os teores de cobre total, representados na figura 5, variaram de 25 a 300ppm, sendo que os valores de 25ppm (amostras 1110-ID-19 e 20) situaram-se a montante da ocorrência cuprífera, fora da influência da fonte mineral. Os valores anômalos situaram-se acima de 62ppm.

Para a ocorrência de Chico Ferreira,os teores de cobre total variaram de 18 a 375ppm. Nesta área, valores em torno de 25ppm são normais nos sedimentos não influenciados pela fonte mineral, como pode se constatar nas amostras 1110-ID-55a a 62a, exibidas na fig. 6, confirmando



Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)
1110 - 1D - 17	50	1110 - 1D - 28	75	1110 - 1D - 74º	50
" " - 18	50	" " - 29	62	" " - 75º	100
" " - 19	25	" " - 65	62	" " - 76º	62
" " - 20	25	" " - 66	38	" " - 78	300
" " 51	50	" " - 67º	150	" " - 79º	250
" " 22	62	" " - 68º	150	" " - 80º	250
" " 23	62	" " 69º	38	" " - 81º	200
" " - 24	62	" " - 70º	62	" " - 82º	150
" " - 25	62	" " - 71º	50	" " - 83º	75
" " - 26	175	" " - 72º	75	" " - 85º	175
" " - 27	88	" " - 73º	50	" " - 86º	100

Figura 5 — Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais da ocorrência de cobre de Murcho.



Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE TOTAL (ppm)
1110 - ID - S - 36	375	1110 - ID - S - 45º	150	1110 - ID - S - 56º	25
" " " - 37	62	" " " - 46º	100	" " " - 57º	25
" " " - 38º	62	" " " - 48º	18	" " " - 28º	25
" " " - 39º	62	" " " - 49º	25	" " " - 59º	25
" " " - 40º	75	" " " - 50º	18	" " " - 60º	25
" " " - 41º	150	" " " - 54º	25	" " - 62º	18
" " " 43º	100	" " " - 55º	25		
" " " - 44º	62				

Figura 6 – Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira.

os dados obtidos em Murcho. O limiar para esta área situou-se, também, em torno de 62ppm.

Em ambas as áreas a zona anômala persistiu a jusante da fonte mineral por aproximadamente 600m rio abaixo, com valores superiores a 60ppm de Cu.t. Entretanto, a distribuição das maiores concentrações anômalas não persistiu, rio abaixo, além dos 250m de extensão (fig. 5 e 6).

Cobre solúvel

As análises para cobre solúvel foram realizadas na fração natural da amostra inferior a 80 mesh, mediante a extração do cobre a frio, por solução HCl 1:1.

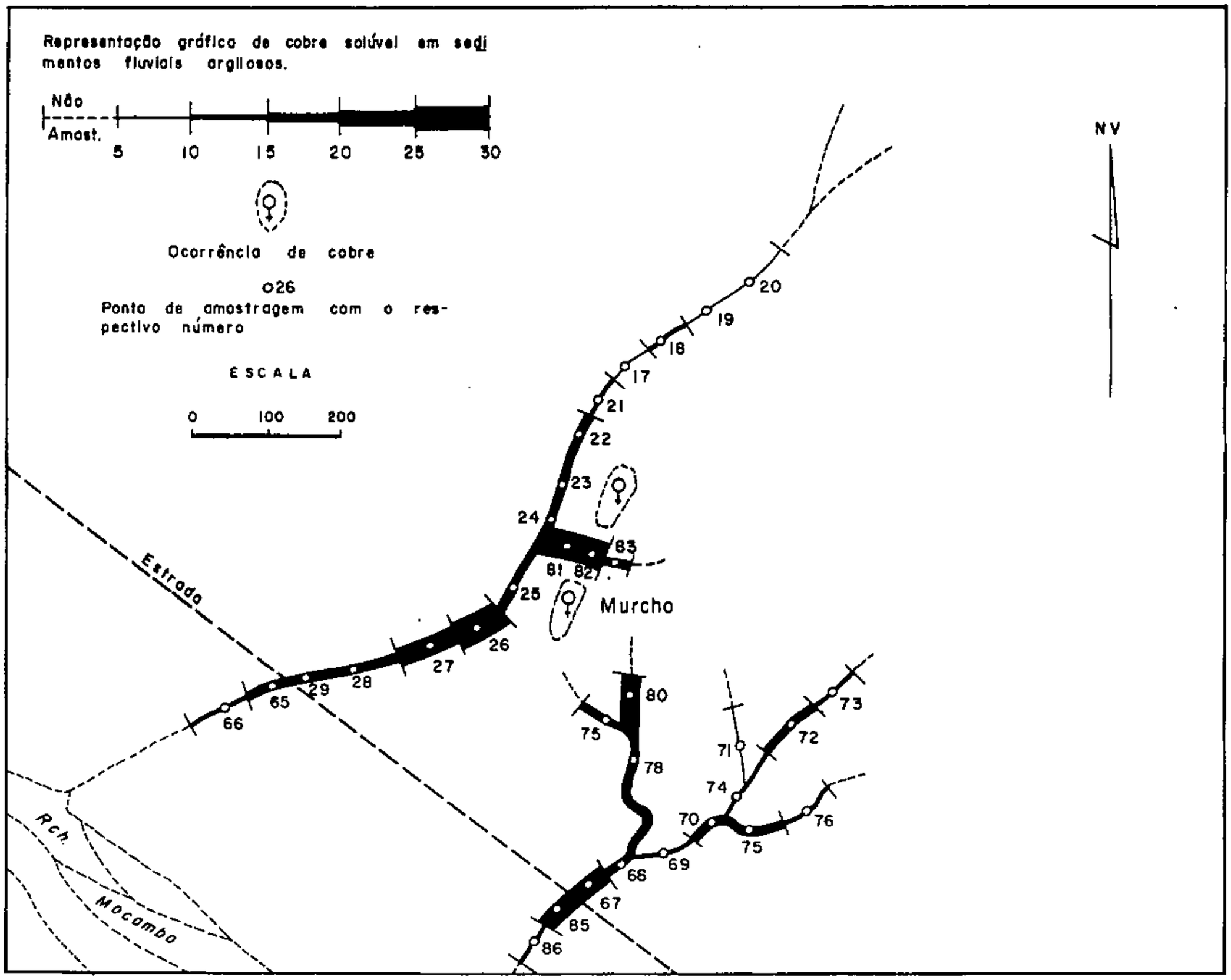
Para a área de Murcho, os valores de cobre solúvel, representados na fig. 7, variaram de 5 a 30ppm. A partir de 15ppm os teores podem ser considerados anômalos e abaixo de 10ppm caem na faixa de variação normal do "background".

Para a área de Chico Ferreira, a variação dos valores de cobre solúvel, representados na fig. 8, foi de 5 a 38ppm. O limiar situou-se em torno de 15ppm, concordante com os resultados de Murcho.

Níquel total

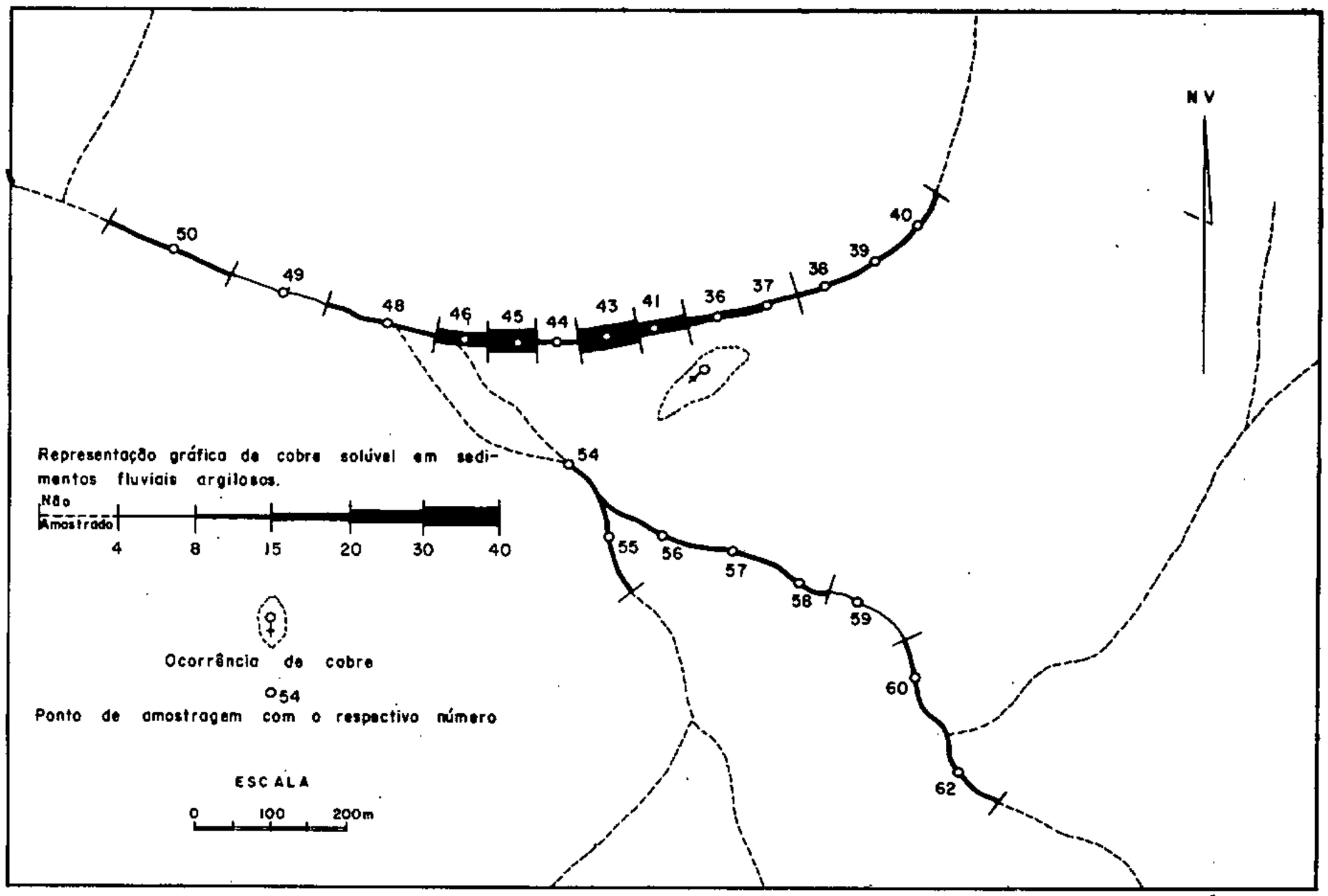
As análises para níquel foram realizadas na fração natural da amostra inferior a 80 mesh, mediante abertura com solução de $K_2S_2O_7$.

Observando-se a distribuição do níquel com



Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL(ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL(ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL(ppm)
1110 - 1D - 17	8	1110 - 1D - 28	18	1110 - 1D - 74a	10
" " - 18	10	" " - 29	15	" " - 75a	15
" " - 19	5	" " - 65	15	" " - 76a	10
" " - 20	5	" " - 66	12	" " - 78a	15
" " - 21	12	" " - 67a	20	" " - 79a	18
" " - 22	15	" " - 68a	15	" " - 80a	20
" " - 23	15	" " 69a	10	" " - 81a	25
" " - 24	15	" " 70a	15	" " - 82a	25
" " - 25	15	" " - 71a	8	" " - 83a	15
" " - 26	30	" " - 72	18	" " - 85	20
" " - 27	20	" " - 73a	12	" " - 86	12

Figura 7 — Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Murcho.



Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	COBRE SOLÚVEL (ppm)
1110 - ID - S - 36	15	1110 - ID - S - 44a	12	1110 - ID - S - 55a	8
" " " - 37	15	" " " - 45a	38	" " " - 56a	8
" " " - 38	10	" " " - 46a	25	" " " - 57a	8
" " " - 39a	10	" " " - 48a	8	" " " - 58a	8
" " " - 40a	10	" " " - 49a	4	" " " - 59a	5
" " " - 41a	25	" " " - 50a	10	" " " - 60a	8
" " " - 43	30	" " " - 54a	10	" " " - 62a	8

Figura 8 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira.

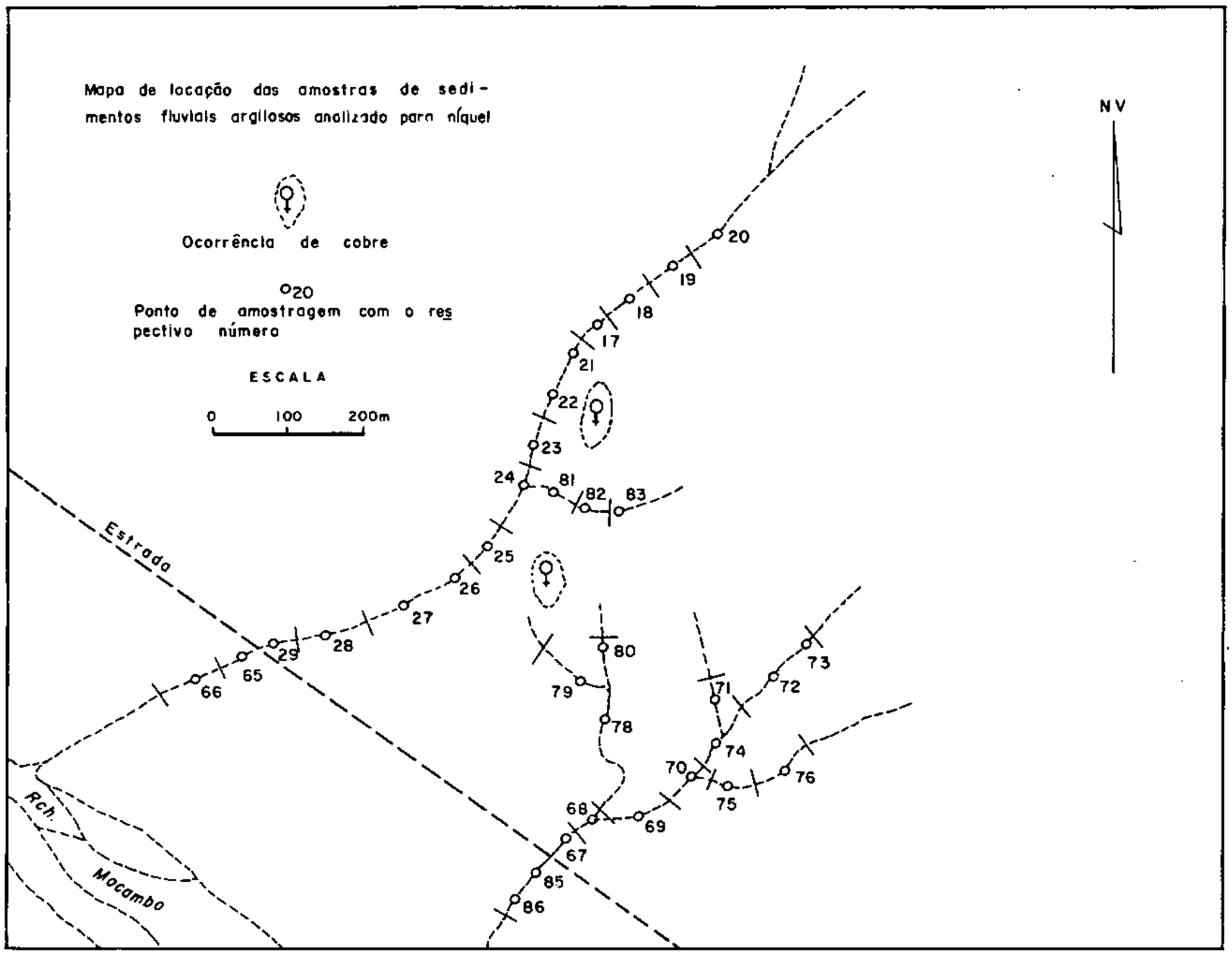
relação às ocorrências de cobre (fig. 9 e 10) constatou-se que os valores mais elevados tem distribuição errática ao longo do curso dos riachos e não se situam, necessariamente, a jusante da fonte mineral. Este fato poderia, "a priori", contra-indicar o níquel como elemento a ser analisado neste tipo de prospecção.

Na ocorrência de Murcho, as amostras 1110-ID-19 e 20 (tab. I) situam-se a montante da fonte mineral, tendo apresentado valores de "background" para cobre total e solúvel, enquanto os valores de níquel conservaram-se em torno de 60ppm, o que é comum nas amostras situadas a jusante da ocorrência. Suspeitou-se, neste caso, que a distribuição dos valores de níquel estivesse condicionada à presença do corpo máfico-ultramáfico e não propriamente à ocorrência cuprífera.

Fato semelhante foi observado na ocorrência de Chico Ferreira, apesar das amostras 1110-ID-58a a 62 (tab. II), situadas a montante da ocorrência cuprífera, já apresentarem valores de níquel até 30ppm.

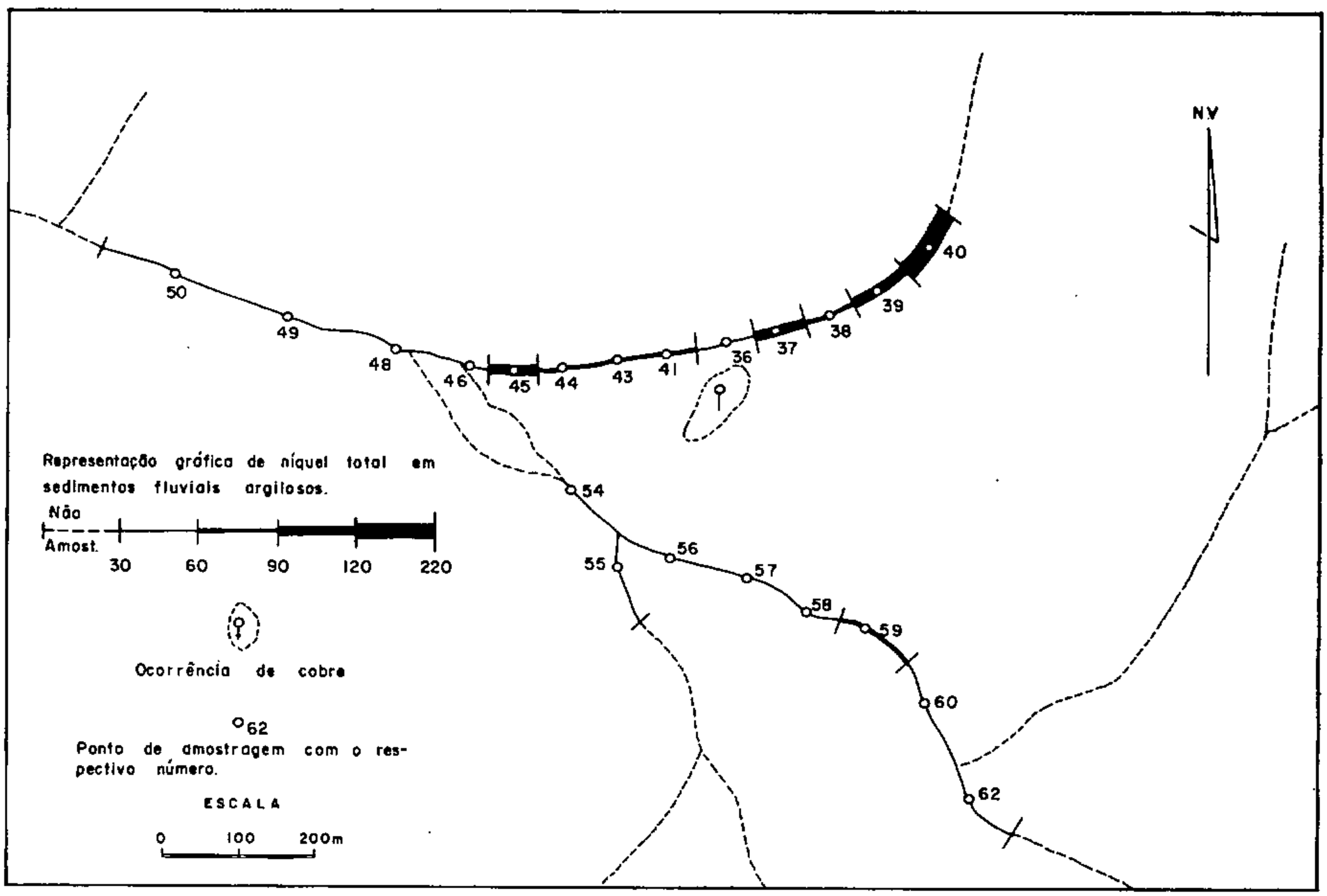
Apesar desses estudos não serem conclusivos, com relação a conveniência de se analisar o níquel nos sedimentos amostrados, insistiu-se na prospecção sistemática com as análises deste elemento, tendo-se observado o seguinte:

a) Os valores de níquel mais elevados situaram-se na vizinhança dos corpos máficos-ultramáficos, especialmente os de natureza ultramáfica. A população de níquel, com teores dominantemente altos seria,



Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)
1110 - 1D - 17	40	1110 - 1D - 28	50	1110 - 1D - 74º	60
" " 18	65	" " - 29	45	" " - 75º	60
" " - 19	60	" " - 65	50	" " - 76º	50
" " - 20	50	" " - 66	60	" " - 78º	60
" " - 21	75	" " - 67º	60	" " - 79º	80
" " - 22	85	" " - 68º	70	" " - 80º	60
" " - 23	50	" " - 69º	35	" " - 81º	70
" " - 24	65	" " - 70º	70	" " - 82º	65
" " - 25	50	" " - 71º	50	" " - 83º	60
" " - 26	60	" " - 72º	75	" " - 85º	55
" " - 27	60	" " - 73º	80	" " - 86º	60

Figura 9 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos se sedimentos fluviais ativos da ocorrência de Murcho.



Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)	Nº DA AMOSTRA	NÍQUEL TOTAL (ppm)
1110 - 1D - S - 36	50	1110 - 1D - S - 44a	70	1110 - 1D - S - 55a	60
" " " - 37	110	" " " - 45a	90	" " " - 56a	33
" " " - 38	80	" " " - 46a	55	" " " - 57a	33
" " " - 39a	95	" " " - 48a	36	" " " - 58a	35
" " " - 40a	213	" " " - 49a	35	" " " - 59a	60
" " " - 41a	75	" " " - 50a	35	" " " - 60a	30
" " " - 43a	85	" " " - 54a	35	" " " - 62a	35

Figura 10 - Prospecção geoquímica de orientação através da amostragem dos sedimentos fluviais ativos da ocorrência de cobre de Chico Ferreira

pois, uma das características delimitativas dos referidos corpos dentro da paisagem geoquímica regional;

b) Os valores anômalos de cobre se acompanharam de valores igualmente anômalos para níquel, em termos estatísticos;

c) O valor do "background" de níquel, calculado estatisticamente, variou em função das associações litológicas; a média geral foi da ordem de 10ppm; e,

d) O limiar (estatístico) para níquel, também variou em função das associações litológicas; em média, situou-se em torno de 50ppm.

A constatação desses fatos permitiu que se chegasse as seguintes conclusões, em relação ao níquel:

1) A população dos valores de níquel para as ocorrências testadas, no estudo orientativo, é totalmente anômala;

2) Teores elevados de níquel, acima de 50ppm, se prestam para indicar a presença de corpos máficos ultramáficos, independente de possíveis mineralições de cobre associadas; e,

3) A utilização do níquel no programa de prospecção

geoquímica de reconhecimento, através da amostragem de sedimentos, é recomendável, para diferenciar as anomalias de cobre não significativas, relacionadas a "barreiras geoquímicas", das anomalias significativas associadas a complexos máficos-ultramáficos, tipicamente caracterizados pela população de valores altos de níquel.

Relação Cu. ex/Cu. t.

A relação Cu. ex/Cu.t (tab. I) é mais baixa nos riachos menores (drenagem de 3ª ordem). Esse fato pode ser explicado devido a uma dispersão singenética do cobre nos primeiros estágios de erosão (o corpo aflora apresentando uma disseminação de sulfetos), ou, o que é mais provável, a maior acidez do pH próximo da zona de sulfetos, hipótese reforçada pelo fato da relação Cu. ex/Cu. t aumentar com a distancia da fonte mineral. Na ocorrência de Chico Ferreira, a relação Cu. ex/Cu.t também diminui ao se aproximar da mineralização, caindo até 4% (tab. II).

3.4. Aplicação e limitação do método

1) Ratificando as afirmativas de LADEIRA et alii (1969), a amostragem dos sedimentos ativos funciona perfeitamente como método geoquímico de reconhecimento para cobre no vale do rio Curaçá, desde que seja amostrado o nível apropriado dos aluviões, que no caso deve ser o nível argiloso, encontrado normalmente sobre os grandes e médios

Tabela I - Concentrações de cobre e níquel em sedimentos de corrente na ocorrência de Murcho.

Amostras de sedimentos a jusante do corpo mineralizado. (Anômalas)		* Cu.t (ppm)	** Cu.ex (ppm)	Cu.ex/Cu.t %	Ni (ppm)	Observações
1110-ID-26	perto da mineralização	175	30	17	60	Riacho médio (drenagem de 2ª ordem)
27	70m rio abaixo	88	20	22	60	
28	180m rio abaixo	75	18	24	50	
29	250m rio abaixo	62	15	24	45	
65	300m rio abaixo	62	15	24	50	
66	360m rio abaixo	38	12	31	60	
1110-ID-80	perto da mineralização	250	20	8	60	Riacho pequeno (drenagem de 3ª ordem)
79	perto da mineralização	250	18	7	80	
78	60m rio abaixo	300	15	5	60	
68	210m rio abaixo	150	15	10	70	
67	240m rio abaixo	150	20	13	60	
85	300m rio abaixo	175	20	11	55	
86	360m rio abaixo	100	12	12	60	
Amostras de sedimentos a montante do corpo mineralizado. (Background)						Riacho médio (drenagem de 2ª ordem)
1110-ID-19		25	5	20	60(?)	
1110-ID-20		25	5	20	50(?)	

* Cobre determinado mediante abertura da amostra com $K_2S_2O_7$.
** Cobre determinado mediante extração com HCl 1:1.
Todas as determinações foram feitas a <80 mesh.

CPRM

Tabela II - Concentrações de cobre e níquel em sedimentos de corrente na ocorrência de Chico Ferreira.

Amostras de sedimentos a jusante do corpo mineralizado. (Anômalas)		** Cu.t (ppm)	*** Cu.ex (ppm)	Cu.ex/Cu.t %	Ni (ppm)	Observações
1110-ID-36	perto da mineralização	375	15	4	50	Riacho médio (drenagem de 2ª ordem)
41	80m rio abaixo	150	25	16	75	
43	150m rio abaixo	100	30	30	85	
44	230m rio abaixo	62*	12*	19*	70	
45	280m rio abaixo	150	38	25	90	
46	350m rio abaixo	100	25	25	55	
Amostras de sedimentos a montante do corpo mineralizado. (Background)						
1110-ID-58		25	8	32	35	Riacho grande (drenagem de 1ª ordem)
59		25	5	20	60	
60		25	8	32	30(?)	
62		18	8	44	35	

* Amostra provavelmente contaminada por material da barreira do riacho.

** Cobre determinado mediante abertura com $K_2S_2O_7$.

*** Cobre determinado mediante extração com HCl 1:1.

Todas as determinações foram feitas a <80 mesh.

tributários. Para os pequenos tributários a amostragem deve se processar sobre os sedimentos argilosos acumulados junto e abaixo dos blocos de rocha que se encontram,levemente soterrados,no curso desses córregos.

2) Os valores de cobre total e cobre solúvel apresentaram contrastes bem acentuados próximo às ocorrências cupríferas, atingindo,para cobre total, até 15 vezes o valor do "background" de Cu. t e, para cobre solúvel, até sete vezes o valor do "background" de Cu. ex. Em que pese o menor contraste, o cobre solúvel apresentou maior dispersão ao longo do curso dos riachos, favorecendo a sua aplicação como método de reconhecimento geoquímico, com os valores anômalos persistindo rio abaixo até 700 metros distante da fonte do metal.

3) Em função da dispersão do cobre ao longo dos sedimentos ativos, concluiu-se que o intervalo de amostragem não deve ultrapassar 250 metros. A escolha desse espaçamento permite que nas zonas anômalas, detectadas pelo reconhecimento geoquímico, pelo menos duas amostras apresentem valores altos. Isto diminui, em escala de probabilidade, a interpretação de anomalias devido a erros isolados de amostragem ou analíticos.

4) Há um evidente processo de diluição dos valores geoquímicos quando um tributário desagua em outro.Este fenômeno pode conduzir ao desaparecimento completo de uma anomalia geoquímica,dependendo do volume dos aluviões de de

terminados riachos que drenam a região.

5) Com base nos trabalhos orientativos estimou-se os seguintes valores de "background" e "threshold" para os pequenos e médios tributários (drenagens de 3ª e 2ª ordem).

Elemento analisado	"Background"(ppm)	"Threshold"(ppm)
Cobre total	25	60
Cobre solúvel	5	15

Para os tributários maiores (drenagens de 1ª ordem), estimou-se os limiares de 50ppm para cobre total e 10ppm para cobre solúvel.

6) Em termos econômicos, apesar da densidade elevada de amostragem para o reconhecimento geoquímica (conclusão chegada em função dos estudos orientativos), o número de amostras de sedimentos necessário para cobrir uma determinada folha ainda é cinco vezes menor do que se a amostragem se processasse sobre o solo residual.

Em função dos estudos e considerações supracitados, optou-se pela amostragem dos sedimentos de corrente como método geoquímico de reconhecimento, aplicado em uma fase inicial do projeto, quando os controles geológicos da mineralização não eram suficientemente estabelecidos, para servirem de base à seleção das áreas prospectáveis.

CPRM

4. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLO RESIDUAL

Dorival Correia Bruni

4.1. Revisão dos trabalhos anteriores

Pesquisas diversas envolvendo técnicas de prospecção geoquímica regional e/ou detalhada foram anteriormente desenvolvidas no "Distrito Cuprífero do Rio Curaçá".

Com especial ênfase merecem referencias os trabalhos apresentados por LEWIS e SANTOS (1966), LADEIRA, BROCKES e DUTRA (1969) e LEWIS, MATTOSO e BRIM (1970).

O depósito de cobre de Caraiba, tendo em vista o caráter significativo da mineralização evidenciada, comportou um estudo acurado, envolvendo técnicas diversas de prospecção geoquímica (LEWIS e SANTOS, 1966), possibilitando o estabelecimento de critérios úteis ao planejamento e interpretação de investigações geoquímicas, em áreas similares, dentro da mesma paisagem. O estudo teve como objetivo determinar (LEWIS e SANTOS, 1966):

1º) O tipo de dispersão do cobre e outros metais associados sobre o depósito;

2º) As variações dessa dispersão em profundidade;

3º) A possibilidade de o corpo mineralizado apresentar extensões ainda não identificadas; e,

4º) Os métodos mais práticos de amostragem e as técnicas de análise mais apropriadas para essa área.

Este levantamento geoquímico foi acompanha

do de mapeamento detalhado da geologia e dos tipos de solo, e complementado por um levantamento magnetométrico da área mineralizada.

Em termos de informações visadas, o programa executado por LEWIS e SANTOS (op. cit.) abrangeu cinco tipos de amostragem distintas:

1º) Amostragem sistemática extensiva do solo sobre os corpos de minério;

2º) Amostragem de sedimentos fluviais próximo a área mineralizada;

3º) Amostragem do "background" na região considerada como um todo;

4º) Amostragem de plantas e de diferentes partes das plantas típicas da área; e,

5º) Amostragem sistemática de folhas da catingueira na área mineralizada.

LEWIS e SANTOS (op. cit.) testaram sete metais (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr e Mo) nos solos que capeam os principais tipos de rocha da jazida de Caraíba. Ficou bem evidenciado que os valores tendem a aumentar sobre as rochas máficas-ultramáficas. Todavia os únicos incrementos significativos, além de cobre, foram verificados para Ni e Cr e, menos caracteristicamente, para Co.

O limiar corresponde, no solo residual da jazida de Caraiba, ao contorno de 1.000ppm que envolve a área de piroxenito mineralizado. Este valor de limiar forne ce uma relação bastante satisfatória, de 10 a 25 vezes o valor médio dos teores de cobre encontrados nos diferentes tipos de solos (LEWIS e SANTOS, op. cit.)

Os autores citados, dentre outras conclusões referentes aos estudos realizados na jazida de Caraíba, apresentaram as seguintes:

1º) Os solos da região são essencialmente residuais e refletem a natureza da rocha subjacente;

2º) A presença de 1.000ppm de Cu no solo massapê castanho escuro indicaria provavelmente um corpo de rocha máfica-ultramáfica mineralizada;

3º) Valores elevados de Ni, Co, Cr e Zn no solo, indicam tão somente a natureza máfica-ultramáfica da rocha subjacente e não necessariamente mineralizações de cobre;

4º) Valores elevados de Pb e Mo são desprovidos de significado, pelo menos como indicadores de mineralizações de cobre ou de tipo de rocha; e,

5º) A amostragem das folhas das árvores, especialmente a catingueira (Caesalpina pyramidalis) pode ser de grande valia na prospecção para cobre.

Com relação aos trabalhos de campo desenvolvidos de 1963 a 1964, LEWIS et alii (1970) apresentaram, em relatório, um quadro das investigações geoquímicas procedidas em âmbito regional, semi-regional e detalhado.

A pesquisa compreendeu coleta de amostra ao nível do horizonte B, em profundidade de 15 a 25cm.

Para o reconhecimento geoquímico regional cerca de 1.150 amostras foram coletadas, especialmente ao longo das estradas preferenciais e secundárias da região. O "background" dos valores de cobre em solos de migmatitos e gnaisses que encaixam os corpos máficos-ultramáficos e a maioria das ocorrências de cobre é, apenas, ligeiramente maior do que o "background" do cobre em outros solos. Esta diferença, todavia, é apenas de 5 a 15ppm de Cu e está abaixo dos limites de descriminação e previsão dos procedimentos usados pelos autores (LEWIS et alii, op. cit.). Os teores em rocha no vale do rio Curaçá são similares àqueles encontrados, nos prévios estudos geoquímicos, na jazida de Caraíba (LEWIS e SANTOS, 1966). Os valores de "background" (média geométrica) variam de 9ppm em solos derivados de quartzito até 38ppm em solos de rocha máfica, valores estes que correspondem a faixa de "background" de diversos outros tipos de solo sem nenhum interesse aparente (LEWIS et alii, 1970). Assim, concluem os referidos autores, a prospecção geoquímica somente para cobre não propiciou uma indicação conclusiva de áreas de rochas máficas-ultramáficas.

A mesma equipe executou trabalhos adicionais, envolvendo prospecção semi-regional, visando definir a eficácia da amostragem, segundo intervalos de 200 a 500 me-

tros, na detecção de faixas potencialmente favoráveis à mineralização. Os resultados, todavia, não foram conclusivos. Algumas zonas efetivamente anômalas não foram detectadas neste estágio da prospecção.

LEWIS et alii (op. cit.) testaram detalhadamente localidades específicas de possível mineralização e exploraram sistematicamente áreas de potencial mineral conhecido ou suspeitado. Os autores consideraram, com base nesse trabalho, localidades com 100ppm ou mais de cobre como sendo de interesse potencial; faixas que exibem 250ppm ou mais de Cu foram consideradas como indicativas de mineralização muito provável, as quais comportaram estudos detalhados; e, valores de cobre de 1.000ppm ou mais no solo foram julgados como demarcatórios da possível presença de corpo mineralizado próximo à superfície.

LADEIRA et alii (1969) realizaram trabalhos de prospecção geoquímica em solos residuais e sedimentos de corrente no vale do rio Curaçá, de 1965 a 1968, fornecendo inúmeros subsídios complementares às pesquisas anteriores desenvolvidas por LEWIS e SANTOS (1966).

Com relação à prospecção aluvial LADEIRA et alii (op. cit.) indicaram, contrariamente a LEWIS e SANTOS (op. cit.) que a geoquímica de aluviões funciona perfeitamente, desde que se amostre o nível apropriado do aluvião, que no caso deverá ser o nível argiloso.

Os autores citados forneceram, ademais, informações muito detalhadas e seguras sobre as características pedológicas dominantes nas zonas máficas-ultramáficas e, também com base nos critérios de PEREL'MAN (1967), enquadra-

ram o "Distrito Cuprífero do Rio Curaçá" no tipo de "paisagem geoquímica eluvial ou autônoma" cujas principais características reconhecidas na área, são as seguintes (LADEIRA et alii, op. cit.):

1º) Independência dos processos formadores do solo com relação à água subterrânea;

2º) Ausência de afluxo por "run-off" lateral sólido ou líquido;

3º) Formação predominantemente de horizontes eluviais no perfil dos solos;

4º) Presença de rejeitos de material transportado por escoamento superficial e percolação; e,

5º) Adaptação da vegetação à luta contra o carreamento dos nutrientes minerais.

Conforme observaram LADEIRA et alii (op. cit.), a caracterização da paisagem geoquímica da área investigada representa uma contribuição ao desenvolvimento de futuras campanhas de prospecção em áreas similares.

A interpretação dos dados obtidos pelos referidos pesquisadores foi, em grande parte, facilitada pela experiência anterior de LEWIS e SANTOS (1966). Todavia, LADEIRA et alii (op. cit.) consideraram inconveniente extrapolar para o restante da região o limiar de 1.000ppm

para cobre registrado na jazida Caraíba, por LEWIS e SANTOS (op. cit.), porquanto os teores ali assinalados poderiam estar exacerbados, pois teriam sido obtidos em área submetida a um grande número de escavações por dezenas de anos.

Na área mineralizada da fazenda Terra do Sal, LADEIRA et alii (1969) efetuaram um levantamento geoquímico experimental para a definição do nível ideal de amostragem do solo. Em cada nível de solo coletaram uma amostra sendo a mesma testada para Cu, Cr e Ni. Os autores concluiram pela inexistência de um nível ótimo para a tomada da amostra, uma vez que os maiores teores em cobre ocorriam erraticamente em todos os níveis de amostragem, sobre os corpos mineralizados. Todavia, os referidos pesquisadores, baseados em tais dados e na profundidade média do nível inferior de solo massapê, sugeriram que as amostras fossem coletadas ao nível aproximado de 45cm pois, segundo os mesmos, a tal profundidade ter-se-ia certeza de atingir sempre o solo massapê, argiloso, montmorilonítico, retentor de cobre.

LADEIRA et alii (op. cit.) enfatizaram que o nível superior (A_{00} e A_1) nem sempre oferece condições de amostragem em virtude de ser, muitas vezes, recoberto por uma película de areia transportada que poderia falsear os resultados.

Os autores citados admitem que, através do tratamento estatístico elaborado e da experiência acumulada em áreas que revelaram anomalias regionais, o valor calculado de 250ppm de Cu, como tendo se revelado o mais aceitável para o limiar do metal. Tal fato significa que duran

te as prospecções, aquelas áreas que evidenciarem valores de cobre menores que 250ppm deveriam ser consideradas negativas.

Dos trabalhos de prospecção geoquímica desenvolvidos, LADEIRA et alii (op. cit.) apresentaram dentre outras, as seguintes conclusões:

1º) A dispersão secundária do cobre no solo é residual e mostra-se pequena (em área);

2º) Os halos secundários residuais de cobre, nos locais pesquisados, possuem tanto natureza mecânica quanto sálica (química); os halos mecânicos parecendo ser de maior ocorrência que os últimos;

3º) Zonas de fraquíssima mineralização cuprífera oxidada, dificilmente discernível à vista, nas paredes das trincheiras posteriormente abertas, foram bem detectadas pela geoquímica;

4º) A observação geológica ao longo das escavações efetuadas indicaram que o cobre encontra-se, com certa frequência, concentrado em zonas de falhamento e cisalhamento, com desenvolvimento de milonitos ácidos e básicos que mostram efeitos hidrotermais (epidotização, cloritização e silificação); e,

5º) Teores de cromo e níquel elevados acusados em solo "massapê" prestam-se para diferenciá-los de certos solos idênticos, derivados de rochas máficas metassedimentares.

4.2. Estudo orientativo na área do Pirulito

A intensificação dos trabalhos envolvendo prospecção geoquímica, no cenário geológico do vale do rio Curaçá, e a necessidade da complementação de informações que não foram convenientemente definidas pelos estudos orientativos anteriormente executados, referentes aos padrões da dispersão geoquímica no ambiente secundário, conduziram à execução desse estudo orientativo em um dos Alvos especialmente selecionado.

O alvo-teste (Alvo L-2) localizado na folha de Lajes, na fazenda Sertãozinho (fig. 11), foi escolhido devido:

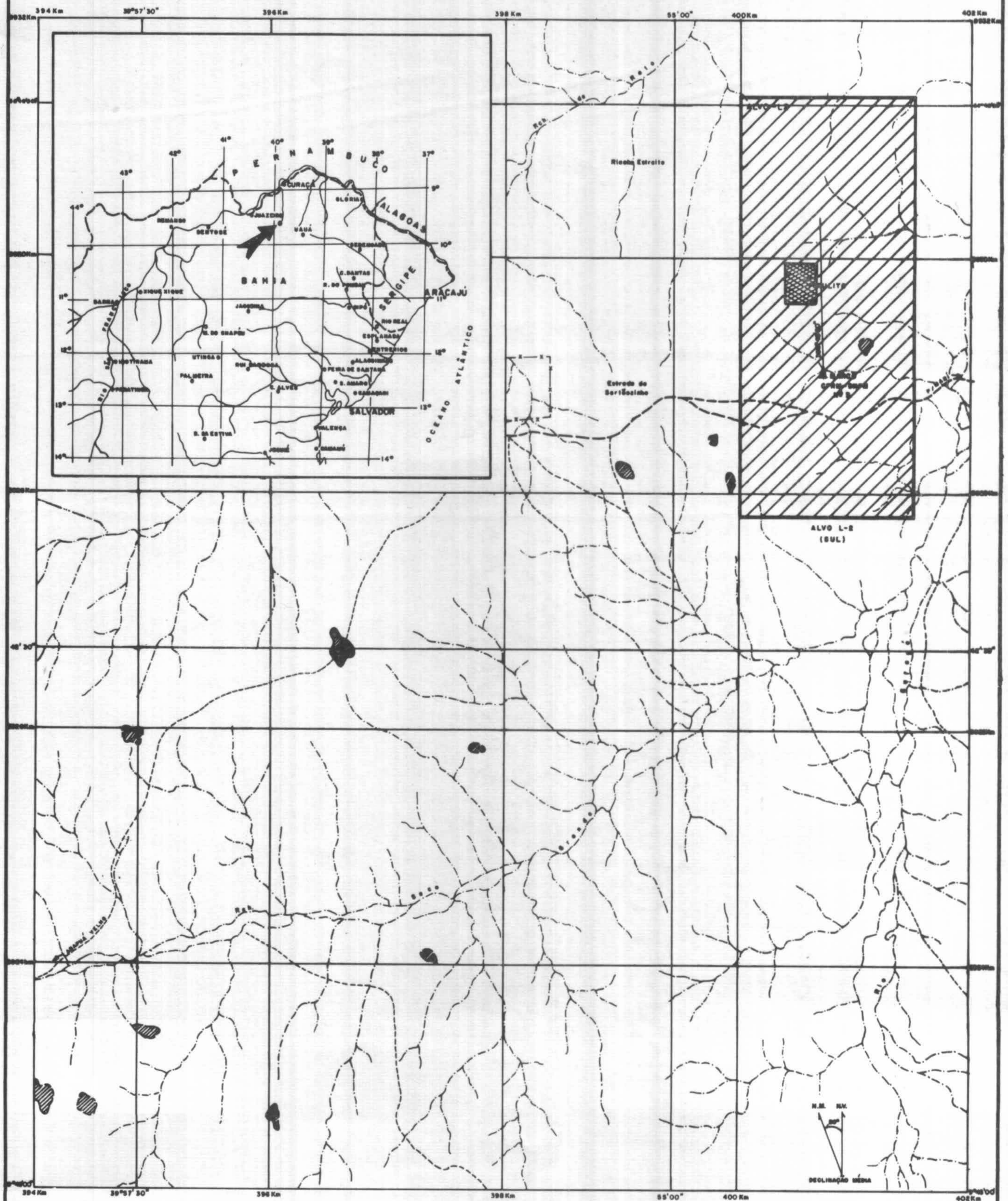
1º) As características geológicas favoráveis; corpos máficos-ultramáficos, encaixados em gnaisses da unidade Mari, com sub-afloramentos mineralizados;

2º) A presença nesta área do corpo de Pirulito, de natureza norítica-piroxenítica com mineralização de sulfetos de cobre e ferro, descoberto pelo reconhecimento geoquímico em solo residual do alvo referido; e,

3º) Por se tratar de uma área não perturbada, onde os padrões geoquímicos naturais poderiam ser melhor caracterizados.

O estudo orientativo representou assim uma pesquisa científica, sobre uma área prevista (Alvo L-2) no programa sistemático de amostragem geoquímica de solo

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVÊNIO
DNPM - CPRM
SALVADOR - BA

CPRM

TÉCNICO RESPONSÁVEL:
GEÓLOGO : Berivel C. Bruni

PROJETO COBRE-CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA-TESTE

LOCALIDADE DE PIRULITO - FAZ. SERTÃOZINHO

ESCALA

250 0 250 500 750 1000 1250m

1974

ALVO L-2
FAZ. SERTÃOZINHO

ÁREA-TESTE
FAIXA DO PIRULITO

Figura 11

residual, do Projeto Cobre.

4.2.1. Objetivo do estudo

Os objetivos principais estabelecidos, foram os seguintes:

1º) Teste do horizonte ideal de amostragem. A seleção do nível "optimum" no solo residual (massapê) derivado de rochas máficas-ultramáficas levou em consideração a distribuição irregular do horizonte A, frequentemente descaracterizado pelo fenômeno de "canibalismo" (LEWIS e SANTOS, 1966); e as condições de pH nos diversos horizontes reconhecidos;

2º) Estudo da conveniência de se analisar, com vistas a companhas subsequentes, outros elementos que pudessem ser utilizados como "farejadores " ou guias, dada as suas associações com o cobre em condições similares nas coberturas máficas dentro do mesmo panorama geoquímico.

Num contexto mais amplo, outros aspectos foram igualmente objetivados:

3º) Determinação do tipo de dispersão geoquímica existente na área, com especial ênfase para Cu, Cr, Ni e Co; os fatores que a influenciaram e a configuração da dispersão;

4º) Aplicar as informações adquiridas ao planejamen

to do programa de exploração mais econômico, geológica e geograficamente; e

5º) Fornecer maior segurança aos critérios de selecionamento de anomalias geoquímicas significativas em futuras campanhas de prospecção no "Distrito Cuprífero do Rio Curaçá".

4.2.2. Caracterização geológica da área

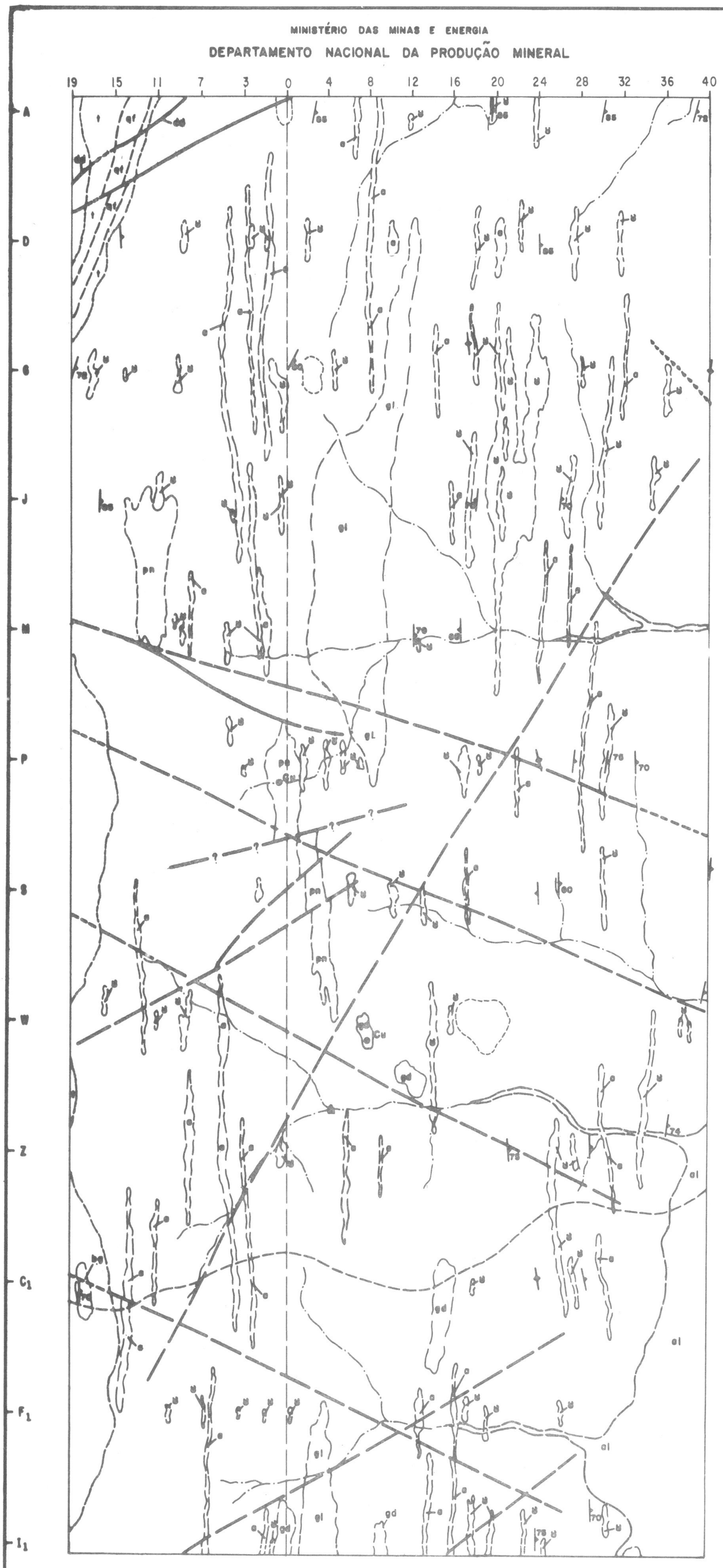
O Alvo L-2 (fig. 12) é geologicamente constituído, em quase sua totalidade, pelo biotita-gnaisse migmatítico e litologias associadas que caracterizam a unidade Mari. Apenas na sua porção mais noroeste ocorrem rochas pertencentes a unidade Bom Despacho, ali bem representada por um estreito nível de quartzito ferrífero.

A litologia dominante da área é um biotita-gnaisse migmatítico de estrutura sublistrada e "schlieric", que só localmente ocorre como gnaisse "sensu strictu", isto é, sem evidências de processos migmatizantes. É uma rocha de cor cinza, granulação média a grosseira, quase sempre bem foliada, constituída por uma associação mineralógica típica da fácies metamórfica do anfibolito: quartzo, plagioclásio, biotita e, em alguns pontos, hornblenda. Exibe frequentemente estreitas listras e lentes paleossomáticas de anfibolito, quase sempre parcialmente transformado pelos processos de migmatização.

Os afloramentos do biotita-gnaisse migmatítico estão comumente cortados por veios e lentes de pegmatito e "invadidos" por veios, lentes e massas disformes de granito róseo, os quais se dispõem concordante ou discordan

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVENÇÕES

- **al** — Aluvião
- **t** — Talus
- Dique de pegmatito
- **dd** — Dique de diabásio
- **u** — Área de proeminência ou corpo de granito rósea
- **qf** — Quartzito ferrífero
- **a** — Anfibolito
- **pn** — Corpos constituídos de piroxenito e norito, e subordinadamente, gabro, diorito e anfibolito.
- **gd** — Corpos constituídos de gabro e diorito e subordinadamente anfibolito, norito e piroxenito.
- **bg, bag ag** — Biotita-gnaisse migmatítico (bg) e subordinadamente biotita-anfibólio-gnaisse-migmatítico (bag) e anfibólio-gnaisse-migmatítico (ag), com intercalações nem sempre individualizáveis de anfibolito.
- **gl** — Granada-leptito (granulito ?) de granulação fina e média, às vezes, fracamente foliada.

Contato aproximado

Contato encoberto

Foliação indicada — 70

Foliação vertical

Falha definida

Falha ou fratura provável

Falha ou fratura encoberta

oCu — Ocorrência de cobre

Lagoa Temporária

Riacho

Estrada carroçável

▲ Marco CPRM — DNPM nº 3

Picada eixo carroçável

N.M. N.V.

20°

DECLINAÇÃO MÉDIA

PROJETO COBRE — CURAÇÁ

MAPA GEOLÓGICO

ALVO L-2

Folha de Lajes

ESCALA

200 100 0 100 200 300m

1974

CONVÊNIO

CPRM DNPM

SALVADOR — BA

Técnico responsável: Geol. João Dalton Souza

Figura 12

temente com as encaixantes. Este fenômeno é mais conspícuo na borda leste da área, onde os processos de granitização atuaram com mais intensidade, propiciando o aparecimento de numerosos corpos regionalmente concordantes, de granito róseo de origem anatexítica com participação de uma fase metassomática potássica.

Outra litologia característica são os leptitos com granada. Estas rochas ocorrem principalmente na parte central da área, apesar de também terem sido encontradas, em outros pontos, associadas com os biotita-gnaisse migmatíticos. São rochas de cor branca, de estrutura isótropa ou fracamente foliada, de granulação média a grosseira, constituída de quartzo, plagioclásio, microclina e em menor proporção, mas invariavelmente presente, granada róseа. Os leptitos não se encontram migmatizados, apesar de manterem contato de rápida transição com os biotita-gnaisses migmatíticos. Nestas zonas de contatos os processos de migmatização foram menos intensos, não sendo raro a ocorrência de biotita-gnaisses não migmatizados.

Os leptitos com granada pertencem a fácies metamórfica granulítica ou, no mínimo, a fácies de transição anfibolítica-granulítica e constituem testemunhos das condições máximas de pressão-temperatura as quais foram submetidas as rochas do Alvo L-2, hoje na sua maioria exibindo paragênese mineral típica da fácies metamórfica anfibolítica, graças a atuação de um metamorfismo regressivo, possivelmente relacionado com os processos de granitização da área.

Intercalados concordantemente nos biotita-gnaisses migmatíticos ocorrem numerosos níveis de rochas máficas e ultramáficas. São dominantemente lentes de anfibolito, com largura variando de centímetros a uma centena de me

tros, que podem atingir quase um quilômetro de extensão, distribuídas amplamente em toda área. Muito subordinadamente ocorrem corpos constituídos de hiperstenito e norito, um dos quais constitui o depósito cuprífero de Pirulito.

O corpo de Pirulito, conforme demonstrou o estudo dos furos de sondagem executados, é constituído predominantemente de biotita-hiperstenito e biotita-norito, litologias às quais associam-se uma mineralização em geral uniformemente bem disseminada de calcopirita, pirita, pirrotita e muito raramente bornita. Associadas a essas litologias ocorrem intercalações de gabro, hiperstênio-diorito, diorito, quartzo-diorito e anfibolito, distribuidas de modo aleatório. Os contatos entre essas litologias são comumente gradativos, apesar de ocorrerem também contatos bruscos. Esta mesma observação é válida para os contatos entre o corpo máfico-ultramáfico e suas encaixantes. A variedade de litologias desse corpo não pode ser atribuída unicamente a diferenças de composição das rochas originais, não metamórficas. Em grande parte ela deve-se a atuação de processos metassomáticos-migmatizantes sobre as rochas de maior basicidade. Estes processos de granitização dos corpos máficos e ultramáficos são evidentes em todo vale do Curaçá.

Os corpos máficos e ultramáficos foram submetidos ao mesmo grau de metamorfismo que as encaixantes.

A unidade Bom Despacho constitui, como foi citado, apenas porção ínfima do canto noroeste da área. Este fato aliado a exiguidade de afloramentos não permitiu melhor observação sobre o comportamento desta unidade no alvo em apreço. Sua individualização foi feita, com base nos dados do mapeamento 1:25.000, graças a utilização de um nível-guia (quartzito ferrífero) que bordeja em toda exten

são o contato entre essa unidade e a unidade Mari, nas folhas de Arapuá e Lajes.

Regionalmente o Alvo L-2 situa-se na aba oeste do Anticlinório Rio Curaçá. Este flanco da estrutura é constituído, em quase toda sua extensão, por uma sucessão de anticlinais e sinclinais alongados e apertados, com eixos dispostos na direção norte-sul. Estas estruturas secundárias, principalmente na folha de Lajes, onde está encravado o Alvo L-2, exibem frequentemente flancos invertidos e sempre fortemente inclinados, representando tipicamente uma zona submetida a altos esforços compressivos, que também são responsáveis pela excelente linearidade estrutural das rochas, invariavelmente dispostas, no Alvo L-2, segundo a direção meridiana e mergulhando fortemente para leste.

Em âmbito local, as estruturas mais marcantes do Alvo L-2 são as falhas e as fraturas. Estas estruturas estão dispostas preferencialmente segundo dois sistemas de direção, um NE-SW e outro NW-SE. São falhas normais e algumas delas apresentam uma pequena componente de deslocamento horizontal aparente. Foram, quase sempre, acompanhadas por processos de silicificação, responsáveis pelo aparecimento de inúmeros veios de quartzo e pegmatito encaixados nos planos da falha.

4.2.3. Clima, vegetação e topografia

O clima caracteriza-se pela insuficiência das precipitações, ar com pouca nebulosidade, temperatura elevada e, como consequência, elevadíssima evaporação.

A precipitação anual varia de 500 a 700mm. O regime pluviométrico é tipicamente torrencial com o escoa

mento superficial ("run-off") alcançando a significativa taxa de 80%.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região corresponde ao tipo Bsh, semi-árido.

O relevo geral, normalmente plano, condiciona a estagnação das águas e a alta acumulação de sais nessas águas. A infiltração é, por conseguinte, fraca (LEWIS e SANTOS, 1966).

A vegetação da região é do tipo caatinga, típica do clima semi-árido dos sertões do Nordeste que se caracteriza por chuvas irregulares, altas temperaturas e baixa umidade do ar, o que condiciona solo delgado em relevo suave.

A associação vegetal é parcialmente xerófila, sendo dominada pelos membros das famílias:

- Leguminoseae: catingueira (Caesalpina pyramidalis), caraíba (Tabebuia caraíba), favela (Chidoscolus phyllacanthus), joazeiro (Zizyphus joazeiro), baraúna (Schinopsis brasiliensis), etc.

- Cactaceae: mandacarú (Cereus jamacaru), palmatória (Opuntia palmadora), facheiro (Pilocereus piauhyenses), xique-xique (Pilocereus gounellei), etc.

- Bromeliaceae: macambira (Brumelia laciniosa), coroá (Neoglaziovia variegata), etc.

- Anacardiaceae: algumas espécies, não muito frequentes.

Tais plantas mostram adaptações especiais

às chuvas esporádicas e aos longos períodos secos. Daí, conforme assinala LEWIS e SANTOS (1966), as modificações registradas nas folhas e ramos, folhas compostas com superfície reduzida, a presença de tubérculos capacitados ao armazenamento de reserva hídrica e a perda geral das folhas na intensificação do período seco.

Associações florísticas tais como pinhão, mata-pasto, erva de Santa Luzia, catingueira, braúna, umburana são características em coberturas residuais de rochas máficas-ultramáficas, enquanto associações de xique-xique, favela, cansanção, coroa de frade, jurema, carqueja, calumbi, etc., são frequentes em solos arenosos de rochas silicosas.

Na área-teste do Pirulito, o relevo é plano. Regionalmente, caracteriza-se o relevo por extensas superfícies aplainadas,que compõem o cenário de toda a paisagem do vale do rio Curaçá, cortadas esporadicamente por elevações insuladas de origem residual.

4.2.4. Características pedológicas

A faixa máfica-ultramáfica do Pirulito é caracterizada, predominantemente, pelo solo residual argiloso, de cor cinza escura, com alta plasticidade, de estrutura prismática, com espessura média de 70cm, raramente alcançando 120 centímetros.

Nas bordas do corpo máfico-ultramáfico, e progressivamente à medida que se afasta do mesmo, domina o solo de textura areno-argilosa, passando a arenosa, exibindo tonalidade creme a ocre-pardacento, normalmente de pouca espessura (menos de 30cm), com horizonte A incipiente,fra

camente desenvolvido. Tal tipo de solo constitui o reflexo da cobertura residual do biotita-quartzo-feldspato-gnaisse. Os dois tipos de solos dominantes, obedecem pois a um seguro controle litológico.

Os solos, em geral, mostram, na cobertura dos corpos máficos-ultramáficos, uma textura altamente argilosa (60 a 90% de argilas, dominantemente montmorilonita). São solos impermeáveis, retendo por muito tempo as águas pluviais, dando origem a extensas lagoas temporárias. Apresentam quando ressecados, rachaduras solares ("mud cracks") atingindo normalmente todo o horizonte A e, por vezes, níveis mais profundos.

Amostras de solo "massapê", encaminhadas por LADEIRA et alii (1969) para determinação de filossilicatos, revelaram que destes o que predomina é a montmorilonita e, em ordem decrescente, vermiculita, illita e clorita. Nas citadas amostras, foram ainda registrados interestratificados de montmorilonita-vermiculita, montmorilonita-illita, montmorilonita-clorita-vermiculita. Subordinadamente, ocorre caolinita.

O perfil pedológico, via de regra, tem desenvolvimento apenas rudimentar. Isto, principalmente, em decorrência dos índices climáticos da região e ao que LEWIS e SANTOS (1966) atribuem ao fenômeno denominado " canibalismo": "durante o período de seca desenvolvem-se nos solos grandes fendas de dissecação as quais, na estação chuvosa, vem a ser preenchidas por materiais carreados, a partir de pontos topograficamente elevados, juntamente com seixos, areias e materiais diversos transportados pelas enxurradas". Isto, segundo os mesmos autores, tenderia a impedir, pelo constante revolvimento, a formação de um perfil pedológico

bem definido e estratificado.

Por esse motivo recomenda-se cuidado especial numa prospecção geoquímica em áreas similares. Na área pesquisada foram estrategicamente locadas as amostragens com relação a eventuais problemas de contaminação.

4.2.5. Perfil pedológico típico

O perfil típico do solo residual do corpo máfico-ultramáfico do Pirulito, pode ser descrito segundo as características a seguir especificadas:

Horizonte A_{00} (0-3cm) - Nível com fragmentos orgânicos semi-decompostos e muitos fragmentos pequenos de rocha residual intemperizada. Este horizonte é comum sobre rochas máficas.

Horizonte A (3-20cm) - Normalmente mal desenvolvido em decorrência, em parte, à fraca precipitação pluviométrica e à elevada taxa de escoamento superficial. Comumente trata-se de um horizonte cinza escuro, húmico, argiloso, por vezes com pequenos fragmentos de composição quartzo-feldspática ou fragmentos de rochas máficas. Estrutura prismática, com superfícies brilhantes.

Todo o horizonte é atravessado normalmente por fendas de retração aproximadamente verticais, que lhe conferem uma super-estrutura prismática. Plástico, com boa compacidade. O pH medido em laboratório, com apare-

lho METROHM-HERISAU - E 520, é neutro ou ligeiramente ácido.

Horizonte B_2 (20-50cm) - Nível normalmente bem desenvolvido, textura dominantemente argilo-arenosa, com boa compacidade, muito plástico, tonalidade cinza escura. Estrutura poliédrica com faces planares brilhantes. Super-estrutura prismática. Teor húmico moderado a alto. Atravessado por raízes. O pH é normalmente neutro a ligeiramente alcalino. Este nível contém, por vezes, nódulos de carbonato de cálcio.

Horizonte C (+ de 50cm) - Rocha matriz altamente decomposta, muito friável. Composição dominantemente anfibolítica-piroxenítica e fragmentos de composição quartzo-feldspática-biotítica.
É comum a preservação da estrutura da rocha matriz.

Convém observar que as características pedológicas do perfil aqui descrito podem, em linhas gerais, ser consideradas como peculiares aos solos derivados de complexos máficos-ultramáficos, regionalmente caracterizados no "Distrito Cuprífero do Rio Curaçá", conforme observações registradas no âmbito do Projeto Cobre, complementadas pelas pesquisas anteriores de LEWIS e SANTOS (1966) e LADEIRA et alii (1969)

4.2.6. Técnicas de amostragem e análise

Na área-teste foram abertos 76 poços segun

do uma malha de 50m x 25m, de tal forma a incluir totalmente o corpo máfico principal (bloco norte) do Pirulito, com dimensões aproximadas de 70m (E-W) x 300m (N-S). As amostras foram coletadas aos níveis dos horizontes A, B e C. Tais horizontes, no solo máfico residual, são reconhecíveis conforme as particularidades descritas em ítem anterior. Para efeito de melhor avaliação da distribuição dos metais no ambiente secundário, foi adotada uma sistemática de amostragem incluindo a subdivisão do horizonte B em duas faixas equidimensionais. Em todos os horizontes foram recolhidas amostras nas superfícies das paredes internas dos poços, segundo a extensão vertical pertinente a cada nível, sendo processado, no campo, um quarteamento da amostra após a homogeneização do material coletado nos respectivos horizontes.

Preliminarmente, foram feitas algumas determinações colorimétricas semiquantitativas para cobre, em fração granulométrica de menos de 100 mesh, conforme a técnica descrita no Boletim 1152 do USGS. Tais testes permitiram uma boa avaliação e delineamento do halo anômalo de dispersão do metal.

Foram selecionados três perfís de solo ($B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$), numa faixa parcial de detalhamento, conforme os Anexos VI a XXI, segundo malha de 100m (N-S) x 25m (E-W), compreendendo 36 poços de amostragem. Determinações espectrográficas semiquantitativas foram procedidas para 30 elementos nos três horizontes pesquisados.

A tabela III apresenta a relação dos elementos testados, com os comprimentos de onda e limites de sensibilidade do método. Nota-se que apenas 17 metais foram registrados significativamente com valores acima do limite inferior da sensibilidade do método.

TABELA III - COMPRIMENTO DE ONDA E VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS PARA O MÉTODO DA ANÁLISE ESPECTROGRÁFICA SEMIQUANTITATIVA.

ELEMENTO	COMPRIMENTO DE ONDA(A°)	VARIAÇÃO NO MÉTODO (ppm)	
		Limite Inferior	Limite Superior
Ag	3280.7	0,5	5.000
As	2860.4	200	10.000
Au	2675.9	10	500
B	2497.7	10	2.000
Ba*	4554.0	20	5.000
Be	3131.1	1	1.000
Bi	3067.7	10	1.000
Ca*	3158.8	500	200.000
Cd	3261.1	20	500
Co*	3453.5	5	2.000
Cr*	4254.3	5	5.000
Cu*	3273.9	5	20.000
Fe*	3100.6	500	200.000
La*	3337.5	20	1.000
Mg*	2781.4	200	100.000
Mn*	2949.2	10	5.000
Mo	3170.3	5	2.000
Ni*	3414.7	5	5.000
Nb	3163.4	10	2.000
Pb*	2833.0	10	20.000
Sb	2877.9	100	10.000
Sr*	4607.3	100	5.000
Sn	3175.0	10	1.000
Sc*	3353.7	5	100
Ti*	3168.5	20	10.000
V*	3102.3	10	10.000
W	2946.9	50	2.000
Y*	3327.8	10	2.000
Zn	3345.0	200	10.000
Zr*	3279.2	10	1.000

(*) - Elementos detectados significativamente com teores acima do limite de sensibilidade do método.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. As determinações espectrográficas foram executadas pelo método da corrente direta descrito por GRIMES e MARRANZINO (1968). Foram utilizados os espectrógrafos JARREL-ASH montagem EBERT de caminhamento ótico igual a 3,4 metros e JARREL-ASH montagem WADS-WORTH com 1,5 metros de caminhamento ótico. Os resultados correspondem a análise semi-quantitativa.

A técnica adotada pelo LAMIN para análise espectrográfica semi-quantitativa de 30 elementos está baseada na Circular 591 do U.S. Geological Survey (1968).

Segundo a química analista GLORIA BERENICE BRAZÃO (CPRM), responsável por esta seção do LAMIN, a metodologia adotada nas análises, é a seguinte (comunicação pessoal):

A amostra de solo, secada em estufa, é passada em peneira de 80 mesh. A fração menor que 80 mesh é então pulverizada e peneirada a menos 150 mesh.

10mg da amostra pulverizada a 150 mesh são misturadas com 20mg de pó de grafite espectrograficamente puro, compactados num eletrodo de grafite e queimados num arco DC de 12A durante 2 minutos e 15 segundos. O filme obtido é comparado com filmes de padrões de 30 elementos.

O processo de comparação visual utiliza padrões de concentração de 1 - 2 - 5 - 10 - 20 - 50 - 100 - 200 - 500 - 1.000 - 2.000 - 5.000ppm etc., e interpolações visuais entre estes valores são sempre dadas como 1,5 - 3 - 7 - 15 - 30 - 70 - 150 - 300 - 700 - 1.500ppm etc.

A precisão (reprodutibilidade) de um valor registrado é de, aproximadamente, mais (+) ou menos (-) um

intervalo de concentração num limite de confiança de 68%, ou dois intervalos de concentração num limite de confiança de 95%.

O método aplicado é, naturalmente, suscetível a fornecer resultados dentro de uma alta variância analítica. Convém notar, todavia, que as primeiras determinações de cobre, submetidas a avaliação estatística preliminar pela equipe do LAMIN, indicaram uma boa precisão (reprodutibilidade) para os teores registrados, numa faixa de segurança maior que a esperada.

Testes adicionais, de pH e Eh, abrangendo todas as amostras, foram realizados em laboratório utilizando-se instrumental do tipo METROHM-HERISAU E-520 com sensibilidade de 0,01 na escala de pH e 1mV em medição de Eh.

4.2.7. Aplicação de técnicas estatísticas

4.2.7.1. Discussão dos métodos

Como observa ALECRIM (1973) uma das tarefas básicas da geoquímica consiste em separar de um conjunto de dados aqueles associados a concentrações econômicas de um mineral específico. Tal caracterização tem sido processada mais ou menos empiricamente, principalmente através de histogramas e curvas cumulativas, avaliando-se a distribuição dos dados na população, se uni ou multimodal, selecionando-se intervalos de teores para preparação de mapas geoquímicas, fornecendo subsídios para análise e interpretação destes mapas baseando-se, com especial ênfase, no aspecto e densidade das curvas de isoteores.

TENNANT e WHITE (1959) introduziram o con

ceito de misturas de populações e estabeleceram procedimentos estatísticos na definição e utilização de gráficos de probabilidades para separar amostras de "background" e amostras anômalas, critérios estes muito utilizados nos estágios preliminares de interpretação (LEPELTIER,1959;ALECRIM, 1973).

O tratamento estatístico aplicado à geoquímica, conforme preceitua WILLIAMS (1967), funciona como um instrumento auxiliar na avaliação interpretativa. Isto pode ser feito tanto qualitativa quanto quantitativamente.Um dos passos mais importantes na caracterização geoquímica de uma área, admitindo-se uma população lognormal consistindo amplamente de amostras de "background", refere-se à determinação do valor de "threshold" para os elementos pesquisados, acima do qual os teores pesquisados são considerados geoquimicamente anômalos.

Segundo BOLVIKEN (1971), se a população dos dados geoquímicos de uma área é monomodal, torna-se fácil estimar o "background". Nesse caso, o "background" é simplesmente idêntico à distribuição empírica,e "background" e anomalia coincidem. Isto não necessariamente significa que os resultados não sejam de interesse do ponto de vista de uma prospecção. O caso implica também que (a) o tratamento individual das subdivisões da área pode revelar distribuições diferentes ou (b) a área inteira poderia ser considerada como anômala, como parece ser o caso do alvo-teste pesquisado.

A existência de duas ou mais distribuições (populações diferentes) pode, por exemplo, ser assinalada em um histograma de frequência pela configuração de dois ou mais picos. Um método mais sensível, contudo, consiste na

construção de uma curva cumulativa de frequências em papel de log-probabilidade, testando-se a mudança do declive da curva, ou o ponto de inflexão indicando a presença de mais de uma distribuição (TENNANT e WHITE, 1959;LEPELTIER,1969).

Como observa KRUMBEIN, 1964 (in ALECRIM, 1973), um problema importante no presente estágio de aplicação de computador nos campos clássicos da geologia e geografia está no desenvolvimento de critérios pelos quais uma estatística particular ou outro modelo matemático possa ser reconhecido como sendo ótimo para uma dada classe de estudos. Por vezes, dois ou mais métodos parecem igualmente efetivos para um certo grupo de dados; ocasionalmente,entretanto, nenhum deles vem a atender as necessidades particulares de um dado estudo. Esta observação bem conceitua a contribuição da estatística como ferramenta eventualmente auxiliar na quantificação e interpretação de dados geoquímicos, tal como foram procedidos no alvo-teste do Pirulito.

A população amostrada no referido alvo-teste foi examinada através de tabelas de frequência, histogramas, testes de distribuição, gráficos de probabilidade , correlações, análise de regressão e, após, representadas em mapas e perfís geoquímicos. Foram adotados alguns procedimentos expostos e desenvolvidos por ALECRIM (1973).

Tendo em vista que os resultados analíticos são espectrográficos e medidos em intervalos logarítmicos, admitiu-se que a distribuição de frequência das amostras é lognormal. Como estimador de tendência central adotou-se a média geométrica e como coeficiente de dispersão o desvio geométrico. Várias das populações testadas (distribuições de cobre, cromo, níquel, cobalto, etc.) comprovam tais pressupostos. Também nas populações em que os testes

não possibilitaram uma efetiva comprovação da lognormalidade, como tal foram admitidas, considerando a necessidade de uniformização do critério adotado para todas as populações.

Apenas as amostras (estatísticas) que apresentaram valores definidos foram computados para efeito de cálculo dos estimadores.

A regressão linear múltipla sequencial foi aplicada como ferramenta adicional na caracterização de determinadas associações geoquímicas no alvo-teste. Com base nos critérios de interpretação fundamentados, em grande parte, em GALBRAITH (1973) e ALECRIM (1973), foram estimadas as abundâncias geoquímicas dos elementos e evidenciadas algumas associações, eventualmente mascaradas pelo efeito da baixa discriminância dos valores analíticos de determinados elementos.

4.2.7.2. Técnicas estatísticas convencionais

Foram desenvolvidas, preliminarmente, técnicas estatísticas convencionais, segundo procedimentos sugeridos por TENNANT e WHITE (1959) e LEPELTIER (1969).

Dentro da área do alvo-teste foram selecionados 3 perfís E-W através da cobertura máfica, atingindo faixa da cobertura gnáissica vizinha (Anexos VI a XXI). Nesta faixa foram testados quatro níveis de amostragem, incluindo os horizontes A, B (subdividido em duas faixas equidimensionais) e C, para os quais foram procedidas análises espectrográficas semiquantitativas para 30 elementos, conforme especificado na tabela III. Essa pesquisa, aliada a conhecimentos anteriormente adquiridos (DELGADO et alii, 1972;LADEIRA et alii, 1968; LEWIS e SANTOS, 1966) possibilitou uma razoá

vel definição dos padrões anômalos de dispersão do cobre e outros metais associados na cobertura residual.

Os valores de Cu, Cr, Ni e Co se ajustam bem à lei lognormal. A observação dos histogramas para os dados não transformados referentes a Cu (fig. 13 e 14), Ni (fig. 16 e 17), Cr (fig. 19 e 20) e Co (fig. 22) mostra que as distribuições para estes metais são assimétricas positivamente, o que é indicativo de uma distribuição lognormal , entre outras. Pela utilização dos dados logtransformados a distribuição passa a ser lançada mais para a esquerda, tornando-se mais simétrica e menos acentuada verticalmente (fig. 18, 21 e 23). No caso do cobre (fig. 15), os histogramas de frequências não parecem indicar uma população lognormal satisfatória. Registram-se evidências de uma distribuição bimodal para o cobre que, possivelmente, tenderia a refletir as duas populações condicionadas aos controles litológicos do alvo-teste (corpo máfico e gnaisse migmatítico).

Os resultados referentes a cada metal pesquisado serão abordados, mais especificamente, num capítulo subsequente.

Métodos gráficos foram também aplicados, constando da construção de curvas de frequência acumulativa utilizando-se papel logarítmico versus probabilidade (fig. 33 a 36), mostrando a distribuição acumulativa para Cu,Cr, Ni e Co nos quatro níveis testados. O processo considerado é o indicado por TENNANT e WHITE (1959)e LEPELTIER(1969), consistindo em determinar-se as percentagens cumulativas correspondentes as frequências para cada intervalo de classe, acumulando-se as percentagens a partir dos intervalos de maior valor para os de menor. Os pontos obtidos em função das coordenadas X (%) e Y (ppm) definem uma curva que

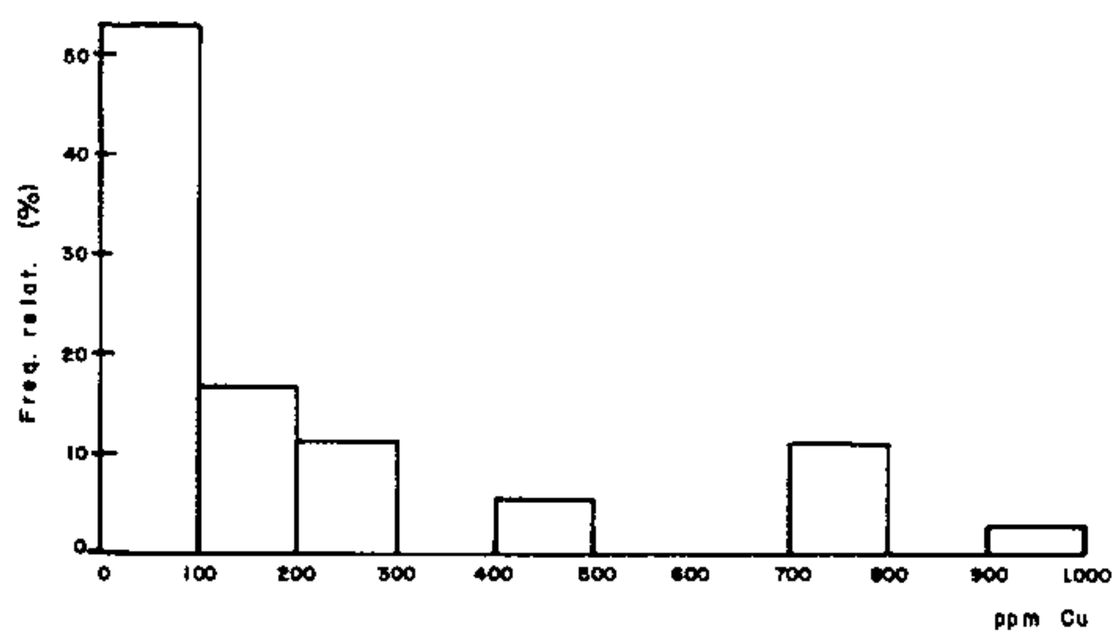
pode ser expressa por uma linha reta, correspondente a uma população simples no conjunto de valores ou por duas ou três retas, que representam duas ou três populações.

As curvas para cobre e cromo mostram dois pontos de inflexão bem definidos ao nível inferior do horizonte B (fig. 35); admitindo-se que o conjunto de amostras corresponda a três populações, os valores anômalos são tomados então no ponto médio da parte intermediária da curva, o qual define o "threshold" das três populações consideradas. Esta faixa de teores dos metais (120 a 500ppm Cu; e 120 e 700ppm de Cr) parece caracterizar a população da cobertura máfica, estabelecendo, ademais, o nível das concentrações na cobertura gnáissica e o umbral de anomalia no corpo máfico.

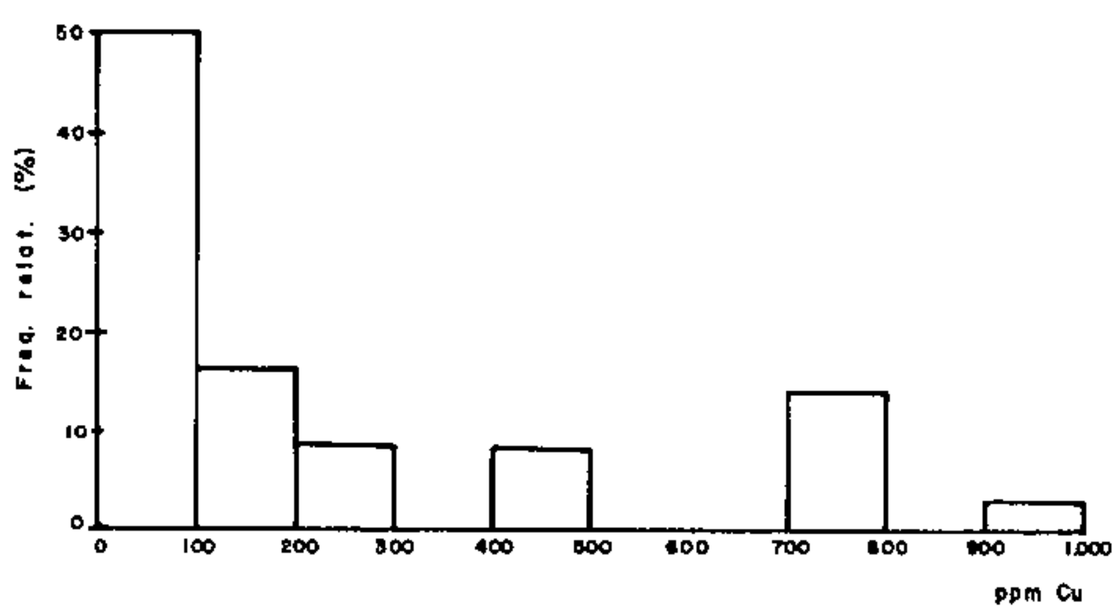
As curvas do níquel nos 4 níveis (fig. 33 a 36) parecem indicar uma população simples considerando-se anômalos os valores mais elevados, que correspondem à percentagem cumulativa de 2,5% do total da população. Isto, ao nível do horizonte C corresponde a 550ppm Ni (fig. 36).

Os valores de cobalto refletem uma distribuição simples ao nível dos horizontes B superior e C (fig. 34 e 36), enquanto nos horizontes A e B inferior (Fig. 33 e 35) tem-se inflexões discretas da curva que parecem refletir as variações das populações segundo os controles litológicos do alvo-teste.

Excetuando-se o Cu, Cr, Ni e Co, os demais elementos testados (Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Ba, La, Y, Pb, Sr, V e Sc), com teores acima do limite de sensibilidade do método analítico adequam-se, por vezes, a uma distribuição satisfatória segundo a lei normal, conforme evidencia a tendência simétrica nos histogramas de frequência para os da-



Horizonte A



Horizonte B (nível superior)

FIG Nº 13 -Histograma de frequências para os teores de Cobre na cobertura residual

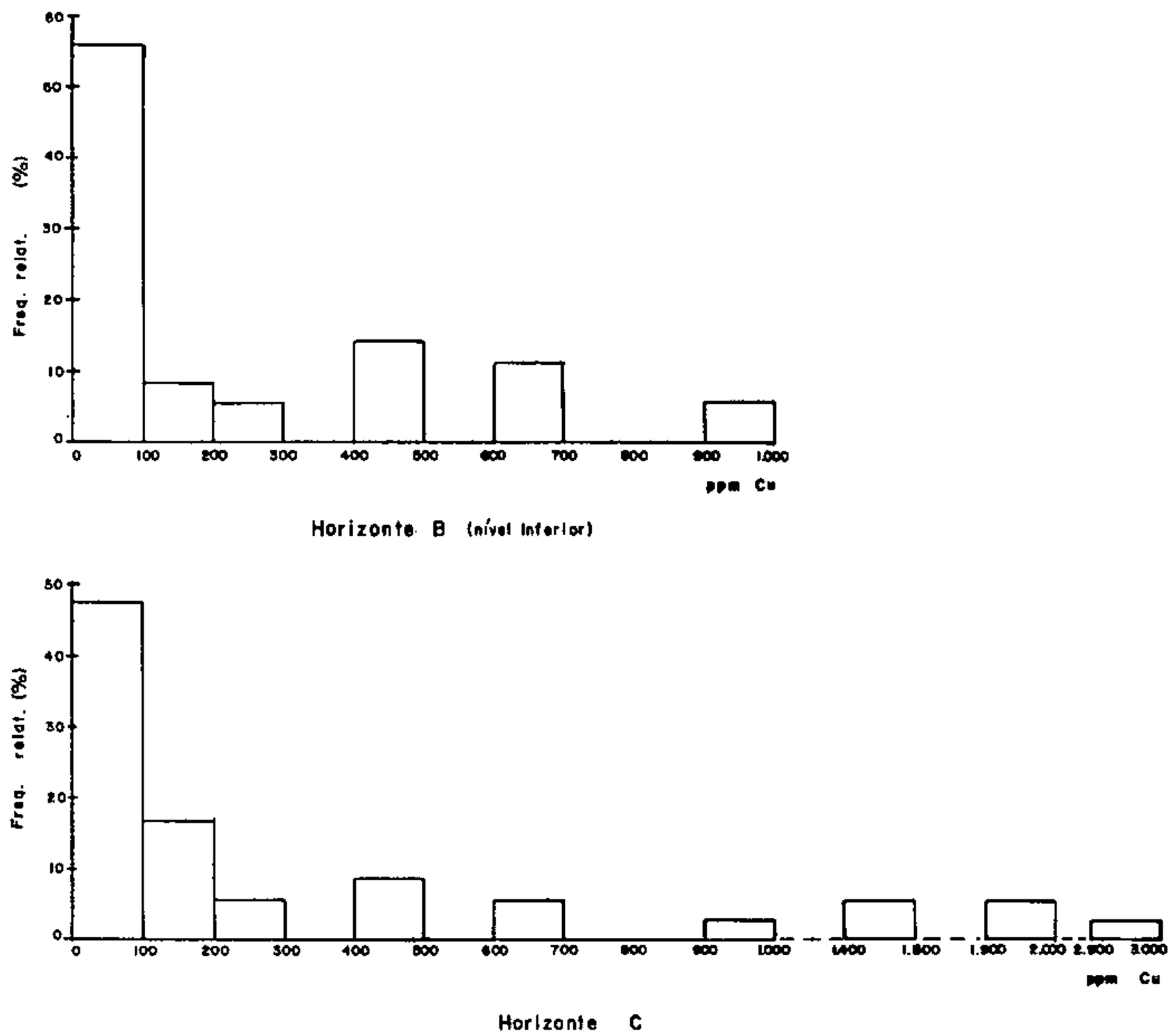


FIG. Nº 14, -Histograma de frequências para os teores de Cobre na cobertura residual

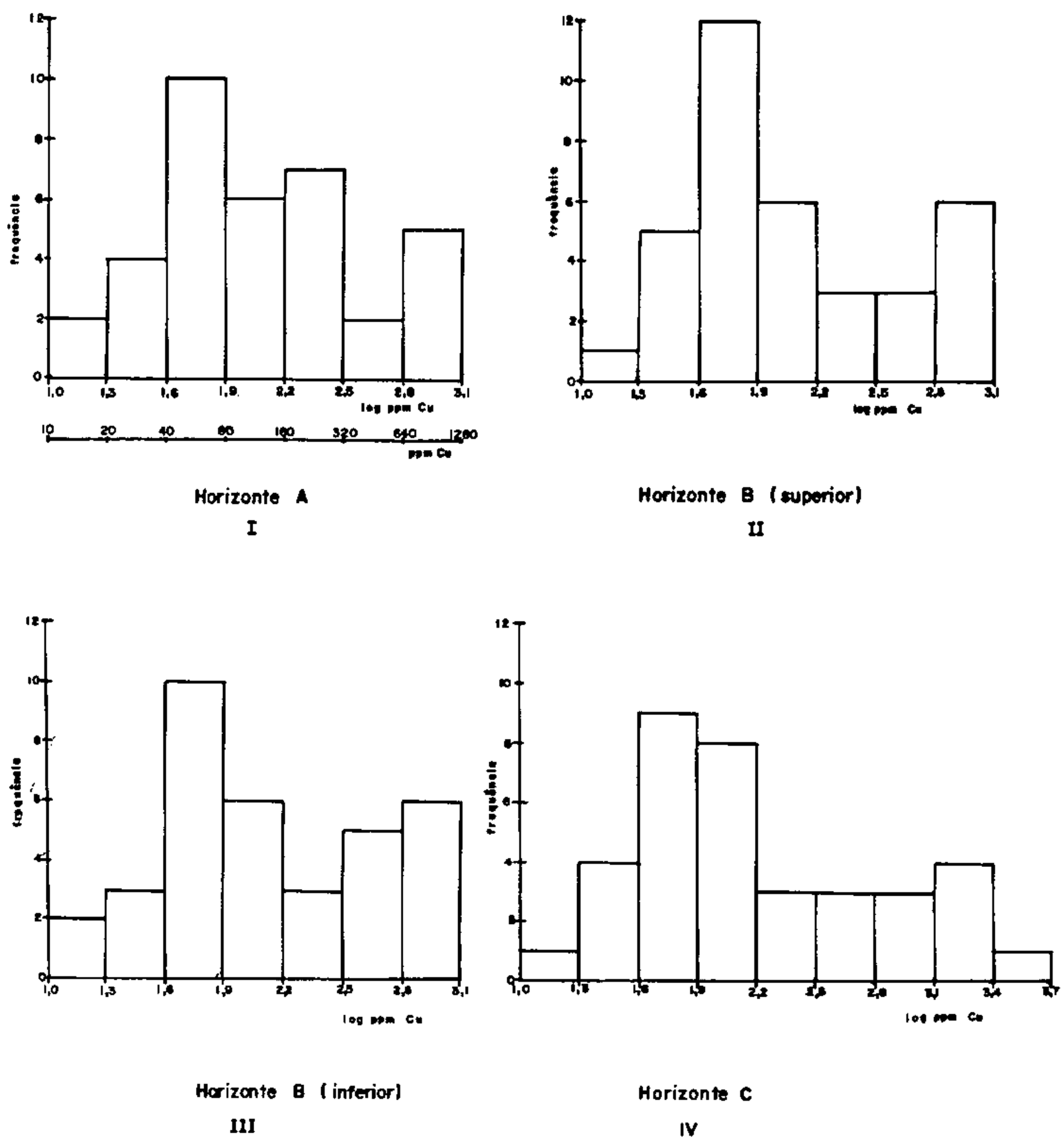
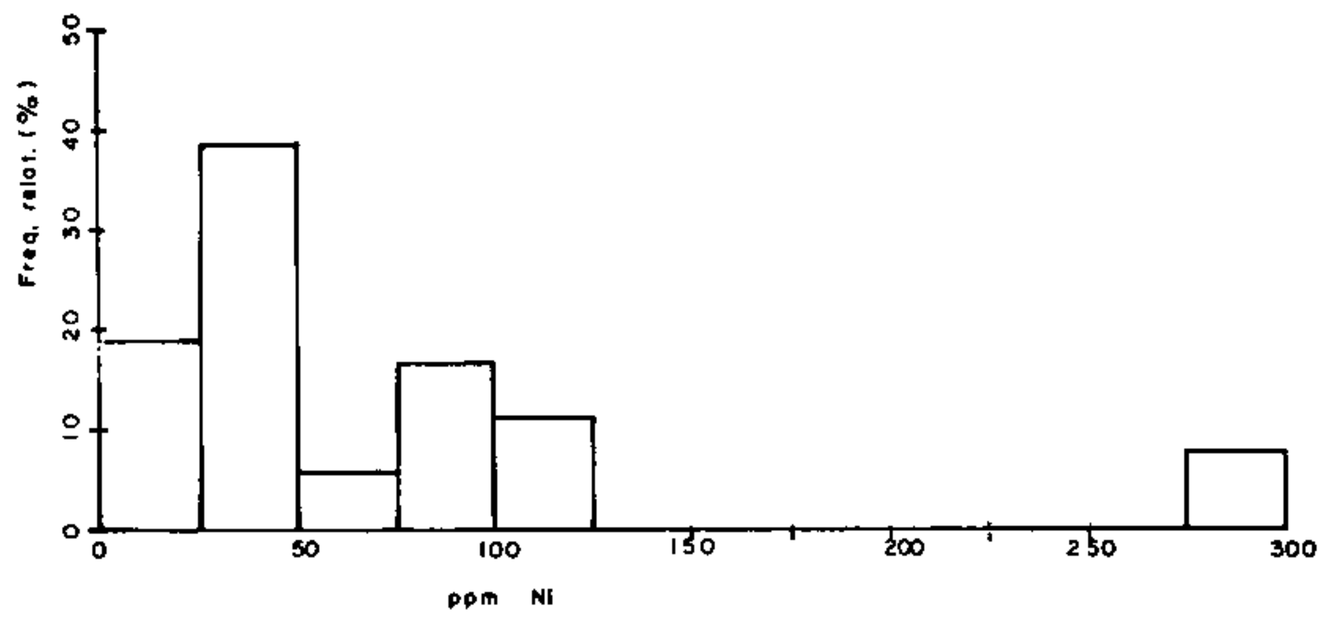
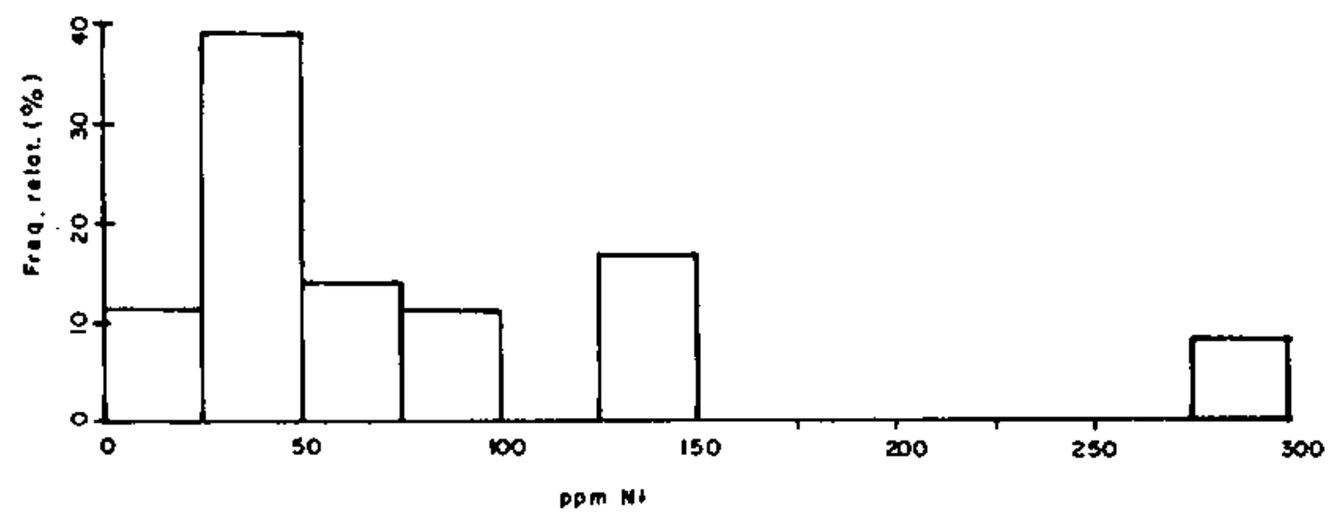


FIG. Nº 15 –Histograma de frequências para os teores de Cobre na cobertura residual (dados logtransformados).



HORIZONTE A

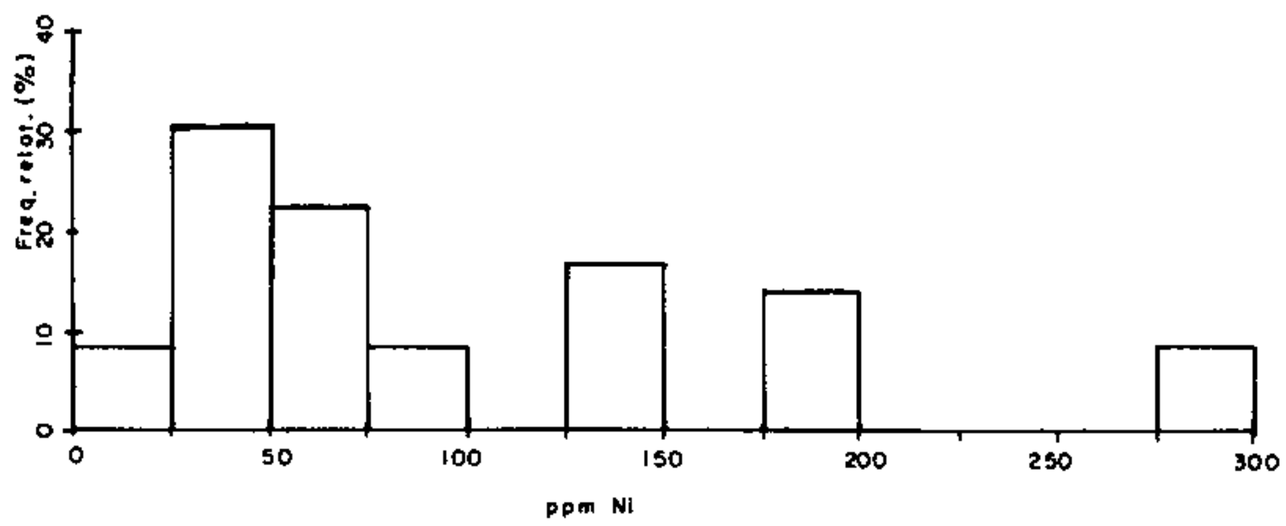
I



HORIZONTE B (Nivel Superior)

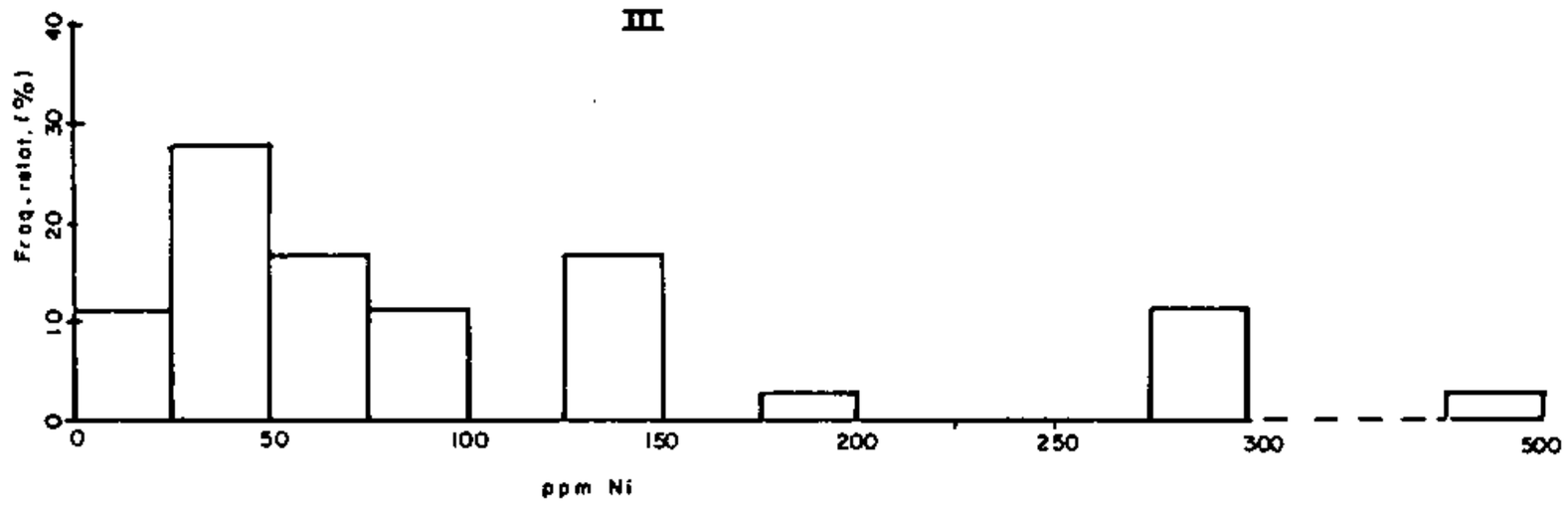
II

FIG. Nº 16 -Histograma de frequências para os teores de **Níquel** na cobertura residual



HORIZONTE B (Nível Inferior)

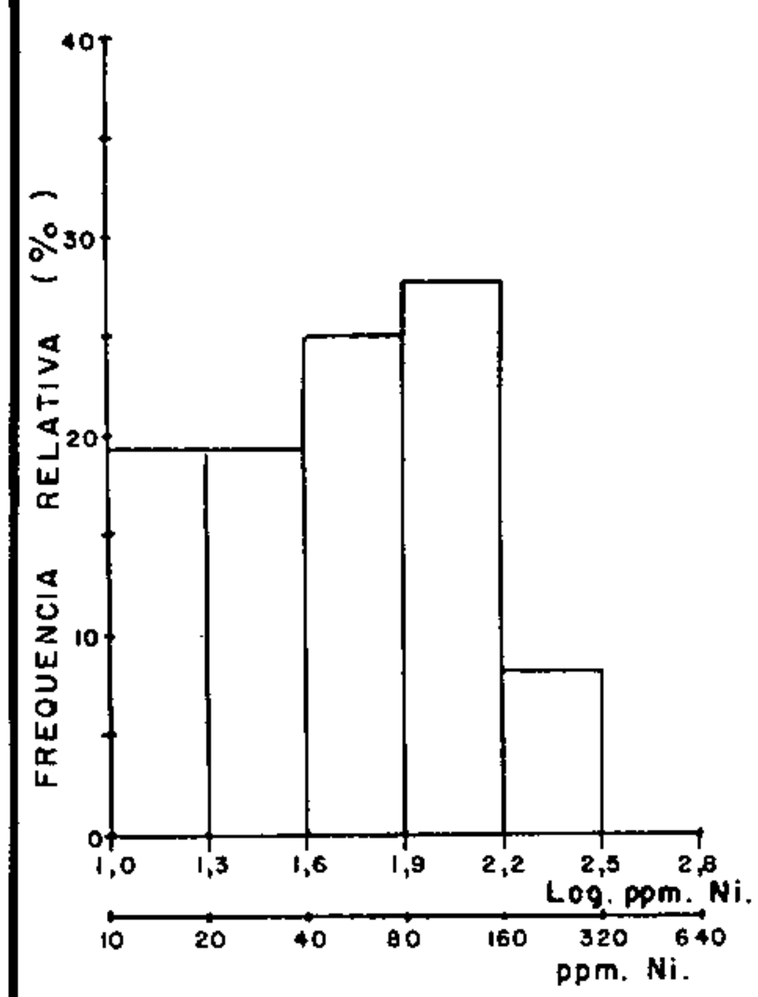
III



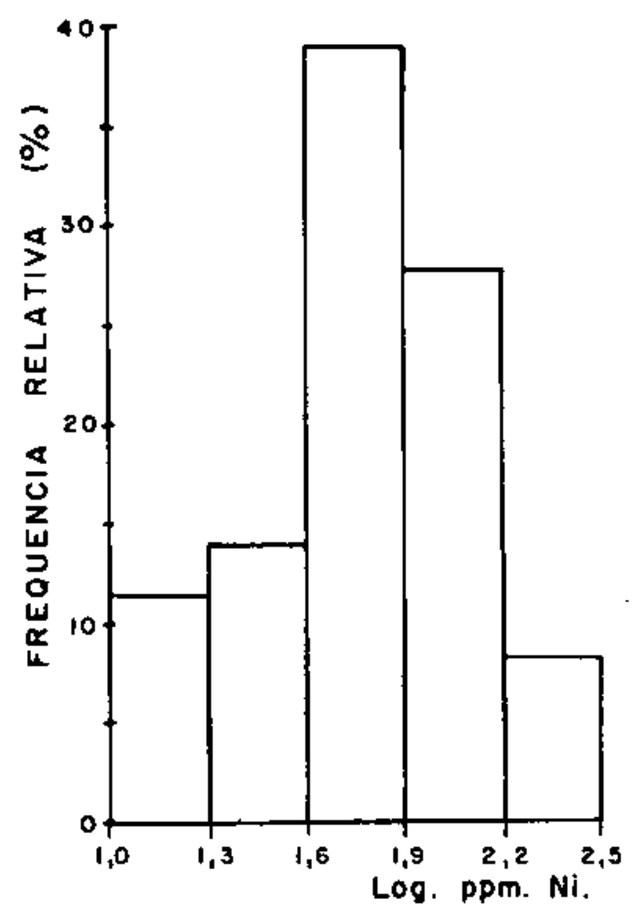
HORIZONTE C

IV

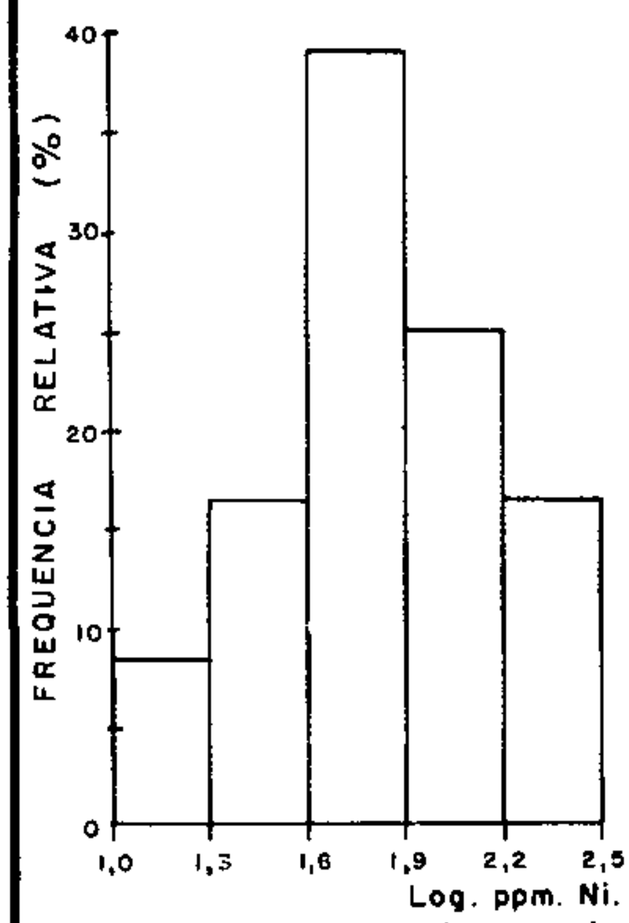
F.G. Nº 17 –Histograma de frequências para os teores de Níquel na cobertura residual



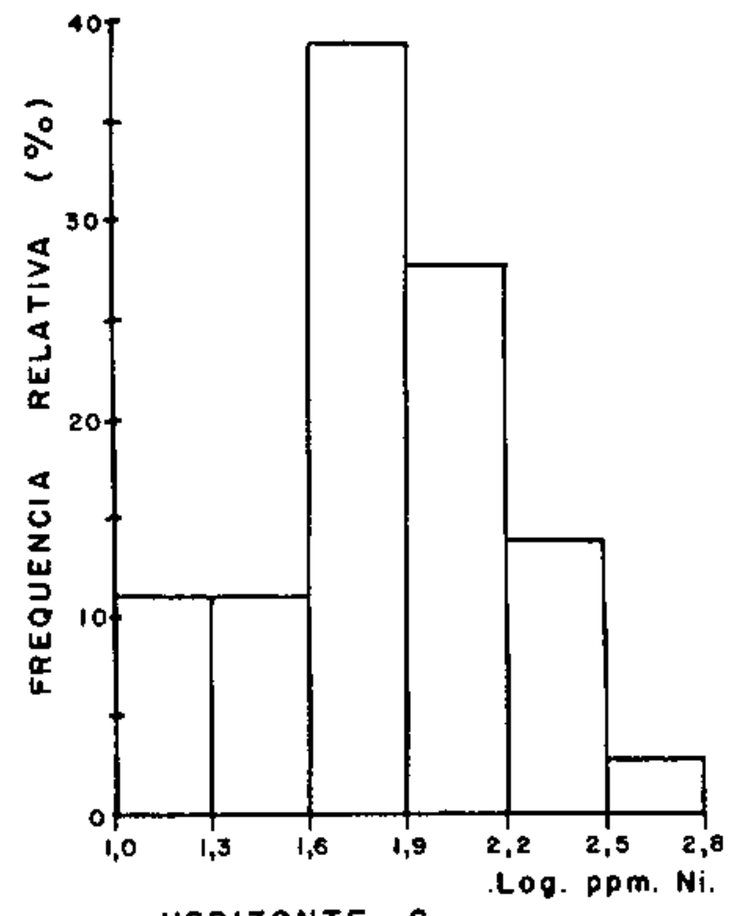
HORIZONTE A
I



HORIZONTE B (Superior)
II

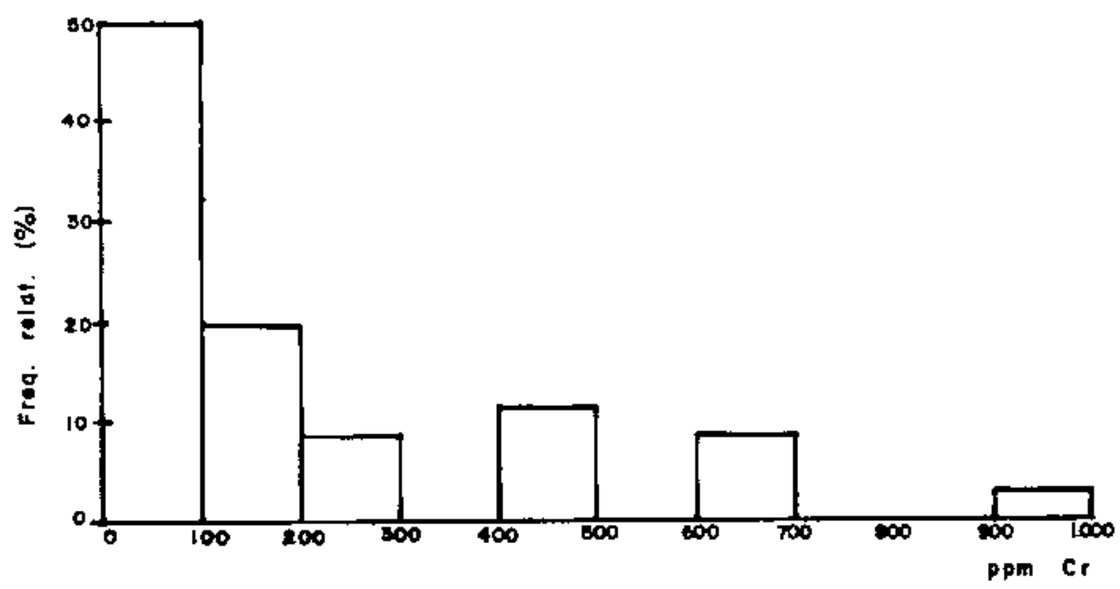


HORIZONTE B (Inferior)
III



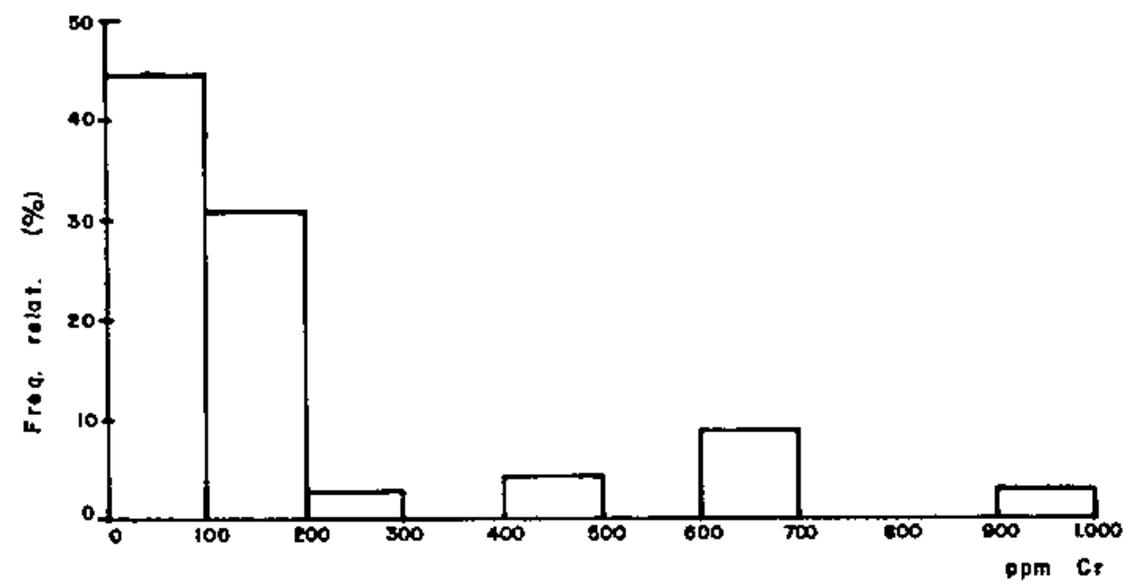
HORIZONTE C
IV

FIG. Nº 18 –Histograma de frequências para os teores de **NÍQUEL** na cobertura residual
(Dados Log. transformados.)



Horizonte A

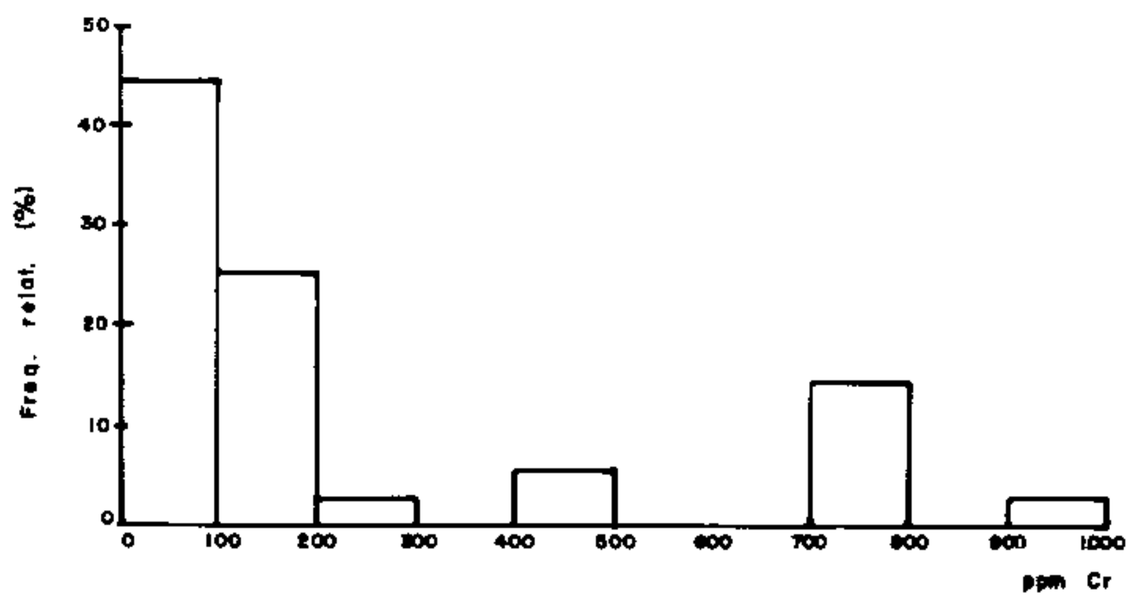
I



Horizonte B (nível superior)

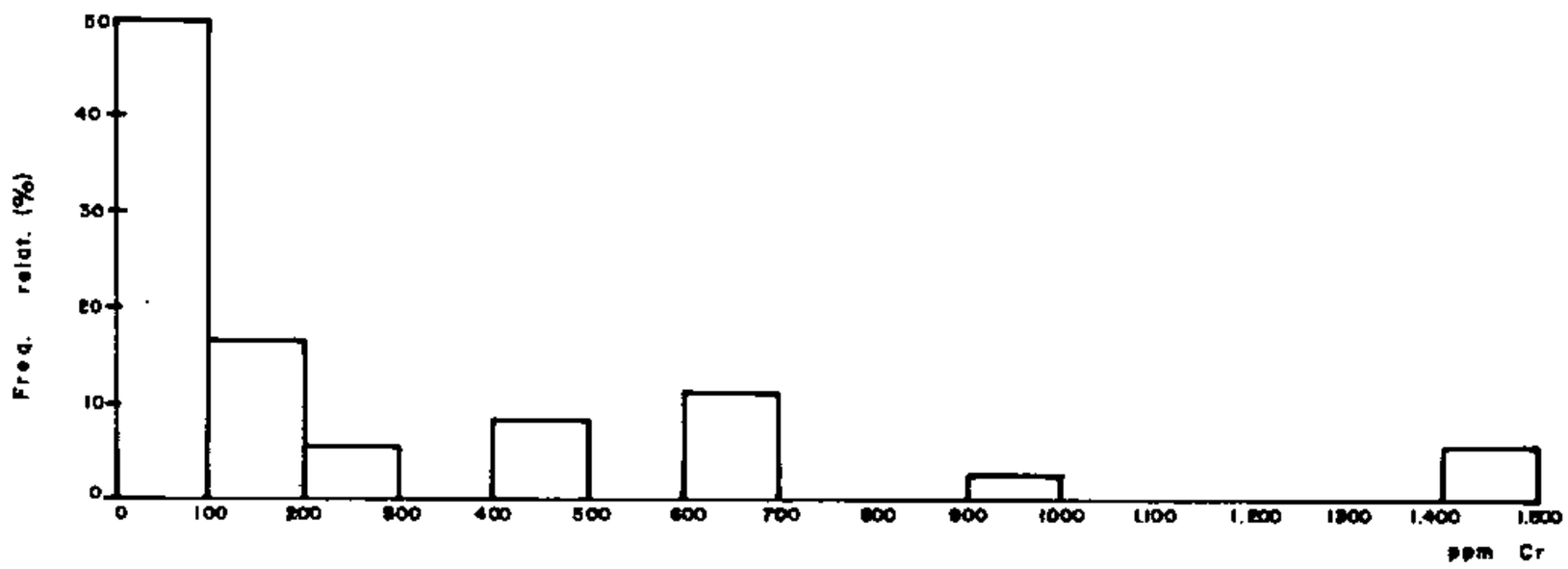
II

FIG. Nº 19 –Histograma de frequências para os teores de Cromo na cobertura residual



Horizonte B (nível inferior)

III



Horizonte C

IV

FIG. Nº 20 -Histograma de frequências para os teores de Cromo na cobertura residual

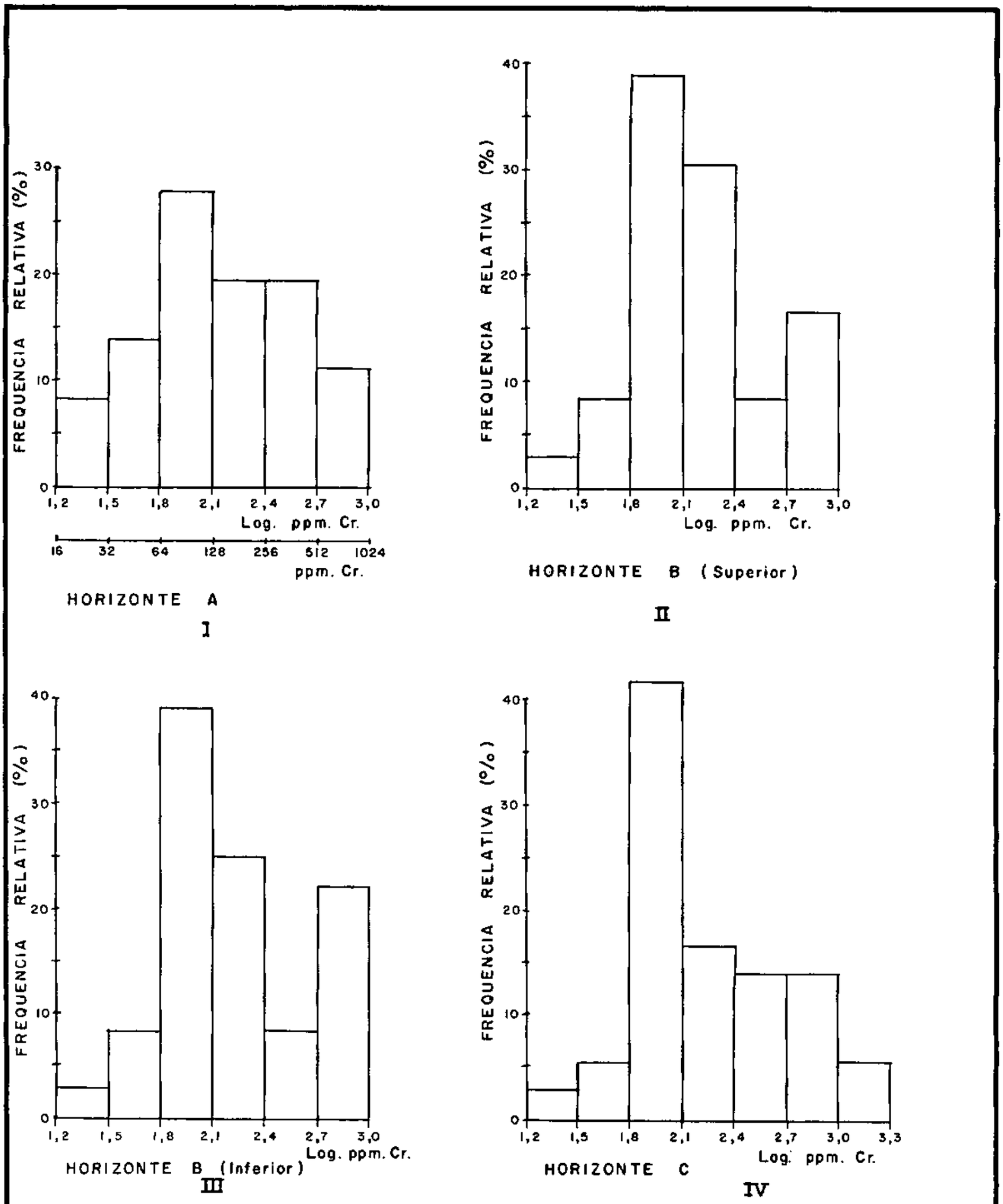
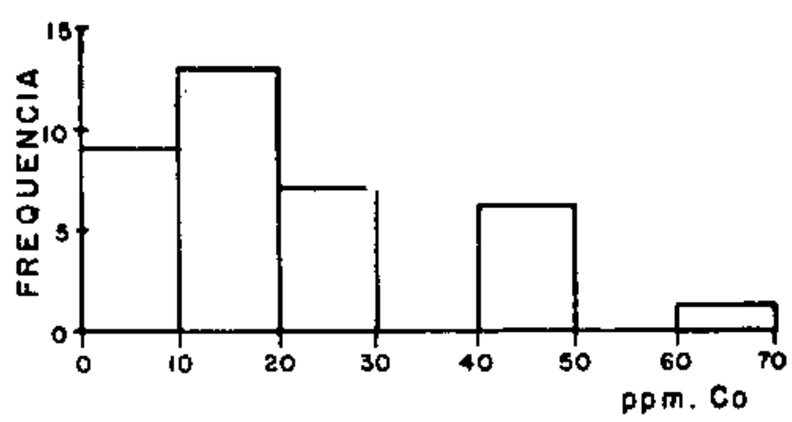
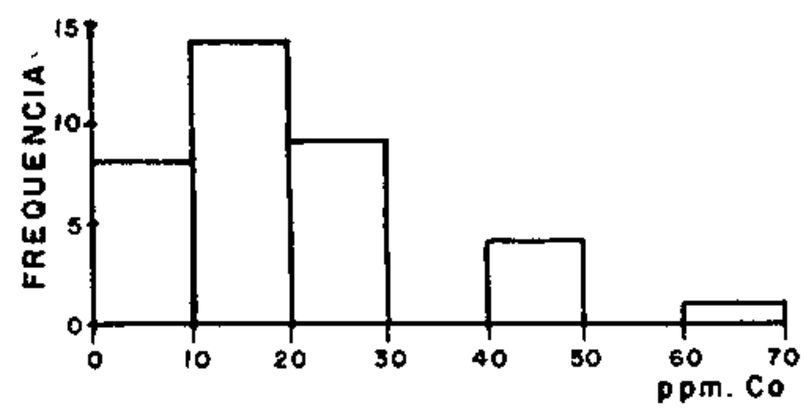


FIG. Nº 21 –Histograma de frequências para os teores de **CROMO** na cobertura residual
(Dados Log. transformados.)



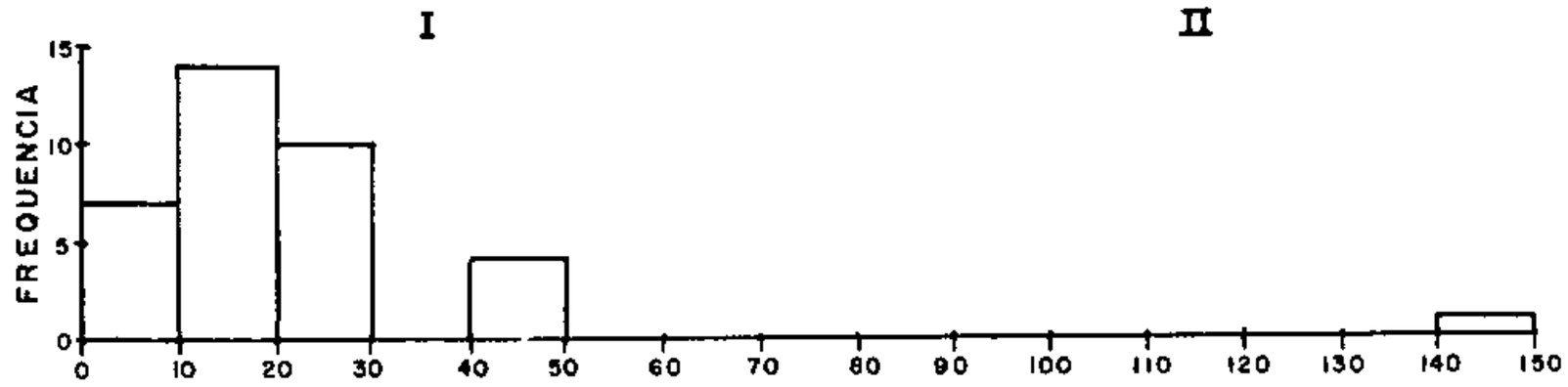
HORIZONTE A

I



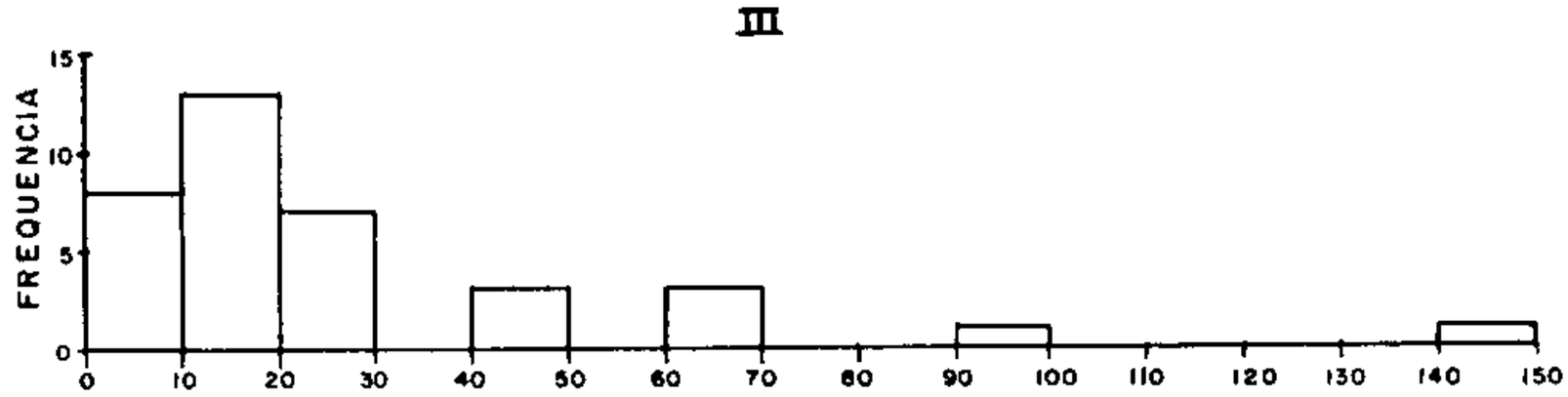
HORIZONTE B (Nivel sup.)

II



HORIZONTE B (Nivel inf.)

III



HORIZONTE C

IV

FIG. Nº 22 –Histograma de frequências para os teores de **COBALTO** na cobertura residual

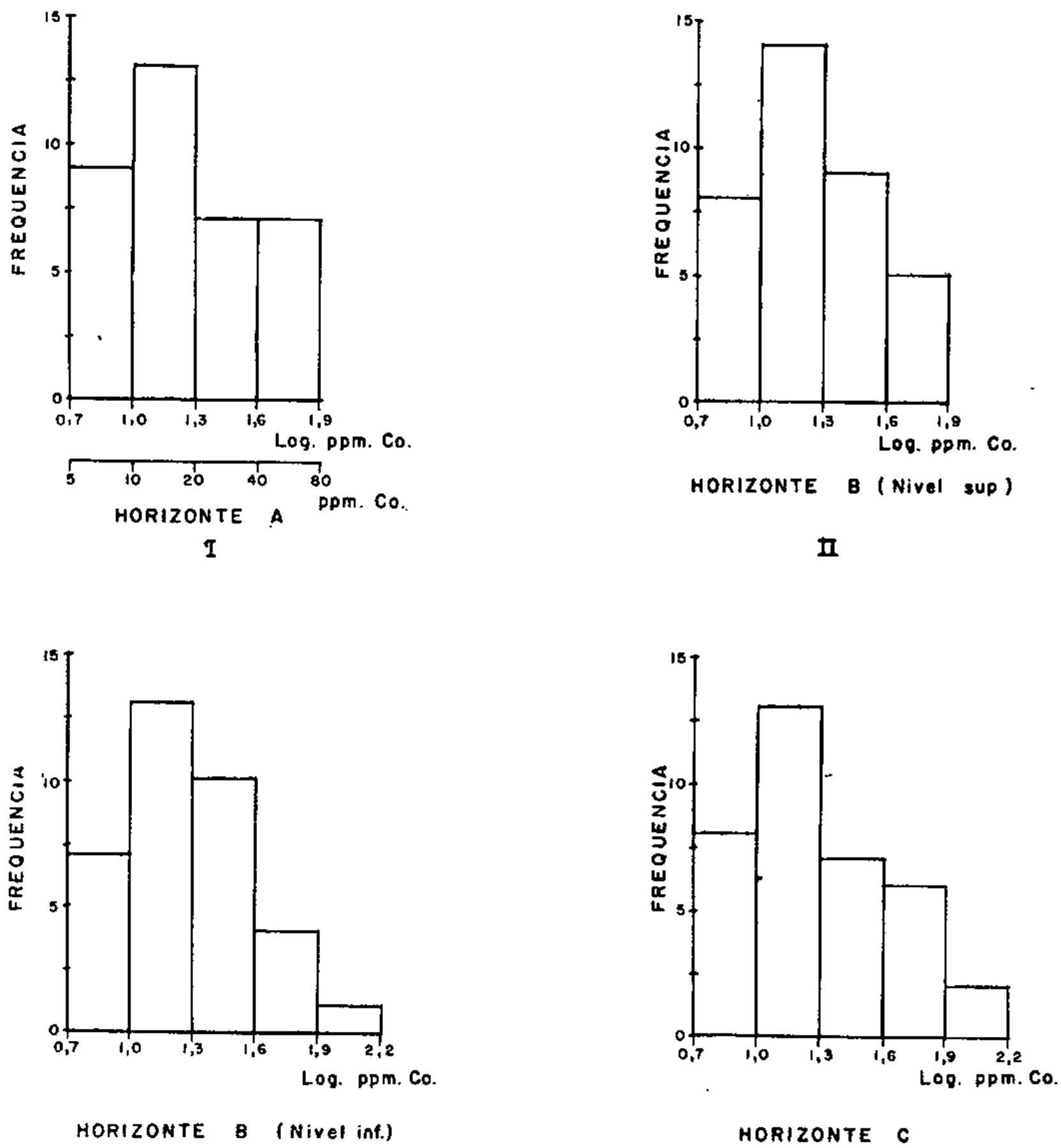


FIG. Nº23 –Histograma de frequências para os teores de COBALTO na cobertura residual (Dados Log. transformados.)

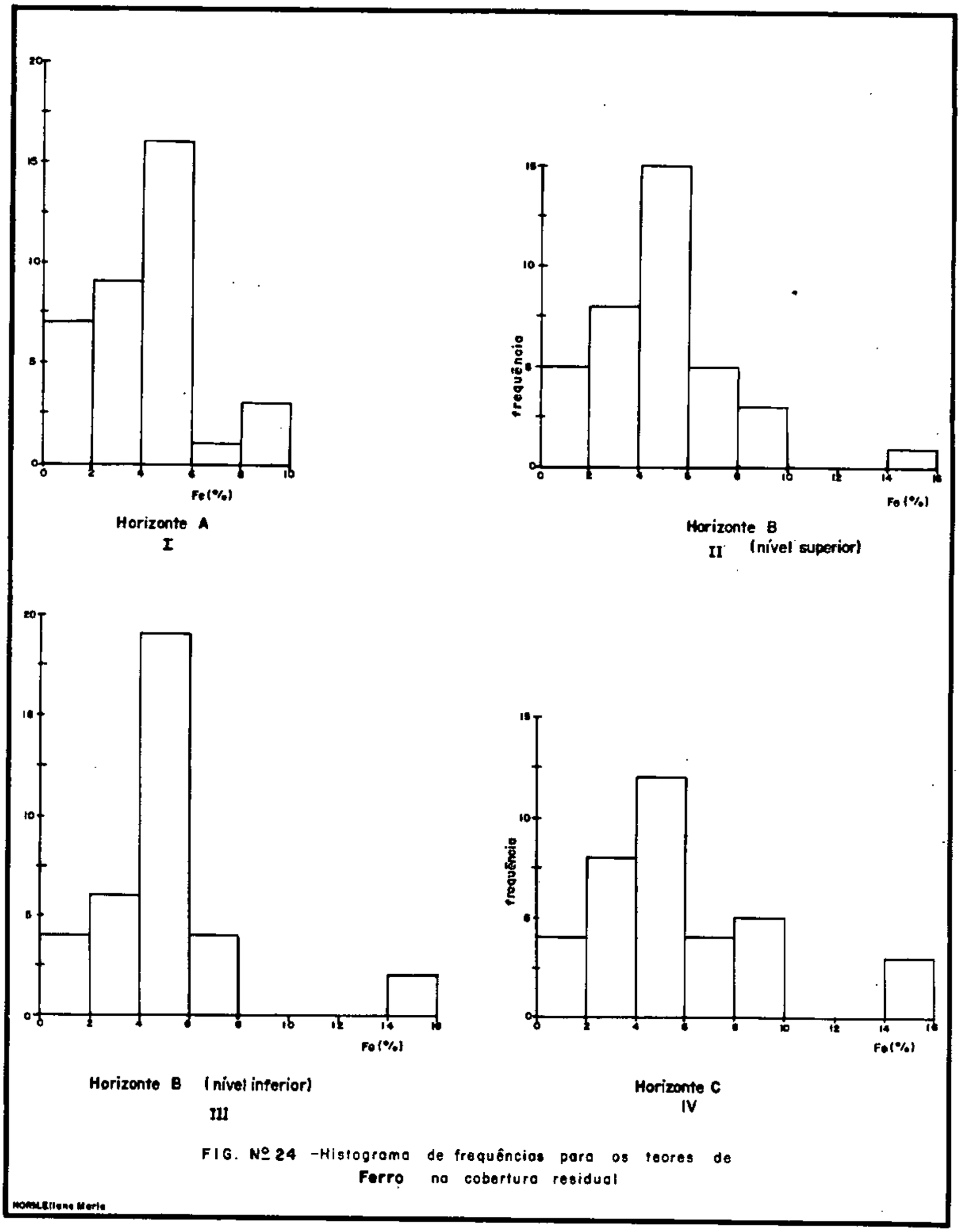


FIG. Nº 24 -Histograma de frequências para os teores de **Ferro** no cobertura residual

NORMA Eliane Maria

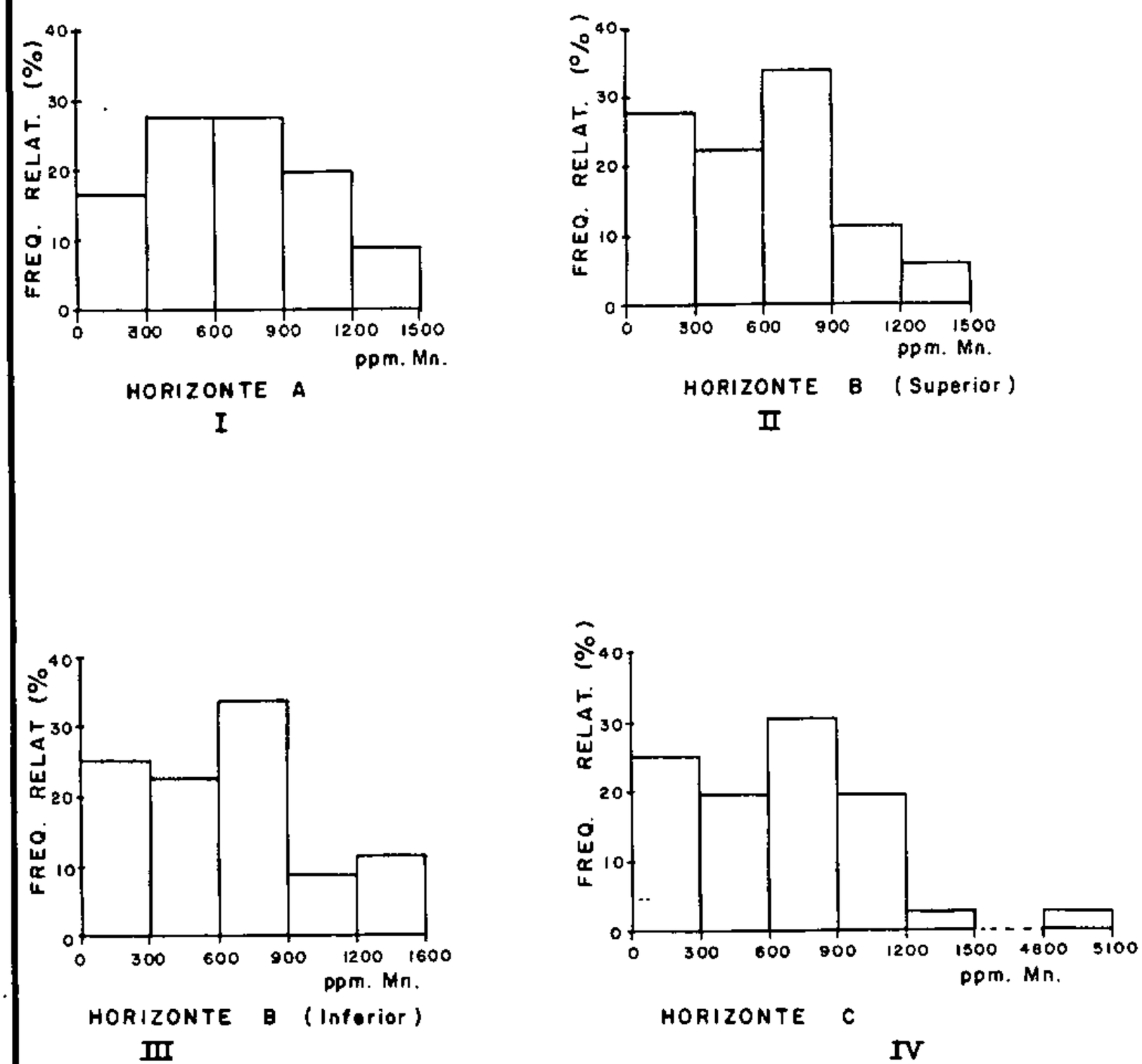
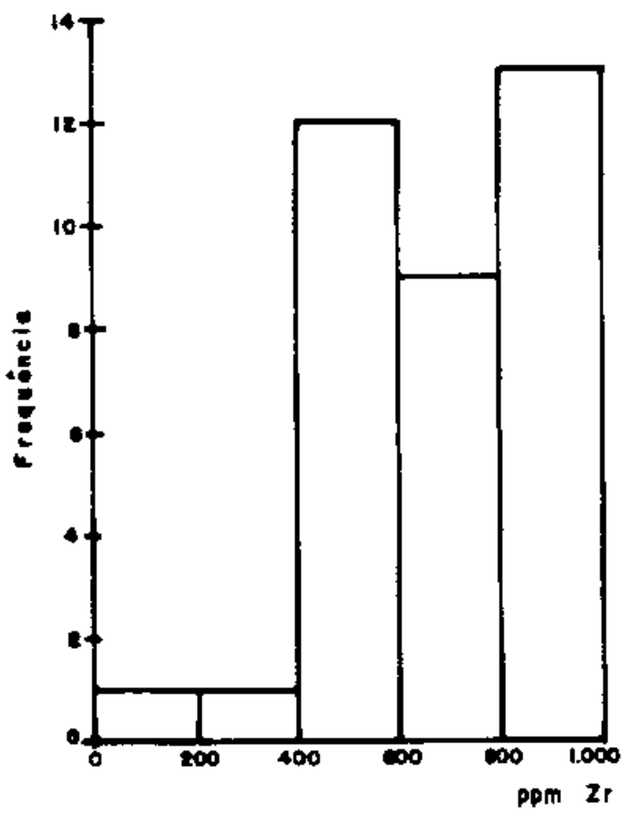
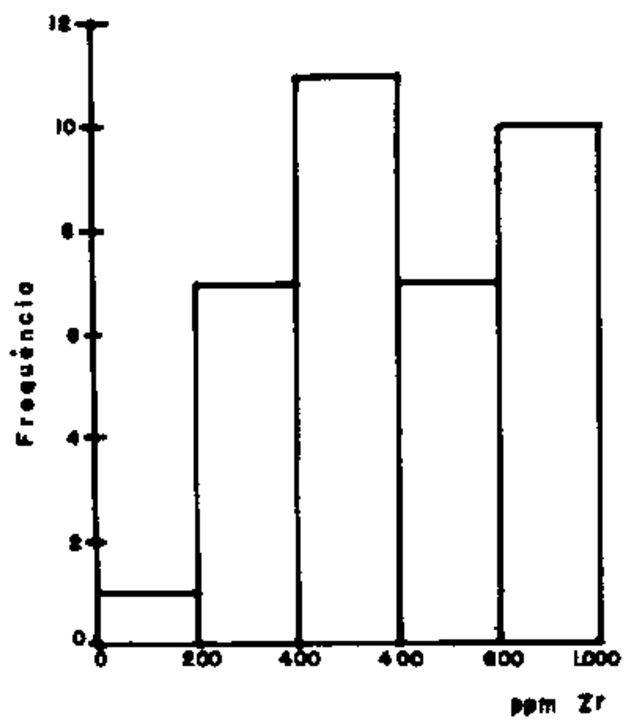


FIG. Nº 25 –Histograma de frequências para os teores de **MANGANÊS** na cobertura residual



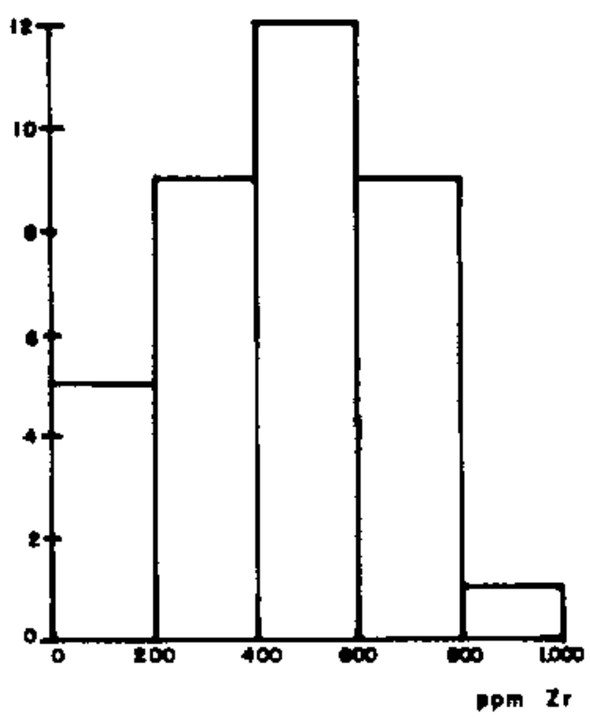
Horizonte A

I



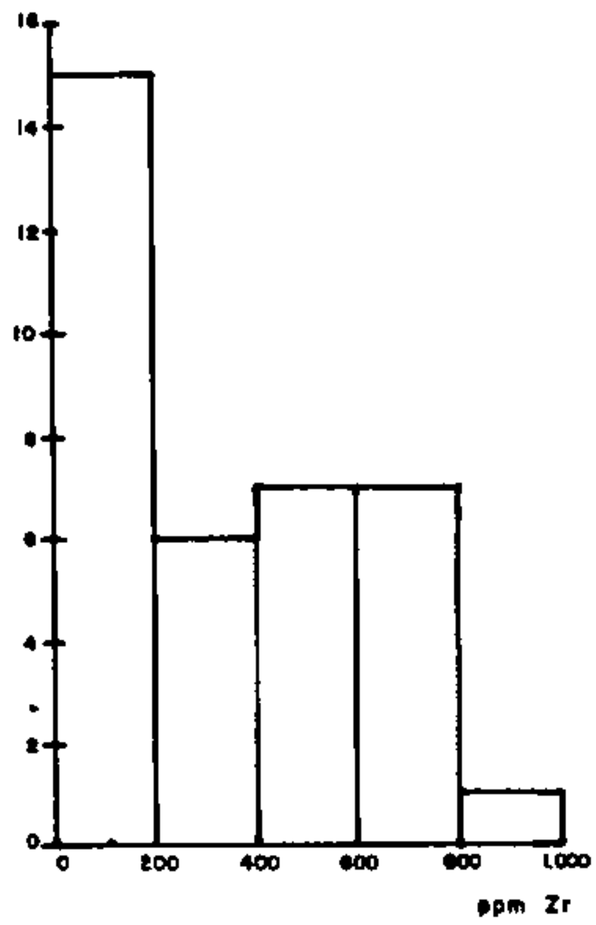
Horizonte B (nível superior)

II



Horizonte B (nível inferior)

III



Horizonte C

IV

FIG. Nº 26 –Histograma de frequências para os teores de Zircônio na cobertura residual

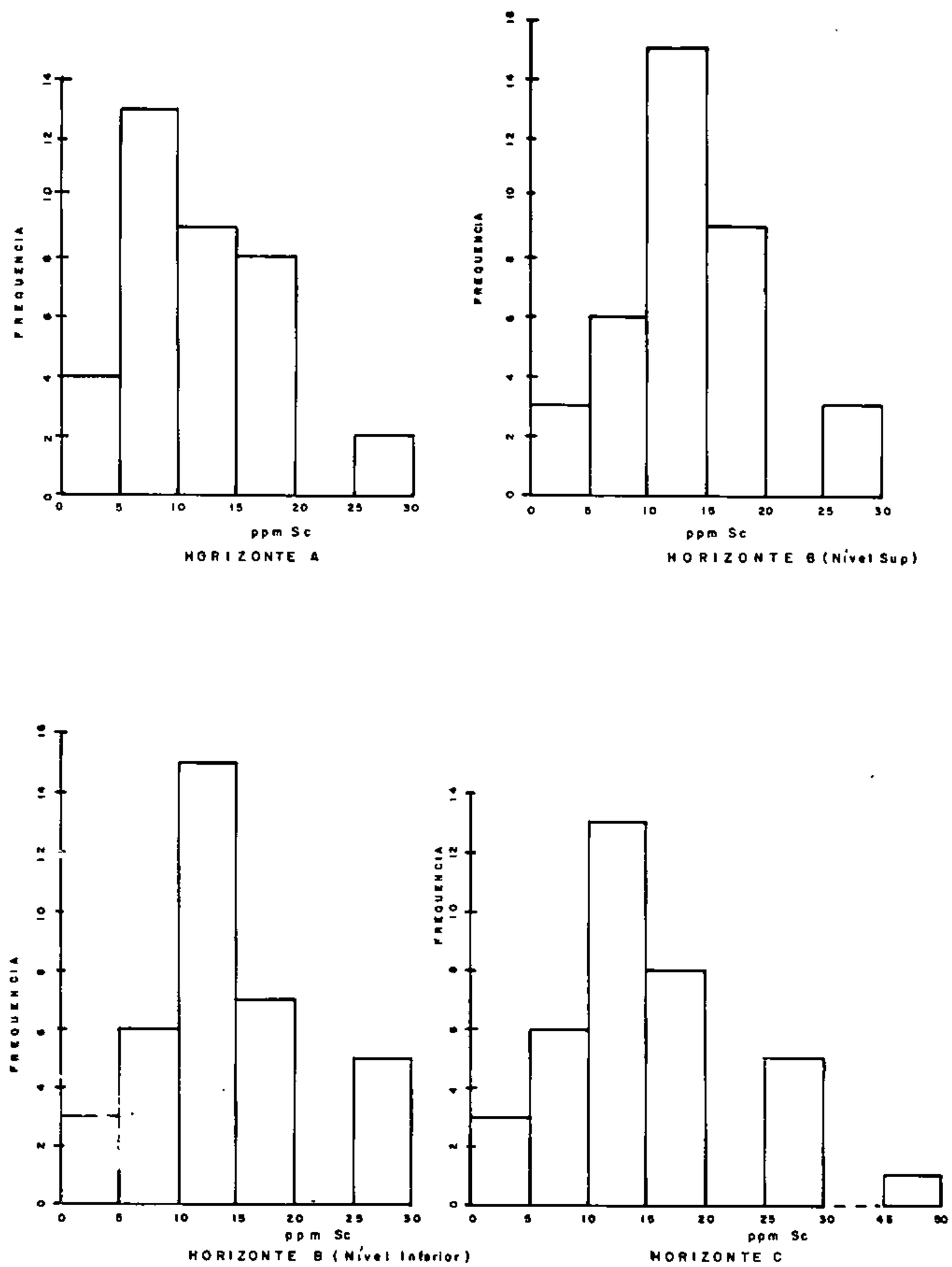


FIG. Nº 27 -Histograma de frequências para os teores de Escândio na cobertura residual

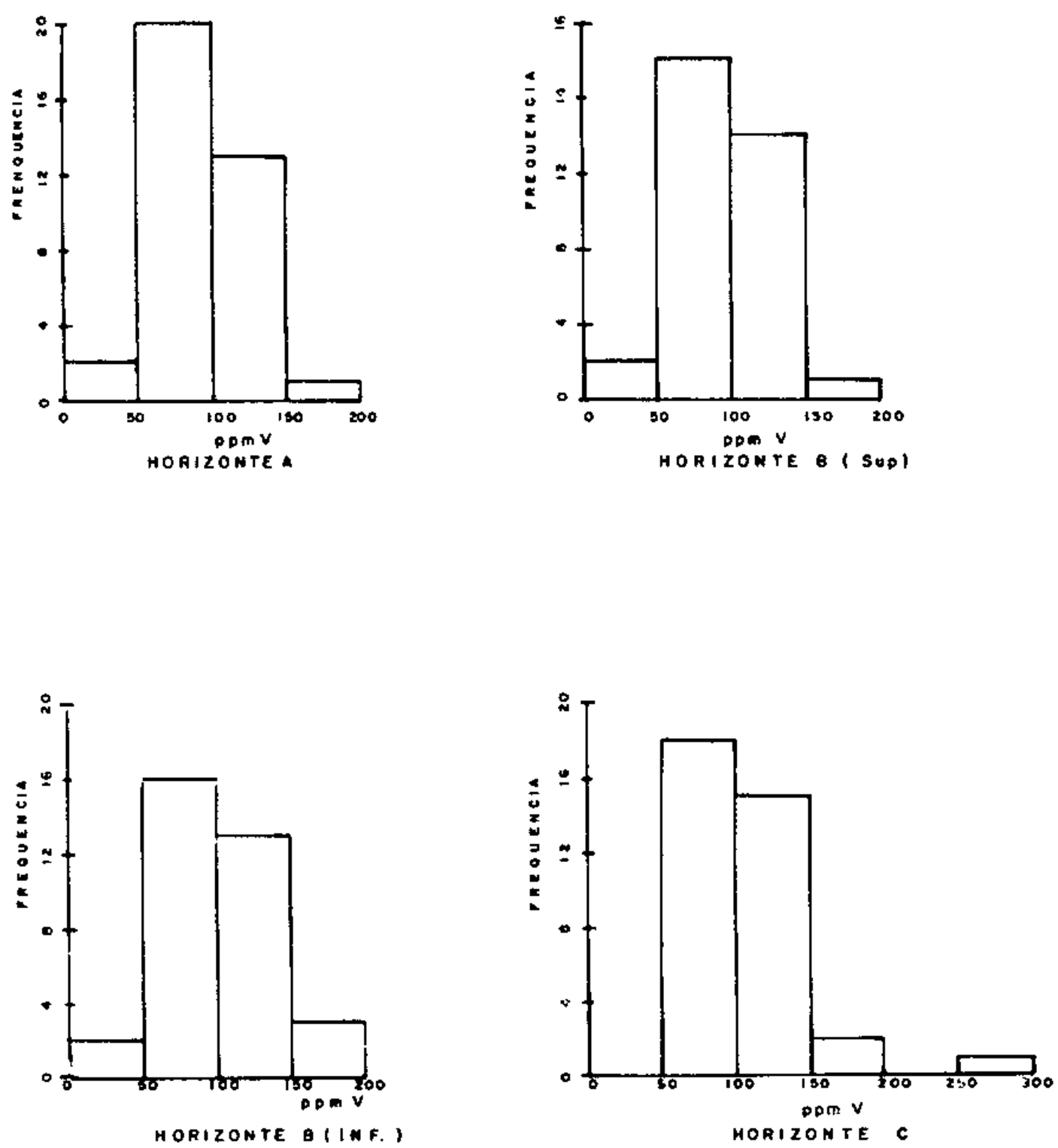


FIG. Nº 28 -Histograma de frequências para os teores de **Vanádio** na cobertura residual

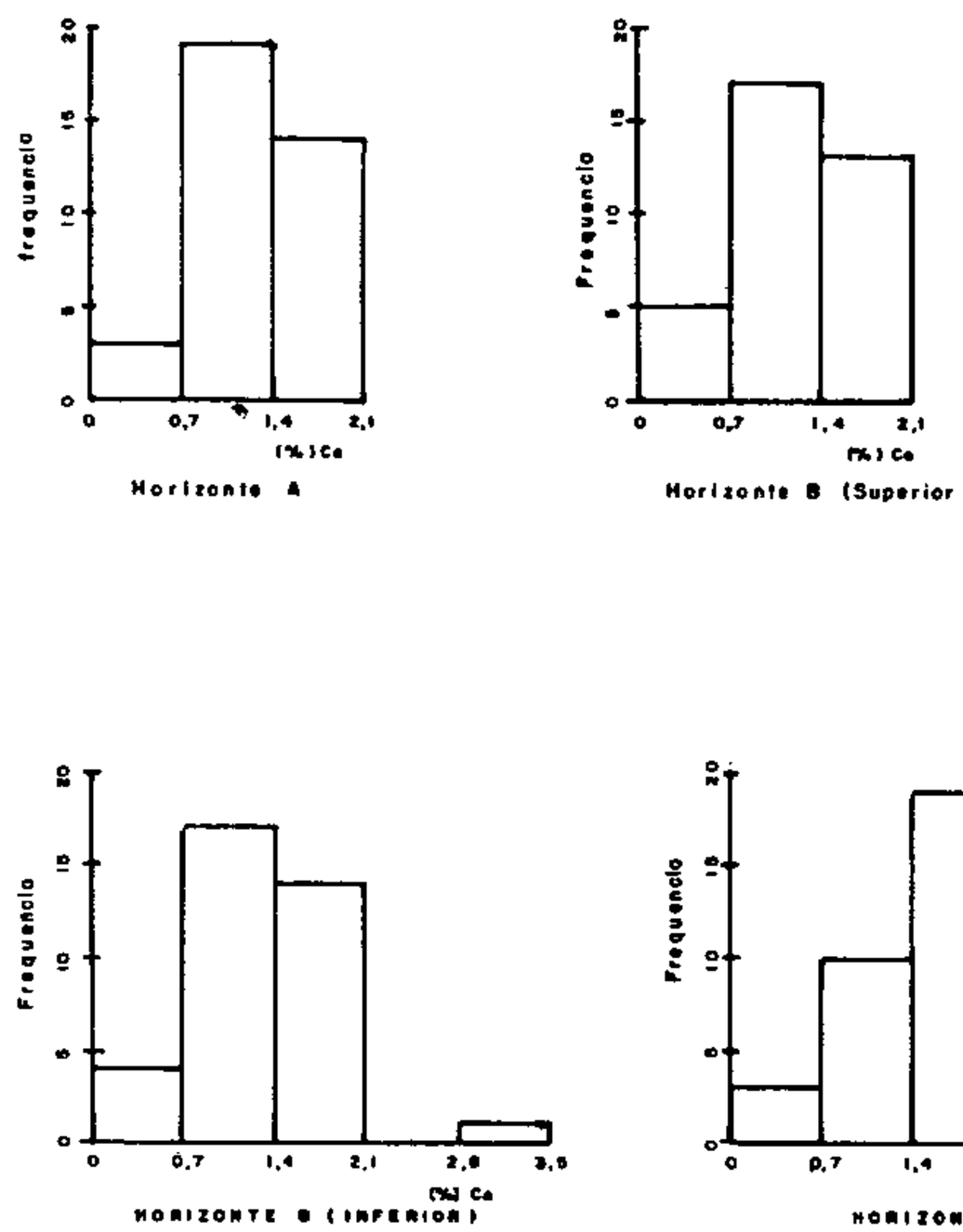


FIG. Nº 29 — Histograma de frequências para os teores de Cálcio na cobertura residual

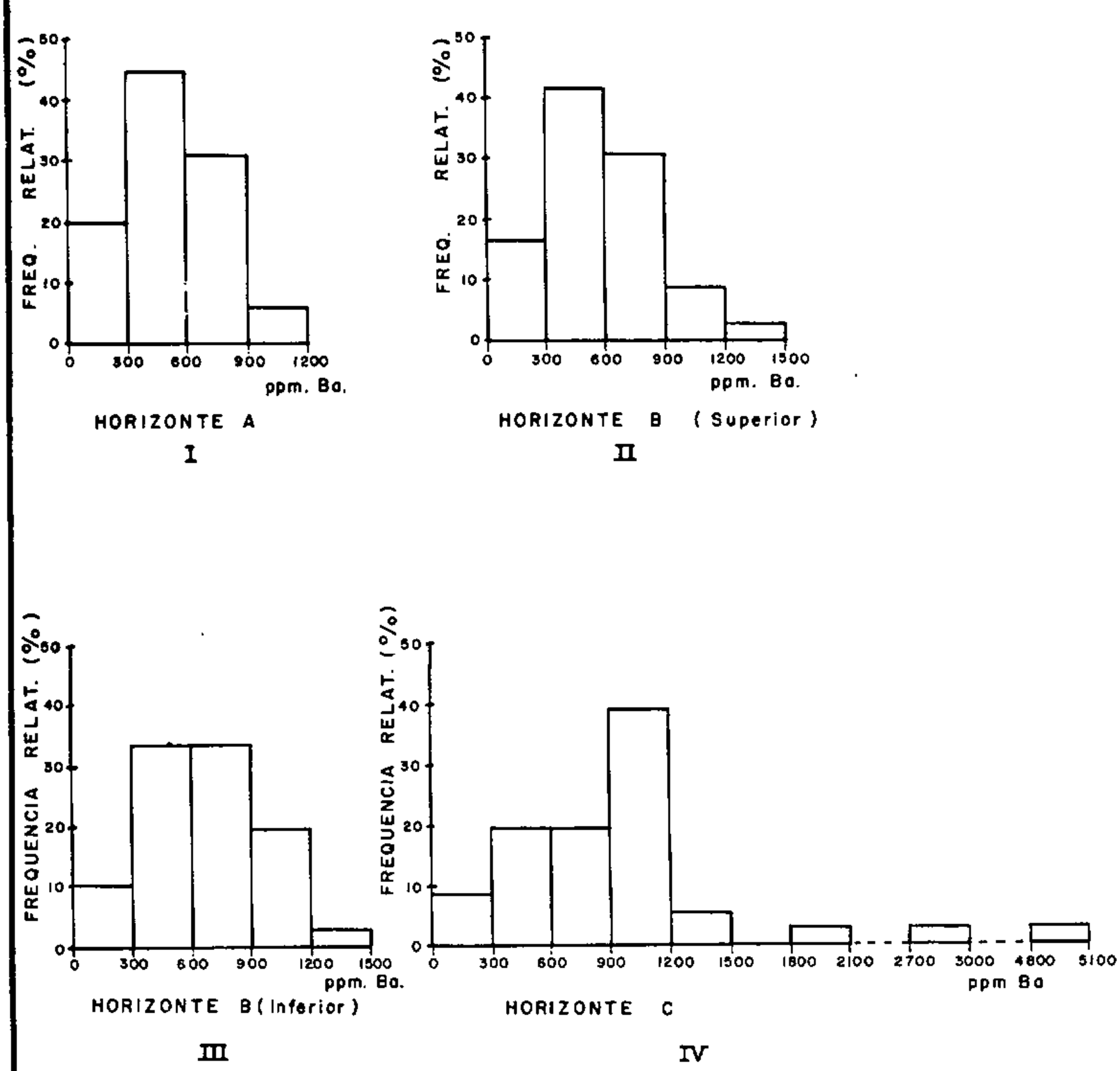


FIG. Nº 30 -Histograma de frequências para os teores de BÁRIO na cobertura residual

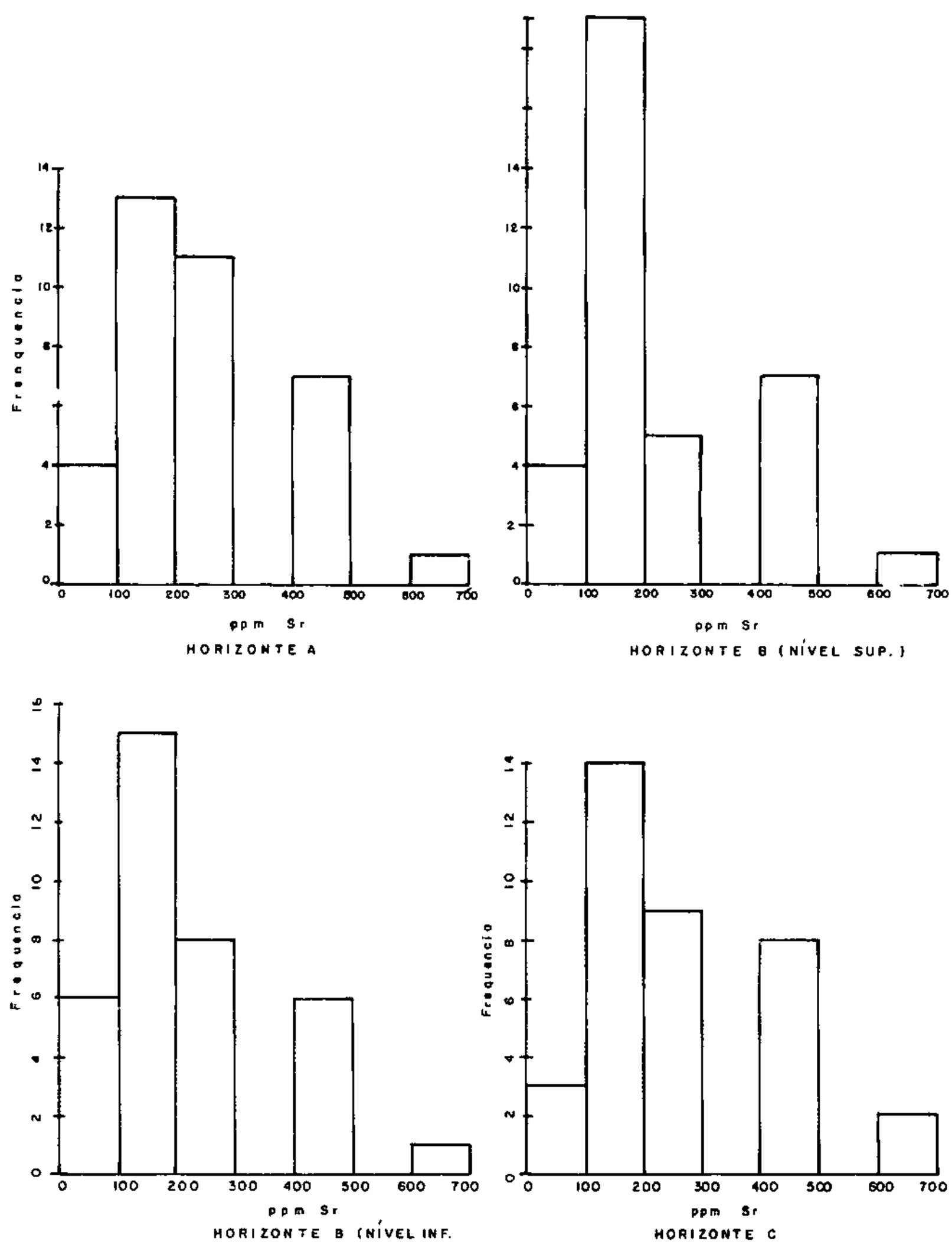


FIG. Nº 31 –Histograma de frequências para os teores de Estrôncio na cobertura residual

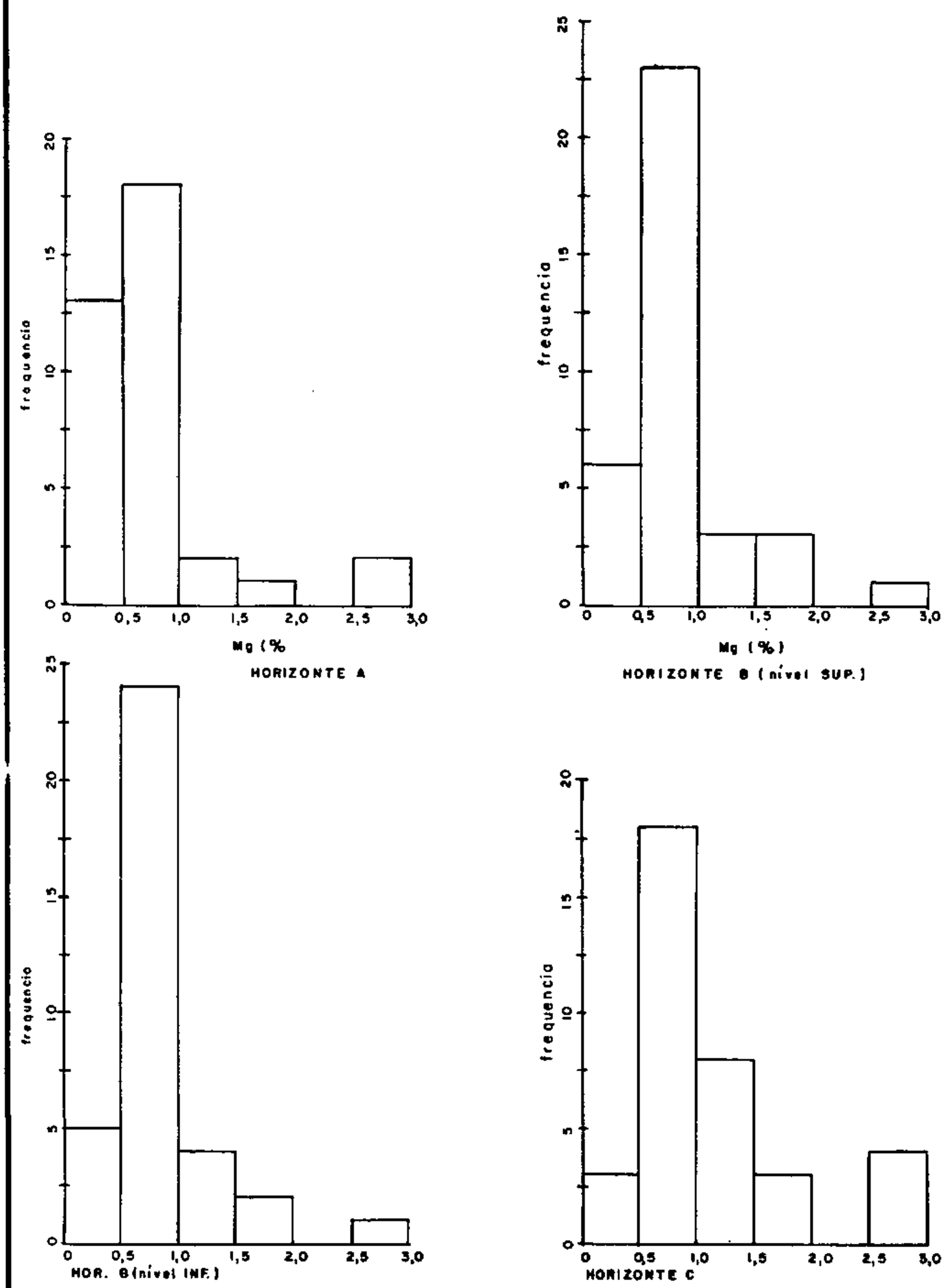


FIG. Nº 32 –Histograma de frequências para os teores de **Magnésio** na cobertura residual

CPRM

AGENCIA SALVADOR

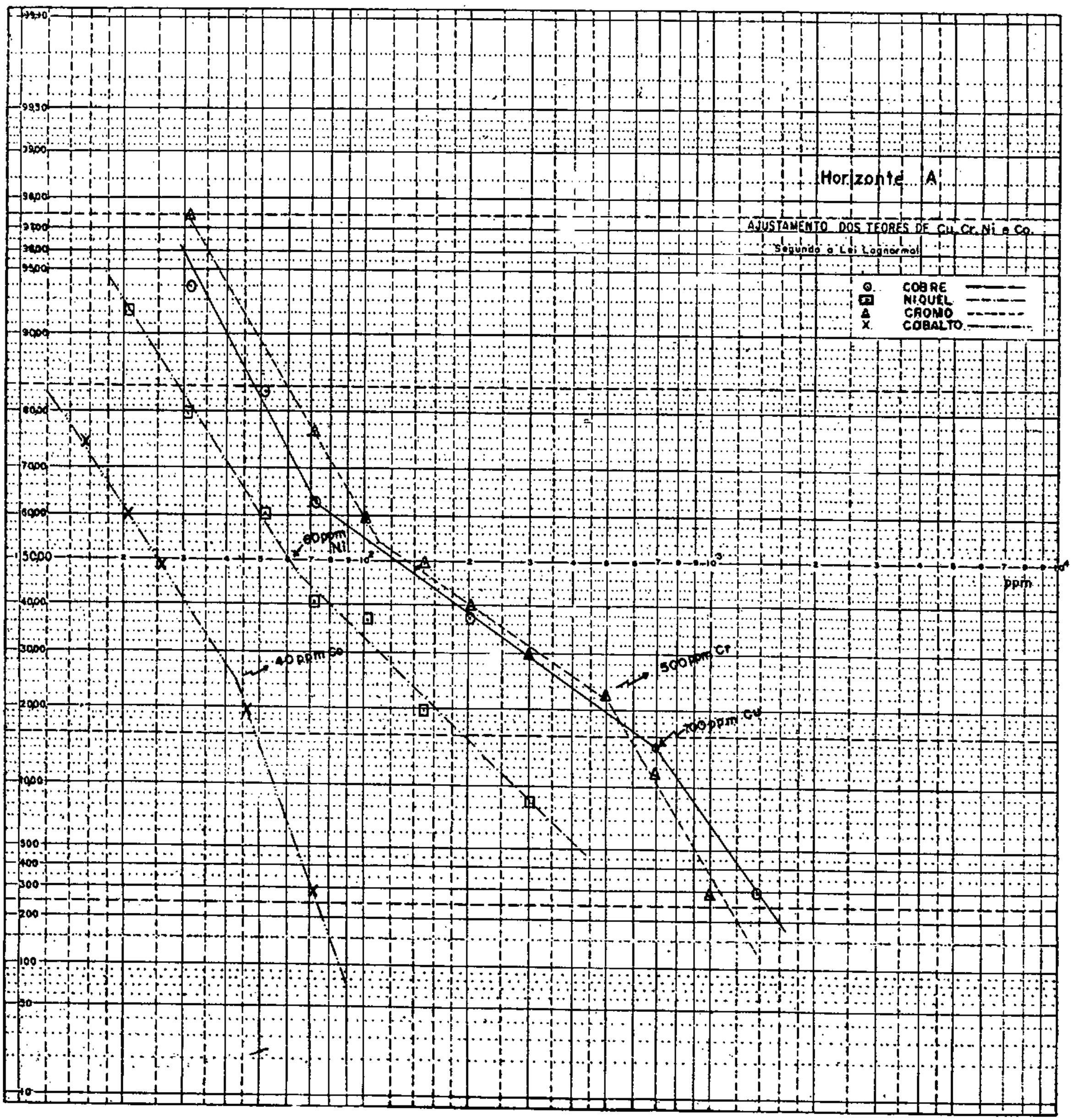


FIGURA 33

CPRM

AGENCIA SALVADOR

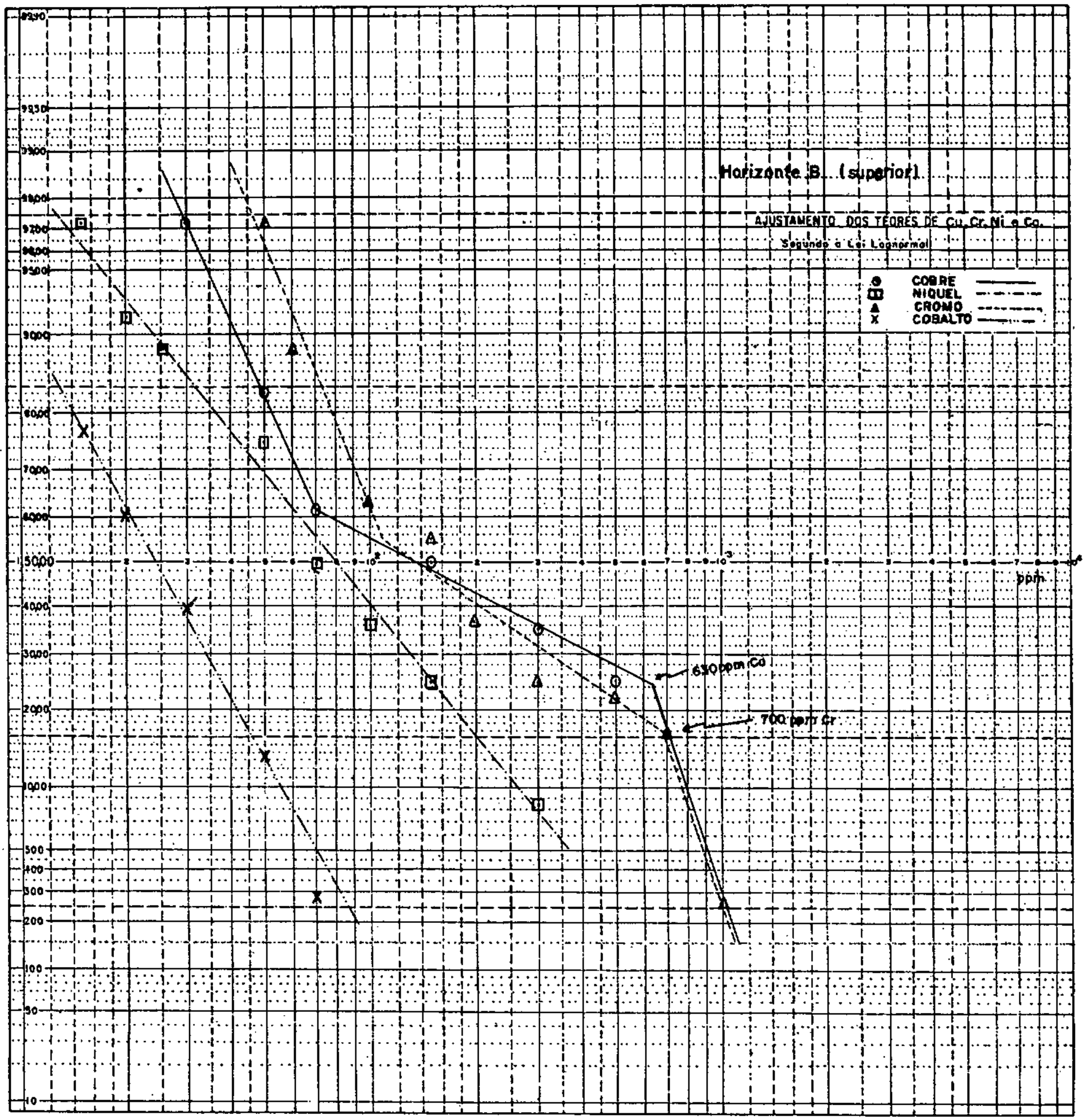


FIGURA 34

CPRM

AGÊNCIA SALVADOR

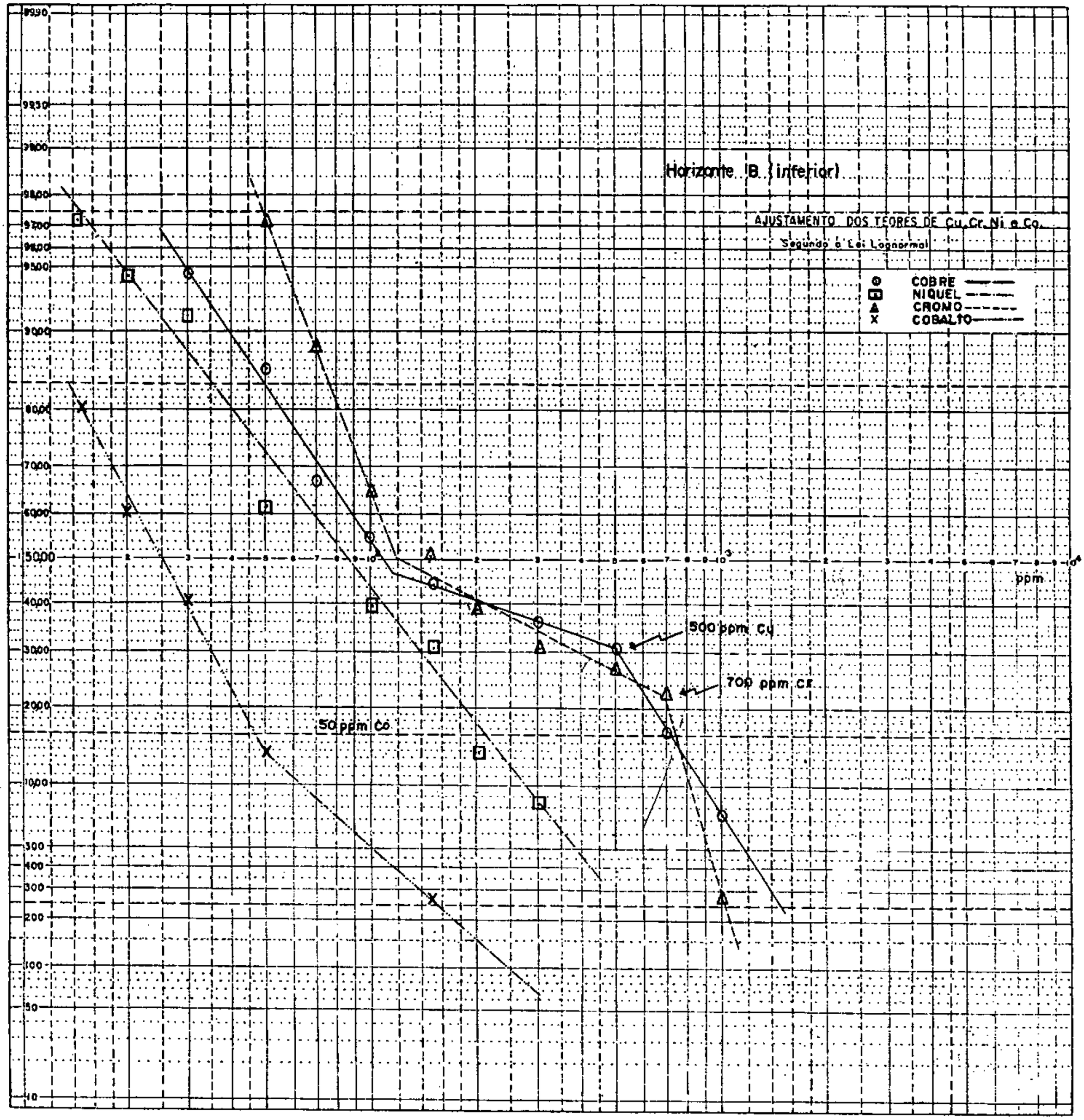


FIGURA 35

CPRM

AGENCIA SALVADOR

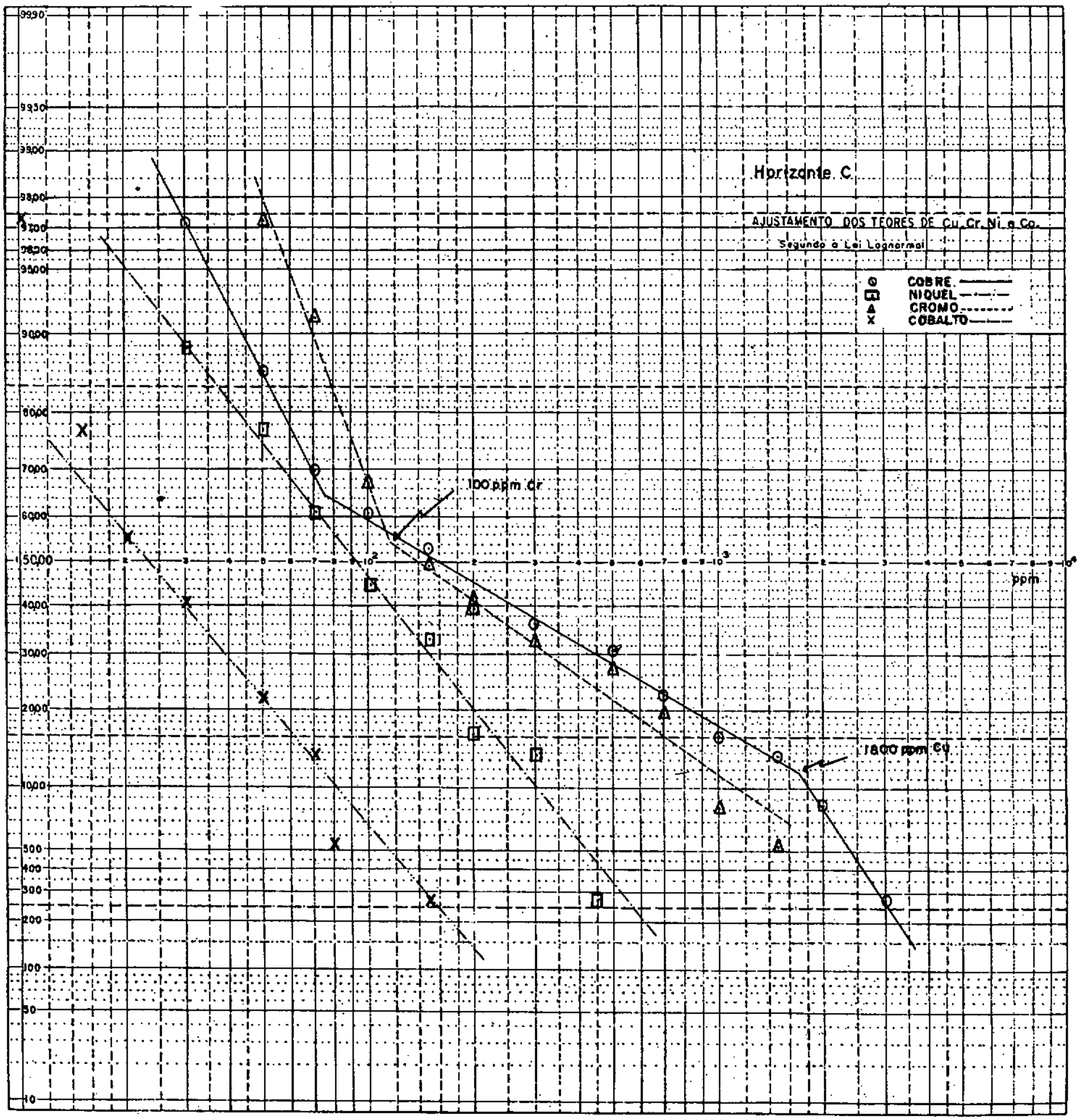


FIGURA 36

dos brutos (vide figuras 24 a 32). Em alguns casos, todavia, como, por exemplo, para o zircônio (fig. 26), a distribuição segundo a lei normal mostra-se insatisfatória.

4.2.7.3. Técnicas de processamento em computador

Os resultados obtidos para os elementos testados nos quatro níveis amostrados foram submetidos a tratamento estatístico através de computador IBM 1130, segundo programa gentilmente cedido e orientado por J.H. GALBRAITH, comportando uma avaliação criteriosa dos parâmetros geoquímicos para a população total pesquisada envolvendo: (1) os dados brutos e (2) os dados logtransformados. Foram realizados cálculos de frequência, testes de distribuição e de correlação. Subsequentemente, estudos adicionais de regressão linear múltipla sequencial foram também aplicados. Para efeito de interpretação os conjuntos de amostras (estatísticas) foram consideradas, preliminarmente, como distribuição log normal para todos os elementos. Foram adotadas algumas sugestões apresentadas por MARTINS et alii (1973), ALECRIM (1973), complementadas por GALBRAITH (1973).

Um sumário das estatísticas para os dados brutos (tabelas IV e VI) e logtransformados (tabelas VII e IX) é apresentado neste relatório.

A tabela X mostra a concentração média e a amplitude da população para os teores de 17 metais, para os quatro níveis testados na cobertura residual, comparando-a com as médias citadas pela literatura.

A tabela XIII, apresenta um sumário das estatísticas para alguns metais aí tipicamente associa-

dos, separando-os segundo os níveis amostrados. O tratamento foi desenvolvido por meio de programa para calculadora HEWLETT PACKARD, modelo 9810 A.

O limiar adotado é dado pela expressão ($\bar{X}$ + 2S), média geométrica mais dois desvios padrões, que representa uma modalidade de apresentar a dispersão dos dados da população, significando, em termos estatísticos que 97,5% dos dados encontram-se abaixo deste valor.

Correlação linear simples

Com o objetivo de melhor definir as eventuais associações de metais no alvo-teste, especialmente dos demais elementos pesquisados com relação ao cobre, metal de caráter anômalo mais significativo em termos de concentração econômica no "Distrito Cuprífero do Rio Curaçá", foram desenvolvidas técnicas estatísticas complementares permitindo estabelecer correlação linear simples entre cada elemento particular (variável dependente) e cada um dos demais metais considerados como variáveis independentes. As tabelas VI e IX, apresentam as referidas correlações.

Os diagramas das figuras 37 a 45, ilustram as correlações mais significativas de alguns metais com relação ao cobre.

Foram obtidas equações lineares de correlação para Cu com relação aos demais metais (tab. XV), segundo a equação geral:

$$Cu = a_0 + a_1 Y$$

onde: Cu é a variável dependente;

Y é a variável independente (outro elemento);

a_0 é a interseção; e

TABELA IV - SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS - POPULAÇÃO TOTAL (HORIZ.A+B+C)

(PARA OS DADOS NÃO TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIANCIA
1	FE	0.15000E 01	0.15000E 02	0.92291E 01	0.30479E 01	0.92897E 01
2	MG	0.20000E 00	0.30000E 01	0.10486E 01	0.65643E 00	0.43090E 00
3	CA	0.70000E 00	0.70000E 01	0.12895E 01	0.64836E 00	0.42038E 00
4	TI	0.20000E 00	0.10000E 01	0.60753E 00	0.17100E 00	0.29242E-01
5	MN	0.15000E 03	0.50000E 04	0.69270E 03	0.48735E 03	0.23751E 06
6	BA	0.20000E 03	0.50000E 04	0.71944E 03	0.50366E 03	0.25358E 06
7	CO	0.50000E 01	0.15000E 03	0.27729E 02	0.24344E 02	0.59264E 03
8	CR	0.20000E 02	0.15000E 04	0.26395E 03	0.29538E 03	0.87253E 05
9	CU	0.10000E 02	0.30000E 04	0.29736E 03	0.42737E 03	0.18265E 06
10	LA	0.20000E 02	0.50000E 03	0.95763E 02	0.71140E 02	0.50609E 04
11	NI	0.10000E 02	0.50000E 03	0.95590E 02	0.86551E 02	0.74910E 04
12	PB	0.10000E 02	0.30000E 02	0.19305E 02	0.57515E 01	0.33080E 02
13	SC	0.50000E 01	0.50000E 02	0.16020E 02	0.70902E 01	0.50272E 02
14	SR	0.10000E 03	0.70000E 03	0.28680E 03	0.14923E 03	0.22272E 05
15	V	0.50000E 02	0.30000E 03	0.12201E 03	0.38332E 02	0.14693E 04
16	Y	0.10000E 02	0.50000E 02	0.19270E 02	0.71195E 01	0.50688E 02
17	ZR	0.50000E 02	0.10000E 04	0.54194E 03	0.27648E 03	0.76443E 05

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA V - MATRIZ DA VARIANCIA - COVARIANCIA PARA A POPULAÇÃO TOTAL (HORIZ.A+B+C)

(DADOS NÃO TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	CU	LA	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	0.55536E 03	-0.16015E 02	0.66332E 02	-0.86159E 01	0.13376E 02	-0.17178E 03	0.66528E 02	0.49584E 01	-0.17541E 03
MG	0.20058E 03	-0.10205E 02	0.33872E 02	-0.95908E 00	0.31044E 01	-0.39704E 02	0.14292E 02	0.38876E 00	-0.66460E 02
CA	0.15537E 02	0.60882E 01	-0.20918E 01	-0.93039E 00	0.87710E 00	-0.16782E 02	0.91599E 00	0.11496E 01	-0.24441E 02
TI	-0.21693E 02	0.22421E 01	-0.33124E 01	-0.25344E 00	0.22178E-01	-0.24863E 01	-0.49830E 00	0.17689E 00	0.16920E 02
MN	0.45781E 05	-0.43038E 04	0.15834E 05	-0.30579E 03	0.10326E 04	0.17912E 04	0.42001E 04	0.33380E 03	0.34618E 04
BA	0.12964E 04	0.83119E 03	0.58905E 04	0.16045E 03	-0.40268E 02	0.17670E 05	0.11423E 04	0.43735E 03	-0.27870E 05
CO	0.70096E 04	-0.32716E 03	0.10865E 04	-0.42846E 02	0.11327E 03	-0.92947E 03	0.53040E 03	0.98011E 01	-0.11789E 04
CR	0.10786E 06	-0.67201E 04	0.23088E 05	-0.85343E 02	0.16143E 04	-0.16576E 05	0.78171E 04	0.11304E 03	-0.44811E 04
CU	0.18265E 06	-0.88881E 04	0.30401E 05	-0.19834E 03	0.22810E 04	-0.20615E 05	0.99494E 04	0.91768E 02	-0.18920E 05
LA	-0.88881E 04	0.50609E 04	-0.22044E 04	0.22212E 02	-0.14774E 03	0.30346E 04	-0.78091E 03	0.57379E 02	0.33033E 04
NI	0.30401E 05	-0.22044E 04	0.74910E 04	0.74057E 01	0.45044E 03	-0.37648E 04	0.20113E 04	0.80678E 02	-0.22263E 04
PB	-0.19834E 03	0.22212E 02	0.74057E 01	0.33060E 02	-0.55798E 01	0.17259E 03	-0.42647E 02	0.22872E 01	0.18877E 03
SC	0.22810E 04	-0.14774E 03	0.45044E 03	-0.55798E 01	0.50272E 02	-0.33398E 03	0.19058E 03	0.13896E 02	-0.69691E 02
SR	-0.20615E 05	0.30346E 04	-0.37648E 04	0.17259E 03	-0.33398E 03	0.22272E 05	-0.23508E 04	0.81220E 02	0.15870E 03
V	0.99494E 04	-0.78091E 03	0.20113E 04	-0.42647E 02	0.19058E 03	-0.23508E 04	0.14693E 04	0.52667E 02	-0.77946E 03
Y	0.91768E 02	0.57379E 02	0.80678E 02	0.22872E 01	0.13896E 02	0.81220E 02	0.62667E 02	0.50688E 02	0.37441E 02
ZR	-0.18920E 05	0.33033E 04	-0.22263E 04	0.18877E 03	-0.69691E 02	0.15870E 03	-0.77946E 03	0.37441E 02	0.76443E 05

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA V (cont.) - MATRIZ DA VARIANCIA - COVARIANCIA PARA A POPULAÇÃO TOTAL

(DADOS NÃO TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	FE	MG	CA	TI	MN	BA	CO	CR
FE	0.92897E 01	0.11912E 01	0.55659E 00	0.13739E 00	0.25430E 03	-0.59032E 02	0.51642E 02	0.32475E 03
MG	0.11912E 01	0.43090E 00	0.12603E 00	-0.19114E-01	0.41857E 02	-0.92060E 01	0.10334E 02	0.12725E 03
CA	0.55659E 00	0.12603E 00	0.42038E 00	0.79119E-02	0.20481E 02	0.42999E 02	0.25481E 01	0.35092E 01
TI	0.13739E 00	-0.19114E-01	0.79119E-02	0.29242E-01	0.84812E 01	-0.17843E 02	0.22985E-01	-0.94928E 01
MN	0.25430E 03	0.41857E 02	0.20481E 02	0.84812E 01	0.23751E 06	0.14706E 06	0.64843E 04	0.41361E 05
BA	-0.59032E 02	-0.92060E 01	0.42999E 02	-0.17843E 02	0.14706E 06	0.25388E 06	0.27955E 04	0.35308E 04
CO	0.51642E 02	0.10334E 02	0.25481E 01	0.22985E-01	0.64843E 04	0.27955E 04	0.59264E 03	0.43412E 04
CR	0.32475E 03	0.12725E 03	0.35092E 01	-0.94928E 01	0.41361E 05	0.35308E 04	0.43412E 04	0.87253E 05
CU	0.55536E 03	0.20058E 03	0.15537E 02	-0.21693E 02	0.45791E 05	0.12964E 04	0.70096E 04	0.10786E 06
LA	-0.16015E 02	-0.10205E 02	0.60882E 01	0.22421E 01	-0.43038E 04	0.83119E 03	-0.32716E 03	-0.67201E 04
NI	0.66332E 02	0.33872E 02	-0.20918E 01	-0.33124E 01	0.15834E 05	0.58905E 04	0.10865E 04	0.23088E 05
PB	-0.86159E 01	-0.95908E 00	-0.93039E 00	-0.25344E 00	-0.30579E 03	0.15045E 03	-0.42846E 02	-0.85343E 02
SC	0.13376E 02	0.31044E 01	0.87710E 00	0.22178E-01	0.10326E 04	-0.40268E 02	0.11327E 03	0.16143E 04
SR	-0.17178E 03	-0.39704E 02	-0.16782E 02	-0.24863E 01	0.17912E 04	0.17670E 05	-0.92947E 03	-0.16576E 05
V	0.66528E 02	0.14292E 02	0.91599E 00	-0.49830E 00	0.42001E 04	0.11423E 04	0.53040E 03	0.78171E 04
Y	0.49584E 01	0.38876E 00	0.11496E 01	0.17589E 00	0.33380E 03	0.43735E 03	0.98011E 01	0.11304E 03
ZR	-0.17541E 03	-0.66460E 02	-0.24441E 02	0.16920E 02	0.34618E 04	-0.27870E 05	-0.11789E 04	-0.44811E 04

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA VI - MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS NÃO TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	FE	MG	CA	TI	MN	BA	CO	CR
FE	0.10000E 01	0.59538E 00	0.28165E 00	0.26360E 00	0.17120E 00	-0.38438E-01	0.69600E 00	0.36070E 00
MG	0.59538E 00	0.10000E 01	0.29611E 00	-0.17028E 00	0.13083E 00	-0.27833E-01	0.64670E 00	0.65626E 00
CA	0.28165E 00	0.29611E 00	0.10000E 01	0.71359E-01	0.64817E-01	0.13162E 00	0.16143E 00	0.18323E-01
TI	0.26360E 00	-0.17028E 00	0.71359E-01	0.10000E 01	0.10176E 00	-0.20708E 00	0.55214E-02	-0.18793E 00
MN	0.17120E 00	0.13083E 00	0.64817E-01	0.10176E 00	0.10000E 01	0.59888E 00	0.54654E 00	0.28731E 00
BA	-0.38438E-01	-0.27833E-01	0.13162E 00	-0.20708E 00	0.59888E 00	0.10000E 01	0.22790E 00	0.23723E-01
CO	0.69600E 00	0.64670E 00	0.16143E 00	0.55214E-02	0.54654E 00	0.22790E 00	0.10000E 01	0.60370E 00
CR	0.36070E 00	0.65626E 00	0.18323E-01	-0.18793E 00	0.28731E 00	0.23723E-01	0.60370E 00	0.10000E 01
CU	0.42634E 00	0.71498E 00	0.56073E-01	-0.29683E 00	0.21980E 00	0.60202E-02	0.67372E 00	0.85444E 00
LA	-0.73861E-01	-0.21853E 00	0.13199E 00	0.18431E 00	-0.12413E 00	0.23188E-01	-0.18891E 00	-0.31979E 00
NI	0.25144E 00	0.59518E 00	-0.37277E-01	-0.22380E 00	0.37539E 00	0.13507E 00	0.51556E 00	0.90309E 00
PB	-0.49148E 00	-0.25402E 00	-0.24949E 00	-0.25768E 00	-0.10909E 00	0.55364E-01	-0.30600E 00	-0.50233E-01
SC	0.61897E 00	0.66700E 00	0.19079E 00	0.18291E-01	0.29884E 00	-0.11271E-01	0.65627E 00	0.77082E 00
SR	-0.37764E 00	-0.40528E 00	-0.17343E 00	-0.97426E-01	0.24627E-01	0.23499E 00	-0.25583E 00	-0.37603E 00
V	0.56943E 00	0.56800E 00	0.36856E-01	-0.76019E-01	0.22402E 00	0.59147E-01	0.56839E 00	0.69039E 00
Y	0.22850E 00	0.83183E-01	0.24905E 00	0.14529E 00	0.96204E-01	0.12191E 00	0.56540E-01	0.53754E-01
ZR	-0.20815E 00	-0.36618E 00	-0.13634E 00	0.35788E 00	0.25591E-01	-0.20005E 00	-0.17515E 00	-0.54869E-01

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA VI (cont.) - MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO - (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS NÃO TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	CU	LA	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	0.42634E 00	-0.73861E-01	0.25144E 00	-0.49148E 00	0.61897E 00	-0.37764E 00	0.56943E 00	0.22850E 00	-0.20815E 00
MG	0.71498E 00	-0.21853E 00	0.59618E 00	-0.25402E 00	0.66700E 00	-0.40528E 00	0.56800E 00	0.83183E-01	-0.36618E 00
CA	0.56073E-01	0.13199E 00	-0.37277E-01	-0.24949E 00	0.19079E 00	-0.17343E 00	0.36856E-01	0.24905E 00	-0.13634E 00
TI	-0.29683E 00	0.18431E 00	-0.22380E 00	-0.25758E 00	0.18291E-01	-0.97426E-01	-0.76019E-01	0.14529E 00	0.35788E 00
MN	0.21980E 00	-0.12413E 00	0.37539E 00	-0.10909E 00	0.29884E 00	0.24627E-01	0.22482E 00	0.96204E-01	0.25691E-01
BA	0.60202E-02	0.23180E-01	0.13507E 00	0.55364E-01	-0.11271E-01	0.23499E 00	0.59147E-01	0.12191E 00	-0.20005E 00
CO	0.67372E 00	-0.18891E 00	0.51566E 00	-0.30600E 00	0.65627E 00	-0.25583E 00	0.56839E 00	0.56548E-01	-0.17515E 00
CR	0.85444E 00	-0.31979E 00	0.90309E 00	-0.50233E-01	0.77082E 00	-0.37603E 00	0.69039E 00	0.53754E-01	-0.54869E-01
CU	0.10000E 01	-0.29233E 00	0.82189E 00	-0.80691E-01	0.75275E 00	-0.32322E 00	0.60732E 00	0.30159E-01	-0.16011E 00
LA	-0.29233E 00	0.10000E 01	-0.35802E 00	0.54286E-01	-0.29290E 00	0.28582E 00	-0.28637E 00	0.11328E 00	0.16794E 00
NI	0.82189E 00	-0.35802E 00	0.10000E 01	0.14876E-01	0.73401E 00	-0.29147E 00	0.60626E 00	0.13092E 00	-0.93035E-01
PB	-0.80691E-01	0.54286E-01	0.14876E-01	0.10000E 01	-0.13682E 00	0.20107E 00	-0.19343E 00	0.55857E-01	0.11870E 00
SC	0.75275E 00	-0.29290E 00	0.73401E 00	-0.13682E 00	0.10000E 01	-0.31563E 00	0.70124E 00	0.27526E 00	-0.35550E-01
SR	-0.32322E 00	0.28582E 00	-0.29147E 00	0.20107E 00	-0.31563E 00	0.10000E 01	-0.41094E 00	0.76441E-01	0.38461E-02
V	0.60732E 00	-0.28637E 00	0.60626E 00	-0.19343E 00	0.70124E 00	-0.41094E 00	0.10000E 01	0.22962E 00	-0.73547E-01
Y	0.30159E-01	0.11328E 00	0.13092E 00	0.55857E-01	0.27528E 00	0.76441E-01	0.22962E 00	0.10000E 01	0.19020E-01
ZR	-0.16011E 00	0.16794E 00	-0.93035E-01	0.11870E 00	-0.35550E-01	0.38461E-02	-0.73547E-01	0.19020E-01	0.10000E 01

Processamento Através Computador · IBM - 1130

TABELA VII - SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS - POPULAÇÃO TOTAL

(DADOS LOG-TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
1	FE	0.17608E 00	0.11760E 01	0.65486E 00	0.23404E 00	0.54778E-01
2	MG	-0.69896E 00	0.47712E 00	-0.47960E-01	0.23942E 00	0.57325E-01
3	CA	-0.15490E 00	0.84509E 00	0.79619E-01	0.15085E 00	0.22757E-01
4	TI	-0.69896E 00	0.00000E 00	-0.23424E 00	0.12834E 00	0.16471E-01
5	MN	0.21760E 01	0.36989E 01	0.27751E 01	0.23130E 00	0.53501E-01
6	BA	0.23010E 01	0.36989E 01	0.28001E 01	0.20738E 00	0.43009E-01
7	CO	0.69896E 00	0.21760E 01	0.13348E 01	0.29265E 00	0.85645E-01
8	CR	0,13010E 01	0.31760E 01	0.21919E 01	0.44171E 00	0.19511E 00
9	CU	0.99999E 00	0.34771E 01	0.21412E 01	0.53863E 00	0.29013E 00
10	LA	0.13010E 01	0.26989E 01	0.18879E 01	0.29126E 00	0.84836E-01
11	NI	0.99999E 00	0.26989E 01	0.18282E 01	0.36741E 00	0.13499E 00
12	PB	0.99999E 00	0.14771E 01	0.12636E 01	0.14522E 00	0.21090E-01
13	SC	0.69896E 00	0.16989E 01	0.11626E 01	0.19723E 00	0.38901E-01
14	SR	0.19999E 01	0.28450E 01	0.24020E 01	0.22150E 00	0.49063E-01
15	V	0.16989E 01	0.24771E 01	0.20644E 01	0.14181E 00	0.20110E-01
16	Y	0.99999E 00	0.16989E 01	0.12544E 01	0.16656E 00	0.27743E-01
17	ZR	0.50000E 02	0.10000E 04	0.54194E 03	0.27648E 03	0.76443E 05

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA VIII - MATRIZ DA VARIANCIA - COVARIANCIA - (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS LOG-TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	CU	LA	NI	PB	SC	SR	V	Y
FE	0.50181E-01	-0.11026E-01	0.35078E-01	-0.16433E-01	0.29850E-01	-0.23301E-01	0.21515E-01	0.11887E-01
MG	0.90356E-01	-0.31145E-01	0.59859E-01	-0.81609E-02	0.31167E-01	-0.26545E-01	0.21737E-01	0.81964E-02
CA	0.72877E-02	0.34729E-02	0.72144E-03	-0.72099E-02	0.78471E-02	-0.63870E-02	0.22912E-02	0.55751E-02
TI	-0.19922E-01	0.11559E-01	-0.10956E-01	-0.38965E-02	0.90449E-03	-0.17664E-02	-0.53559E-03	0.39334E-02
MN	0.49379E-01	-0.11235E-01	0.40501E-01	-0.28506E-02	0.23454E-01	0.42836E-02	0.10904E-01	0.10138E-01
BA	0.91837E-02	-0.24562E-04	0.19381E-01	0.52424E-02	0.27645E-02	0.17030E-01	0.18623E-02	0.64891E-02
CO	0.10353E 00	-0.27336E-01	0.56023E-01	-0.11958E-01	0.40892E-01	-0.22526E-01	0.25228E-01	0.10093E-01
CR	0.21580E 00	-0.57027E-01	0.14708E 00	0.36265E-02	0.65173E-01	-0.39856E-01	0.45516E-01	0.12345E-01
CU	0.29013E 00	-0.81069E-01	0.17757E 00	0.79896E-02	0.76254E-01	-0.47955E-01	0.50513E-01	0.15194E-01
LA	-0.81068E-01	0.84836E-01	-0.59413E-01	0.24672E-02	-0.23447E-01	0.23597E-01	0.16690E-01	0.68685E-02
NI	0.17757E 00	-0.59413E-01	0.13499E 00	0.39477E-02	0.55426E-01	-0.23803E-01	0.38201E-01	0.15540E-01
PB	0.79898E-02	0.24672E-02	0.39477E-02	0.21090E-01	-0.28020E-02	0.79235E-02	-0.33849E-02	0.70787E-03
SC	0.76254E-01	-0.23447E-01	0.55426E-01	-0.28020E-02	0.38901E-01	-0.12701E-01	0.20619E-01	0.11013E-01
SR	-0.47955E-01	0.23597E-01	-0.23803E-01	0.79235E-02	-0.12701E-01	0.49063E-01	-0.12650E-01	0.39934E-02
V	0.50513E-01	-0.16690E-01	0.38201E-01	-0.33849E-02	0.20619E-01	-0.12650E-01	0.20110E-01	0.62500E-02
Y	0.15194E-01	0.68685E-02	0.15540E-01	0.70787E-03	0.11013E-01	0.39934E-02	0.62500E-02	0.27743E-01
ZR	-0.14428E 02	0.20588E 02	-0.98402E 01	0.47153E 01	-0.20238E 01	0.33705E 01	-0.31575E 01	0.30405E 01

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA VIII (cont.) - MATRIZ DA VARIANCIA - COVARIANCIA (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS LOGTRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	FE	MG	CA	TI	MN	BA	CO	CR	ZR
FE	0.54778E-01	0.37003E-01	0.14248E-01	0.65828E-02	0.14025E-01	-0.75862E-02	0.49989E-01	0.42231E-01	-0.10839E 02
MG	0.37003E-01	0.57325E-01	0.12728E-01	-0.54238E-02	0.13601E-01	0.24974E-03	0.47308E-01	0.70433E-01	-0.24543E 02
CA	0.14248E-01	0.12728E-01	0.22757E-01	0.29810E-02	0.59331E-02	0.84286E-03	0.13054E-01	0.36518E-02	-0.38343E 01
TI	0.65828E-02	-0.54238E-02	0.29810E-02	0.16471E-01	0.60179E-02	-0.66512E-02	0.32810E-02	-0.11335E-01	0.13906E 02
MN	0.14025E-01	0.13601E-01	0.59331E-02	0.60179E-02	0.53501E-01	0.13962E-01	0.39081E-01	0.42551E-01	0.79786E 01
BA	-0.75862E-02	0.24974E-03	0.84285E-03	-0.66512E-02	0.13962E-01	0.43009E-01	-0.12997E-02	0.95655E-02	-0.96103E 01
CO	0.49989E-01	0.47308E-01	0.13054E-01	0.32810E-02	0.39081E-01	-0.12997E-02	0.89645E-01	0.83472E-01	-0.10174E 02
CR	0.42231E-01	0.70433E-01	0.36518E-02	-0.11335E-01	0.42551E-01	0.95655E-02	0.83472E-01	0.19511E 00	-0.74259E 01
CU	0.50181E-01	0.90356E-01	0.72877E-02	-0.19922E-01	0.49379E-01	0.91837E-02	0.10353E 00	0.21580E 00	-0.14428E 02
LA	-0.11026E-01	-0.31145E-01	0.34729E-02	0.11559E-01	-0.11235E-01	-0.24562E-04	-0.27336E-01	-0.67027E-01	0.20588E 02
NI	0.35078E-01	0.59855E-01	0.72144E-03	-0.10958E-01	0.40501E-01	0.19381E-01	0.66023E-01	0.14708E 00	-0.98402E 01
PB	-0.16433E-01	-0.81608E-02	-0.72099E-02	-0.38965E-02	-0.28506E-02	0.52424E-02	-0.11958E-01	0.36265E-02	0.47153E 01
SC	0.29850E-01	0.31167E-01	0.78471E-02	0.90449E-03	0.23454E-01	0.27645E-02	0.40892E-01	0.65173E-01	-0.20238E 01
SR	-0.23301E-01	-0.26545E-01	-0.63870E-02	-0.17664E-02	0.42836E-02	0.17030E-01	-0.22526E-01	-0.39856E-01	0.33705E 01
V	0.21515E-01	0.21737E-01	0.22512E-02	-0.53558E-03	0.10904E-01	0.18623E-02	0.25228E-01	0.45516E-01	-0.31575E 01
	0.11867E-01	0.81984E-02	0.55751E-02	0.39834E-02	0.10138E-01	0.64891E-02	0.10093E-01	0.12348E-01	0.30405E 01
ZR	-0.10839E 02	-0.24543E 02	-0.38343E 01	0.13906E 02	0.79786E 01	-0.96103E 01	-0.10174E 02	-0.74259E 01	0.76443E 05

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA IX - MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS LOG - TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	FE	MG	CA	TI	MN	BA	CO	CR
FE	0.10000E 01	0.66032E 00	0.40355E 00	0.21914E 00	0.25907E 00	-0.15629E 00	0.72983E 00	0.40849E 00
MG	0.66032E 00	0.10000E 01	0.35240E 00	-0.17650E 00	0.24559E 00	0.50296E-02	0.67516E 00	0.66597E 00
CA	0.40355E 00	0.35240E 00	0.10000E 01	0.15396E 00	0.17003E 00	0.26940E-01	0.29568E 00	0.54803E-01
TI	0.21914E 00	-0.17650E 00	0.15396E 00	0.10000E 01	0.20271E 00	-0.24989E 00	0.87356E-01	-0.19994E 00
MN	0.25907E 00	0.24559E 00	0.17003E 00	0.20271E 00	0.10000E 01	0.29107E 00	0.57734E 00	0.41646E 00
BA	-0.15629E 00	0.50296E-02	0.26940E-01	-0.24989E 00	0.29107E 00	0.10000E 01	-0.21414E-01	0.10441E 00
CO	0.72983E 00	0.67516E 00	0.29568E 00	0.87356E-01	0.57734E 00	-0.21414E-01	0.10000E 01	0.64572E 00
CR	0.40849E 00	0.66597E 00	0.54803E-01	-0.19994E 00	0.41646E 00	0.10441E 00	0.64572E 00	0.10000E 01
CU	0.39805E 00	0.70063E 00	0.89687E-01	-0.28819E 00	0.39633E 00	0.82212E-01	0.65681E 00	0.90703E 00
LA	-0.16174E 00	-0.44660E 00	0.79040E-01	0.30921E 00	-0.16677E 00	-0.40662E-03	-0.32069E 00	-0.32097E 00
NI	0.40792E 00	0.68041E 00	0.13016E-01	-0.23238E 00	0.47656E 00	0.25434E 00	0.61402E 00	0.90625E 00
PB	-0.48348E 00	-0.23470E 00	-0.32910E 00	-0.20906E 00	-0.84862E-01	0.17406E 00	-0.26137E 00	0.56533E-01
SC	0.64664E 00	0.65999E 00	0.26373E 00	0.35731E-01	0.51410E 00	0.67586E-01	0.70844E 00	0.74856E 00
SR	-0.44947E 00	-0.50054E 00	-0.19114E 00	-0.62138E-01	0.83609E-01	0.97073E 00	-0.34750E 00	-0.40735E 00
V	0.64824E 00	0.64020E 00	0.10523E 00	-0.29426E-01	0.33243E 00	0.63323E-01	0.60790E 00	0.72662E 00
Y	0.30492E 00	0.20557E 00	0.22187E 00	0.18634E 00	0.26315E 00	0.18785E 00	0.20705E 00	0.16783E 00
ZR	-0.16750E 00	-0.37075E 00	-0.91930E-01	0.39188E 00	0.12475E 00	-0.16760E 00	-0.12574E 00	-0.60804E-01

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA IX (cont.) - MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (POPULAÇÃO TOTAL)

(DADOS LOG - TRANSFORMADOS)

VARIÁVEL	CU	LA	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	0.39805E 00	-0.18174E 00	0.40792E 00	-0.48348E 00	0.64664E 00	-0.44947E 00	0.64824E 00	0.30492E 00	-0.16750E 00
MG	0.70063E 00	-0.44660E 00	0.68041E 00	-0.23470E 00	0.69999E 00	-0.50054E 00	0.54020E 00	0.20997E 00	-0.37075E 00
CA	0.89687E-01	0.79040E-01	0.13016E-01	-0.32910E 00	0.26373E 00	-0.19114E 00	0.10523E 00	0.22187E 00	-0.91930E-01
TI	-0.28819E 00	0.30921E 00	-0.23238E 00	-0.20906E 00	0.35751E-01	-0.62136E-01	-0.29426E-01	0.18834E 00	0.39188E 00
MN	0.39633E 00	-0.16677E 00	0.47656E 00	-0.84862E-01	0.51410E 00	0.23609E-01	0.33243E 00	0.26315E 00	0.12475E 00
BA	0.82212E-01	-0.40662E-03	0.25434E 00	0.17406E 00	0.67588E-01	0.37073E 00	0.63323E-01	0.16789E 00	-0.16760E 00
CO	0.65681E 00	-0.32069E 00	0.61402E 00	-0.28137E 00	0.70844E 00	-0.34750E 00	0.60790E 00	0.20705E 00	-0.12574E 00
CR	0.90700E 00	-0.52097E 00	0.90625E 00	0.56535E-01	0.74806E 00	-0.40735E 00	0.72662E 00	0.16785E 00	-0.60804E-01
CU	0.10000E 01	-0.51672E 00	0.89729E 00	0.10714E 00	0.71776E 00	-0.40193E 00	0.66129E 00	0.16935E 00	-0.96882E-01
LA	-0.51672E 00	0.10000E 01	-0.55517E 00	0.56328E-01	-0.40815E 00	0.36575E 00	-0.40408E 00	0.14157E 00	0.25566E 00
NI	0.89729E 00	-0.55517E 00	0.10000E 01	0.73985E-01	0.76483E 00	-0.29248E 00	0.73317E 00	0.25393E 00	-0.96866E-01
PB	0.10214E 00	0.56328E-01	0.73985E-01	0.10000E 01	-0.97826E-01	0.24631E 00	-0.16436E 00	0.29264E-01	0.11743E 00
SC	0.71776E 00	-0.40815E 00	0.76483E 00	-0.97826E-01	0.10000E 01	-0.29073E 00	0.73718E 00	0.33522E 00	-0.37112E-01
SR	-0.40193E 00	0.36575E 00	-0.29248E 00	0.24631E 00	-0.29073E 00	0.10000E 01	-0.40273E 00	0.10824E 00	0.55036E-01
V	0.66129E 00	-0.40408E 00	0.73317E 00	-0.16436E 00	0.73718E 00	-0.40273E 00	0.10000E 01	0.26460E 00	-0.80531E-01
Y	0.16935E 00	0.14157E 00	0.25393E 00	0.29264E-01	0.33522E 00	0.10824E 00	0.26460E 00	0.10000E 01	0.66023E-01
ZR	-0.96882E-01	0.25566E 00	-0.96866E-01	0.11743E 00	-0.37112E-01	0.55036E-01	-0.80531E-01	0.66023E-01	0.10000E 01

Processamento Através Computador IBM - 1130

TABELA X - SUMÁRIO (PARCIAL) DAS ESTATÍSTICAS PARA AS POPULAÇÕES DO ALVO-TESTE SEGUNDO OS QUATRO NÍVEIS TESTADOS.

	Horiz. A		Horiz.B(sup.)		Horiz.B(inf.)		Horiz. C		Médias Citadas VINOGRADOV (1959) KRAUSKOPF (1967) HAWKES E WEBB (1962)		
									ROCHA		SOLO
Metal	$\bar{X}$ Média	Ampl. pop.	$\bar{X}$ Média	Ampl. pop.	$\bar{X}$ Média	Ampl. pop.	$\bar{X}$ Média	Ampl. pop.	Máfica	Ultra-máfica	RESID.
Fe	4,36	8,5	5,24	13,5	5,49	13,0	5,97	13,0	8,56	9,85	1,4-4,0
Mg	0,84	1,80	0,95	2,70	1,03	2,70	1,28	3,50	4,5	25,9	-
Ca	1,17	0,80	1,17	1,30	1,23	2,30	1,61	11,30	6,7	0,7	0,40
Ti	0,69	1,00	0,66	0,50	0,58	0,70	0,51	0,80	0,90	0,30	0,46
Mn	700	1200	610	1350	660	1350	750	4800	2200	1300	850
Ba	550	800	590	1300	670	1400	1000	5200	270	15	500
Co	25	60	24	60	27	145	30	145	45	200	8
Ni	65	270	89	280	99	290	114	290	160	1200	40
Cr	23	980	240	980	270	980	310	1480	300	2000	200
Cu	225	980	235	980	265	980	455	2980	140	80	20
La	105	480	100	280	86	180	91	480	27	-	40
Y	18	20	19	20	19	20	21	40	33	-	-
Pb	14	25	16	25	16	25	17	45	12	-	10
Sr	290	600	270	600	270	600	310	600	140	27	350
V	115	150	120	150	125	150	130	230	200	140	100
Zr	710	800	630	800	470	800	370	950	100	30	300
Sc	14	25	16	25	16	25	17	45	24	5	-

OBS: 1) Os teores de Fe, Mg, Ca e Ti estão expressos em percentagem (%). Os demais elementos, em partes por milhão (ppm).

2) Os valores da tabela referem-se aos dados brutos (não transformados).

TABELA XI - SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS PARA COBRE SEGUNDO AS POPULAÇÕES EM SOLOS RESIDUAIS DAS LITOLOGIAS REGIONAIS.

- DADOS LOG-TRANSFORMADOS -

	Gnaisse quartzo-feldspático	Corpo máfico	Granito róseo	Biotita gnaisse migmatítico
S^2	0,0652	0,2399	0,0805	0,1444
$\bar{X}$	1,4111 (26 ppm)	2,0999 (126 ppm)	1,3071 (20 ppm)	1,4307 (27 ppm)
a_3	1,1179	-1,1032	0,0600	1,7370
S	0,2554	0,4898	0,3838	0,3801
a'_4	1,8252	-1,3343	-0,2803	5,6633
$\bar{X}$ + 2 S	1,9219 (83 ppm)	3,0795 (1200 ppm)	2,0747 (120 ppm)	2,1909 (150 ppm)

TABELA XII - SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS PARA COBRE NA POPULAÇÃO TOTAL (76 ESTAÇÕES) DA FAIXA DO PIRULITO.

- DADOS LOG-TRANSFORMADOS -

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,3037	0,2724	0,2615	0,3547
$\bar{X}$	1,8451 (70 ppm)	1,8965 (80 ppm)	1,9384 (87 ppm)	1,9725 (94 ppm)
a_3	0,5522	0,4097	0,3847	0,9788
S	0,5511	0,5219	0,5114	0,5956
a'_4	-0,9047	-1,0096	-0,9565	0,1181
$\bar{X}$ + 2 S	2,9473 (890 ppm)	2,9403 (870 ppm)	2,9612 (910 ppm)	3,1639 (1460 ppm)

TABELA XIII - SUMÁRIO (PARCIAL) DAS ESTATÍSTICAS PARA AS POPULAÇÕES ISOLADAS (DADOS LOG-TRANSFORMADOS, COM REFERÊNCIA AOS TEORES DOS PERFIS $B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$).

Sendo S^2 a variância
$\bar{X}$ a média geométrica
a_3 a assimetria
S o desvio padrão
a'_4 a curtose normalizada
$\bar{X} + 2S$ o limiar de anomalia

1. COBRE

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,2465	0,2624	0,2997	0,3675
$\bar{X}$	2,0849 (120 ppm)	2,1258 (130 ppm)	2,1379 (140 ppm)	2,2199 (170 ppm)
a_3	0,2164	0,1521	0,0127	0,5133
S	0,4965	0,5123	0,5474	0,6062
a'_4	-1,2218	-1,4241	-1,2463	-0,9270
$\bar{X} + 2S$	3,0779 (1200 ppm)	3,1504 (1400 ppm)	3,2327 (1700 ppm)	3,4323 (2700 ppm)

TABELA XIII (Continuação) - SUMÁRIO (PARCIAL) DAS ESTATÍSTICAS PARA AS POPULAÇÕES ISOLADAS (DADOS LOG-TRANSFORMADOS, COM REFERÊNCIA AOS TEORES DOS PERFIS $B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$).

2. NÍQUEL

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,1333	0,1335	0,1353	0,1328
$\bar{X}$	0,7447 (56 ppm)	1,8067 (64 ppm)	1,8589 (72 ppm)	1,9002 (80 ppm)
a_3	0,3571	-0,0693	-0,1993	0,2548
S	0,3651	0,3654	0,3678	0,3644
a'_4	-0,8195	-0,5246	-0,5878	-0,7452
$\bar{X} + 2S$	2,4779 (290 ppm)	2,5375 (340 ppm)	2,5945 (390 ppm)	2,6290 (420 ppm)

3. CROMO

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,2069	0,1764	0,1938	0,2170
$\bar{X}$	2,1482 (140 ppm)	2,1768 (150 ppm)	2,2240 (170 ppm)	2,2205 (160 ppm)
a_3	0,2195	0,3823	0,2338	0,5116
S	0,4549	0,4200	0,4403	0,4658
a'_4	-1,0801	-0,7943	-1,0622	-0,7459
$\bar{X} + 2S$	3,0580 (1100 ppm)	3,0168 (1040 ppm)	3,1046 (1300 ppm)	3,1521 (1420 ppm)

TABELA XIII (Continuação) - SUMÁRIO (PARCIAL) DAS ESTATÍSTICAS PARA AS POPULAÇÕES ISOLADAS (DADOS LOG-TRANSFORMADOS, COM REFERÊNCIA AOS TEORES DOS PERFIS $B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$).

4. COBALTO

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,0703	0,0654	0,0807	0,1470
$\bar{X}$	1,3198 (21 ppm)	1,3129 (20 ppm)	1,3220 (21 ppm)	1,4054 (25 ppm)
a_3	0,1725	0,0348	0,3966	0,3507
S	0,2652	0,2557	0,2841	0,3834
a'_4	-1,0845	-0,8427	0,7392	-0,8243
$\bar{X} + 2S$	1,8205 (70 ppm)	1,8243 (67 ppm)	1,8902 (78 ppm)	2,1722 (150 ppm)

5. FERRO

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,0481	0,0607	0,0527	0,0642
$\bar{X}$	0,5650 (3,67%)	0,6645 (4,62%)	0,6802 (4,79%)	0,7035 (5,05%)
a_3	0,1707	-0,0153	0,0996	0,1815
S	0,2194	0,2253	0,2296	0,2534
a'_4	-0,6831	-0,3829	-0,0114	-0,8724
$\bar{X} + 2S$	1,0038 (10,09%)	1,1151 (13,04%)	1,1394 (13,79%)	1,2103 (16,23%)

TABELA XIII (Continuação) - SUMÁRIO (PARCIAL) DAS ESTATÍSTICAS PARA AS POPULAÇÕES ISOLADAS (DADOS LOG-TRANSFORMADOS, COM REFERÊNCIA AOS TEORES DOS PERFIS $B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$).

6. CÁLCIO

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz.C
S^2	0,0234	0,0193	0,0702	0,0425
$\bar{X}$	0,0688 (1,17%)	0,0378 (1,09%)	0,1474 (1,40%)	0,1620 (1,45%)
a_3	1,6346	-0,3094	2,0478	0,9941
S	0,1531	0,1391	0,2649	0,2062
a'_4	5,3662	-0,6954	3,7905	1,5367
$\bar{X} + 2S$	0,3750 (2,37%)	0,3160 (2,07%)	0,6772 (4,75%)	0,5744 (3,75%)

7. MANGANÊS

	Horiz. A	Horiz. B (sup.)	Horiz. B (inf.)	Horiz. C
S^2	0,0425	0,0618	0,0561	0,0417
$\bar{X}$	2,8052 (640 ppm)	2,7387 (548 ppm)	2,7620 (577 ppm)	2,7612 (576 ppm)
a_3	-0,0349	-0,0772	-0,1181	-0,2833
S	0,2063	0,3485	0,2368	0,2044
a'_4	-0,8659	0,9468	-0,3644	-0,7099
$\bar{X} + 2S$	3,2178 (1650 ppm)	3,4357 (2730 ppm)	3,2356 (1720 ppm)	3,1700 (1480 ppm)

a_1 é o declive da reta;

sendo: $a_0 = \frac{\text{Covariância entre Cu e Y}}{\text{Variância de Y}}$

e $a_0 = \overline{Cu} - a_1\overline{Y}$

onde $\overline{Cu}$ e $\overline{Y}$ são as médias de cobre e do segundo metal (Y), respectivamente.

Registra-se uma correlação muito forte (superior a 0,50) do Cu com: Cr (0,91), Ni (0,90), Sc (0,72), Mg (0,70), V (0,66), Co (0,66) e La (-0,52); correlação forte (admitida de 0,30 a 0,50) com: Fe (0,40), Mn (0,40), Sr (-0,40); correlação moderada a fraca (admitida de 0,1 a 0,3) com: Ti (-0,29), Y (0,17) e Pb (0,11); correlação fraca (inferior a 0,1) com: Zr (-0,09), Ca (0,09) e Ba (0,08).

A correlação muito forte do Cu com Cr, Ni e Co é ainda reforçada pelas fortes correlações similarmente registradas entre cada um destes metais e os demais, comparadas às de cobre. Assim, por exemplo o Ni mostra correlação muito forte com Cr (0,91), Cu (0,90), Sc (0,76), V (0,73), Mg (0,68), Co (0,61) e La (-0,52); tais correlações realçam a estreita associação paragenética admitida entre Cu e Ni no ambiente primário, fato que é comprovado pela forte correlação mantida entre os dois metais no solo residual.

A forte correlação do cobre com Cr, Ni, Sc, Mg, V e Co parece evidenciar que a migração desses elementos foi muito restrita na cobertura residual do corpo máfico mineralizado.

Convém notar que estes metais constituem associações típicas em corpos máficos-ultramáficos (HAWKES e WEBB, 1962) apresentando diversas características físico-químicas similares, o que condiciona, em grande parte, a estreita correlação assinalada dos mesmos com referência ao

cobre, e entre cada um deles e os demais.

As fortes correlações do cobre com relação ao Cr, Ni e Co estão representadas graficamente nos diagramas das fig. 37, 38 e 39, respectivamente, e confirmadas, em termos práticos, nas distribuições geoquímicas dos metais em perfís do solo (fig. 56 a 63). As figuras 40 a 44 mostram correlações do cobre com outros metais a ele associados, de modo significativo, no âmbiente da dispersão secundária. Todavia, alguns metais, exibem uma correlação muito fraca, p. ex. Ba (fig. 45).

Regressão linear múltipla sequencial

Revisão de conceitos-Este tópico está fundamentado nos critérios e conceitos estabelecidos por ROSE (1970), NICHOL(1971) e BRUNDIN and NAIRIS (1972) e em observações e trabalhos, no âmbito da CPRM, desenvolvidos por ALECRIM (1973).

J.H. GALBRAITH, em comunicação verbal, forneceu diversos subsídios úteis na interpretação de estudos de regressão.

Conforme estipula NICHOL (1971), em casos onde a concentração dos teores de certos elementos traços se apresenta relacionada à composição (integração) de outras variáveis, faz-se importante levar em consideração estes efeitos. Por exemplo (NICHOL, op. cit.), numa área onde o teor de zinco de um sedimento de corrente, além de estar relacionado a mineralização, se apresenta, em parte, dependente do carreamento de precipitados de Fe e Mn (óxidos), torna-se importante considerar esta última feição na interpretação dos dados de zinco.

O tratamento feito pela análise de regres-

SENDO: r — o coeficiente de correlação
c — o interseção
m — o coeficiente de interseção

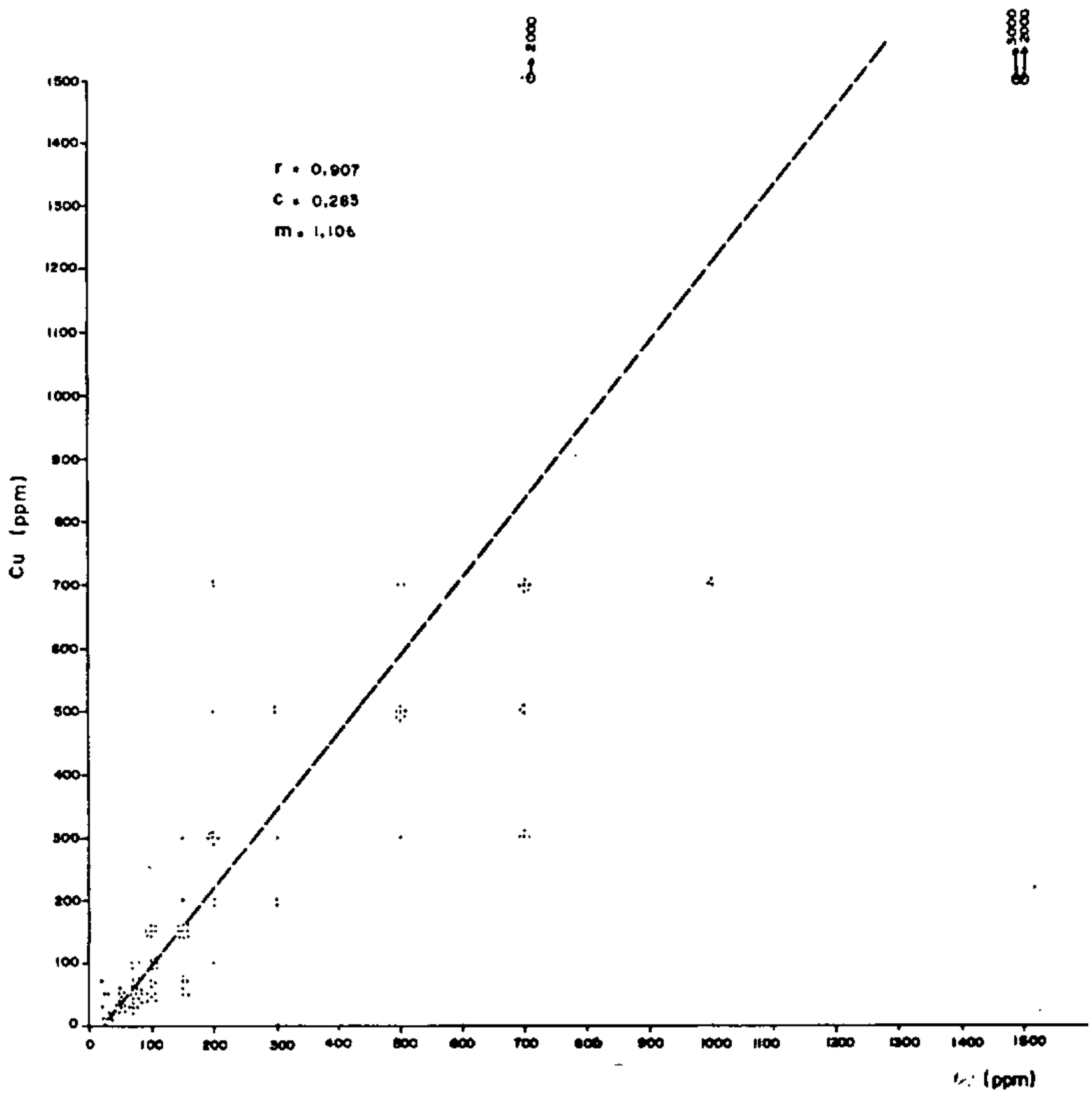


FIG. Nº37 — Correlação entre os teores de Cu e Cr na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

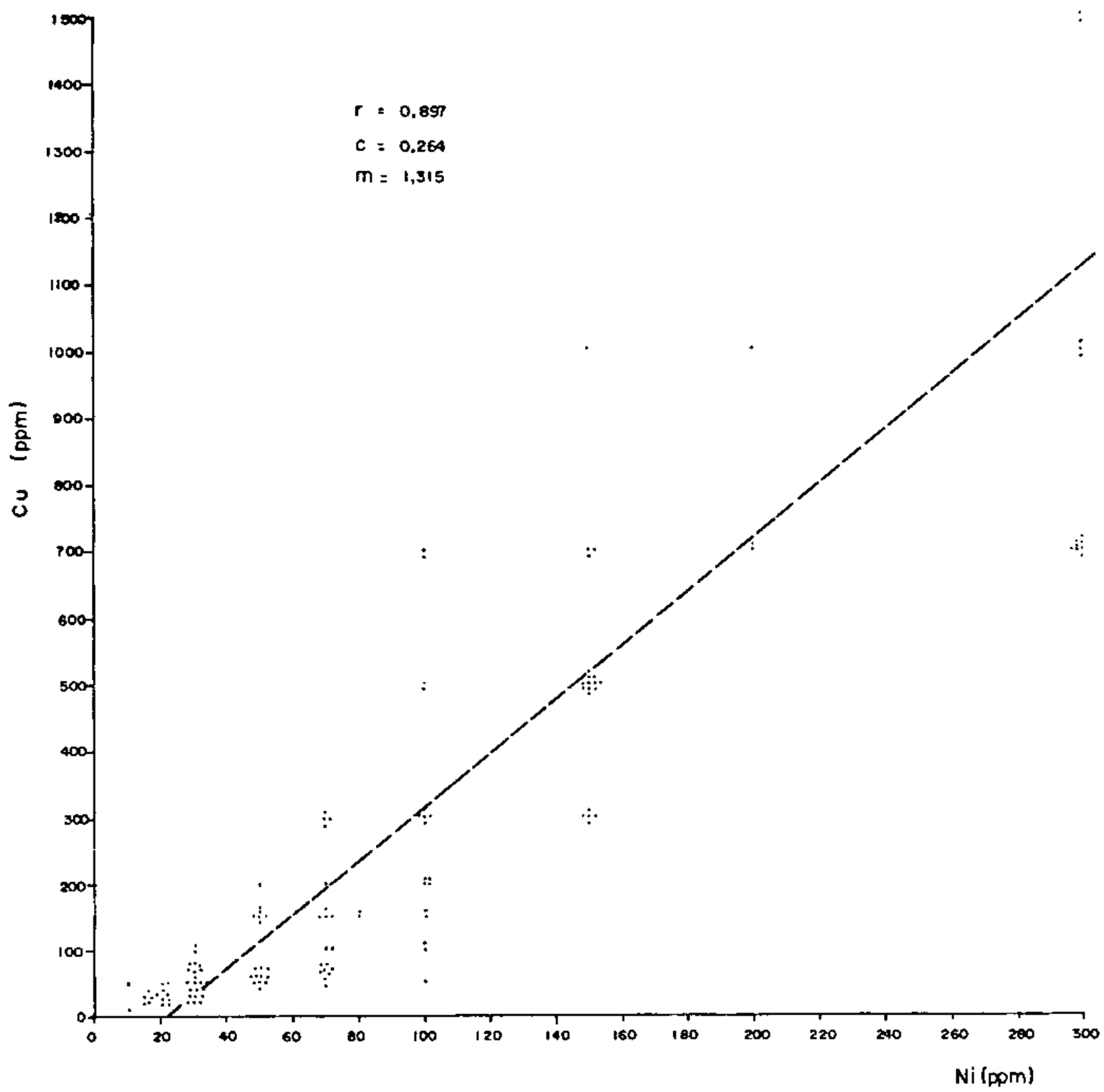


FIG. Nº38 — Correlação entre os teores de Cu e Ni na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

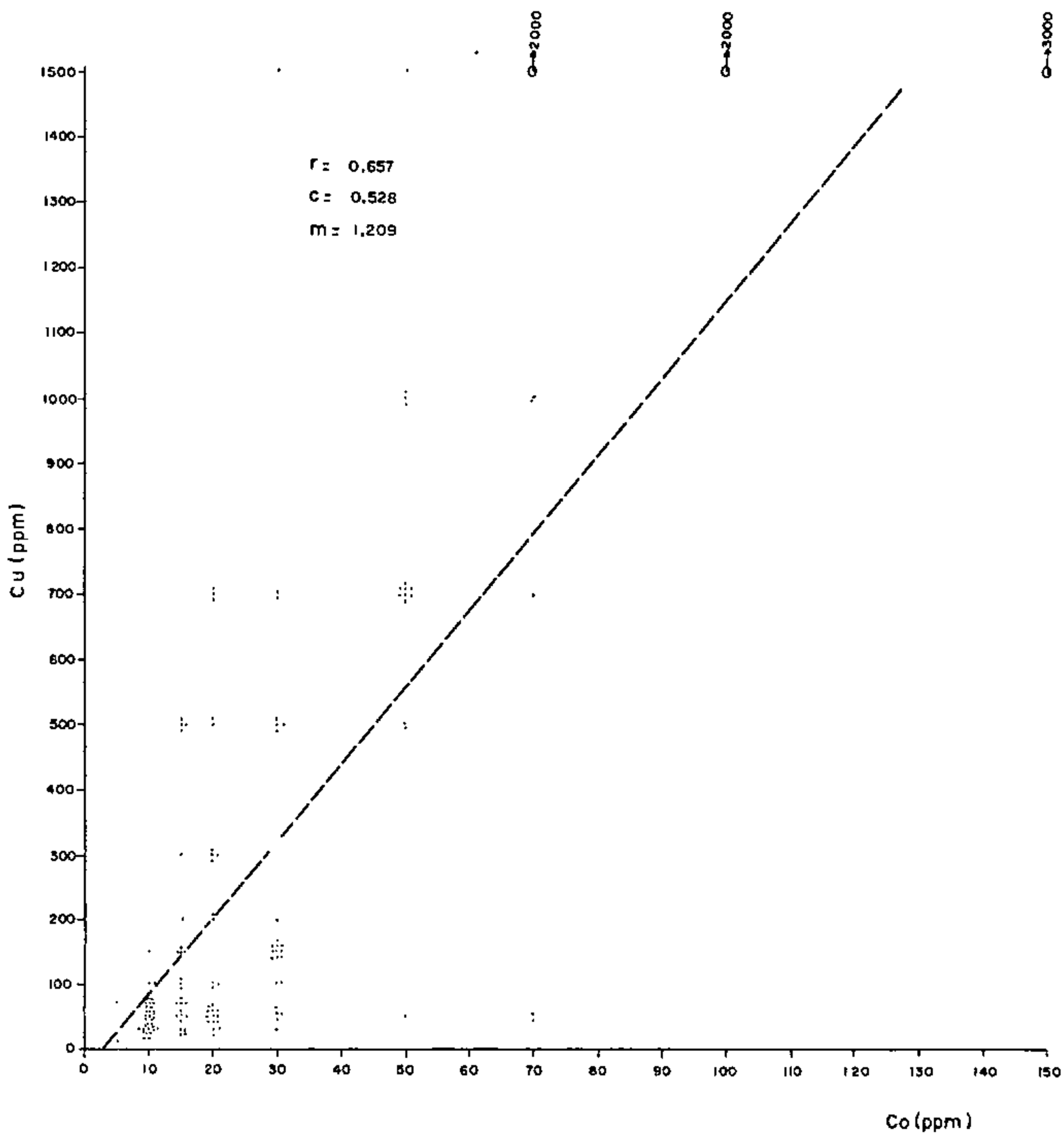


FIG. Nº39 — Correlação entre os teores de Cu e Co no faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

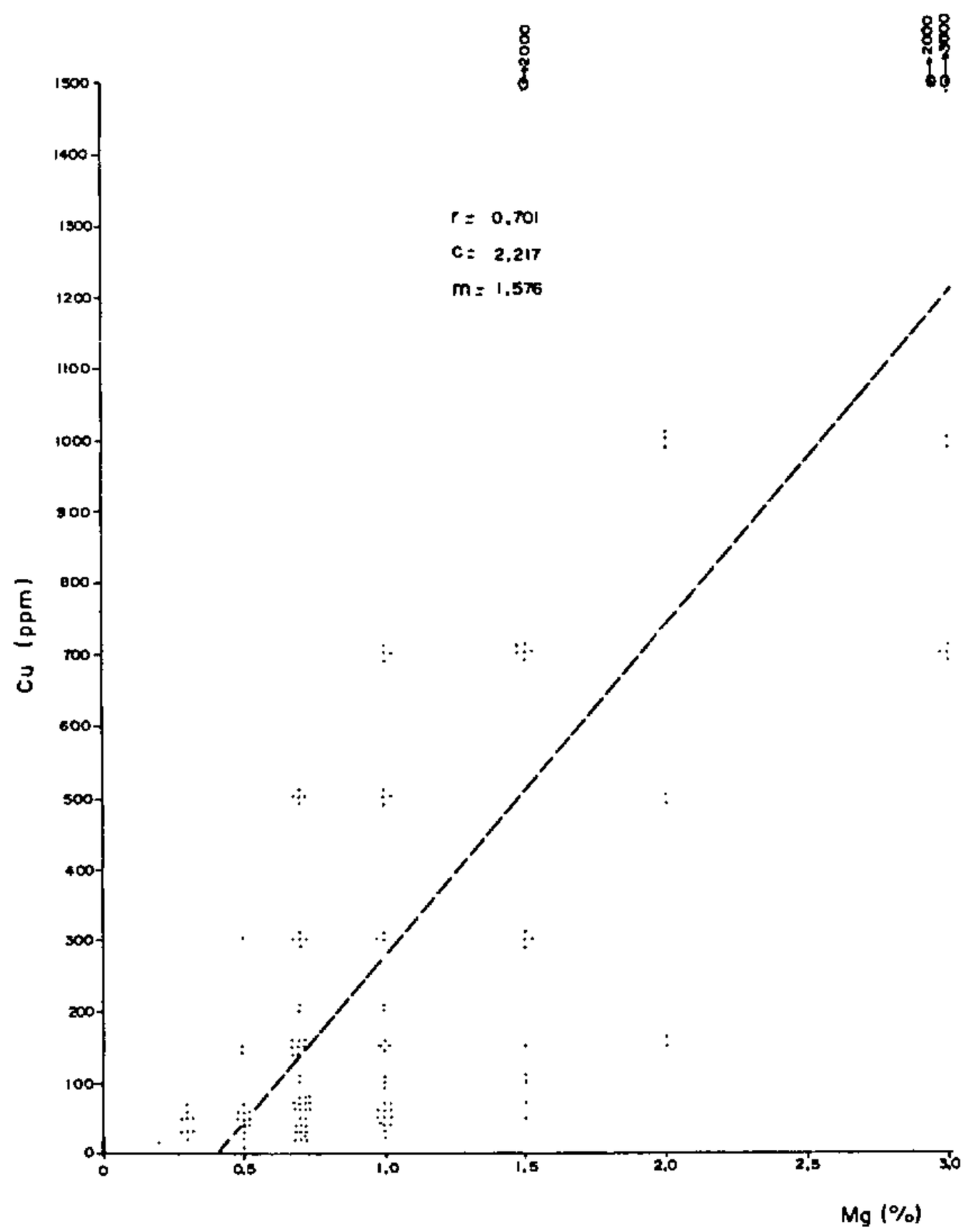


FIG. Nº 40 — Correlação entre os teores de Cu e Mg na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

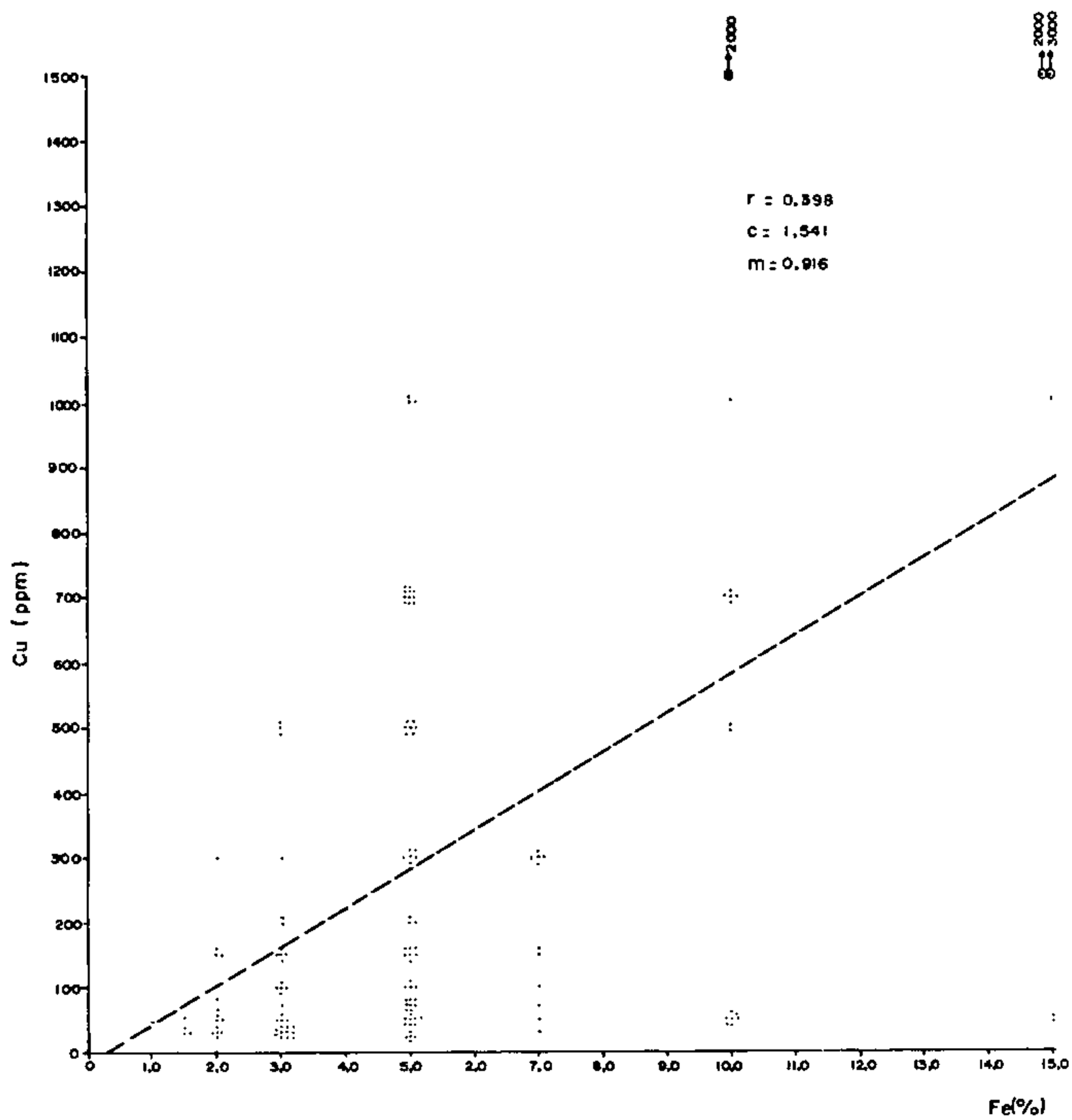


FIG. Nº41 — Correlação entre os teores de Cu e Fe na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

CONVÊNIO
DNPM CPRM
SALVADOR — BA.
Téc. Responsável: O.C. Brunl

PROJETO COBRE-CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

LEVANTAMENTO ORIENTATIVO – CORPO DO PIRULITO

ESTUDO DA CORRELAÇÃO LINEAR

1974

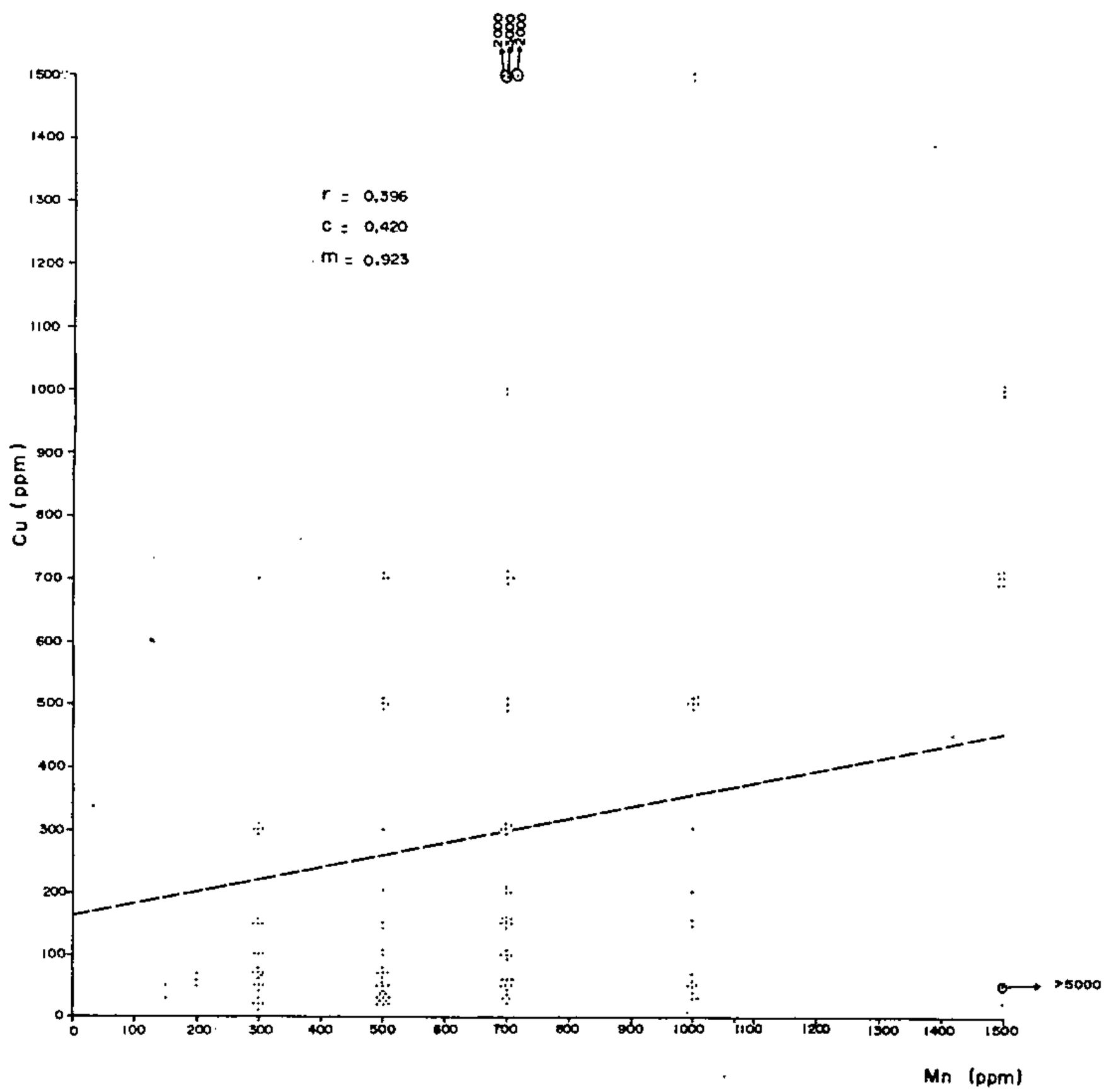


FIG. Nº42 – Correlação entre os teores de Cu e Mn na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

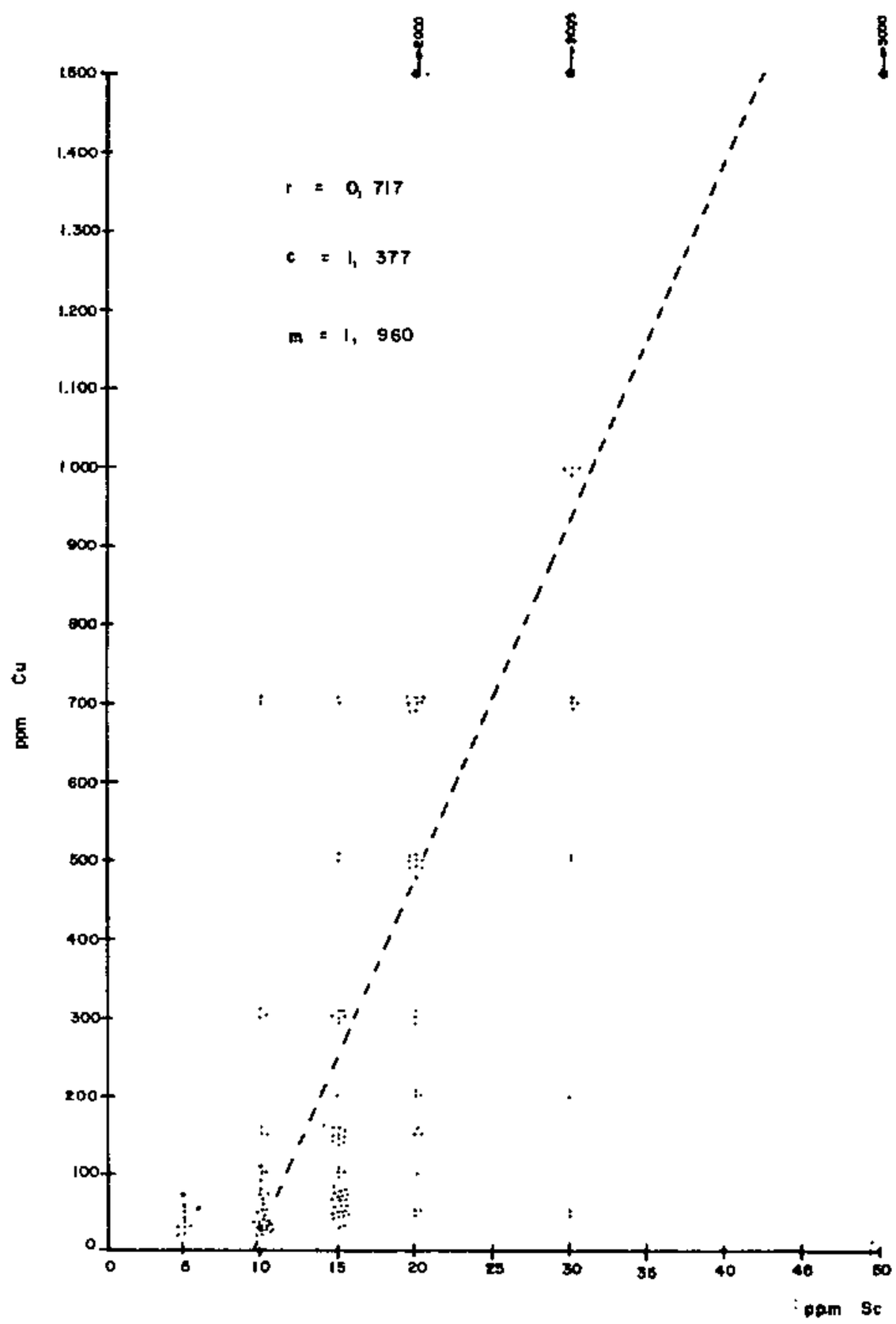


FIG. Nº 43 — Correlação entre os teores de Cu e Sc no faixa do cobertura residual População total (horizontes A, B, e C.)

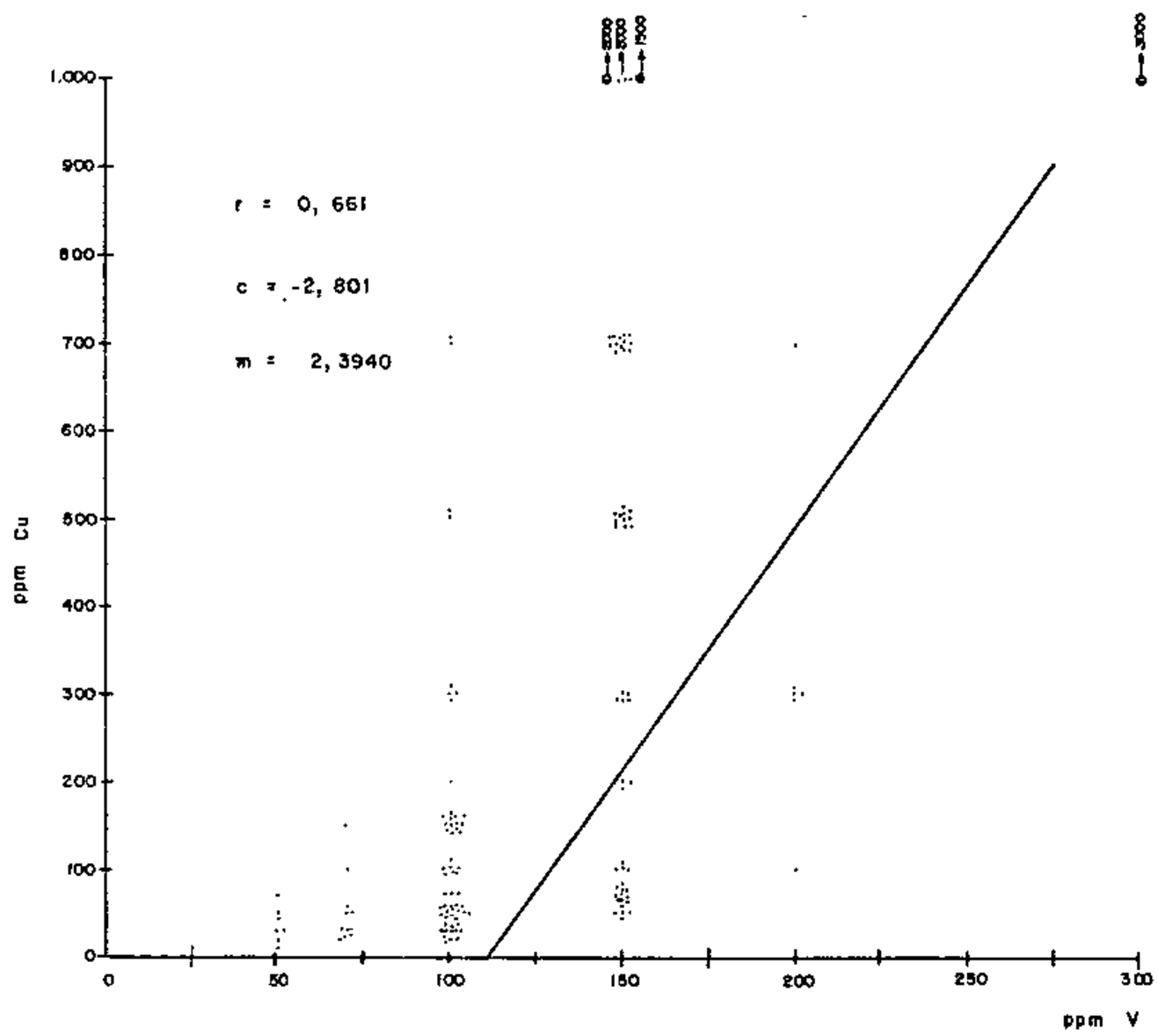


FIG. Nº44 – Correlação entre os teores de Cu e V na faixa da cobertura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

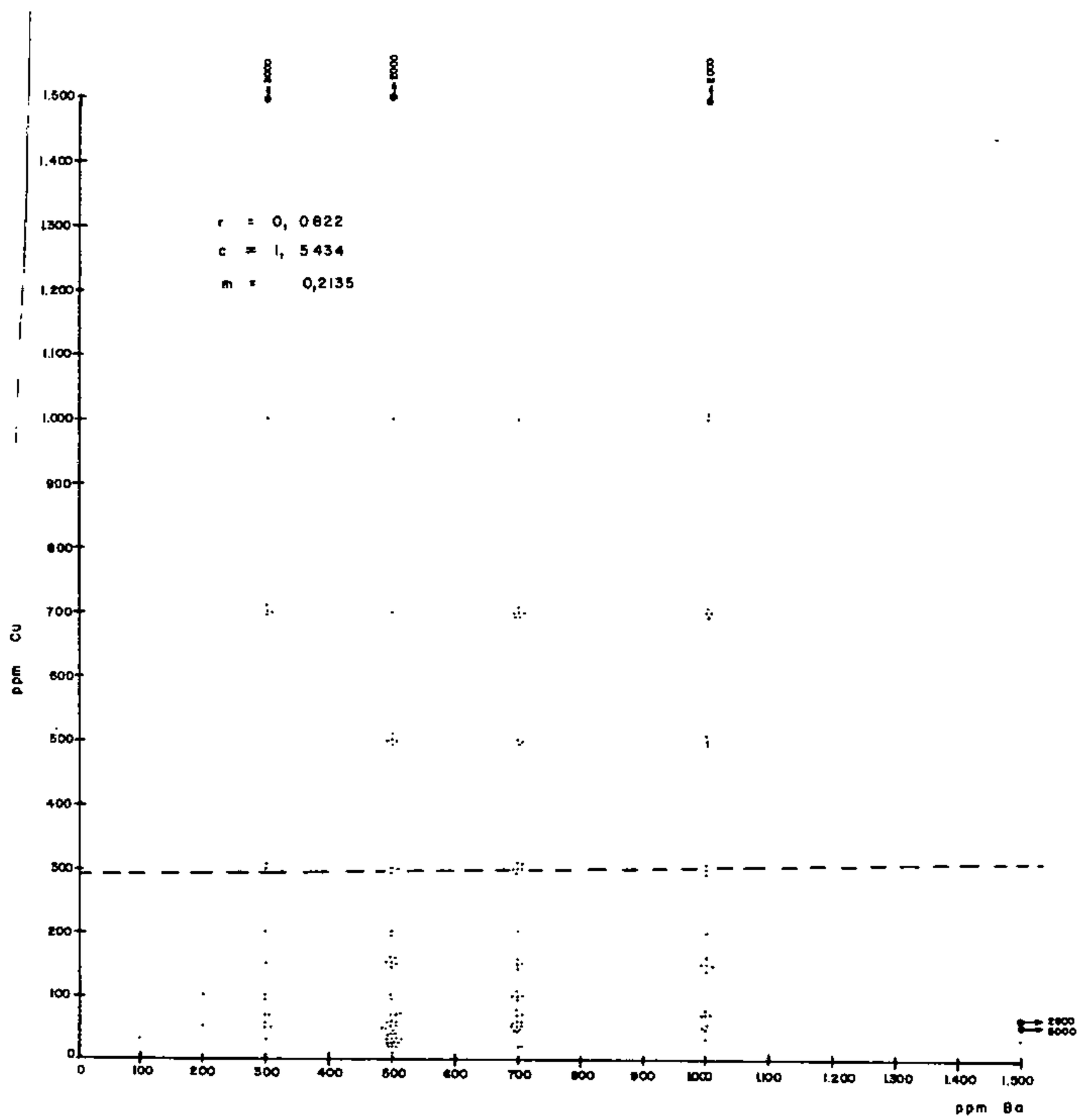


FIG. Nº45 — Correlação entre os teores de Cu e Ba na faixa da coberfura residual. População total (horizontes A, B, e C.)

são linear simples é ilustrado pela técnica bem conhecida (ROSE, 1970) de se traçar uma linha reta para uma série de dados visando definir a relação entre uma variável independente e uma variável dependente Y. Tem-se uma equação da forma Y = b + mx, onde b e m são respectivamente, a interseção e o declive.

No caso onde haja um grande número de variáveis independentes, a regressão linear múltipla sequencial considera a determinação simultânea da relação de um número de variáveis independentes com uma variável dependente, segundo a equação:

$$Y = b_0 + b_1 x 1 + b_2 x 2 + \ldots\ldots + b_k x k$$

onde Y é o valor estimado da variável dependente, $X_1 \ldots\ldots X_k$ são valores das variáveis independentes, b_0 é a interseção e $b_1 \ldots\ldots b_k$ são os coeficientes da interseção.

No presente estudo, a regressão linear será utilizada com o objetivo específico de caracterizar, do ponto de vista geoquímico, determinadas associações críticas, envolvendo o comportamento de alguns metais (Ni, Co, Cu, Fe, Mn e V) com relação a variabilidade do cobre numa faixa de solo residual de rocha máfica norítica-piroxenítica com boa disseminação de sulfetos de cobre (0,5% de Cu, em média).

A regressão linear foi testada para as associações no alvo prospectado, colocando-se o cobre como variável dependente, e para variáveis independentes foram selecionados os seguintes elementos tipicamente relacionados a níveis máficos: Ni, Co e Cr e outros: Fe, Mn e V (vide tabela XIV).

O processamento da regressão linear múltipla sequencial foi executada pelo Departamento de Processa-

TAB XIV - SUMÁRIO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA SEQUENCIAL

Variável Dependente : Cu

Variáveis Independentes: Ni, Co, Cr, Fe, Mn, V

VARIÁVEIS DE REGRESSÃO	% REDUÇÃO			
	HORIZ. A	HORIZ. B (SUP.)	HORIZ. B (INF.)	HORIZ. C
Ni-Co-Cr-Fe-Mn-V	88,69	79,72	87,85	94,39
Ni-Co-Cr-Fe-Mn	88,25	79,43	87,83	94,32
Ni-Co-Cr-Fe-V	87,30	79,60	87,31	92,30
Ni-Co-Cr-Mn-V	88,08	79,17	87,82	92,39
Ni-Co-Fe-Mn-V	88,49	79,60	87,78	94,30
Ni-Cr-Fe-Mn-V	88,08	76,50	84,67	84,76
Co-Cr-Fe-Mn-V	81,75	77,42	79,62	89,58
Ni-Co-Cr-Fe	86,85	79,23	87,17	92,29
Ni-Co-Cr-Mn	88,01	79,14	87,81	92,15
Ni-Co-Cr-V	86,63	79,03	87,26	90,75
Ni-Co-Fe-Mn	88,21	79,11	87,73	94,24
Ni-Co-Fe-V	86,97	79,42	87,20	91,62
Ni-Co-Mn-V	87,97	78,79	87,74	92,04
Ni-Cr-Fe-Mn	87,18	76,50	86,67	84,70
Ni-Cr-Fe-V	86,77	76,44	84,16	86,60
Ni-Cr-Mn-V	82,83	75,98	83,69	82,30
Ni-Fe-Mn-V	87,72	73,05	84,27	81,08
Co-Cr-Fe-Mn	81,34	76,57	78,34	89,53
Co-Cr-Fe-V	81,74	76,58	78,91	89,22
Co-Cr-Mn-V	81,70	76,05	78,70	87,11
Co-Fe-Mn-V	69,67	75,69	70,17	79,98
Cr-Fe-Mn-V	79,76	73,69	74,72	81,69
Ni-Co-Cr	76,57	78,97	87,17	90,73
Ni-Co-Fe	86,74	78,68	86,98	91,56
Ni-Co-Mn	87,95	78,68	87,72	91,83
Ni-Co-V	86,41	78,49	87,15	89,69
Ni-Cr-Fe	85,89	76,44	84,14	84,59
Ni-Cr-Mn	82,65	75,91	83,41	81,23
Ni-Cr-V	81,57	75,95	83,26	83,32
Ni-Fe-Mn	87,11	72,94	84,27	80,74
Ni-Fe-V	86,25	72,57	83,68	80,68
Ni-Mn-V	82,47	71,87	83,12	76,34
Co-Cr-Fe	81,33	75,76	77,85	89,11
Co-Cr-Mn	81,30	75,90	78,07	87,11

Continuação ...

TABELA XIV - SUMÁRIO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA SEQUENCIAL

Variável Dependente : Cu
Variáveis Independentes: Ni, Co, Cr, Fe, Mn, V

VARIÁVEIS DE REGRESSÃO	% REDUÇÃO			
	HORIZ. A	HORIZ. B (SUP.)	HORIZ. B (INF.)	HORIZ. C
Co-Cr-V	81,70	74,72	77,78	87,00
Co-Fe-Mn	66,70	71,34	57,07	77,49
Co-Fe-V	67,13	74,17	64,86	79,56
Co-Mn-V	67,55	70,32	66,73	71,17
Cr-Fe-Mn	78,44	73,59	73,77	81,31
Cr-Fe-V	79,64	72,15	73,56	81,49
Cr-Mn-V	75,23	73,61	74,63	80,51
Fe-Mn-V	55,34	53,00	55,87	52,22
Ni-Co	86,41	78,26	86,98	89,69
Ni-Cr	81,38	75,86	82,71	81,22
Ni-Fe	85,73	72,30	83,58	80,11
Ni-Mn	81,85	70,89	82,54	72,16
Ni-V	81,05	71,50	82,60	76,34
Co-Cr	81,29	74,66	77,40	86,99
Co-Fe	61,12	69,00	48,81	76,56
Co-Mn	66,07	67,89	56,67	68,63
Co-V	61,49	65,13	58,55	71,15
Cr-Fe	78,27	72,11	72,86	81,17
Cr-Mn	75,22	73,41	73,02	79,12
Cr-V	75,13	72,13	73,50	80,05
Fe-Mn	52,36	40,97	34,84	33,10
Fe-V	38,41	32,68	42,06	49,33
Mn-V	52,21	52,98	55,86	49,82
Ní	80,33	70,10	81,51	72,05
Co	58,54	62,37	47,17	68,44
Cr	75,13	72,04	72,32	78,74
Fe	25,31	4,36	10,29	30,33
Mn	38,69	37,10	25,42	9,58
V	36,35	32,43	41,94	45,37

TABELA XV - EQUAÇÕES LINEARES DE CORRELAÇÃO, ONDE O COBRE É A VARIÁVEL DEPENDENTE E CADA UM DOS OUTROS METAIS FUNCIONA COMO VARIÁVEL INDEPENDENTE, SEGUNDO A EQUAÇÃO $Cu = a_0 + a_1 y$.

PARA OS DADOS LOG-TRANSFORMADOS	PARA OS DADOS BRUTOS
1. Cu = 1,5413 + 0,9161 (Fe)	Cu = - 15,25 + 59,78 (Fe)
2. Cu = 2,2168 + 1,5762 (Mg)	Cu = - 190,75 + 465,49 (Mg)
3. Cu = 2,1157 + 0,3202 (Ca)	Cu = 249,70 + 36,96 (Ca)
4. Cu = 2,4245 - 1,2095 (Ti)	Cu = 1039,20 - 741,84 (Ti)
5. Cu = - 0,4202 + 0,9230 (Mn)	Cu = 165,75 + 0,19 (Mn)
6. Cu = 1,5434 + 0,2135 (Ba)	Cu = 290,17 + 0,01 (Ba)
7. Cu = 0,5277 + 1,2088 (Co)	Cu = - 30,67 + 11,83 (Co)
8. Cu = - 0,2830 + 1,1060 (Cr)	Cu = - 29,94 + 1,24 (Cr)
9. Cu = 3,9453 - 0,9556 (La)	Cu = 465,90 - 1,76 (La)
10. Cu = 0,2636 + 1,3154 (Ni)	Cu = - 90,74 + 4,06 (Ni)
11. Cu = 1,6625 + 0,3788 (Pb)	Cu = 413,19 - 6,00 (Pb)
12. Cu = - 1,377 + 1,9602 (Sc)	Cu = - 429,47 + 45,37 (Sc)
13. Cu = 4,4889 - 0,9774 (Sr)	Cu = 564,08 - 0,93 (Sr)
14. Cu = - 2,8010 + 2,3940 (V)	Cu = - 528,65 + 6,77 (V)
15. Cu = 1,4542 + 0,5477 (Y)	Cu = 262,48 - 1,81 (Y)
16. - - - -	Cu = 432,85 - 0,25 (Zr)

mento de Dados da CPRM.

Resultados obtidos - Em todos os casos (tab. XIV), para os horizontes, A, B e C pode-se ver que depois da entrada de duas variáveis não se tem muito mais variância do cobre explicada ("accounted for"), isto é, não se tem maior quantidade de informações motivadas. Então torna-se viável estabelecer a hipótese de que o cobre está seguindo o Ni, Cr e Co, numa estreita correlação nos meios secundários e primários. Isto é possível se o cobre substitui os mesmos elementos (Fe e Mg) que Ni, Cr e Co, ou caso estejam ocorrendo, simultaneamente, os minerais que encerraram cada representante da associação assinalada.

As associações Ni-Co, Ni-Fe e Ni-Cr comportam-se de forma similar independentemento dos horizontes testados (A, B superior, B inferior e C), sendo que a associação Ni-Co é a que melhor explica ("accounted for")a a variabilidade do Cu (tab.XIV), alcançando a significativa taxa de redução de 89,69%.

As associações Ni-Mn e Ni-V comportam-se de forma similar nos horizontes A e B (nível superior).

As associações (1) Co-Cr, (2) Co-Mn e (3) Cr-Fe comportam-se de forma similar, respectivamente , (1) nos horizontes B superior e C, (2) B superior e (3) horizonte C para "explicação" da variabilidade do cobre.

Com relação as associações testadas,o comportamento geoquímicos das mesmas na explicação da variabilidade do cobre é em grande parte,entre outras condicionantes físico-químicas,um reflexo da cristaloquímica do ambien

te primário cujos efeitos parecem não totalmente removidos no solo máfico residual do alvo-teste. Assim, a similitude dos raios atômicos do Fe (1,27A°), Co (1,26A°) e Ni (1,24A°), com diferenças de apenas 1 a 2%, condicionam primariamente uma série de substituições isomórficas secundariamente caracterizadas pelas associações citadas no solo residual.

A significativa associação Ni-Co, na explicação da variabilidade do cobre, é, talvez, fundamentada pela alta afinidade dos referidos metais com relação ao enxofre, o que determinaria, sob condições redutoras, a concentração dos citados elementos nas argilas do solo residual com bom teor de matéria orgânica decomposta, segundo GOLDSCHMIDT (1954) sendo não raramente precipitados como sulfetos em tais ambientes, o que poderia, em pequena escala, se processar no ambiente secundário do alvo-teste.

Com relação a associação Cr-Fe, convém notar que a grande similitude entre os raios iônicos do Cr^{3+} (0,64A°) e Fe^{3+}(0,67A°) possibilitariam substituições isomórficas nos prováveis minerais de espinélio férrico, componentes admissíveis no complexo máfico-ultramáfico do alvo-teste. A grande correspondência entre as suas propriedades químicas, tamanho iônico, carga iônica, etc., poderiam, talvez, explicar, subordinadamente, a estreita associação desses íons no ciclo exogênico.

Quanto ao comportamento das associações Ni-Mn e Co-Mn no solo residual, deve-se ter em mente que o $Mn(OH)_2$ e MnO_2 sols e gels, sendo negativamente carregados, adsorvem facilmente cátions presentes em soluções, tais como Co^{++} e Ni^{++} (RANKAMA e SAHAMA, 1950), o que no alvo-teste é favorecido pela predominância de argila montmorilonítica com alta capacidade de troca por adsorção de superfície.

Nos capítulos subsequentes serão feitas considerações complementares sobre o comportamento de algumas associações de metais na faixa pesquisada, envolvendo considerações físico-químicas.

Um aspecto importante quando se estuda regressão linear múltipla sequencial é no que se refere às variáveis independentes.

Assim, pode-se ver na tabela IX que as correlações da população total (horizontes A, B e C), entre Ni e Cr, Ni e Co, Co e Cr são respectivamente, 0.91, 0.61 e 0.65. Pode-se ver que existe uma correlação muito alta entre Cr e Ni, o que permite concluir que estas duas variáveis não são independentes.

Portanto, torna-se conveniente usar cromo ou níquel, mas não ambos, na análise de regressão.

Existe uma correlação razoável entre Co e Ni (0.61) e Co e Cr (0.65). Então poder-se-á usar a equação de $Cu = a_0 + a_1 Ni$ ou $Cu = a_0 + a_1 Cr$ para estimativa do valor de Cu.

Nos resultados da regressão linear múltipla sequencial (tab. XIV) pode-se observar que existe maior percentagem de redução para horizonte C e menor % de redução nas etapas respectivas dos níveis inferior e superior do horizonte B. Isto pode evidenciar um efeito da separação dos elementos traços, principalmente Ni, Co e Cr no meio secundário, possivelmente condicionado por variações discretas no ambiente físico-químico do halo de alteração da rocha matriz. Convém notar, entretanto, que os metais não estão tão dispersos que a correlação seja removida.

Para o horizonte A assinala-se, por sua vez, um aumento relativo de % de redução em relação ao hori

zonte B. Isto decorre, possivelmente, das condicionantes físico-químicas deste nível (horizonte A), caracteristicamente montmorilonítico e rico em matéria orgânica decomposta, comumente susceptível a um enriquecimento em íons metálicos em decorrência da alta capacidade de troca das argilas que atraem e envolvem os íons metálicos por adsorção de superfície. Ademais, o horizonte A é particularmente favorável ao aporte de materiais carreados em superfície, os quais tenderiam a se acumular localmente na superfície plana do alvo-teste.

A influência do ciclo biogênico parece ser considerável com relação as associações de metais que explicam a variabilidade do cobre. Particularmente o horizonte A, sensivelmente enriquecido em matéria orgânica decomposta, se apresenta susceptível a uma maior influência relativamente ao comportamento dos metais. Convém notar que as soluções enriquecidas de humus aumentam a solubilidade dos minerais detríticos nos solos e rochas (GOLDSCHMIDT,1954), enquanto certos elementos, como Fe e Mn, são postos em solução na forma de complexos húmicos. A influência do humus no processo de intemperismo é dupla: (1) o CO_2 liberado pelo humus durante a atividade microbiológica ou reações químicas atua como agente dissolvente para os minerais pelo aumento da concentração hidrogênio-iônica da água, assim ativando o intemperismo químico e (2) os complexos húmicos, devido a sua capacidade de trocar e absorver cátions, desempenham um importante papel na desintegração das rochas.

Na regressão linear múltipla sequencial estes aspectos do enriquecimento húmico teria um importante significado na explicação da variabilidade do cobre, o que no alvo-teste corresponde a um aumento da percentagem de re

dução do horizonte A com relação ao horizonte B (tab. XIV).

Observa-se, também, que a taxa de aumento da correlação entre Cu e os outros elementos praticamente é a mesma em todos os horizontes. Esta propriedade pode constituir-se mais uma indicação do caráter residual dos solos, embora por si só não constitua uma prova disto.

4.2.8. O ambiente geoquímico em termos de pH e Eh

4.2.8.1. Revisão de conceitos

O desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas recentes envolvendo medições de pH e potencial de oxidação constitui uma importante contribuição para pesquisas de exploração geoquímica.

Estudos básicos neste campo foram desenvolvidos fundamentalmente por GARRELS (1954,1965) e BAAS-BECKING (1960), sendo também abordados por diversos outros autores: HAWKES e WEBB (1962), KRAUSKOPF (1967), VINOGRADOV (1959), PERELMAN (1967) e muitos outros.

SATO (1960) e HANSULD (1965) desenvolveram inúmeras considerações de caráter prático com referência à oxidação dos sulfetos primários em função de variações de pH e Eh. Duas aplicações práticas são particularmente consideradas (HANSULD, 1965) (1) a oxidação dos sulfetos primários no ambiente do afloramento ou sub-afloramento, e (2) o movimento dos metais nos diferentes meios de dispersão.

SATO (1960), com base em medições de campo e considerações teóricas, definiu ambiente de intemperismo e de profundidade representativos das prováveis variações de pH e Eh encontrados em muitos meios de dispersão se

cundária. Registra-se como sendo de particular interesse a ampla variação das condições de pH e Eh observadas em solos. Isto mostra claramente a necessidade de se fazer suas medições no meio específico sob estudo.

Como enfatiza HANSULD (1966) a oxidação de sulfetos é o pré-requisito básico para a dispersão química dos metais. A extensão da oxidação pode ser em alguns casos investigada pela inspeção visual dos afloramentos, todavia é possível pesquisar o problema mais quantitativamente dentro do esboço de pH e Eh.

Para que um sulfeto seja oxidado seu ambiente deve possuir um potencial de oxidação igual ou maior que aquele do sulfeto, num dado pH (HANSULD, 1966).

SATO (1960) pesquisou os processos de oxidação dos sulfetos de Cu, Pb, Ag, Fe e Zn. Os resultados obtidos permitem caracterizar a oxidação direta de um mineral de sulfeto como sendo um processo no qual os átomos do metal movem-se na solução envolvente, tornando-se cátions aquosos, acompanhado pelo decréscimo progressivo da razão metal: enxofre, na fase sólida restante.

Os diagramas de pH - Eh são úteis de diversos modos. Conforme GARRELS (1954), eles fornecem o limite conveniente entre a "zona de oxidação" e a "zona de enriquecimento secundário". Além dos problemas específicos da oxidação dos sulfetos, tais diagramas fornecem uma série de relações de equilíbrio, calculadas entre várias espécies minerais.

Como também enfatiza HANSULD (1960) a aplicação de pH e Eh na exploração geoquímica está ainda no seu começo. Muitos pressupostos devem ser estabelecidos, resultando em grosseiras simplificações.

Convém, todavia, notar que, embora os controles de pH e Eh sejam fatores muito importantes afetando os padrões de distribuição dos metais, não constituem os únicos fatores que devam ser tomados em consideração na interpretação de dados geoquímicos.

4.2.8.2. Condições de pH e Eh no alvo-teste

O pH varia de 5,00 até 8,00 enquanto o Eh oscila de + 90 a + 330 m V no solo residual do alvo pesquisado.

A fig. 46 mostra em diagrama as condições dominantes no ambiente da dispersão secundária(seg. KRAUSKOPF, 1967), sendo aí delimitada a faixa caracterizada pelos estudos do alvo-teste.

Como pode ser observado, trata-se de um ambiente particularmente favorável à precipitação do cobre, sob a forma de hidróxido Cu (OH)2, e, também à formação de oxidados do metal. As condições pouco favorecem a migração do metal, o qual tenderia a formar halos muito contíguos aos níveis mineralizados.

A fig. 47 mostra as relações gerais de estabilidade entre alguns compostos de cobre (GARRELS, 1965). Os campos aparecem bem definidos com relação à formação de óxidos, sulfetos ou do próprio cobre nativo, segundo as condições variáveis de pH e Eh.

As condições de pH, neutro a ligeiramente ácido, ou alcalino (fig. 48), nos quatro níveis testados do alvo-teste, explicam, em parte, a inexistência, no ambiente secundário, de concentrações anômalas significativas para a maioria dos demais metais que encontram condições de pH pou

co favoráveis a uma maior mobilidade, sendo por vezes, apenas detectáveis no nível imediatamente contíguo e sobrejacente ao corpo máfico mineralizado.

Ao nível do horizonte A o pH é ligeiramente ácido (6,45) passando a discretamente alcalino nos níveis inferiores (fig. 48). Convém notar que, neste nível, a matéria orgânica durante a sua decomposição tende a criar condições de potencial de oxidação muito baixo.

Muitos elementos metálicos são solúveis como cátions em soluções ácidas, porém tendem a ser precipitados como hidróxidos ou sais básicos com o aumento do pH (HAWKES e WEBB, 1962). Assim, com a progressiva neutralização de uma solução ácida, o Cu começa a ser precipitado num pH entre 5.0 e 5.5.

Para valores mais altos de pH certos elementos, que mostram propriedades anfotéricas, podem novamente se tornar solúveis, como óxidos de anions complexos, tais como radicais aluminatos e cromatos. A influência conjugada de fatores diversos podem afetar o pH condicionante no qual os constituintes de uma solução aquosa seriam estáveis, o que não permite uma base realística para estabelecer valores fixos correspondentes ao pH de hidrólise dos elementos menores.

No solo residual do alvo-teste, principalmente na faixa contígua ao corpo mineralizado registra-se uma grande disseminação de oxidados de cobre (cuprita, malaquita, azurita, etc.), o que possibilitou uma razoável definição, em termos de pH e Eh, das referidas zonas de oxidação dos sulfetos primários (fig. 49 e 50).

Convém notar, entretanto, que as medições de pH e Eh foram procedidas em laboratório, mediante utili-

zação de aparelho do tipo METROHM HERISAU E-520, o que torna passível de um erro razoável a avaliação do potencial de oxidação, que idealmente deveria ser feito no campo. O estudo teve, entretanto, o objetivo de fornecer uma visão geral de tais parâmetros e despertar a atenção para o seu efetivo significado numa exploração geoquímica.

A principal zona onde se processa uma intensa oxidação dos sulfetos primários fica definida na faixa de pH entre 7,0 e 8,0 com Eh variando de + 100 a + 250 m V (fig. 49 e 50). Tal zona aparece bem caracterizada, em termos de pH e Eh, nos quatro níveis testados, conforme mostram as citadas representações gráficas.

Em termos fundamentais, é admitido que um potencial de oxidação muito baixo é mantido na rocha que contem os sulfetos de Cu e Fe. O processo de intemperismo aí atuante tenderia, naturalmente, a favorecer a formação de depósitos de minério na zona de cimentação, pois o ferro permaneceria, como óxido ou hidróxido, nas regiões de alto potencial de oxidação (na zona de oxidação) enquanto que as soluções cupríferas migrariam, descencionalmente, para áreas de baixo potencial de oxidação, abaixo do lençol freático, onde precipitariam Cu na forma de minérios ricos em sulfetos de cobre.

A fig. 47 extraída de GARRELS (1965) mostra, a título de informação adicional, as relações dos compostos de cobre no sistema $Cu-H_2O-O_2-S-CO_2$. A compreensão deste sistema propicia uma melhor caracterização da associação mineral reconhecida na área-teste, segundo condições originalmente dominantes de pH e Eh. Registra-se que, mesmo na presença de excesso de enxofre, o cobre nativo tem um bom campo de estabilidade. O enxofre se projeta intensamente no

campo ácido sob condições redutoras - o diagrama fornece uma boa fundamentação ao fato de calcocita se precipitar a partir de águas ácidas cupríferas quando estas encontram sulfetos sob condições redutoras. Nota-se também que a calcocita não pode se oxidar para produzir enxofre nativo - sabe-se que enxofre não coexiste com calcocita (GARRELS, 1965).

O comportamento do cobre no ambiente secundário é, talvez, muito complexo quando comparado a outros metais.

Os perfís geoquímicos no solo máfico residual (fig. 56 a 61) fornecem uma boa idéia do comportamento do metal, o que, também, está caracterizado no solo gnáissico (fig. 62 e 63). Nas condições dominantes no alvo-teste, com pH neutro ou ligeiramente alcalino a sua mobilidade é baixa. A presença de limonita, matéria orgânica e minerais de argila (dominantemente montmorilonita) pode adsorvê-lo numa ampla intensidade. Aliás, convém notar que os estreitos halos de dispersão anômala do metal (fig. 52 a 55) podem em grande parte ser explicados por tais fatores condicionantes.

Como observa HAWKES e WEBB (1962), o Cu^{2+} ocorre em combinação com vários anions solúveis na zona de oxidação. As soluções, em migração descencional, podem reagir com sulfetos hipógenos e precipitar tanto cobre nativo como sulfetos ricos em cobre, do tipo calcocita e calcopirita, tais como registrados no alvo-teste, acarretando uma progressiva concentração de cobre na zona de cementação.

No presente capítulo procurou-se, apenas, melhor definir o comportamento do cobre nas condições dominantes no alvo-teste, enfatizando a influência do pH e Eh na precipitação e mobilização do cobre. Tais fatores(pH e Eh)

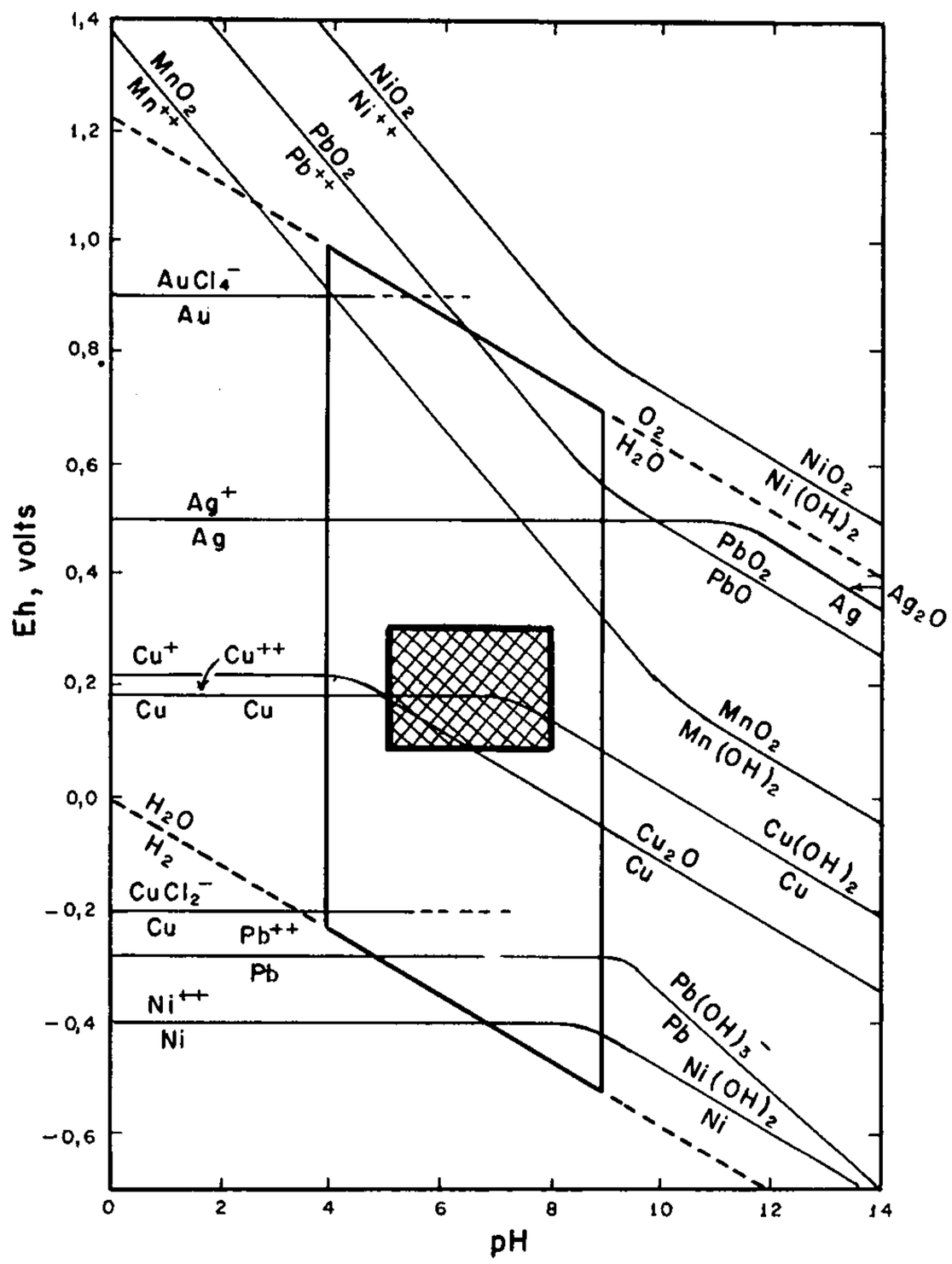


FIG.- 46 Diagrama Eh pH para varios metais. Para atvidade de Cl^- admitiu-se 1M e para a dos ions metalicos 10^{-5} M. (KRAUSKOPF, 1967).

Em hachuriado o ambiente característico da cobertura máfica do PIRULITO

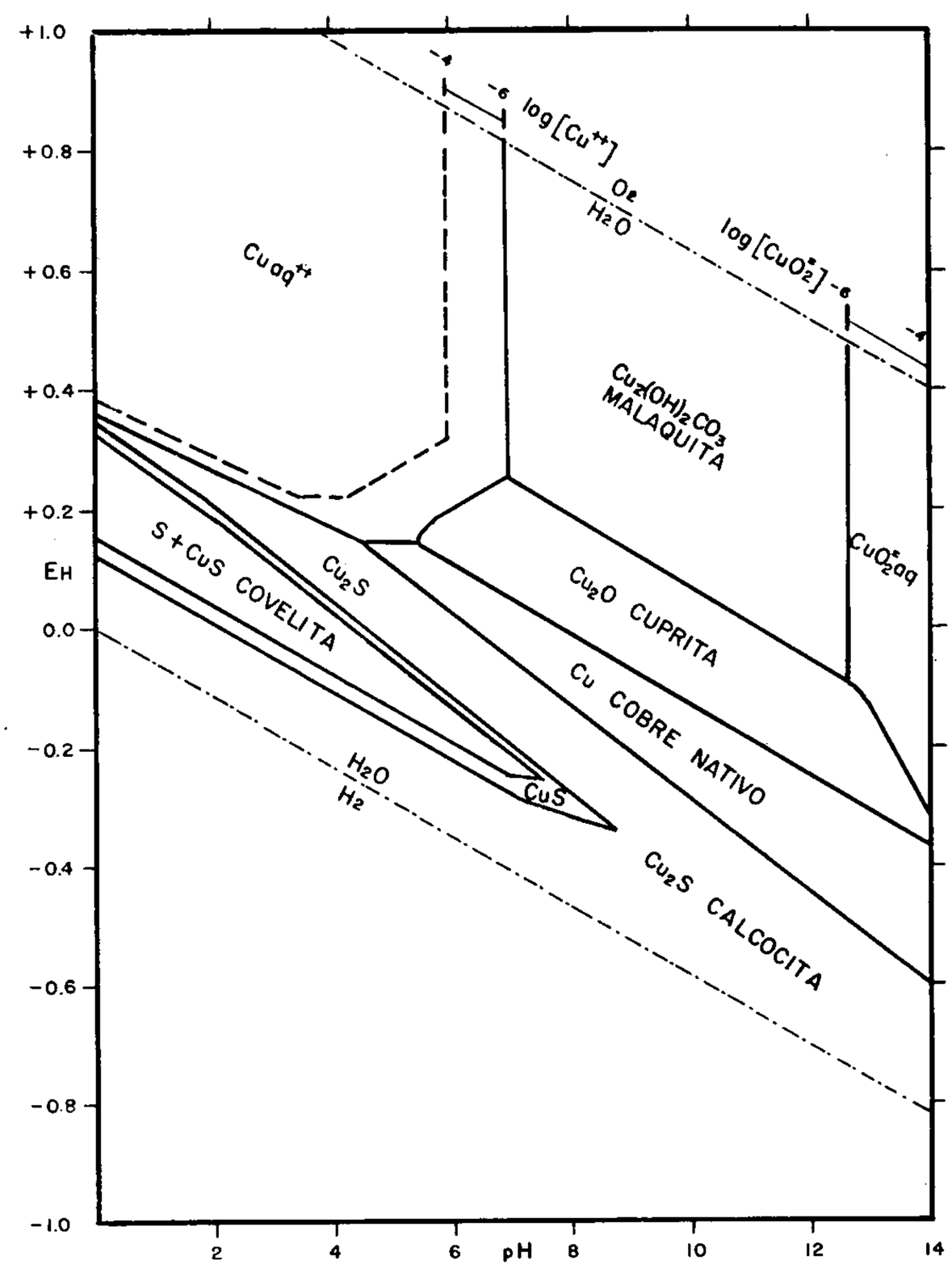
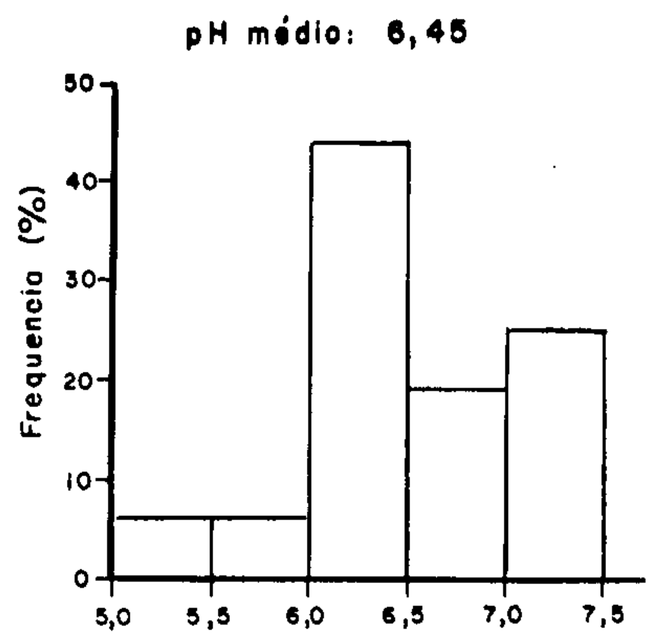
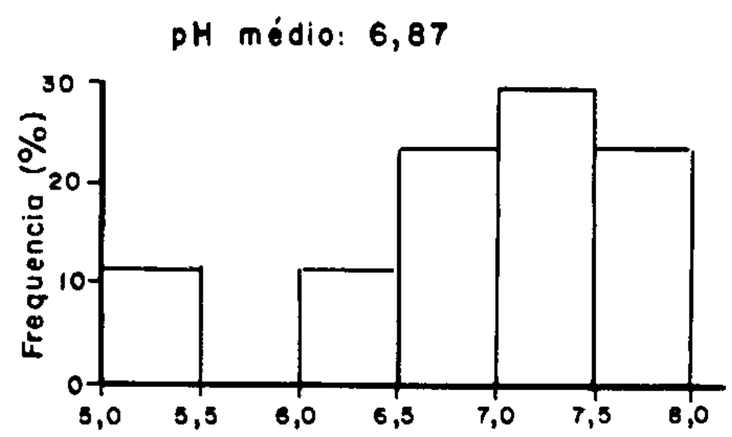


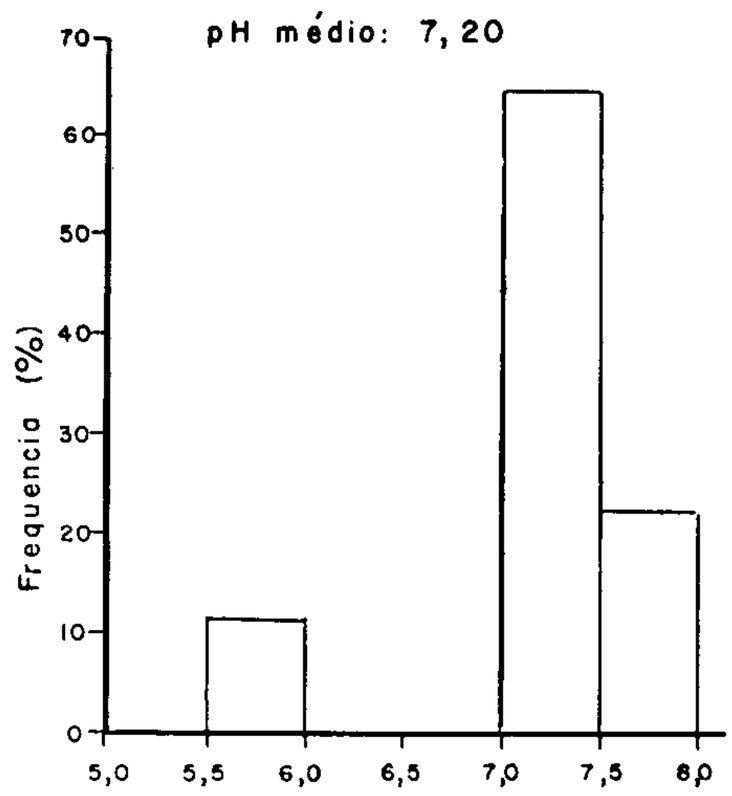
FIG - 47 Relações de estabilidade entre alguns compostos de cobre no sistema $Cu-H_2O-S-CO_2$ a 25° C e 1 atmosfera de pressão total. $Pco_2 = 10^{-3,5}$, especie total do enxofre dissolvido = 10^{-1}. (GARRELS, 1965).



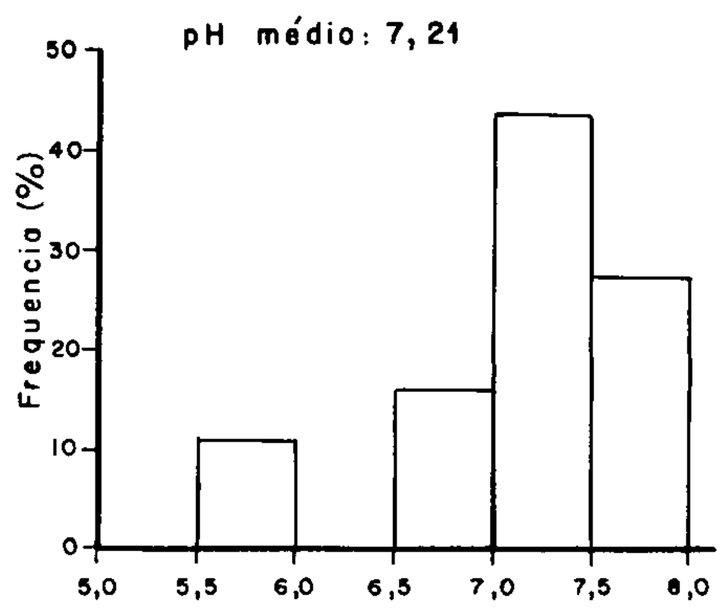
HORIZONTE A



HORIZONTE B (Nível superior)



HORIZONTE B (Nível inferior)



HORIZONTE C

FIG.48 —Histograma de frequências para os valores de pH na cobertura residual (FAIXA MÁFICA)

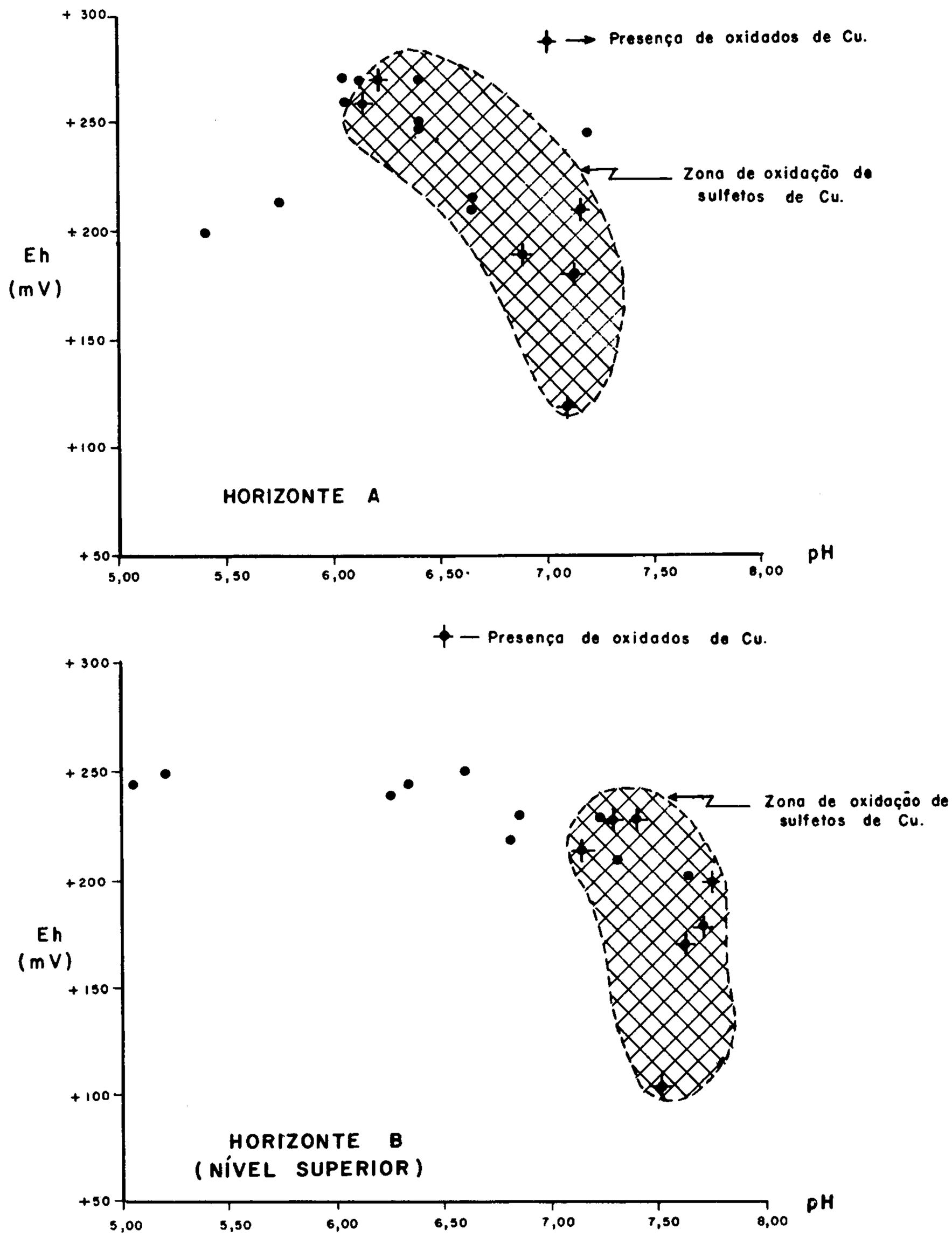


FIG — 49 Ambiente geoquímico em termos de pH e Eh, na cobertura máfica do PIRULITO.— Oxidação dos sulfetos primários

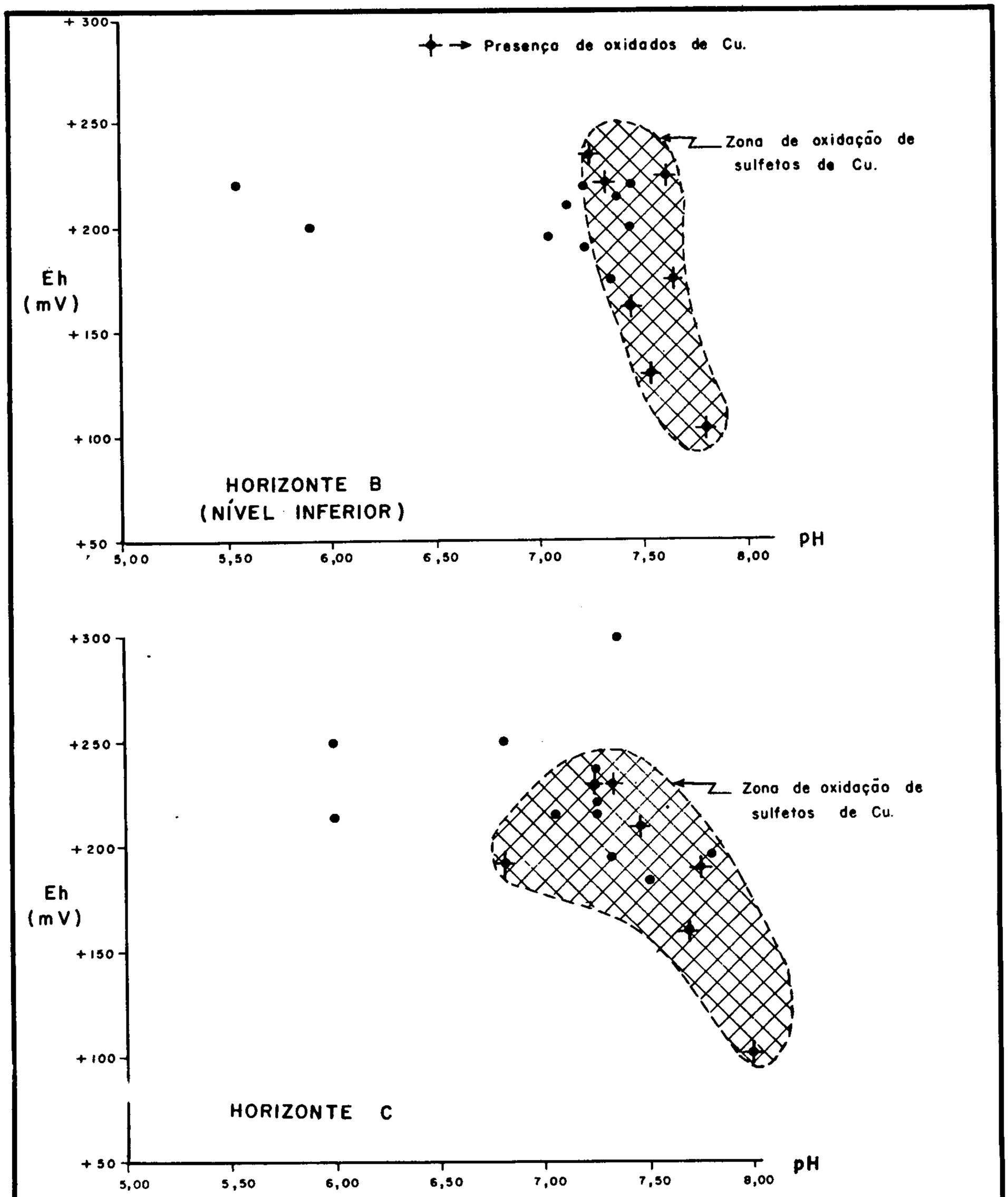


FIG – 50 Ambiente geoquímico em termos de pH e Eh, na cobertura máfica do PIRULITO.– Oxidação dos sulfetos primários.

tem uma importância decisiva e, especialmente as diferenças de potencial de oxidação, podem condicionar muitos processos importantes de separação e enriquecimento de outros elementos eventualmente associados.

4.2.9. O ambiente da dispersão secundária

4.2.9.1. Revisão de conceitos

Os padrões geoquímicos de distribuição dos elementos maiores e menores nos solos residuais constituem, em primeiro plano, um reflexo da distribuição dos elementos na rocha matriz. Este padrão de distribuição primária é a chave para individualização de depósitos de minério subjacentes, constituindo-se na meta final de um levantamento geoquímico (HAWKES e WEBB, 1962).

O material formado pelo solo residual, como resultado da desintegração e intemperismo, reflete regularmente a composição das rochas primárias com relação ao teor, distribuição e combinação dos elementos raros.

Como observa VINOGRADOV (1959), duas fontes principais contribuem na distribuição dos elementos nos solos. A primeira é a rocha mãe, fonte da maioria dos elementos. A segunda contribuição vem da atmosfera com as águas meteóricas, gases e cinzas vulcânicas.

A rocha matriz, todavia, é a principal fonte para a maioria dos elementos encontrados nos solos. O teor de um elemento é determinado pelo seu teor na rocha subjacente. Em alguma amplitude, todavia, ele depende também das condições físicas e geográficas, tais como clima e processo de formação do solo, que mudam o teor original dos

elementos, a natureza das suas combinações e a sua distribuição no perfil.

As propriedades mecânicas são criadas por um complexo de fatores ativos. Estes não são de imediato interesse para a geoquímica, mas sim os resultados das suas ações - a formação de várias frações mecânicas dos solos, e especialmente a formação de frações argilosas mais finas (menor que 0,02mm), a chamada fração coloidal. As propriedades de adsorção de troca estão principalmente conectadas a esta fração.

As rochas ultrabásicas (dunitos, peridotitos, piroxenitos, etc.) e básicas (basaltos, gabros,noritos, diabásios, etc.) contém teores incrementados de todos os elementos do grupo de transição, a chamada "família do ferro", do escândio ao níquel (e mais Cu e Zn que ligam esta série no sistema periódico). Embora diferindo consideravelmente nas suas propriedades químicas, estes elementos são bastante similares com relação aos seus raios iônicos: Ti^{4+} (0,64 Å), V^{3+} (0,65 Å), Cr^{3+} (0,64 Å), Mg^{2+} (0,78 Å), Ni^{2+} (0,78 Å), Cu^{2+} (0,83 Å), Co^{2+}(0,82 Å), Fe^{2+} (0,83 Å), Zn^{2+} (0,83 Å), Sc^{3+} (0,83 Å). A similitude dos seus raios iônicos e, por vezes,das suas propriedades, condicionam numa certa amplitude sua história comum.

A oxidação dos sulfetos é o pré-requisito básico para a dispersão química dos metais. A amplitude da oxidação pode, em alguns casos, ser definida por inspeção visual de afloramentos; todavia, é possível pesquisar o problema mais quantitativamente dentro do suporte de pH e Eh (HANSULD, 1966).

Os sulfetos com potenciais acima do ambiente, deveriam permanecer essencialmente inalterados, não libe

rando, pois, uma concentração suficiente de íons metálicos passível de formar um trend de detectável dispersão. O movimento de metais a partir desses sulfetos "estáveis" deve obedecer, principalmente, a processos mecânicos.

Em regiões quentes e áridas, nas quais os nitratos estão presentes, as condições são mais altamente oxidantes enquanto que em zonas pantanosas os solos orgânicos constituem regiões onde prevalecem condições redutoras.

Como observa HAWKES e WEBB (1962) os fatores genéticos que acarretam a formação de anomalias em solo residual serão, talvez, mais fáceis de serem compreendidos após o conhecimento das suas características individuais físicas e químicas. As mais importantes destas características são: (1) o modo de ocorrência do metal; (2) a forma e magnitude da anomalia; (3) a homogeneidade dos padrões e (4) a profundidade de variação.

Tanto os fatores mecânicos como os processos químicos podem desempenhar um papel importante na dispersão dos metais nos solos. Os processos mecânicos naturalmente predominam no caso de elementos imóveis, ocorrendo como minerais resistentes. Inicialmente, os elementos de mobilidade intermediária podem ser dispersos como soluções aquosas, até que sejam precipitados, sendo que sua subsequente dispersão é dominada mais por fatores mecânicos do que fatores químicos:

A mobilidade química é mais envolvida e é dependente das relações de estabilidade entre as fases cristalina (sólida) e fluida (solução) com movimentos dentro, ou entre, ambientes geoquímicos. A tendência é para formação de assembléias de minerais estáveis.

A variação na distribuição do metal com a

profundidade é também uma consequência natural do intemperismo e formação do solo. Os padrões resultantes da redistribuição no perfil do solo,depende primariamente do mecanismo de dispersão, do comportamento de metais individuais, e do tipo de solo.

Os principais fatores afetando o desenvolvimento do perfil do solo são (ANDREWS - JONES, 1968):

a) Mobilização dos elementos constituintes, devido à desintegração dos minerais do solo;

b) Lixiviação dos elementos móveis tais como zinco, molibdênio e boro;

c) Enriquecimento de elementos traços absorvidos pelas plantas;

d) Translocações mecânicas de minerais de argila na camada de acumulação;

e) Ação de transporte juntamente com ferro, alumínio e ácidos orgânicos;

f) Mobilização ou fixação por microorganismos; e

g) Acumulação superficial de sais solúveis, em regiões áridas ou desérticas.

O desenvolvimento do perfil do solo varia consideravelmente,de acordo com o clima e, em menor extensão, com o tipo da rocha matriz subjacente.

Os conceitos fundamentais aqui apresentados visam, essencialmente, uma compreensão mais acurada dos diversos aspectos envolvidos numa prospecção geoquímica em cobertura residual, e no presente caso, particularmente, ao estudo orientativo executado no alvo-teste do Pirulito.

4.2.9.2. A distribuição de cobre no alvo-teste

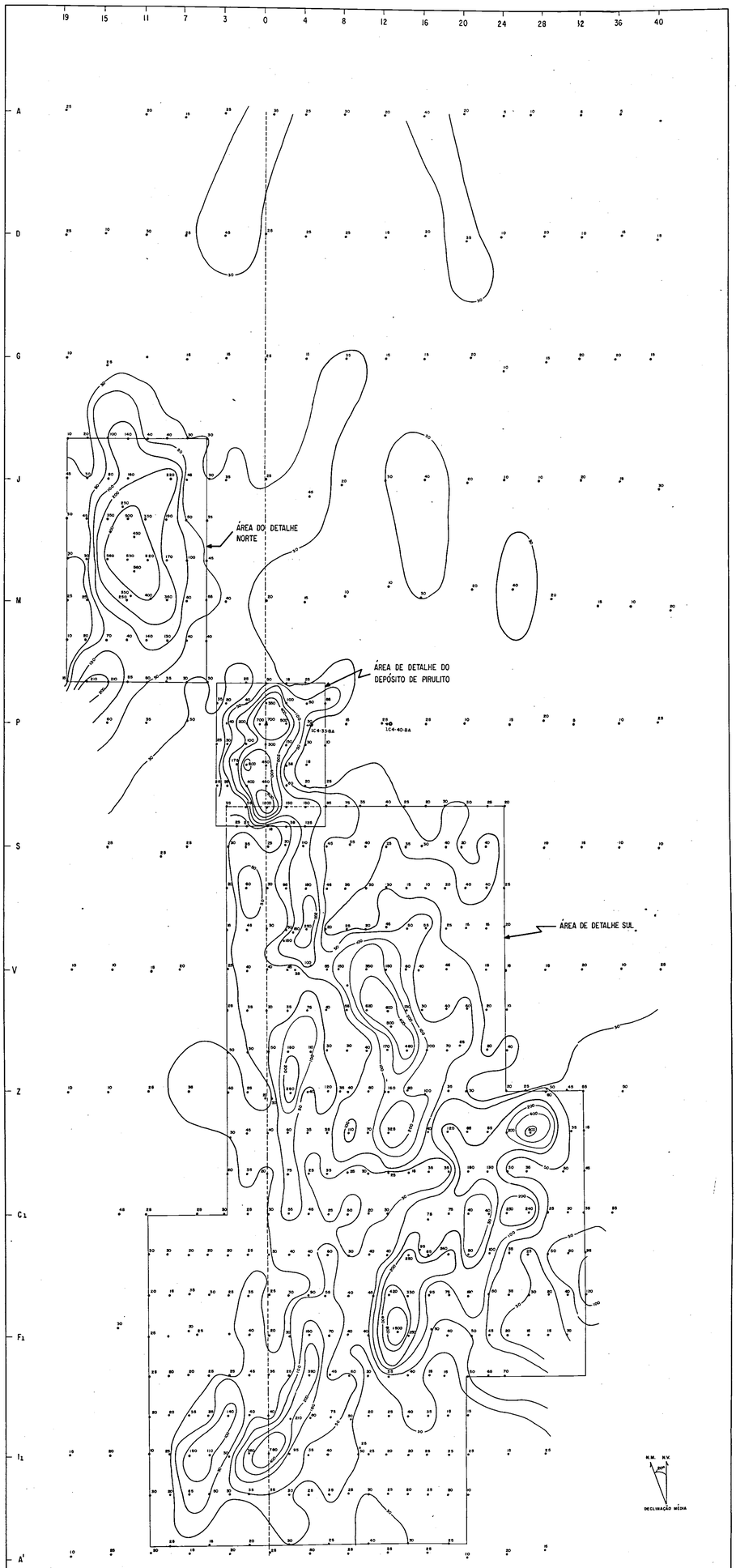
A prospecção geoquímica semidetalhada executada na localidade denominada fazenda Sertãozinho (fig. 11), com base na caracterização prévia da geologia regional (fig. 12), permitiu a individualização de faixas significativamente anômalas para cobre (fig. 51) estreitamente correlacionadas a coberturas de rochas do complexo máfico-ultramáfico . São evidenciadas concentrações seguramente anômalas quando comparadas ao "background" regional, situado numa faixa de 40ppm de cobre em solo residual (horizonte B).

A tabela XI apresenta um sumário das estatísticas com relação às populações geoquímicas dos solos residuais (horizonte B), segundo as diversas litologias regionalmente distribuídas na área da fazenda Sertãozinho e adjacências (gnaisse quartzo-feldspático, corpo máfico-ultramáfico, granito róseo e biotita-gnaisse anfibolítico).

A tabela XVI, extraída de LEWIS e SANTOS (1966), fornece um quadro para uma melhor caracterização das faixas de variação de alguns metais em solos residuais derivados das variedades de rochas existentes na zona da jazida de Caraiba. A observação dos dados permite estabelecer uma certa similitude na distribuição dos valores de cobre daquela faixa,quando comparados aos teores exibidos regionalmente em área do Alvo L-2, incluindo o alvo-teste do Pirulito (vide

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVENÇÕES

- Ponto de amostragem de solo com teor de Cu em ppm
- Curva de isoteor (ppm Cu)
- Picada - eixo carroçável
- Marco DNPM - CPRM Nº 3
- Furo de sonda com indicação da direção

CÁLCULOS ESTATÍSTICOS (Resumo)

Background: $\bar{x}$ = 40 ppm Cu

1º Limiar: $\bar{x} + \sigma$ = 104 ppm Cu

2º Limiar: $\bar{x} + 2\sigma$ = 274 ppm Cu

3º Limiar: $\bar{x} + 3\sigma$ = 709 ppm Cu

Intervalo de significância da média Nível de 99,72%

35 ppm < μ < 45 ppm Cu

PROJETO COBRE — CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA PARA COBRE

ALVO L-2

CONVÊNIO CPRM DNPM

SALVADOR — BA

Técnicos responsáveis: Geólogos João D. de Souza, Dorivd C. Bruni, Luis F. P. Fragomeni

ESCALA

50m 0 50 100 150 200 250 300m

Figura 51

TABELA XVI - FAIXA DE VARIAÇÃO DE VALORES MÉDIOS ("BACKGROUND") EM PARTES POR MILHÃO(PPM) NOS SOLOS DERIVADOS DAS VARIEDADES DE ROCHAS EXISTENTES EM CARAÍBA (SEGUNDO R. W. LEWIS JR. e A. M. SANTOS, 1966).

GRANITO		GNAISSE		ANFIBOLITO		GABRO		ULTRABÁSICAS NÃO MINERALIZADAS	
FAIXA	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA
Cu - 0-75	40	5 - 200	75	40 - 200	75	50 - 150	50	75 - 150	100
Pb - 0-10	5	0 - 40	0	0 - 10	0	0 - 20	5	0 - 10	0
Zn - 0-20	7,5	0 - 10	5	0 - 25	15	5 - 15	5	10 - 35	20
Ni - 0-40	0	0 - 40	0	20 - 450	150	0 - 80	40	150 - 900	300
Co - 0-20	15	0 - 20	15	0 - 75	25	20 - 35	20	20 - 150	30
Cr - 0-70	20	0 - 20	10	0 - 100	20	0 - 150	50	200 - 1.000	300
Mo - 0-25	1,5	0 - 4	1,5	1,5 - 4	2	0 - 4	1,5	1,5 - 5	1,5

tabela XI).

Os níveis máficos subaflorantes, conspicuamente mineralizados, constituem uma feição de grande ubiquidade no panorama geoquímico regional. O teor médio de cobre é da ordem de 130ppm nos referidos solos máficos. Tal concentração contrasta, em média, de 5 vezes com relação as médias estimadas para as demais populações em solos residuais (tab. XI).

O levantamento geoquímico semidetalhado torna por demais evidenciado o caráter particularmente favorável de um corpo máfico-ultramáfico(norítico-piroxenítico) na faixa denominada Pirulito. Aí, a abertura de trincheiras mostra disseminações de oxidados de cobre e, mais esporadicamente, mineralizações de sulfetos de cobre. Nessa faixa foram procedidos os estudos orientativos, através da amostragem em quatro níveis do solo (horizonte A, B - níveis superior e inferior, e C).

A tabela XII apresenta um sumário das estatísticas para cobre referente à população total do alvo-teste. Registra-se um incremento dos teores de Cu com a profundidade, enquanto que a variância mostra apenas pequenas discrepâncias nos quatro níveis, o que,"a priori", poderia definir uma equivalência dos mesmos em termos de representatividade geoquímica das suas populações.

A distribuição geoquímica do cobre no alvo-teste, segundo os níveis testados, é apresentada nas figuras 52 a 55 complementadas com os respectivos estudos de média móvel, conforme Anexos II a V. Ao nível do detalhamento executado (escala 1:1.000) a técnica da média móvel, para efeito de avaliação interpretativa dos padrões de dispersão na faixa anômala, não apresentou nenhuma contribuição efetiva.

Todavia, em termos de reconhecimento regional ou semi-regional, a técnica da média móvel empresta uma efetiva contribuição ao delineamento de áreas potencialmente favoráveis. Assim, a adoção de uma malha de média móvel segundo dimensões de 400m (E-W) x 800m (N-S) na área da fazenda Sertãozinho (vide Anexo I), incluindo o corpo mineralizado do Pirulito, permitiu através mapa de distribuição estabelecer com razoável precisão o "trend" das anomalias regionais, corrigindo eventuais distorções acarretadas por teores anômalos isolados. A isopleta de 50ppm de Cu delineia de modo contínuo os corpos máficos-ultramáficos enquanto o contorno de 200ppm caracteriza, com bastante segurança, os principais centros mineralizados. (Anexo I).

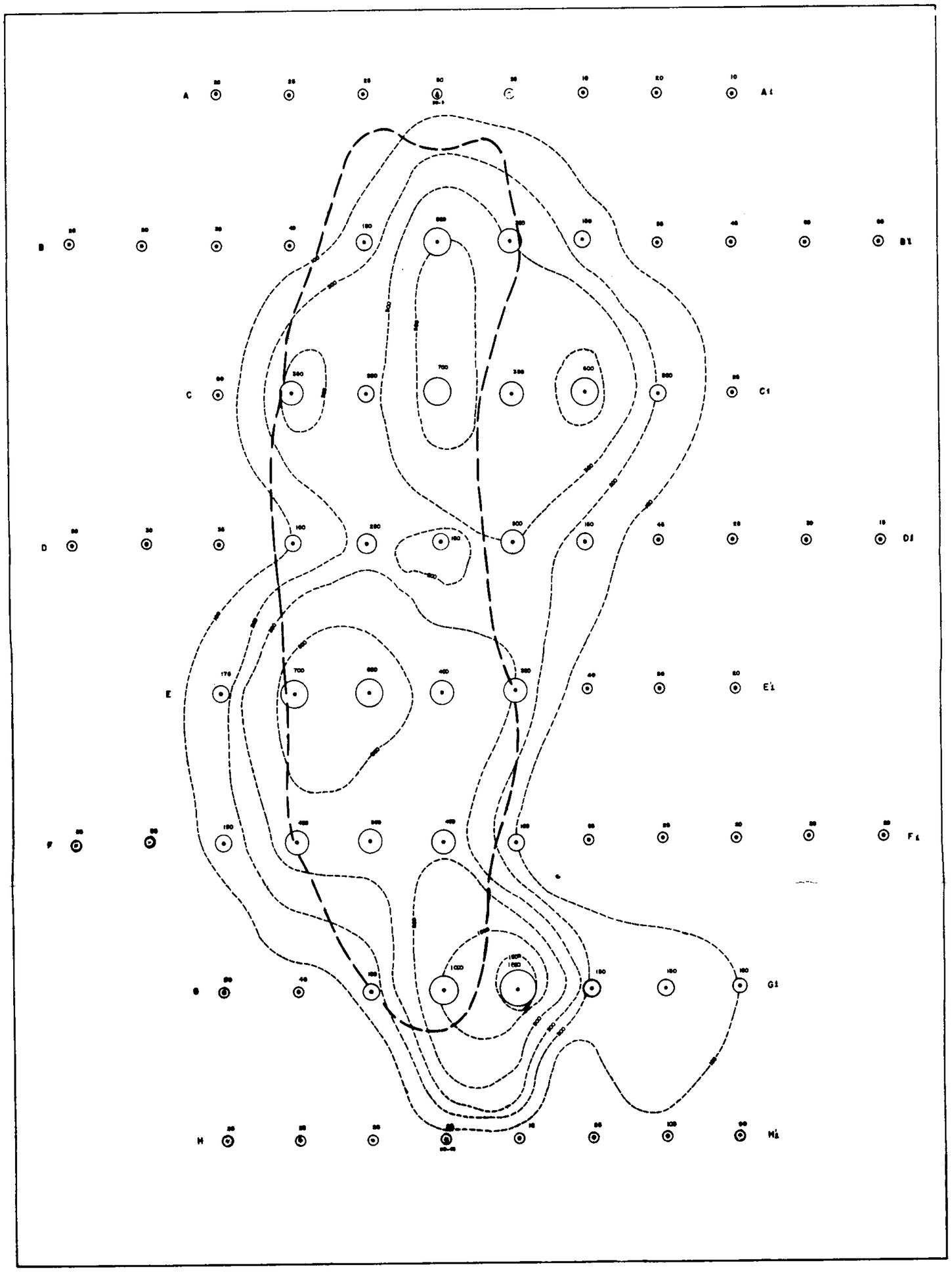
A isopleta de 100ppm Cu nos horizontes A, B e C (fig. 52 a 55) constitui um bom delineamento da geometria do corpo máfico, o que fica ainda melhor visualizado ao nível da rocha decomposta (fig. 55), refletindo a estrutura falhada do bloco máfico. Tal concentração (100ppm Cu) pode, efetivamente, em termos práticos, ser considerada como o "limiar" de anomalia, em que pese as estimativas teóricas reproduzidas nas tabelas XI e XII.

Registra-se, tanto nas faixas argilosas quanto nas arenosas, que as anomalias mais intensas e melhor definidas são obtidas pela amostragem dos horizontes B e C (fig. 52 e 55). Todavia, as profundidades nas quais esses horizontes ocorrem, são normalmente muito maiores e mais variáveis para os propósitos visados numa prospecção rotineira, embora uma amostragem profunda numa anomalia próxima a superfície permita, com maior segurança, definir um subafloramento mineralizado.

No solo da rocha mineralizada o teor de co

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVÊNIO

CPRM DNPM

SALVADOR - BA

Técnico responsável: Geol. Derivel C. Grossi

PROJETO COBRE — CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLOS RESIDUAIS
AMOSTRAGEM ORIENTATIVA DOS HORIZONTES A,B e C
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA PARA COBRE
HORIZONTE A — DEPÓSITO PIRULITO

ESCALA

1975

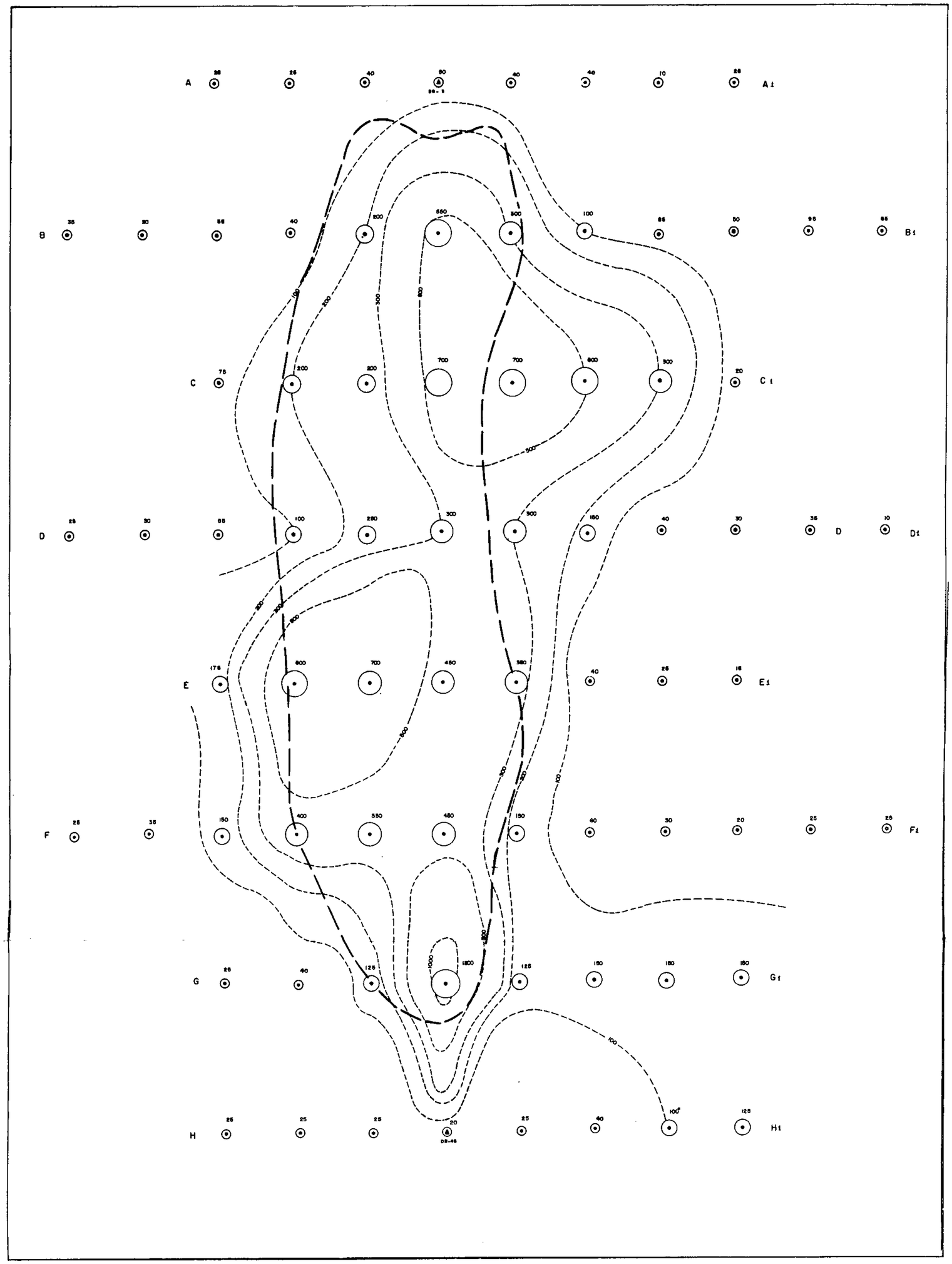
Figura 52

N.M. N.V.

146

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVÊNIO
CPRM DNPM
SALVADOR – BA

Técnico responsável: Geol. Derival C Bruni

PROJETO COBRE — CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLOS RESIDUAIS
AMOSTRAGEM ORIENTATIVA DOS HORIZONTES A, B e C
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA PARA COBRE
HORIZONTE B SUPERIOR DEPÓSITO PIRULITO

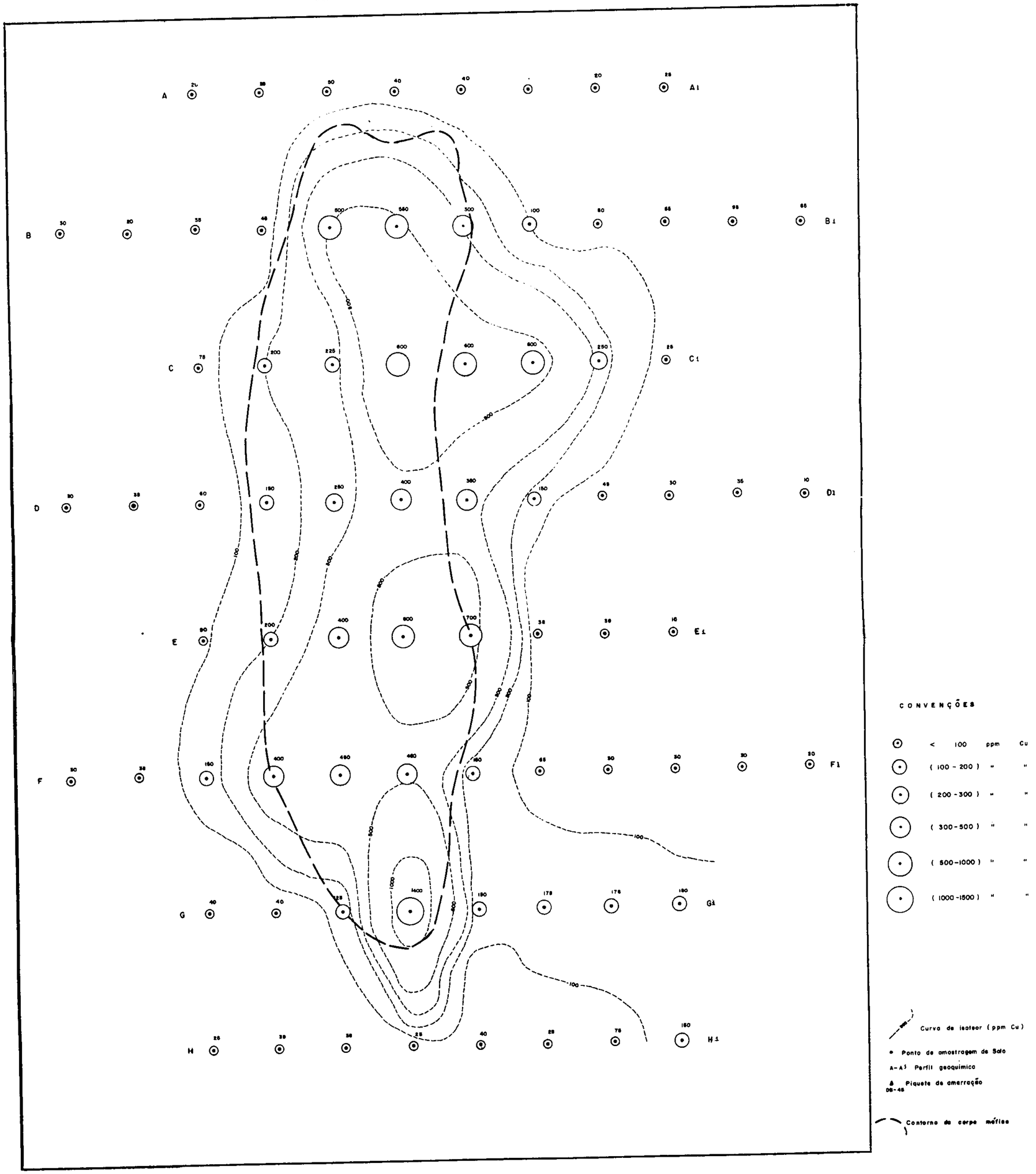
ESCALA

1975

Figura 53

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



PROJETO COBRE — CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLOS RESIDUAIS
AMOSTRAGEM ORIENTATIVA DOS HORIZONTES A,B e C
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA PARA COBRE
HORIZONTE B INFERIOR DEPÓSITO PIRULITO

ESCALA

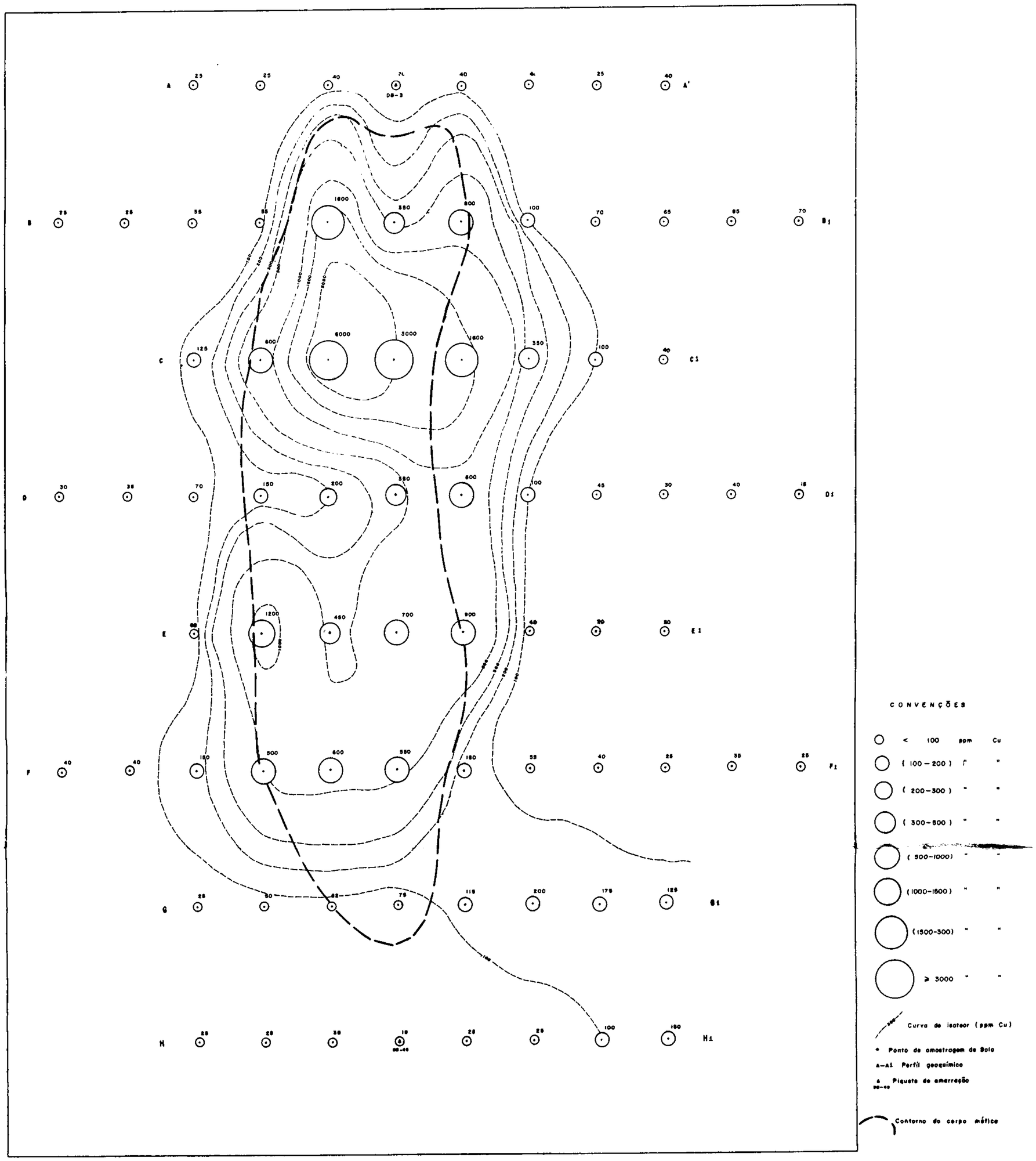
1978

CONVÊNIO
CPRM DNPM
SALVADOR – BA
Técnico responsável: Geol. Derivel C Bruni

Figura 54

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL



CONVÊNIO
CPRM DNPM
SALVADOR – BA

Técnico responsável: Geol. Derivat C. Bruni

PROJETO COBRE — CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLOS RESIDUAIS
AMOSTRAGEM ORIENTATIVA DOS HORIZONTES A, B e C
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA PARA COBRE
HORIZONTE C DEPÓSITO PIRULITO

ESCALA

1 75

Figura 55

N.M. N.V.
22°
DECLINAÇÃO

Desenho de: [illegible]

bre tende a aumentar progressivamente com a profundidade (fig. 59 a 61), sendo que o efeito da lixiviação parcial é notadamente marcada nas profundidades de 15 a 30cm (fig. 56 a 58). O declive do terreno para SW, a partir da faixa mineralizada, tende a se refletir na migração do metal na zona de carreamento do solo, afetando principalmente o horizonte A (fig.52 a 54). Esse nível mostra, por sua vez, na cobertura máfica, uma sensível concentração de substâncias húmicas, o que possivelmente condiciona uma permanente adsorção de cobre neste solo. Sabe-se que o cobre está, especialmente, fortemente ligado em argilas montmoriloníticas (VINOGRADOV, 1959),do tipo aí dominante.

Nos níveis superficiais o cobre existe parcialmente em estado trocável e em parte fortemente ligado (mais forte que o Ca e Mg) na matéria orgânica.

Para efeito de uma melhor caracterização da distribuição geoquímica dos metais, visando estabelecer associações típicas e correlações, foram selecionados três perfís transversais ao corpo máfico mineralizado (Perfís $B-B_1$, $D-D_1$ e $F-F_1$) onde foi testado uma gama de 30 elementos (tab. III), entre os quais 17 revelaram teores acima do limite de sensibilidade do método (tab. X).

A observação dos mapas de distribuição geoquímica para cobre (Anexos VI a IX), cromo (Anexos X a XIII) e cobalto (Anexos XVIII a XXI), evidencia a estreita correlação existente entre os mesmos, como, aliás, já foi abordado precedentemente. Os perfís geoquímicos horizontais (fig. 56 a 58) e verticais (fig. 59 a 63) confirmam esta forte correlação. Registra-se, entretanto, no solo residual,concentrações significativamente anômalas apenas para cobre,refletindo com razoável segurança as mineralizações do corpo subaflorante.

Para os demais metais, com teores acima do limite de sensibilidade do método, apenas bário, lantânio e zircônio mostram evidências de concentrações em níveis anômalos (tab. X), sendo para maioria dos elementos registradas concentrações em níveis de "background" citado pela literatura (HAWKES e WEBB, 1962; VINOGRADOV, 1959) com relação a corpos máficos-ultramáficos.

O cobre mostra uma forte correlação com Cr (0,91) e Ni (0,90), conforme figuras 37 e 38, ao nível do solo máfico. A distribuição geoquímica dos metais nos perfís verticais e horizontais (fig. 56 a 63) deixa bem patenteado tal aspecto. O cobalto, embora fortemente correlacionado ao cobre (r = 0,66), exibe uma maior dispersão areal a partir do solo máfico (Anexos XVIII a XXI), quando comparada à distribuição geoquímica do Cu, Cr e Ni nos quatro níveis testados no solo residual (Anexos VI a XVII).

Comumente registra-se um decréscimo abrupto nas concentrações de Cu, Ni e Co na cobertura residual máfica a partir da zona contígua ao corpo subaflorante. Os perfis verticais (fig. 59 a 61) permitem uma boa caracterização dessa variação. Já no solo gnáissico (fig. 62 e 63) a distribuição revela apenas pequenas oscilações nos teores dos metais, normalmente na faixa de "background", não evidenciando contrastes dos níveis superficiais com relação a rocha matriz.

O pH do solo, tendendo para a neutralidade, inibe consideravelmente a migração dos metais,principalmente Cu, Ni e Co. As evidências de campo, patenteadas pelas disseminações de oxidados na cobertura residual do corpo mineralizado e pelo halo relativamente reduzido, parecem sugerir uma predominância da dispersão mecânica com relação aos pro

cessos químicos aí atuantes.

Sobre o comportamento geoquímico do cobre algumas considerações adicionais permitirão uma melhor caracterização da sua distribuição no alvo-teste pesquisado.

Durante o intemperismo as partes superficiais da rocha mineralizada são oxidadas. Os sulfetos de cobre-ferro são decompostos e o cobre é posto em solução como sulfato cúprico estável, enquanto que o sulfato ferroso é oxidado menos rapidamente, pelo que são formados ácido sulfúrico e hidróxido férrico, conforme observa RANKAMA e SAHAMA (1950).

As soluções de sulfato de cobre sofrem, possivelmente, uma migração descencional, e num certo nível imediatamente abaixo da zona de oxidação, porém ainda acima do lençol freático, tais soluções reagem com os minerais de sulfetos não decompostos, permitindo a formação de cobre nativo e de outros sulfetos ricos em cobre (por exemplo,calcocita e calcopirita). Outros minerais de cobre, por exemplo, cuprita, tenorita, azurita e malaquita são também depositados. Conseqüentemente, tende a haver um enriquecimento de cobre na zona de cementação. Além disso as soluções cupríferas podem migrar a partir da zona de intemperismo da cobertura das rochas e depositar cobre,como sulfato e carbonato,ao longo de fissuras e cisalhamentos, fato evidenciado frequentemente,no vale do rio Curaçá.

GOLDSCHMIDT (1954) enfatiza a importância das condições topográficas e hidrológicas na dispersão secundária do metal. Efetivamente, em condições de baixa pluviosidade, e onde a água subterrânea tende a uma estagnação, fatores tais dominantes no cenário regional do vale do rio Curaçá, é admissível que grandes quantidades de íons do metal se

jam acumulados por precipitação, tanto ao nível da água subterrânea como também nos níveis onde os agentes redutores estejam presentes.

Fundamentalmente, a formação de sulfetos domina a geoquímica do cobre e poderia ser mesmo duvidoso se alguma quantidade apreciável de cobre em estado iônico verdadeiro entrasse em silicatos comuns de rochas magmáticas tais como olivina, piroxênio e biotita, que em princípio poderiam acomodar íons de cobre cúprico (GOLDSCHMIDT, 1954).

O cobre em rochas magmáticas silicatadas é geralmente menos resistente à lixiviação do que p. ex., chumbo e zinco. Isto porque o Cu está presente em minerais de sulfetos facilmente oxidáveis, enquanto que a maior parte do chumbo e zinco aparece como componentes menores de silicatos resistentes tais como ortoclásio e anfibólio.

As evidências assinaladas no alvo-teste do Pirulito, em parte extensíveis ao cenário geoquímico regional, possibilitam definir o cobre como o metal que mais comumente ali apresenta enriquecimento supergênico.

A formação de cobre supergênico é complexa em seus detalhes, porém é fácil de compreender a natureza geral do processo (KRAUSKOPF, 1967). Próximo a superfície, os minerais de cobre são oxidados e uma grande parte do metal dissolve-se em solução, tendo em vista que os compostos oxidados prováveis não são muito insolúveis, enquanto as soluções se mantém ligeiramente ácidas. O Cu^{++} dissolvido, em migração descencional na água do solo, alcança o nível dos minerais de sulfetos primários, abaixo da zona de oxidação. Tendo em vista que os sulfetos de cobre são menos solúveis que a maioria dos sulfetos comuns é de se esperar reações tais como (KRAUSKOPF, 1967):

$$Cu^{++} + ZnS \longrightarrow CuS + Zn^{++}$$

$$8Cu^{++} + 5ZnS + 4H_2O \longrightarrow 4Cu_2S + 5Zn^{++} + SO_4^{++} + 8H^+$$

$$14Cu^{++} + 5\ FeS_2 + 12H_2O \longrightarrow 7Cu_2S + 5Fe^{++} + 3SO_4^{=} + 24H^+$$

Efetivamente, no alvo-teste pesquisado, as associações minerais registradas fazem supor o envolvimento de reações dos tipos citados.

4.2.9.3. Considerações sobre a distribuição de metais pesquisados

Com relação a distribuição geoquímica dos metais, algumas considerações adicionais podem ser envolvidas.

O cromo mostra uma correlação (r = 0,73) muito forte com o vanádio, ambos tendo um comportamento geoquímico similar, onde um dos pontos comuns é a imobilidade no meio secundário. As figuras 59 a 61 dão uma idéia das associações dos mesmos nos horizontes do solo. Os teores médios registrados para Cr (240ppm) e V (120ppm) estão na faixa de "background" citados pela literatura (HAWKES e WEBB, 1962), conforme mostra a tabela X.

A tabela XIII apresenta um sumário das estatísticas para o cromo. As pequenas discrepâncias na variancia entre os 4 níveis podem indicar a viabilidade de se testar o metal apenas no horizonte A, superficial, tendo em vista, também, a reconhecida imobilidade do metal.

Convém notar (RANKAMA e SAHAMA, 1950) que o cromo está presente em minerais como cátion trivalente Cr^{3+}, com um raio de 0,64 Å. Este raio é próximo aos raios do Al^{3+} (0,57 Å) e particularmente Fe^{3+} (0,67 Å). Em minerais dos si

licatos o cromo está presente como um cátion fora da estrutura complexa do silício-oxigênio, e assim substitui facilmente ferro férrico e aluminio diadodicamente.

Devido a similitudes de propriedades químicas, tamanho iônico, carga iônica, etc., entre o ferro e o alumínio, com relação ao cromo, registra-se normalmente uma associação entre os mesmos no ciclo exogênico. No alvo-teste a forte correlação (r = 0,41) entre cromo e ferro confirma tal assertiva.

Apenas uma pequena quantidade de cromo permanece nas soluções formadas durante o intemperismo. Consequentemente, os precipitados, oxidatos e evaporatos são quase que completamente desprovidos de cromo, que torna-se enriquecido nos resistatos e particularmente nos hidrolisatos.

O cromo presente nos constituintes fêmicos das rochas, tais como piroxênios, anfibólios e biotitas, é liberado durante o intemperismo, enquanto que o cromo presente nos óxidos (cromita, magnetita, ilmenita, etc.) é concentrado nos resistatos juntamente com alumínio e ferro, pois tais minerais são altamente resistentes ao intemperismo. A ausência de concentrações significativas do metal no solo residual do alvo-teste parece indicar um baixo teor do mesmo nas rochas máficas-ultramáficas submetidas ao processo de intemperização.

A razão entre os vários estágios de oxidação do cromo em solos é provavelmente muito afetada pela ação redutora de compostos orgânicos e também pela ação de microorganismos oxidantes ou redutores (GOLDSCHIDT, 1954).

Registra-se ao nível do horizonte A um aumento do teor de manganês quando comparado ao horizonte B (tab. X). Isto parece evidenciar o envolvimento da matéria

orgânica na redução do Mn^{2+} sob forma de filmes,concreções e substituições.

Sabe-se que os hidratos de Mn^{3+}, óxidos de manganês hidratado, durante a sua formação obsorvem um volume seletivo de cátions existentes em solução no solo.No alvo-teste, algumas associações do Mn mostram correlações muito significativas. As correlações do Mn com Co (r = 0,51) e Ba (r = 0,21), conforme tabela IX, parecem definir tal aspecto.

A migração do Mn através do perfil do solo depende da solubilidade dos seus compostos que, por seu turno,é dependente da hidratação e desidratação destes compostos no ambiente de oxi-redução existente no solo.

No alvo-teste, para os 4 níveis testados(tabela XIII) o Mn revela limiares de anomalia pouco significativos quando comparados aos teores médios referidos na literatura (HAWKES e WEBB, 1962) com relação a faixas máficas-ultramáficas.

A distribuição da população de manganês no alvo-teste adequa-se à lei normal (fig. 25). Nos horizontes A e B os teores variam de 100 a 1500ppm, enquanto que ao nível do horizonte C a concentração atinge 5000ppm de Mn.

A cristaloquímica do manganês abrange um campo amplo, devido a diversidade de valências deste elemento na natureza (GOLDSCHMIDT, 1954).

Os raios iônicos do Mn^{2+}(0,91 Å) e Ca^{2+} (1,06Å), com uma diferença de apenas 14%, indicam que deveria ser esperado um alto grau de mútua miscibilidade, pelo menos em temperaturas elevadas. A correlação relativamente fraca (r = 0,17) registrada entre Mn e Ca no solo residual do alvo-teste faz supor um rompimento de tal associação no ambiente de dispersão secundária.

Em função dos raios iônicos pode-se evidenciar que o Mn^{2+}(0,91 Å) é apto a substituir diadodicamente os seguintes íons: Fe^{2+}(0,83 Å), Mg^{2+}(0,78 Å), Zn^{2+}(0,83 Å) e Ca^{2+}(1,06 Å). A substituição do Fe^{2+} pelo Mn^{2+} é a mais comum e geoquimicamente a mais importante dentre as várias possibilidades (RANKAMA e SAHAMA, 1950).

Durante o intemperismo o manganês é dissolvido principalmente pelo bicarbonato, $Mn(HCO_3)_2$, e comporta-se nesse particular como o ferro. Devido ao teor de manganês nas rochas ígneas ser normalmente mais baixo que o do ferro, o manganês é, em geral, mais escasso que o ferro nas soluções de intemperismo. Tal fato é efetivamente comprovado com relação à distribuição dos metais no alvo-teste do Pirulito (tab. X).

O manganês é mais solúvel em soluções ácidas, quando no estado bivalente. Sob condições redutoras o hidróxido de manganês precipitado pode novamente entrar em solução. As condições mais favoráveis para uma precipitação não reversível de Mn seriam ambientes oxidantes (potencial de redox relativamente alto) e a presença de pequenas quantidades de carbonato de cálcio sólido (pH relativamente alto). Tais condições não parecem dominar no solo residual do alvo-teste pesquisado, onde as condições de pH relativamente próximos à neutralidade e o Eh relativamente baixo tendem a favorecer a mobilização e carreamento do manganês.

Em suas feições principais o ciclo do manganês é semelhante ao do ferro. O manganês, tal como o ferro, é enriquecido no resíduo dos hidrolisatos formados no intemperismo laterítico, tal como são revelados regionalmente no vale do rio Curaçá nos solos residuais de rochas máficas-ultramáficas. RANKAMA e SAHAMA (1950) afirmam que o Fe e o Mn estão

totalmente ausentes nos sedimentos formados, como resultado de solução e reprecipitação ou cristalização. Os dois metais são principalmente concentrados em sedimentos oxidatos.

No solo, a geoquímica do manganês está sujeita ao contraste entre a mobilidade dos íons do soluto manganoso e à fixação do elemento em estágios mais altos de oxidação. Porém este aspecto é complicado por vários fatores importantes (GOLDSCHMIDT, 1954). A presença de amplas quantidades de matéria orgânica em vários estágios de crescimento e decomposição (no alvo-teste envolvendo, principalmente, os horizontes A e B do solo máfico residual), pode afetar a geoquímica do manganês. Como exemplo, pode-se mencionar de que grandes quantidades de íons de manganês divalente, com aqueles de Mg e Ca, facilmente participam de trocas de base nos solos. Também pode haver formação de humatos e outros compostos orgânicos de manganês.

Um dos aspectos mais importantes consiste na susceptibilidade do Mn de ser lixiviado de certos horizontes e concentrado em outros, o que é facilmente registrado no alvo-teste do Pirulito (tab. X), onde tende a haver uma maior concentração nos horizontes A e C. Dois fatores dominam normalmente esta migração. O primeiro é o acesso do oxigênio atmosférico, atuante na oxidação e também na fixação e concentração do manganês. O segundo é o pH: um pH baixo (e em alguns casos também um pH excepcionalmente alto) favorece a solução (e lixiviação) do manganês.

Também os teores de estrôncio e bário caem na faixa de "background" consagrado a corpos máficos.

A população de estrôncio no alvo-teste varia de (100 a 700)ppm, enquanto o bário nos horizontes A e B varia de (100 a 1500)ppm, atingindo teores máximos de 5000ppm ao

nível do horizonte C. As figuras 30 e 31 mostram a distribuição estatística das populações de Ba e Sr, respectivamente, adequáveis a lei normal.

Na biosfera a paragênese do Sr está também conectada a minerais de cálcio, daí ambos apresentarem uma distribuição similar nos horizontes do alvo-teste, com tendência à concentração no nível superficial (horizonte A). A solubilidade do bicarbonato de Sr é maior que a do bicarbonato de cálcio. Isso é, em grande parte, responsável pela mobilidade de Sr^{+2} no solo.

Registra-se no alvo-teste uma forte correlação (r = 0,37) entre bário e estrôncio na população pesquisada. Outrossim, o Sr tem definido uma correlação inversa, muito forte, com Mg (- 0,50), Cu (- 0,40), V (- 0,40), Fe(-0,45) e Cr (- 0,41), o que significa uma correspondência de baixos teores destes metais com níveis anômalos de estrôncio. Os perfis verticais na cobertura máfica (fig. 59 a 61), e parcialmente no gnaisse bordejante (fig. 62 e 63), refletem razoavelmente tais associações geoquímicas.

Como assinala VINOGRADOV (1959) o estrôncio e o bário ocorrem nos solos tanto na forma de silicatos, como feldspato potássico e hidromicas, como, também, na forma de bicarbonatos e sulfetos. Os silicatos de bário são mais facilmente extraíveis por soluções do que o sulfato de bário ($Ba\ SO_4$). Normalmente, não são muito comuns Sr^{2+} e Ba^{2+} trocáveis em solos comuns. Os compostos de Sr são, via de regra, mais comumente carreados dos solos que os de bário. Convém observar que a presença eventual de NaCl e outros sais solúveis em solução no solo aumenta a solubilidade dos sais de estrôncio.

Durante o intemperismo, Sr e Ba são dissol-

vidos como bicarbonatos, cloretos e sulfatos. Podem migrar como bicarbonatos e cloretos, porém também como sulfatos. De um modo semelhante ao cálcio, o estrôncio entra por intemperismo em soluções aquosas, na maioria das vezes como bicarbonatos de estrôncio. Em hidrolisatos e em minerais de argila dos solos, o Sr pode ser fixado, em escala moderada, por troca de base (GOLDSCHMIDT, 1954). É de se admitir, com relação ao solo argiloso montmorilonítico do alvo-teste, o processamento de trocas de base com referência ao Sr.

Com vistas às suas propriedades de adsorção, Sr e Ba comportam-se como Na e K, que formam íons univalentes, enquanto Sr e Ba formam íons bivalentes. Além disso, o potencial iônico do Ba^{2+} é menor e a quantidade adsorvida pelas argilas é maior, comparados com o potencial e quantidade de Sr^{2+} adsorvido (RANKAMA e SAHAMA, 1950). Os cátions de Ba^{2+} são susceptíveis, também, de serem absorvidos por partículas coloidais, negativamente carregadas, de precipitado de manganês.

Existe uma correlação muito forte entre níquel e cobalto, nos níveis da cobertura residual (r = 0,61), porém sem evidenciar enriquecimento seletivo com relação ao teor de fundo de nenhum dos metais (tab. X). Registra-se um ligeiro enriquecimento de cobalto no horizonte húmico, com relação aos demais horizontes, fato que não ocorre com níquel. Isto deve-se ao fato de que os compostos de Ni e Co formam-se sob diferentes condições físico-químicas (VINOGRADOV, 1959). O cobalto tende a formar compostos orgânicos complexos (Co^{3+}). O níquel é facilmente trocado com o magnésio e outros metais bivalentes nos silicatos e em outros minerais. Daí a forte correlação (r = 0,68) entre Ni e Mg na área-teste. Como resultado deste processo tem-se a separação

entre Ni e Co. Assim, podem ser formados silicatos hidratados "secundários", relativamente enriquecidos de níquel.

O níquel também exibe uma forte correlação com Cr (0,91), Cu (0,90), Sc (0,76), V(0,73), Mg (0,68), Co (0,61) e Fe (0,41), conforme mostra a tabela IX. Estas associações significativas são melhor caracterizadas nos perfis de solo. As figuras 56 a 58 evidenciam as correlações entre Cu - Cr - Ni - Co, enquanto nas figuras 59 a 63 adiciona- se a esta associação os metais Sc, V, Mg, e Fe.

Convém citar (HAWKES e WEBB, 1962; VINOGRADOV, 1959) que durante o processo de precipitação do níquel junto com Fe^{3+} (apenas os íons Ni^{2+}, tal como os de Fe^{2+}, são móveis), ocorre, por vezes, um enriquecimento das concreções de ferro e uma separação do cobalto que é precipitado mais seletivamente com os óxidos e hidróxidos de Mn^{+3} e Mn^{+4}.

Diversos autores tem demonstrado que parte considerável de níquel e cobalto é dispersa, nos solos, na rede cristalina de aluminossilicatos; uma outra parte é mais ligada aos silicatos como resultado de troca de bases.

Os hidróxidos de Ni e Co começam a se formar quando o pH da solução do solo atinge 6,8 (VINOGRADOV, 1959). No alvo-teste apenas o horizonte A apresenta um pH médio (6,45) que tenderia a favorecer, moderadamente, a migração dos metais, enquanto no horizonte C (pH médio: 7,21) a mobilidade seria mais limitada.

Os teores de níquel e cobalto distribuem-se, na cobertura do corpo máfico testado, segundo a lei lognormal, conforme mostram as figuras 22 e 23 (cobalto) e 16 e 18 (níquel), onde a tendência central da curva de Gauss aparece bem delineada com os valores distribuídos em escala logarítmica.

Os teores de níquel e cobalto atingem valores máximos de 300 a 150ppm, respectivamente. Ao nível do horizonte C são registrados os teores mais significativos(fig. 56 a 61). Os Anexos XIV a XVII mostram a distribuição areal do níquel, estreitamente correlacionada à cobertura máfica, enquanto o cobalto (Anexos XVIII a XXI) comporta-se de forma mais irregular nos horizontes A (Anexo XVIII) e B (Anexos XIX e XX), enquanto que ao nível do horizonte C (Anexo XXI) ele revela uma maior conexão aos níveis máficos mineralizados. As condições físico-químicas dominantes nos níveis superficiais (horizontes A e B) parecem favorecer a maior mobilidade do cobalto.

Durante o intemperismo o níquel está amplamente presente nos produtos de desintegração do solo, e é depositado nos sedimentos de hidrolisatos (RANKAMA e SAHAMA, 1950). Contrariamente ao Fe^{2+} e Mn^{2+}, o Ni^{2+} é muito estável em soluções aquosas e está habilitado a migrar por consideráveis distâncias sob circunstâncias apropriadas. Durante o intemperismo de rochas ultramáficas, o níquel forma numerosos hidrossilicatos de complicada composição química.

Nos processos de intemperismo, em alguns casos talvez mesmo nos processos de alteração hidrotermal, o níquel é localmente concentrado com relação ao seu teor na rocha original do silicato magnesiano, (GOLDSCHMIDT, 1954). Entretanto, na cobertura máfica do Pirulito não foram registradas concentrações significativas do metal (teor máximo de 500ppm Ni) nem apresentados indícios de mineralização.

O cobalto não forma hidrossilicatos durante o intemperismo. Ele permanece, nas soluções envolvidas no processo de intemperismo, como bicarbonato ou hidróxido coloidal, provavelmente.

Titânio e zircônio mostram uma progressiva concentração nos níveis mais superficiais (tab. X).

O titânio é apenas ligeiramente móvel, via de regra. O intemperismo intenso pode acarretar o carreamento de enormes quantidades de óxidos hidratados de Si, Al e Fe a partir dos horizontes superiores. O teor de TiO_2 do perfil aumenta sensivelmente nos horizontes superiores. Isto significa que o Ti permanece in situ.

No alvo-teste o Ti mostra uma forte correlação com Zr (0,39), La (0,31) e uma significativa correlação inversa com Cu (-0,29), conforme pode-se observar na tabela IX.

KRAUSKOPF (1970) refere-se a médias de 0,03 e 0,90% de Ti para rochas ultramáficas e máficas, respectivamente, enquanto HAWKES e WEBB (1962) citam para solos uma concentração média de 0,46%. Infere-se, daí, que os teores registrados no alvo-teste (tab. X) não caracterizam uma população significativamente anômala do metal.

Convém observar (VINOGRADOV, 1960), que o Ti não é um elemento raro ou disperso. A sua presença é comumente citada em teores consideráveis em rochas magmáticas, na forma de minerais disseminados e rochas monominerálicas, p. ex. titanomagnetita, com concentrações de Ti de até 30%. A geoquímica do Ti, entretanto, não está, ainda, bem caracterizada. Sua prospecção, aliás, tem sido principalmente orientada através métodos magnéticos, tendo em vista a sua alta susceptibilidade. Convém observar que estudos adicionais, envolvendo prospecção magnetométrica, revelaram a eficácia do método no alvo-teste, permitindo uma acurada caracterização dos níveis máficos mineralizados.

Não se conhece muito acerca do intemperismo dos minerais de titânio. Possivelmente algumas das reações que transformam a ilmenita em vários tipos de leucoxênio estão presentes não só entre os processos hidrotermais como também nos processos de intemperismo a temperaturas ordinárias, embora a ilmenita se mostre normalmente bastante resistente (GOLDSCHMIDT, 1954).

Os sais solúveis de titânio são facilmente hidrolisados. Durante o intemperismo, consequentemente, o Ti permanece dominantemente nos resistatos. Nos solos, o titânio parece estar em grande parte associado à fração fina, possivelmente não como um constituinte ou absorvente de minerais de argila, porém como nódulos muito pequenos de rutilo. O teor de titânio na matéria inorgânica dos solos ordinários é da ordem de 1% em peso de TiO_2. No alvo-teste do Pirulito foi atingido um teor máximo de 0,69% de Ti no solo residual (tab. X).

Não são conhecidos os tipos de compostos em que ocorre titânio; possivelmente seria como dióxido de titânio amorfo ou finamente cristalino (GOLDSCHMIDT, 1954).

No solo o Ti se apresenta em concentrações residuais na fração argilosa de hidrolisatos. Não se sabe exatamente de que forma o Ti entra na composição do solo, porém, em quantidade, é mantida uma certa proporcionalidade com relação ao Al, cerca de quatro partes por peso de TiO_2 para cada 100 partes de AlO_3. É muito provável que o dióxido de titânio amorfo finamente dividido, ou o cristalino (ou um dióxido hidratado de titânio) seja depositado juntamente com os minúsculos grãos de argila.

O zirconio na área-teste tem as suas concentrações máximas ao nível do horizonte A (tab. X), com

teores médios crescentes a partir dos níveis inferiores. Aparentemente, o Zr ocorre em concentrações anômalas na cobertura máfica, tendo em vista os valores médios consagrados pela literatura (KRAUSKOPF, 1967) para rochas máficas (100 ppm) e ultramáficas (30ppm).

Os valores de zircônio (fig. 26) tendem a uma distribuição segundo a lei normal, o que fica melhor caracterizado ao nível inferior do horizonte B. Teores de 1000ppm foram registrados na área.

VINOGRADOV (1959) observa que o teor de Zr nos solos é de aproximadamente 1,5 a 2,0 vezes maior que o teor do mesmo nas rochas da crosta. Consequentemente, seria de se esperar algum aumento no teor de zircônio dos produtos de hidrólise de minerais de argila. Todavia, tal aumento parece ser muito grande, o que talvez poderia ser parcialmente atribuído a uma insuficiência de determinações analíticas acuradas do zircônio no solo.

O comportamento do Ti e Zr durante o ciclo menor revela a existência de diferenças notáveis, desde os seus condicionamentos durante a diferenciação magmática. Este fato é principalmente devido a diferenças no modo de ocorrência dos dois elementos em rochas. Como é sabido, o Zr nas rochas ígneas está contido no zircão que é um mineral muito estável em relação ao intemperismo mecânico e químico. Além disso o zircão permanece principalmente nos resistatos que normalmente contém, consideravelmente, mais Zr do que os hidrolisatos (RANKAMA e SAHAMA, 1950). O Zr é pouco removido de solução por hidrólise e não forma minerais secundários. Algum Zr presente nas soluções de intemperismo será consequentemente precipitado nos sedimentos de hidrolisatos por adsorção. Tal parece ser o comportamento do Zr no alvo-

teste, com teores crescentes do horizonte C para o A (tab.X).

As concentrações médias de ferro no perfil vertical variam de(4,36 a 5,97%, do horizonte A para os níveis mais profundos atingindo a rocha decomposta (horizonte C), conforme tabela X. Tais teores caem na faixa de "background"citada pela literatura (KRAUSKOPF, 1967) para corpos máficos-ultramáficos.

A variância do ferro mantém-se mais ou menos uniforme com relação às populações testadas nos três horizontes (tab. XIII), o que pode indicar uma boa similitude da representatividade geoquímica dos níveis amostrados.

O Fe mostra uma correlação muito forte com Co (0,73), Mg (0,66), Sc (0,65), V (0,65) e também, uma correlação forte com Cr (0,41) e Ni (0,41). Em termos de distribuição, tais correlações podem ser, parcialmente, visualizadas nas figuras 58 a 63.

A similitude de raios iônicos do Fe (1,27 Å), Co (1,26 Å) e Ni (1,24 Å), com diferenças apenas de(1 a 2%, condicionando uma estreita associação com base nas relações cristaloquímicas, entre os 3 metais, no ambiente primário, refletem-se, secundariamente, no alvo-teste pesquisado.

Os valores de ferro distribuem-se segundo a lei normal (fig. 24), com teores variando num intervalo de (0,05 a 15,00)% Fe.

Este metal tem um significado importante na prospecção geoquímica (HAWKES e WEBB, 1962), principalmente devido ao grande número de elementos traços cuja mobilidade é limitada pela coprecipitação, ou adsorção, em material limonítico.

Tendo em vista o caráter dominante, no alvo-teste, de argilas do tipo montmorilonita, especial aten

ção deve ser conferida ao comportamento geoquímico do Fe com relação às propriedades físico-químicas desse silicato hidratado.

Como observa HAWKES e WEBB (1962) na montmorilonita, teoricamente $(OH)_2\ Si_8\ Al_4\ O_{20}\ nH_2O$, registra-se uma substituição parcial do Al por Mg e Fe, sendo a razão Si: Al de 4: 1.

As condições neutras a ligeiramente alcalinas, dominantes na cobertura residual do corpo máfico, e a lixiviação incompleta de bases, favorecem consideravelmente o desenvolvimento da montmorilonita. Tanto o sistema de drenagem, parcialmente impedida, como a excessiva evaporação, dominantes na área pesquisada, favorecem, numa certa amplitude, a retenção de bases dentro do sistema. Um dos fatores que condicionam a formação da montmorilonita fundamenta-se na concentração elevada de Fe e Mg no sistema.

Os óxidos hidratados de ferro estão amplamente distribuídos nos produtos do intemperismo, sendo o mais importante deles a limonita $Fe_2O_3\ nH_2O$. Normalmente o Fe não necessário à formação de minerais de argila é precipitado sob a forma de óxido férrico hidratado, principalmente em ambiente oxidante.

Considerando as características geológicas do alto-teste (corpo máfico-ultramáfico), particularmente as peculiaridades da cobertura residual montmorilonítica, pode-se atribuir aos óxidos hidratados de Fe, também Mn e Al, uma importante atuação com relação à dispersão geoquímica dos metais que são absorvidos ou coprecipitados por eles, conforme enfatiza HAWKES e WEBB (1962).

O comportamento do ferro, nos processos de intemperismo, é essencialmente dependente do estágio de oxi

dação dos compostos de ferro envolvidos. Os sulfetos de ferro, especialmente pirrotita e marcassita, são muito susceptíveis a oxidação produzindo, numa certa extensão, sulfato ferroso e ácido sulfúrico (GOLDSCHMIDT, 1954). Alguns minerios de óxidos de ferro, tais como magnetita e ilmenita, são bastante resistentes, mais ainda o é a hematita, e o minério de cromita também é extremamente resistente a muitos tipos de intemperismo. Os silicatos que contém essencialmente íon ferroso são facilmente intemperizados, produzindo íons ferrosos, geralmente como componentes de soluções de bicarbonato.

As migrações do ferro em soluções aquosas dependem muito dos processos de oxidação e redução. Algumas regras gerais que governam a fixação e mobilização do ferro nos processos de intemperismo e formação do solo podem ser citadas: (a) Regra 1: condições oxidantes promovem a precipitação do ferro, enquanto condições redutoras promovem a solução; (b) Regra 2: condições ácidas (baixo pH) geralmente promovem a solução do ferro, condições alcalinas (alto pH) promovem a precipitação do ferro. O hidróxido férrico é facilmente precipitado a partir de soluções aquosas em pH próximo a 3, enquanto o hidróxido ferroso é inicialmente precipitado num pH próximo a 7 (GOLDSCHMIDT, 1954).

No alvo-teste do Pirulito as condições de pH, próximo a neutralidade, favorecem a pricipitação do $Fe(OH)_2$, que se concentra mais significativamente nos níveis mais profundos do solo (pH mais elevado) decrescendo progressivamente nos níveis superficiais (pH neutro a ligeiramente ácido), conforme mostra a tabela X.

Chumbo ocorre normalmente em concentrações inferiores ao limite de sensibilidade do método (10ppm), sen

do, isoladamente, registrados teores de até 50ppm de Pb, na cobertura máfica da área-teste (tab. X).

O Pb mostra uma forte correlação inversa (tab. IX) com Fe (-0,48) e Ca (-0,33), e moderada com Mg (-0,23), Co (-0,28) e Sr (-0,24).

Convém notar que o Pb é um elemento litófilo que ocorre num grande número de minerais formadores de rocha. O seu raio iônico (Pb^{2+}, 1,32 Å) torna possível ao Pb substituir Sr (1,27 Å), Ba (1,43 Å), K (1,33 Å), e em alguns minerais mesmo o Ca (1,06 Å). No alvo-teste pesquisado a forte correlação do Pb com os metais referidos é mantida mesmo no ambiente secundário (tab. VI e IX).

O Pb, não muito comumente, é extraído dos seus minerais durante o intemperismo e transportado na forma de compostos solúveis estáveis. A oxidação da galena PbS para $PbSO_4$ é muito lenta. Este processo é facilitado pela presença da pirita (registrada no alvo-teste) que produz sulfato férrico, atuando assim como um agente oxidante (RANKAMA e SAHAMA, 1950). O sulfato de chumbo é apenas moderadamente solúvel e não migra muito. O $PbCO_3$ é formado pela reação dos íons de Pb com CO_2 dissolvido. O carbonato é ainda menos solúvel que o sulfato, representando, na zona de oxidação, composto de Pb mais estável. Fosfatos, arsenatos e vanadatos de Pb podem ser formados na zona de oxidação. O bicarbonato de chumbo é muito mais solúvel do que o carbonato normal e consequentemente o Pb pode ser transportado como bicarbonto.

O ítrio e o escândio ocorrem em níveis de "background"citado pela literatura (HAWKES e WEBB, 1962; VINOGRADOV, 1959),enquanto que o lantanio aparece com teores ligeiramente anômalos (tab. X).

O escândio mostra-se numa correlação muito forte com Ni (0,76), Cr (0,75), V (0,74), Mg (0,66), Mg (0,66), Fe (0,65) e Mn (0,51), o que pode ser bem caracterizado nos perfis verticais em solos (fig. 59 a 63).

O ítrio apresenta uma significativa correlação com Sc (0,33), Fe (0,30), Mn (0,26), V (0,26), Ni (0,25), Ca (0,22) e Co (0,21).

O tamanho do Sc^{3+} (raio 0,83 Å) permite a sua captura por Mg^{2+} (0,78 Å) e Fe^{2+} (0,83 Å) nas estruturas minerais do ambiente primário, porém diadodicamente ele não pode substituir de forma dupla Ca (1,06 Å de raio), Al^{3+} (0,67 Å).

GOLDSCHMIDT (1954) revela que a geoquímica do Sc não apresenta correlações estreitas com a das terras raras, porém que o comportamento deste metal está muito intimamente relacionado à geoquímica do magnésio e do ferro. As correlações muito fortes entre Sc e Mg (coeficiente de correlação r= 0,66) e entre Sc e Fe (r = 0,65) confirmam a estreita associação destes metais, mesmo no ambiente secundário do alvo-teste pesquisado (Pirulito).

O escândio concentra-se preferencialmente em rochas máficas ferro-magnesianas, principalmente naquelas que são ricas em compostos divalentes de Mg e Fe, particularmente piroxênios e anfibólios (GOLDSCHMIDT, 1954).

O ítrio e o lantânio são constituintes muitos comuns dos minerais das rochas, em que pese o fato de ocorrerem em baixas concentrações (RANKAMA e SAHAMA, 1950). Todavia, devido aos seus raios iônicos, o ítrio e o lantânio não podem substituir o ferro e magnésio nas estruturas minerais. Tal comportamento é refletido nas associações dos referidos metais no ambiente secundário. Assim pode-se, em parte,

explicar as fracas correlações (vide tabelas VI a IX) do Y e La com Fe e Mg no solo máfico residual do Pirulito.

Sc, Y e La exibem potenciais iônicos mais baixos com relação ao do Al, o que, por várias vezes, permite a sua remoção em solução aquosa. Devido a seus hidróxidos serem bases mais fortes que o hidróxido de alumínio, eles permanecem parcialmente em solução durante o intemperismo e formação dos hidrolisatos, o que, talvez, esteja ocorrendo no alvo-teste.

Da totalidade dos 30 metais pesquisados, apenas 13 não foram detectados dentro dos limites da sensibilidade do método (espectrografia semi-quantitativa): Ag, As, Au, B, Be, Bi, Cd, Mo, Nb, Sb, Sn, W e Zn (tab. III).

Métodos mais adequados deverão ser aplicados visando caracterizar a distribuição geoquímica destes metais no meio secundário, estabelecendo as suas correlações e associações.

4.2.9.4. Perfis geoquímicos

Uma melhor compreensão, quanto à distribuição geoquímica dos metais no alvo-teste, é possibilitada pela interpretação de perfis complementares executados no solo residual (fig. 56 a 63).

O solo máfico se apresenta perfeitamente caracterizado por uma associação típica de metais, com especial ênfase Cu-Cr-Ni-Co, cuja população é nitidamente contrastante com relação à distribuição da mesma no solo gnáissico bordejante (fig. 56 a 58). Conforme se pode observar, as concentrações nos solos da rocha máfica mostram comportamentos similares nos quatro níveis testados (horizonte A,

horizonte B - níveis superior e inferior e horizonte C), sendo que ao nível da rocha decomposta as concentrações atingem teores máximos e de maior amplitude areal (fig. 52 a 55), contiguamente ao corpo mineralizado, o que parece indicar uma certa dificuldade de mobilização dos metais nas condições físico-químicas dominantes no alvo-teste, particularmente pouco favoráveis à mobilização devido, principalmente, as condições de pH neutro a ligeiramente alcalino.

A estreita associação do cobre com Cr, Ni, Sc, Mg, V, Co, Fe, Sr e Mn, pode ser observada tanto nas figuras 56 a 58 (parcialmente) como nos perfis verticais do solo máfico (fig. 59 a 61).

A brusca variação vertical nas concentrações dos metais, principalmente Cu, Cr, Ni e Co (fig.56 a 58), fazem supor uma configuração conjugada do halo de dispersão anômala segundo condicionantes de natureza clástica e hidromórfica.

Ao nível do solo gnáissico (fig. 62 e 63)os teores são consideravelmente mais fracos, conservando uma certa uniformidade nos quatro níveis pesquisados.

O pH do solo, progressivamente acentuado com a profundidade (fig. 48), conforme perfil da figura 61, mostra-se por vezes numa distribuição errática de valores, tanto no solo máfico (fig. 59 e 60) como no gnáissico (fig. 63). O Eh também revela um comportamento muito oscilante e desordenado (fig. 57 a 61) na sequência vertical dos horizontes do solo, apresentando, em média, valores relativamente baixos.

Alguns comentários adicionais podem ser feitos quanto a distribuição dos metais nos perfis:

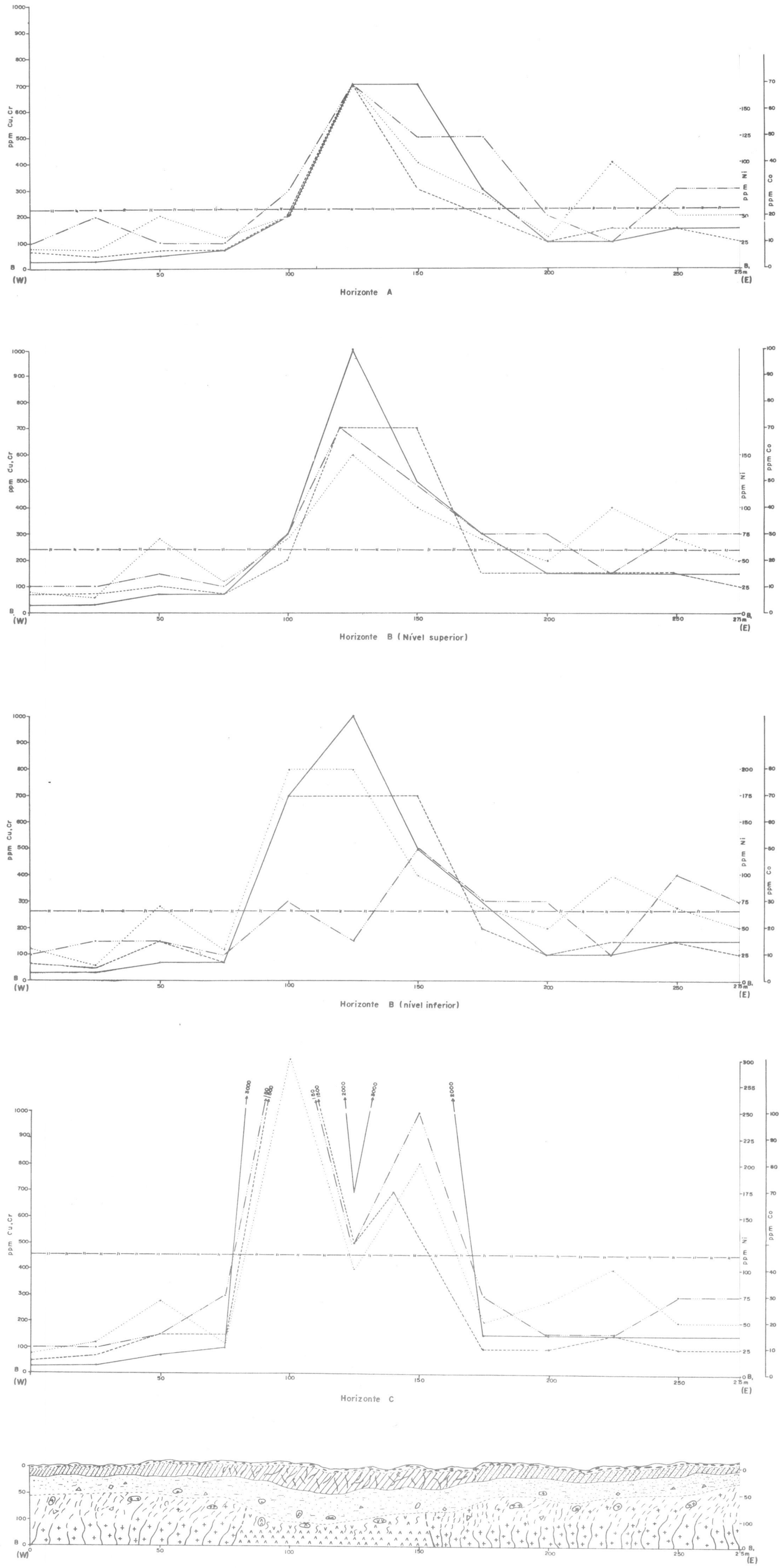


Fig. Nº 56 Secção B-B, perfil do solo e respectivos perfis geoquímicos para cobre, cromo, niquel e cobalto.

CONVENÇÕES

Faixa superficial contendo restos organicos semi-decomposto e fragmentos residuais de rocha.

Horizonte A, argiloso, tonalidade cinza escura. Estrutura prismática. Pouco poroso, impermeável. Atravessado por fendas de ressecamento. Pequenos fragmentos de rocha máfica.

Horizonte A, de textura argilosa e areno-argilosa, muito compactado com fragmentos decompostos de composição quartzo-feldspático-biotítica.

Horizonte B.-Textura dominantemente arenosa. Tonalidade cinza-marron. com pequenos fragmentos residuais.

Horizonte C. – Alteração do Gnaisse quartzo-biotítico-feldspático.

Horizonte C. – Alteração do corpo máfico norítico-piroxenítico. Muitos fragmentos de rochas.

Gnaisse migmatito intemperizado.

Corpo máfico norítico-piroxenítico parcialmente intemperizado

Cobre (ppm)
Cromo (ppm)
Níquel (ppm)
Cobalto (ppm)
Média para Cu (ppm)

CONVÊNIO
DNPM – CPRM
CPRM
TÉCNICO RESP.: D.C. BRUNI

PROJETO COBRE-CURAÇÁ
PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL
ESTUDO ORIENTATIVO – ALVO DO PIRULITO
CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

Figura 56

DES. Eliana Maria - 04/74

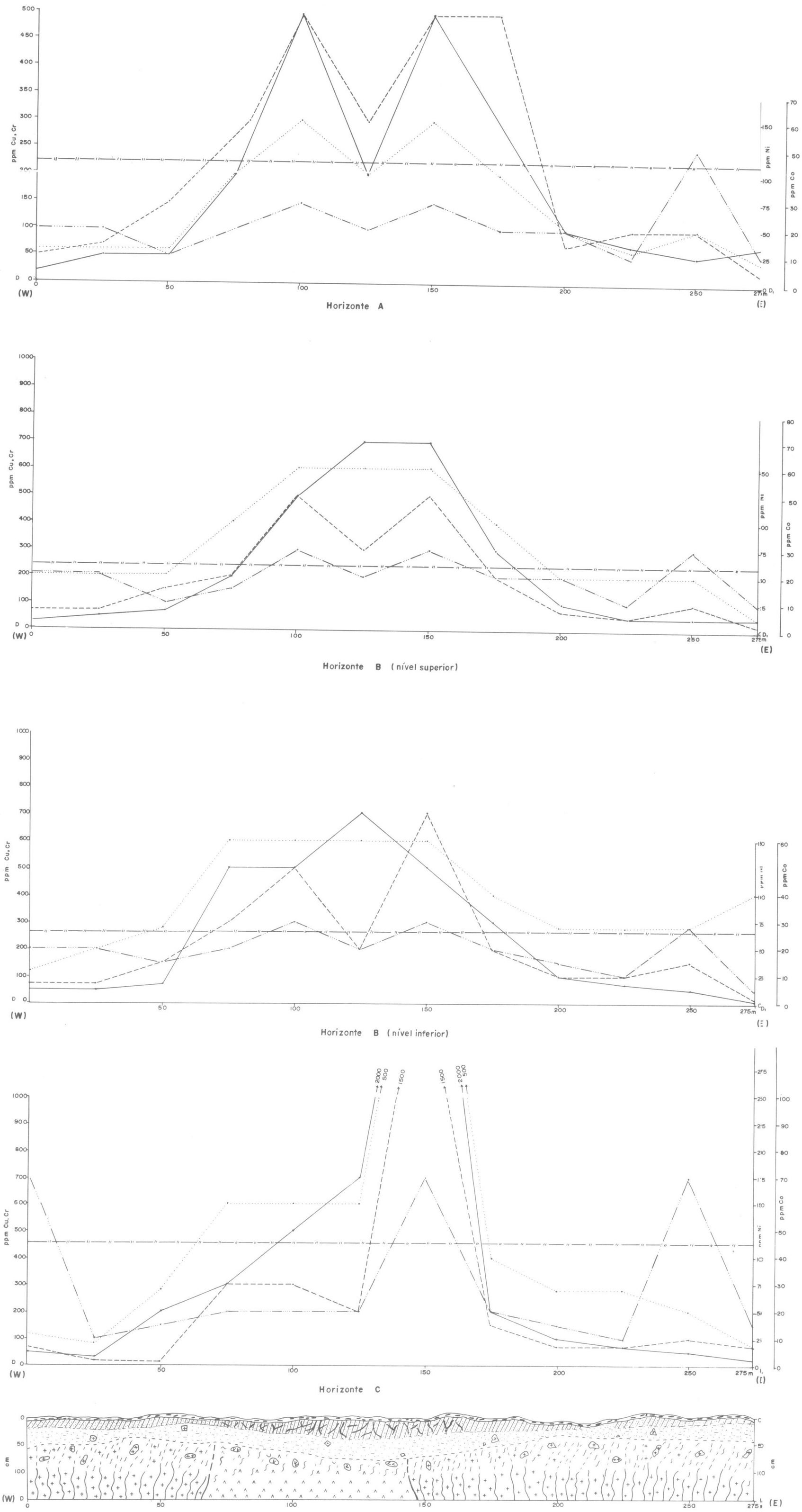


Fig. Nº 57 - Secção D-D, perfil do solo e respectivos perfis geoquímicos para cobre, cromo, niquel e cobalto

CONVENÇÕES

Faixa superficial contendo restos orgânicos semi-decomposto e fragmentos de rochas.

Horizonte A, argiloso, tonalidade cinza escura. Estrutura prismática. Pouco poroso, impermeável. Atravessado por fendas de ressecamento. Pequenos fragmentos de rocha máfica.

Horizonte A, de textura argilosa e areno-argilosa, muito compactado com fragmentos decompostos de composição quartzo-feldspático-biotítica.

Horizonte B - Textura dominantemente arenosa. Tonalidade cinza-marron. com pequenos fragmentos residuais.

Horizonte C. — Alteração do Gnaisse quartzo-biotítico-feldspático.

Horizonte C. — Alteração do corpo máfico, norítico-piroxenítico. Muitos fragmentos de rochas.

Gnaisse-migmatito intemperizado.

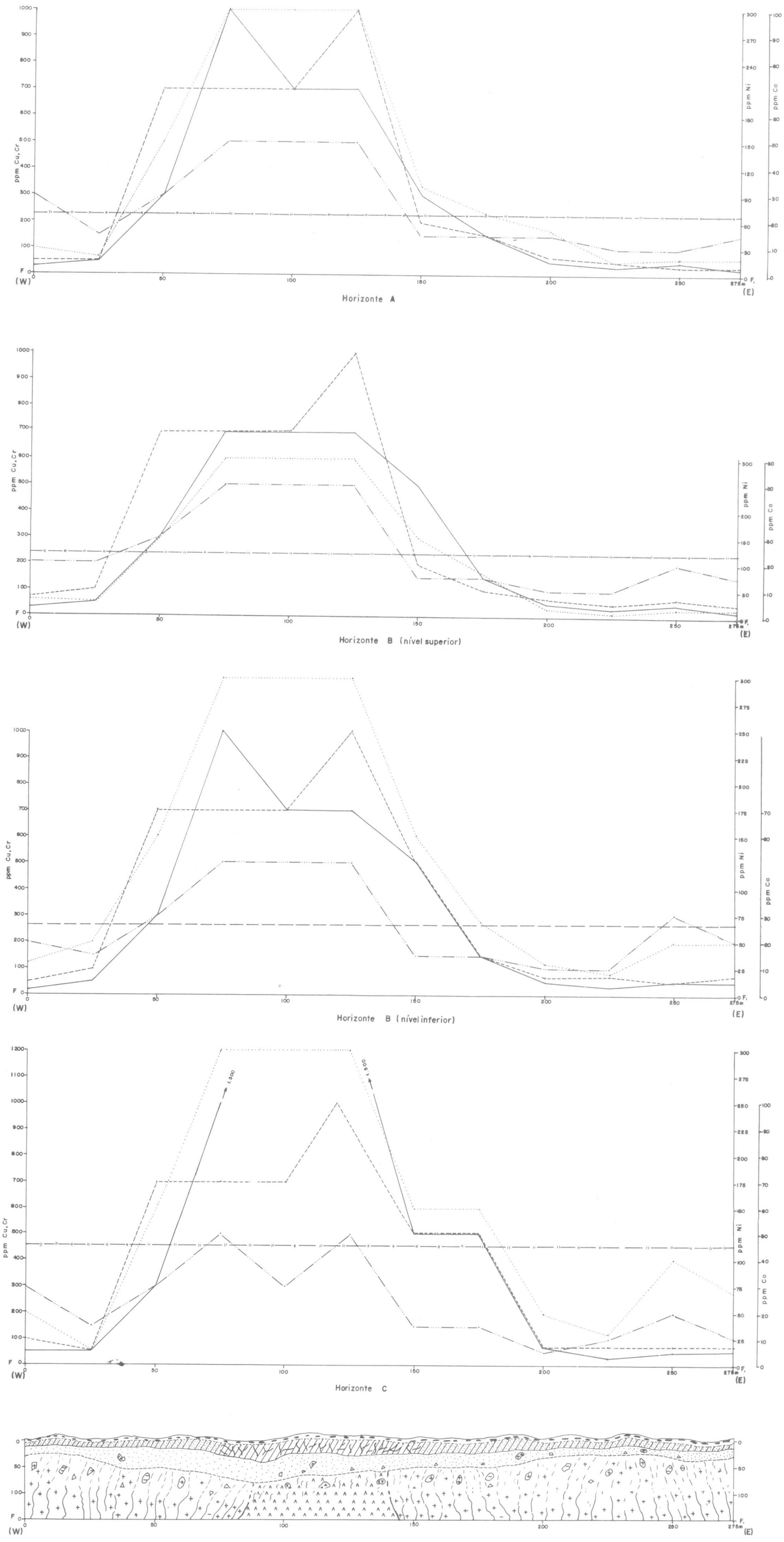
Corpo máfico norítico-piroxenítico parcialmente intemperizado.

Cobre (ppm)
Cromo (ppm)
Niquel (ppm)
Cobalto (ppm)
Média para Cu (ppm)

CONVÊNIO
DNPM — CPRM
CPRM
TÉCNICO RESP.: D.C. BRUNI

PROJETO COBRE-CURAÇÁ
PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL
ESTUDO ORIENTATIVO — ALVO DO PIRULITO
CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

Figura 57



CONVENÇÕES

Faixa superficial contendo restos orgânicos semi-decomposto e fragmentos residuais de rocha.

Horizonte A, argiloso, tonalidade cinza escura. Estrutura prismática. Pouco poroso, impermeável. Atravessado por fendas de ressecamento. Pequenos fragmentos de rocha máfica.

Horizonte A, de textura argilosa e areno-argilosa, muito compactado com fragmentos decompostos de composição quartzo-feldspático-biotítica.

Horizonte B.-Textura dominantemente arenoso. Tonalidade cinza-marron, com pequenos fragmentos residuais.

Horizonte C. — Alteração do Gnaisse quartzo-biotítico-feldspático.

Horizonte C. — Alteração do corpo máfico, norítico-piroxenítico. Muitos fragmentos de rochas.

Gnaisse migmatito intemperizado.

Corpo máfico norítico-piroxenítico parcialmente intemperizado.

Cobre (ppm)
Cromo (ppm)
Níquel (ppm)
Cobalto (ppm)
Média para Cu (ppm)

Fig. Nº 58 Secção F-F, perfil do solo e respectivos perfis geoquímicos para cobre, cromo, níquel e cobalto.

CONVÊNIO
DNPM — CPRM

CPRM

TÉCNICO RESP.: D.C. BRUNI

PROJETO COBRE-CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

ESTUDO ORIENTATIVO — ALVO DO PIRULITO

CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

Figura 58

DES. Eliane Maria - 04/74

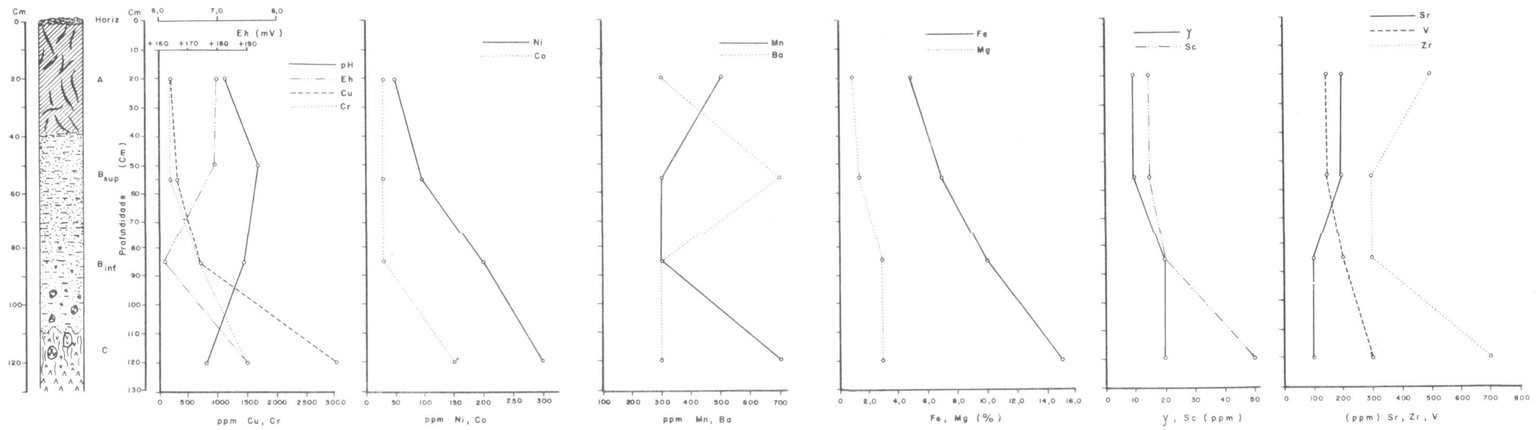


FIGURA 59 — POÇO DB - L - 8

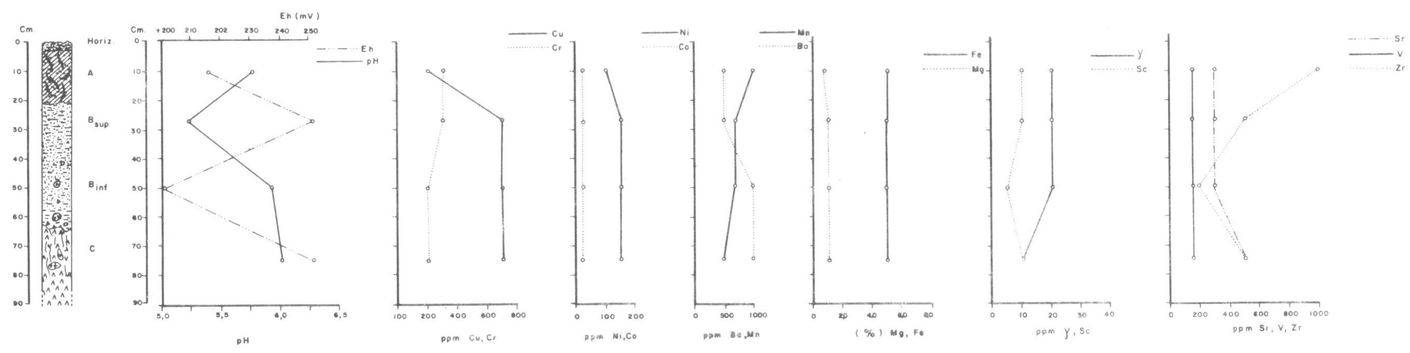


FIGURA 60 — POÇO DB - L - 21

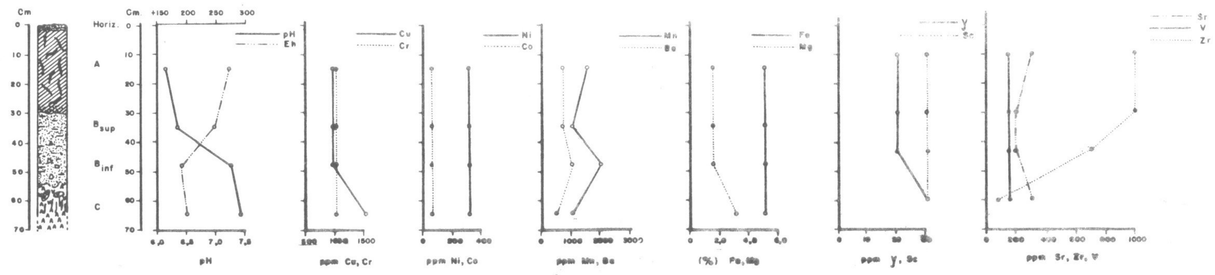


FIGURA 61 — POÇO DB - L - 33

CONVENÇÕES

HORIZONTE A: MATERIAL ARGILOSO, DE TONALIDADE CASTANHA-ESCURA, RICO EM MATÉRIA ORGÂNICA DECOMPOSTA. EXIBE SUPER-ESTRUTURA PRISMÁTICA. ATRAVESSADO EM TODA SUA EXTENSÃO POR FENDAS DE DISSECAÇÃO POR VEZES PREENCHIDAS COM MATERIAIS CARREADOS DA SUPERFÍCIE.
BOA PLASTICIDADE E IMPERMEABILIDADE.

HORIZONTE B: TEXTURA DOMINANTEMENTE ARENOSA, COM COLORAÇÃO MARROM ESCURA. MUITO COMPACTADO. ASSINALA-SE A PRESENÇA DE MUITOS FRAGMENTOS DE ROCHA MÁFICA DECOMPOSTA, COM FINO REVESTIMENTO ARGILOSO (CLAY - SKIN).
O NIVEL INFERIOR MOSTRA UMA TEXTURA PROGRESSIVAMENTE MAIS GROSSEIRA. MUITOS RESÍDUOS DE ROCHA INTEMPERIZADA (COMPOSIÇÃO QUARTZO-FELDSPATICA-BIOTÍTICA E, PRINCIPALMENTE, ANFIBOLÍTICA — PIROXENÍTICA.

HORIZONTE C: ROCHA MATRIZ DESAGREGADA. MUITOS FRAGMENTOS DE MINERAIS MÁFICOS, EVIDENCIANDO O CORPO NORÍTICO — PIROXENÍTICO SUBJACENTE. SINAIS DE OXIDADOS DE COBRE. NÍVEIS DE COMPOSIÇÃO QUARTZO -FELDSPÁTICA.

CONVÊNIO

CPRM D N P M

SALVADOR - BAHIA

1974

TÉC. RESPONSÁVEL D. C. BRUNI

PROJETO COBRE-CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

ESTUDO ORIENTATIVO — CORPO DO PIRULITO

PERFIS GEOQUÍMICOS EM COBERTURA MÁFICA TÍPICA

Figura 59 a 61

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

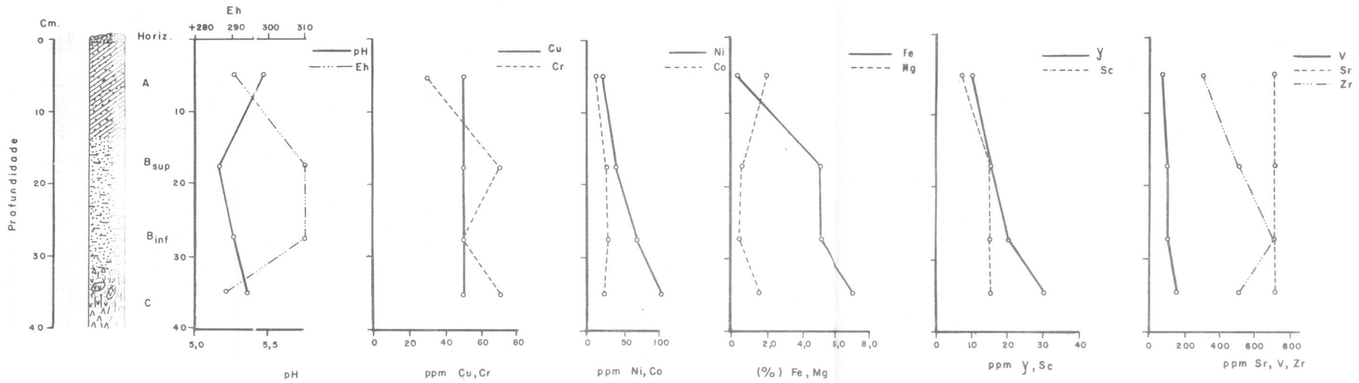


FIGURA 62 — POÇO DB - L - 411

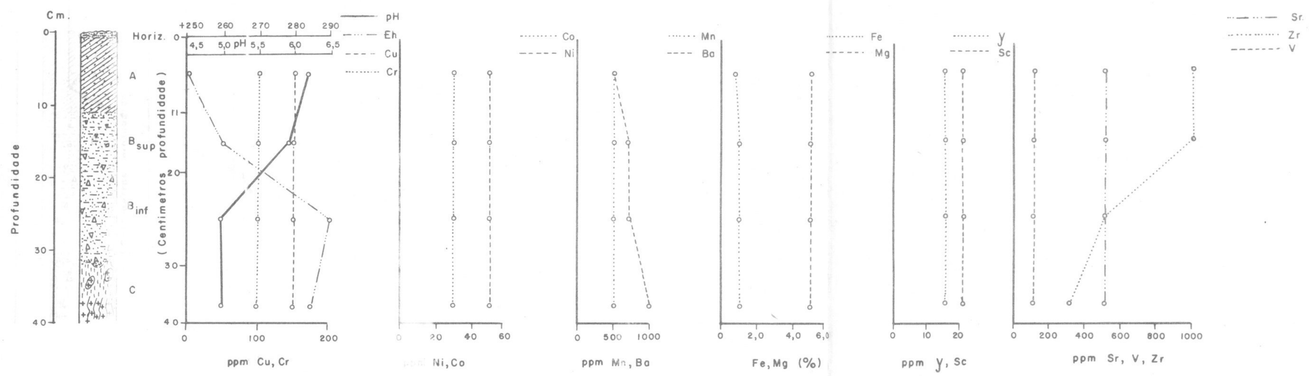


FIGURA 63 — POÇO DB — L-403

CONVENÇÕES

HORIZONTE A: TEXTURA ARGILO-ARENOSA, COM COLORAÇÃO CASTANHA-AVERMELHADA, ALTO TEOR DE MINERAIS MICÁCEOS, DECOMPOSTOS. ESTRUTURA POLIÉDRICA. PEQUENAS FENDAS DE RESSECAMENTO. SUPER-ESTRUTURA PRISMÁTICA. BOA POROSIDADE. NÍVEL CARACTERISTICAMENTE POUCO ESPESSO NA COBERTURA GNAÍSSICA.

HORIZONTE B: TEXTURA ARENOSA (QUARTZO, FELDSPATO), COM FRACO TEOR HÚMICO. MUITO COMPACTADO CONTEM MUITOS FRAGMENTOS DE ROCHA DECOMPOSTA. ESTRUTURA POLIÉDRICA. BOA POROSIDADE E PERMEABILIDADE.

HORIZONTE C: MATERIAL ALTAMENTE DECOMPOSTO, ORIGINÁRIO DA ROCHA MATRIZ DE COMPOSIÇÃO ESSENCALMENTE QUARTZO-FELDSPATO-BIOTÍTICA.

ROCHA SUBJACENTE: GNAISSE MIGMATÍTICO REGIONAL.

CONVENIO

CPRM D.N.P.M.

SALVADOR-BAHIA

TEC. RESPONSAVEL D. C. BRUNI

PROJETO COBRE-CURAÇÁ

PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM SOLO RESIDUAL

ESTUDO ORIENTATIVO — FAIXA DO PIRULITO

PERFIS GEOQUÍMICOS EM COBERTURA TÍPICA DO GNAISSE

Figuras 62 e 63

(1) - O Cu exibe concentrações, em média, mais fracas ao nível do horizonte A (tab. X), onde a distribuição do metal tem um comportamento mais errático (p. ex., fig. 59) quando comparado aos níveis imediatamente inferiores (fig. 56 a 61). Convém notar, entretanto, que o horizonte A mostra-se particularmente susceptível ao aporte de materiais carreados pelas enxurradas, preenchendo as fendas de dissecação, o que descaracteriza razoavelmente a representatividade do mesmo, em termos de estudo de prospecção geoquímica detalhada. A influência da matéria orgânica decomposta é também muito intensa neste horizonte. As soluções enriquecidas de humus aumentam a solubilidade dos minerais detríticos no solo enquanto que outros elementos tais como Fe e Mn são postos em solução na forma de complexos húmicos.

O horizonte B (fig. 56 a 58) mostra-se mais seguro na delimitação das concentrações anômalas características do corpo máfico mineralizado.

(2) - O Cr e o Ni, comparativamente ao Co, mostram uma associação mais significativa com o Cu (p. ex., fig. 56 horizonte B inferior, fig. 58 - horizonte C). Os perfis verticais tanto nos solos máficos (fig. 59 a 61) como nos gnáissicos (fig. 62 e 63) enfatizam tal comportamento.

(3) - O Fe, mostrando no solo máfico uma alta correlação com o Cu (coeficiente r = 0,40) tem, em média, teores crescentes em profundidade (fig. 59). Entretanto tal comportamento não é rígido, tendendo por vezes a uma distribuição uniforme (fig. 60 e 61). Já o Mn mostra uma distribuição mais errática nos níveis testados (fig. 59 a 61).

(4) - O escândio apesar da forte correlação com o Cu no solo máfico (coeficiente de correlação r = 0,72) tende a mostrar uma certa uniformidade nas concentrações nos horizontes A e B (fig. 60 e 61) com um contraste bem evidenciado com relação ao horizonte C (fig. 61). No solo gnáissico os teores aparecem preferencialmente invariáveis (fig. 63).

(5) - O estrôncio mostra fortes correlações inversas com Mg (coeficiente de correlação r =-0,50), Cu (-0,40), Fe (-0,45) e Cr (-0,41), o que aparece bem visualizado nos perfis verticais em solo máfico (fig. 59 a 63).

Durante o intemperismo, o Sr pode ser dissolvido e pode migrar como carbonatos, cloretos e sulfatos.

(6) - A forte correlação do vanádio com Fe (coeficiente de correlação r = 0,65), Mg (0,64), Co (0,61), Cr (0,73), Sc (0,74), Ni (0,73) e Cu (0,66) pode ser observada na figura 59.

Em regiões áridas, do tipo pesquisado no alvo-teste, RANKAMA e SAHAMA (1950) admitem que o V é concentrado no hidróxido de alumínio, sendo liberado durante a decomposição dos minerais de argila.

(7) - Os metais Y, Zr e Ba mostram um comportamento praticamente aleatório, com relação ao Cu, nos 4 níveis testados do solo máfico (fig. 59 a 61), não exibindo contrastes significativos entre os diversos horizontes nos solos gnáissicos (fig. 62 e 63).

O comportamento geoquímico dos metais no solo do alvo-teste já foi comentado no ítem precedente, pelo que o

objetivo do presente ítem tem apenas um caráter descritivo e informativo.

4.2.10. Conclusões extraídas do estudo orientativo

(1) A variância calculada para os elementos testados, principalmente Cu, Ni, Cr e Co, mostra pequenas discrepâncias entre os 4 níveis amostrados (horizontes A, B superior, B inferior e C), e o estudo de regressão linear múltipla sequencial evidencia, apenas, pequenas variações no comportamento de associações diversas de metais que motivam (accounted for) a variabilidade do cobre nos níveis da cobertura residual do corpo máfico.

Todos os horizontes revelam anomalias significativas e acentuados contrastes geoquímicos.

"A priori", poder-se-ia, pois, recomendar a amostragem ao nível do horizonte A, considerando os fatores que implicam numa maior rapidez na coleta da amostra e num baixo custo da mesma. Este procedimento, em princípio, é válido e aceitável.

Considerando, entretanto, que o horizonte A, em escala de detalhe, é susceptível a um constante processo de descaracterização acarretado pelo fenômeno de "canibalismo" (LEWIS e SANTOS, 1966), com o preenchimento de fendas de dissecação por materiais carreados, em superfície, pelas enxurradas das chuvas torrenciais, provocando deste modo, um constante revolvimento desse nível, pode-se, com base nestas evidências, sugerir como perfeitamente viável a conveniência de amostragem ao nível do horizonte B, para efeito de prospecção geoquímica, em escala de detalhe, em coberturas residuais de corpos máficos-ultramáficos similares, dentro do mes

no panorama geoquímico.

Convém notar, entretanto, em que pese as considerações acima, que o horizonte A constitui um reflexo razoavelmente bom do halo de dispersão anômala, no que aliás é favorecido pela sua própria textura argilosa (montmorilonítica), que tende a promover a concentração dos metais nessa argila que exibe uma alta capacidade de troca, atraindo e envolvendo os cátions metálicos por adsorção de superfície. O efeito do "canibalismo" seria, pois, de âmbito muito local e restrito, se prestando o horizonte A a levantamentos geoquímicos de reconhecimento, ou mesmo semi-detalhado, em áreas similares geologicamente.

(2) - Tendo em vista o caráter dominante das mineralizações de cobre, de grande ubiquidade no Distrito Cuprífero do Rio Curaça, conforme comprovam trabalhos diversos anteriormente executados em âmbito regional, e considerando as evidências obtidas no alvo-teste, onde, dentre os 30 metais pesquisados, apenas o cobre mostrou, efetivamente, concentrações significativamente anômalas no solo residual da rocha máfica, recaindo os demais metais preferencialmente na faixa de valores de "background" citados pela literatura geoquímica, poder-se-á sugerir, em princípio, como desnecessária a realização sistemática de testes adicionais para outros metais, o que poderia encarecer sensivelmente os custos de uma prospecção geoquímica detalhada.

As determinações analíticas do cobre, por si só, forneceriam subsídios válidos para a caracterização geoquímica de eventuais faixas mineralizadas.

Considerando, todavia, que determinadas associações de metais aparecem fortemente correlacionadas ao cobre

na área pesquisada, especialmente os metais Cr, Ni, Sc, Mg, V, Co, La, Fe e Mn, será sempre conveniente, em caso de variações regionais sensíveis (p. ex., no controle litológico-estrutural) dentro da referida paisagem geoquímica, a seleção de um número reduzido de pontos de amostragem, estrategicamente distribuídos, nos quais seria testada toda a associação paragenética, o que possibilitaria uma efetiva determinação de eventuais concentrações anômalas de outros metais, subordinada ou independentemente às anomalias de cobre.

(3) - A dispersão secundária dos metais no alvo-teste está condicionada a padrões clásticos, dominantemente, e hidromórficos de dispersão epigenética. Também os padrões de dispersão biogênica aparecem razoavelmente caracterizados principalmente nos níveis superficiais (horizonte A), onde uma certa fração da matéria mineral liberada pela decomposição orgânica aparece, por vezes, retida no solo, acarretando um incremento nas concentrações de alguns metais, como p.ex., o cobre.

(4) - A mobilização de cátions solúveis, especialmente Cu, Ni e Co, é apenas parcial e muito restrita no solo residual do alvo-teste, o que seria, "a priori", um efeito das condições particularmente desfavoráveis de pH, neutro a ligeiramente alcalino, inibindo consideravelmente a migração dos metais. O decréscimo brusco, verticalmente, nas concentrações dos metais nos horizontes A, B e C, a partir da rocha mineralizada, deixa bem patenteado tal condicionamento.

A grande capacidade de troca das argilas montmorilonníticas (horizontes A e B) possibilita uma efetiva adsorção de cátions pelos complexos adsorventes, no que contribui

a difusão por capilaridade ascencional, processo que se verifica, dominantemente, numa faixa muito limitada, contígua e imediatamente sobrejacente ao corpo máfico mineralizado.

Com relação ao cobre, os padrões de dispersão hidromórfica parecem muito limitados, em termos de espalhamento areal, sendo que, com referencia ao níquel e,principalmente, ao cobalto, tal tipo de dispersão é bem mais ampla e significativa, evidenciando as variações sutís no comportamento físico-químico dos citados metais.

(5) - No alvo-teste, dos 30 elementos pesquisados foram detectadas concentrações de 17 metais, ao nível da sensibilidade do método. Excetuando-se as concentrações anômalas do cobre, os demais metais caem na faixa de "background" citados pela literatura geoquímica para corpos máficos.

(6) - O "background" e o "threshold" estimados regionalmente caem, respectivamente, nas faixas de (40 e 270)ppm de Cu.

Relativamente às tais faixas de valores, os teores registrados no alvo-teste do Pirulito assumem, estatísticamente, um caráter significativamente anômalo,evidenciando, naturalmente, a mineralização associada.

Na prática, a isopleta de 100ppm de Cu permite um razoável delineamento do corpo máfico-ultramáfico do alvo-teste, enquanto que o contorno de 500ppm fornece a configuração dos níveis potencialmente mineralizados.

(7) - A configuração clástica dos padrões de dispersão secundária aparece bem evidenciada no alvo-teste.

Assim, mesmo o cobre, que é um metal de boa mobi-

lidade (em ambiente de pH ácido), nas condições físico-químicas locais parece pouco móvel, favorecendo a formação de concentrações anômalas de origem clástica no solo residual máfico, fato evidenciado pela disseminação de grânulos de minerais oxidados (malaquita, azurita, etc.) nos halos anômalos do solo do alvo. Também a ampla variação lateral, a partir dos centros mineralizados, evidenciando contrastes bruscos dentro de pequenos espaçamentos, parecem confirmar tal suposição.

Quanto aos metais de baixa mobilidade, especialmente o cromo, predomina, naturalmente, o caráter clástico e residual da dispersão, favorecendo a formação de concentrações discretas a partir da liberação dos teores de "background" da rocha matriz.

(8) - Verifica-se uma alta correlação do Cu com Cr, Ni, Sc, Mg, V, Co e La na população total do solo residual (horizonte A + B + C). Isto faz admitir uma estreita associação dos mesmos nos meios primários e secundários; não obstante, assinala-se uma diminuição da porcentagem de redução a partir do horizonte C para os níveis inferiores e superiores do horizonte B, constituindo uma evidência de separação dos elementos traços, sem que a correlação seja, entretanto, removida.

Convém notar que a montmorilonita resultante do intemperismo de tais corpos retém um elevado teor de cátions solúveis, ao nível do horizonte A, apresentando um aumento relativo da porcentagem de redução com relação ao horizonte B (nível superior).

(9) - A regressão linear múltipla sequencial, tomando-se o cobre como variável dependente e seis outros metais co

mo variáveis independentes, sugere que não se obtem muito mais informações motivadas (accounted for) depois da entrada de mais de duas variáveis independentes.

A associação Ni-Co é a que apresenta melhor porcentagem de redução nos quatro níveis testados.

Torna-se, pois, desnecessário, o envolvimento de outras variáveis independentes, a título de economia dos custos da pesquisa.

(10) - A aplicação da técnica de média móvel ao estudo de detalhe, no Pirulito, não apresentou nenhuma contribuição efetiva em termos de interpretação geoquímica. Apenas possibilitou, ao nível do horizonte C, representar em mapa de distribuição, com razoável precisão, o contorno suavizado do corpo máfico, dando uma configuração da população envolvida. Ao nível do detalhamento executado, a técnica da média móvel mostra-se, pois, desnecessária.

Essa técnica, entretanto, tem se mostrado realmente eficaz em reconhecimento geoquímico regional, na caracterização de halos de dispersão, o que foi efetivamente comprovado na área do Alvo L-2 incluindo o corpo máfico-ultramáfico do Pirulito. Em termos práticos, a adoção de uma malha de 400m (E-W) por 800m (N-S), com recobrimentos laterais de 50%, possibilitou um bom delineamento do "trend" anômalo regionalmente detectado.

O envolvimento de um maior número de dados, segundo a malha adotada, tornando mais suavizadas as variações laterais dos halos anômalos, condiciona um melhor posicionamento, geográficamente, das principais faixas admitidas como potencialmente favoráveis a mineralização.

(1) - O desenvolvimento de técnicas estatísticas dentro da sistemática adotada, constituiu-se numa importante ferramenta auxiliar na avaliação e interpretação dos resultados obtidos, possibilitando uma efetiva caracterização de associações paragenéticas significativas, envolvendo principalmente os metais Cu-Cr-Ni-Co-Sc-Mg-V-Fe-Mn, numa área reconhecidamente mineralizada (sulfetos de cobre e ferro).

As informações obtidas, analisadas em termos geoquímicos, com especial ênfase quanto à dominância dos padrões clásticos na dispersão epigenética, permitirão o desenvolvimento e avaliação de métodos de prospecção mais eficazes em solos residuais, com vistas a mineralizações de cobre dentro do Distrito Cuprífero do Vale do Rio Curaçá.

(12) - A malha de amostragem adotada na prospecção semi-detalhada do Alvo L-2, fazenda Sertãozinho, segundo uma rede de 300m (N-S) por 100m (E-W), mostrou-se eficaz na definição da faixa anômala refletida pelo corpo norítico-piroxenítico mineralizado, caracterizado secundariamente por fraca disseminação de oxidados de cobre (cuprita, malaquita, etc), na localidade de Pirulito (dimensões aproximadas do corpo principal: 70m E-W x 300m N-S). Por sua vez, a malha de amostragem de 50m (N-S) por 25m (E-W) mostrou um excelente resultado na caracterização dos padrões da dispersão secundária no citado alvo-teste.

Em termos práticos, todavia, uma malha de 400m

(N-S) x 200m (E-W) seria, "a priori," susceptível à caracterização de eventuais halos de dispersão anômala no ambiente secundário, conforme evidenciou a pesquisa desenvolvida no alvo-teste.

Cada área, entretanto, apresenta problemas específicos que devem ser cuidadosamente avaliados, o que torna inviável estabelecer, em princípio, uma malha ideal de amostragem aplicável a outras faixas dentro do mesmo panorama geoquímico regional.

(13) - O critério de "amostragem estratégica", aplicado com sucesso em reconhecimentos geoquímicos regionais e semi-regionais no vale do rio Curaçá, mostrou-se de uma especial eficácia no levantamento do alvo-teste.

Considerando que a sistematização de uma malha de amostragem implica, muitas vezes, num posicionamento inadequado das estações de amostragem com relação a certos corpos máficos esparsamente distribuídos, tornou-se necessário, em função da inspeção visual <u>in situ</u>, promover a amostragem adicional, em caráter muito limitado, correspondente as referidas faixas. A população testada, neste caso, adquire uma efetiva representatividade geoquímica, em termos qualitativos e quantitativos. Tal experiência foi bem sucedida no reconhecimento geoquímico do Alvo L-2, incluindo o depósito de Pirulito, onde a amostragem estratégica forneceu subsídios muito úteis na definição de faixas potencialmente anômalas.

(14) - O estabelecimento de horizontes ideais para amostragem geoquímica em solo (horizonte A, em escala regional, p. ex. 1:25.000; ou horizonte B, em escala de detalhe, p.ex. 1:1.000) e a redução das análises a, preferencialmente, um

único metal (cobre total) são informações que poderão ser utilizadas no desenvolvimento de futuras campanhas de prospecção, mantendo a eficácia do método e uma alta economicidade de custos.

(15) - Ficou bem patenteado que, em áreas de solo residual de cobertura máfica-ultramáfica, uma avaliação através de prospecção geoquímica fornece informações muito seguras e eficazes acerca das mineralizações sub-aflorantes, em que pese a profundidade da cobertura, susceptível a variações, e a forte intemperização, por vezes assinaladas neste tipo de paisagem tropical. Isto torna o método particularmente adequado e aplicável dentro da paisagem geoquímica regional.

(16) - Tendo em vista a complexidade e contribuição variável de muitos fatores (topografia, litologia da rocha subjacente, tipo e maturidade do solo, matéria orgânica, pH, Eh, etc.) que influenciam os padrões de dispersão dos metais no ambiente secundário, evidencia-se a importância da escolha de métodos adequados para melhor caracterizá-los, visando auferir um máximo de rendimento na interpretação de resultados de campanhas similares, dentro de uma mesma paisagem geoquímica.

Um estudo orientativo constitui, em síntese, um subsídio preliminar muito válido e indispensável ao bom êxito de qualquer missão de exploração geoquímica.

CPRM

5. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA - MÉTODO ELÉTRICO

(POLARIZAÇÃO INDUZIDA)

Paulo Eduardo Lima da Silva

5.1. Generalidades

Após os ensaios pioneiros de viabilidade, deu-se início, em abril de 1972, uma campanha geofísica sistemática em áreas do Projeto Cobre, com emprego do método da polarização induzida, domínio da frequência, utilizando-se o arranjo dipolo-dipolo. Inicialmente estes estudos geofísicos foram utilizados apenas na fase de detalhe, em alvos previamente selecionados pelos levantamentos geológico e geoquímico. Posteriormente, com o desenvolvimento dos trabalhos de prospecção, sentiu-se a necessidade de se integrar a prospecção elétrica de IP na fase de semi-detalhe. De natureza operacional bastante vagarosa, comprovada anteriormente, o arranjo dipolo-dipolo não se enquadrava a este tipo de levantamento. Após rápidos testes de campo, devido principalmente a rapidez de operação oferecida, optou-se pelo dispositivo Schlumberger modificado. Escolheu-se o Alvo S-1 (Alvo da Macambira), e os resultados finais mostraram limitações, do arranjo, de ordem qualitativa e quantitativa. Diante das limitações apresentadas pelo arranjo Schlumberger, a escolha de um dispositivo, que fornecesse rapidez de operação, bem como elementos concretos para uma interpretação completa de uma zona condutora anômala, recaiu no arranjo polo-dipolo. Um estudo orientativo com a aplicação deste arranjo foi desenvolvido na área de Lagoa da Mina e a sua eficiência comprovada.

5.1.1. Histórico

As raízes do método da polarização induzida, começaram com os irmãos Schlumberger (1920), quando no estudo da técnica do SP (self-potencial), foi percebido uma caída

mais lenta de voltagem residual, nas vizinhanças de um corpo de sulfeto, após a interrupção de uma corrente contínua primária.

Dakhnov (1941), realizando medidas de polarização induzida em perfilagens de poços petrolíferos, na tentativa de obter informações sobre a permeabilidade das formações, mencionou também a possibilidade da aplicação do método na prospecção de sulfetos.

O desenvolvimento sistemático do método da polarização induzida, na exploração mineral nos EUA, iniciou-se com os estudos teóricos da sobretensão overvoltagem, em 1947, e a informação, de Seigel (1948), da possível aplicação do método na prospecção geofísica. Investigações de laboratório e posteriormente de campo, patrocinadas pela Newmont Mining Corporation em 1948, conduziram para o desenvolvimento da técnica dos trabalhos de campo.

Contemporaneamente aos estudos de Seigel, e independentemente, D. F. Bleil (1948) também indicou a possibilidade de utilização do método da polarização induzida na prospecção de magnetita e depósitos de sulfetos, porém aparentemente não reconheceu a presença dos efeitos da polarização induzida dos não-metálicos, nas rochas.

Até 1950, as medidas de polarização induzida foram do tipo de domínio de tempo, até que Collet e Seigel (1950) sugeriram medir-se os efeitos da polarização utilizando uma corrente sinusoidal de diferentes frequências. Wait (1959) desenvolveu profundamente as possibilidades dessa, tendo sumarizados numa monografia os resultados realizados.

Desde 1959, vários grupos atuam no desenvolvimento do método da polarização induzida por meios de mode

los teóricos de laboratório e estudos de campo. Dentre estes grupos, distingue-se o do Massachusetts Institute of Tecnology (MIT).

Na figura 64 é apresentado um gráfico de aplicação do método nos últimos anos, em confronto com outros métodos geofísicos de prospecção.

5.1.2. Conceitos físicos

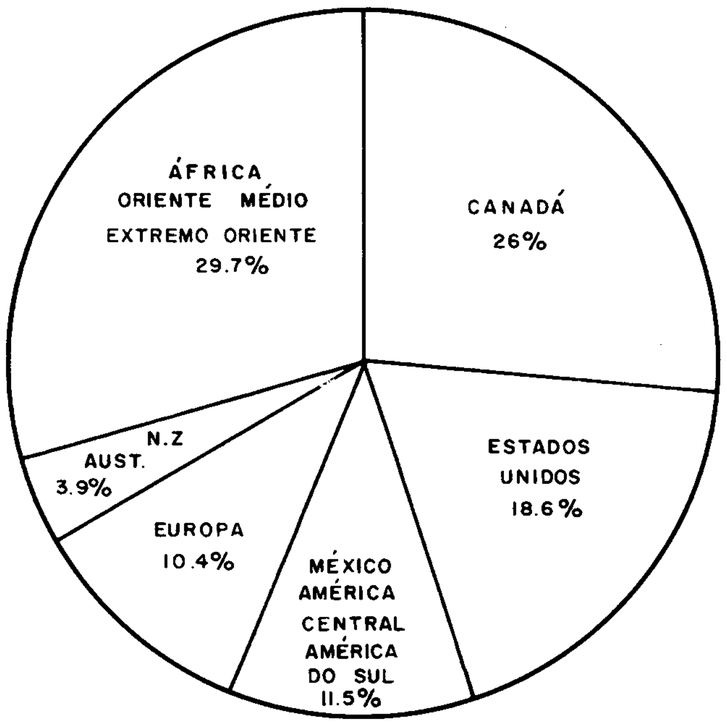
O têrmo "polarização induzida" está relacionado a detecção da superfície elétrica de polarização dos minerais metálicos, os quais são induzidos por correntes elétricas aplicadas no solo. A figura 65 mostra o fenômeno da polarização induzida devido a uma partícula de condução metálica na rocha.

Quando estas porções de minerais metálicos e os poros da rocha são atravessados por uma corrente elétrica, é formada uma barreira eletroquímica que deve ser atravessada pela corrente a fim de fluir através do interface (contacto) entre os minerais metálicos e a solução nos poros. As forças que se opõem ao fluxo da corrente polarizam o contacto, e a voltagem adicional necessária para dirigir a corrente através desta barreira é conhecida como "overvoltagem". Quando as correntes induzidas são desviadas, as overvoltagens produzidas decaem, no tempo. Este decaímento da voltagem, representa um modo de detectar os efeitos da polarização dentro da rocha, conhecido como "domínio de tempo" ou "método da overvoltagem", para alguns grupos.

Tomando-se um intervalo de tempo muito pequeno para produzir as overvoltagens, acha-se que a impedância destas zonas decrescem com o aumento da frequência, de maneira

DESPESA MUNDIAL

		VARIAÇÃO 1 ANO	VARIAÇÃO 5 ANO
DESPESA TOTAL	US$ 12,950.000	+28%	−50%



MÉTODOS USADOS MUNDIALMENTE

DISTRIBUIÇÃO POR DESPESAS

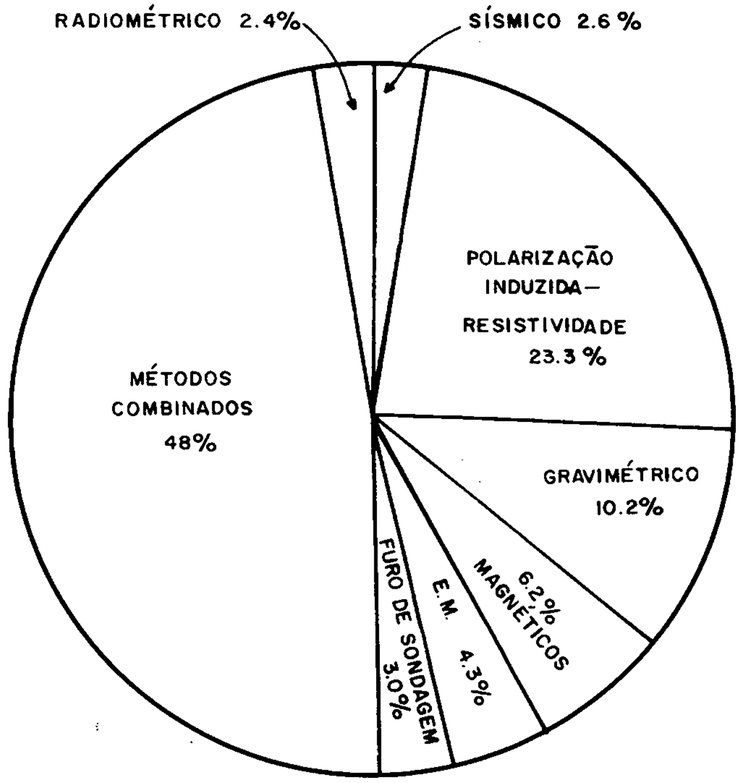
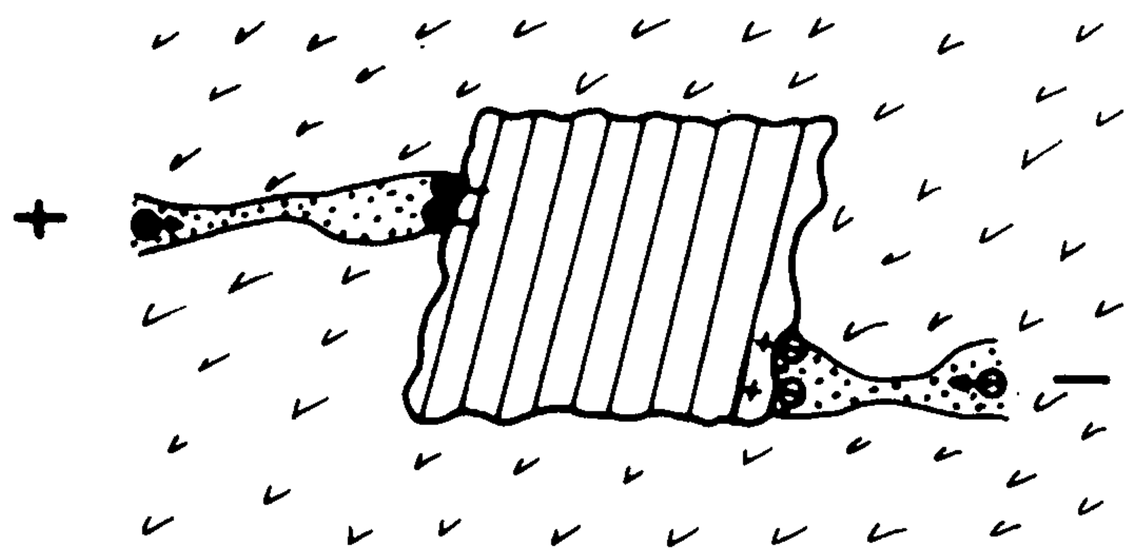


FIG. 64 Despesas e métodos usados em 1972 em geofísica terrestre para minerais

(Fonte: Geophysics vol. 39 nº 1 February 1974)

DES: REGINALDO C. DIAS

CPRM



LEGENDA

CAPILARES CONTENDO ELETRÓLITO
(CONDUÇÃO IÔNICA)

PARTÍCULA METÁLICA
(CONDUÇÃO ELETRÔNICA)

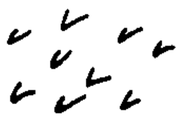

ROCHA ENCAIXANTE
(ISOLANTE)

Figura 65 - Polarização induzida de uma partícula metálica condutora em uma rocha.

que as medidas de polarização podem ser feitas, igualmente, no "domínio da frequência".

O domínio da frequência usa três parâmetros bem distintos, que interpretados conjuntamente irão definir uma zona anômala. Estes parâmetros são representados pela resistividade aparente (ρ_a), efeito percentual da frequência (PFE) e fator de condução metálica (MCF).

A resistividade (ρ_a) de um material é definida como a resistência, em ohms, entre faces opostas de um cubo unitário do material. As unidades da resistividade comumente empregada são ohm-centímetro e ohm-metro. A resistividade aparente, parâmetro fundamental da prospecção elétrica, é definida como a razão entre o potencial medido e o potencial teórico para um ponto dado. A partir da equação básica do potencial, obtem-se a expressão dada por:

$$\rho_a = \frac{2\pi \; V}{I} \cdot Kn, \text{ onde:}$$

ρ_a = resistividade aparente

V = voltagem

I = corrente

Kn = fator geométrico do arranjo empregado

A resistividade das rochas e minerais é uma propriedade extremamente variável e depende de vários fatores.

Embora a maioria das rochas sejam materiais dielétricos, não significa que sejam sempre pobres condutores. Isto seria correto se fossem sólidos compactos, porém a grande maioria das rochas são porosas ou apresentam fissuras e fraturas que são preenchidas por uma mistura condutiva que age como eletrólito. Desta maneira, a condutividade das rochas

é função de fatores como: a) quantidade de poros; b) disposição dos poros; c) quantidade de poros preenchidos por água; d) tipo de condutividade da água que preenche os poros; e) quantidade de fraturas ou fissuras.

A resistividade dos minerais é refletida principalmente na propriedade do brilho. Minerais que apresentam brilho metálico, apresentam geralmente baixa resistividade e estão enquadrados no grupo dos bons condutores.

A resistividade dos depósitos minerais, vai depender, naturalmente, da quantidade de minerais condutores e da sua distribuição.

A figura 66 mostra a resistividade dos principais tipos de rocha, minerais e minério, segundo Parasnis (1960).

O efeito percentual da frequência, PFE, é definido pela expressão:

$$PFE = \frac{\rho_{dc} - \rho_{ac}}{\rho_{ac}} \times 100, \text{ onde}$$

ρ_{dc} = resistividade aparente na baixa frequência

ρ_{ac} = resistividade aparente na alta frequência

A teoria do efeito da polarização de eletrodo mostra que a polarização induzida é largamente influenciada pela resistividade do eletrólito na rocha regional. Esta atividade eletrolítica por sua vez, varia com a temperatura e diferentes tipos de rocha. Em princípio, o fator de condução metálica (MCF), é definido simplesmente como PFE dividido pela ρ_{dc}. Entretanto, o número obtido é tão pequeno que é multiplicado arbitrariamente por $2\pi \times 10^3$, dando a expressão do fator de condução metálica igual a:

$$MCF = 2\pi \times 1000 \times PFE/\rho_{dc}$$

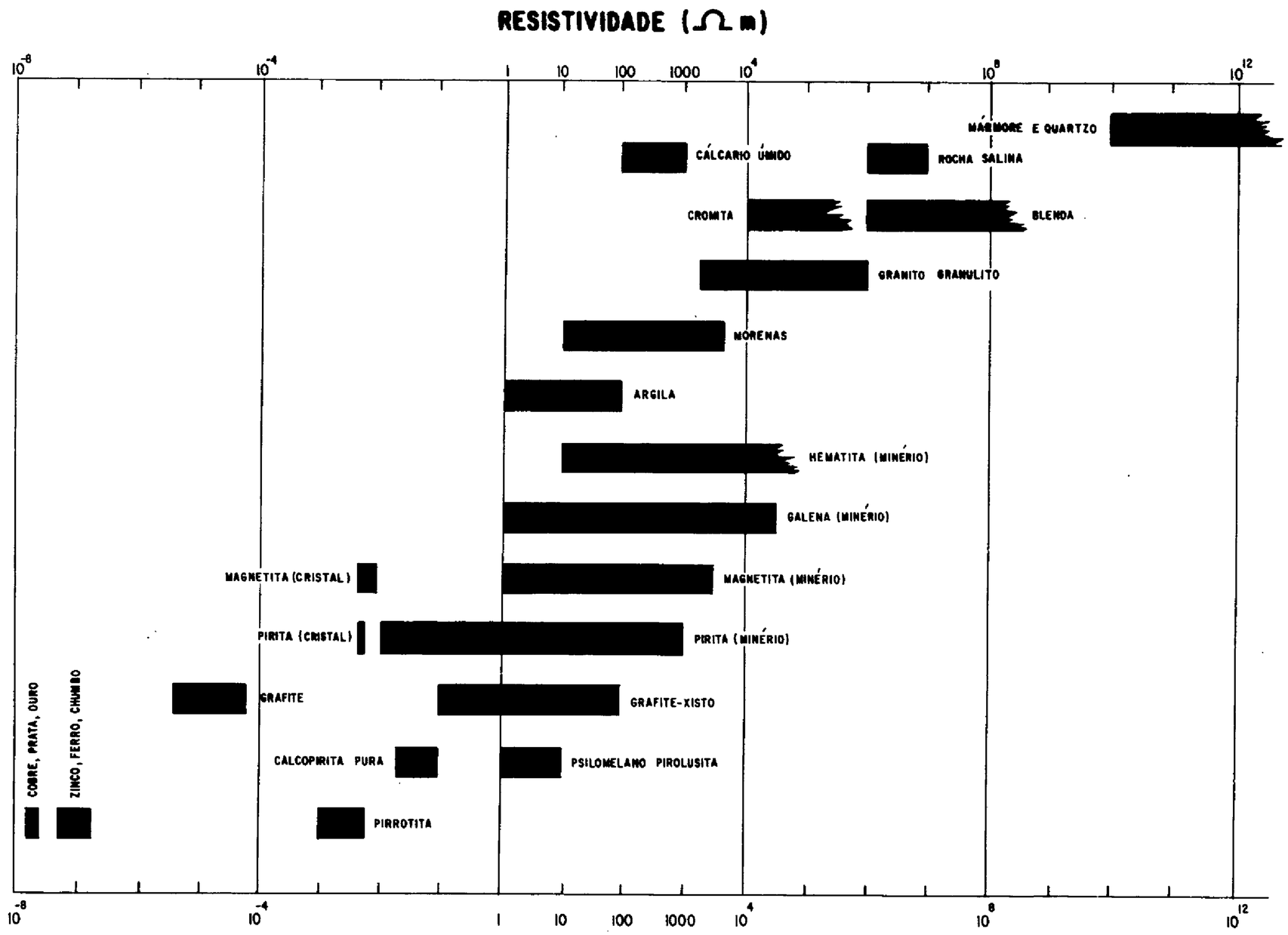


FIGURA 66

RESISTIVIDADE APROXIMADA DE ALGUMAS ROCHAS, MINERAIS, MINÉRIOS E METAIS. A ESCALA DE RESISTIVIDADE (HORIZONTAL) É LOGARÍTMICA

CPRM

Do parasnis, pg. 153

DES: Emanoel V. de Macedo – 04/74

O MCF serve para enfatizar os efeitos de IP que ocorrem em ambientes óbviamente condutores, ou seja, em depósitos concentrados de sulfetos, grafites, etc. Entretanto, o fator metal não sendo uma grandeza admensional, nem uma simples propriedade física real, está sujeito a variações relacionadas com a mudança das resistividades do meio investigado. Portanto, o mesmo não deverá ser usado como um indicador primário de condições anômalas de polarização induzida.

Os sulfetos apresentam o efeito da polarização induzida, devido essencialmente ao fato destes minerais serem condutores eletrônicos, em contraste com os fluidos que preenchem os poros das rochas, os quais são condutores iônicos. Por esta razão, espera-se que qualquer mineral que apresente condução eletrônica apresente o efeito da polarização induzida. Abaixo, segue uma relação dos principais minerais que apresentam a propriedade da condução eletrônica (tab. XVII).

ÓXIDOS	SULFETOS	OUTROS
Magnetita (Fe_3O_4)	Pirita (FeS_2)	Grafite (C)
Pirolusita (MnO_2)	Pirrotita ($Fe\ Sx_1$)	Cobre Nativo (Cu)
Cassiterita (SnO_2)	Marcasita ($Fe\ S_2$)	
	Galena (Pb S)	
	Calcopirita ($FeCuS_2$)	
	Molibidenita (MoS_2)	
	Pentlandita (Fe,Ni)S	
	Cobaltita (CoAsS)	
	Argentita (Ag_2S)	

Tabela XVII - Relação de minerais que apresentam propriedade da condução eletrônica.

5.1.3. Aparelhagem

A aparelhagem empregada foi da Geoscience Cambridge, Mass., manufaturada pela Eletro-Technical Labs. (ETL), constituída de uma unidade transmissora, modelo T 2800 com as unidades de Power Supply e Output e, uma unidade receptora GEOMITE (TM) R 401/S. Os blocos diagramas das unidades transmissoras e receptoras são mostradas respectivamente nas figuras 67 e 68.

A forma da onda primária é frequentemente uma D.C. transformada. Comumente acima de seis frequências, é utilizável num alcance de 0.05 a 10 cps.

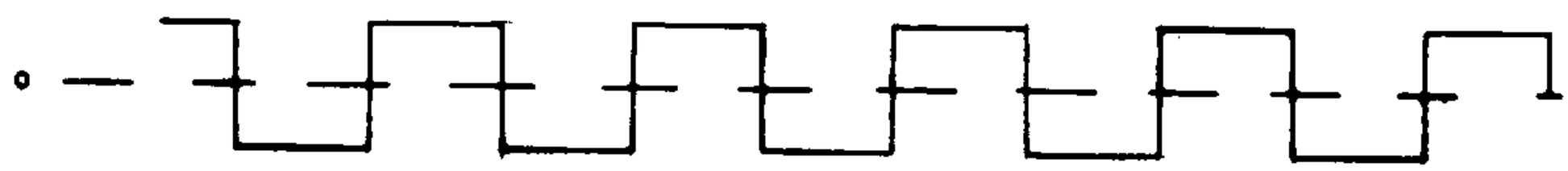


Figura 69 - Corrente primária e voltagem medida no domínio de frequência.

5.2. Dispositivo dos arranjos

5.2.1. Schlumberger

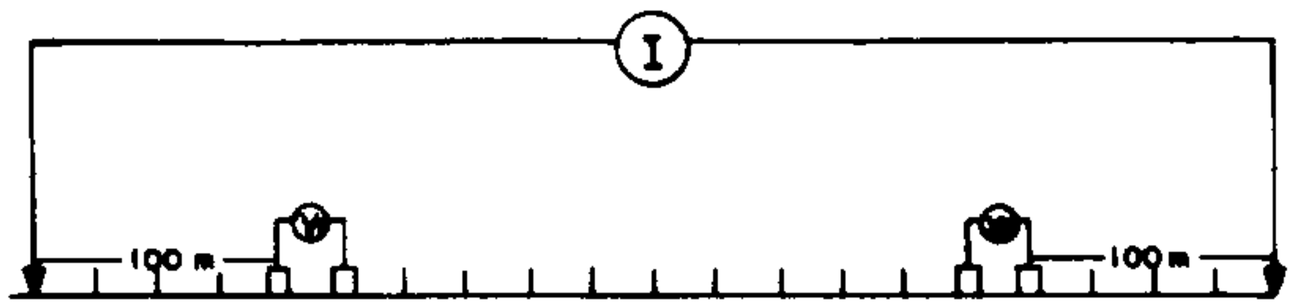


Figura 70 - Dispositivo do arranjo Schlumberger modificado.

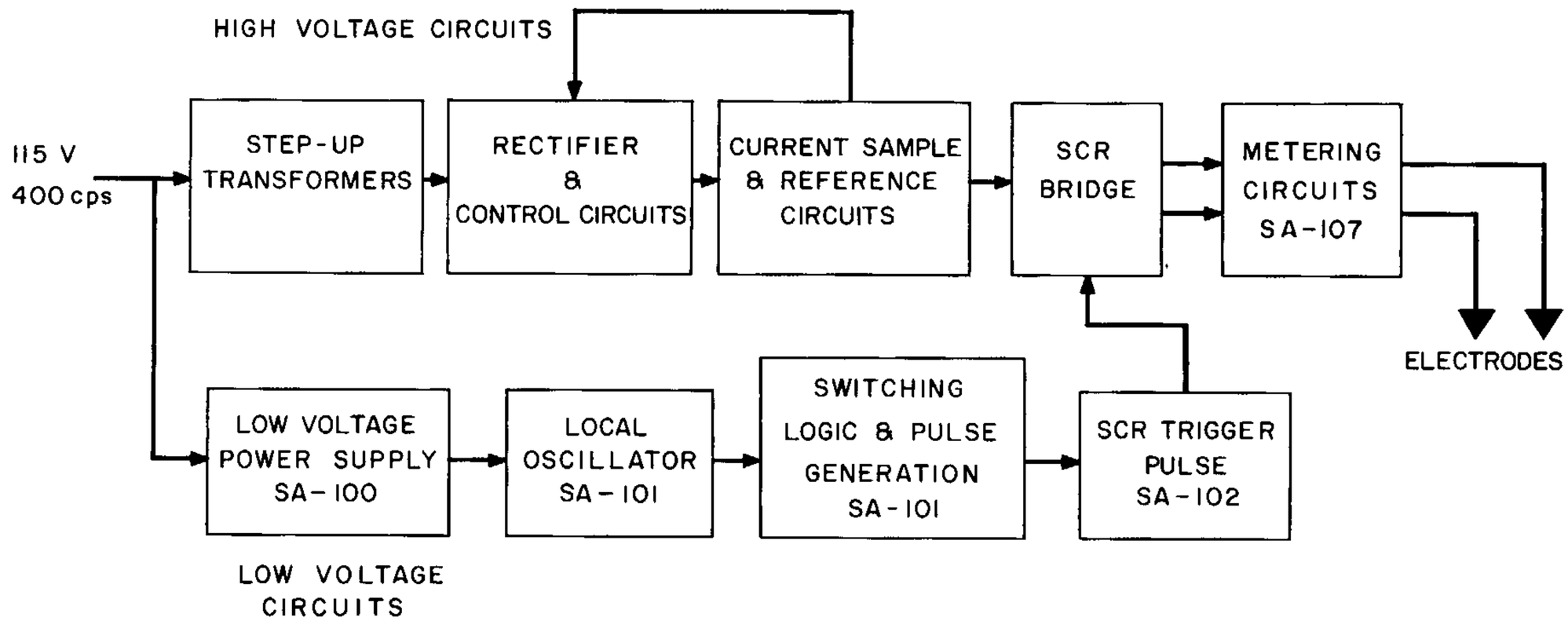


FIGURA-67 BLOCK DIAGRAM OF IP TRANSMITTER.

CPRM

Do manual do aparelho

DES: Emanoel V. de Macedo — 04/74

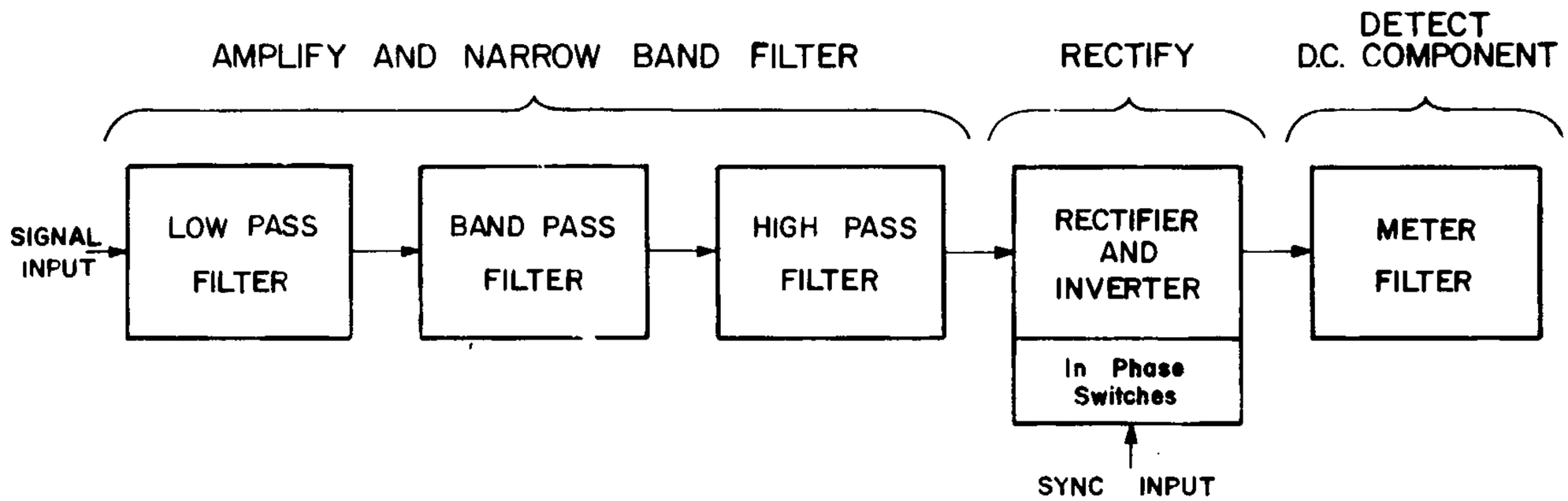


FIGURA 68- BLOCK DIAGRAM OF THE GEOMITE R401/S INDUCED POLARIZATION RECEIVER

CPRM

Do manual do aparelho

Des: Reginaldo Cardoso Dias

O dispositivo Schlumberger modificado consiste em fixar os eletrodos de corrente nas extremidades do perfil, conforme figura 70, e movimentar os eletrodos de potencial. O movimento destes eletrodos dá-se sempre no sentido progressivo e nunca no sentido progressivo-regressivo como nos arranjos polo-dipolo e dipolo-dipolo. Este sentido único de movimento deve-se à fixação dos eletrodos de corrente. A separação entre os eletrodos de corrente e potencial deverá obedecer à uma distância mínima de 100 metros.

5.2.2. Polo-dipolo

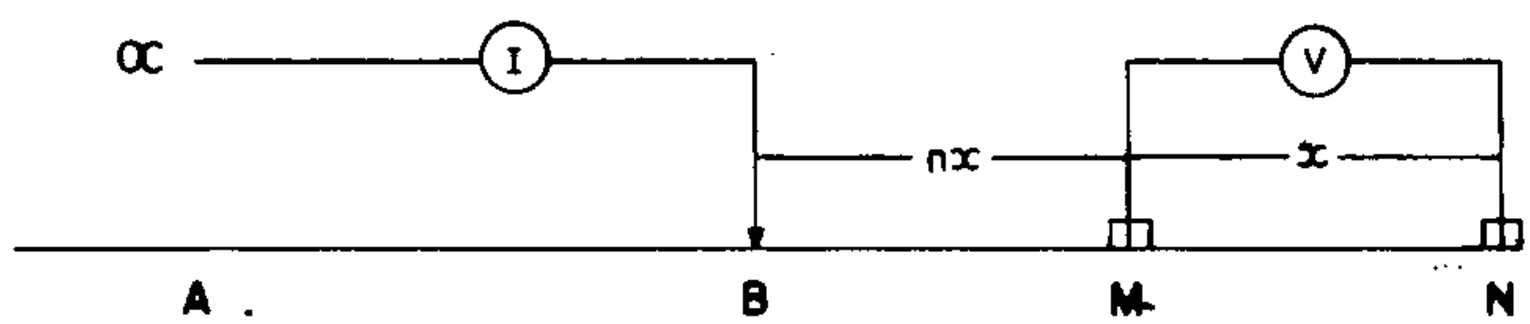


Figura 71 - Dispositivo do arranjo polo-dipolo

O dispositivo do arranjo polo-dipolo consiste em se fixar um eletrodo de corrente, teoricamente no infinito, e movimentar o outro ao longo do perfil levantado. Para cada posição do eletrodo de corrente móvel, estabelece-se quatro mudanças da estação receptora, correspondendo a quatro níveis de investigação. Para um espaçamento em geral de 50 metros, utilizado na fase de semi-detalhe, tem-se o primeiro nível com uma profundidade aproximada de 37,5m, o segundo com 62,5m, o terceiro e quarto níveis, com profundidade respectivamente iguais a 87,5m e 112,5m. Evidentemente, os cálculos destas profundidades são tirados diretamente da geometria do arranjo, e a sua correspondência na prática poderá sofrer

influências diversas como: cobertura condutiva, topografia acidentada, concentrações condutivas irregulares em profundidade e heterogeneidade das rochas. Entretanto, o erro obtido entre a diferença da profundidade tirada a partir do cálculo matemático e a profundidade real determinada pelos testes de sondagem, foi inferior a 20%. Há duas maneiras de plotar os dados de campo, com a utilização do arranjo polo-dipolo, mostrados na figura 72. A condição 2 foi utilizada em todos os trabalhos realizados.

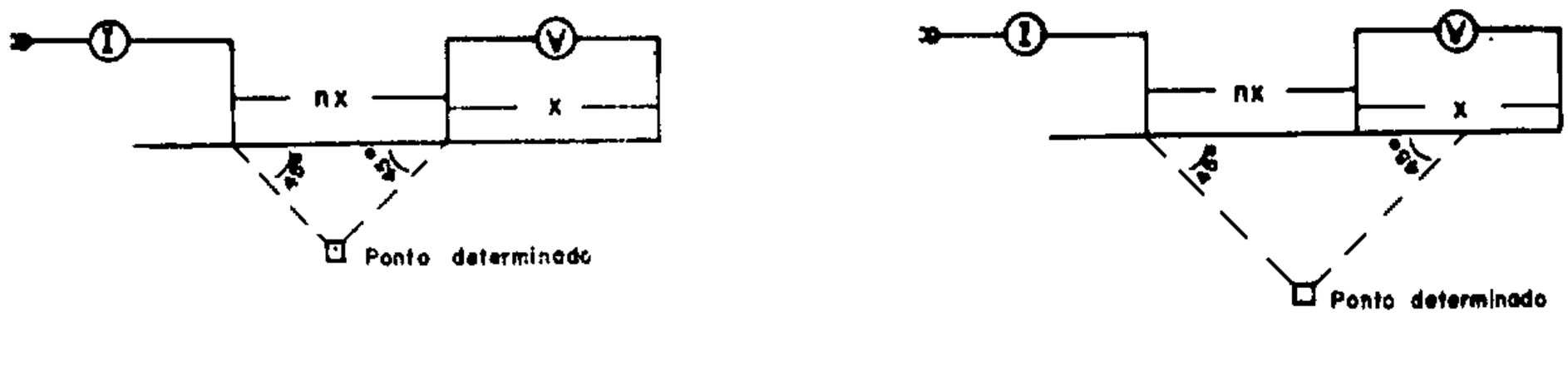


Figura 72 - Plotação dos dados do arranjo polo-dipolo

5.2.3. Dipolo-dipolo

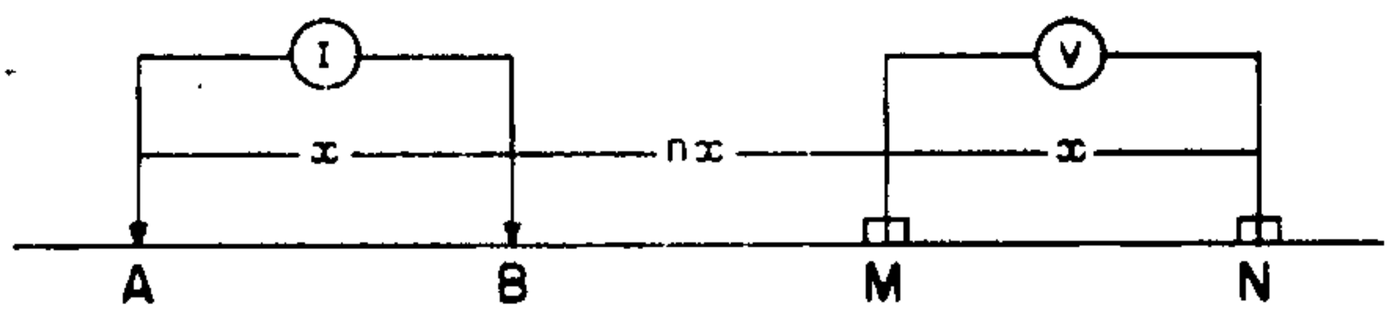


Figura 73 - Dispositivo do arranjo dipolo-dipolo

A configuração dipolo-dipolo (fig.73) consiste essencialmente de quatro eletrodos colineares igualmente espaçados. A corrente I é aplicada em dois eletrodos adjacentes e o potencial V, é medido nos dois restantes. Estabeleceu-

se para cada estação fixa de corrente, seis mudanças da estação receptora, correspondendo a seis níveis de profundidade, aproximadamente iguais a: 25m, 37,5m, 50m, 62,5m, 75m e 87,5m, para um espaçamento de 25 metros. De maneira análoga ao arranjo polo-dipolo, estes cálculos matemáticos da profundidade de investigação, foram tirados diretamente da geometria do arranjo, e a sua relação na prática sofre as mesmas restrições discutidas anteriormente para o arranjo polo-dipolo. Na figura 74, abaixo, é mostrada a maneira para se plotar os dados de campo, obtidos com a aplicação do arranjo dipolo-dipolo.

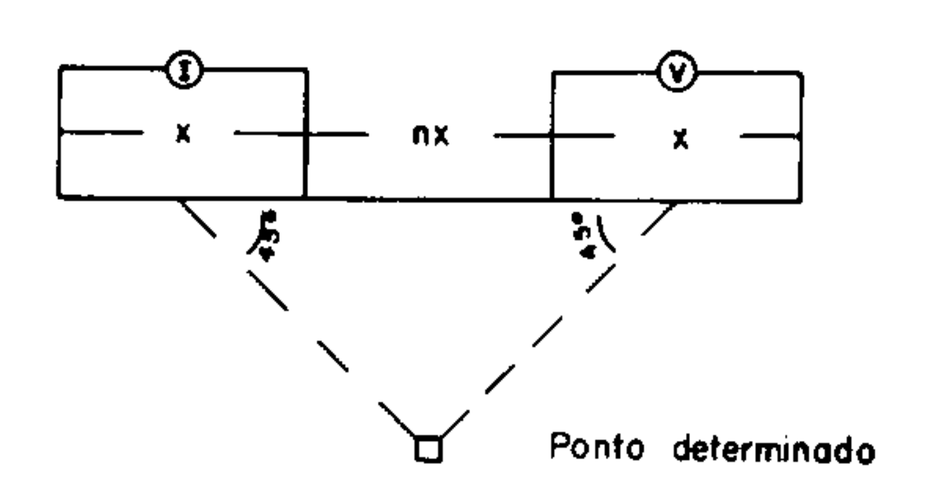


Figura 74 - Plotação dos dados do arranjo dipolo-dipolo.

5.3. Fatores geométricos

5.3.1. Schlumberger

Partindo da equação geral dada por:

$$Kn = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)}$$

Desenvolvendo, tem-se:

$$Kn = \frac{2\pi . AM.BM.AN.BN}{BM.AN.BN. - AM.AN.BN - AM.BM + AM.BN.AN}$$

$$Kn = \frac{2\pi \; AM.BM.AN.BN}{BM. \; BN. \; MN \; + \; AM. \; AN \; (BN - BM)}$$

$$Kn = \frac{2\pi \; AM.BM.AN.BN}{MN \; (BM. \; BN \; + \; AM. \; AN)}$$

Neste caso, tem-se o dispositivo AB dividido em N unidades Δx. Cada unidade Δx corresponde a uma estação de potencial.

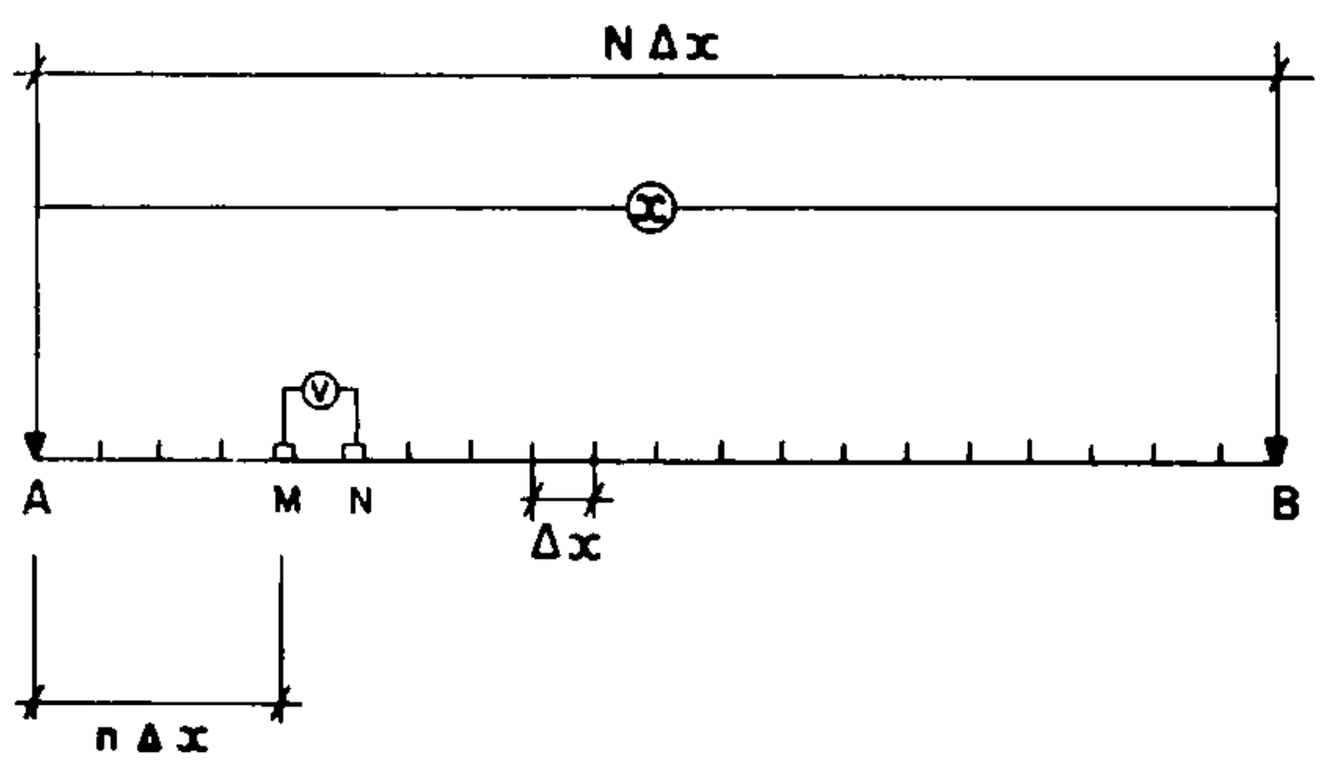


Figura 75 - Dispositivo Schlumberger apresentando os elementos da dedução.

Da figura 75, tem-se:

$$AM = n\Delta x$$
$$BM = (N-n)\Delta x$$
$$AN = (n+1)\Delta x$$
$$BN = [N-(n+1)]\Delta x$$
$$MN = \Delta x$$

Substituindo os valores de AM, BM, AN, BN e MN na expressão, tem-se:

$$Kn = \frac{2\pi\left\{n\Delta x.\ (N-n)\Delta x.\ (n+1)\Delta x.\ [N-(n+1)]\Delta x\right\}}{\Delta x\left\{(N-n)\Delta x.\ [N-(n+1)]\Delta x + N\Delta x.(n+1)\Delta x\right\}}$$

Desenvolvendo a expressão e simplificando, tem-se a formula do fator geométrico do arranjo em questão, dado por:

$$Kn = 2\pi\Delta x\left\{\frac{n(n+1)\ (N-n)\ [N-(n+1)]}{n(n+1) + (N-n)\ [N-(n+1)]}\right\}$$

5.3.2. Polo-dipolo

Da equação geral tem-se:

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

Da figura 71, tem-se:

$AM = \infty$

$BM = nx$

$AN = \infty$

$BN = x\ (n+1)$

Substituindo os valores de AM, BM, AN e BN na equação, tem-se:

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{1}{\infty} - \frac{1}{nx} - \frac{1}{\infty} + \frac{1}{x(n+1)}}$$

$$Kn = \frac{2\pi}{0 - \frac{1}{nx} - 0 + \frac{1}{x(n+1)}}$$

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{1}{nx(n+1)}}$$

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{1}{nx(n+1)}} \therefore Kn = 2\pi\, xn(n+1)$$

5.3.3. Dipolo-dipolo

Da expressão geral, tem-se:

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{1}{x(n+1)} - \frac{1}{nx} - \frac{1}{x(n+2)} + \frac{1}{x(n+1)}}$$

$$Kn = \frac{2\pi}{\frac{n(n+2) + (n+1)\ (n+2) - n(n+1) - n(n+2)}{nx\ (n+1)\ (n+2)}}$$

Desenvolvendo e simplificando a expressão, tem-se:

$Kn = \pi\, nx\ (n+1)\ (n+2)$, que representa a expressão do fator geométrico para o arranjo dipolo-dipolo.

5.4. Técnicas operacionais

Toda equipe de IP, independente do arranjo a ser utilizado, deverá ser constituída de um geofísico, um técnico de nível médio e auxiliares de campo.

O geofísico é responsável pela coordenação da equipe e operação do receptor. Na operação desse instrumento o geofísico perceberá as variações dos valores e sempre que possível, deverá relacioná-los "in situ" com os aspectos geológicos.

O técnico de nível médio, de preferência, deverá ter conhecimentos elementares de eletrônica para facilitar as operações e dar maior rendimento ao trabalho. Tem a função de operador da estação transmissora.

Os auxiliares de campo servem de apoio, principalmente, para o estiramento dos fios e fixação dos eletrodos.

Nos arranjos Schlumberger e polo-dipolo, a estação transmissora, visando uma melhor produção, deverá estar situada em local de fácil acesso, como numa estrada transversal ao sistema de picadas, ou na própria picada eixo. Chama-se atenção deste aspecto, visto que a estação transmissora, localizada em via de fácil acesso, tornará possível o levantamento de vários perfis sem necessitar de sua mudança, que em geral, é lenta.

A utilização de rádios "walkies-talkies" são indispensáveis no levantamento. A quantidade depende do arranjo empregado. Quatro nos arranjos Schlumberger e polo-dipolo e dois no arranjo dipolo-dipolo.

Os eletrodos de corrente deverão ser de ferro, com comprimento aproximado de um metro e diâmetro variável de (2,5 a 3,0)cm, bem encravados e molhados com solução salina a fim de diminuir a resistência de contacto. Os eletrodos de potencial deverão ser não polarizaveis, tipo "porous pot", porém, se as condições geoelétricas permitirem, poder-se-à utilizar eletrodos de aço inoxidável de comprimento aproximado de 0,50m e diâmetro em torno de 1,0cm.

Além do geofísico e do técnico de nível médio, comuns a toda equipe de IP, independente do arranjo empregado, os dispositivos Schlumberger e polo-dipolo requerem 5 auxiliares de campo enquanto o dispositivo dipolo-dipolo requer apenas 3 auxiliares.

5.5. Estudos orientativos

5.5.1. Arranjo dipolo-dipolo

A introdução da técnica da polarização induzida na pesquisa do cobre do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá, deve-se ao trabalho pioneiro de autoria do Dr. Nagib Chamon (CPRM) e Dr. Frederick W. Hales (DNPM), que primeiramente testaram o método do IP utilizando o arranjo dipolo-dipolo, em três áreas distintas, já conhecidas sob o ponto de vista geológico. Esse trabalho foi apresentado no XXVI Congresso Brasileiro de Geologia sob o título "A viabilidade do método geofísico da Polarização Induzida nas áreas do Projeto Cobre-Ba".

A primeira seção experimental foi realizada através do corpo máfico-ultramáfico de Lagoa da Mina, mineralizado com sulfetos de cobre. Sobre os resultados obtidos, assim se manifestaram Hales e Chamon (1972):

"A primeira vista, os resultados foram considerados pouco animadores, revelando muitos valores negativos sem um efeito de frequência acentuado. Contudo, duas feições dos dados plotados foram plenamente evidente:

a) As posições correspondentes aos maiores valores do efeito de frequência coincidiram exatamente com a posição conhecida da zona de mineralização; e

b) Os valores do Fator de Metal nesta região foram anômalos e tiveram magnitudes indicativas da presença de sulfetos finamente disseminados.

Com estas indicações, os autores concluiram

que os valores negativos deveriam ser atribuídos, em grande parte à presença, na extremidade oriental do perfil, de uma linha de distribuição de energia elétrica de alta tensão, originária de Paulo Afonso. Esta, junto com uma alta condutividade elétrica nas camadas superficiais do solo e, também, com o emprego de cabos extensos para ligação aos eletrodos de medição, causou, sem dúvida, grandes problemas de indução espúria.

Estas considerações apontaram a necessidade de ampliar as pesquisas antes de rejeitar o método naquela área, sob tais provas inconcludentes".

5.5.1.1. Objetivos do estudo

Na elaboração do estudo orientativo, os seguintes objetivos foram tidos como obrigatórios:

a) O estabelecimento de um "modus operandi" no campo, no qual qualquer efeito indutivo inconveniente deveria ser reduzido ao mínimo, sem retardar, porém, a rapidez das operações;

b) Verificação da capacidade do método para confirmar resultados já obtidos;

c) Extensão da perspectiva das pesquisas com observações sobre diversos corpos de formas diferentes;

d) Treinamento dos técnicos do projeto até um nível onde pudessem continuar as pesquisas geofísicas sem supervisão imediata, desde que os resultados obtidos no programa fossem positivos; e

e) Estabelecimento das estimativas de quotas de produção e de custos para execução de um programa geofísico regular.

5.5.1.2. Programa estabelecido

Para atingir os objetivos colimados, o seguinte programa foi planejado:

1º) Repetição da linha F sobre o corpo de Lagoa da Mina, já executada na primeira tentativa de pesquisa do método;

2º) Execução de um perfil no corpo de Surubim, que apresenta características geológicas diferentes do corpo de Lagoa da Mina; e

3º) Execução de um perfil no corpo de Senhor de Lisboa, que apresenta características geológicas diferentes dos dois anteriores.

5.5.1.3. Considerações sobre o método de IP

Antes de relatarem os resultados do programa, Hales et Chamon (op. cit.) salientaram alguns aspectos que consideraram importante, referente ao método em estudo.

"Ao descobrimento de jazidas de minerais condutores encaixados em rochas resistentes, pareceria, a primeira vista, que o antigo método geofísico da resistividade se adaptaria otimamente. Tal não se dá principalmente devido a presença de soluções dentro dos interstícios das rochas in situ, as

quais reduzem drasticamente o contraste das resistividades. Ao referir-se aos perfis da Resistividade Aparente apresentados nas figuras 77, 79 e 81, se vê claramente uma falta completa de resolução no antigo método para localizar exatamente a posição de um corpo anômalo.

O método da Polarização Induzida utiliza o fenômeno da variação da impedância elétrica de certos minerais (acima alistados) com variação da frequência da corrente aplicada, isto devido a presença de íons metálicos. Na prática, o método assemelha-se muito ao da Resistividade sendo a única diferença o uso de correntes primárias alternadas, na forma de uma onda quadrada, em lugar da corrente contínua do método mais antigo. Medições da resistividade aparente são efetuadas a duas frequências baixas (para assegurar a maior penetração) que normalmente diferem por um fator de dez. No campo utilizaram-se frequências de 3.0 Hz e 0.3 Hz. A porcentagem da mudança da resistividade aparente ao mudar a frequência constitui um parâmetro importante ao qual se dá a nomenclatura " Porcentagem do Efeito da Frequência " ou P.E.F. A resistividade à frequência inferior pode ser tomada como igual a de frequência zero, i.e., corrente contínua, e é este valor que se plota nos perfis. Assim, além do novo parâmetro, a P.E.F., temos o antigo da resistividade.

É importante entender que as curvas isoanômalas do perfil da P.E.F., não tem nenhuma relação direta com a estrutura geológica daquele perfil. As suas formas servem somente para indicar e localizar uma zona de mineralização e avaliar certas propriedades físicas da mesma (contrastes de resistividade, dimensões em termos do intervalo entre pontos de observação, etc.). Assim, o perfil da P.E.F., não indicará um contato litológico se tal contato não se associe com minerali-

zação. Embora seja possível enxergar indicações de um contato no perfil da resistividade se existe um contraste neste parâmetro, é melhor tratar do método como inapto para mapeamento geológico em geral.

É possível construir perfis padrões da P.E.F., para certos modelos simples que envolvem corpos mineralizados de seção retangular. As várias distribuições de padrões baseam-se em dimensões expressas em termos do intervalo entre pontos de medição e fazem-se várias hipóteses sobre contrastes de resistividade entre o corpo mineralizado, as rochas encaixantes e a cobertura. Contudo, a natureza dos perfis da P.E.F., obtidos nas nossas observações é, em geral, tão irregular que não é possível aplicar tais métodos quantitativos na sua avaliação com segurança.

Quanto a magnitude do efeito, valores da P.E.F., abaixo de 1.0 tratam-se como dentro dos limites de erro experimental do método e assim, ignoram-se. Porém, qualquer valor acima da unidade tem-se como significativo da presença de mineral.

Finalmente, referimos ao terceiro parâmetro plotado que não se obtem por medição mas sim por manipulação matemática das duas quantidades medidas, a P.E.F. e a resistividade. Ao dividir a P.E.F., em cada ponto,pelo valor correspondente da resistividade,tem-se um parâmetro que tem as dimensões de uma condutibilidade. Sob a hipótese que a presença de uma concentração de íons metálicos produzirá uma condutibilidade também maior, esta nova quantidade, multiplicada por uma constante para torná-la mais prática, chamou-se originalmente "O Fator da Condutibilidade devida aos Metais", nomenclatura esta que se abrevia na forma "Fator de Metal".

Muitos pesquisadores acreditam que o perfil

dos Fatores de Metal fornece informações mais indicadoras e seguras do que o da P.E.F., ou da resistividade. Ao referir-se aos perfis (fig. 77, 79 e 81), o porque desta afirmação será claro. As curvas isoanômalas, tem uma forma nitidamente próximas a da mineralização e as magnitudes dos valores numa tal zona, contrastam fortemente com os das encaixantes. É possível classificar aproximadamente estes valores do Fator de Metal, para indicar a natureza da mineralização causadora:

Granitos sem mineralização	0 -	1
Rochas básicas sem mineralização	1 -	10
Sulfetos finamente disseminados	10 -	100
Sulfetos disseminados	100 -	1.000
Fraturas enchidas por sulfetos	1.000 -	10.000
Sulfetos maciços	acima de	10.000

Contudo, tal classificação não deve ser aplicada com demasiado rigor, mas deve servir somente como guia indicadora, isto porque, há fatores que podem influenciar os valores do Fator de Metal, além da concentração dos ions metálicos, por exemplo, a presença de silicificação nos grãos do mineral.

Deve-se incluir um aviso quanto à apresentação dos três perfis: a escala de profundidade não pode ser tida como rigorosamente linear. A prática de plotar os dados numa rede regular é conveniente, mas não tem base teórica válida".

5.5.1.4. Apresentação dos resultados

A seguir apresenta-se "ipsis literris", os resultados do trabalho de Hales et Chamon (op. cit.).