UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DO CONTROLE ESTRUTURAL
METALOGÊNICO EM CUBA CENTRO-ORIENTAL,
COM BASE EM DADOS INTEGRADOS**

Carbeny Ramiro Capote Marrero

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DO CONTROLE ESTRUTURAL METALOGÊNICO EM
CUBA CENTRO-ORIENTAL, COM BASE EM DADOS
INTEGRADOS

CARBENY RAMIRO CAPOTE MARRERO

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome	Assinatura
Presidente: Prof. Dr. Gilberto Amaral
Examinadores: Prof. Dr. Álvaro Penteado Crósta
Prof. Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares
Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx
Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt

SÃO PAULO
1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DO CONTROLE ESTRUTURAL
METALOGÊNICO EM CUBA CENTRO-ORIENTAL, COM
BASE EM DADOS INTEGRADOS**

Carbeny Ramiro Capote Marrero

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e
Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004712

SÃO PAULO
1999

*Alguns fatos podem ser explicados de várias maneiras,
mesmo quando, na verdade, existe apenas
uma explicação correta.
Lucretius.*

*Cada meta é um novo ponto de partida.
Kuchilán.*

*Cada metro quadrado de nosso território
deve ser explorado detalhadamente.
Ché.*

A Mery e Janet.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, minha gratidão ao Professor Gilberto Amaral, pela oportunidade desta realização, pela orientação, apoio, paciência, acompanhamento e discussões críticas durante todo o trabalho.

À pesquisadora Maria Santa Cruz Pacheco Sarlabous, pela paciência, abnegação, apoio e incentivo da esposa; pelas críticas e sugestões da geóloga experiente.

Aos professores Jorge S. Bettencourt, Arley B. Macedo, Uriel Duarte, Jorge K. Yamamoto, Fábio Taioli, Cláudio Ricominni, Teodoro I. de Almeida e Ginaldo A. de C. Campanha, pelas trocas de idéias, revisão do texto, apoio, sugestões e incentivo.

Ao Instituto de Geologia e Paleontologia do Ministério da Indústria Básica de Cuba, pelo afastamento outorgado, assim como pelo acompanhamento e apoio logístico desenvolvidos durante toda a tese.

Ao geólogo Pedro C. Poccianti, administrador do Laboratório de Informática Geológica do IG-USP, pelo decisivo apoio oferecido durante a etapa final do trabalho.

Aos colegas de Pós-Graduação, Jamile Dehaini, Rita Conde, Sônia Nogueira, Marta Almodóvar, Anísia Pereira, Ana Lúcia Berreta, Rosely Teruya, Irena Sparremberger, Lena V. S. Monteiro, Nilson Teixeira, Tarcísio Montanheiro, Marcelo M. da Rocha, Carlos C. de Araujo, Sérgio V. Liotte e Alexandre C. N. da Silva, pela inestimável cooperação e verdadeira amizade mostradas.

O apoio financeiro para a execução deste estudo adveio, essencialmente, da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). A essas instituições, expresse meu agradecimento.

Finalmente, um enorme obrigado, pelo exemplo de sempre, a meus pais, Benigno e Carmelina. Pelo apoio e incentivo, a minha filha, Janet. Pelo clima de participação criado, a minha irmã, Belina e meu sobrinho, Jobel.

Resumo.

Em Cuba Centro-Oriental, a análise da integração de dados Landsat-TM, com os provenientes da informação geológica, geoquímica, geomorfológica e geofísica, resultou em uma grande quantidade de novos dados e interpretações sobre as regularidades de distribuição estruturais das ocorrências de petróleo, bem como das regularidades de distribuição magmático-estruturais das mineralizações de ouro e metais base.

O desenvolvimento econômico de Cuba exige a reavaliação urgente do potencial mineral de grandes porções de seu território. Para isto, resulta imprescindível um melhor conhecimento da relação existente entre as estruturas e a mineralização, nos diferentes ambientes tectônicos presentes.

A parte centro-oriental de Cuba constitui uma das áreas mais favoráveis do País para a localização de novas reservas de ouro e de petróleo. A pesquisa cobriu uns 20.000 Km² deste território, abrangendo a região da Bacia Central e uma grande parte do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo. A via escolhida para aproximar-se às regularidades estruturais buscadas foi a assinatura. Isto é, aquele conjunto de critérios e indicadores que caracterizam a ocorrência e evolução de um elemento, sub-sistema ou sistema estrutural. O procedimento desenvolvido foi uma reinterpretação da informação geológica disponível, centrada no uso do Sensoriamento Remoto que, partindo de setores teste, terminou na análise regional.

As imagens básicas utilizadas foram as tomadas pelo sensor *Thematic Mapper*, do *Landsat-5*. As técnicas de processamento aplicadas foram, fundamentalmente, composições coloridas entre bandas, razões e principais componentes, bem como classificações não supervisionadas. Através deste tratamentos foram encontradas diferenças de tonalidades na paisagem e realçada a rede de drenagem, indicadores, tanto de lineamentos e formas curvas, como de litologias e alterações nas rochas. Os dados integrados com as imagens são de natureza geológica, geomorfológica, geoquímica e geofísica, sendo realizada esta integração por duas vias. Uma, está baseada em técnicas de processamento de imagem, tais como a HSI e a superposição de isolinhas, aplicando-se no caso de se dispor de dados originais em formato digital, o qual ficou restrito à informação do campo magnético residual. A outra via, baseou-se na criação de um mapa de indicadores geológicos, geomorfológicos, geofísicos e geoquímicos, e sua superposição sobre as imagens de Sensoriamento Remoto.

Os resultados atingidos pela pesquisa correspondem com os objetivos planejados. A mineralização de arco endógena encontra-se associada ao magmatismo tardio do arco (Campaniano Inferior), desenvolvido em zonas de cruzamento de tectolineamentos sin-arco NE, WNW e N-S. A mineralização aurífera epitermal vincula-se a estruturas vulcânicas, provavelmente caldeiras, enquanto o ouro em veios e o cobre porfirítico relaciona-se com o desenvolvimento do magmatismo hipabissal e sub-vulcânico. Foram inferidas pela pesquisa grandes estruturas vulcânicas e hipabissais, incluindo grandes áreas onde era considerado anteriormente apenas o desenvolvimento da cobertura cenozóica. Assumindo-se cada uma delas novas estruturas detectadas como um setor metalogenético de interesse, isso representaria o aumento em um 600% da área total considerada atualmente para a reavaliação aurífera do território.

Por outro lado, na região da Bacia Central foram encontradas estreitas relações espaciais entre as jazidas conhecidas e os tectolineamentos transtensivos de direções NE e N-S, a maior parte deles detectada pela pesquisa. De validar-se em um futuro esta relação espacial como um critério genético, se completaria o modelo de prospecção do território ao explicar-se um processo tão importante como é o de migração vertical dos hidrocarbonetos. Conseqüentemente, a possibilidade de adicionar em um mapa um atributo de forma linear, forneceria uma poderosa via de discriminação de lugares para perfurar.

ABSTRACT.

Integrated analysis of Landsat-TM, geological, geophysical, geochemical and geomorphological data resulted in a large amount of new data and interpretations related to the structural regularities of the oil, gold and base metal occurrences of Central-Eastern Cuba.

The economic development of Cuba requires the immediate revaluation of the mineral potential of large portions of its territory. For this, a better knowledge of the structural regularities of the distribution of these resources, in different host environments, is essential.

The central-eastern region is one of the most favorable for location of new gold base metals and oil reserves. For achieving those objectives, an area of about 20000 km² was selected in this territory, enclosing portions of the Cretaceous Volcanic Islands arch and the Central Basin. The former enclosing gold and base metal deposits and the last several oil fields. The project was centered in the determination of structural signature, the group of criterions and indicators that characterize the occurrence, morfogenesis and evolution of structural system, sub-system or element.

The selected methodological approach involved the reinterpretation of available geological information supported by Landsat-TM imagery digital processing. This was done by color compositions, band ratios, principal component analysis and unsupervised classification. These procedures allowed the enhancement and identification of landscape textures and drainage patterns, useful for extraction of lithological and structural information. IHS transformation or simple superposition performed integration of these results with aeromagnetic data. In the case of morphological, geological, geochemical, geophysical and metallogenic data, simple superposition was used.

The endogenous arch mineralization is associated with late magmatism (Lower Campanian) developed at the junction of NE, WNW and N-S syn-arch tectolineaments. The epithermal gold mineralization is associated to volcanic structures, probably calderas. Vein gold and porphyry copper deposits are related to the development of hypoabissal or subvolcanic structures. As one of the main results of this project, several new volcanic and hypoabissal structures were identified, even under Cenozoic sedimentary cover. Assuming that these structures could host similar deposits, this will represent a tenfold increase in the area presently considered for gold exploration of the territory.

In the Central Basin area, close spatial relations among known oil fields and NE and NS transcurrent tectolineaments were found. If additional studies confirm this situation, a new

model for the vertical migration of hydrocarbons will be available and new drilling sites defined.

LISTA DE ABREVIATURAS

AIVC.....	Arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo
ALC.....	Ampliação linear de contraste
AEC.....	Ampliação equalizada de contraste
APC.....	Análise de principais componentes
CMR.....	Campo magnético residual
EOSAT.....	<i>Earth Observation Satellite Co.</i> Em 1996, foi comprada pela <i>Space Imaging Co.</i>
<i>ER-Mapper</i>	Programa de processamento de imagem, produzido pela <i>Earth Resource Mapping</i> .
fpa.....	Filtro passa alta
fpb.....	Filtro passa-baixa
GI.....	Grau de interpretatividade geológica da imagem
HSI.....	<i>Hue, Saturation, Intensity</i> .
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCN.....	Margem Continental Norte-Americana
MSS.....	<i>Multispectral Scanner</i>
OIF.....	<i>Optimum Index Factor</i>
OF.....	Associação Ofiolítica; Ofiolitos
PC1, PC6.....	1ª principal componente, 6ª principal componente
PI.....	Processamento de Imagem
Pixel.....	<i>Picture element</i>
RGB.....	<i>Red, Green, Blue</i>
RGBI.....	<i>Red, Green, Blue, Intensity</i>
SITIM.....	Sistema Interativo de Tratamento de Imagens (produzido pelo I.N.P.E.)
SGC.....	Serviço Geológico Cubano
SPOT.....	<i>Système Probatoire de l'Observation de la Terre</i> . Lançado pela França, em 1986.
SR.....	Sensoriamento Remoto
TL.....	Tectolineamento
TM.....	<i>Thematic Mapper</i>
TM-1, TM-7.....	Banda 1 do <i>Thematic Mapper</i> , Banda 7 do <i>Thematic Mapper</i>
UTM.....	Universal Transversa de Mercator, (projeção cartográfica).
WRS.....	<i>World Reference System</i>

ÍNDICE

	pág.
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 – DEFINIÇÃO DE PROPÓSITOS.....	1
1.2 – DEFINIÇÃO DO TEMA. SELEÇÃO DO TERRITÓRIO DE ESTUDO.....	3
1.3 – OBJETIVOS.....	6
1.4 – DIREÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA.....	7
2 - HISTÓRICO	10
2.1. ESTRUTURA CRUSTAL DE CUBA	
2.1.1 – <i>Grau de conhecimento</i>	10
2.1.2 – <i>Geologia regional</i>	12
2.1.3.- <i>Grau de interpretatividade das imagens</i>	18
2.1.4 – <i>Feições estruturais principais</i>	21
2.1.4.1 – Tectolineamentos.....	23
2.1.4.2 – Morfo-anomalias anelares e curvas.....	31
2.2. ESTADO DA ARTE SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO E INTEGRAÇÃO DE DADOS.....	32
2.3. CARACTERÍSTICAS DO TERRITÓRIO DE ESTUDO	
2.3.1 – <i>Generalidades</i>	42
2.3.2 – <i>Grau de conhecimento geológico</i>	44
2.3.3 – <i>Geologia e recursos minerais do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo</i>	44
2.3.4 – <i>Setores teste do arco</i>	59
2.3.4.1 – Ouro epitermal.....	60
2.3.4.2 – Ouro em veios.....	68
2.3.4.3 – Cobre porfírico, com molibdênio.....	71
2.3.4.4 – Escarnito de ferro.....	74
2.3.4.5 – Comentários gerais.....	78
2.3.5 – <i>Bacia Central</i> .	
2.3.5.1 – Generalidades do petróleo em Cuba.....	78
2.3.5.2 – Geologia e acumulações da Bacia Central.....	81

3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	85
3.1. DE PREPARAÇÃO (ETAPA I).....	87
3.2. GENERALIZAÇÃO E GEORREFERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO ANTERIOR(ETAPA II).....	87
3.3. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (ETAPA III)	
3.3.1 – Imagens utilizadas	
3.3.1.1 – Imagens aéreas.....	93
3.3.1.2 – Imagens TM-5.....	93
3.3.2 – Programa utilizado.....	95
3.3.3 – Procedimento desenvolvido.....	95
3.3.3.1 – Trabalhos prévios.....	97
3.3.3.2 – Análise dos registros originais. <i>Realces de contraste. Composições coloridas de bandas.....</i>	97
3.3.3.3 – Correção atmosférica.....	97
3.3.3.4 – Razões.....	99
3.3.3.5 – Transformadas de Kauth-Thomas. <i>Classificação não supervisionada.....</i>	99
3.3.3.6 – Análise das principais componentes.....	100
3.3.3.7 – Realização de multiprodutos.....	101
3.4. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS (ETAPA IV).....	101
3.4.1 – Território de estudo.....	101
3.4.2 – Setores teste.....	103
3.5. ANÁLISE INTEGRADA DE SETORES TESTE (ETAPA V).....	103
3.6. ANÁLISE INTEGRADA REGIONAL (ETAPA VI).....	106
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	110
4.1 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	110
4.1.1 – Análise dos registros originais. <i>Realces de contraste. Composições coloridas.....</i>	110
4.1.2 – Razões.....	118
4.1.3 – Transformadas de Kauth-Thomas. <i>Classificação não supervisionada.....</i>	118
4.1.4 – Análise das principais componentes.....	119

4.2. ANÁLISES INTEGRADAS DAS ÁREAS DO ARCO DE ILHAS DO CRETÁCEO.....	
4.2.1 – Área Golden.	
4.2.1.1 – Setor Golden Hill.....	127
4.2.1.2 – Setores Oro Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco, Hierro (Ferro) Palo Seco.....	129
4.2.1.3 – Análise integrada regional.....	136
4.2.2 – Área Camagüey.	
4.2.2.1 – Setor Jagüey.....	152
4.2.2.2 – Análise integrada regional.....	154
4.2.3 – Área Ciego-Florida.	
4.2.3.1 – Setor Gaspar.....	164
4.2.3.2 – Análise integrada regional.....	165
4.2.4 – Fatores magmatico-estruturais da mineralização endógena.....	179
4.2.5 – Avaliação preliminar do potencial para ouro e metais base.....	182
4.3. ANÁLISE INTEGRADA DA REGIÃO DA BACIA CENTRAL	
4.3.1 – Tectônica transcorrente e migração-trapeamento do petróleo em Cuba.....	183
4.3.2. – Região da Bacia Central.....	188
4.4. ASPETOS GERAIS DO FALHAMENTO EM CUBA CENTRO-ORIENTAL.....	197
5. CONCLUSÕES.....	203
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	205
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207

LISTA DE FIGURAS

Nº Fig.	Conteúdo	pág.
1.1	Mapa de localização do território de estudo.	5
1.2	Fluxograma geral da pesquisa.	8
2.1	Mapa de grau de conhecimento geológico-geofísico regional de Cuba.	11
2.2	Esboço tectônico da placa caribenha.	13
2.3	Esboço tectônico de Cuba.	16
2.4	Seqüências tectono-estratigráficas da faixa dobrada cubana.	17
2.5	Mapa morfológico generalizado de Cuba.	19
2.6	Mapa de grau de interpretatividade fotogeológica de Cuba.	20
2.7	Mapa de tectolineamentos e morfo-anomalias anelares de Cuba.	26-a
2.8	Mapa tectono-estrutural de Cuba, segundo a interpretação geofísica.	27
2.9	Mapas magnetométrico e gravimétrico de grande parte de Cuba.	28
2.10	Foto orbital Soyuz, na qual pode-se observar grande parte de Cuba Central e a porção oeste do território de estudo.	29
2.11	Foto orbital Soyuz, na qual pode-se observar grande parte do território de estudo.	30
2.12	Comparação dos intervalos de diagnóstico de alguns grupos de minerais, com as bandas TM, MSS e SPOT.	38
2.13	Espectro típico de folha verde, com regiões controladas.....	39
2.14	Grau de conhecimento geológico regional e de prospecção, do território de estudo.	46
2.15	Mapa geológico compilado do território de estudo, de trabalhos anteriores a 1961.	48
2.16	Mapa tectônico do território de estudo.	50
2.17	Características das seqüências vulcânicas do AIVC em Cuba Central e Centro-Oriental	52
2.18	Mapa de distribuição da ocorrência de minerais metálicos no arco do território de estudo.	54
2.19	Modelo de relação genética entre os tipos de mineralização de cobre porfirítico, escarnitos e veios de metais nobres.	55
2.20	Depósitos epitermais.	56
2.21	Mosaico resumido, dos mapas tectono-estruturais dos mapeamentos nas escalas 1:100.000-1:50.000 realizados no território de estudo.	57
2.22	Mapa de estruturas e indicadores da mineralização de arco, na região Siboney-Las Tunas.	58
2.23	Mapa e corte geológicos do setor Golden Hill.	61

2.24	Mapa geológico do setor Jagüey.	63
2.25	Esboço fotogeológico do setor Jagüey.	64
2.26	Mapa geológico do setor Gaspar.	66
2.27	Cortes geológicos do setor Gaspar.	67
2.28	Mapa geológico de superfície do setor Florencia.	69
2.29	Cortes geológicos do setor Florencia.	70
2.30	Mapa e corte geológicos do setor Guáimaro.	72
2.31	Mapa e corte geológicos do setor Cobre Palo Seco.	73
2.32	Mapa e corte geológicos do setor Hierro (Ferro) Palo Seco.	75
2.33	Mapa geológico generalizado da zona dos setores Florencia, Guáimaro e Cobre e Hierro Palo Seco.	76
2.34	Comparação entre as situações estruturais dos setores teste, com a refletida pelo mapeamento de semi-detálhe.	77
2.35	Localização das províncias e campos gaso-petrolíferos de Cuba.	79
2.36	Mapa tectônico e corte geológico generalizado da Bacia Central.	83
2.37	Coluna estratigráfica generalizada da Bacia Central.	84
3.1.	Fluxograma dos resultados da pesquisa.	56
3.2	Localização de cenas TM , áreas de trabalho, arquivos de dados e setores teste.	91
3.3	Fluxograma da etapa II, Generalização e georreferenciamento da informação anterior.	92
3.4	Fluxograma da etapa III, Procesamento digital de imagens.	98
3.5	Fluxograma da etapa IV, Interpretação de imagens.	104
3.6	Cartograma dos trabalhos fotogeológicos realizados no território de estudo.	105
3.7	Fluxograma da etapa V, Análise integrada de setores teste.	107
3.8	Fluxograma da etapa VI, Análise integrada regional.	108
4.1	Exemplos das bandas TM 1 e 2.	111
4.2	Exemplos das bandas TM 3 e 4.	112
4.3	Exemplos das bandas TM 5 e 7.	113
4.4	Composições RGB e HSI das TM 1, 5, 4. RGBI das TM 1, 5, 4, 7.	116
4.5	Composições RGB e RGBI de razões.	117
4.6	Classificações não supervisionadas.	120
4.7	Principais componentes 1, 2, 3.	123
4.8	Principais componentes 4, 5, 6.	124
4.9	Composições RGB e RGBI das PCs.	125

4.10	Setor Golden Hill. Integração de dados e interpretação magmático estrutural.	130
4.11	Setor Golden Hill. Esboço magmático estrutural.	131
4.12	Zona do setor Golden Hill. Integração de dados.	132
4.13	Setores Florencia, Guáimaro e Cobre e Hierro Palo Seco. Integração de dados.	134
4.14	Interpretação magmático-estrutural do da integração de dados da figura 4,13.	135
4.15	Área Golden. Mapa tectônico (anterior).	141
4.16	Área Golden. Mapa tectono-estrutural (anterior).	142
4.17.	Área Golden. Composição RGBI das PCs1, 2, 3, 1.	143
4.18	Área Golden. Integrações de dados TM, campo magnético residual e drenagem em zonas da área, para o detalhamento de morfo-anomalias anelares e tectolineamentos.	144
4.19	Área Golden. Mapa de indicadores.	145
4.20	Área Golden. Mapa de tectolineamentos e morfo-anomalias anelares, interpretados de materiais aéreos.	146
4.21	Área Golden. Sobreposição de tectolineamentos interpretados da figura 4.19, sobre a imagem da figura 4.17.	147
4.22	Vista 3D da área Golden.	148
4.23	Área Golden. Isolinhas de nT sobre classificação não supervisionada e interpretação de tectolineamentos principais.	149
4.24	Área Golden. Esboço magmático-estrutural sobre imagem da figura 4.17.	150
4.25	Setor Jagüey. Integração de dados e interpretação magmático-estrutural.	153
4.26	Área Camagüey. Mapa tectônico (anterior).	155
4.27	Área Camagüey. Mapa tectono-estrutural (anterior).	156
4.28	Área Camagüey. Composição RGBI das PCs 2, 3, 5, 1.	157
4.29	Área Camagüey. Mapa de indicadores.	158
4.30	Área Camagüey. Duas integrações de dados sobre a imagem da figura 4.28.	159
4.31	Área Camagüey. Mapa de tectolineamentos e morfo-anomalias anelares, interpretados de materiais aéreos.	160
4.32	Área Camagüey. Esboço magmático-estrutural sobre imagem da figura 4. 28.	161
4.33	Vista 3D da área Camagüey.	162
4.34	Setor Gaspar. Integração de dados.	166
4.35	Setor Gaspar. Interpretação magmático-estrutural sobre imagem da figura 4.34	167

4.36	Setor Gaspar. Esboço magmático estrutural.	168
4.37	Área Ciego-Florida. Mapa tectônico (anterior).	171
4.38	Área Ciego-Florida. Mapa tectono-estrutural (anterior).	172
4.39	Área Ciego-Florida. Composição RGBI das PCs 1, 2, 3, 1.	173
4.40	Área Ciego-Florida. Mapa de indicadores.	174
4.41	Área Ciego-Florida. Sobreposição de tectolineamentos interpretados da figura 4.40, sobre imagem da figura 4.39.	175
4.42	Área Ciego-Florida. Mapa de tectolineamentos e morfo-anomalias, interpretados de materiais aéreos.	176
4.43	Área Ciego-Florida. Esboço magmático-estrutural, sobre imagem da figura 4.39.	177
4.44	Área Ciego-Florida. Duas integrações de dados TM com a informação do campo magnético residual.	178
4.45	Generalização dos esboços magmático-estruturais das três áreas do arco.	180
4.46	Localização de novas zonas potenciais para ouro e metais base, no arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo, em Cuba Centro-Oriental.	181
4.47	Esboço estrutural da região do campo gaso-petrolífero Bacia Central, fruto da análise bibliográfica.	184
4.48	Esboço estrutural da região do campo gaso-petrolífero Varadero-Cárdenas, fruto da análise bibliográfica.	185
4.49	Esboço estrutural da região do campo gaso-petrolífero Vía Blanca-Jaruco, fruto da análise bibliográfica.	186
4.50	Modelo de migração e trapeamento dos hidrocarbonetos, no território dos campos gaso-petrolíferos conhecidos em Cuba.	187
4.51	Região da Bacia Central. Mapa tectônico (anterior).	191
4.52	Região da Bacia Central. Composição HSI das bandas TM 1, 5, 4.	192
4.53	Região da Bacia Central. Duas integrações de dados TM com a informação do campo magnético residual.	193
4.54	Região da Bacia Central. Interpretação estrutural, fruto da análise integrada de dados TM com a informação do campo magnético residual, sobre imagem da figura 4.52.	194
4.55	Região da Bacia Central. Esboço estrutural (legenda).	195
4.55	Região da Bacia Central. Esboço estrutural, (esboço).	196
4.56	Território de Cuba Centro-Oriental. Composição HSI do campo magnético-residual e um mosaico da TM-5.	199
4.57	Território de Cuba Centro-Oriental. Três vistas 3D, com diferentes azimutes da iluminação. Na superfície, a imagem da figura 4.56, no eixo Z, a informação do campo magnético residual.	200

4.58	Território de Cuba Centro-Oriental. Esboço tectono-estrutural, sobre imagem da figura 4.56.	201
------	---	-----

LISTA DE TABELAS

2.1	Sumário das características distintivas entre os tipos de depósitos epitermais em rochas vulcânicas.	49
4.1	Desvios padrões dos seis canais de reflexão dos quatro arquivos de dados do território de estudo.	114
4.2	Melhores três tripletes de banda, para os quatro arquivos de dados TM do território de estudo.	115
4.3	Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 12 centro-sul-a.	121
4.4	Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 13 sudeste-a.	121
4.5	Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 13 oeste-a.	121
4.6	Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 14 sudeste-a.	122
4.7	Caracterização qualitativa de superfície dos campos gaso-petrolíferos de Cuba.	188
4.8	Indicadores e critérios das assinaturas dos tectolineamentos e estruturas magmáticas do território de estudo.	202

LISTA DE ANEXOS

1	Resumo sobre a aplicação do sensoriamento remoto em Cuba.	I
2	Resumo sobre os recursos minerais de Cuba.	VI
3	Materiais cartográficos e fotográficos utilizados na pesquisa.	VIII
4	Mapa mosaico tectono-estrutural, na escala 1:250.000, do território Yaguajay-Tunas, em Cuba Centro-Oriental.	XI
5	Tabelas de estatísticas dos arquivos de dados TM e de cálculo do OIF.	XII
6	Mapa fotogeológico magmático-estrutural do território de estudo.	XVIII
7	Mapas generalizados preliminares, para os mapas de indicadores das áreas do arco cretácico.	XIX.

1 – INTRODUÇÃO

1.1. Definição de propósitos.

O crescimento econômico de Cuba, dentro da realidade atual, oferece um grande desafio para seu Serviço Geológico: incrementar ao máximo as reservas minerais do país, dispondo de um mínimo de recursos financeiros próprios para atingir esse objetivo.

Sob o ponto de vista administrativo, o estilo de trabalho já apresenta uma mudança radical se comparado com o que se vinha realizando até o início da década de 90. Anteriormente, caracterizava-se pela execução de grandes programas de pesquisa sistemáticos, em colaboração, a longo prazo, com os países do antigo bloco socialista e com controle centralizado pelas instituições governamentais.

Atualmente, as prospecções podem ser feitas por diferentes companhias de países capitalistas desenvolvidos, em parcelas contratadas com o governo dentro do esquema de risco total. Conseqüentemente, este novo estilo de trabalho exige do Serviço Geológico Nacional atingir rapidamente novos níveis de eficácia na reavaliação regional de potencial mineral, passo prévio das contratações. Para isto, faz-se imprescindível tanto o melhor entendimento das regularidades de distribuição das acumulações minerais nos diversos ambientes tectônicos presentes em Cuba, como a rápida introdução dos modernos meios técnicos e tecnológicos, no sentido de processar, generalizar e reinterpretar a imensa quantidade de informação geológica e geofísica disponível.

De modo geral, o principal problema geológico a ser resolvido em Cuba para uma avaliação de potencial mineral está em dispor de uma informação estrutural adequada para estabelecer a vinculação entre deformações e as acumulações minerais buscadas. Sem dúvida, o nível de conhecimento alcançado nas últimas duas décadas sobre a composição e estrutura da faixa dobrada cubana resulta elevado (Shein *et al.* 1984, Pushcharovsky *et al.* 1989a-b). A indiscutível relevância desses resultados e a real importância da fase orogenética dentro da história geológica do território têm influenciado a idéia, sustentada por muitos, que pouco mais se pode acrescentar à compreensão estrutural do arquipélago. Entretanto, os encarregados de estudar um potencial mineral em questão, conhecedores da universalidade, e diversidade, da relação estrutura/mineralização, não encontram muitas vezes vínculo entre aquela informação

estrutural e o objetivo a ser atingido (Cabrera *et al.* 1990, Coutín *et al.* 1991). A explicação desta situação deve-se a que eles também precisam conhecer sobre as deformações anteriores (épocas de pre-subducção e subducção) ou posteriores (época do neoaútóctono) à orogenia, ou da separação e caracterização das diferentes etapas estruturais dentro da história de uma unidade pré-orogénica, desde sua formação, até a atualidade.

Por outro lado, não têm sido obtidos resultados favoráveis nas diversas tentativas (Cabrera *et al.* 1990, Coutín *et al.* 1991) de adquirir dados mais úteis, pela via da generalização cartográfica da abundante informação estrutural fornecida por trabalhos nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. A explicação fundamental está em que cada interpretação estrutural feita por cada equipe de mapeamento nessas escalas, apresenta diferenças conceituais e nos traços dos elementos principais. Essa situação não ocorre apenas devido ao alto nível do subjetivismo das interpretações em áreas pouco aflorantes, abundantes em Cuba, como também ao fato de que cada mapeamento, via de regra, representa um agrupamento peculiar de variáveis. Entre estas, encontram-se a escola do saber geológico, a experiência no mapeamento de arcos de ilhas, a disponibilidade de recursos para os trabalhos, bem como a época e o nível de conhecimento da geologia de Cuba quando o estudo foi desenvolvido. Portanto, a generalização estrutural de um território a partir dessa informação representa muito mais do que uma rotina cartográfica.

Dentro do novo estilo de trabalho que necessita aplicar o Serviço Geológico Cubano, o Sensoriamento Remoto deve ocupar um papel relevante. Em quase quatro décadas, tem evoluído até constituir, mais do que o aperfeiçoamento de uma ferramenta de mapeamento, uma via confiável e inovadora que modifica totalmente a visão da pesquisa geológica. Numerosas experiências provam sua capacidade única de generalização e visão sinóptica, assim como sua disposição de um registro espectral muito superior ao do olho humano, permitindo não apenas uma avaliação rápida de áreas inacessíveis e desconhecidas, mas também o aumento de conhecimento de outras, com maior grau de estudo. Dentro da pesquisa mineral, seu uso durante os estágios iniciais das investigações é praticamente obrigatório, sendo, portanto, sua efetividade objeto de constante e urgente aperfeiçoamento.

A aplicação em Cuba do Sensoriamento Remoto na Geologia tem sido limitada, o qual se deve a vários fatores. Um deles, constitui a pouca disponibilidade no país de imagens orbitais de segunda geração, devido às grandes limitações externas para comprá-las. Outro fator, é a escassez ou ausência no Serviço Geológico Cubano de recursos próprios para sua

aplicação. No caso da fotogeologia clássica, está na falta de arquivos de negativos, de laboratórios fotográficos e de reprodutoras de mapas. No processamento digital de imagens, constitui-se da falta de sistemas potentes de última geração e da pouca capacidade de memória instalada, incluindo os sistemas híbridos (sistema de informação geográfica mais processador de imagens) feitos para microcomputador.

A possibilidade de executar uma Tese de Doutorado, no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, sobre a aplicação em Cuba da análise integrada de dados centrada no uso do Sensoriamento Remoto, contribui com a política de aumento da efetividade indicada para o Serviço Geológico Cubano. Fator determinante no desenvolvimento da tese foram as contribuições financeiras feitas pela CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). A primeira, com o outorgamento da bolsa de estudo (variante PEC-PG) e a segunda, para aquisição de imagens TM-5 (imageador de varredura *Thematic Mapper* instalado no satélite *Landsat-5*), através do Projeto de Auxílio à Pesquisa 94/2998-6.

Com o objetivo de propiciar uma maior contribuição técnica e econômica, o território de estudo foi escolhido criteriosamente. Por um lado, resulta muito estratégico do ponto de vista nacional e, em contrapartida, necessita-se aumentar urgentemente seu grau de conhecimento geológico para reavaliar com efetividade seus potenciais minerais.

1.2. Definição do Tema. Seleção do território de estudo.

Na atualidade, os alvos essenciais da prospecção em Cuba são o ouro e o petróleo. Tendo em consideração os altos preços do ouro no mercado internacional e os avanços obtidos no desenvolvimento dos métodos de tratamento, foram reavaliadas no ano 1992 as reservas dos depósitos cubanos conhecidos. Deste modo, foi determinada a viabilidade de sua extração em diferentes zonas, mas, também, que as quantidades totais (medidas mais indicadas) são pequenas para sustentar uma produção nacional contínua, ainda discreta, por mais de cinco anos. Portanto, estabeleceu-se a missão de reavaliar o potencial aurífero com a finalidade de saber com maior exatidão as possibilidades de desenvolvimento da nova indústria mineral.

O arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo na porção Centro-Oriental do país é uma das regiões mais promissoras para encontrar novas reservas deste metal (Escobar *et al.* 1988,

López-Kramer *et al.* 1990, Cabrera *et al.* 1991, Escobar 1994, Pimentel *et al.* 1994), especialmente na área que abrange as cidades Ciego de Ávila e Las Tunas (**Fig.1. 1**). Antes de 1959 (ano do início da Revolução Cubana), tinham sido encontradas nesta região diversas ocorrências de ouro e ferro, parte das quais foi minerada em pequena escala. No período 1970-1993 cobriu-se 60% de sua superfície por mapeamentos geológicos nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, acompanhados de prospecção regional de metálicos. Nas áreas consideradas como as mais adequadas, resultantes desses trabalhos, foram desenvolvidos trabalhos de prospecção a escalas 1:25.000, 1:10.000 e outras maiores. Contudo, nesse período nenhuma nova jazida foi descoberta. Recentes estudos têm revelado novas reservas de ouro e prata nas proximidades de ocorrências conhecidas, dadas como esgotadas ou não promissoras por trabalhos anteriores, prova de que ainda falta uma conveniente compreensão metalogenética da região.

O território apresenta sérios obstáculos à efetividade dos trabalhos de mapeamento e prospecção de metálicos, tanto os tradicionais, como os que usam os métodos indiretos. Isto ocorre devido à existência de uma geologia muito complexa e às pequenas dimensões dos corpos minerais esperados, somando-se a pouca ou total falta de exposições das rochas e mineralizações buscadas. Além disso, o relevo plano, existente em quase toda sua extensão, fornece poucos elementos para sua interpretação. Contudo, a não inclusão nos objetivos principais das pesquisas do reconhecimento dos fatores controladores estruturais e magmático-estruturais regionais envolvidos na formação dos sistemas hidrotermais pretéritos, assim como a realização da cartografia geral destes, tem comprometido os resultados obtidos. Isto é, em vez de apenas procurar a acumulação em si, somar à investigação a busca da arquitetura geológica à qual pertence, geralmente de maior tamanho e com mais elementos para sua discriminação.

A principal fonte energética de Cuba é o petróleo, cuja importação representa um gasto considerável anual em divisas. No país existem três campos gaso-petrolíferos conhecidos, todos ativos, atingindo em conjunto, no ano 1998, a produção total de 1,2 milhões de toneladas, o qual significa entre 15 a 20% das necessidades. Os maiores campos são Vía Blanca-Jaruco e Varadero-Cárdenas, situados na parte ocidental do país, responsáveis por, aproximadamente, 80% da produção anual.

Fig. 1. 1. Mapa de localização do território de estudo.

O terceiro campo é (Cuenca) Bacia Central, localizado a oeste da cidade Ciego de Avila, na parte oeste de Cuba Centro-Oriental (Fig. 1. 1). Sua produção básica atual, petróleo leve, representa muito para Cuba Central e Centro-Oriental. Parte do mineral extraído vai diretamente para as fábricas de açúcar do território, onde é utilizado como combustível inicial do processo industrial, enquanto o restante representa a matéria prima da refinaria de Cabaiguán, a única nesta parte do país. O estudo desta bacia tem sido feito mediante grandes investimentos na prospecção geofísica e na realização de perfurações, considerando-se na década de 80 ter sido suficientemente pesquisada. No entanto, em 1989 foi encontrada a jazida Pina. Este fato mostrou de uma maneira clara, a possibilidade da existência de acumulações de interesse econômico a serem encontradas, tanto na área como em seus arredores, assim como a urgente necessidade de atualizar o modelo de prospecção, ainda de alto custo e de prolongado tempo de execução. Neste sentido, se faz necessário o conhecimento aprofundado dos fatores estruturais que participam na complexa migração e trapeamento dos hidrocarbonetos da área. Para a migração sub-horizontal, o conhecimento existente sobre a tectônica de cavalgamento oferece explicações plausíveis (Echevarría *et al.* 1991, Tenreiro *et al.* 1994). No entanto, os fatores envolvidos em um processo tão importante como a migração vertical não têm sido bem esclarecidos e, conseqüentemente, não têm sido levados em conta.

1.3. Objetivos.

A pesquisa tem como objetivo principal:

atingir uma melhor compreensão dos fatores magmático-estruturais que controlam a metalogenia endógena do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo na área Ciego-Tunas, bem como dos fatores estruturais envolvidos na migração dos hidrocarbonetos da região da Bacia Central.

Objetivos secundários a atingir são:

- Acrescentar informações com o estudo de parte de um complexo paleo-arco de ilhas vulcânicas, à escassa literatura atual sobre aplicação da análise integrada de dados na pesquisa mineral, centrada no Sensoriamento Remoto, em áreas de condições adversas para sua interpretação. Além disso, possibilita-se a comparação com áreas similares de outros países e idades.

- Contribuir com a orientação das novas gerações de geólogos cubanos, no sentido de que, apesar das tecnologias computadorizadas constituírem uma formidável ferramenta para ressaltar, relacionar e visualizar dados, qualquer passo dado no computador deve estar acompanhado obrigatoriamente por uma compreensão geológica do problema a resolver.

1.4. Direção metodológica da pesquisa.

O reconhecimento de estruturas controladoras regionais em um território de complexa evolução estrutural, leva implícito uma aproximação às idades de formação e reativação, assim como da morfogênese, dos diversos elementos principais que compõem o universo de estruturas presente.

A presente pesquisa é uma análise integrada de dados, centrada no uso do sensoriamento remoto, onde essa aproximação é feita através do estudo da assinatura, aquele conjunto de critérios e indicadores que caracterizam a ocorrência e evolução de um elemento, um sub-sistema ou um sistema. Para isto, não devem ser apenas analisados os lineamentos e formas curvas da paisagem, mas também os elementos litológicos e de alteração relacionados com eles espacialmente, parte fundamental dos critérios geológicos da assinatura.

Para a execução da pesquisa, encontram-se disponíveis imagens TM-5 em formato digital, bem como materiais aéreos em papel e uma grande quantidade de dados geológicos, geoquímicos e geofísicos provenientes de mapeamentos e prospecções, geralmente em estado não digital. A falta de referências diretas sobre um trabalho sobre este assunto em um paleo-arco de ilhas vulcânicas, sob um clima sub-tropical úmido, em condições adversas de interpretação obrigou a tomar caminhos metodológicos próprios, partindo dos trabalhos mais próximos.

Uma característica a salientar da pesquisa, é a revisão da informação anterior relacionada com seu objetivo principal, tanto da publicada como da inédita. Não resulta incomum que nos trabalhos geológicos centrados no uso dos métodos indiretos, apenas sejam revisados com profundidade os trabalhos anteriores baseados nesses métodos, não sendo consultadas outras obras, resultado da aplicação de métodos clássicos mas que perseguiram similares objetivos. Não poucos resultados “surpreendentes” são, apenas, o fruto de uma revisão incompleta de trabalhos anteriores.

Fig. 1. 2. Fluxograma geral da pesquisa.

Na **figura 1. 2** pode observar-se o fluxograma geral da pesquisa.

Um fator que complicou o método desenvolvido e, conseqüentemente, prolongou seu tempo de execução, foi o atraso ocorrido na importação das imagens TM. Sua aquisição era prevista para setembro de 1994, no entanto foi efetivada somente em setembro de 1996, exatamente dois anos mais tarde.

Os resultados atingidos pela pesquisa correspondem com os objetivos planejados. Aqueles, mostram que no território estudado existem numerosas estruturas retilíneas e curvas sin-arco de notável interesse metalogênica. Este conjunto de estruturas sin-arco sustenta uma reavaliação futura da potencialidade metálica endógena de arco em uma área de grandes dimensões, a qual abrange amplos setores onde anteriormente era apenas considerado o desenvolvimento da cobertura cenozóica.

Por outro lado, na região da Bacia Central foram encontradas estreitas relações entre uma parte dos tectolineamentos transcorrentes detectados pela pesquisa e as acumulações de petróleo conhecidas, o qual pode significar um novo critério de prospecção para a região.

2. HISTÓRICO.

2.1. Estrutura crustal de Cuba.

2.1.1. GRAU DE CONHECIMENTO.

Referências às ocorrências de ouro nas regiões central e centro oriental de Cuba são conhecidas desde o início do século XVI, quando os espanhóis iniciaram a busca de minerais por rios e córregos em todo o País. No ano de 1881 foi publicado o primeiro mapa geológico da Ilha de Cuba (Fernández de Castro), sendo indicadas nas regiões central e centro oriental as ocorrências de rochas sedimentares, xistos, granitos e rochas vulcânicas.

Após a queda do domínio espanhol, no final do século XIX, até o ano 1958, o arquipélago foi visitado por numerosos geólogos de diferentes países, tanto para fazer breves verificações de ocorrências às suas empresas ou praticar prospecções mais completas, como também para realizar estudos estratigráficos e estruturais nesta parte do mundo, destinados a diferentes universidades da Europa e dos Estados Unidos. Grande parte desses trabalhos, entre os quais podem-se citar Thiadens (1937) e Hatten (1958), foi feita nas áreas aflorantes da região central de Cuba (Cuba Central), constituindo até agora uma das mais estudadas de todo o País. O contrário ocorreu na vizinha Cuba Centro-Oriental, a qual atingiu um pobre conhecimento nesse período, podendo citar Flint *et al.* (1948) como um dos trabalhos mais significativos dos realizados nesta região.

Durante os últimos trinta anos têm sido desenvolvidas numerosas pesquisas geológicas em Cuba (**Fig. 2. 1**), existindo centenas de relatórios inéditos e artigos publicados, assim como alguns livros, sobre este tema. Para todo o território nacional dispõe-se de um mapa geológico na escala 1:250.000, produzido pelas Academias de Ciências de Cuba, Bulgária, Hungria, Polônia e a antiga União Soviética (1989), o qual permite uma boa compreensão da composição crustal do país. Do mesmo modo, fornece uma base geológica geral para os cadastramentos das jazidas e ocorrências minerais conhecidas (Coutín *et al.* 1987, Lavandero *et al.* 1989).

Outros mapeamentos geológicos estão disponíveis nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, dando cobertura a aproximadamente 60% da superfície do Arquipélago (**Fig. 2. 1**). Executados por especialistas cubanos, alemães, tcheco-eslovacos, húngaros e soviéticos, têm

Fig. 2. 1. Mapa de grau de conhecimento geológico-geofísico regional de Cuba (1959-1993)

sido produzidos fundamentalmente com fins de busca de minerais metálicos, para o qual foram considerados dentro dos trabalhos feitos, grandes volumes de geoquímica e geofísica.

Mais de 80% da área total do País foi levantada por aeromagnetometria e aerogama-espectrometria (4 canais), na escala 1:50.000, com detalhamentos em zonas em 1:25.000 (Fig. 2. 1). Para a busca de petróleo, tem-se feito tanto em terra como na plataforma da ilha, o levantamento gravimétrico na escala 1:50.000 e mais de 50.000 Km de linhas sísmicas, assim como muitas perfurações de prospecção (Fig. 2. 1).

Até o momento, não têm sido executados, a nível nacional, trabalhos envolvendo aspectos geoquímicos. Os estudos dessa natureza realizados até o momento, foram desenvolvidos durante os trabalhos de mapeamento nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, através de diversos métodos de amostragem, bem como analíticos.

O uso sistemático do S. R. na geologia de Cuba inicia-se em 1976 com os trabalhos fotogeológicos para mapeamento geológico e pesquisa mineral, feitos pelo atual Instituto de Geologia e Paleontologia do Ministério da Indústria Básica. No ano 1979, Makarov *et al.* começam no país o uso das imagens orbitais nas pesquisas geológicas. No **anexo 1** pode encontrar-se um resumo da aplicação do Sensoriamento Remoto em Cuba.

2.1.2. GEOLOGIA REGIONAL.

Cuba é um arquipélago alongado no sentido NW-SE e côncavo para o sul, de aproximadamente 111.000 km² de superfície, que separa o Golfo do México - Mar do Caribe, ao sul, da plataforma Flórida - Bahamas, ao norte. Sua maior ilha, do mesmo nome, constitui também a maior das Grandes Antilhas.

As feições fundamentais da geologia das Grandes Antilhas são que elas foram criadas como arco de ilhas no Cretáceo, evoluíram e foram deformadas no Cretáceo Superior e Terciário Inferior pela tectônica tangencial e, posteriormente, pela tectônica transcorrente, no Cenozóico Tardio (Lewis *et al.* 1990) (Fig. 2. 2). A maioria dos enfoques atuais da complexa evolução tectônica da área são feitos do ponto de vista da tectônica de placas, sendo entre eles o de Pindell & Barrett (1990) um dos mais argumentados. Mesmo assim, não faltam hipóteses alternativas, tal como a de Morris *et al.* (1990), baseada na teoria da contração da Terra.

Em Cuba, podem-se diferenciar dois níveis estruturais diferentes: a faixa dobrada, formada na Orogenia Norte-Caribenha (Campaniano Médio até Eoceno Médio) e o neoaútóctono¹ (Eoceno superior -Quaternário) (Iturralde-Vinent 1996a), (Figs. 2. 3 e 2. 4). A essa faixa, são agregadas diversas unidades alóctonas e paraaútóctonas, tanto continentais como oceânicas (Iturralde-Vinent 1996a). Ao norte, estendem-se porções da margem continental norte-americana (MCNA) (Jurássico Médio?- Cretáceo Superior, Maastrichtiano), onde é possível diferenciar seqüências de plataforma (com desenvolvimento marcado de siliciclastitos e evaporitos na base e predomínio de calcários e dolomitos a partir de Cretáceo Inferior), de talude (calcários com intercalações de cherts) e de sopé (interestratificações de calcários, argilitos e cherts, com diques de basaltos em algumas partes). O embasamento da margem continental norte-americana encontra-se exposto na Serra Morena, na parte oeste de Cuba Central, constituindo as rochas mais antigas datadas em Cuba (Fig. 2. 3). Incluem mármore, siliclastitos metamorfizados e o Granito Río Cañas. As idades radiométricas determinadas nas flogopitas de mármore e siliclastitos são: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} = 952 \pm 12$ a 718 ± 9 milhões de anos; K-Ar = $945 \pm$ a $910 \pm$ milhões de anos (Renne *et al.* 1989 in Echevarría *et al.* 1991). A idade determinada no zircão dos granitos pelo método U/Pb é de 172 ± 4 milhões de anos (Renne *et al.* 1989 in Echevarría *et al.* 1991).

No sul são conhecidas amplas exposições de rochas referidas a terrenos continentais (Jurássico Inferior-Paleoceno) que recebem o nome geral de terrenos sulinos, devido a sua proveniência incerta, provavelmente da placa sul-americana ou de um micro-contidente meridional, mais próximo da atual Cuba. Estão compostos por unidades formadas por terrígenos e clásticos continentais (Jurássico Inferior e Médio) e seqüências de sua margem: calcários de profundidades rasas e calcários pelágicos com intercalações de cherts e argilas (Jurássico Superior-Paleoceno). Durante a subducção, a formação de um prisma de acreção motivou o metamorfismo de parte dos terrenos sulinos (Ilha da Juventude e Escambray, ver Fig. 2. 3) e a formação de uma zona de distensão destrutiva, mapeada na área do Escambray (Fig. 2. 3) (Pushcharovsky *et al.* 1989a-b).

Na metade norte de Cuba, e ao longo de quase toda ela, se estende uma faixa de ofiolitos de idade mesozóica (Fig. 2. 3), onde é possível encontrar tanto rochas dos complexos do embasamento melanocrático (complexo peridotítico e complexo de cumulos), como dos complexos oceânicos (complexo de diques de diabásios e complexo de basaltos e sedimentos),

¹ No texto, as deformações **neotectônicas** pertencem apenas ao período de desenvolvimento do neoaútóctono.

sendo os representantes do embasamento melanocrático, isto é, blocos do antigo assoalho oceânico, os mais comuns na superfície (Iturralde-Vinent 1996a).

Os complexos vulcano-sedimentares e plutônicos do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (AIVC) (Cretáceo Inferior?- Campaniano Médio) encontram-se bem desenvolvidos em Cuba Central e Centro-Oriental, sendo o produto direto da subducção cretácica pela borda ativa da antiga placa proto-caribenha (Ianev *et al.* 1993). A colisão do arco com a margem continental da placa norte-americana (no Paleógeno Inferior) ocorrida depois da subducção levou as zonas frontais e axiais do arco (junto com resíduos da crosta oceânica) a uma reelaboração muito intensa (Ianev *et al.* 1993). Conseqüentemente, os restos do AIVC, conservados atualmente, não pertencem a sua parte axial, mas a sua zona externa, junto com a parte mais interna da bacia marginal. Isto se infere devido à espessura relativamente limitada da crosta nesta zona (Bush & Cherbakova 1986). Portanto, as particularidades estruturais e tectofaciais primárias do arco encontram-se relativamente conservadas atualmente apenas em algumas porções das províncias de Santa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey e Las Tunas (Ianev *et al.* 1993). As rochas do complexo vulcano-sedimentar, segundo as litologias de suas seqüências, podem ser agrupadas em três conjuntos estreitamente relacionados, que correspondem, provavelmente, a distintas bacias do antigo arquipélago vulcânico: seqüências epiclástico-sedimentares (bacia de retroarco), seqüências efusivo-sedimentares (bacia axial do arco), e seqüências sedimentar-piroclásticas (Iturralde-Vinent, 1996d). Os principais plutons, estendidos desde Cumanayagua, em Cuba Central, até Las Tunas, em Cuba Centro-Oriental, apresentam as características geoquímicas próprias dos arcos vulcânicos, na mesma variação dos vulcanitos (Iturralde-Vinent, 1996d). Segundo Pérez *et al.* (1992), estas rochas plutônicas podem dividir-se em três séries, de acordo com suas características petroquímicas 1) série cálcico-alkalina normal; 2) série cálcico-alkalina sódica; 3) série alcalina.

Ianev *et al.* (1993) observam diferenças importantes na evolução vulcânica de cada um dos dois megabloco definidos pela Falha La Trocha (Fig. 2. 3). Por exemplo, no megabloco de Cuba Central, o vulcanismo inferior do arco é contrastado (riolítico-basáltico), enquanto no megabloco de Cuba Centro-Oriental, é andesítico-basáltico.

Na parte sul oriental de Cuba desenvolve-se o arco de ilhas vulcânicas do Paleógeno (Paleoceno Inferior-Eoceno Superior) (Fig. 2. 3). A parte axial deste arco, composta de extrusivos calco-alkalinos e rochas piroclásticas intrudidas por plutões de granitóides, está

Fig. 2. 3. Esboço tectônico de Cuba. Modificado de (Pushcharovsky *et al.* 1989a, Iturralde-Vinent 1996a)

Fig. 2. 4. Sequências tectono-estratigráficas da faixa dobrada cubana.
Modificado de Iturralde-Vinent 1996a.

presente ao longo da Sierra Maestra (Iturralde-Vinent 1996a). Ao norte, apenas ocorrem piroclastitos e sedimentos associados, enquanto a oeste, em Cuba Centro-Oriental, Central e Ocidental, o vulcanismo do Paleógeno está representado por finas intercalações nas bacias superpostas (Iturralde-Vinent 1996a).

Bacias superpostas e depressões de avanço (Campaniano Superior-Eoceno Superior) atestam o fim dos arcos e a ação da orogenia. Os sedimentos terrígenos e carbonatados que formam as bacias de Cuba Ocidental, Central e Centro-Oriental foram formados a partir do Cretáceo Superior, enquanto em Cuba Oriental aconteceu desde o Eoceno Inferior, sendo depositados todos em zonas de subsidência dos extintos arcos, sob um regime de tipo *piggyback* (Iturralde-Vinent 1996a). Na figura 2. 3 pode-se observar a localização das principais bacias superpostas.

A cobertura cenozóica [(Oligoceno-Recente, em Cuba Oriental) (Eoceno Superior-Recente, resto do Arquipélago)] ocupa 40% da superfície do Arquipélago, sendo característica a formação de depressões de ambiente misto (marinho-lacustre), representadas em Cuba Centro-Oriental por partes das depressões Puerto Padre e Cauto-Nipe (Fig. 2. 3). Em outros lugares, como na Bacia Central, a cobertura cenozóica alcança espessuras de 1.000 a 2.000 metros de sedimentos marinhos, devido a descensos locais de blocos neotectônicos.

2.1.3 GRAU DE INTERPRETATIVIDADE DAS IMAGENS.

Em Cuba, o grau de interpretatividade geológica (GI) das imagens aéreas e orbitais² está fortemente relacionado com o clima e com o relevo (Fig. 2. 5), sendo o primeiro muito mais regular do que o segundo. Esses dois fatores naturais determinam a influência maior ou

² **Grau de interpretatividade geológica.** Expressa a capacidade das imagens de Sensoriamento Remoto de permitirem a detecção dos objetos geológicos que contêm, supondo-se um registro ótimo e sem nuvens. Em fotogeologia conhece-se também como grau de dificuldade fotogeológica (Miller 1961). Em Cuba se usa a classificação de três graus:

- alto: na imagem são diferenciáveis todos, ou quase todos, os elementos estruturais e litológicos, tanto os grandes como os pequenos.
- médio: é discernível uma grande parte dos elementos grandes e mais de 30% dos elementos pequenos.
- baixo: é possível somente observar alguns dos elementos estruturais maiores e parte do desenvolvimento das áreas litológicas de maior envergadura. Os elementos menores são discerníveis muito isoladamente, ou em nenhum caso.

Fig. 2. 5. Mapa morfológico generalizado de Cuba.

Fig. 2. 6. Mapa de grau de interpretatividade fotogeológica de Cuba.

menor de elementos que mascaram o objeto a interpretar. Levando em consideração a superfície total do arquipélago (pouco mais de 110.000 Km²), a variabilidade do GI é grande (Fig. 2. 6). Em pequena escala, os graus de interpretatividade de Cuba são médio e baixo, mas localmente o tipo litológico pode determinar um grau alto, como acontece em algumas áreas de calcários da margem continental norte-americana e das bacias superpostas. Os deslocamentos neotectônicos maiores, por serem limites entre blocos com sensíveis diferenças nas velocidades de subsidência e, conseqüentemente, de ambientes de formação do relevo, representam também fronteiras aproximadas dos graus de interpretatividade. Como a direção desses deslocamentos é geralmente NE e a das unidades pré-orogênicas e orogênicas de grande parte do território do país é NW, resulta freqüente que uma mesma unidade tectônica apresente vários graus de interpretatividade, como é o caso do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo em Cuba Central (fundamentalmente médio) e Centro-Oriental (fundamentalmente baixo) (Fig. 2. 6).

No **anexo 2** pode encontrar-se um resumo sobre os recursos minerais de Cuba.

2.1.4. FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRINCIPAIS DE CUBA.

Na parte introdutória já foi apontado que a melhor compreensão da evolução do falhamento regional de uma área em Cuba constitui um problema geral a resolver em uma avaliação de potencial mineral. Por isto, resolveu-se aprofundar no **Histórico** sobre as feições estruturais de Cuba, no sentido de esclarecer quais aspectos de interesse para a pesquisa foram revelados durante a análise bibliográfica, e quais ficaram por estudar nas ulteriores etapas.

A **figura 2. 3** mostra a síntese dos últimos trabalhos sobre tectônica publicados. Nela, as falhas mais relevantes do arquipélago apresentam, fundamentalmente, direções longitudinal ao arquipélago, ou nordeste. A primeira direção é adotada pelos cavalgamentos e falhas inversas gerados durante a orogenia norte-caribenha, os quais encontram-se comumente associados com dobramentos fortes, de tipo alpino (Pushcharovsky *et al.* 1989b). As grandes falhas NE, são geralmente de ângulo abrupto, de comportamento transcorrente sinistral durante a orogenia (Pushcharovsky *et al.* 1989b). Tal arranjo geométrico-genético representa uma situação típica de falhas transferentes formadas em um ambiente compressivo do tipo faixa dobrada, bem definida na literatura sobre tectônica transcorrente e da qual Zalán (1986) oferece uma ampla revisão.

A análise desses trabalhos sobre tectônica publicados, revela a ocorrência de diversas insuficiências de caráter metodológico, as quais motivam uma simplificação excessiva nas deformações regionais refletidas, especialmente das falhas. No mapa tectono-estrutural na escala 1:500.000 de Pushcharovsky *et al.* (1989), observa-se uma ênfase na interpretação de dados geológicos, enquanto no mapa tectônico na escala 1:500.000 de Shein *et al.* (1984), o peso da análise recai sobre a gravimetria e a sísmica. Na produção desses dois mapas não foram usadas imagens de satélite.

Outra fonte de simplificações no mapa tectono-estrutural de Pushcharovsky *et al.* (1989a-b) é a própria base geológica usada para as interpretações, isto é, o mapa geológico na escala 1:250.000 (Academia de Ciências de Cuba *et al.* 1989). Esta carta foi compilada e generalizada exclusivamente pela via cartográfica, a partir dos mapeamentos feitos nessa escala por diferentes grupos de geólogos, entre 1970 e 1981, nas antigas 6 províncias cubanas (desde 1976 são 14 províncias) (Piotrovsky *et al.* 1976, Kanchev *et al.* 1978, Nagy *et al.* 1979, de Albear *et al.* 1980, Piotrovsky *et al.* 1980, Belmustakov *et al.* 1981). O exame separado de cada levantamento geológico reflete que cada equipe de trabalho representou uma escola de saber diferente, assim como distintos momentos de conhecimento da geologia de Cuba e também de disponibilidades variáveis de recursos para o trabalho. A generalização cartográfica de um grupo de mapas com estas características não pôde proporcionar, em muitas partes, uma compatibilização entre as interpretações feitas em uma área e sua vizinha, o qual resulta na omissão de um elemento, ou vários deles, no mapa final.

A interpretação conjunta de imagens de satélite e dos campos regionais gravimétrico e magnético (Capote *et al.* 1984, Capote *et al.* 1989) mostrou a ocorrência de um quadro estrutural muito mais complexo (Fig. 2. 7). Conformada por tectolineamentos³, de diversas direções e idades, e por anomalias morfológicas anelares e curvas de variadas gêneses, esta nova visão leva a pensar que as deformações regionais, inclusive as geradas dentro da orogenia norte-caribenha, não obedecem a um esquema tão simples como o apresentado na figura 2. 3.

³ Tectolineamento, é um lineamento interpretado como de natureza tectônica (Briujanov *et al.* 1982).

Lineamento, é uma feição retilínea, ou levemente curvilínea, de alguns quilômetros de extensão, mapeável sobre uma superfície e que reflete presumivelmente um fenômeno de sub-superfície (O'Leary *et al.* 1976).

Lineação. Alinhamento estrutural unidimensional interno de uma rocha, imposto por agentes externos, o qual não pode ser representado em um mapa como uma feição individual (O'Leary *et al.* 1976).

Vtulochkin (1985), baseado na interpretação exclusiva de dados magnéticos e gravimétricos e direcionado à compreensão da estrutura profunda do arquipélago, propõe um modelo (Fig. 2. 8) que apresenta diversos pontos coincidentes, e outros complementares, com a informação fornecida na figura 2. 7, pelo que suas opiniões também serão somadas ao desenvolvimento deste item.

A seguir é oferecida uma breve caracterização das feições rúpteis retilíneas e curvas extraídas da análise destes estudos mais regionais, com a finalidade essencial de estabelecer uma base comparativa à discussão dos resultados finais desta pesquisa.

2.1.4.1. Tectolineamentos.

Direção NE. Abrange valores entre NNE (direção “Camagüey”, Iturralde-Vinent 1996a) e E.NE (direção “Cayman”, Iturralde-Vinent, 1996a). A maioria das falhas profundas destas direções estão bem evidentes nos campos magnético e gravimétrico⁴ (Fig. 2. 9), e também pelo relevo (Figs. 2. 10 e 2. 11) e a geologia (Fig. 2. 3). No entanto, a cartografia de tectolineamentos apresentada na figura 2. 7, fruto de uma análise integrada e não de um estudo centrado em um método, pode variar com relação à indicada pelos trabalhos de Shein *et al.* (1984) e Pushcharovsky *et al.* (1989a-b), como acontece com La Trocha e Hicacos.

Além do comportamento transferente sinistral das falhas NE de primeira ordem durante a orogenia, já apontado, a revisão feita por Ianev *et al.* (1993) indica que também, ao menos uma parte delas, exerceu um papel controlador importante na origem e evolução tectônica do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (AIVC). A maioria dos elementos NE que limitam os megablocos foram determinadas em 1958 por Hatten (Hatten *et al.* 1958 e Hatten 1967, *in* Ianev *et al.* 1993). Estas rupturas têm sido limites paleotectônicos e paleogeográficos importantes com relação aos processos de deformação e das manifestações magmáticas nos diferentes blocos (Meyerhoff & Hatten 1968, *in* Ianev *et al.* 1993). Anteriormente, foram mencionados exemplos de marcadas diferenças petrológicas de um lado e outro da Falha La Trocha. Conforme Wilson (1991) isto pode indicar um comportamento transformante desta

⁴ A informação magnética e gravimétrica apresentada na figura 2. 9 é fruto de generalizações feitas no ano 1985 (Linares *et al.*, Mapa Geológico da República de Cuba) de diferentes compilações publicadas nos anos 60 e 70 por O. N. Soloviov e B. A. Levchenko, no caso da magnetometria, e N. B. Sazhina e S. P. Ipatenko, no caso da gravimetria.

ruptura durante a subducção, como resultante de variações na velocidade e/ou o ângulo da convergência.

Os mapeamentos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000 (Shevchenko *et al.* 1979, Álvarez *et al.* 1987, Piñero *et al.* 1995 entre outros) mostram a existência em Cuba Central e Centro-Oriental de outras falhas supracrustais e profundas dessa direção, não mostradas na **figura 2. 3**, mas que agiram como controladoras do magmatismo dentro dos megabloco do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo. Do mesmo modo, os trabalhos de Kuzatkov *et al.* (1978), comprovam o controle exercido por falhas da tendência, dentro da formação dos complexos vulcano-plutônicos do Paleógeno, em Cuba Oriental. Possivelmente, após a extinção dos arcos, uma parte destas falhas, tanto supracrustais como profundas, ficou desativada ou sua atividade diminuiu sensivelmente. Ao menos, isto deve ter acontecido em Cuba Centro-Oriental, onde claras disjunções regionais no campo magnético e o controle magmático (Shevchenko *et al.* 1979) não apresentam deslocamentos evidentes nas unidades pós-arco, nem um bom reflexo no relevo. Portanto, não foram detectadas em trabalhos posteriores de mapeamento baseados fundamentalmente em observações na superfície (Belmustakov *et al.* 1981). Neste último sentido resulta outro argumento a favor desta suposição, o fato que a detecção dos traços dessas falhas “fósseis” sin-arco nas fotografias orbitais russas disponíveis se torna muito difícil, inclusive com a aplicação simultânea do exame da informação magnética (Capote *et al.* 1989).

Enquanto uma parte dos elementos de direção NE extinguiram sua atividade junto com os arcos, outra exerceu um papel importante durante a orogenia, gerando-se também, como produto da evolução desta última, novas linhas dessa direção. Na formação do neoautóctono, seus movimentos transcorrentes foram mais leves, estando geralmente com distensões, que inclusive podem ter-se manifestado também antes, durante a orogenia (Shein *et al.* 1984, Pushcharovsky *et al.* 1989a-b, Iturralde-Vinent 1996a).

A **figura 2. 7** fornece uma grande quantidade de elementos supracrustais NE. Isto indica, ao menos nas proximidades das grandes falhas conhecidas, a ocorrência de amplas zonas de falhamento, geralmente associadas à formação de descensos continuados durante a orogenia e o neoautóctono, tais como as ocorridas para as bacias Central, Los Palacios e a depressão Cauto-Nipe. A atividade neotectônica de direção NE encontra-se bem marcada nas imagens orbitais pelo relevo recente e pelo controle evidente da sedimentação cenozóica

tardia. Vtulochkin (1985) propõe que, no caso das falhas La Trocha e Cauto-Nipe, os movimentos ocorridos tiveram também um caráter aberto, formando *rifts* (Fig. 2. 8).

Direção N-S. Esta designação geral abrange, neste texto, os elementos que apresentam direções N-S (direção “Banao”, Iturralde-Vinent 1996a) NNE e NNW. Na figura 2. 3 pode observar-se que apenas uma falha N-S, Cochinos, interpretada como de natureza neotectônica, é apresentada como de importância regional. Contudo, o exame das imagens cósmicas fornece uma grande quantidade de elementos dessas direções, exercendo uma parte deles um forte controle na estrutura do entorno (Fig. 2. 7). Uma porção dos mapeamentos geológicos nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 comprova sua ocorrência, inclusive profunda, baseados em dados geológicos e geofísicos (Kuzatkov *et al.* 1978, Alvarez *et al.* 1987, Piñero *et al.* 1995,). Conforme estes autores, falhas desta direção exercem controle nas alterações metassomáticas de arco, assim como na sedimentação das bacias superpostas.

Como resultado da análise topográfica da Bacia de Yucatán (área submersa situada ao sul de Cuba), Rosencrantz (1996) indica: “....A estrutura geral da Bacia de Yucatán leva a crer que a história convergente do período Cretáceo Tardio-Paleógeno do Caribe Oeste foi mais complexa do que acreditávamos. O falhamento norte-sul e as deslocamentos transformantes sinistrais ao longo do extremo oeste da Bacia de Yucatán incluem a formação de *rift* crustal em adição aos movimentos transcorrentes e podem envolver o transporte e estabelecimento de terrenos crustais...”.

A informação disponível sobre este sistema é ainda insuficiente para levar à caracterização, mas permite fazer algumas considerações gerais:

- Sua ocorrência, pelo menos, desde o Cretáceo Inferior, à semelhança do sistema NE, assim como a perpendicularidade aproximada que guardam entre si os elementos mais longos de ambas direções, sugere uma vinculação de natureza transcorrente ou transtensiva entre eles, sob um esforço principal (σ_1) de direção SSW, o qual deve ter-se mantido até o fim da orogenia.
- Os mapeamentos nas mais diversas escalas apresentam comumente seus elementos com uma forma marcadamente sinuosa, assim como fortemente deslocados por linhas NE e WNW. Isto parece significar uma desativação dos movimentos pelo rumo na direção N-S, devido a uma

modificação no sentido de σ_1 , N-S ou NW, o qual pode ter sido um processo gradacional, ocorrido entre o fim da orogenia e o início do neotectônico.

Direção WNW. Esta direção geral, chamada de “cubana” (Iturralde-Vinent, 1996a), está presente, a semelhança do sistema NE, em elementos subductivos (sincrônicos com a formação do arco), orogenéticos e pós-orogênicos (neotectônicos).

O estudo do papel desta tendência na formação do arco resulta fundamental para entender melhor a evolução deste ambiente. Diferentes autores consideram que sua atividade finalizou depois de intrudidos os plutões do eixo do arco (Iturralde-Vinent 1981, Pushcharovsky *et al.* 1989b). Porém, em diferentes relatórios de mapeamentos 1:100.000 e 1:50.000 indica-se a continuação de sua atividade até a extinção do arco (Shevchenko *et al.* 1979, Stanek *et al.* 1989). Nos trabalhos feitos com as fotografias de satélite russas estes elementos quase não são discerníveis. No mapa do campo magnético residual ressaltam-se os eixos do arco por anomalias positivas alongadas (Fig. 2. 9-a).

Nas partes central e centro oriental de Cuba os cavalgamentos e falhas inversas orogenéticas (longitudinais) adotam, em geral, esta direção. Em Shein *et al.* (1984) e Pushcharovsky *et al.* (1989b), podem-se encontrar cartografias detalhadas destas rupturas. A observação dos elementos principais nos campos magnéticos residual e gravimétrico é geralmente viável (Fig. 2. 9), mas as fotografias orbitais russas também fornecem indicadores à interpretação das linhas secundárias do sistema (Figs. 2. 10 e 2. 11).

O termo WNW no caso dos tectolimeamentos neotectônicos tem um significado apenas geral, abrangendo linhas com valores entre E-W e NW. Na figura 2. 3, pode-se observar que a falha Manatí-Baconao apresenta esta tendência, sendo indicada como “normal-transcorrente no embasamento mesozóico, sin-sedimentar com respeito à cobertura cenozóica”, não sendo mostrada na fonte bibliográfica (Pushcharovsky *et al.* 1989a) seu sentido de transcorrência. Na mesma figura, outras linhas da direção são mostradas como de “natureza indeterminada”. A partir das imagens orbitais tem sido obtida uma grande quantidade de tectolimeamentos, muitos até então desconhecidos, desta tendência (Fig. 2. 7). A maior parte encontra-se bem marcada por indicadores de uma formação recente, tais como as feições retas na configuração do litoral, longos segmentos nas correntes de água e o controle da sedimentação na cobertura cenozóica. Em alguns elementos a transcorrência tem sido observada como destrai (Capote *et al.* 1989), devido ao deslocamento nesse sentido de correntes de água, que levam um curso geral

Fig. 2. 7. Mapa de tectolineamentos e morfo-anomalias anelares de Cuba. Modificado de Capote *et al.* 1989.

TECTOLINEAMENTOS

SUPRACRUSTAIS			PROFUNDOS	
morfogênese	orogenéticos e pre-orogenéticos	neotectônicos	orogenéticos e pre-orogenéticos	neotectônicos
cavalgamentos e inversos				
de ângulo abrupto	transcorrente			
	distensiva			
	indiferenciada			

MORFO-ANOMALIAS E ESTRUTURAS ANELARES

ESTRUTURAS ANELARES	magmática	plicativa, antifórme	cupulóide salina:
			conhecida
			inferida
	MORFOANOMALIA	ANELAR

Fig. 2. 8. Mapa tectono-estrutural de Cuba, segundo a interpretação geofísica. Modificado de Vtulochkin 1985.

Fig. 2. 10. Foto orbital Soyuz*, na qual se pode observar uma grande parte de Cuba Central, e a porção oeste do território de estudo.

Dentro do desenvolvimento do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (AIVC), é possível separar diferentes complexos vulcano-sedimentares (cvs-1, cvs2, cvs3) e o pluton de granitóides (G). Ressaltam na foto os metamorfitos do Escambray e a estrutura regional, dobrada-escamada. Além das falhas sinistrais "Alacranes" e "La Trocha" e os cavalgamentos setentrionais e meridionais, são indicados outros tectoliteamentos, alguns de grandes dimensões. Outros símbolos: MCN, margem continental norte-americana; MMA, mega-morfoanomalia anelar; TL, tectoliteamento, indicando-se ao lado sua direção; MA, morf. anelar.

*: data, 06.28.84; hora, 16:44'; h, 270 Km
intervalo espectral, 0.7-0.85 μ m

Fig. 2. 11. Foto orbital Soyuz*, na qual se pode observar uma grande parte do território de estudo.

transversal ao tectolineamento. A relação geométrica que apresentam os elementos desta direção com os representantes da tendência NE é bastante homogênea, sugerindo uma vinculação genética entre os elementos das duas tendências, durante a formação do neoaútóctono.

2.1.4.2. *Morfoanomalias anelares e curvas.*

Nas imagens orbitais do arquipélago cubano são observáveis numerosas morfoanomalias arqueadas e fechadas (MA). Delas são apresentadas, mediante a **figura 2. 7**, as principais estruturas anelares⁵ (EA) interpretadas, assim como aquelas MA sujeitas ainda a estudos destinados a esclarecer sua gênese.

⁵ **Estruturas anelares.** A presença na superfície terrestre de anomalias morfológicas de configurações anelares e curvas são mencionadas na literatura há décadas, mas sua identificação em larga escala sobre a superfície terrestre deve-se ao surgimento das imagens de satélite. Apesar de que tenha sido moda na década de 70 separar anéis em muitas áreas do planeta, existe uma vinculação espacial entre uma parte desses elementos e diferentes acumulações minerais, cegas ou aflorantes, embora as relações genéticas algumas vezes não tenham sido suficientemente esclarecidas. Uma estrutura anelar ocorre como resultado de uma força do tipo central externa, tal como a causada pela queda de um meteoro, ou central endógena, tais como as geradas pela atividade magmática (intrusivas e vulcânicas), diápiros salinos (diapíricas), ou nas antiformas e sinformas. Da mesma maneira, em uma imagem podem ser observadas feições naturais de configuração anelar que não refletem a existência de uma **estrutura anelar**, como pode ser o caso dos efeitos da erosão sobre **lineações** fechadas (por exemplo: dobras), ou sobre zonas de cruzamento de falhamentos e/ou lineações, de diferentes direções. Diante da probabilidade de existir na imagem uma *falsa estrutura do tipo anelar* é melhor usar o termo **morfoanomalia anelar** proposto por Briujanov *et al.* (1982), até não dispor de mais informação sobre a gênese do elemento.

A monografia de Soloviov (1978) oferece uma ampla caracterização das estruturas anelares do território da antiga U.R.S.S., segundo os dados da análise geológico-geomorfológica, constituindo uma obra reconhecida sobre o tema. No trabalho de Pérez (1987) encontra-se a seguinte definição para estrutura anelar: ".....lineamento curvo, ou semi-curvo, que pode ser identificado nas imagens de satélite e aéreas. Estão amplamente distribuídos na superfície da Terra e em outros corpos celestes. Sua natureza pode ser muito variada, mas muitas delas podem ser usadas como indicadores para a localização de ocorrências de mineralização endógena. V.I. Makarov (1981) diferencia três tipos morfológicos principais: formações anelares (anéis de diferentes diâmetros que distinguem-se sobre um fundo homogêneo, ou que separam as partes da superfície terrestre que encontram-se fora e dentro dos mesmos), as formações circulares (zonas com contornos circulares bem diferenciadas do espaço que as entorna) e formações concêntricas (sistemas de anéis onde uns aparecem dentro dos outros). São conhecidas também como estruturas circulares ou de tipo central".

Dentro dos arcos, são inferidos como magmáticos alguns lineamentos fechados, em áreas que não foram muito intensamente deformadas pela orogenia. Isto é possível quando o anel ocorre dentro de campos litomorfológicos identificados como vulcano-plutônicos, com limites internos de formas arqueadas e, além disso, está acompanhado de anomalias magnéticas residuais, positivas ou negativas, como ocorre na parte sul de Cuba Centro-Oriental, inclusive em área submersa (**Fig. 2. 9-a**).

Ao longo de todo o arquipélago têm sido separadas numerosas estruturas anelares neotectônicas. Associadas geralmente a grandes falhas de longa-vida e neotectônicas, sendo os principais indicadores em sua interpretação a rede de drenagem, limites litológicos arqueados dentro da cobertura cenozóica e anomalias gravimétricas, positivas e negativas. Uma parte dos maiores elementos deste tipo apresenta estudos mais detalhados, como é o caso de Mantua (Magaz 1984) e Holguín (Coutín *et al.* 1980). Esta última, inferida na **figura 2. 7** como antiforma, resulta a única classificada dentro de um agrupamento desenvolvido dentro do inferido *rift* Cauto (Vtulochkin 1985) (**Fig. 2. 8**). A ocorrência de magmatismo básico oligocênico na zona do Yarey (Coutín *et al.* 1987) (**Fig. 2. 7**), ou seja, dentro do traço da falha Cauto-Nipe, e a coincidência ou proximidade de anomalias magnéticas residuais, positivas e negativas (**Fig. 2. 9-a**), e positivas gravimétricas (**Fig. 2. 9-b**), com algumas dessas estruturas fechadas, poderia significar a ocorrência de estruturas magmáticas cenozóicas enterradas.

Também da época neotectônica (Eoceno Superior-Recente), são conhecidas diferentes estruturas cupulóides salinas no litoral norte de Cuba Central (**Fig. 2. 7**). Mais ao norte, dentro da plataforma e em algumas das pequenas ilhas, são inferidas novas estruturas desse tipo nos sítios onde coincide a observação de pequenos anéis, com os indícios de salinização anômala compilados por J. Estapé (comunicação oral 1996).

2.2. Estado da arte sobre Sensoriamento Remoto e integração de dados.

A possibilidade real de aquisição para a pesquisa de materiais orbitais não fotográficos, reside nas imagens multiespectrais TM e SPOT. A prioridade de escolha é dada às primeiras, devido à sua melhor resolução espectral para trabalhos de pesquisa mineral (**Fig. 2. 12**).

Avaliações, em outros contextos econômicos, de efetividade/custo de sistemas de Sensoriamento Remoto utilizados na pesquisa mineral, indicam que as fotografias aéreas pancromáticas apresentam uma efetividade razoável e representam o menor custo, se disponíveis (Mussakowski *et al.* 1993). Esses autores indicam, também, que as imagens TM são as que fornecem a maior quantidade de dados, sendo seu custo sensivelmente inferior ao das imagens SPOT e SAR (ERS), e pouco superior ao das fotografias aéreas pancromáticas e imagens MSS.

A discriminação de elementos do substrato em áreas com um perfil de intemperismo e com cobertura vegetal bem desenvolvidos, usando-se apenas a reflectância espectral resulta um tema, ainda, de absoluta atualidade. Em Paradella (1983) e Amaro (1998), podem encontrar-se amplas revisões dos aspectos relacionados com o comportamento espectral de minerais, rochas e solos, assim como da influência da cobertura vegetal, na análise de dados multiespectrais de varredura. Durante a interpretação do substrato em áreas fortemente mascaradas por solo e vegetação, deve somar-se ao uso das diferenças tonais o exame das texturas naturais, fundamentalmente aquelas que refletem os diferentes elementos do relevo. Portanto, o adequado realce textural, sobre tudo em aquelas áreas de relevo suave ou aplainado, deve constituir um alvo permanente, também, do processamento.

O exame de imagens multiespectrais constitui uma ferramenta rotineira na pesquisa mineral atual, existindo centenas de exemplos sobre o tema, oriundos tanto de países ocidentais como do antigo bloco socialista, sendo a grande maioria das experiências acumuladas de geologias continentais.

Para a separação de rochas alteradas ou de solos com conteúdos minerais anômalos, onde a cobertura vegetal é pequena, seria particularmente eficaz o uso de razões entre bandas digitais multiespectrais (Drury 1993). Dentro do primeiro caso, uma experiência bem sucedida com imagens MSS é a busca de molibdênio feita em 1984 na Groenlândia por Konrads & Harpoth 1982 (*in* Cervelle & Chorowicz 1986). Esses autores usaram a composição RGB das razões 4/5, 5/7 e 6/7, respectivamente, conseguindo separar prováveis zonas ricas em óxidos de ferro sobre vulcanitos, uma das quais resultou ser um depósito do metal, após os trabalhos de prospecção. Dentro do segundo caso, Drury (1993) apresenta o uso da composição RGB das razões 5/4, 3/1 e 7/5, respectivamente, de bandas de imagens TM, na localização na Eritrea

de zonas ricas em sílica, através da separação de áreas anômalas caracterizadas por altos conteúdos em óxidos de ferro. A identificação no terreno dessas anomalias permitiu concluir que uma pequena parte delas localizava-se sobre as zonas de alteração buscadas, enquanto outras, as maiores, correspondiam a espessos mantos de intemperismo sobre rochas básicas.

Em terrenos plutônicos da Amazônia, a análise de componentes principais nas imagens TM têm sido usada, junto com a determinação de razões entre bandas, com a finalidade de otimizar ainda mais, as possibilidades da informação espectral dessas imagens (Paradella 1986). No trabalho de Martini (1995) na Serra dos Carajás, os resultados do processamento complexo de imagens TM (razões, análise de componentes principais) são conjugados, através do SGI, com a análise morfométrica, para aproveitar a ampla informação que o acidentado relevo fornece, assim como com os dados provenientes dos levantamentos aéreo magnético e gama-espectrométrico. Os resultados dessa integração são de extrema valia, à separação de litologias e zonas de alteração.

A aplicação da geobotânica sempre deve ser considerada potencialmente útil em áreas com uma cobertura vegetal bem desenvolvida e as obras de Brooks (1972, 1983) constituem uma das referências obrigatórias sobre a temática. A disponibilidade nas imagens TM de uma banda vermelha e três bandas dentro do infravermelho próximo, permite observar variações sutis dentro dos pigmentos, a estrutura interna foliar e o conteúdo de água foliar (Fig. 2. 13). Isto torna possível a detecção de anomalias tonais e texturais na vegetação, indicadoras de variações na densidade de floresta e distribuição de espécies (Paradella & Bruce 1990), a qual pode conduzir à separação de litologias e amplas zonas de alteração. No entanto, a resolução espacial e espectral dessas imagens não permite esperar bons resultados mediante seu uso no estudo do *stress* vegetal (Paradella & Bruce 1990), produto de alterações em uma mesma espécie devido a alterações locais de elementos no solo (Brooks 1972, 1983). O relevo exerce um forte controle na cobertura vegetal, sendo que suas variações devem ser levadas em conta no momento da interpretação. Segundo Paradella & Bruce (1990), "...A constatação de que variáveis geomorfológicas - como elevação (altitude), declividade (primeira derivada vertical da elevação), aspecto (primeira derivada horizontal da elevação ou direção da declividade), convexidade (segunda derivada da elevação ou a taxa de mudança da declividade) etc. - são atributos quantificáveis do terreno, os quais, portanto, exercem controle na distribuição da cobertura vegetal, tem levado à integração de dados de Sensoriamento Remoto com DEM (*Digital Elevation Model*)..." O alto grau de aplainamento presente em quase toda a área

para avaliar o potencial mineral, e as escalas de trabalho, possibilitam não considerar as variáveis geomorfométricas dentro de seu estudo.

Reconhece-se, amplamente, a importância das deformações endógenas nos processos de acumulação de muitos insumos minerais metálicos e industriais, sejam sedimentares, magmáticos ou metamórficos. Portanto, o estudo do controle estrutural, ou **análise estrutural**, desempenha há algumas décadas um papel fundamental dentro do desenvolvimento de muitos trabalhos de avaliação e prospecção minerais, constituindo o trabalho de Badgley (1959) uma obra reconhecida sobre o tema. Desde os anos 40 incorpora-se nestes estudos o exame das fotografias aéreas, mas, o surgimento das imagens de satélite, a partir da década de 60, e os avanços atingidos no desenvolvimento de sensores fotográficos e não fotográficos têm significado o início de uma nova era, fundamentalmente nos níveis regional, continental e global. A importância dos tectolineamentos e as estruturas anelares é capital na análise estrutural dentro da pesquisa mineral, pelo que, erroneamente, é usada a expressão "análise de tectolineamentos", como sinônimo de "análise estrutural".

No campo relativo à aplicação de fotografias multiespectrais à identificação de mineralização hidrotermal metálica em plataformas e faixas móveis, é de grande utilidade a análise qualitativa e quantitativa de tectolineamentos e estruturas anelares. Bons exemplos desta linha metodológica são os trabalhos de Yablonskaya & Meleshko (1981) (*in* Mezhelevsky *et al.* 1986), Stavtsev *et al.* (1984), e Yakovlev *et al.* (1986), desenvolvidos na antiga U.R.S.S.

Para o prognóstico de ouro em terrenos vulcânicos terciários da Nicarágua, em condições climáticas tropicais que implicam uma maior cobertura sobre os objetos a estudar (vegetação, sedimentos e nuvens) Lilljequist *et al.* (1984) escolheram a análise de estruturas vulcânicas. A interpretação de diferentes composições coloridas entre bandas, feitas a partir de imagens MSS, permitiu-lhes estabelecer a ocorrência de um maior número de paleo-estruturas anelares, se comparadas com as anteriormente encontradas mediante a fotogeologia. Deste modo, o critério da estreita relação existente na região entre os aparelhos vulcânicos (caldeiras e estruturas secundárias associadas) e as acumulações auríferas fica fortalecido. Em trabalhos posteriores desenvolvidos também sobre arcos continentais, são combinados a identificação de tectolineamentos e estruturas vulcânicas, o mapeamento de litologias e zonas de alteração hidrotermal e medições de reflectância no terreno. Este é o caso do estudo feito por Eiswerth & Rowan (1993) com imagens TM-5, em terrenos vulcânicos neógeno-quaternários da Bolívia, Chile e Perú, na busca de ouro e metais associados. As imagens p/b foram utilizadas

para a análise estrutural, a composição RGB das bandas 5, 4 e 1 para a discriminação litológica e a RGB das razões 5/7, 3/1 e 4/3 para a separação das alterações hidrotermais. Neste trabalho observam-se métodos mais complexos para o exame das imagens em relação à Nicarágua, apesar de que os climas (temperado-seco e frio-seco) e o relevo existentes na parte sul do hemisfério possibilitam um maior afloramento geral do substrato.

Kowalik & Glenn (1987) provam as vantagens na interpretação estrutural da integração de imagens TM com os dados do levantamento aeromagnético. Woldai (1995) oferece um bom exemplo de combinação de imagens cósmicas e aéreas para o mapeamento litológico e estrutural em terrenos de baixo relevo e com vegetação, no sudoeste da Espanha.

Atualmente o uso do S. R. na busca de reservatórios de hidrocarbonetos geralmente combina a análise estrutural e a interpretação fototonal ou estudo direto. Neste caso, a análise estrutural é uma continuação do uso de imagens à avaliação clássica, feita pelos geólogos de petróleo, das deformações detectadas à procura de armadilhas e vias de migração dos fluidos. No início da época da aplicação das imagens orbitais na geologia, Briujanov *et al.* (1978) ofereceram um mapa estrutural da grande região Aral-Cáspio, baseados fundamentalmente na interpretação de fotografias pancromáticas e multiespectrais de satélites russos. Uma parte das estruturas anelares traçadas por esses autores contribuíram para detecção de jazidas atuais de petróleo dessa área. Berger (1994) apresenta excelentes exemplos sobre estudos de bacias fraturadas, onde são combinados dados de sensoriamento remoto, geofísicos e geológicos de campo. Deste modo, fica demonstrada a extrema importância da análise integrada no exame das mais diversas situações estruturais e de grau de interpretatividade. A relação direta estabelecida, em alguns dos casos apresentados, entre a intensidade de fraturamento, determinada pela via quantitativa, e a produtividade gaso-petrolífera da bacia, também é um fator muito importante.

A interpretação fototonal ou estudo direto é possível quando as exsudações de hidrocarbonetos leves, ou a ocorrência superficial ou subsuperficial de fontes termo-minerais vinculadas a acumulações gaso-petrolíferas mais profundas, são responsáveis pelas alterações na superfície em rochas, solos e vegetação. As referências encontradas estão baseadas em experiências realizadas em áreas de climas temperados ou frios, pouco úmidos. Uma delas foi praticada em uma zona cultivada nos arredores de Velma Field, em Oklahoma. Aqui, Donovan *et al.* (1981) (compilação de Townsend 1984 *in* Berger 1994) obtiveram bons resultados nesse sentido, mediante o uso de imagens TM-4. O procedimento consistiu em fazer composições

RGB das bandas 3, 2 e 1 e 5, 4 e 1, assim como aplicar essa mesma composição nas razões 5/7, 5/1 e 3/4. Nos três casos foi ressaltada uma zona de alteração nos solos mediante tonalidades mais obscuras, embora o segundo tratamento ter fornecido melhores resultados. Na planície húngara, Goczan *et al.* (1987) integraram o uso da interpretação tonal junto com a informação geofísica. Na bandas TM 4 e 5 e as 2 e 3 do SPOT, separaram anomalias tonais no solo e a vegetação como possíveis indicadoras de petróleo e gás, para depois relacioná-las com anomalias gravimétricas, sísmicas e eletromagnéticas.

Os indicadores da paisagem usados na interpretação⁶ de falhas e dobras mediante o exame de imagens constituem um tema bem tratado na literatura, tanto sobre fotogeologia (Lattman 1959, Miller 1961, Vink *et al.* 1965, Howard 1967, Vergara 1971, Soares & Fiori 1976 entre outros), como em uso de materiais orbitais (Briujanov *et al.* 1982, Berger 1984 entre outros). Sobre os métodos de interpretação de tectolineamentos, Lattman (1959) oferece uma detalhada compilação referente ao uso de fotos aéreas, enquanto Amaral (1995), apresenta uma ampla revisão das técnicas usadas no exame dos produtos orbitais. Um assunto a ser tratado com mais atenção a seguir, constitui-se das particularidades da interpretação e da análise de tectolineamentos mediante materiais de sensoriamento remoto, como ferramenta básica da pesquisa mineral.

⁶ **Interpretação.** Segundo Capote (1987a), "...tem o objetivo de esclarecer e avaliar o significado geológico das feições naturais **identificadas** na paisagem, tais como elementos da drenagem, relevo, vegetação, e outros, constituindo um processo intelectual onde influem aspectos *objetivos e subjetivos*, definidos a seguir.

Aspectos objetivos: 1) o grau de interpretatividade das imagens escolhidas; 2) as resoluções espacial, espectral e radiométrica do(s) sistema(s) sensor(es); 3) a eficácia teórica do sensor para o cumprimento da tarefa proposta; 4) a qualidade do registro original (cobertura de nuvens, efeitos atmosféricos, deformações e ruídos introduzidos pelo sensor, resolução do filme, etc.); 5) e a qualidade do processamento de imagem.

Aspectos subjetivos: 1) experiência no trabalho com imagens; 2) experiência como geólogo de campo na especialidade onde aplica-se o S. R.; 3) grau de compreensão dos objetivos do trabalho e 4) clareza dos mesmos; 5) grau de preparação prévia; 6) grau de estabilidade psicológica no momento do trabalho e outros.

Dentro da aplicação do S. R. na pesquisa mineral, a interpretação pode ser feita quando for possível separar nas imagens as zonas de mineralização buscadas. Exemplos claros de interpretação podem ser elevações de calcários para pedra de construção, chapéus de ferro planos desenvolvidos sobre sulfetos maciços, separáveis nas imagens por uma tonalidade mais escura, ou pequenos morros de tonalidades claras que indicam a ocorrência de recheio silíceo em uma falha".

Fig. 2. 12. Comparação dos intervalos de diagnóstico de alguns grupos de minerais, com as bandas TM, MSS e SPOT. Modificado de Townsend, *in* Berger 1994.

Fig. 2. 13. Espectro típico de folha verde, com regiões controladas por 1- pigmentos, 2- estrutura interna foliar, 3- conteúdo de água foliar. Modificado de Paradella & Bruce 1990.

Para que a posterior análise⁷ possa dar bons resultados, o trabalho de interpretação de elementos estruturais deve ter como objetivo principal o fornecimento da informação específica que o estudo precisa, o qual requer uma tarefa técnica bem explícita. De maneira geral, deve evitar-se que o resultado da interpretação seja o simples arranjo de lineamentos retilíneos e fechados, criticado oportunamente por Wise (1982). De modo contrário, o produto deve ser o mais acabado possível no referente à natureza (morfocinética, profundidade de desenvolvimento, idade relativa e, no caso específico de estruturas anelares, gêneses) dos elementos estruturais separados, em dependência dos objetivos concretos da pesquisa. Tal material de trabalho permitirá durante a análise, a adequada discriminação de elementos, tanto no tratamento manual como no automatizado.

Cada trabalho de interpretação para pesquisa mineral tem suas características específicas, mas existem algumas regras, adaptadas neste caso ao exame de tectolineamentos, que é conveniente lembrar. A primeira:

- Deve existir uma ou várias direções de lineamentos artificialmente mais evidentes que outras, em função das suas relações geométricas com a direção da iluminação (Amaral 1995).

Outras regras (Capote 1987b), são:

- Se a ruptura é mais antiga, seu traço deverá estar mais deformado por eventos tectônicos posteriores e pode estar marcado por elementos positivos do relevo, tais como cristas;
- as rupturas mais recentes geralmente refletem-se melhor na superfície da Terra que as mais antigas e, freqüentemente, estão marcadas por elementos negativos do relevo, tais como drenagem, vales e outros;
- a separação de lineamentos naturais e antrópicos deve ser um objetivo constante durante todo o trabalho;

•⁷ **Análise.** Segundo Capote (1987a), .. “é feita quando necessita-se avaliar um conjunto de elementos interpretados (tectolineamentos, dobras, campos lito-morfológicos, etc.) para encontrar a relação existente entre eles, desde o ponto de vista de algum aspecto da evolução geológica da área de estudo. Na pesquisa mineral, a **análise** tem como objetivo estabelecer as regularidades de distribuição (estruturais, magmáticas, litológicas, geomorfológicas, etc.) de uma mineralização para inferir ou não sua presença”.

- o conhecimento da informação anterior, relacionada com a pesquisa, é básico. Ou seja, toda aquela informação relacionada com os objetivos a atingir e não apenas a proveniente de trabalhos anteriores onde foram usados métodos semelhantes aos utilizados na pesquisa.

Para a presente pesquisa levou-se muito em conta as seguintes considerações sobre a análise, com ênfase na **análise de tectolineamentos** (Capote 1996b):

- a determinação da relação genética entre um sistema ou arranjo de tectolineamentos e uma mineralização dada, é geralmente um processo trabalhoso, que se baseia na detecção e inventário das "assinaturas" nas imagens dos elementos principais da história do falhamento da região, bem como em estudos especiais destinados a estabelecer quais tectolineamentos realmente têm uma relação genética com a mineralização investigada. Tanto nos trabalhos óptico-analógicos como nos automatizados, com frequência, requer-se aplicar a regra do conhecimento: "desde o conhecido até ao desconhecido". Ou seja, em vez de se partir de critérios e modelos elaborados em outras partes do mundo, ou de uma leve comparação de alguns elementos conhecidos da mineralização buscada com os elementos estruturais interpretados, deve-se estabelecer critérios próprios sobre as regularidades estruturais de distribuição da mineralização que se procura. Para resolver essa tarefa podem-se usar áreas padrões escolhidas dentro da região de estudo, onde o maior detalhamento permite um estreito relacionamento entre a informação estrutural encontrada nas imagens com aquela já conhecida de trabalhos anteriores, assim como com os outros dados disponíveis sobre litologias, ocorrência mineral, geoquímica, geofísica, e outros. Outra via, é tomar a população de dados sobre a mineralização buscada na área total de trabalho e trata-la junto com a informação estrutural da mesma. Em qualquer caso, a exatidão planimétrica alcançada na localização dos dados, é muito importante para uma boa análise.

- Tanto na análise qualitativa como na quantitativa deve-se levar em conta que o quadro estrutural obtido é somente uma aproximação da realidade. Essa aproximação não depende apenas da perícia do intérprete ou da equipe de interpretação, mas também do grau de interpretatividade estrutural da área nas imagens. Em áreas extensas que possuem diferentes graus de interpretatividade, sobre a mesma litologia, é recomendável realizar a análise em separado.

- Depois de feita a análise estrutural regional, mediante os recursos próprios do S R, sempre é recomendável comparar seus resultados com os dados disponíveis, provenientes de outros métodos.
- Nos estudos metalogênicos, sempre que seja possível, a análise estrutural deve estar conjugada com a análise relativa à evolução magmática.

2.3. Características do território de estudo.

2.3.1. GENERALIDADES.

O território de estudo, com uma extensão aproximada de 22.000 Km², estende-se entre as coordenadas geográficas 79° 15' (W), 77° 25' (W), 22° 25' (N) e 21° 00' (N) (Fig. 1. 1). O sistema de projeção cartográfica usado em Cuba é o cônico conforme de Lambert, passando pelo norte da cidade de Camagüey, a divisão entre os sub-sistemas Cuba Norte e Cuba Sul (Fig. 1. 1).

A economia regional é basicamente agropecuária, sendo a criação de gado e os cultivos de cana de açúcar e cítricos seus principais itens.

O território de estudo abrange diversas zonas fisiográficas (Fig. 1. 1). Basicamente 85% de sua extensão é aplainado, representado pela Savana Ciego-Tunas, desenvolvida entre cotas de 20 e 120 m snmm, as planícies Litoral Norte e Litoral Sul (cotas entre 0 e 20 m snmm.) e as áreas de mangue Norte e Sul (cotas 0-5 m snmm.) (Academias de Ciências de Cuba & URSS 1970). O restante está encravado em áreas montanhosas baixas (cotas entre 140 e 443 m snmm.), representadas pelas serras Jatibonico (com altitudes relativas até 300 m) e Najasa, (com altitudes relativas até 170 m); assim como por áreas de elevações interiores e pre-montanhosas, com cotas entre 120 e 160 m snmm. (Academias de Ciência de Cuba & URSS 1970).

O clima do território é sub-tropical úmido, o predominante no país. Em dezembro (inverno) a temperatura média do ar é 19° (noite) e 22° (dia), e 27° e 28°, respectivamente, em julho (verão). As precipitações médias totais anuais oscilam entre 1200 e 1600 mm, enquanto as médias totais no período chuvoso (maio-outubro) variam entre 1000 e 13000 mm, e as do período seco (novembro-abril), entre 48 e 60 mm (Academias de Ciência de Cuba & URSS 1970).

O divisor de águas principal passa aproximadamente pelo centro da Savana Ciego-Tunas (Fig. 1. 1). Os elementos de curso perene da rede hidrográfica são os rios Jatibonico del Sur, J. del Norte, Najasa, Saramaguacán, Najarro e Las Cabreras (Fig. 1. 1).

Os solos no território são predominantemente residuais, refletindo geralmente a natureza do saprolito subjacente. Os diferentes estudos pedológicos feitos em Cuba mostram sempre a presença de um complexo universo de grupos, sub-grupos, tipos e sub-tipos, classificados sob diferentes pontos de vista. Levando em consideração isto, assim como que o objetivo principal da abordagem desta temática é possibilitar uma melhor compreensão dos fatores que mascaram o território de estudo, optou-se pela apresentação da visão ocular simplificada do solo, dada nas descrições geológicas das perfurações de mapeamento (Shevchenko *et al.* 1979, Vázquez *et al.* 1994, Piñero *et al.* 1995). Sobre os granitóides e sienitóides os solos são arenoso-argilosos, de pardo claro, de pequena espessura (entre 0,05 e 0,1 m). A vegetação artificial constitui-se por diferentes ervas de pastagem, enquanto nas áreas não cultivadas cresce o “marabú” (arbusto espinhoso).

Sobre as diferentes formações dos complexos vulcânicos e vulcânico-sedimentares, a variedade de solos é notável. Sobre as lavas intermediárias e básicas o solo geralmente é fino (0,1-0,25 m), de natureza arenoso grosso-argiloso, pardo, onde as vegetações predominantes são constituídas por pastagem e “marabú”. Sobre as lavas ácidas o solo é fundamentalmente pedregulho-arenoso, pouco fértil, com pequenas parcelas de “marabú”. Sobre os tufos, os solos apresentam espessuras e composições muito diversas, sendo objetos de plantio de cana de açúcar, pastagem e legumes.

Nos calcários de bacia superposta o solo é vermelho (“terra rossa”), ou pardo, desenvolvido entre lápies, de espessura muito variável (0,0-1,2 m), crescendo árvores grandes nas áreas onde o solo é mais espesso. O cultivo destes solos realiza-se em parcelas isoladas. Nas margas, o solo é argiloso-carbonatado-arenoso, pardo e pardo escuro, com espessuras até 0,8-1,0 m e, fundamentalmente, se prestam ao plantio de arroz e cana de açúcar.

Sobre os argilitos e arenitos da parte norte da cobertura cenozóica o solo é argiloso, pardo escuro ou negro. Intensamente cultivado, predominam os campos de cítricos.

Sobre os calcários e margas da cobertura cenozóica sul o solo predominante é carbonatado-argiloso-arenoso, pardo. É também intensamente cultivado, predominando a cana de açúcar e o arroz

Entre o solo e o substrato do território de estudo é comum o desenvolvimento de um espesso manto saprolítico. Pelos dados de Shevchenko *et al.* (1979) e Piñero *et al.* (1995), sobre os granitóides a espessura do saprolito varia entre 10 e 25 m; nos sienitóides, 8-27 m; nas lavas andesítico-basálticas, 1-10 m, e nas alterações metassomáticas, 1-10 m. Segundo Vázquez *et al.* (1994), as espessuras do saprolito sobre as rochas de cobertura cenozóica variam entre valores de 10 e 30 m. Conforme esses autores, o saprolito sobre as seqüências de bacia superposta apresenta um intervalo semelhante de variação de espessuras.

2.3.2. GRAU DE CONHECIMENTO GEOLÓGICO.

No arco de ilhas, as escolas que têm contribuído mais à compreensão de sua evolução petrológica e estrutural são a búlgara e a soviética, enquanto na prospecção, a escola soviética é a que dominou, basicamente, com relação os métodos desenvolvidos até o final da década de 80. Atualmente, nas campanhas de prospecção executadas pelas companhias canadenses nota-se o domínio de uma alta tecnologia de perfuração, assim como na geofísica e na realização das análises químicas, mas, também, é patente a influência nestes resultados do elevado grau de conhecimento alcançado nos últimos anos sobre os depósitos do tipo epitermal.

No estudo geológico e na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia Central, observa-se também o predomínio da escola soviética.

A **figura 2. 14** sumariza os trabalhos geológicos regionais e de prospecção desenvolvidos, no território de estudo, entre os anos 1959 e 1993.

2.3.3. GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ARCO DE ILHAS VULCÂNICAS DO CRETÁCEO.

O grau de complexidade geológica⁸ de um arco de ilhas vulcânicas é, geralmente, alto. No caso do paleo-arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (AIVC) presente no território de

⁸ **Grau de complexidade geológica.** Conceito proveniente da terminologia soviética baseado, fundamentalmente, na densidade de afloramentos do substrato, na variabilidade litológica, nas dimensões

estudo, a variabilidade litológica resulta elevada, tanto nos complexos plutônicos como nos vulcano-sedimentares. As dimensões esperadas nas mineralizações metálicas buscadas não ultrapassam 2 Km de comprimento e 600 m de largura. As exposições de rochas são muito escassas. A evolução estrutural apresenta três etapas fundamentais: 1) sin-arco, com compressões e distensões; 2) orogênica, compressiva; e 3) neo-platafórmica, transcorrente-distensiva. Entretanto, o grau de deformação não chega a ser tão alto como na frente de cavalgamento do AIVC sobre a faixa ofiolítica, mais ao norte, possibilitando-se assim a preservação das feições fundamentais dos aparelhos magmáticos e dos contatos litológicos pré-parautotóctonos. Em consideração ao anterior, o grau de complexidade geológica da área do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo dentro do território de estudo, é avaliado como muito complexo.

O descobrimento na década de 70 de rochas sieníticas na área situada ao norte de Guáimaro (Shevchenko *et al.* 1979) constituiu o primeiro fato que rompeu o esquema, estabelecido na época, de uma composição granodiorítica-diorítica para todos os batólitos das regiões central e centro-oriental de Cuba, conceição clássica que pode-se observar na **figura 2. 15**. Posteriormente, Eguipko *et al.* (1984) determinaram uma idade absoluta nas biotitas, através do método K-Ar, mais antiga para os sienitóides ($120 \text{ Ma} \pm 10 \text{ Ma}$) que para os granitóides vizinhos ($60 \text{ Ma} \pm 10 \text{ Ma}$). Este fato configura um dado contrastante na evolução considerada como clássica nos arcos de ilhas, onde as rochas alcalinas pertencem aos estágios mais tardios. Os estudos desenvolvidos durante o mapeamento à escala 1:250.000 (Belmustakov *et al.* 1981) mostraram que o chamado Batólito Sibanicú-Victoria de Las Tunas é, na realidade, uma cadeia composta por pequenos corpos de diferentes composições, localizados ao longo de eixo de direção NW (**Fig. 2. 16**). Posteriormente, pelos trabalhos petrológicos feitos por T. Marí e seus colaboradores dentro dos mapeamentos desenvolvidos na área Ciego-Casorro, à escala 1:50.000 (Iturralde *et al.* 1987; Piñero *et al.* 1992; Piñero *et al.* 1993 ; Piñero *et al.* 1994) é mostrada a ocorrência de três complexos em atenção aos dados petrográficos e geoquímicos, a saber: complexo granodiorítico; complexo gabro-sienítico, complexo gabro-plagiogranítico, todos com uma idade inferida, pelas relações de corte, referível ao Cretáceo Superior-Campaniano (K_2^{cp}). Do mesmo modo, foi determinada a

prováveis da mineralização procurada (no caso específico da prospecção mineral) e na evolução estrutural. Em Cuba ainda utiliza-se a escala de 6 graus: *muito simples, simples, médio, complexo, muito complexo, extremamente complexo*.

Fig. 2. 14. Grau de conhecimento geológico do território de estudo (1959-1993).

existência de granitos, granodioritos e leucogranitos que formam stocks e diques que cortam os complexos plutônicos, todos agrupados sob a designação de Granitos Maraguán, com a mesma idade, inferida por igual via.

A atividade vulcânica está representada por um grupo de unidades lito-estratigráficas, que em geral podem referir-se a duas etapas principais. Com a **etapa inicial ou inferior** são vinculadas as seqüências características de um vulcanismo básico, moderadamente alcalino, de formação submarina num relevo variável, predominantemente profundo, localmente raso (Díaz de Villalvilla 1988). Nelas, predominam lavas de composição básica e intermediária, sobre os tufos, de similar composição. As rochas vulcano-sedimentares e sedimentares têm pouca distribuição, encontrando-se dentro das últimas tanto rochas clásticas (conglomerados e arenitos), quanto calcários. A idade destas seqüências inferiores está datada pela fauna (amonites, rudistas e foraminíferos bentônicos) de suas rochas sedimentares, sendo Albiano-Santoniano (Díaz de Villalvilla 1988) (**Fig. 2. 17**).

A **segunda etapa da atividade vulcânica** representada pela **parte superior** do corte vulcano-sedimentar, se diferencia claramente da parte inferior por suas particularidades internas e estruturais. Estas seqüências sobrepõem-se às anteriores, de forma transgressiva e discordante. Exibindo uma composição geral intermediária-ácida, suas exposições refletem a ocorrência de vulcanismo vinculado a ambientes diferentes, desde submarinho raso até explosivo sub-aéreo (**Fig. 2. 17**). Enquanto o regime sedimentar da etapa inferior foi relativamente estável, numa ampla bacia, nesta segunda etapa a área de sedimentação é composta por um arquipélago de pequenas ilhas, com marcada formação de rochas clásticas de grão grosso (na ordem de cm) nas porções submersas (Díaz de Villalvilla 1988). No trabalho de Stanek (1996), infere-se a equivalência entre os vulcanitos riolítico-dacíticos do topo destas seqüências, que formam domos e mantos estreitos de textura fluidal, geralmente bem expostos na superfície, com os granitos hipoabissais, descritos como Granitos Maraguán (Iturralde-Vinent *et al.* 1987).

As principais ocorrências minerais de arco, conhecidas no território de estudo, são mostradas na **figura 2. 18**. Todas são devidas à mineralização hidrotermal associada à formação do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo e, portanto, sua idade não é mais jovem que a campaniana inferior. Os tipos de mineralização existentes são, ouro epitermal, ouro em veios, ouro escarnítico, cobre porfirítico (com molibdênio) e ferro escarnítico, todos típicos de ambiente de subducção (Mitchell & Garson 1981) e relacionados com magmas de

composições ácida e intermediária. A **figura 2. 19** mostra um modelo de interrelação entre os tipos de mineralização porfírico, escarnítico e de veios.

A ocorrência de mineralização de ouro e prata de natureza epitermal é conhecida por toda a área Ciego-Tunas (Escobar *et al.* 1988, Capote *et al.* 1991, Escobar 1994). O trabalho de Velinov *et al.* (1983) foi o primeiro que caracterizou mineralogicamente as ocorrências deste tipo de alteração em ambiente de arco, e ressaltou as vantagens econômicas de seu estudo detalhado. Heald *et al.* (1987) distinguem dois tipos de depósitos epitermais de metais preciosos: sulfato-ácido e sericita-adulária. Ambos tipos formados em sistemas geotermiais sob condições de pressão/temperatura similares, mas em situações geológicas e geoquímicas um pouco diferentes (**Fig. 2. 20-a e Tabela 2. 1**). O ambiente estrutural de formação, para ambos, é complexo, tipicamente em caldeiras geradas no cruzamento de diversas gerações de falhas ou fraturas desenvolvidas em duas ou mais direções (Heald *et al.* 1987) (**Fig. 2. 20-b**).

Tabela 2. 1. Sumário das características distintivas entre os tipos de depósitos epitermais em rochas vulcânicas (Heald *et al.* 1987).

Tipo sulfato ácido	Tipo adularia-sericita
Assembléia mineral de sulfetos de temperatura mais alta.	Assembléia mineral de sulfetos de temperatura mais baixa.
Alunita hipogênica.	Sem alunita hipogênica.
Alteração: argílica avançada → argílica (±sericita).	Alteração: sericítica → argílica.
Notável produção de cobre.	Produção de diferentes tipos de metais base.
A hospedeira típica e a riodacítica.	A hospedeira varia entre ácida e intermediária.
A mineralização e a hospedeira têm idades similares.	As idades da mineralização e da hospedeira são diferentes (>1 ma.).
Dimensão física da área produtiva relativamente pequena.	Dimensões físicas variáveis; algumas muito grandes.

Cada trabalho de mapeamento nas escalas 1:100.000 e 1:50.000 fornece importantes dados sobre as falhas principais, ou os procedimentos metodológicos usados para seu estudo, que resultam aproveitáveis em futuras reinterpretações direcionadas a estabelecer relação entre rupturas e mineralização. Entre eles, podem citar-se a separação de falhas por idades, feita por Shevchenko *et al.* (1979), assim como a importância regional do sistema N-S mostrada pelo

Fig. 2. 16. Mapa tectônico. Modificado de Pushcharovsky et al. 1989.

trabalho de Piñero *et al.* (1995). Contudo, cada interpretação de falhas regionais feita por cada equipe de mapeamento nessas escalas, apresenta diferenças conceituais e nos traços dos elementos principais, cujas causas já foram comentadas no **item 1.1**. De maneira gráfica, estas diferenças interpretativas estruturais existentes entre os mapeamentos realizados dentro do território de estudo são mostradas na **figura 2. 21**, mediante um mosaico de mapas⁹, resumido.

O estudo das estruturas magmático-tectônicas dentro da área de pesquisa teve seu início no trabalho de Shevchenko *et al.* (1979). Posteriormente, esses estudos foram retomados por Tchounev (1981), como parte dos trabalhos de mapeamento na escala 1:250.000 (Belmustakov *et al.* 1981); Echevarría (1988), aproximadamente na mesma área coberta por Shevchenko *et al.* (1979); e Piñero *et al.* (1995), na área Ciego-Cascorro (**Fig. 2. 21**). Nas imagens orbitais da área da pesquisa têm sido observadas grandes estruturas anelares (Capote *et al.* 1984; Pérez & Pérez 1986; Capote *et al.* 1989, Pérez 1990), sendo classificadas uma parte delas como magmáticas, inclusive abaixo da cobertura cenozóica, mediante a comparação desses resultados com os mapas magnetométricos (Capote *et al.* 1984; Capote *et al.* 1989).

Os resultados do mapa metalogenético-previsional da República de Cuba, na escala 1:500.000, (Cabrera *et al.* 1990) mostram que, para uma real compreensão dos processos metalogenéticos acontecidos em Cuba e uma melhor avaliação de seu potencial metálico, deve-se partir de uma identificação dos ambientes geodinâmicos existentes e melhorar o estudo dos depósitos conhecidos com vistas à criação de padrões locais. Na parte concernente ao arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo, as conclusões do trabalho são controvertidas devido ao fato de não se contar com uma base estruturo-magmática atualizada onde estivessem, ao menos inferidas, as estruturas e as fácies magmáticas controladoras. No mapa provisional de ouro de Cuba, à escala 1:500.000, López-Krámer *et al.* (1991) avaliam Cuba Centro-Oriental apenas na área mapeada por Shevchenko *et al.* (1979) (**Fig. 2. 14**). O trabalho de López-Kramer *et al.* (1991) inclui entre as ferramentas usadas, a avaliação de alguns sistemas direcionais de falhas e algumas morfo-anomalias anelares como possíveis controladores da mineralização aurífera,

⁹ O **mosaico de mapas** é um recurso cartográfico usado na análise de uma área já coberta por diferentes mapeamentos geológicos. Seu objetivo essencial é identificar as semelhanças e diferenças entre as interpretações fornecidas por cada tipo de carta (geológica, estrutural, etc.) resultante de cada mapeamento. Constitui-se de um ajuste ou arranjo de mapas, conservando-se em cada um sua versão original, o qual abrange desde o conteúdo, até a forma de apresentação (simbologia, orientação de cortes, etc.).

1-4, LITOLOGIA DAS SEQUÊNCIAS VULCANO-SEDIMENTARES: 1 -flysch tefróide; 2 -flysch sedimentar; 3 -molassas marinhas; 4 -molassas de águas rasas. 5-7, NÍVEIS ESTRATIGRÁFICOS GUIAS: 5-nível Calizas (calcários) Provincial (Cenomaniano): 5a -sequências carbonatadas, 5b -lentes de calcários: α -membro Guaos, β -Formação Provincial, χ -membro Gómez, δ -localidade de Paso Canario, ϵ -membro Berrocal; 6 -nível Seibabo -Turoniano Inferior; 7 -nível Vidot-Bruja (Barretia molinifera, Campaniano Inferior). 8-11, TIPOS DE ATIVIDADE VULCÂNICA: 8 -vulcanismo efusivo-submarinho; 9 -vulcanismo efusivo até subaéreo; 10 -vulcanismo subaéreo efusivo explosivo; 11 -vulcanismo subaéreo-explosivo.

Fig. 2. 17. Características das seqüências vulcano-sedimentares do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo em Cuba Central e Centro-Oriental. Fonte: Ianev *et al.* 1993.

assim como a utilização da análise multivariada automatizada de dados, as quais constituíram, na época, um avanço nos trabalhos desse tipo. Mas, na parte concernente ao AIVC em Cuba Centro-Oriental, as reduzidas dimensões da área estudada e a não discriminação prévia das estruturas retilíneas e anelares consideradas na análise, constituem fatos que afetam a relevância dos resultados apresentados por esses autores.

No trabalho de Shevchenko *et al.* (1979) (Fig. 2. 14), a delimitação dos setores favoráveis, para futuros detalhamentos, é baseada nas ocorrências minerais e o mapa de anomalias geoquímicas exógenas, feito pelo método metalométrico (amostragem no nível C do solo).

Os trabalhos de Stanek *et al.* (1989); Piñero *et al.* (1992); Piñero *et al.* (1993); e Piñero *et al.* (1994) apresentam um cadastro de ocorrências, localizadas sobre uma base geológica à escala 1:100.000 e são resumidas as regularidades de distribuição mediante um mapa metalogenético, na mesma escala. Um aporte essencial desses trabalhos é constituído dos resultados apresentados sobre o estudo das alterações hidrotermais, o que representa um detalhamento e uma aplicação, à prospecção de minerais metálicos, dos trabalhos geológico-mineralógicos iniciados por Velinov *et al.* (1983). A delimitação, em planta, e a caracterização preliminar mineralógica dessas alterações, junto com ocorrências e anomalias geoquímicas exógenas (sedimento e bateia), forneceram a base para delimitar as zonas favoráveis.

Tanto no trabalho à escala 1:100.000, como naqueles à escala 1:50.000, faltou a integração de dados estruturais e geofísicos, com vistas à avaliação do potencial mineral e o esclarecimento, ou simplesmente a investigação, da relação entre o falhamento regional e a mineralização hidrotermal de arco. Sobre esse último problema torna-se muito significativo o mapa de tectolineamentos, à escala 1:100.000, apresentado por Stanek *et al.* (1989) como parte dos resultados da prospecção realizada paralelamente ao mapeamento geológico, cujo relatório sobre a geologia geral foi apresentado em período anterior (Iturralde-Vinent *et al.* 1987). Stanek *et al.* (1989) tentaram estabelecer a relação entre a mineralização e as medições do fraturamento, feitas durante a prospecção acompanhante, com as falhas cartografadas no mapa geológico (Iturralde-Vinent *et al.* 1987), mas, apareceram numerosos aspectos controvertidos. Isto levou-lhes a produzir o citado mapa de tectolineamentos baseado nas falhas mapeadas (Iturralde-Vinent *et al.* 1987), assim como nos tectolineamentos observados por fotogeologia (Capote 1984) e por geofísica (Pereda *et al.* 1989), com a finalidade de fundamentar melhor seus resultados e propor trabalhos complementares no futuro.

Fig. 2. 18. Mapa de distribuição de ocorrências minerais metálicas no arco do território de estudo, sobre a base tectono-estrutural da **figura 2. 16**. A informação sobre ocorrência mineral está modificada de Lavandero *et al.* 1989.

Fig. 2. 19. Modelo de relação genética entre os tipos de mineralização cobre porfírico, metais nobres em veios, e escarnitos de diferentes composições metálicas.
Fonte: Thompson 1993.

Fig. -a. . Esquemas de formação dos depósitos epitermais tipo sulfato ácido (A) e adularia-sericita (B). Fonte: Heald *et al.* 1987.

Fig. -b. Exemplo de caldeira com mineralização tipo sulfato- ácido. Fonte: modificado de Steven & Lipman, in Hayba *et al.* 1985.

Fig. 2. 20. Depósitos epitermais.

Fig. 2. 21. Mosaico resumido, dos mapas tectono-estruturais dos mapeamentos nas escalas 1:100.000-1:50.000 que cobrem o território de estudo. Aliás, mostra-se a ocorrência mineral metálica de arco.

Fig. 2. 22. Mapa de estruturas e indicadores da mineralização de arco na região Siboney-Las Tunas. Modificado de Capote *et al.* 1991.

Apesar de todas estas insuficiências apresentadas nos trabalhos de mapeamento nas escalas 1:100.000-1:50.000, a análise detalhada de seus resultados permite inferir que as concentrações metálicas guardam uma relação, ao menos espacial, com algumas estruturas rúpteis, retilíneas e curvas. Somente este fato representa um ganho com respeito à outra base usada nas avaliações de potencial mineral (Pushcharovsky *et al.* 1989a). Isto é observável mediante a comparação entre a **figura 2. 21**, onde a ocorrência mineral está localizada sobre o mosaico de mapas tectono-estruturais provenientes desses mapeamentos, e a **figura 2. 17**, onde a mesma ocorrência está sobre uma base que reflete fundamentalmente deformações pós-arco (Pushcharovsky *et al.* 1989).

Capote *et al.* (1991), dentro do planejamento de trabalhos de pesquisa na área Siboney-Las Tunas (**Fig. 2. 14**), insistem na necessidade de aprofundar o estudo das estruturas do arco para revelar novos critérios de prospecção. Com essa finalidade, apresentam um mapa onde relacionam-se as estruturas sin-arco, inferidas da informação anterior e da interpretação preliminar de mosaicos aéreos, com os dados de ocorrências minerais disponíveis. Desta integração concluiu-se que os cruzamentos de falhas sin-arco de direções NE e NW constituíam setores favoráveis para a concentração de elementos metálicos hidrotermais (**Fig. 2. 22**). A falta de financiamento impossibilitou a investigação do tema.

2.3.4. SETORES TESTE DO ARCO.

Com este objetivo foram escolhidas sete áreas, três de ouro epitermal, uma de ouro em veios, dois de cobre porfirítico e uma de ferro escarnítico. (**Fig. 2. 18**). No caso dos setores de ouro epitermal, sua seleção baseia-se, fundamentalmente, nos seguintes fatores:

- maiores dimensões relativas dos halos de alterações no plano (mais de 300 m de comprimento por 40 m de largura), o qual possibilita um registro de *pixels* distintivos nas imagens TM (resolução espacial de 30 por 30 m);
- posição do setor com respeito ao eixo do arco, o qual pode significar mudanças locais nas condições magmático-estruturais de formação;
- maior grau de conhecimento anterior, fator que favorece sensivelmente os resultados da reinterpretação.

A seleção dos restantes setores sustenta-se, essencialmente, em seu maior grau de conhecimento anterior e à estreita relação espacial existente entre eles, indicadora, a sua vez, de uma possível vinculação genética. No caso do ferro escarnítico, a inexistência de dados

históricos mineiros das jazidas já mineradas, impossibilitou somar para este tipo de mineralização outro setor teste, de maior envergadura e com um melhor grau de conhecimento

A seguir, uma breve descrição dos setores.

2.3.4.1 Ouro epitermal.

Golden Hill.

Generalidades. Localizado a oeste da cidade Tunas (Fig. 2. 18), o depósito é conhecido desde finais dos anos quarenta, tendo sido minerado em pequena escala desde essa época até o início da década seguinte. Revisada durante a prospecção acompanhante dos trabalhos de mapeamento de Shevchenko *et al.* (1979) foi, em seguida, objeto de prospecção na escala 1:10.000 por Ochivnikov *et al.* (1983), pela qual foram obtidos resultados que indicaram a área como pouco promissora. No ano 1996 foram iniciados novos trabalhos detalhados por parte da companhia canadense Mac Donald, os quais continuam até o momento (1998). A cartografia e o corte geológico disponíveis provêm de Ochivnikov *et al.* (Fig. 2. 23). Foi possível obter dados das perfurações realizadas no período 1996-1997, fornecidos pela Mac Donald através da Internet, sendo apresentada na figura 2. 23 a localização aproximada dos setores de trabalho da companhia canadense.

A mineralização Golden Hill encontra-se associada a anomalias negativas do campo magnético residual regional de até -300 nT (Llufriu *et al.* 1994), anomalias geoquímicas exógenas complexas polimetálicas (Shevchenko *et al.*, 1979), e anomalias exógenas de Cu, Zn, Pb, As, Ba (Ochivnikov *et al.* 1983).

Segundo informação adquirida da “home page” da Mac Donald (<http://www.macmines.com/>), nas áreas Big Golden Hill, Little Golden Hill e Three Hills (Fig. 2. 23) a situação geral da mineralização é descrita da seguinte forma: o minério primário encontra-se sob forma de corpos lenticulares, inclinados, de sulfetos maciços e disseminados densos, basicamente piritosos, com conteúdos de Au entre 1 e 30 g/t e de Cu, entre 0,5 e 1,5%. As dimensões das lentes na horizontal, pelo rumo, variam dentro das primeiras centenas de metros, enquanto ao longo do mergulho, de 40-60°, sua extensão pode chegar até 40 m.; as espessuras reais variam entre 25 e 40 m. As alterações associadas indicam a presença do tipo sulfato-ácido de depósito, encontrando-se duas associações mineralógicas essenciais: argílica avançada (com quartzo e caolim), e alunitica (com quartzo, alunita, pirofilita, esmectita e

Mapa geológico

Coordenadas: Lambert, Cuba Sul

LITOLOGIAS

L L	basaltos
L v	andesitos basálticos
v v	andesitos
v v	andesitos piroxénicos
v v	andesito-dacitos
=" "	dacitos
~ ~	brecha vulcânica
u u	tufos com clastos grandes (>10 mm)
n n	tufos com clastos médios e pequenos (5-10 mm)
r r	pórfiros andesíticos

K2: Cretáceo Sup. K1: Cret. Inf.

ALTERAÇÕES

c c	caolinitização
W W	silicificação
—	pirita em veios

chapéu de ferro

CONTATOS

a/b	litológico: a-comprovado, b-inferido
—	facial inferido

FALHAS

a/b/c	falhas de alto ângulo (>45°): a-comprovada, b-inferida por dados geológicos, c-inferida por geofísica
-------	---

zona de fraturamento

OUTROS SÍMBOLOS

60	mergulho das camadas
o	poço e direção da inclinação
—	barragem e rio
W Δ 3	alterações (corte): a-quartzo, b-pirita, c-caolim, d-magnetita

localização aproximada de áreas prospectadas pela Mac Donald, 1996.

Three Hills

Corte pela secção I-I'

Fig. 2. 23. Mapa e corte geológicos do setor Golden Hill. Modificado de Ochivnikov *et al.* 1983.

illita). A zona de oxidação sobre os sulfetos maciços atinge espessuras entre 15 e 60 m. De natureza argilo-ferruginosa, friável, seus teores de Au oscilam entre valores de 0,8 e 40 g/t, notando-se um enriquecimento claro até a base da zona oxidada.

De acordo com a informação da Mac Donald, as rochas portadoras da mineralização endógena são brechas traqui-andesíticas, enquanto as hospedeiras são lavas andesíticas e basálticas, assim como seus tufos. Do mapa de Ochivnikov *et al.* (1993), infere-se que as rochas portadoras são dacitos e brechas dacíticas (Fig. 2. 23).

Situação estrutural. Shevchenko *et al.* (1979) apontam que a mineralização caolínítica pirítica do setor está controlada por uma estrutura vulcânica, com a qual guarda relação “periférica e central” (Fig. 2. 21). Por outro lado, Ochivnikov *et al.* (1983) não indicam a presença de tal estrutura, mas revelam que existe uma ampla zona de fraturamento WNW que controla de forma geral as alterações hidrotermais do setor (Fig. 2. 23). A ocorrência desta zona de fraturamento é reconhecida também nas informações da Mac Donald, relatando-se sob o nome de *Golden Hill Trend*. O mapa de Ochivnikov *et al.* (1983) indica também a existência de falhas abruptas de direções NE, N-S e NNW, sem especificar suas relações temporal e genética com a mineralização da área.

Setor Jagüey.

Generalidades. A ocorrência de ouro e zinco Jagüey foi descoberta durante trabalhos de prospecção na escala 1:25.000 (Escobar *et al.* 1993), sobre uma ampla área de alterações metassomáticas e hidrotermais mapeadas nas proximidades a sudeste da cidade Camagüey (Iturralde-Vinent *et al.* 1987). Esta zona de alteração forma parte da complexa área de contato entre os granitóides e sienitóides do eixo (Cretáceo Superior, Campaniano), e as efusivas riolítico-dacíticas (Cretáceo Superior, Santoniano-Campaniano?), piroclastitos andesítico-dacítico-basálticos com intercalações de calcários e conglomerados (Cretáceo Superior, Santoniano-Campaniano) e efusivas andesítico-basálticas (Cretáceo Superior, Cenomaniano-Turoniano) (Fig. 2. 24). Na constituição da mineralização epitermal foram encontradas diversas fácies mineralógicas, de natureza filica, de alta aluminosidade e argílica (Fig. 2. 24). Da ocorrência de alunita dentro do segundo agrupamento de fácies, infere-se que a alteração epitermal, em seu conjunto, pertence ao tipo sulfato-ácido (Tabela 2. 1). Segundo os dados fornecidos por Escobar *et al.* (1993), a zona enriquecida em metais encontra-se nas alterações filicas. Apresenta forma de *stockwork*, com espessuras de 10-15 m, mergulho SW com ângulos

Fig. 2. 24. Mapa geológico do setor Jagüey. Modificado de Escobar *et al.* 1993.

Fig. 2. 25. Esboço fotogeológico do setor Jagüey (Vidot-Siboney). Modificado de Capote 1989d.

de 60-70°, sendo detectada sua extensão em profundidade até os 200 m. As concentrações de Au variam entre 0,9 e 3,2 g/ton, e as de Zn, entre 1,7 e 3,5%.

A zona de alteração associa-se a anomalias aero-gama-espectrométricas de K, da ordem de 5-9% (Zaruvzhgeologia, 1994), a anomalias positivas do campo aero-magnético residual de 500-1000 nT (Llufriu *et al.* 1994), a anomalias geoquímicas exógenas e endógenas de natureza polimetálica, complexa, bem como de epidoto, reveladas a partir dos concentrados de bateia (González *et al.* 1995).

Situação estrutural. Na figura 2. 24 mostra-se que as alterações flicas da ocorrência Jagüey e da mineralização de andalusita Cerro La Mina relacionam-se a estruturas vulcânicas (Escobar *et al.* 1993), o qual não foi refletido pelas interpretações regionais posteriores (Fig. 2. 21). No entanto, Escobar *et al.* (1993) não apresentam a relação dessas estruturas com o falhamento da área, sobre o qual foi fornecida informação através do esboço fotogeológico prévio (Fig. 2. 25).

Setor Gaspar.

Generalidades. Situado na parte ocidental do território de estudo (Fig. 2. 18), foi localizado durante trabalhos de revisão de anomalias magnéticas (Lugo *et al.* 1989). Conforme esses autores, consiste em concentrações, em algumas falhas, de mineralização sulfetada, parcialmente enriquecida em ouro (2-5 g/ton.), dentro de diferentes zonas de alteração. As alterações caracterizam-se pela presença de caulim, quartzo, hidrobiotita, sericita e alunita, composição mineralógica que indica também, à semelhança dos setores descritos anteriormente, até o tipo sulfato-ácido. O setor encontra-se no limite do contato dos granitóides do eixo principal do arco (Cretáceo Superior, Campaniano Inferior) com intrusivas plagiograníticas e vulcanitos de composição ácida e intermediária, ambos também do Campaniano Inferior (Lugo *et al.* 1989) (Figs. 2. 26 e 2. 27).

A nível regional, a ocorrência está associada espacialmente a anomalias positivas do campo magnético residual (>500 nT) (Zaruvzhgeologia 1994) e a anomalias geoquímicas exógenas e endógenas de natureza polimetálica, um parte enriquecida em wolfrâmio (González *et al.* 1995). Ao nível local, relaciona-se com anomalias de polarização induzida, assim como com anomalias exógenas de Cu e Zn (Lugo *et al.* 1989).

Fig. 2. 26. Mapa geológico do setor Gaspar. Modificado de Lugo *et al.* 1989.

Fig. 2. 27. Cortes geológicos do setor Gaspar. Modificado de Lugo *et al.* 1989. (Mapa geológico e legenda, na figura 2. 26).

Situação estrutural. A interpretação estrutural apresentada por esses autores baseia-se exclusivamente em falhas, nenhuma delas dada como comprovada. As áreas de alteração hidrotermal encontram-se geralmente no cruzamento de falhas de direções NE e SW ou N-S (Figs. 2. 26 e 2. 27). No sub-setor El Pilar, onde foram encontrados teores significativos de ouro, estes estão vinculados a falhas de direção SW (Figs. 2. 26 e 2. 27). No entanto, Piñero *et al.* (1995) inferem a existência, no setor, de duas estruturas vulcânicas, vinculadas espacialmente a falhas regionais de direções NE e N-S (Fig. 2. 21).

2.3.4.2 Ouro em veios.

Florencia.

Generalidades. Este pequeno depósito encontra-se localizado a oeste da cidade Las Tunas, na parte oriental do território de estudo (Fig. 2. 18). Conhecido e minerado desde fins da década de quarenta, depois de 1959 tem sido objeto de prospecção por Czhestokanova *et al.* (1966) e Alonso *et al.* (1994). O ouro encontra-se associado à pirita e teluretos (de Pb, Au, Au-Ag, Bi e Bi-Ag), disseminados dentro de quartzo e calcita, sendo a temperatura de formação estimada de 120°-280° (López-Kramer *et al.* 1990). Os corpos minerais principais são dois, a saber: corpos 1 e 5. O corpo N° 1 apresenta uma espessura de 0,5-1,0 m, com um azimuth de N20-25°E, e mergulho para SE, com ângulos de 70-80° (López-Kramer *et al.* 1990) (Figs. 2. 28 e 2. 2. 29). Conhece-se da superfície até 170 m de profundidade e, pelo rumo, por mais de 300 m, sendo seu teor médio de Au de 3,5 g/ton. O corpo N° 5 começa aos 80 m da superfície, apresentando espessuras entre 0,2 e 0,4 m, e azimuth geral de, aproximadamente, 40°. Seu mergulho em sua parte norte é de 50-70°, oposto aqui, portanto, ao do corpo número 1 (López-Kramer *et al.* 1990) (Figs. 2. 28 e 2. 29). O teor médio de Au do corpo N° 5 é de 4,2 g/ton. As rochas encaixantes para todo o depósito são tufos andesítico-basálticos e diques de andesitos e dioritos. (López-Kramer *et al.* 1990) (Figs. 2. 28 e 2. 29).

O depósito associa-se espacialmente a anomalias negativas do campo residual magnético (até -300 nT) (Llufriu *et al.* 1996) e anomalias geoquímicas exógenas polimetálicas (Shevchenko *et al.* 1979).

Situação estrutural. Os veios apresentam uma direção NE, encontrando-se estreitamente relacionados, na superfície e em profundidade, com diques de granodioritos dessa direção (López-Kramer *et al.* 1991), provavelmente tardios (Figs. 2. 28 e 2. 29). Espacialmente, a jazida encontra-se relacionada com uma falha regional de direção NE (Fig. 2. 21).

Fig. 2. 28. Mapa geológico de superfície do setor Florencia. Modificado de Molchanov *et al.* 1985.

Fig. 2. 29. Cortes geológicos do setor Florencia. Modificado de Molchanov *et al.* 1985. (Mapa geológico na **figura 2. 28**).

2.3.4.3. Cobre porfíritico, com molibdênio.

Setor Guáimaro.

Generalidades. Encontra-se localizado a três quilômetros a oeste da jazida de ouro Florencia (Fig. 2. 18). Descoberta pelos trabalhos de Shevchenko *et al.* (1979), constitui a primeira ocorrência deste tipo mineralógico encontrada no arco cretácico cubano. Após o reconhecimento preliminar feito por esses autores, o setor foi submetido a prospecções mais detalhadas por Ochivnikov *et al.* (1983) e Fateliev *et al.* (1993). Consiste em uma mineralização de calcopirita e molibdenita, com estrutura tipo *stockwork*, associada a zonas de feldespatização dentro do *stock* granitóide Guáimaro (Fig. 2. 30). Estas zonas enriquecidas apresentam espessuras de até 6-200 m, com teores médios de Cu entre 0,1 e 0,2% e de Mo, entre 0,005 e 0,08%. As baixas reservas desses metais na área a indicam como não promissora, pelo menos dos pontos de vista econômico e tecnológico atuais (Fateliev *et al.* 1993).

Situação estrutural. Segundo os trabalhos de Shevchenko *et al.* (1979), o setor encontra-se dentro do traço de uma falha regional NE (Fig. 2. 21), vinculada à atividade magmática da região. No entanto, a informação fornecida por Fatelev *et al.* reflete a presença de falhas locais dessa direção, mas sem indicar sua vinculação com a mineralização e o magmatismo, embora sejam coincidentes em direção os contatos transicionais dos granitóides com as falhas NE (Fig. 2. 21). Além disto, tanto o mapa como o corte da figura 2. 30 não apresentam informação sobre o magmatismo tardio portador da mineralização, apesar de que esta mostra-se vinculada espacialmente com os dioritos quartzíferos, interpretados por esses autores como o produto de uma mudança litológica transicional dentro do *stock* Guáimaro. Outro elemento estrutural destacável resulta a falha N-S apresentada, bem marcada na geologia, mas não refletida no mapa de Shevchenko *et al.* (1979).

Cobre Palo Seco.

Generalidades. O setor encontra-se localizado 13 Km ao NNE do setor Guáimaro (Fig. 2. 18). Cobre Palo Seco foi localizado por Ochivnikov *et al.* (1983), através de trabalhos de detalhamento sobre uma marcada anomalia exógena de Cu-Mo resultante dos trabalhos de Shevchenko *et al.* (1979). É uma zona de alteração metassomática complexa, no contato sul dos granitóides e sienitóides do eixo do arco com as seqüências vulcano-sedimentares (Fig. 2. 31). As litologias presentes são lavas andesítico-basálticas e seus tufos, intrusivos e diques de granodioritos e dioritos quartzíferos, sienitos e traqui-andesitos subvolcânicos (Fig. 2. 31). A

Fig. 2. 30. Mapa e corte geológicos do setor Guáimaro. Modificado de Fateliev *et al.* 1993.

Mapa geológico

Coordenadas Lambert, Cuba Sul

Fig. 2. 31. Mapa e corte geológicos, generalizados, do setor Cobre Palo Seco. Modificado de Fateliev *et al.* 1990.

ocorrência mineral constitui-se de veios com sulfetos disseminados, presentes fundamentalmente nas rochas vulcânicas e sieníticas e associados espacialmente aos diques de composição intermediária (**Fig. 2. 31**). Os teores de Cu variam entre 0,1 e 0,7% e os de Mo, entre 0,003 e 0,018%. Segundo Fateliev *et al.* (1993) o setor não é promissor, devido às pequenas quantidades de cobre e molibdênio determinadas.

Regionalmente, o setor está relacionado, além das anomalias exógenas que conduziram à sua localização, com anomalias magnéticas positivas do campo magnético residual (>500 nT) (Llufriu *et al.* 1996). Localmente, apresenta anomalias significativas de polarização induzida, assim como anomalias geoquímicas exógenas, polimetálicas e de Cu-Mo.

Situação estrutural. Fateliev *et al.* (1990) indicam para este setor:“ Ao nível regional, as possíveis ocorrências cobre-molibdeníticas estão relacionadas com falhas sub-meridionais (NNE) do tipo controlador de minério. A localização da mineralização efetiva-se no cruzamento dessas linhas regionais com estruturas anelares, ou com falhas NW de segundo ordem. A presença de falhas regionais sub-meridionais não é um fato local no setor pois formam um sistema regional no território cubano”..... Estas regularidades de distribuição estrutural podem observar-se na **figura 2. 31**, com exceção das estruturas anelares, as quais não foram localizadas nos materiais originais desses autores. A falha profunda de direção NNE que propõem esses autores como controladora regional da mineralização (**Fig. 2. 21**), não foi observada durante os trabalhos de mapeamento anteriores (Shevchenko *et al.* 1979).

2.3.4.4 Escarnito de ferro.

Hierro (ferro) Palo-Seco.

Generalidades. Localizada dentro das áreas de alterações de Cobre Palo Seco (**Figs. 2. 31 e 2. 32**), esta mineralização foi detalhada por Pimentel *et al.* (1993). Se comparado com o mapeamento de Fateliev *et al.* (1990), do trabalho de Pimentel *et al.* (1993) tem-se outra classificação das alterações metassomáticas, assim como conhecimento da presença de rochas vulcânicas ácidas, e dacitos, geralmente alterados (**Fig. 2. 32**).

Situação estrutural. A direção dos corpos magnetíticos é NW ou NE. A direção geral da alteração metassomática é NW, a semelhanza daquela apresentada por Fateliev *et al.* (1990).

Fig. 2. 32. Mapa e corte geológicos do setor Hierro (Ferro) Palo Seco. Modificado de Pimentel *et al.* 1992.

Fig. 2. 33. Mapa geológico generalizado da zona dos setores padrões Oro Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco e Hierro Palo Seco.

Fig. 2. 34. Comparação entre as situações estruturais locais reconhecidas nos setores teste, através da análise dos trabalhos de prospecção, e a situação estrutural regional refletida pelos mapeamentos de semi-detálhe, nas escalas 1:100.000-1:50.000.

Na **figura 2. 33** pode encontrar-se um mapa geral dos setores Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco e Hierro Palo Seco.

2.3.4.4. *Comentários gerais.*

Pelo exposto, podem ocorrer diferenças notáveis entre a compreensão da estrutura de um setor, a partir dos resultados das prospecções nas escalas 1:25.000, 1:10.000 e maiores realizadas nele, e a refletida para o mesmo lugar nas interpretações regionais dos mapeamentos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. (**Fig. 2. 34**).

Por outro lado, existem também diferenças, às vezes substanciais, entre os resultados das prospecções realizadas nos diferentes setores teste, sob o ponto de vista dos critérios estruturais e magmáticos estruturais do controle da mineralização metálica de arco. Além disto, dentro de um mesmo tipo de mineralização, como é a aurífera epitermal, existem resultados muito discrepantes com respeito aos processos magmático-estruturais que acompanharam à mineralização. Em vez de refletir variações grandes na gênese desses processos de mineralização, a análise bibliográfica feita mostra que, fundamentalmente, esses resultados contrastantes significam diferenças interpretativas dos fatores controladores regionais envolvidos, tais como o falhamento sin-arco e a natureza dos aparelhos magmáticos.

2.3.5 *BACIA CENTRAL.*

2.3.5.1 *Generalidades do petróleo em Cuba.*

Segundo Morris *et al.* (1990), os dados disponíveis permitem inferir que as possibilidades de encontrar petróleo em Cuba estão limitadas à plataforma de Bahamas, à faixa de cavalgamento mais próxima dela e às bacias que se estendem ao sul desta última. Os geólogos cubanos petroleiros estendem essas possibilidades mais ao sul (Echevarría *et al.* 1991), acreditando que as maiores reservas, por descobrir, estão abaixo do mar que contorna o Arquipélago.

São reconhecidas em Cuba duas províncias gaso-petrolíferas: *província norte* e *província sul* (Echevarría *et al.* 1991) (**Fig. 2. 35**). A primeira abrange o norte da ilha maior do arquipélago e o mar adjacente, estando situada na faixa principal de cavalgamentos entre o arco cretácico, os ofiolitos e a margem continental norte-americana. Nesta, agrupam-se as

jazidas atualmente explotadas em dois campos. Um deles é Vía Blanca-Jaruco (Fig. 2. 35), onde as rochas coletoras são fundamentalmente serpentinitos da faixa ofiolítica. O petróleo deste campo apresenta densidades e composições variáveis. O outro campo desta província é Varadero-Cárdenas, onde o óleo encontra-se armazenado dentro das seqüências de talude e de sopé da margem continental norte-americana, consideradas também como as rochas geradoras (Echevarría *et al.* 1991) (Fig. 2. 35). O petróleo aqui é geralmente denso, com altos conteúdos de enxofre.

Segundo Álvarez-Castro & Valladares (1994), as armadilhas principais da província norte se constituem, nas jazidas da margem continental, de escamas tectônicas, combinadas às vezes com setores de intensa carstificação e de falhamento, enquanto nas jazidas em serpentinitos, as armadilhas são fundamentalmente relacionadas ao fraturamento. Conforme Ríos-Montano & Domínguez (1994), em uma grande parte do campo Vía Blanca-Jaruco, as falhas do tipo leque, formadas nas partes frontais dos cavalgamentos, constituem elementos que influenciam diretamente a porosidade dos reservatórios. López *et al.* (1994) indicam que, nesta província, a migração é lateral, entre escamas de um mesmo cavalgamento principal e vertical, entre unidades de diferentes cavalgamentos. Segundo Tenreyro *et al.* (1994), a localização das áreas mais favoráveis dentro da província estão associadas aos seguintes fatores: abundância de rochas produtoras nos domínios de bacia interna da margem continental norte-americana, selos sinorogênicos associados às bacias de antepaís e aos mantos de cavalgamento dos serpentinitos, reservatórios fraturados e carstificados e uma alta densidade de estruturas.

A província sul ocupa a maior parte da terra firme do país e a plataforma meridional, abrangendo a área de desenvolvimento das bacias superpostas e depressões cenozóicas, sendo a Bacia Central seu único campo gaso-petrolífero conhecido (Fig. 2. 35). Echevarría *et al.* (1991) apresentam argumentos sólidos contra a idéia de uma geração *in situ* do petróleo na área, indicando sua proveniência da margem continental norte-americana. Generalizando esta idéia para a busca regional, Tenreyro *et al.* (1994) indicam que a localização das áreas mais favoráveis dentro da província sul está relacionada com a migração desde as rochas geradoras do domínio de bacias internas da margem continental norte-americana, até armadilhas nos terrenos do arco cretácico, sendo de particular importância a conservação eventual de sedimentos associados às bacias de retroarco no extremo sul. Contudo, a vinculação teórica: geração de petróleo / bacia sedimentar orogenética, constitui um elemento ainda bem arraigado

dentro da prospecção de hidrocarbonetos em Cuba. (Barceló *et al.* 1994, Miró-Pagés 1994, Padrón-Vázquez 1994 e López *et al.* 1994).

Pelo exposto, em ambas as províncias, devem ocorrer migrações dos tipos: 1- lateral-longitudinal, 2- subhorizontal-transversal, 3- transversal-vertical e 4- vertical ascendente. Os planos de cavalgamento são geralmente indicados como a via utilizada nos dois primeiros tipos, mas, não é realmente abordada a natureza dos fatores regionais que possibilitaram a migração, tanto no terceiro, como no quarto caso.

2.3.5.2 *Geologia e acumulações da Bacia Central.*

Entre 1952 e 1956 diversas companhias estrangeiras, como a Subsurface Inc. e a Rayflex Explorations, realizaram trabalhos de gravimetria, magnetometria e sísmica de reflexão na Bacia Central. Baseados nesses resultados, e em trabalhos próprios, as companhias Cuban Canadian Petroleum Co. e Cuban American Drilling Co. iniciaram os trabalhos de perfuração, descobrindo as jazidas gaso-petrolíferas Catalina e Cristales (Fig. 2. 36). Posteriormente ao ano de 1959, novos trabalhos geológico-geofísicos encontraram Mamonal, Reforma, Jatibonico e, em 1989, Pina (Fig. 2. 36).

A Bacia Central é uma depressão vinculada muito estreitamente à evolução transtensiva (Cretáceo Superior- Recente) da Falha La Trocha (Figs. 2. 36 e 2. 37). Encontra-se formada por seqüências de bacia superposta [Cretáceo Superior-Eoceno Médio (K_2 - P_2^2)] e de cobertura cenozóica [Eoceno Superior-Mioceno-Quaternário (P_2^3 -N-Q)], denominadas estas últimas como pós-orogênicas pelos geólogos petroleiros (Fig. 2. 37). As primeiras são depósitos terrígenos, clásticos e carbonatados (espessuras de até 4.000 m) que repousam discordantemente sobre rochas do arco de ilhas do Cretáceo e, em seu extremo nordeste, sobre ofiolitos. As rochas cenozóicas são basicamente margas e calcários, que chegam a atingir os 1.300 m de espessura. Os reservatórios (com gás e petróleo leve) estão em tufos, pertencentes ao arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo, assim como em calcários e rochas terrígenas de bacia superposta.

Até meados dos anos 80, as formações argilosas dessas rochas orogenéticas eram consideradas como geradoras dos hidrocarbonetos da área (Pairosián *et al.* 1975 in Milián 1986). A explicação de sua ocorrência nos tufos infrajacentes seria fruto de migrações laterais, nos casos das acumulações da borda da bacia e verticais descendentes, nas jazidas das porções

mais centrais, sendo o falhamento em blocos como a via fundamental de migração até as rochas piroclásticas (Milián 1986). A ocorrência de calcários coletores era entendida por Milián (1986) como o resultado do trapeamento dos fluidos provenientes das rochas geradoras, argilas da própria bacia. Echevarría *et al.* (1991) sustentam a tese de que as concentrações de material orgânico nas seqüências orogenéticas foram muito pequenas para dar origem ao óleo da área, sendo a possível fonte as escamas tectônicas inferiores da margem continental. Álvarez-Castro & Valladares (1994) indicam que as armadilhas características na Bacia Central são de dobramento nos tufos, e de natureza estratigráfica, dentro das seqüências orogenéticas. A inferência destes tipos de armadilhas constitui atualmente o critério principal para a localização das perfurações de prospecção (Álvarez-Castro, comunicação oral, 1994).

Echevarría *et al.* (1991) indicam também que a migração vertical a partir das escamas situadas em profundidade pode ter sido feita através de falhas verticais, não esclarecendo a natureza destas. No mapa da **figura 2. 36** pode observar-se a falha La Trocha junto com outra da mesma direção, inferida mais ao sul, ambas traçadas como resultado da interpretação da sísmica profunda e da gravimetria. As jazidas que formam o campo gaso-petrolífero guardam certo paralelismo com estes elementos, mas falta uma melhor cartografia do falhamento da área para aproximar sua possível relação com as acumulações de hidrocarbonetos. Despaine *et al.* (1994) não fornecem nova informação sobre o falhamento vertical da região no mapa tectono-estrutural resultante do mapeamento geológico à escala 1:50.000 (**Fig. 2. 21**), apesar de Capote (1992) ter detectado a presença de um elevado número de tectolineamentos NE e de outras direções, mediante o estudo fotogeológico de uma parte da superfície da Bacia.

Fig. 2. 36. Mapa tectônico e corte geológico geral da Bacia Central.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

A seguir, as etapas do método desenvolvido (Ver Figs. 1. 2 e 3. 1):

- I. De preparação.
- II. Generalização e georreferenciamento da informação anterior.
- III. Processamento de imagens.
- IV. Interpretação de imagens.
- V. Análise integrada de setores teste.
- VI. Análise integrada regional.

Se torna conveniente esclarecer porque não se realizaram verificações de campo para este trabalho. A obrigatoriedade de sua aplicação nos estudos baseados em fotografias aéreas foi apontada por Guy (1966) e, abrangendo também o uso dos produtos orbitais, por Amaral (1983). No caso do território de estudo, devido às características de seu mascaramento, estas verificações não podem ser realmente efetivadas mediante simples itinerários de campo. Basta acrescentar que nos trabalhos geológicos anteriores deveram ser utilizados, apenas com fins de mapeamento, dezenas de milhares de metros de perfuração e milhares de metros cúbicos de trincheiras e poços rasos. Levando em consideração esta realidade, foi inserida dentro do planejamento inicial a execução, por parte do Serviço Geológico Cubano (SGC), de alguns trabalhos de perfuração e perfilagem elétrica para verificar novas estruturas magmáticas. A falta de possibilidades atuais do SGC para executar essas comprovações em curto prazo, motivaram sua não realização.

No Laboratório de Processamento de Informação Georreferenciada (LAPIG), do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), foi iniciada a familiarização com o programa de processamento de imagem usado na pesquisa, assim como transladados a disco compacto as imagens *Landsat- TM*, fornecidas originalmente em fitas de 8 mm. As etapas II, III, IV, V, VI e VII foram executadas nas instalações do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP). O processamento das imagens e a integração de dados foram feitos no Laboratório de Informática Geológica (LIG), do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada do IG-USP.

Fig. 3. 1. Fluxograma dos resultados da pesquisa.

3.1. De preparação (Etapa I).

Esta etapa é constituída por duas subetapas. A **figura 3. 1** apresenta essas subetapas, com seus principais resultados, assim como sua interrelação com as etapas restantes.

Na subetapa **análise bibliográfica** incluem-se a seleção de setores teste e a delimitação das áreas de trabalho, descritas a seguir.

Setores teste. Uma grande quantidade de ocorrências do território de estudo tem sido prospectada detalhadamente. Isto permite a aplicação da regra: “do mais conhecido até o menos conhecido”. Neste caso, aplica-se esta regra no sentido de estabelecer, ou esclarecer, as regularidades estruturais controladoras da ocorrência, para posteriormente estudar seu vínculo com a estrutura regional. No caso dos setores gaso-petrolíferos conhecidos, sua proximidade espacial propiciou fazer sua análise de forma conjunta. Entretanto, a mineralização de arco necessitou de uma seleção de **objetos**, sendo já apresentados no **item 2.3.4.** os critérios usados para sua seleção.

Delimitação das áreas de trabalho (Fig. 3. 2). A interpretação das imagens TM do território foi feita por áreas. A região da Bacia Central, por seu específico significado mineragenético, constituiu uma delas. No extenso território ocupado pelo arco de ilhas, os critérios para a separação de áreas foram:

- Localização em uma das cenas TM que cobre o arco.
- Tipos de setores teste abrangidos.
- Tamanho digital da área, no sentido de ter volumes compactáveis nos meios de armazenamento externos disponíveis.

Na subetapa **levantamento de dados**, a aquisição de imagens TM necessitou da realização de um projeto de auxílio à pesquisa, assim como o acompanhamento do processo de importação.

3.2. Generalização e georreferenciamento da informação anterior (Etapa II).

O conteúdo principal desta etapa é a reelaboração da informação anterior, proveniente do levantamento de dados efetuado dentro da etapa I. Um dos objetivos foi levar à análise

bibliográfica (I) uma abundante e básica informação, a maior parte inédita, de relatórios de pesquisa, mapeamento e prospecção. Por outro lado, cria-se a base de dados em ambiente vetorial, direcionada ao desenvolvimento das etapas III, IV, V e VI. No georreferenciamento desta base foi necessário incluir a transformação ao sistema UTM, coordenadas das imagens TM, já que os dados anteriores encontram-se, pelo exposto no item 2.1, em coordenadas Lambert, Cuba Sul ou Cuba Norte. Na **figura 3. 2** mostra-se o fluxograma de execução da segunda etapa.

Basicamente, a informação levantada encontra-se sob a forma de mapas desenhados em papel, estando disponíveis somente em formato digital os dados do campo residual magnetométrico (Llufriu *et al.* 1996).

A grande maioria da informação desenhada em papel, tanto nos setores teste como ao nível regional, encontra-se mal conservada, sendo a reprodução realizada para seu posterior tratamento, geralmente, apenas viável pela via da fotocópia. A ocorrência freqüente destes dois fatores, causas de deformações inaceptáveis nos mapas, obrigou somar aos trabalhos rotineiros de redução, generalização e vetorização, outros, tais como os de reconstrução cartográfica e reajuste planimétrico (**Fig. 3. 3**). Na informação dos setores teste, o processo foi destinado fundamentalmente à simplificação, segundo os objetivos da pesquisa, do alto nível de detalhamento exposto nos materiais resultantes da prospecção. No caso da geologia, sempre estiveram disponíveis os mapas e perfis geológicos do estudo. No restante da informação (geofísica e geoquímica), sua existência e, quando havia, a forma gráfica de apresentação dos dados encontrada foi extremamente variável. Os resultados intermediários desta tarefa foram mapas generalizados geológicos e de indicadores geofísicos e geoquímicos, feitos em acetato (**Fig. 3. 3**).

No caso da informação regional, as características das generalizações realizadas encontram-se estreitamente relacionadas com a natureza dos dados tratados, a seguir:

Geologia: Nesta área a disponibilidade de materiais é grande. Foram tratados de maneira diferente o mapa geológico regional na escala 1:250.000 (Academias de Ciências de Cuba *et al.* 1989) e o mapa tectônico nacional na escala 1:500.000 (Pushcharovsky *et al.* 1989), com relação aos mapas tectono-estruturais, na escala 1:100.000, dos mapeamentos geológicos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. No primeiro caso, os materiais estão publicados e seus níveis de informação e, portanto, de generalização e exatidão cartográficas, são convenientes para a

pesquisa, pelo que não foi necessária a execução de tarefas prévias à vetorização e ao georreferenciamento. No restante caso, pelo contrário, a generalização foi imprescindível, assim como todas as tarefas preparatórias que a antecedem (**Fig. 3. 3**), sendo o produto resultante acetato, um mapa mosaico, na escala 1:250.000 (**Anexo 4**).

Geoquímica. Sendo a causa fundamental das anomalias geoquímicas detectadas no território do arco a presença da mineralização metálica que acompanha sua formação, este conjunto de dados foi tratado no sentido de encontrar indicadores de estruturas sin-arco. Os materiais disponíveis são duas cartas de anomalias geoquímicas, procedentes dos mapeamentos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. Uma delas, a de Shevchenko *et al.* (1979), apresenta anomalias exógenas obtidas pelo método metalométrico (amostragem do nível C do solo), com resultados espectrais semi-quantitativos. A segunda (González *et al.* 1995), mostra anomalias endógenas e exógenas (método de corrente), segundo resultados da análise espectral quantitativa, junto com anomalias mineralógicas (concentrados de bateia). Partindo das descrições dos setores padrões, onde são apontadas as anomalias geoquímicas regionais coincidentes, e do trabalho de Fateliev *et al.* (1990), que mostra as vantagens da classificação genética de anomalias geoquímicas para o estudo da mineralização de arco, foram feitas sobre cada mapa simplificações da informação. No caso das anomalias geoquímicas de elementos, tomaram-se apenas as de dois ou mais elementos, reclassificando-se segundo a gênese inferida da composição. Isto é: 1- polimetálicas (Pb, Zn, Ba, Ag, Au), 2 -cobre-molibdênicas (Cu-Mo), 3 -mistas (1+2), 4- outras (com conteúdos de elementos não típicos de arco: Ni, Co, e outros), e 5- polimetálicas com Wolfrâmio (1+Wo). No caso das anomalias mineralógicas foram reclassificadas em dois tipos: auríferas, e de alteração (epidoto, clorita, magnetita e outros).

Realizadas as generalizações em cada mapa, foram reduzidas à escala 1:250.000 e, em seguida, feito um mosaico, reajustado planimetricamente.

Geofísica. Segundo a análise de setores teste, e os trabalhos de Pereda *et al.* (1989) e Fateliev *et al.* (1990), as áreas mineralizadas apresentam relação com anomalias negativas e positivas do campo magnético residual. Segundo Shevchenko *et al.* (1979), as falhas controladoras do magmatismo encontram-se associadas a cadeias de anomalias positivas e negativas do campo magnético residual, bem como as estruturas vulcânicas a anomalias negativas e eixos arqueados, positivos e negativos, deste campo. Os gradientes bem marcados, assim como os

limites entre campos contrastantes, constituem lineamentos ambíguos, no sentido de refletir tectolineamentos sin-arco, ou posteriores.

Como assinalado anteriormente, existe uma base digital disponível do campo magnético residual. No entanto, a baixa resolução das informações (média de 800 por 350 m) (Llufriu *et al.* 1996) não evidenciam claramente anomalias e gradientes locais, embora essas possam ser observáveis em mapa (papel), na escala 1:250.000, confeccionado a partir da generalização cartográfica da escala 1:50.000. Portanto, na busca de uma melhor informação, foi tratado o mapa em papel, na escala 1:250.000, do modo a seguir. Ressaltaram-se sobre o mapa os eixos negativos e negativos, os gradientes notáveis e os limites evidentes entre campos complexos diferentes, assim como as anomalias negativas inferiores a -250 nT, valor limite extraído da análise de setores padrões e do trabalho de Shevchenko *et al.* (1979).

Segundo a análise de setores teste (itens 2.3.4), e os trabalhos de Pereda *et al.* (1989) in Stanek *et al.* (1989), as áreas mineralizadas de arco apresentam relação com as anomalias de potássio do mapa aerogama-espectrométrico (Zaruvzhgeologia 1994). Para ressaltar este indicador para toda a área do arco foram levantados, no mapa gama-espectrométrico de potássio, na escala 1:250.000, os eixos de anomalias, os limites entre campos contrastantes e as anomalias relativas, este último segundo valores fornecidos por Pereda *et al.* (1989) e Pardo & Matamoros (1989). Em zonas de sienitóides, os valores anômalos são aqueles maiores de 5%, em granitóides, maiores de 3% e em rochas vulcânicas, maiores de 1%.

Obtidos os mapas generalizados em acetato para os setores teste e o território de estudo, efetuou-se sobre eles a vetorização e o georreferenciamento. Levando-se em consideração cada situação concreta, sempre na busca da via mais eficiente, foram usados dois métodos: 1 -vetorização sobre mesa, mediante o uso do programa Autocad (versões 12 e 14), com pontos de controle (mínimo de 5) em UTM, tomados das imagens TM; ou 2 - "rasterizações" dos produtos em acetato (resolução de 300 dpi.), em seguida sua restituição, mediante o *ER-Mapper* e, finalmente, efetivada sua vetorização na tela, usando-se o anotador do próprio *ER-Mapper*. Na restituição realizada dentro do *ER-Mapper* usou-se o método das poligonais, com erro mínimo quadrático menor de 1 m.

Fig. 3. 2. Localização de imagens TM, áreas de trabalho, arquivos de dados e setores teste.

Fig. 3. 3. Fluxograma da etapa II, Generalização e georeferenciamento da informação anterior.

A informação gravimétrica existente em Cuba, na escala 1:500.000, não foi disponível para a pesquisa.

Uma lista dos diferentes materiais cartográficos usados nesta etapa encontra-se no **Anexo 3**.

3.3. Processamento digital de imagens (Etapa III).

3.3.1. IMAGENS UTILIZADAS.

3.3.1.1 Imagens Aéreas.

Para todo o território de estudo foram utilizados orto-mosaicos aéreos pancromáticos, reduzidos à escala 1:100.000, a partir de negativos originais da escala 1:76.000 (Aero Service Corporation 1956), em papel fotográfico de brilho, de contraste normal e peso simples. Resolução espacial: 2 m.

Em alguns setores teste, foram usadas fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:37.000 (Projeto K-10, 1970). Impressas por contato; em papel fotográfico de brilho, contraste normal e peso simples. Resolução espacial: 1 m.

3.3.1.2. Imagens TM-5.

O *Landsat-5*, operante desde abril de 1984, faz parte da segunda geração deste programa, iniciada com o lançamento do *Landsat-4*, e apresenta profundas mudanças em relação aos primeiros satélites da série.

Este satélite opera a uma altitude nominal de 705,3 Km, em órbita heliossincrônica quase polar com inclinação de 98,22°, cruzando o equador a partir do norte a cada 98,9 minutos, às 9:37 h (hora local). A faixa de imageamento apresenta largura de 185 Km, sendo a repetibilidade de amostragem de um mesmo ponto da superfície do planeta de 16 dias (EOSAT 1990). É importante notar que imagens *Landsat* originais não são corrigidas geometricamente, apresentando o norte deslocado cerca de 10°, no sentido horário, em relação ao norte verdadeiro (Lillesand & Kiefer 1994).

O sensor TM-5 é um imageador multiespectral, composto por sete bandas, acoplado ao satélite *Landsat-5*. A figura 17 mostra sua posição e das imagens MSS e SPOT no espectro electromagnético, assim como uma comparação com algumas das reflectâncias diagnósticos mais usadas em Geologia. A resolução espectral e nomenclatura dessas bandas, segundo Markham & Barker (1985) é indicada a seguir:

Banda TM-1: 0,45 a 0,52 μm (azul/verde);

Banda TM-2: 0,52 a 0,60 μm (verde);

Banda TM-3: 0,63 a 0,69 μm (vermelho);

Banda TM-4: 0,76 a 0,90 μm (infravermelho próximo);

Banda TM-5: 1,55 a 1,75 μm (infravermelho médio);

Banda TM-7: 2,08 a 2,35 μm (infravermelho médio);

Banda TM-6: 10,4 a 12,5 μm (infravermelho termal).

A resolução espacial dos canais TM é de 30 m nas bandas refletidas e de 120 m na banda termal (Lillesand & Kiefer 1994).

Para uma maior informação sobre os satélites *Landsat*, assim como sobre seus sensores e produtos, podem ser consultados Fredem & Gordon (1983), Markham & Barker (1985) e Lillesand & Kiefer (1994).

Via de regra, as cenas TM de Cuba cobrem uma parte do mar próximo, ao sul ou ao norte, e uma parte de terra firme. Levando em consideração que o território de estudo abrange apenas terrenos emersos, incluiu-se na solicitação de imagens a integração de cenas (Fig. 3. 2).

Foram usadas duas cenas TM integradas, as 12/45-46 e a 14/44-45, registradas nas datas: 8/15/93 e 1/09/90, respectivamente, assim como a cena 13/45, registrada na data 1/29/94 (Fig. 3. 2). A primeira corresponde ao período chuvoso (maio-outubro) e as restantes, ao período seco (novembro-abril). A escolha das imagens realizou-se mediante os catálogos da EOSAT, tendo-se como critério fundamental que a porcentagem de nuvens mínima total no registro fosse menor de 5%, o qual, por outro lado, significou a impossibilidade de obter as três imagens dentro do mesmo período climático e em anos de registro mais próximos, além da qualidade na aquisição das cenas.

As imagens inicialmente fornecidas estavam em formato de fita magnética de 8 mm, sendo transladadas para disco compacto, com extensão .ers (do *ER-Mapper*). A informação

apresenta uma correção planimétrica boa, sem ruídos visíveis de registro, orientada ao norte e com referenciamento em coordenadas UTM.

3.3.2. PROGRAMA UTILIZADO.

Foi aplicado o *ER-Mapper*, versão 5.5, para PC. Desenvolvido pela Earth Resource Mapping, este programa é um sistema destinado ao processamento de imagens a partir de dados *raster* e vetoriais. Diferentemente da maioria dos *softwares* de processamento atuais, o *ER-Mapper* não cria durante o tratamento um novo arquivo *raster*, que ocupa uma grande memória e um tempo considerável para mostrá-lo na tela, mas armazena apenas os passos dados sob a forma do algoritmo *ER-Mapper*, exibindo-se o resultado em um tempo relativamente curto. Para uma maior informação sobre este programa, pode consultar-se o *ER-Mapper Reference Manual, Version 5*.

O *ER-Mapper* foi usado, fundamentalmente, instalado em uma “Work Station” Intergraph, com processador Pentium II, de 200 MHz, 32 Mb de RAM; modelo TD-310.

3.3.3. PROCEDIMENTO DESENVOLVIDO.

O objetivo essencial desta etapa é o aumento da informatividade das imagens disponíveis, principalmente nas TM, no sentido de facilitar nelas a interpretação dos objetos geológicos de interesse, isto é, lineamentos, mineralizações, litologias e alterações relacionadas. O desenvolvimento de um relevo plano em 85% do território relaciona-se com a ocorrência de quatro fatores complexos que mascaram fortemente o substrato. Portanto, o procedimento desenvolvido no processamento de imagens foi direcionado, basicamente, ao aumento da informação das imagens nesta paisagem aplainada. O primeiro passo foi a definição desses fatores mascarantes, assim como o modo geral de sua abordagem durante o processamento, a seguir:

Fator 1 -Escassez de texturas naturais indicadoras. O único elemento morfológico formador de texturas naturais válido para todo o território é a drenagem. Portanto, seu adequado realce foi um alvo de primeira importância durante todo o processamento.

Fator 2 -Perfil de intemperismo bem desenvolvido, com solos cobertos de vegetação (artificial ou natural) o ano todo. Este fator, constitui a principal dificuldade na discriminação dos objetos geológicos de interesse, usando-se apenas a reflectância espectral.

Sobre o perfil de intemperismo da área aplainada do território de estudo, apresentam-se dois conjuntos de elementos. O primeiro, está relacionado estreitamente com o divisor principal das águas (eixo da Savana Ciego-Tunas) e, portanto, também com os granitóides e sienitóides do eixo principal do arco. Está formado, principalmente, por um espesso manto saprolítico, onde a ocorrência de solo (terra cultivável), geralmente arenoso, não é importante (entre 0,05 e 0,1 m de espessura). A vegetação relacionada é, basicamente, herbácea rala. O segundo, desenvolvido fundamentalmente sobre as bordas da Savana e sobre as planícies litorâneas, abrange grandes extensões de solos espessos ($>0,6$ m), de natureza argilosa, onde os diferentes cultivos relacionados são tanto densos como ralos.

No primeiro conjunto, a separação dos tipos e sub-tipos de saprolito nas imagens TM mediante as reflectâncias relativas resulta uma via importante para a discriminação de elementos do substrato. No segundo, o realce nessas imagens de diferenças tonais na vegetação artificial, e uma aproximação dos aspectos básicos dos padrões de ocupação de solo, atingem, também, papéis relevantes. A presença de ambos conjuntos nas áreas de trabalho, determinou que fossem submetidos conjuntamente aos diferentes processamentos aplicados.

Fator 3 -Feições antrópicas. Segundo a geometria básica que aparece nas imagens, devem ser diferenciados aqui dois conjuntos: *a -urbanização e barragens* e *b -estradas e cercas*.

A ocorrência do conjunto *a* influenciou na análise regional, mas seus efeitos foram diminuídos, basicamente, para o exame de setores teste metalogenéticos. Para isto, a via fundamental foi a criação de imagens multitemporais, mediante as TM (dos anos 90) e materiais aéreos (ano 1956 ou 1970).

No caso das *estradas e cercas*, fornecem uma grande quantidade de lineamentos artificiais que dificultam, fundamentalmente, a análise regional. As *cercas* não significam apenas elementos retilíneos ou suavemente arqueados. O desenvolvimento, a partir dos anos 60, do “planejamento” Voisin no uso da pastagem, determinou a construção de cercas anelares, de até 5 Km de diâmetro.

A abordagem básica baseou-se no realce destes lineamentos artificiais nas imagens TM, para sua melhor separação visual durante a interpretação, assim como levá-los muito em consideração, no momento de avaliar a utilidade das filtragens direcionais desses materiais.

Fator 4 -Pequenas dimensões de alguns objetos geológicos (tectolincamentos estreitos e curtos, diques, alguns tipos de mineralizações, áreas de afloramentos). Este fator está relacionado diretamente com a resolução espacial do material. No caso das imagens TM, isto resulta insolúvel, mas o caráter regional de sua interpretação não afeta sensivelmente seus

resultados. No caso dos setores padrões metalogenéticos, o realce da drenagem e o contraste nos materiais aéreos foi a principal via de processamento escolhida para diminuir os efeitos deste fator.

Os passos básicos dados durante o processamento de imagem desenvolvido podem ser observados no fluxograma da **figura 3.4**. A experiência de tratamento de imagens tem mostrado que esta seqüência é a que fornece melhores resultados, segundo um aumento gradativo na complexidade dos algoritmos usados. No **item 4.1**, são discutidos os resultados obtidos.

3.3.3.1. Trabalhos prévios.

Depois de registrados em CD-ROM os dados originais, o passo seguinte foi a criação de arquivos de dados com as seis bandas de reflexão, visando cobrir todo o território de estudo. Nas cenas Cuba-12 e Cuba 14 foram abertos os arquivos Cuba 12 centro-sul e Cuba 14 sudeste. Na cena Cuba 13 foram criados dois arquivos: Cuba 13 sudeste e Cuba 13 oeste (**Fig. 3. 2**). A cena Cuba 12 está com coordenadas UTM, fuso17-este, enquanto as duas restantes, em UTM, fuso17-oeste. Portanto, foi necessário levar todos os arquivos ao mesmo subsistema, determinando-se que este fosse o UTM-17 oeste.

3.3.3.2. Análise dos registros originais. Realces de contraste. Composições coloridas de bandas.

Na escolha do melhor triplete teórico de bandas foi utilizado o OIF (*Optimum Index Factor*) (Chávez *et al.* 1982).

Aplicando-se a fórmula:

$$OIF = \frac{dp(a) + dp(b) + dp(c)}{R(ab) + R(bc) + R(ac)}$$

onde, a, b e c são três bandas quaisquer, e R(ab) é o coef. de correlação de Pearson entre duas bandas.

3.3.3.3. Correção atmosférica.

A via usada para obter valores adicionados pelo espalhamento foi a partir da determinação, por banda, em cada arquivo de dados dos valores digitais de corpos d'água, de mar e de barragens, sem sedimentos em suspensão. A plotagem para cada arquivo dos dados

Fig. 3. 4. Fluxograma da etapa III, Processamento digital de imagens.

tomados ofereceu um comportamento aritmético linear, o qual mostrou sua confiabilidade. Em seguida, esses valores foram subtraídos dos arquivos iniciais, criando-se outros novos, para posteriores processamentos, os quais adquirem a letra **a** para diferencia-los dos originais. Em Meneses (1986) pode encontrar-se uma extensa compilação das diferentes maneiras pela qual a atmosfera influencia as imagens coletadas de alta altitude, assim como das correções aplicadas para diminuir seus efeitos no registro.

3.3.3.4. Razões.

A utilização das divisões entre bandas para a discriminação de litologias e alterações oferece excelentes resultados na pesquisa mineral em áreas aflorantes, de natureza árida ou semi-árida. Sua aplicação em uma área com as condições que apresenta o território de estudo desta pesquisa apresenta, *a priori*, sérias desvantagens. Entre elas, estão as complexas e variadas composições do saprolito e do solo ocorrentes sobre cada tipo de rocha e alteração silícica, e a alta variabilidade da vegetação existente, particularmente a artificial. A investigação da utilidade deste método no território de estudo requer de uma pesquisa independente, que deve abranger a determinação das assinaturas de reflectância mediante medições de campo deste parâmetro, assim como a análise por separado das 30 razões possíveis e a determinação das melhores composições coloridas, entre os 455 triplete teóricos a testar. No presente caso, o uso deste tratamento foi restrito às áreas de arco com desenvolvimento importante de saprolito, mediante a aplicação de divisões usadas em outros contextos ambientais, mas com alterações silícicas semelhantes.

3.3.3.5. Transformadas de Kauth-Thomas. Classificação não supervisionada.

O uso das transformadas de Kauth-Thomas, "*tasseled cap*", foi incluído no processamento com fins geobotânicos, tanto para a discriminação de litologias como das alterações silícicas de arco.

A classificação não supervisionada foi aplicada com o objetivo de testar suas possibilidades como material auxiliar na interpretação estrutural. Isto foi planejado em atenção, fundamentalmente, ao seguinte: 1- constituir a classificação uma forte via de integração de bandas, diferente em essência à das principais componentes; 2- à observação, nas imagens provenientes dos passos prévios do processamento, da relação estreita de diversos tectolineamentos, e blocos conseqüentes, com os padrões de uso de solo; 3-. dispor de um

exame “cego” complementar, neste caso, baseado exclusivamente na avaliação automática, não visual, dos dados multiespectrais e 4-. à possibilidade que se tem neste caso de influenciar diretamente na representação colorida de campos com valores de DN muito próximos, facilitando-se assim sua diferenciação visual.

Utilizou-se o método *isoclass*, do *ER-Mapper*. O número de iterações aplicado foi de 1000, com um por cento desejado de não modificação de 98,0. O intervalo de amostragem por linha esteve entre 1 e 3, sendo de igual modo, e sempre em correspondência, pela coluna. Os membros mínimos em uma classe foi de 0,01% do total. O desvio padrão foi 4,5. A distância mínima entre as médias das classes foi de 3,2. Foram testadas classificações de 10, 20, e 30 classes, utilizando-se tanto as 6 bandas de reflexão, como a principal componente 1.

3.3.3.6. *Análise de principais componentes.*

A obtenção das principais componentes foi baseada nas 6 bandas TM de reflexão. Na revisão da informatividade de cada componente foi utilizada tanto a análise matemática, baseada em autovetores e autovalores, dados pela via da covariância, como a inspeção visual de cada componente.

Na discriminação de litologias e alterações silícicas de arco foi testada a Análise Seletiva de Principais Componentes (Chávez & Kwarteng 1989), a qual consiste em uma composição colorida das PC1 das bandas (1-2-3), (4), e (5-7). Neste caso, no sentido de obter a maior cromaticidade, segundo a ordem RGB seguinte: (PC1 das 5 e 7, PC1 das 1-2-3, e PC1 da 4). A aplicação do tratamento, criado para áreas áridas e semi-áridas, aflorantes ou quase aflorantes, forneceu menos informação que a obtida através da composição colorida das razões 5/4, 3/1 e 7/5 (Drury 1993), e semelhante à fornecida pela RGB das bandas 1, 5, 4.

Na tentativa de separar subtipos dentro das alterações silícicas no maior setor de mineralização epitermal, o setor Jagüey, na área Camagüey, foi também testado o “método Crósta” (Loughlin 1991), tratamento construído para usa-lo em condições naturais semelhantes às consideradas para a Análise Seletiva de Principais Componentes . Consiste, em essência, de uma composição RGB formada com uma PC, escolhida segundo seus maiores autovetores (covariância), neste caso a PC4, de um arquivo formado pelas bandas 1, 4, 5, 7 (“imagem de hidroxila”); a PC1 de um arquivo criado com as “imagens de hidroxila e óxido de ferro”; e uma PC, escolhida segundo seus maiores autovetores (covariância), neste caso a PC4,

arquivo formado pelas bandas 1, 3, 4, 5 (“imagem de óxido de ferro”). A aplicação deste tratamento não somou novos elementos aos provenientes do uso da RGB das razões 5/4, 3/1 e 7/5 (Drury 1993), mas, em atenção a seu alto poder extrativo, deveria ser testado em outras regiões de Cuba, com alterações silícicas hidrotermais de maiores dimensões, bem como mais aflorantes.

3.3.3.7. Realização de multiprodutos.

A aplicação de materiais aéreos dentro da pesquisa, para seu uso independente ou para sua integração com imagens TM, fez necessário sua “rasterização”, bem como a restituição e realce dos dados, já em estado digital.

A realização do mapa preliminar estruturo-tectônico de Cuba Centro Oriental, precisou da preparação de um mosaico da banda 5 TM de todo o território de estudo.

3.4. -Interpretação de imagens (Etapa IV).

O objetivo essencial desta etapa é a extração máxima de informação das imagens sobre os objetos geológicos de interesse para a pesquisa. A via básica para seu desenvolvimento é a interpretação “cega”. Isto é, a interpretação da imagem segundo a informação prévia que possui seu executor, mas sem alterar seus resultados através da consulta simultânea de outros materiais (geológicos e/ou geofísicos), tanto básicos como interpretativos. No esboço final resultante da interpretação “cega”, os campos litomorfológicos e lineamentos separados se identificam mediante a base geológica mais detalhada disponível, mas sem alterar aqueles traços feitos pelas imagens. Tal procedimento é executado no sentido de aproveitamento máximo da informação fornecida pela imagem, evitando-se a medida do possível a influência de outros dados e interpretações sobre a estrutura da área. Na **figura 3. 5** encontra-se resumido o procedimento desenvolvido dentro da etapa.

3.4.1. TERRITÓRIO DE ESTUDO.

No planejamento inicial da pesquisa, a interpretação de imagens do território de estudo baseava-se, essencialmente, nas imagens TM. Porém, o atraso ocorrido em seu fornecimento e a incerteza de que algum dia chegassem, obrigaram a utilizar os ortofotomosaicos aéreos como

meio fundamental da tarefa no início de sua execução. Estando já disponíveis as imagens TM, o resultado do trabalho feito com esses mosaicos aéreos resultou apenas complementar.

Os trabalhos fotogeológicos no território de estudo começaram pelas áreas onde não tinham sido executadas labores deste tipo (Fig. 3. 6). Nelas, a interpretação foi executada sobre os orto-mosaicos na escala 1:100.000, mediante o uso de lupa, traçando-se sobre acetato translúcido os elementos geológicos deduzidos. A simbologia usada foi baseada em Capote *et al.* (1991). A área coberta no arco de ilhas foi de 4.000 Km², enquanto na região da Bacia Central foi de 700 Km².

A generalização fotogeológica na escala 1:100.000 foi iniciada com a redução fotográfica dos mapas fotogeológicos à escala 1:50.000, feitos para os trabalhos de mapeamento geológico (Anexo 1). Em seguida, foram desenvolvidas as generalizações natural e cartográfica, mediante o uso dos orto-mosaicos aéreos, na escala 1:100.000, utilizando-se como simbologia base a desenvolvida para a tarefa descrita no parágrafo anterior. Na interpretação dos campos litomorfológicos separados foram usados os mapas tectono-estruturais na escala 1:100.000 de Despaine *et al.* (1994) e Piñero *et al.* (1995), assim como o mapa geológico na escala 1:100.000 de Shevchenko *et al.* (1979). Finalmente, o produto assim obtido foi reduzido fotograficamente a escala 1:250.000, e redigido na mesma escala o esboço fotogeológico, incluindo-se aqui o ajuste planimétrico sobre o mapa topográfico dessa escala. O mapa fotogeológico do território de estudo na escala 1:250.000 pode observar-se no anexo 6. Visando a utilização posterior destes resultados, junto com os obtidos mediante a interpretação de imagens TM, esse esboço fotogeológico foi vetorizado em mesa, sendo georreferenciado da mesma forma que a informação tratada na etapa II. .

O exame de imagens TM do território de estudo teve duas vias: *a- levantamento da drenagem e b- interpretação*. A tarefa *a* foi executada em aquelas partes das áreas de trabalho onde necessitava-se separar este elemento morfológico, para posteriormente usá-lo como indicador morfológico independente, na análise integrada regional. O levantamento foi feito mediante o anotador vetorial incluído no *ER-Mapper*, traçando-se os elementos de todas as ordens visíveis sobre os materiais onde eram mais evidentes (basicamente sobre a banda 5 e a principal componente 1, realçadas), mantendo-se o arquivo resultante em estado digital.

A interpretação das imagens TM processadas foi realizada também mediante o anotador vetorial do *ER-Mapper*. Para isto, em cada área de trabalho foi aberta uma “folha”, a

qual foi superposta sobre cada um dos produtos de processamento mais informativos, resultantes da etapa III. A simbologia usada derivou-se da legenda do **anexo 6**. A interpretação dos campos litomorfológicos separados foi feita mediante os mesmos materiais tectono-estruturais e geológico usados na generalização fotogeológica. Os esboços preliminares TM resultantes foram mantidos, basicamente, em estado digital.

3.4.2. SETORES TESTE.

De maneira semelhante ao território de estudo, o exame de imagens dos setores teste teve duas vias: *a -levantamento da drenagem* e *b -interpretação*, atingindo ambas, também, objetivos similares da análise integrada. Do mesmo modo, a execução de ambas tarefas foi dentro do *ER-Mapper*.

A tarefa *a* foi executada nos setores teste onde o relevo era extremamente plano, sendo utilizados ortofotomosaicos, ou fotografias aéreas. No caso da interpretação, esta foi realizada, tanto sobre esses materiais, como sobre imagens multitemporais (materiais aéreos mais TM), utilizando-se para a interpretação dos campos litomorfológicos os mapas geológicos generalizados provenientes da etapa II. Os esboços preliminares resultantes foram mantidos, basicamente, em estado digital.

3.5. Análise integrada de setores teste. (Etapa V).

O objetivo desta etapa é estabelecer, ou esclarecer, os critérios e indicadores que possibilitam a identificação da ocorrência mineral de cada setor teste. Seus resultados, constituem fatores de valor local a ser incluídos na análise integrada regional (etapa VI). No caso do arco, os critérios são estruturais e magmático-estruturais. Os indicadores são geológicos, morfológicos, geoquímicos e geofísicos. Na **figura 3. 7** pode-se observar o fluxograma da etapa, cujas tarefas são descritas a seguir.

O **mapa de indicadores** consiste em uma carta digital, para cada setor teste (**Fig. 3.7**), onde são apresentados os diferentes conjuntos de dados obtidos nas etapas II e IV. Como foi explicado com anterioridade, a disponibilidade de dados geofísicos e geoquímicos em cada setor foi extremamente variável, o que influenciou diretamente no grau de informação de cada mapa de indicadores.

Fig. 3. 5. Fluxograma da etapa IV, Interpretação de imagens.

Fig. 3. 6. Cartograma dos trabalhos fotogeológicos realizados no território de estudo.

A **análise integrada** baseou-se na superposição mediante o *ER-Mapper* de dados vetoriais (esboços estruturais, mapa de indicadores) sobre as imagens processadas mais informativas, constituídas por materiais aéreos e multi-temporais (aéreo mais TM). Como resultados desta tarefa estão os esboços magmático-estruturais dos setores teste do arco, todos acompanhados da listagem dos critérios e indicadores de ocorrência mineral.

3.6. **Análise integrada regional (Etapa VI).**

Esta etapa constitui a integração de dados e resultados de todas as etapas anteriores, visando obter uma melhor compreensão do papel do controle estrutural na metalogenia endógena do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo na área Ciego-Tunas, e nas acumulações gaso-petrolíferas na região da Bacia Central. Isto é, o objetivo geológico principal desta pesquisa. Na **figura 3. 8** pode-se observar o fluxograma da etapa, cujas tarefas são descritas a seguir.

O **mapa de indicadores** consiste em uma carta digital, para cada área de trabalho (**Fig. 3. 8**), onde são resumidas as feições principais dos diferentes conjuntos de dados obtidos nas etapas 2 e 4, e direcionada a estabelecer sua relação com a evolução estrutural regional. Estas feições principais podem ser de caráter linear, tais como os elementos anómalos da drenagem e os limites determinados dentro desta entre configurações diferentes, bem como os eixos de anomalias geoquímicas exógenas de um mesmo tipo genético inferido, como por exemplo, polimetálicas. Outras feições principais apresentam formas irregulares, tais como as áreas de alterações hidrotermais, extraídas de mapeamentos anteriores.

A **análise integrada estrutural, em pequena escala, dos campos gaso-petrolíferos de Cuba** está direcionada a esclarecer se existe uma relação regional, entre as jazidas das províncias petrolíferas cubanas e a tectônica transcorrente, que afeta toda a faixa dobrada. Deste modo, foi estabelecido um critério geral a ser estudado, a maior escala, na região da Bacia Central.

O desenvolvimento desta tarefa é descrito a seguir.

- Preparação de esboços tectônicos na escala 1:500.000 dos campos gaso-petrolíferos conhecidos de Cuba, baseados no mapa cosmogeológico de Cuba (Capote *et al.* 1989), no mapa geológico de Cuba em escala 1:250.000 (Academia de Ciências de Cuba *et al.* 1989) e o mapa magnetométrico (Llufriu *et al.* 1994). Este procedimento tem como objetivo principal

Fig. 3. 7. Fluxograma da etapa V. Análise integrada de setores teste.

Fig. 3. 8. Fluxograma da etapa VI, Análise integrada regional.

separar e representar cartograficamente as falhas por idade de formação, profundidade de influência e morfogênese.

- Localizar neles a informação conhecida sobre a ocorrência de hidrocarbonetos (Coutín *et al.* 1987, Linares & Valdespino 1991).
- Descrever as regularidades espaciais encontradas entre os elementos estruturais mapeados e as acumulações de óleo. Produção do modelo de migração e trapeamento para a região dos campos gaso-petrolíferos conhecidos em Cuba.

A **análise integrada** foi feita mediante duas vias: *a- integração visual* e *b- integração mediante processamento de imagem*. A primeira, e a mais aplicada neste trabalho, baseou-se na superposição mediante o *ER-Mapper* de dados de uma natureza específica (estruturais, litológicos, magnetométricos, etc.) ou do mapa de indicadores, sobre as imagens processadas mais informativas, levando-se em consideração as regularidades observadas na análise integrada de setores teste, e, no caso da Bacia Central, dos resultados da análise integrada estrutural, em pequena escala, dos campos gaso-petrolíferos de Cuba.

A segunda consistiu, especificamente, na relação (utilizando-se também o *ER-Mapper*) da informação do campo residual magnético com as imagens mais informativas. Isto foi efetivado por três vias: a utilização do espaço HSI (*Hue-Saturation-Intensity*), e a criação de mapas de isolinhas e de modelos 3D.

Como resultado desta tarefa estão os esboços magmático estruturais das áreas do arco, o esboço estrutural da região da Bacia Central e o mapa tectono-estrutural preliminar de Cuba Centro Oriental. Este último foi produzido visando a comparação dos resultados estruturais obtidos para toda esta parte do país, com os últimos trabalhos tectônicos publicados (Shein *et al.* 1984, Pushcharovsky *et al.* 1989a-b, Iturralde-Vinent 1996a). Como regras gerais da representação cartográfica de todos esses mapas, estão: a- separação de estruturas em: sin-arco (Cretáceo Inferior- Cretáceo Superior, Campaniano Inferior), de longa-vida (Cretáceo Superior, Campaniano-Quaternário), orogenéticas (Cretáceo Superior, Campaniano Médio-Eoceno Médio) e neotectônicas (Eoceno Superior-Quaternário); e b- delimitação de unidades e sub-unidades lito-tectônicas.

4.- RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1. Processamento digital de imagens.

Devido à ocorrência no território de estudo de fatores peculiares de mascaramento, o processamento digital de imagens aplicado apresenta resultados que necessitam ser discutidos, separadamente da interpretação de imagens. A existência de vários arquivos de trabalho dificulta esta análise. Portanto, se bem são analisadas algumas características dos dados de cada um deles, a apresentação de exemplos ilustrativos das diferentes técnicas aplicadas referem-se à porção oeste da área Golden (no arquivo Cuba 12 centro-sul, com data de registro em 08/15/93). Nos itens dedicados à análise integrada, são discutidos os resultados da interpretação geológico-estrutural efetuada sobre as imagens mais informativas, da totalidade do território de estudo.

4.1.1. *ANÁLISE DOS REGISTROS ORIGINAIS. REALCES DE CONTRASTE. COMPOSIÇÕES COLORIDAS.*

No **anexo 5** podem observar-se as estatísticas principais dos arquivos multibandas criados inicialmente, mostrando-se através da **tabela 4.1** apenas os desvios padrões. Assumindo-se esta variável como uma medida direta da quantidade de informação de cada arquivo, o canal 5 teria mais informação, enquanto o canal 2 conteria a mínima informação. A ordem geral dessa queda é 5, 4, 7, 3, 1, 2 mas no arquivo Cuba 13 oeste existe uma variação, expressa pela seqüência 5, 4, 7, 1, 3, 2.

Baseados nos histogramas correspondentes, foram aplicados aumentos lineares e equalizados de contraste, ALC e AEC, respectivamente, sendo este último, geralmente, aquele que realça melhor os elementos da paisagem (**Figs 4. 1, 4. 2, 4. 3**). A rede de drenagem, caracterizada em parte por vegetação exuberante, ciliar, e na parte restante, pela falta de vegetação, é melhor expressa, por baixos albedos, nas bandas 5 e 7 (**Fig. 4. 3**). As seis bandas fornecem abundante informação sobre a vegetação, permitindo a discriminação de áreas de mata, litorâneas e de savana, assim como a separação de sub-tipos empíricos, básicos para a separação de litologias. Na **figura 4.1** mostram-se, do norte para o sul, os principais complexos litológicos desenvolvidos na área, a saber: margas terciárias (M), granitóides (G), complexos vulcânicos (V), calcários cretácicos (Ck) e cobertura cenozóica (CC).

Fig. 4. 1. Bandas TM 1 e 2. Para cada banda, a imagem esquerda mostra o contraste do registro original, na central, os dados encontram-se realçados através da ampliação linear de contraste (ALC), e na direita, o realce foi obtido mediante a ampliação equalizada de contraste (AEC). Pontos de referência discutidos no texto.

Fig. 4. 2. Bandas TM 3 e 4. Para cada banda, a imagem esquerda mostra o contraste do registro original, na central, os dados encontram-se realçados através da ampliação linear de contraste (ALC), e na direita, o realce foi obtido mediante a ampliação equalizada de contraste (AEC).

Fig. 4. 3. Bandas TM 5 e 7. Para cada banda, a imagem esquerda mostra o contraste do registro original, na central, os dados encontram-se realçados através da ampliação linear de contraste (ALC), e na direita, o realce foi obtido mediante a ampliação equalizada de contraste (AEC).

Tabela 4.1. Desvio padrão dos seis canais de reflexão dos quatro arquivos de dados do território de estudo.

Arquivo Cuba 12 centro-sul						
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
<u>Desvio Padrão</u>	7,629	5,125	8,768	22,775	30,506	14,704
Arquivo Cuba 13 sudeste						
<u>Desvio Padrão</u>	4,097	3,044	5,071	11,173	15,356	7,318
Arquivo Cuba 13 oeste						
<u>Desvio Padrão</u>	7,371	4,785	6,890	19,906	26,139	10,475
Arquivo Cuba 14 sudeste						
<u>Desvio Padrão</u>	6,797	4,614	8,059	15,460	25,512	11,811

Os dados utilizados para o cálculo do OIF nos quatro arquivos criados, assim como os valores obtidos para este fator para cada um dos tripletes possíveis, podem encontrar-se no **anexo 5**. Na **tabela 4.2** mostram-se os melhores três tripletes para os quatro arquivos, segundo os valores de OIF. Para Cuba 12 centro-sul, Cuba 13 oeste e Cuba 14 sudeste os dois melhores tripletes são os formados com as bandas 1-4-5 e 1-4-7. No entanto, para o arquivo Cuba 13 sudeste, da mesma cena que o arquivo Cuba 13 oeste, a combinação 1-4-5 é superada levemente pela 4-3-5, a qual não alcança nos outros casos valores relativos altos do OIF (**anexo 5**). Isto explica-se pela ocorrência de diferenças na paisagem do arquivo Cuba 13 sudeste, com relação ao refletido nos outros arquivos, tais como o predomínio maior na superfície do saprolito e a influência importante neste da existência de rochas ultramáficas.

Com a finalidade de avaliar empiricamente a eficácia das combinações ótimas indicadas pelos valores do OIF, foram realizadas composições coloridas RGB com os três melhores tripletes de cada arquivo. Por esta via, foi verificado que o melhor triplete para os quatro arquivos de dados era realmente o 1-4-5, segundo a ordem RGB 1-5-4. A ordem RGB foi escolhida sempre, durante todo o processamento digital de imagens, pela via da decisão visual.

Na **figura 4.4** observa-se uma composição RGB 1-5-4. Nas parte nordeste e central da imagem o predomínio da cor amarela e de um padrão de drenagem dendrítico denso, indicado pelo número 1, possibilita discriminar com clareza o saprolito, com solo poucos espessos e vegetação herbácea rala, o qual encontra-se desenvolvido sobre granitóides. Por outro lado, a associação da coloração amarelada com o centro da morfo-anomalia anelar presente no extremo sudeste, permite inferir a existência na área litorânea sul de uma estrutura magmática

quase aflorante, o qual resultaria, de comprovar-se, um dado relevante sobre a geologia do território. No **destaque A-1**, a realização de um RGBI (adição de uma camada de intensidade a uma composição RGB) mediante a incorporação da banda 7, permite o realce dos padrões de drenagem nos granitóides, conduzindo assim à separação de subtipos de interpretação (a, b, c). Esta via de tratamento oferece texturas mais contrastantes que as obtidas pela aplicação de filtragens de passa alta em todas as camadas, como a mostrada no **destaque A-2**, tratada através de um filtro kerner passa alta, de 11x11.

Tabela 4.2. Melhores três tripletes para os quatro arquivos de dados do território de estudo, segundo os valores de OIF calculados.

A R Q U I V O S D E D A D O S							
Cuba 12 centro-sul		Cuba 13 sudeste		Cuba 13 oeste		Cuba 14 sudeste	
Triplete	OIF	Triplete	OIF	Triplete	OIF	Triplete	OIF
4/1/5	109,55	4/3/5	32,179	4/1/5	131,57	4/1/5	47,865
4/1/7	107,40	4/1/5	30,811	4/1/7	126,68	4/1/7	37,561
3/1/4	73,632	4/3/7	29,379	3/1/4	60,259	4/2/5	29,184

O número 2 identifica uma ampla área de parcelas cultivadas, com um predominante tom pardo, relacionada com o desenvolvimento de piroclastitos de composição intermediária-básica, dentro de vulcanitos andesítico-basálticos (3).

Tons azuis de diferentes intensidades permitem delimitar a área Najasa, de relevo mais acidentado, cuja superfície apresenta uma densa vegetação natural. Dentro desta área, ocorrem calcários (4) e margas e terrígenos (5) de bacia superposta, assim como piroclastitos andesítico-basálticos (6) e vulcanitos de similar composição (7). A transformação para o espaço HSI obscurece os arredores da área, mas incrementa notavelmente dentro dela as possibilidades de discriminação dos complexos litológicos (**destaque B**). Em geral, tanto nas áreas de relevo acidentado como nas planas, a utilização do espaço HSI nas composições coloridas entre bandas permitiu uma melhor discriminação litológica dentro do desenvolvimento de rochas sedimentares.

RGB: 1, 5, 4, 7.

RGB: 1, 5, 4 (com fpa. 11x11)

HSI: 1, 5, 4.

Fig. 4. 4. A imagem da esquerda mostra uma composição RGB das bandas TM 1, 5 e 4.

Destaques A: A-1, composição RGBI das bandas 1, 5, 4, 7.

A-2, Composição RGB 1, 5, 4, com aplicação de filtro passa alta kerner 11x11.

Destaque B: Composição HSI das bandas 1, 5, 4.
(Vide texto).

Fig. 4. 5. Em 4. 5-a observa-se uma composição RGB das razões 5/4, 3/1, 7/5 (Drury 1993), enquanto na Fig. 4. 5-b pode observar-se o resultado da adição da banda 5, em intensidade. (Vide texto).

4.1.2. RAZÕES.

Fundamentalmente, foram usadas as razões 5/4, 3/1, 4/3, 5/7 e 7/5, formando-se as combinações RGB 5/7, 3/1 e 4/3 (Eiswerth & Rowan 1993) e 5/4, 3/1 e 7/5 (Drury 1993). Se comparada esta segunda combinação RGB (Fig. 4. 5-a), com a composição de bandas da figura 4. 4, oferece bons resultados na separação de alterações silícicas (1 e 2) dentro de rochas granitóides (3).

As perdas no sombreamento e no contraste inerentes ao tratamento, causantes neste caso na falta de definição da drenagem e do microrelevo, podem ser diminuídos mediante a soma da banda 5 em intensidade, com aumento linear de contraste, controlado manualmente. A aplicação de uma filtragem passa-baixa, mediante um filtro mediana de 5x5, nas três camadas coloridas conduz a uma simplificação da cromaticidade que favorece a observação das texturas naturais fornecidas pela banda 5, melhorando-se a discriminação de litologias (Fig. 4. 5-b).

4.1.3. TRANSFORMADAS DE KAUTH-THOMAS. CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA.

Obtidas a transformadas *brightness* (b), *greenness* (g), e *wetness* (w) (Crist & Kouth 1986), foi construída a RGB de maior cromaticidade sob decisão visual, resultando ser a formada por g, w, b. Nem o espaço RGB, nem o HSI, foi observado aumento da extração de informação com respeito à composição RGB de bandas 1, 5, 4.

Na imagem esquerda da figura 4. 6 pode-se observar uma classificação não supervisionada de 30 classes, baseada nas 6 bandas de reflexão, com amostragem de 1, tanto pela linha como pela coluna. Aplicou-se uma legenda colorida arbitrária, generalizando-se as classes mediante um filtro de mediana 5x5. Desta forma, são separados 6 padrões principais de ocupação de solo, correlacionáveis com elementos da geologia regional. A seguir:

1. áreas de pastagem, desenvolvidos sobre granitóides e sienitóides;
2. alternância de campos cultivados, de diversos tipos, sobre vulcanitos, e de áreas estéreis, desenvolvidas em rochas de arco, com alterações silícicas;
3. zonas de mata, desenvolvidos sobre calcários e margas (bacia superposta), e de campos cultivados, de diversos tipos, sobre vulcanitos e piroclastitos;
4. cultivos de cana e de arroz, sobre piroclastitos, margas (bacia superposta) e argilitos e rochas terrígenas (cobertura cenozóica);
5. áreas de mangue.

Esta generalização da paisagem possibilita a melhor visualização de tectolineamentos de diversas direções, parte dos quais é indicada na imagem esquerda da **figura 4. 6**. No entanto, por esta via resulta possível também separar elementos de natureza litológica, tal como ocorre mediante a repetição do padrão N° 1 na área de desenvolvimento da morfo-anomalia mal (imagem esquerda da **Fig. 4. 6**).

A aplicação de um filtro passa-baixa de 31x31 sobre a mesma classificação realizada para a imagem principal da **figura 4. 6**, permite ressaltar alguns elementos dentro do conjunto de tectolineamentos, o qual pode indicar uma maior importância regional (**destaque A-1**). No **destaque A-2**, mostra-se uma classificação de 30 classes da principal componente 1, com amostragem de 3, tanto pela linha como pela coluna, filtrado do mesmo modo que o aplicado no exemplo do **destaque A-1**. A comparação entre ambos destaques mostra resultados muito semelhantes, o qual também foi notado através do uso de filtragens mais suaves, tais como o obtido através do filtro de mediana, de 5x5.

4.1.4. ANÁLISE DE PRINCIPAIS COMPONENTES.

Nas **tabelas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6** podem observar-se os autovalores e autovetores dos quatro arquivos multibandas utilizados. Algumas inferências podem ser feitas mediante o exame dos auto-vetores, ou seja, a carga relativa de cada banda original (de entrada) em cada componente.

A banda 5, em função do seu maior desvio padrão, contribui em maior grau com a principal componente 1 (PC1), em quanto as bandas 1 e 2, que apresentam os menores desvios padrões, são as menores contribuintes. A PC1 apresenta informação positivamente correlacionada de todas as bandas, indicando que expressa, de uma maneira estreita, a média de todas estas. Existe uma exceção neste comportamento, com a banda 1 do arquivo Cuba 13 oeste (**tabela 4.5**), com um valor de -0,016. Para as outras componentes existe uma mistura de positivo e negativo nos auto-vetores, assim como de altos e baixos valores, em todo o qual o fator predominante deve ser a vegetação, de acordo à inspeção visual das bandas originais. Nas principais componentes 5 e 6, com um comportamento normal dos autovalores, os quais são

Fig. 4. 6. A imagem da esquerda mostra uma classificação não supervisionada, de 30 classes, das 6 bandas de reflexão, suavizada através de um filtro de mediana, de 5x5. No **destaque A-1**, pode observar-se a mesma classificação, mas suavizada com um filtro passa-baixa, de 31x31. No **destaque A-2**, uma classificação não supervisionada, de 30 classes, da principal componente 1, suavizada com um filtro passa-baixa, de 31x31. (Vide texto).

mínimos, a contribuição de algumas bandas não deixa de ser importante. Na componente 5, têm participações notáveis as bandas 7, 3, 1, enquanto na componente 6 contribuem, fundamentalmente, as bandas 2, 3, 1.

Tabela 4.3. Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 12 centro-sul-a.

BANDAS:		B1	B2	B3	B4	B5	B7
PC	AUTO- VALORES	A U T O - V E T O R E S					
PC1	1279	0,074	0,082	0,172	0,332	0,844	0,368
PC2	462	0,187	0,077	0,214	-0,900	0,167	0,275
PC3	68	0,686	0,444	0,453	0,229	-0,273	-0,029
PC4	11	-0,308	-0,097	0,278	0,155	-0,423	0,784
PC5	6	0,565	-0,214	-0,688	0,041	-0,076	0,391
PC6	2	-0,273	0,857	-0,410	0,042	-0,021	0,141

Tabela 4.4. Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 13 sudeste-a.

BANDAS:		B1	B2	B3	B4	B5	B7
PC	AUTO- VALORES	A U T O - V E T O R E S					
PC1	317	0,158	0,119	0,214	0,225	0,854	0,368
PC2	120	0,075	0,006	0,150	-0,952	0,097	0,237
PC3	22	-0,558	-0,419	-0,580	-0,126	0,386	-0,107
PC4	15	-0,151	-0,172	-0,149	0,151	-0,334	0,889
PC5	2	0,771	-0,133	-0,621	-0,031	0,032	0,010
PC6	1	-0,203	0,873	-0,433	-0,059	0,007	0,075

Tabela 4.5. Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 13 oeste-a.

BANDAS:		B1	B2	BC	B4	B5	B7
PC	AUTO- VALORES	A U T O - V E T O R E S					
PC1	1018	-0,016	0,023	0,110	0,513	0,802	0,282
PC2	206	0,313	0,171	0,298	0,755	0,330	0,324
PC3	75	0,646	0,449	0,412	0,366	-0,241	-0,141
PC4	8	0,406	-0,014	-0,494	-0,136	0,392	-0,647
PC5	6	-0,464	0,123	0,593	-0,109	0,189	-0,609

PC6	1	-0,323	0,868	-0,367	-0,041	0,018	0,077
-----	---	--------	-------	--------	--------	-------	-------

Tabela 4.6. Auto-valores e auto-vetores do arquivo Cuba 14 sudeste-a.

BANDAS:		B1	B2	B3	B4	B5	B7
PC	AUTO-VALORES	A U T O - V E T O R E S					
PC1	917	0,097	0,103	0,217	0,326	0,835	0,360
PC2	170	0,212	0,052	0,162	-0,904	0,154	0,292
PC3	59	0,672	0,411	0,476	0,208	-0,332	-0,006
PC4	8	-0,473	-0,002	0,362	0,113	-0,384	0,696
PC5	6	0,461	-0,184	-0,647	0,132	-0,149	0,544
PC6	1	-0,241	0,885	-0,389	-0,053	0,016	0,058

Nas **figuras 4.7 e 4.8** pode fazer-se uma análise visual das 6 PCs. A PC1 fornece abundante informação sobre os complexos litológicos, ao poder-se delimitar numerosos campos tonais que guardam estreita relação com a informação conhecida para a área sobre este aspeto. Por exemplo, com os granitóides (1), as alterações silícicas nos sienitóides (2), os calcários de bacia superposta (3) e as margas e os terrígenos terciários (4). Sob o ponto de vista do estudo das estruturas principais, a informação oferecida não é alta, enfatizada até alguns elementos NE e NNE, bem como algumas morfo-anomalias anelares (ma1 e ma2).

Na PC2, é possível uma melhor separação de algumas litologias, tais como tipos de granitóides (1a, 1b), e decrece o grau de interpretividade de outros, como é no caso dos calcários de bacia superposta (3). Por outro lado, aumenta a quantidade de informação sobre os tectolaneamentos regionais de direções N-S, NNW e NW.

Na PC3 a informação litológica é muito específica e localizada. Por exemplo, um campo de piroclastitos (5). No entanto, aparecem novos elementos retilíneos regionais, tanto NNE como N-S.

Na PC4 é possível traçar uma grande quantidade de lineamentos regionais, segundo duas vias: campos orientados (co), e elementos lineares independentes (li). Resulta particularmente interessante a visível relação entre um tectolaneamento N-S e a morfo-

Fig. 4. 7. Da esquerda para a direita, as principais componentes (PC) 1, 2 e 3. As imagens estão em pseudo-cor, filtradas com filtro de mediana, de 5x5. (Vide texto).

Fig. 4. 8. Da esquerda para a direita, as principais componentes (PC) 4, 5 e 6. As imagens estão em pseudo-cor, filtradas com filtro de mediana, de 5x5. (Vide texto).

A-1. RGBI: PCs 1, 2, 3, e B5

A-2 . RGBI: PCs 4, 5, 3, 1

Fig. 4. 9. Na imagem da esquerda mostra-se uma composição RGB das principais componentes 1, 2, 3. No **destaque A-1**, pode observar-se uma composição RGBI das PCs 1, 2, 3, e a banda 5. No **destaque A-2**, mostra-se uma composição RGBI das PCs 4, 5, 3, 1. (Vide texto).

anomalia anelar ma2, assim como a ocorrência da morfo-anomalia ma3 no cruzamento de lineamentos N-S, WNW e NE.

No PC5, apesar da interferência causada pelo realce do ruído do registro original, denotado por linhas WNW, nota-se que uma parte dos lineamentos regionais N-S vistos nas anteriores PCs, separam grandes campos, tal como acontece a um lado e outro do tectolineamento TL1.

Na PC6, sob uma forte interferência dos elementos lineares WNW provenientes do realce do ruído, é possível traçar alguns longos tectolineamentos NE, como, por exemplo, os que limitam o campo C1, caracterizado por altos valores de cinza.

Diante do fato de oferecer as 6 PCs informação útil para os objetivos da pesquisa, procedeu-se a realizar composições coloridas a partir de todas elas, pela via de tentativa e erro e sob decisão visual da ordem RGB, utilizando-se filtragens de passa-baixa visando a diminuição do ruído inerentes às componentes altas.

Se comparada com as figuras 4. 4 e 4. 5, a composição RGB das PCs 123, com aplicação de AEC em todas as camadas, resultou particularmente eficaz para a discriminação litológica e estrutural nos terrenos de arco (imagem esquerda da **figura 4. 9**). Nesta, podem observar-se as cores contrastantes de granitóides (1), vulcanitos andesítico-basálticos (2), piroclastitos de similar composição (3) e vulcanitos tardios dacíticos (4). Do mesmo modo, resultam destacados diferentes tectolineamentos, tais como TL1, TL2 e TL3. A criação de um RGBI mediante a soma da banda 5, com aumento linear de contraste ajustado manualmente, realça a drenagem de forma tal que facilita-se a interpretação de tectolineamentos e litologias (**destaque A-1**). Em alguns casos, a adição a esta RGB da própria PC1 na camada de intensidade, com ALC ajustado manualmente, forneceu melhores resultados que os obtidos através da banda 5.

No **destaque A-2** mostra-se uma composição RGBI, feita com as PCs 4, 5, 3, 1. Nas camadas coloridas aplicou-se um filtro mediana de 5x5 e AEC, enquanto na camada de intensidade foi utilizado ALC, ajustado manualmente. Sob o ponto de vista da discriminação litológica, se comparada com a RGBI do **destaque A-1**, aquela oferece uma melhor definição dos calcários de bacia superposta (5), assim como dos sienitos com alterações silícicas (6), entre outras vantagens. Do mesmo modo, sob o ponto de vista da interpretação estrutural,

aparece uma maior definição de alguns tectolineamentos, como, por exemplo, TL4, TL5 e TL6, assim como da morfo-anomalia anelar ma3, nas proximidades do cruzamento desses três tectolineamentos.

4.2. Análise integrada das áreas do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo¹⁰.

4.2.1. ÁREA GOLDEN.

4.2.1.1. Setor Golden Hill.

As pequenas dimensões do setor exigem a utilização, das imagens disponíveis, de fotografia aérea pancromática, sendo escolhida uma de 1971, na escala 1:37.000 (projeto K-10) (Fig. 4. 10). Além da informação geológica, o restante dos dados disponíveis sobre a prospecção de Ochivnikov *et al.* (1983), constitui-se dos provenientes do levantamento geoquímico metalométrico (amostragem do nível C do solo), apresentados em forma de anomalias de monoelementos. Na figura 4. 10-a pode-se observar a integração sobre a imagem aérea de indicadores locais e regionais. A análise conjunta de toda essa informação mostra que os elementos representantes da mineralização apresentam um controle segundo elementos anelares e retilíneos, enquanto, na atividade hipabissal, o controle é apenas retilíneo. Em 1, a alteração silícica intensa e o fraturamento relacionado formam uma faixa de direção WNW, marcando com clareza a ocorrência de uma zona de fraturamento sin-arco dessa direção, já conhecida (Ochivnikov *et al.* 1983). Mas, a integração possibilita encontrar novas regularidades. Em 2, a presença de um dique de direção NE relacionado espacialmente com anomalias exógenas de Cu de similar direção, indica a ocorrência no lugar de um controle sin-arco NE. Em 3, um divisor local, isto é, um microelemento positivo do relevo, de direção NNW, coincide com o limite da alteração silícica, enquanto a mesma feição, mais ao sul, encontra-se relacionada com uma concentração de diversas anomalias geoquímicas locais. Com uma margem de incerteza maior que nos dois anteriores casos, este último conjunto de indicadores foi tomado para a inferência de tectolineamentos sin-arco de direção N-S.

Em 4, um limite curvo entre padrões da drenagem marca com clareza um contato entre tufos e lavas dacíticos, ao norte, e piroclastitos andesítico-basálticos, ao sul, encontrando-se várias anomalias geoquímicas, de diferente composição, ao longo de uma grande parte deste

¹⁰ Em seguida, tanto no texto como nas figuras, os nomes de estruturas em letra maiúscula indicam denominações de trabalhos anteriores (ex: FALHA LA TROCHA), enquanto os nomes dados em itálico denominam elementos encontrados pela pesquisa (ex: *Tectolineamento Sábalo*).

limite arqueado. Esta situação, indica com clareza a falha anelar principal de uma estrutura vulcânica, sugerida por Shevchenko *et al.* (1979), mas não observada durante as prospeções posteriores.

Os pontos 5, 6 e 7 indicam controles retilíneos na drenagem, refletindo a ocorrência de rupturas pós-arco.

Na figura 4.10-b mostra-se sobre a fotografia aérea a reinterpretação estrutural, enquanto na figura 4.11 pode observar-se o esboço magmático-estrutural resultante, no qual apresenta-se uma nova visão da situação estrutural do depósito Golden Hill.

Do estudo do mapeamento de Ochivnikov *et al.* (1983), a área mineralizada do setor devia-se a uma falha sub-latitudinal, de idade de atividade indefinida e não correlacionada com a informação do mapeamento precedente (Shevchenko *et al.* 1979), que afetava rochas vulcânicas ácidas e intermediárias do Cretáceo Inferior e rochas vulcânicas andesítico-basálticas do Cretáceo Superior. Desta forma, estes autores indicavam a mineralização como um evento independente das rochas vulcânicas mais ácidas mapeadas na área, não dando uma explicação, além, da causa daquela.

Para a presente pesquisa, interpreta-se que o depósito e seu halo de alterações relacionam-se geneticamente com uma estrutura vulcânica, provavelmente uma caldeira, formada por lavas e piroclastitos ácidos e intermediários pertencentes à fase terminal do arco (Campaniano Inferior), no cruzamento de falhas sin-arco, de direções WNW, N-S e NE.

Na figura 4. 12 mostra-se o depósito Golden Hill e seus arredores (localização na figura 4. 17). Aqui, a integração é feita mediante uma imagem RGBI das PCs 1, 2, 3, 1 (AEC nas camadas coloridas e ALC com ajuste manual na camada de intensidade), a drenagem realçada e a informação regional magnética do campo residual (em isolinhas, a intervalos de 200 nT) e geoquímica (eixo de anomalias exógenas).

O depósito encontra-se sobre um elemento curvo da paisagem, expresso por uma tonalidade de verde na vegetação arbustiva natural e elementos alongados da drenagem, o qual é refletido também no campo magnético residual mediante um eixo negativo (1). Este campo litomorfológico é claramente correlacionável com o desenvolvimento na área de rochas extrusivas, interpretadas como ignimbritos por Shevchenko *et al.* (1979). Esta feição curva não é única na zona. Em 2, indica-se a existência de um eixo arqueado positivo nos

valores de nT, remarcado também pela drenagem, mas expressa com outras tonalidades na superfície, dadas nos cultivos e a vegetação arbustiva natural, o qual reflete a existência de piroclastitos e vulcanitos andesítico-basálticos mais antigos que as rocha extrusivas. Por outro lado, em 9, assinala-se outro lineamento magnético negativo, o qual passa por uma anomalia do mesmo sentido (8).

Os pontos 7, 10 e 11 indicam pequenas formas concêntricas da drenagem, alinhadas em direção NE, o qual é remarcado por alguns elementos da drenagem, assim como por leves inflexões do campo residual, de tudo o qual infere-se a ocorrência no lugar de um tectolineamento sin-arco. Da mesma idade parece ser o tectolineamento sublatitudinal indicado em 5, onde um eixo de anomalias geoquímicas regionais, passa nas proximidades de uma cadeia de similar direção de máximos e mínimos de nT.

Em 4 e 12 observa-se a coincidência de inflexões nas isolinhas de nT com um claro controle NEE da drenagem, o qual, em menor grau, é visível também no ponto 3. Destes indicadores infere-se uma atividade pos-arco, não descartando-se que signifique a reactivação de elementos mais antigos.

Do exposto, interpreta-se que a estrutura vulcânica do depósito Golden Hill pertence a uma estrutura curva maior, refletida na paisagem e no campo magnético residual e ocorrente na zona de cruzamento de tectolineamentos NE e quase E-W, sendo uma parte dos tectolineamentos NE, e o quase E-W, de natureza sin-arco.

4.2.1.2. Setores Oro Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco e Hierro Palo Seco.

Na **figura 4.13** é representada a integração de dados realizada para a zona dos setores padrões Oro Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco e Hierro Palo Seco. A análise é feita sobre uma imagem RGBI composta pelas razões 5/4, 3/1, 7/5 e a banda 5. Nas camadas coloridas foi aplicado AEC, enquanto na camada de intensidade foi usada ALC, com ajuste manual. Na parte da cidade Guáimaro, foi utilizada na camada de intensidade um ortofoto mosaico aéreo pancromático (1956), com a finalidade de aumentar a resolução da composição, bem como diminuir os efeitos das alterações antrópicas conseqüentes do crescimento urbano. Neste caso, para a ampliação de contraste foi utilizada a mesma via que a

Fig. 4. 10-a.
Sobreposição de indicadores
sobre a imagem.

INDICADORES

Geológicos

contorno de indicador
geológico sin-arco

o- chapéu de ferro, d- dique,
as- alteração silícica, fa- fratu-
ramento com as, ext- rochas extrusi-
vas

Geoquímicos

eixo de anomalias poli-
metálicas exógenas

anomalias exógenas locais

Cu — Pb — Zn
Ag — As

Geomorfológicos

limite de padrão de
drenagem

divisor local

elemento curvo
regional da drenagem

Coordenadas Lambert,
Cuba Sul.

Fig. 4. 10-b.
Interpretação de elementos
estruturais.

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

Falhas de alto ângulo (>45°)

regional	local	sin-arco
de longa vida	neotectônica	Falha anelar sin-arco
Contato litológico	Lineação	

Fig. 4. 10. Setor Golden Hill. (Vide texto).

Fig. 4. 12. Zona do setor Golden Hill. (Vide texto).

aplicada na banda 5. Sobre a imagem, é sobreposta a informação magnética residual em forma de isolinhas, sob intervalo de 200 nT, as alterações silícicas mapeadas nas prospecções dos diferentes setores, bem como os eixos das anomalias geoquímicas exógenas regionais. A seguir, apresenta-se uma discussão da **figura 4. 13** (localização na **Fig. 4. 17**).

A zona está localizada na parte sul do contato entre granitóides e sienitóides, com os vulcanitos andesítico basálticos (indicados na figura), caracterizando-se toda a área pela ocorrência intensa de tectolineamentos, interpretáveis como sin e pós-arco. Em 1 indica-se um tectolineamento de direção NE, inferido como sin-arco, expresso por leves rugosidades do terreno e por inflexões leves no campo magnético residual, de valor positivo. Em 2, este tectolineamento é deslocado por outro de direção WNW, bem marcado na drenagem, assim como pelo limite entre gradientes no campo residual magnético, o qual pode ser uma reativação pós-arco de um elemento pertencente a este. O tectolineamento NE continua mais ao sul, passando nas proximidades da ocorrência Cobre Guáimaro (3). Em 4 assinala-se outro tectolineamento NE, na jazida Oro Florencia, cujo setor pode-se examinar melhor na **ampliação A**. Em 5, notam-se as pequenas colinas com morfologia de cuesta que indicam a ocorrência de diques granodioríticos, estreitamente relacionados com a mineralização do setor. Em 18, um claro controle na drenagem indica um tectolineamento de direção NE, provavelmente pós-arco, subparalelo ao elemento sin-arco principal da jazida Florencia. Em 6, uma pequena ruptura sub-latitudinal desloca suavemente o pequeno enxame de diques, enquanto 7 indica um tectolineamento de maior envergadura com relação a aquele, mas de similar direção. Bem marcado na drenagem e no microrelevo, este coincide com o eixo de anomalias positivas e negativas do campo residual (imagem esquerda). Constitui, por um lado, o limite sul do depósito Florencia, e, pelo outro, cruza-se com o tectolineamento indicado em 3 (imagem esquerda), no lugar da ocorrência Cobre Guáimaro (9 na **ampliação A**).

Continuando-se a descrição da imagem esquerda, tem-se que, em 10, é possível separar outro tectolineamento sin-arco de direção WNW. Neste caso, refletido no eixo negativo do campo residual, assim como visíveis diferenças nos padrões da drenagem e do microrelevo a um e outro lado do tectolineamento. No lado norte, características diferentes nas rugosidades da superfície indicam vulcanitos andesíticos (11) (Shevchenko *et al.* 1979) e possíveis alterações silícicas (12).

Litologias

- VL Vulcanitos andesítico-basálticos (K_2^{cm-t})
- $\gamma\delta$ Complexo granodiorítico (K_2^{cp})
- ξ Complexo gabro-sienítico (K_2^{cp})
- gt Granitos tardios (K_2^{cp})
- Vt Vulcanitos dacito-riolíticos (K_2^{cp})
- Svt Rochas subvulcânicas dacíticas e riolíticas, tardias
- as Alteração silícea

Falhas de alto ângulo (>45°)

- sin-arco
- de longa-vida
- neotectônica

Outros símbolos

- ⌒ morfo-anomalia anelar
- contato litológico

Coordenadas Lambert,
Cuba Sul

Fig. 4. 14 . Interpretação magmático estrutural da zona dos setores padrões Oro Florencia, Cobre Guáimaro, Cobre Palo Seco e Hierro Palo Seco. (Vide texto).

Nas proximidades lestes do vilarejo Palo Seco, um eixo de anomalias geoquímicas regionais de direção N-S reflete-se nas inflexões do campo residual e pela formação na superfície de rugosidades alinhadas com similar tendência (13), desprovistas, em algumas partes, de vegetação. Nos arredores do ponto de cruzamento dos tectolineamentos NNW (10), NE (1) e N-S (13) desenvolvem-se as ocorrências de cobre e ferro Palo Seco.

Em 14 indica-se o traço de outro tectolineamento sin-arco NE, refletido pelo desenvolvimento local de um padrão subparalelo na drenagem, além de rugosidades no terreno que indicam a presença de rochas subvulcânicas dacíticas (16) (Shevchenko *et al.* 1979). Em 15, um controle NE na drenagem, bem expresso, assim como inflexões alinhadas no campo magnético, inferem-se como indicadores de uma reativação pós-arco.

Na **figura 4.14** mostra-se uma interpretação magmático-estrutural, na qual apresentam-se regularidades estruturais e magmático-estruturais comuns para toda a mineralização metálica da área. Pode citar-se como a primeira delas, que todos os setores encontram-se nas áreas de cruzamento de falhas sin-arco de direções WNW, NE e N-S, acompanhadas de manifestações magmáticas tardias, tanto vulcânicas, sub-vulcânicas, como hipabissais. Como segunda regularidade, está a localização das ocorrências cupríferas Guáimaro e Palo-Seco dentro da área de afetação de um mesmo tectolineamento NNE, o qual foi indicado, embora não mapeado em toda sua extensão, por Fateliev *et al.* (1990). Relacionando esta segunda regularidade com a situação da jazida aurífera Florencia, a qual ocorre sob um claro controle NE, pode-se enunciar uma possível terceira regularidade. Isto é, a existência de uma especialização metalogenética no sistema NE.

4.2.1.3. Análise integrada regional.

O processo dedutivo utilizado para apresentar e discutir os resultados da análise integrada realizada em cada uma das áreas do arco é, em essência, idêntico. Portanto, na área Golden, a primeira em examinar-se, e também a maior de todas elas, será exposto por extenso esse processo, reduzindo-se a discussão das outras áreas apenas a seus aspectos específicos.

Para facilitar a discussão, para a área apresentam-se figuras onde o leitor pode encontrar as interpretações essenciais dos trabalhos estruturais anteriores mais reconhecidos, realizando-se a comparação dos resultados da pesquisa com aquelas, fundamentalmente, através de números (**Figs.4.15 e 4.16**).

Na **figura 4. 17** mostra-se uma das imagens mais utilizadas para a interpretação da área Golden. Constitui-se de uma RGBI das PCs 1, 2, 3, 1, aplicando-se nas camadas coloridas um AEC, enquanto na camada de intensidade foi utilizado ALC, com ajuste manual. Nela resulta identificável a ocorrência de litologias bem conhecidas para a região por trabalhos anteriores, do qual serão citados alguns exemplos.

Os pontos 1 e 5 indicam a paisagem típica desenvolvida sobre os argilitos da parte norte e centro da cobertura cenozóica, enquanto 3 representa o solo desenvolvido sobre calcários com rochas terrígenas subordinadas, litologia típica da parte sulina da cobertura cenozóica. Em 2 assinala-se um setor onde aflora o saprolito arenoso-cascalhoso desenvolvido sobre o substrato (vulcanitos riolíticos) da cobertura cenozóica. Em 4 desenvolve-se um solo fino, formado sobre vulcanitos e tufos, de composição indeterminada. Em 35, na parte este da área, elevações de calcários miocênicos, com mata virgem, destacam-se sobre a paisagem típica da cobertura cenozóica. Em 18, na parte NW da área, mostra-se um área de saprolito sobre margas terciárias, pertencentes à bacia superposta. Em 16, na parte centro-oeste da área, indicam-se calcários cretácicos, de bacia superposta, caracterizados por morros cobertos por mata virgem, enquanto em 17 assinalam-se margas de bacia superposta. A coloração amarela, com diferentes padrões de drenagem, indica a ocorrência de um saprolito areno-argiloso, com um solo fino (0,05 m), onde geralmente cultivam-se gramíneas. Saprolito desenvolvido sobre granodioritos e quartzodioritos, indicando os pontos 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 24 e 30 lugares onde têm sido mapeadas com anterioridade essas litologias.

No entanto, a interpretação exclusiva da imagem permite detectar novos elementos litológicos e estruturais para a área. No sentido do estudo litológico, resulta particularmente importante o fato de repetir-se a paisagem desenvolvida sobre granitóides, bem reconhecidos, em outros lugares onde têm sido mapeadas rochas vulcânicas ou da cobertura cenozóica. Por exemplo: 9 (centro-norte), 15 (litoral sul), 27 (centro-oeste), 31 (extremo sudeste), 35 (sur da cidade Las Tunas) e 36 (noroeste).

Do mesmo modo, na separação de rochas vulcânicas e alterações silíceas, o exame da imagem permite a obtenção de nova informação. Por exemplo, nos pontos 19 (NE de Sibanicú), 25 e 38 (ambos a oeste de Las Tunas), podem discriminar-se melhor rochas vulcânicas ácidas tardias, tanto pela coloração verde da vegetação (artificial e natural, misturada), como pelos padrões da drenagem, densos, de forma reticular (25, 28) ou anelar (19). Nos pontos 12, 13 e 26, o predomínio da coloração morada nos cultivos assim como a

existência de um padrão de drenagem ralo, permite separar melhor os piroclastitos andesítico-dacítico-basálticos.

No estudo dos tectolineamentos, o exame exclusivo das imagens de satélite permite a localização ou melhor traçado de longos elementos, bem marcados pelo controle da drenagem. Os melhores expressos são os de direção NE (exemplos em: 2, 4, 11, 17, 21, 22, 35), mas é possível separar também de direção WNW (24, 39, 41) e N-S (40). Por outro lado, o exame isolado das imagens permite detectar algumas morfo-anomalias anelares, como, por exemplo, as indicadas em 15, 19, 33, 37, 38. Somente em 38, esta interpretação coincide aproximadamente com os resultados do mapeamento de semi-detalle (**Fig. 4. 16**).

Nos lugares particularmente cobertos, o realce da drenagem e a incorporação da informação do campo magnético residual são básicos para o detalhamento de morfo-anomalias anelares e tectolineamentos, do qual são apresentados exemplos na **figura 4. 18**, cuja localização dentro da área pode observar-se na **figura 4. 17**.

A imagem usada nas duas sub-figuras **4. 18** é uma composição RGB das PCs 1, 2, 3 com aumento equalizado de contraste nas três camadas coloridas. O significado dos diferentes elementos do campo magnético residual pode ver-se na legenda da **figura 4. 19**. Na **figura 4. 18-a**, a ocorrência de tectolineamentos sin-arco WNW marca-se pela coincidência de eixos magmáticos positivos com a orientação de elementos menores da drenagem (7, 40), enquanto um divisor local e um limite entre campos de nT indicam a existência de um tectolineamento sin-arco de direção N-S (6, 30). Configurações anelares ou curvas da drenagem indicam possíveis estruturas magmáticas tardias dentro dos granitóides (7, 52, 53), enquanto similares formas dentro da cobertura cenozóica possibilitam inferir sua existência abaixo desta, o qual fica reforçado, ao menos em seus arredores, pela ocorrência de uma anomalia negativa do campo residual magnético (51).

Na **figura 4. 18-b**, a coincidência espacial e direcional do controle NE na drenagem com eixos magnéticos positivos e negativos permite interpretar a ocorrência de um tectolineamento sin-arco (22). Em 50, pode observar-se com clareza a estreita relação espacial entre várias morfo-anomalias anelares, bem marcadas na drenagem, com um eixo positivo arqueado e duas anomalias negativas do campo magnético residual. Situação que é interpretada como a ocorrência de pequenos aparelhos magmáticos, associados a uma estrutura consideravelmente maior.

A interpretação de materiais aéreos (Fig. 4. 20), fornece uma grande quantidade de tectolineamentos NE e de morfoanomalias anelares. Na imensa maioria dos casos, estes resultados confirmam ou detalham os resultados obtidos mediante a interpretação de imagens de satélite.

O exame do mapa de indicadores¹¹ (Fig. 4. 19) permite fazer várias inferências essenciais sobre a estrutura do arco na área, a seguir:

- Várias morfo-anomalias anelares dadas pela drenagem em toda a área, de até 20 Km de diâmetro, coincidem em muitos casos com eixos curvos do campo magnético residual, o qual pode dever-se à ocorrência de estruturas magmáticas.
- Por toda a área existem elementos retos no controle local da drenagem, bem como nos limites entre seus diferentes padrões, que apresentam direções NE, E-W, NNW e N-S. Estes elementos retos dados pela drenagem coincidem ou são próximos a limites entre campos e gradientes magnéticos e a limites entre campos gama-espectrométricos de potássio, situações que indicam rupturas regionais e locais pós-arco, ou reativadas depois da extinção deste.
- Por toda a área existe coincidência espacial e direcional, ou acentuada proximidade, entre elementos retilíneos de direções WNW, NW, NNE, NE e N-S, os quais apresentam diferentes gêneses, mas assumidos todos como indicadores da atividade sin-arco. Estes indicadores de forma retilínea são: divisores locais da drenagem, bem como os eixos das anomalias geoquímicas, do canal gama de potássio e do campo magnético residual (positivos e negativos).

A valoração independente de cada lineamento do mapa de indicadores sob o ponto de vista de sua natureza tectônica, resulta em uma classificação com três tipos: sin-arco, pós-arco e de natureza ambígua (Fig. 4. 19). A sobreposição destes três tipos de lineamentos sobre a imagem apresentada na figura 4. 17 fornece uma integração ao nível regional, visando fundamentalmente a detecção das assinaturas necessárias para a separação de estruturas locais e regionais por idade e morfogênese (Fig. 4. 21). Nesta, pode notar-se que os lineamentos de similar natureza relacionados com um mesmo elemento geralmente não coincidem exatamente um sobre o outro, especialmente nos elementos sin-arco. Isto deve-se, basicamente, a que cada indicador reflete diferentes partes de um elemento, bem como cada um deles apresenta possibilidades distintas para a definição do mesmo. Por exemplo, um divisor local pode indicar, ao nível regional, com uma boa aproximação, o eixo central de um tectolineamento, enquanto

os eixos de anomalias geoquímicas expressam diferentes partes do mesmo (centro ou laterais), e com diferente precisão, em dependência da natureza predominante nas anomalias originais utilizadas (exógenas ou endógenas), sua composição e, no caso das exógenas, da espessura do solo predominante. Por outro lado, para amplos setores da área não existe informação geoquímica, o qual significa uma falta de balanço na quantidade de indicadores a interpretar. Conseqüentemente, a decisão do traço de um elemento é feita com base nos dados TM, se bem sua natureza é determinada pelos indicadores e os dados litológicos disponíveis, bem como pela informação extraída dos setores padrões, neste último caso, de existir relação espacial entre estes e aqueles.

No sentido de obter uma visão da profundidade de afetação e natureza dos elementos principais, foram construídas duas integrações a mais: uma, constitui uma vista 3D formada por uma imagem de satélite e a informação do campo magnético residual (**Fig. 4. 22**) e, a outra, está baseada na sobreposição da informação do campo magnético residual sobre uma classificação não supervisionada (**Fig. 4. 23**).

A superfície da vista 3D da **figura 4. 22** é uma composição RGB das PCs 1, 2, 3, com AEC em cada camada colorida, enquanto pela vertical (eixo Z), são dados os valores do campo residual magnético.

A **figura 4. 23-a** mostra uma classificação não supervisionada de 30 classes das 6 bandas de reflexão, tratada com um filtro de mediana de 5x5. Desta forma, são separados 6 padrões principais de ocupação de solo, correlacionáveis com elementos da geologia regional. A seguir:

1. áreas de gramíneas, desenvolvidos sobre granitóides e sienitóides;
2. alternância de campos cultivados, de diversos tipos, sobre vulcanitos, e de áreas estéreis, desenvolvidas em rochas de arco, com alterações silícicas;
3. zonas de mata, desenvolvidos sobre calcários e margas (bacia superposta), e de campos cultivados, de diversos tipos, sobre vulcanitos e piroclastitos;
4. cultivos de cana e de arroz, sobre piroclastitos, margas (bacia superposta) e argilitos e rochas terrígenas (cobertura cenozóica);
5. cultivos de cítricos e legumes, sobre argilitos e rochas terrígenas (cobertura cenozóica);
6. áreas de mangue.

¹¹ No **anexo 7** podem encontrar-se os mapas generalizados usados como cartas preliminares para construir os mapas de indicadores das três áreas de trabalho do arco.

Fig. 4. 15. Área Golden. Mapa tectônico. (Modificado de Pushcharovsky et al. 1989). (Vide Texto).

Piñero *et al.* 1995

- VL Vulcanitos andesítico-basálticos (K_2^{cm-1}) UU Piroclastos and.-dac.-basálticos (K_2^{st-cp})
 X Complexo granodiorítico (K_2^{cp}) # Complexo gabro-sienítico (K_2^{cp}) VT Vulcanitos dacito-riolíticos (K_2^{cp})
 BS Bacia superposta ($K_2^{cp}-P_2^2$) CC Cobertura cenozóica (P_3-Q) Alteração silícea
 — Falha sec. — Falha profunda ○ estrutura vulc. inferida ~ Contato

Área Camagüey

Fig. 4. 16. Mapa mosaico tectono-estrutural. Modificado de Shevchenko *et al.* (1979) e Piñero *et al.* (1995). (Vide Texto).

Fig. 4. 17. Área Golden. Composição RGBI das PCs 1, 2, 3, 1. (Vide Texto).

Fig. 4. 18-a. A drenagem está realçada em preto, enquanto a informação do campo magnético residual encontra-se em branco.

Fig. 4. 18-b. A drenagem está realçada em preto, enquanto a informação do campo magnético residual encontra-se em branco.

Fig. 4. 18. Zonas da área Golden, para o detalhamento de morfo-anomalias anelares e tectolineamentos mediante a sobreposição na imagem de elementos do campo magnético residual e a drenagem realçada. A localização das zonas pode observar-se na figura 4. 17. (Vide texto).

Fig. 4. 19. Área Golden. Mapa de indicadores.
(Vide Texto).

Interpretação de lineamentos por natureza: sin-arco (s-a), pós-arco (p-a), de natureza ambígua (na)

Fig. 4. 20. Área Golden. Mapa de tectoligneamentos e morfo- anomalias anelares, interpretados de materiais aéreos. (Vide Texto).

Fig. 4. 21. Área Golden. Sobreposição de tectolineamentos interpretados do mapa de indicadores (Fig. 4. 19), sobre a composição RGBI da figura 4. 17. (Vide Texto).

Fig. 4. 22. Vista 3D da Área Golden. Na superfície, uma composição RGB das PCs. 1, 2, 3, dando-se no eixo Z os valores do campo residual magnético. (Vide Texto).

Fig. 4. 23. Área Golden. Isolinhas de nT sobre classificação não supervisionada de 30 classes.
(Vide Texto).

Fig. 4. 23-a.

Fig. 4. 23 -b . Interpretação de tectolineamentos principais.

- Sin arco
- De longa vida
- Neotectônico

Fig. 4. 24. Área Golden.
Esboço magmático-estrutural da área, sobre composição RGBI da figura 4. 17.
(Vide Texto).

Sobre a imagem classificada são superpostas as isolinhas do campo magnético residual, a intervalos de 200 nT, mostrando-se desta forma uma correlação geral entre padrões de uso de solo e as características qualitativas locais do campo magnético residual. A existência de limites retilíneos claros entre alguns destes campos de natureza mista, permite a separação de tectolineamentos regionais com direções NNW (A), WNW (B), NE (C, D). Menos nitidamente, observam-se também tectolineamentos de direção E-W (E e F).

Como resultado da análise de todas estas informações, assim como das provenientes da análise dos setores teste, obteve-se uma nova visão da estrutura da área, muito especialmente no referente ao arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo, e a qual pode observar-se na **figura 4. 24**. Os principais comentários que podem ser feitos, são:

- Ocorrem na área longos tectolineamentos de direções NE, NNW, N-S e WNW. A cartografia destes elementos feita para a pesquisa constitui uma importante generalização, extrapolação e complementação da visão das direções principais do falhamento da área que pode obter-se da leitura da **figura 4. 16**.
- As áreas de cruzamento dos elementos principais sin-arco dessas direções constituem centros de reativação tardia do arco (Cretáceo Superior, Campaniano), aos quais vincula-se a mineralização aurífera e de metais base conhecida na região.
- Uma grande parte das rupturas de direção NE apresenta atividade pós-arco, de longa vida e natureza transtensiva, com o elemento transcorrente no sentido sinistral. Grandes elementos desta direção são a FALHA TANA, e os tectolineamentos *Sirven Norte* e *Sirven Sul*.
- De primeira relevância para a evolução deste ambiente são os tectolineamentos *El Remate*, de direções N-S e NNW, interpretando-se o *TL. El Remate Centro* como de natureza crustal. Na **figura 4. 23-b** pode-se observar que este elemento serve de limite regional entre padrões de uso de solo e nos campos do campo magnético residual. A notável diferença entre as cores predominantes nas paisagens de um e outro lado deste tectolineamento (**Fig. 4. 24**) indica melhor a existência de variações litológicas regionais. Isto, pode significar a presença de dois paleo-blocos com evoluções um pouco diferentes, denominados pela pesquisa como *Sibanicú* e *Las Tunas* (**Fig. 4. 22**). Na superfície, na zona de afetação dos tectolineamentos *El Remate*, encontram-se os depósitos auríferos Golden Hill e Florencia, a ocorrência deste metal, Loma

Jacinto, bem como as grandes estruturas anelares *Sábalo* e *El Remate*, inferidas como vulcânicas (Fig. 4. 24).

- O traço da FALHA LAS TUNAS, de direção WNW, foi identificado para toda a área. Anteriormente, esta ruptura tinha sido identificada apenas no território mapeado por Shevchenko *et al.* (1979). Por outro lado, foram detectados os grandes tectoliteamentos *Sábalo*, *Maraguán Centro* e *Dumañuecos*, que apresentam esta mesma direção. Estas quatro rupturas agiram como eixos do magmatismo tardio, constituindo a via principal para a formação das estruturas vulcânicas e hipabissais conhecidas, ou inferidas, na área.

4.2.2. ÁREA CAMAGÜEY.

4.2.2.1. Setor Jagüey.

A integração de dados realizada neste setor, assim como sua interpretação magmático-estrutural, é mostrada nas **figuras 4.25**. Na **figura 4.25-a**, a imagem constitui-se de uma composição RGBI. As camadas coloridas compõem-se das razões 5/4, 3/1 e 7/5 (Drury 1993), enquanto a camada de intensidade está formada por um ortofotomosaico aéreo (1956), aplicando-se nas quatro camadas ALC, com ajuste manual. Para a imagem da **figura 4.25-b** utilizou-se o mesmo ortofotomosaico aéreo da **Fig. 4.25-a**, mas, neste caso, sobreposto à PC1, aplicando-se também ALC, com ajuste manual.

Na **figura 4.25-a**, o ponto 1 marca o lugar da ocorrência de andalusita La Mina, enquanto em 2, assinala-se uma falha anelar mapeada pelos trabalhos anteriores (Escobar *et al.* 1993). Em 3 e 4, infere-se a presença de outros elementos anelares, desconhecidos até o momento. Em 3, está marcado na drenagem e por um leve eixo negativo do campo residual magnético (CRM), enquanto em 4 é expresso com clareza por um eixo positivo curvo do CRM, bem como pelo microrrelevo.

Em 5, indica-se um tectoliteamento sin-arco de direção WNW. As alterações silícicas conhecidas alinham-se segundo um eixo de anomalias regionais gama de potássio, assim como por um eixo positivo do CMR. Em 7, observa-se uma desviação N-S da direção da coloração verde que indica a presença de uma das alterações silícicas mapeadas no setor.

Fig. 4. 25. Setor Jagüey. (Vide Texto).

Fig. 4. 25-a. Integração de dados sobre multiproduto TM-imagem aérea.

Fig. 4. 25-b. Interpretação magmático-estrutural sobre imagem aérea.

O ponto 6 encontra-se dentro do halo de alterações de um tectolineamento sin-arco de direção NE, refletido pela alinhação de cromaticidades anômalas, bem como pela ocorrência de um eixo complexo de anomalias do CMR. Em 8 e 9, indica-se a semelhanza de coloração (vermelha) no saprolito existente, quase desprovido de vegetação, embora existam diferentes litologias: granitóides (8), e piroclastitos andesítico-dacítico-basálticos (9). Tal situação, pode indicar a oxidação de um tipo parecido de alteração hidrotermal, fato não indicado nos trabalhos anteriores.

Segundo Escobar *et al.* (1993), as alterações do setor devem-se à atividade vulcânica tardia de arco, representada por quatro pequenos aneis (1-4 Km de diâmetros), não esclarecendo esses autores se existe vinculação, ou não, entre essas estruturas vulcânicas e o falhamento do território. Da interpretação mostrada na **figura 4. 25-b**, podem extrair-se algumas considerações de importância sobre o controle magmático-estrutural do setor, a saber:

As alterações silícicas do setor encontram-se associadas a estruturas vulcânicas e hipabissais inferidas, todas tardias, na zona de cruzamento de tectolineamentos sin-arco WNW, NE e N-S. Algumas das estruturas vulcânicas propostas apresentam diâmetros superiores aos 10 Km, não tendo sido mapeadas anteriormente mineralizações de arco vinculadas a essas estruturas.

4.2.2.2. *Análise integrada regional.*

Na **figura 4.28** mostra-se uma das imagens mais utilizadas para a interpretação da área Camagüey. Constitui-se de uma RGBI das PCs 2, 3, 5, 1. Tanto nas camadas coloridas como na de intensidade aplicou-se ALC, com ajuste manual. O exame exclusivo desta imagem permite reconhecer, de modo geral, aspetos litológicos bem estabelecidos para a região (comparar com as **Figs. 4.26 e 4.27**). O ponto 1 indica a paisagem típica desenvolvida sobre os serpentinitos dos ofiolitos setentrionais. Em 2, na parte NE da área, mostra-se um área de saprolito sobre margas terciárias. Em 3, na parte sudeste da área, indicam-se calcários cretácicos, de bacia superposta, caracterizados por morros cobertos por mata virgem. Em 4, assinalam-se margas e rochas terrígenas de bacia superposta. Em 6 ocorrem granitóides, separáveis com facilidade do entorno, particularmente das rochas fortemente silicificadas do setor da ocorrência La Mina (andalusita). Em 5 indicam-se sienitóides, separáveis dos

Fig. 4. 27. Área Camagüey. Mapa tectono-estrutural. Modificado de Piñero *et al.* (1995). (Vide Texto).

Fig. 4. 25

Fig. 4. 28. Área Camagüey. Composição RGBI das PCs 2, 3, 5, 1. (Vide Texto).

Fig. 4. 29. Área Camagüey. Mapa de indicadores. (Vide Texto).

Fig. 4. 30-a. Sobreposição na imagem das isolinhas do campo magnético residual, a intervalos de 200 nT.

Fig. 4. 30-b. Sobreposição de tectolineamentos interpretados do mapa de indicadores (Fig. 4. 29).

Fig. 4. 30. Área. Camagüey. Integrações de dados sobre uma RGBI das PCs 2, 3, 5, 1. (Vide Texto).

Fig. 4. 31. Área Camagüey.
 Mapa de tectoligneamentos e morfo-
 anomalias anelares, interpretados de
 materiais aéreos.

Fig. 4. 32. Área Camagüey. Esboço magmático-estrutural, sobre imagem da figura 4. 28. (Vide Texto).

Fig. 4. 33. Vista 3D da Área Camagüey. Na superfície, uma composição RGB das PCs 2, 3, 5, dando-se no eixo Z os valores do campo magnético residual. (Vide Texto).

granitóides, situados mais ao sul, apenas por diferenças sutis na drenagem. Em 9, indicam-se vulcanitos andesítico-basálticos, com uma drenagem facilmente distinguível dos piroclastitos circundantes (10).

Da observação da **figura 4. 27** fica claro que o falhamento profundo da área foi entendido pelos autores do mapeamento de semi-detálhe como formado por elementos NE, N-S e NNW.

Na **figura 4. 30-b** mostra-se sobreposição sobre a imagem da **figura 4. 28** dos elementos indicadores lineares interpretados segundo sua natureza tectônica. A análise da **figura 4. 30-b** permite fazer várias inferências da estrutura da área, a seguir:

- Além das rupturas regionais de direções NE e N-S, ocorrem também elementos de grande envergadura de direção sub-latitudinal.
- Um amplo exame de indicadores sin-arco indica a continuação na área da FALHA LAS TUNAS, constituindo esta o tectolneamento regional sub-latitudinal interpretado na análise do setor Jagüey.

A **figura 4. 31** mostra que os tectolneamentos NE são os preferentemente observados nas imagens aéreas.

Na **figura 4. 30-a** mostra-se a sobreposição das isolinhas do campo magnético residual, a intervalos de 200 nT, sobre a mesma imagem utilizada na **figura 4. 30-b**. O exame da **figura 4. 30-a** revela claramente os traços dos tectolneamentos *Sábaló*, *Siboney* e *Camagüey Sur e Norte*. Por outro lado, a observação do lugar de desenvolvimento da morfo-anomalia anelar detectada pela drenagem (**Figs. 4. 29 e 4. 30-a**) possibilita encontrar no campo magnético residual, aproximadamente, uma configuração curva correspondente. Desta maneira, infere-se a existência no lugar de uma estrutura vulcânica, denominada *Siboney*.

A **figura 4. 33** é uma vista 3D da área. Na superfície, uma composição RGB das PCs 2, 3, 5. Em cada camada colorida aplicou-se um filtro de mediana, de 5x5, realizando-se posteriormente o realce mediante ALC, com ajuste manual. No eixo Z, representam-se os valores do campo magnético residual. A observação desta figura possibilita reconhecer algumas feições estruturais essenciais da área, junto com outras já detectadas nos materiais integrados, examinados anteriormente. Entre os novos elementos revelados, os

tectolaneamentos *Maraguán Norte* e *Sur* resultam de particular importância para entender a tectônica regional. Com uma direção WNW, e um comportamento transcorrente destral, deslocam importantes rupturas de direção NE, tais como os TLs. *Camagüey Norte* e *Sur*.

Na **figura 4.32** mostra-se o esboço magmático-estrutural da análise integrada realizada. Os principais comentários que podem ser feitos, são:

- Tanto a estrutura vulcânica *La Mina*, observada durante a análise do setor *Jagüey*, como a estrutura *Siboney*, associam-se à área de cruzamento dos tectolaneamentos *Santa Ana Norte* e *Sur* e das falhas LA MINA e LAS TUNAS.
- O tectolaneamento *Guareao Sur* passa nas proximidades da ocorrência de Cobre La Purísima.
- Entre os tectolaneamentos *Camagüey Sur* e *Guarapo* existe uma relação geométrica típica de um par transcorrente, o qual deve ter desenvolvido um papel importante durante a história orogênica da área.

4.2.3. ÁREA CIEGO-FLORIDA.

4.2.3.1. Setor Gaspar.

A integração de dados realizada neste setor, assim como sua interpretação magmático-estrutural, é mostrada nas **figuras 4.34 e 4.35**, respectivamente. Além disto, indicam-se em ambas a parte do setor submetida à prospecção detallada (Lugo *et al.* 1989). A imagem utilizada para a construção destas figuras, constitui-se de um ortofomosaico aéreo (1956), sobreposto à PC1, aplicando-se ALC para o multi-produto obtido, com ajuste manual. A localização das figuras dentro da área, pode encontrar-se na **figura 4.39**.

Da **figura 4.34** interpretam-se novos elementos que enriquecem a informação existente sobre o setor, descrevendo-se a seguir alguns exemplos.

Os pontos 1, 2 e 5 marcam um tectolaneamento sin-arco, de direção NW. Nota-se que que existem dentro de uma estreita faixa, divisores locais, lineamentos do campo magnético residual, e anomalias locais deste campo e de polarização induzida, bem como anomalias geoquímicas exógenas. Em 12, fora da área estudada detalhadamente, divisores locais da

drenagem, anomalias e eixos positivos do campo magnético residual refletem o traço de um tectolineamento de similar direção. Os pontos 5, 11 e 12 destacam áreas onde a imagem apresenta características semelhantes às observáveis no ponto 4, o qual indica a presença de alterações silícicas epitermais.

Em 8, um eixo positivo do campo magnético residual interpreta-se como um tectolineamento sin arco positivo, de direção NE. Em 7 e 14, o controle reto da drenagem marca rupturas interpretadas como pós-arco.

Nos pontos 3 e 4 interpretam-se falhas anelares, baseados na coincidência espacial de formas curvas da drenagem com diferentes tipos de anomalias locais. Em 5, observam-se similares formas curvas da drenagem, sobre o importante tectolineamento de direção NW, já explicado.

Na **figura 4.35** mostra-se a relação entre a imagem e parte dos elementos interpretados, enquanto na **figura 4.36** é apresentado o esboço magmático-estrutural do setor.

Do estudo dos trabalhos de prospecção realizados no setor (Lugo *et al.* 1989), extrai-se que as alterações silícicas, e a mineralização aurífera associada, devem-se ao contato dos granitóides e plagio-granitos com as rochas vulcânicas, referidas estas últimas como pertencentes à fase tardia do arco. A reinterpretação realizada (**Fig. 4.36**) completa esta explicação, ao vincular a atividade magmática tardia do arco com o falhamento sin-arco, a seguir:

A mineralização epitermal do setor encontra-se geneticamente relacionada a estruturas vulcânicas, possíveis caldeiras, formadas em vulcanitos de composição fundamentalmente ácida e pertencentes à atividade tardia do arco. Estas estruturas foram geradas ao longo de uma falha sin-arco de direção NW, nos cruzamentos desta com falhas da mesma idade, de direções NE e N-S, interpretando-se alguns aparelhos vulcânicos e alterações associadas além da área estudada detalhadamente.

4.2.3.2. Análise Integrada Regional.

Nas **figuras 4.37 e 4.38** são resumidos aqueles mapas anteriores que fornecem a maior, e mais atualizada, informação estrutural e magmático-estrutural existente sobre a área.

Fig. 4. 34. Setor Gaspar. Integração de dados sobre multiproduto, feito com mosaicos aéreos e a PC1 dos dados TM. (Vide Texto).

Fig. 4. 35. Setor Gaspar. Interpretação magmático-estrutural. (Vide Texto).

Na **figura 4. 39** mostra-se uma das imagens mais utilizadas para a interpretação da área Ciego-Florida. Constitui-se de uma RGBI das PCs 1, 2, 3, 1. Nas camadas coloridas aplicou-se AEC, enquanto na camada de intensidade utilizou-se ALC, com ajuste manual. O exame exclusivo desta imagem permite identificar aspectos litológicos bem estabelecidos para a região. Em 1 indica-se o saprolito dos serpentinitos do complexo inferior dos ofiolitos, enquanto 2 destaca o manto de intemperismo desenvolvido sobre estas rochas. No ponto 3 pode-se observar a paisagem típica existente sobre as rochas de bacia superposta. Em 6, também sobre seqüências de bacia superposta, a paisagem varia, o qual pode significar mudanças litológicas, nas proximidades do contato discordante com as rochas granitóides (9 e 45). Os símbolos das ocorrências auríferas do setor Gaspar servem também para assinalar o saprolito existente sobre os vulcanitos dacítico-andesíticos, enquanto 10 indica a superfície das rochas do complexo gabro-plagiogranítico. Contudo, o exame da imagem possibilita interpretar granitóides em áreas onde têm-se mapeado rochas da cobertura cenozóica (ver **Fig. 4. 38**), como é o caso do ponto 15.

Por outro lado, a imagem da **figura 4. 39** possibilita observar falhas conhecidas dos trabalhos de mapeamento de semi-detalle (**Fig. 4. 38**), como é o caso das rupturas de direção NE indicadas em 12, 13, 16 e 17, ou as de direção NW, destacadas em 5, 18 e 56, e possibilita encontrar novos tectolneamentos, tais como os de direção NW destacados em 4 e 11. Fora da área coberta pelos levantamentos à escala 1:50.000, é possível discernir na imagem tectolneamentos de direções NW e WNW, como no caso dos elementos que convergem no ponto 8.

Na **figura 4. 41** apresenta-se a sobreposição de tectolneamentos e morfo-anomalias anelares interpretados do mapa de indicadores (**Fig. 4. 40**), sobre a composição RGB da **figura RGBI da figura 4. 39**. Seu exame permite fazer várias inferências da estrutura da área, a seguir:

- A Falha SAN JERÓNIMO apresenta um comportamento sin-arco, podendo-se levar seu traçado muito mais ao noroeste do que o mostrado pelos trabalhos de semi-detalle (**Fig. 4. 38**). Isto significa que o tectolneamento sin-arco principal de direção NNW revelado durante a análise do setor Gaspar resulta ser essa falha.
- Como resultado do trabalho de reinterpretação do setor Gaspar, foi detectada uma nova estrutura, ao sudeste das estruturas vulcânicas propostas no setor Gaspar pelos trabalhos de

semi-detalhe (Fig. 4. 38). A ocorrência de várias morfo-anomalias anelares nas proximidades do setor, permite inferir a presença todo um agrupamento de aparelhos vulcânicos na zona.

- Na zona do cruzamento da falha sin-arco SAN JERÓNIMO, de direção NW, com o tectolineamento *Céspedes*, de direção NE e da mesma idade, infere-se a existência de um aparelho vulcânico, denominado *San Jerónimo*. Esta interpretação baseia-se no seguinte. Na zona existe outro agrupamento de morfo-anomalias anelares, de dimensões maiores do que o discutido no parágrafo anterior. Por outro lado, o mapa generalizado geoquímico (anexo 7) mostra para a zona a presença de uma grande quantidade de anomalias endógenas e exógenas, basicamente de natureza polimetálica, enquanto na figura 4. 40 nota-se a estreita relação espacial de uma alteração silícica com uma das morfo-anomalias anelares detectadas.

A interpretação de tectolineamentos nas imagens aéreas reflete, basicamente, a ocorrência de elementos NE (Fig. 4. 42), de maneira semelhante à observada nas áreas Golden e Camagüey.

Na figura 4. 44-a apresenta-se a integração de uma classificação não supervisionada de dados TM, com a informação do campo magnético residual. A classificação é de vinte classes, da PC1, com amostragem a cada três *pixels*, tanto pela linha como pela coluna, enquanto a informação do campo magnético está representada em isolinhas, a intervalos de 200 nT. O exame desta figura permite fazer as seguintes considerações:

- Algumas rupturas de direção NE cruzam toda a área, tais como a F. LA CANTERA e o TL. *Esmeralda Norte*.
- A ruptura sin-arco SAN JERÓNIMO reflete-se claramente no campo magnético por uma larga cadeia de anomalias positivas, mostrando que, mais que uma falha única, constitui uma zona de falhamento. Apesar de sua natureza evidentemente sin-arco, seu traço não é visivelmente deslocado pelas longas rupturas de direção NE, o qual interpreta-se como uma reativação neotectônica de alguns dos elementos que a compõem.

Na figura 4. 44-b apresenta-se uma vista 3D. Na superfície, uma RGB das PCs 1, 2, 3, tendo-se realçada cada camada colorida mediante AEC. No eixo Z, representa-se a informação do campo magnético residual. A análise desta figura permite observar, fundamentalmente, a convergência das falhas LAS TUNAS e SAN JERÓNIMO.

Limite de mapeamento,
na escala 1:50.000

Fig. 4. 38. Área Ciego-Florida.
Mapa tectono-estrutural. Modificado de
Piñero *et al.* (1995).

Fig. 4. 39. Área Ciego-Florida. Composição RGBI das PCs 1, 2, 3, 1. (Vide Texto).

Fig. 4. 40. Área Ciego-Florida.
Mapa de indicadores. (Vide Texto).

Interpretação de lineamentos por natureza: sin-arco (s-a), pós-arco (p-a), de natureza ambígua (na).

	<u>Tectoliteamentos</u>	<u>Morfo-anomalia</u> <u>anelar</u>
sin-arco:	—	
pós-arco:	- - -	
de natureza ambígua:	- - -	○

Fig. 4. 41. Área Ciego-Florida. Sobreposição de tectoliteamentos e morfo-anomalias anelares interpretados do mapa de indicadores (Fig. 4. 40), sobre a composição RGBI da figura 4. 39. (Vide Texto).

Fig. 4. 42. Área Ciego-Florida. Mapa de tectolimeamentos e morfo-anomalias anelares, interpretados de materiais aéreos. (Vide Texto).

Fig. 4. 43. Área Ciego-Florida. Esboço magmático-estrutural sobre a composição RGBI da figura 4. 39. (Vide Texto).

Fig. 4. 44. Área Ciego-Florida. Na figura mostram-se duas integrações diferentes de dados TM com a informação do campo magnético residual. (Vide Texto).

Na **figura 4.43** apresenta-se o esboço magmático-estrutural da área. Os principais comentários que podem ser feitos, são:

- Reconhecem-se dois elementos fundamentais na zona de falhamento SAN JERÓNIMO: as falhas *S. Jerónimo Oeste* e *S. Jerónimo Este*.
- Entre os tectoliteamentos de longa vida *Esmeralda Norte* e *La Josefa* existe uma relação geométrica típica de um par transcorrente, o qual deve ter desenvolvido um papel importante durante a história orogênica da região.

4.2.4. FATORES MAGMÁTICO-ESTRUTURAIS DA MINERALIZAÇÃO ENDÓGENA.

Nos três setores teste de ouro epitermal examinados, detectou-se que a mineralização deve-se à atividade vulcânica, desenvolvida nas zonas de cruzamento de falhas sin-arco, de natureza crustal e supracrustal.

No caso dos setores teste de ouro em veios e metais base estudados, existe uma vinculação genética entre os diferentes tipos de mineralização, todos relacionados com as atividades hipabissal e sub-vulcânica desenvolvidas, também, nas zonas de cruzamento de falhas sin-arco, de natureza crustal e supracrustal.

Estas regularidades magmático-estruturais comuns encontradas nos setores teste, além de constituir valiosos critérios para a análise integrada regional, são, também, um guia para o melhor estudo dessas ocorrências, pois possibilitam uma melhor reavaliação da eficiência de diferentes métodos de prospecção aplicados, sobre condições geológicas semelhantes.

Na **figura 4. 45** mostra-se um mosaico, generalizado, dos resultados da análise integrada desenvolvida nas três áreas do arco, enquanto na **figura 4. 46** apresenta-se o esboço magmático-estrutural resultante. Os principais comentários que podem ser feitos, são:

- Os tectoliteamentos sin-arco de direção WNW, paralelos ao eixo magmático principal, continuaram ativos até a extinção do arco, constituindo vias essenciais de circulação das fases mais tardias do magmatismo e da mineralização acompanhante, sendo fortemente reativada uma parte das rupturas durante os movimentos neotectônicos.
- As falhas sin-arco regionais NE não apenas controlaram o estabelecimento de uma grande parte dos diques de granitóides tardios (Shevchenko *et al.* 1979, Iturralde-Vinent *et al.* 1981),

mas também uma parte, ao menos, dos stocks e dos corpos sub-vulcânicos. Uma parte considerável destas falhas continuou ativa após a extinção do arco, sob a forma de falhas de longa vida.

- A presença dos tectolimeamentos regionais sin-arco N-S resulta comum nas ocorrências de ouro epitermal, sendo esta direção, por outro lado, a de mais difícil detecção mediante a análise integrada.
- A formação de áreas mineralizadas vincula-se sempre aos cruzamentos dos sistemas WNW, NE e N-S, embora o sistema N-S não seja sempre detectado ao nível regional.
- Futuros estudos devem detalhar a cartografia de rupturas sin-arco iniciada nesta pesquisa, bem como aprofundar na especialização metalogenética de cada sistema.

Na **tabela 4.8.** podem-se observar os critérios e indicadores das assinaturas encontradas para os elementos sin- e pós-arco.

4.2.5. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL PARA OURO E METAIS BASE

Por todo o território Ciego-Tunas repetem-se as situações magmatico-estruturais existentes nos setores teste, sendo, particularmente, notável o desenvolvimento dos aparelhos vulcânicos, incluindo áreas onde era considerada anteriormente apenas o desenvolvimento da cobertura cenozóica (**Fig. 4. 46**). Em consequência, a reavaliação do potencial metalífero do arco cretácico deve ser redirecionada ao estudo dessas paleo-estruturas magmáticas, o qual, por outro lado, constitui uma ferramenta imprescindível da pesquisa mineral atual, especialmente na prospecção de depósitos epitermais.

Assumindo-se cada uma das estruturas apresentadas na **figura 4. 46** como um setor metalogenético de interesse, isso representaria o aumento de 6 vezes da área total considerada atualmente para a reavaliação do potencial metalífero do território. Apresentam-se particularmente favoráveis para essa reavaliação, as estruturas vulcânicas da Zona Sábalo (**Fig. 4. 46**). Isto baseia-se em sua quantidade, quase uma dezena, suas maiores dimensões, diâmetros de até 20 Km, bem como sua localização, longe dos centros de desenvolvimento turístico.

4.3. Análise Integrada da Região da Bacia Central.

4.3.1. TECTÔNICA TRANSCORRENTE E MIGRAÇÃO-TRAPEAMENTO REGIONAIS DO PETRÓLEO EM CUBA.

Mediante a **figura 2. 35** pode-se observar que existe uma estreita relação espacial dos campos Bacia Central e Varadero-Cárdenas, com as falhas NE LA TROCHA e HICACOS, respectivamente. Ou seja, dois campos, pertencentes a duas províncias diferentes, ambos aparentemente relacionados com grandes falhas transcorrentes. De existir uma vinculação genética entre a tectônica transcorrente e a ocorrência de hidrocarbonetos, isto explicaria convincentemente a migração do óleo, tanto desde escamas mais profundas, como a partir de blocos frontais, assim como o evidente alinhamento transversal de jazidas presente nesses campos. Os resultados obtidos mediante a criação dos esboços tectônicos dos campos conhecidos mediante a informação anterior recopilada, apoiam a existência dessa vinculação genética. Na **tabela 4. 7** são resumidas as regularidades encontradas através da análise dos esboços criados, apontando-se a seguir as de natureza estrutural consideradas como mais relevantes.

Na **figura 4. 47** pode-se observar a área do campo Bacia Central. As jazidas Catalina, Cristales, Mamonal e Pina encontram-se alinhadas segundo o traço da Falha LA TROCHA. Desses depósitos, a localização de Cristales e Mamonal coincide com as interseções dos tectolineamentos N-S *Guayacanes Oeste* e *Guayacanes Este* com LA TROCHA. Além disso, as jazidas Jatibonico e Reforma estão localizadas ao longo do tectolineamento *Marroquí*.

No campo gaso-petrolífero Varadero-Cárdenas (**Fig. 4. 48**), ressalta o controle das jazidas pela Falha HICACOS, ocorrendo o depósito maior na zona de interseção com o tectolineamento *Cárdenas*. Dentro da área, são também visíveis estruturas antiformes e sinformes, vinculadas provavelmente aos movimentos distensivos das falhas de longa-vida.

A **figura 4. 49** mostra o esboço tectônico do campo Vía Blanca-Jaruco. As jazidas conhecidas encontram-se nas proximidades ou nas próprias interseções das falhas de longa-vida com o cavalgamento ofiolitos/margem continental norte-americana, inferido na profundidade, paralelamente ao litoral. A maior jazida está situada próximo ao cruzamento inferido entre falhas de longa-vida NE e N-S.

I. ZONAS ESTRUTURO-FACIAIS E COMPLEXOS

MARGEM CONTINENTAL NORTE-AMERICANA

- Depressões intracontinentais e de plataforma marina (PB) ($J_3 - K_2^m$)
- Talude continental (TC) ($K_1^{be} - K_2^{cm-t}$)

CROSTA OCEÂNICA (σ ou $\sigma-\nu$) (Mesozóico)

ARCO DE ILHA VULCÂNICO CRETÁCICO (AVC) ($K_1 - K_2^{cp}$)

BACIAS SUPERPOSTAS

- de retaguarda (CS) ($K_2^{cp} - P_2^2$)
- da depressão frontal (DF) ($K_2^m - P_2^2$)

COBERTURA SEDIMENTAR CENOZÓICA (CC) ($P_2^3 - N-Q$)

- NOTA:
- 333: "REFORMA"
 - 334: "JATIBONICO"
 - 335: "CATALINA"
 - 344: "LA ROSA"
 - 345: "CRISTALES"
 - 346: "MAMONAL"
 - 347: "AGUSTIN"
 - 348: "CEBALLOS"
 - X: "PINA"

II. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

- a b de longa vida (ativo, pelo menos, em $(K_2 - Q)$):
a) profundo; b) supracrustal. As semi-setas indicam o sentido do deslocamento horizontal; o círculo e o segmento o bloco rebaixado.
- de cavalgamento (orogénica, $K_2^m - P_2^2$)
- a b neotectônico (ativa em $(P_2^3 - Q)$)
a) profunda; b) supra-cortical
- Estrutura anelar: a) antiforme, b) cupulóide salina; morfo-anomalia anelar (c)

III. ACUMULAÇÕES DE PETRÓLEO

- JAZIDAS: ○ pequena ○ média
- OCORRÊNCIA: ▲

ESCALA

0 10 20 km

NOTAS: Para esclarecer as deformações tardias, apresentam-se os contatos interformacionais em CS e CC, e as idades das mesmas.

Fig. 4. 47. Esboço estrutural da região do campo gaso-petrolífero Bacia Central. (Produto da análise bibliográfica, vide texto).

Fig. 4. 49. Esboço estrutural da região do campo gaso-petrolífero Vía Blanca-Jaruco. (Vide texto).

Fig. 4. 50. Modelo de migração e trapeamento dos campos gaso-petrolíferos de Cuba.

Tabela 4.7. Caracterização qualitativa de padrões superficiais de petróleo em Cuba (simplificada).

NOME DO CAMPO	SITUAÇÃO ESTRUTURAL	LITOLOGIAS RESERVATÓRIAS
VÍA BLANCA-JARUCO	Jazidas controladas segundo os tectoliteamentos neotectônicos E-W Guanabo e Guanabo-Sur , localizados ao norte da F. PINAR (longa-vida NE).	Ofiolitos, fundamentalmente serpentinitos.
VARADERO-CÁRDENAS (maior de Cuba)	Jazidas orientadas segundo direção geral das estruturas dobradas do substrato, mas o campo está controlado pela falha HICACOS e o TL Hicacos Sul , ambos NE e de longa vida. A jazida maior fica próxima da interação da Falha HICACOS e o TL de direção sub-latitudinal Cárdenas . Dentro da área, são interpretadas também estruturas anelares, sinformas e antiformas.	Rochas do sopé (zona estruturo-facial "Placetas") e do talude (zef. Camajuaní) continentais.
BACIA CENTRAL	As jazidas estão alinhadas segundo as falhas LA TROCHA e o TL Marroquí , ambos NE e de longa-vida, coincidindo uma jazida pequena e outra mediana com as intersecções entre LA TROCHA e TLs de direção N-S, de longa-vida, Guayacanes Este e Guayacanes Oeste . É possível que ambas direções pertençam a um sistema conjugado transcorrente.	Rochas vulcânicas, (fundamentalmente tufos) e seqüências orogenéticas (argilas, arenitos e calcários).

A tese de uma formação cretácica tardia-terciária de petróleo (Echevarría *et al.* 1991) e o controle vertical por falhas de longa-vida, observado na localização das jazidas e ocorrências dos campos conhecidos, comportam para esta pesquisa a seguinte hipótese de trabalho:

O fraturamento vinculado à formação das falhas transcorrentes de longa vida foi uma das vias para a migração e o trapeamento dos hidrocarbonetos gerados em parte das seqüências da margem continental norte-americana. Na figura 4. 50 pode observar-se o modelo geral da hipótese.

4.3.2. REGIÃO DA BACIA CENTRAL.

Na figura 4. 51 mostra-se um resumo da informação tectono-estrutural anterior existente sobre a Bacia Central.

Na figura 4. 52 apresenta-se um dos processamentos de dados TM mais utilizados na interpretação da região: um mosaico HSI das bandas 1, 5, 4, sendo aplicado em cada camada

ALC, com ajuste manual. Nele, resulta identificável a ocorrência de litologias bem conhecidas para a região por trabalhos anteriores. Citando-se algumas das de maior relevância, tem-se as seqüências platafórmicas (1) e de sopé e de talude (2) da margem continental) com dobramentos intensos, de eixo WNW), o complexo de diques de diabásios (3) e os peridotitos (4, 5) dos ofiolitos (com dobramentos médios e intensos), bem como diferentes rochas vulcânicas e vulcano-sedimentares do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (6), as quais estão fortemente dobradas na zona principal de cavalgamento, apresentando dobramentos médios nos lugares mais distantes de aquela, com eixos alongados geralmente em direção NW. Em 7, podem observar-se calcários e margas terciários, pertencentes à cobertura cenozóica, os quais apresentam dobras suaves, com eixos em diferentes direções.

Do mesmo modo, podem-se observar estruturas que há tempo têm sido estabelecidas na literatura, tais como as grandes falhas transcorrentes sinistrais, de direção nordeste, TAGUASCO-TUINICÚ e LA TROCHA, bem como as estruturas cupulóides de PUNTA ALEGRE e TURIGUANÓ e a antiforma CUNAGUA.

Por outro lado, o exame exaustivo da imagem permite detectar tectolineamentos desconhecidos até o momento. Basta citar, de direção NE, *Esmeralda Norte e Sur*, de direção WNW, *Chambas*, e de direção NW, *Maraguán Norte e Sur*.

A integração da imagem da **figura 4. 52** com a informação do campo magnético residual, sob a forma de lineamentos e anomalias, permite o melhor definição de alguns tectolineamentos, de diversas direções (**Fig. 4. 53-a**). Por exemplo, a continuação ao NW do tectolineamento *Maraguán Norte*, bem como o melhor traço do tectolineamento *Chambas*. Por outro lado, esta integração permite observar uma mudança, ao nível regional, da rede de tectolineamentos existentes a um lado e o outro da Falha LA TROCHA. Ao norte, predomina a tendência NE, quadro apenas complicado na zona de cruzamento com a zona de TLs. de direção N-S *Sitio Nuevo*. Ao sul, existe uma marcada rede de TLs de direções NW e NE, com ângulo geral de cruzamento de, aproximadamente, 90°. Ressalta-se também o predomínio do deslocamento dos segundos pelos primeiros, o qual extrapola para todo este bloco a observação feita neste sentido durante a análise da área do arco Ciego-Florida.

Da integração feita na **figura 4. 53-b** obtêm-se, basicamente, informação sobre o comportamento em profundidade dos tectolineamentos. Na faixa formada pelas falhas LA TROCHA e *Ceballos Norte*, seus maiores valores do campo magnético podem indicar uma

elevação do tipo *horst*. No cruzamento desta faixa com o *TL. Maraguán Norte*, observam-se seu deslocamento, dextral, assim como a formação de uma depressão ou bacia, cujo limite SW está indicado em A. Por outro lado, ao SW da F. SAN JERÓNIMO nota-se um bloco neotectônico rebaixado, limitado ao NW pelo *TL. Ceballos Norte*.

Na **figura 4. 54** pode-se observar o resultado final da análise integrada dos dados TM com a informação do campo magnético residual. Da integração deste resultado com o proveniente da interpretação de imagens aéreas e da informação aero-gama espectrométrica (contagem total) foi produzido o esboço estrutural da região, mostrado na **figura 4. 55**. A comparação deste esboço com o mapa tectônico de Shein *et al.* (1984) (**Fig. 4. 51**), possibilita fazer algumas considerações básicas sobre a estrutura da região, bem como de suas possibilidades petrolíferas:

- A estrutura da área não obedece a um simples esquema de falhas NE transcorrentes associadas aos cavalgamentos orogênicos. Foram detectados pela pesquisa rupturas N-S, interpretando-se que, durante a orogenia, formaram-se pares de falhas sinistrais (NE) e dextrais (N-S). Em suas áreas de cruzamento, tanto dos elementos crustais como nos supracrustais, encontram-se as jazidas de petróleo conhecidas na Bacia Central. Em outras partes da região, repete-se a ocorrência de tectoliteamentos de longa vida, onde infere-se na profundidade a mesma seqüência tectônica presente no campo Bacia Central (Shein *et al.* 1984, Pushcharovsky *et al.* 1989), ou seja, de cima para baixo: arco de ilha, ofiolitos, margem continental. Na **figura 4.55**, de maneira preliminar, são propostos diferentes setores promissores, baseados fundamentalmente na situação estrutural inferida.
- No início do neoaútóctono (Eoceno Superior) iniciou-se a geração de um terceiro sistema de falhas, transtensivo, dextral, de direção NW, continuando a atividade dos sistemas NE e N-S.

Na **tabela 4.8** podem-se observar os indicadores e critérios das assinaturas dos tectoliteamentos de longa vida e neotectônicos.

Fig. 4. 52. Região da Bacia Central. Composição HSI, das bandas TM 1, 5, 4. (Vide Texto).

Fig. 4. 53-a.
Sobre posição de lineamentos e anomalias do campo magnético residual sobre a imagem da figura 4. 52.

Fig. 4. 53-b.
Composição HSI do campo magnético residual e um mosaico da PC1.

Fig. 4. 53. Região da Bacia Central. Na figura mostram-se duas integrações diferentes de dados TM com a informação do campo magnético residual. (Vide texto).

Fig. 4. 54.

Região da Bacia Central. Interpretação estrutural sobre imagem da figura 4. 52.

LEGENDA

UNIDADES GEO-TECTÔNICAS E ZONAS ESTRUTURO-FACIAIS.

MARGEM CONTINENTAL NORTE-AMERICANA (MCN)

- a) b) a) calcários e dolomitos, de plataforma ($J_3 - K_2^m$);
b) calcários e sherts, de talude ($K_1^{ba} - K_2^m$)

CROSTA OCEÂNICA (OF) (Mz)

- a) b) c) d) a) peridotitos; b) cumalados, zona inf.;
c) cumalados, zona sup.; d) diques de diabásios

ARCO DE ILHAS VULCÂNICAS DO CRETÁCEO (AIVC)

- a) b) c) a) complexo vulcanogênico andesítico-basáltico (inferior, $K_1 - K_2^m$); b) complexo de formações andesítica e liparito-dacítica (superior, $K_2^m - K_2^{cp}$); c) granitóides e sienitóides (K_2).

BACIAS SUPERPOSTAS (BS) E DEPRESSÕES DE AVANÇO (DA), ($K_2^{cp} - P_2^2$).

- a) b) a) fundamentalmente arenitos e conglomerados;
b) seqüências olistostrômicas.

COBERTURA CENOZÓICA (CC) ($P_2^3 - N - Q$)

formações de margas, calcários e argilitos, fundamentalmente.

ESTRUTURAS

(a- crustal; b- supracrustal)

Tectoliteamentos

Bem expresso Mal expresso

- b) SIN-ARCO
b) PÓS-ARCO
b) regional
b) local
b) de cavalgamento ou inverso
a) de alto ângulo, de longa vida
b) 1- transcorrente; 2- transtensivo
a) de alto ângulo, neotectônico
b) de alto ângulo, neotectônico

tectoliteamento refletido também no campo magnético residual

cavalgamentos AIVC/OF e OF/MCN, inferidos por geofísica abaixo da Cobertura Cenozoica.

Traço de falha segundo pesquisadores petroleros
(A) Falha Tuinicú, (B) Falha La Trocha

MORFO-ANOMALIAS ANELARES

TIPO MORFOGÊNICO PROPOSTO	SÍMBOLO	IDADE SUPOSTA
antiforme		n
sinforme		e
cupuloide salina (conhecida)		o
cupuloide salina (proposta)		t
indiferenciada		e
		c
		t
		ô
		n
		i
		c
		a

LINHAS ESTRUTURAIS

ACUMULAÇÕES DE PETRÓLEO

Ceballos

ocorrência e seu nome

jazida pequena:
(3) CATALINA
(4) REFORMA
(5) MAMONAL

jazida mediana:
(1) JATIBONICO
(2) CRISTALES

OUTROS SÍMBOLOS

LIMITE GEOLÓGICO

AGRUPAMENTO DE ANOMALIAS GAMA-ESPECTROMÉTRICAS
(contagem total: U+Th+K)

RECOMENDAÇÕES PARA PROGNÓSTICO

ÁREAS FAVORÁVEIS PROPOSTAS:

I- Pina Sudoeste, II- Morón Este,
III- Ciego Oeste, IV- La Nueva,
V- Florencia, VI- Cunagua Sur

Fig. 4. 55. Região da Bacia Central. Esboço estrutural (Legenda).

Fig. 4. 55 (Continuação).
Região da Bacia Central.
Esboço estrutural.

4.4. Aspetos gerais do falhamento de Cuba Centro-Oriental.

Dos resultados obtidos nas análises integradas das áreas do arco e da região da Bacia Central, foram extraídos novos dados que enriquecem consideravelmente a visão que se tinha sobre o falhamento que afeta todo o território de Cuba Centro-Oriental. A integração de dados básica usada para correlacionar toda esta informação com o resto do território de Cuba Centro-Oriental, mostra-se na **figura 4. 56**. É constituída por uma composição HSI do campo magnético residual e de um mosaico da banda 5, aplicando-se em cada camada ALC, com ajuste manual.

A criação de várias vistas 3D, tendo como superfície aquela imagem, e representando no eixo Z os valores do campo magnético residual, possibilita uma melhor análise dos elementos N-S (**Fig. 4.57**). Isto é, aqueles de mais difícil detecção mediante o exame exclusivo da **figura 4.56**, o qual deve-se, fundamentalmente, aos seguintes dois fatores. O primeiro, que estes elementos estão fortemente deslocados por rupturas de outras direções. O segundo, é devido às características da amostragem do levantamento aéreo original, baseado em perfis de direção N-S, com espaçamento entre linhas de 500-700 m, e distância entre pontos de 50-100 m. Contudo, o uso de diferentes iluminações possibilita a detecção, ou melhor observação, de diferentes elementos, tais como *La Gloria Este* e *Oeste*, *Guajaba*, entre outros (**Fig. 4.57**).

Na **sub-figura 4. 57-a**, a letra *M* indica as seqüências da margem continental norte-americana, onde os valores do campo magnético residual são baixos e negativos.

Na **figura 4.58** pode-se observar o esboço tectono-estrutural de Cuba Centro-Oriental resultante da pesquisa. A comparação deste esboço com o mapa tectônico mostrado na **figura 2.16** permite fazer os seguintes comentários:

- O falhamento neotectônico de direção WNW que afeta ao território é intenso. Apresenta elementos crustais e supracrustais e resulta uma fonte importante de deformações das estruturas pretéritas. Contudo, sua ocorrência quase não é refletida na **figura 2. 16**.
- A situação geométrica existente entre as rupturas de direção nordeste TAGUASCO-TUINICÚ, LA TROCHA e *Ceballos Norte*, e as de direção N-S *Boca Grande* e *María de las Nieves* sugere à existência de grandes pares transcorrentes, durante a orogenia. Semelhante situação repete-se entre a Falha CAMAGÜEY e o tectolineamento *Guarapo*, embora com menor clareza. Na análise das áreas do arco e da região da Bacia Central foram observadas

situações semelhantes, a maior escala. Por outro lado, na **figura 2.7** pode-se observar que em outras partes do arquipélago têm sido detectadas, mediante a aplicação do Sensoriamento Remoto, situações parecidas. Portanto, existem argumentos para revisar, em futuros estudos da faixa dobrada cubana, o esquema, atualmente aceito (Shein *et al.* 1984, Pushcharovsky *et al.* 1989), de que as falhas transcorrentes geradas durante sua formação foram apenas de direção NE.

Na **tabela 4.8** são resumidos os indicadores e critérios das assinaturas dos tectolineamentos e estruturas anelares do território de estudo.

Fig. 4. 56. Território de Cuba Centro-Oriental. Composição HSI do campo magnético residual e de um mosaico da banda TM-5.

Fig. 4. 57-b. Iluminação:
inclinação, 45°; azimuth, 225° (SW)

2024.794

-1240.798

Fig. 4. 57-c. Iluminação:
inclinação, 45°; azimuth, 90°

Fig. 4. 57. Território de Cuba Centro-Oriental. Na figura mostram-se várias vistas 3D, com diferentes azimutes da iluminação. Na superfície, uma composição HSI do campo magnético (CMR) residual e de um mosaico da banda TM-5; dando-se no eixo Z também a informação do CMR. (Vide Texto).

Fig. 4. 58. Território de Cuba Centro-Oriental. Esboço tectono-estrutural, sobre imagem da figura 4. 56. (Vide Texto).

TABELA 4. 8. Indicadores e critérios das assinaturas dos tectolineamentos e estruturas magmáticas do território de estudo.

Tipo de estrutura	Critérios geológicos	Indicadores da paisagem	Indicadores geofísicos	Indicadores geoquímicos
ELEMENTOS SIN-ARCO				
Estruturas vulcânicas	Ocorrência de lavas e piroclastitos ácidos e intermediários, tardios. Contatos litológicos anelares e curvos.	Configuração anelar ou arqueada na drenagem de maior e mediana ordens, assim como nos campos litomorfológicos.	Alinhamento anelar, ou arqueado, de anomalias magnéticas positivas e negativas do campo magnético residual. Tendência anelar discreta de anomalias locais de potássio.	Áreas irregulares de agrupamento de anomalias geoquímicas, exógenas e endógenas.
Estruturas hipabissais	Ocorrência de granitos tardios, ou corpos sub-vulcânicos da mesma idade, de composições ácida e intermediária.	(Semelhantes aos das estruturas vulcânicas).		
Tectolineamentos (TLs.)	Controle do magmatismo hipabissal, da mineralização, da alteração endógena e do vulcanismo ácido intermediário tardio. Traço sinuoso no mapa. As direções WNW e N-S são as mais deformadas.	Sobre o elemento podem ocorrer divisores locais das águas. Controle global da drenagem de maior ordem. Alinhamento de curtas e estreitas cadeias de morros.	Alinhamento de anomalias do campo magnético residual, positivas e negativas. Alinhamento de anomalias de gama (K).	Tendência discreta de anomalias geoquímicas, exógenas e endógenas.
TECTOLINEAMENTOS PÓS-ARCO				
TLs. de cavalgamento	Inversões do perfil, amplas zonas de cisalhamento, ângulo baixo do plano, dobramentos intensos, traços sinuosos.	Escarpas residuais e “zonas de umidade” sinuosas.	No campo magnético residual: lineamento por disjunção e interrupção de anomalias, gradientes e inflexões; contraste a um lado e outro de limite suavemente curvo.	
TLs. de longa vida (NE: transtensivo sinistral) (N-S: transtensivo destal)	Controle local ou regional da sedimentação nas bacias superpostas e na cobertura cenozóica. Deslocamento de estruturas pretéritas. Dobras de arrasto. Traços retos.	Controle nítido da drenagem de qualquer ordem. Bordas retas na configuração litorânea. Reiteração no desvio do rumo dos rios principais.	(Semelhantes aos dos TLs. de cavalgamento, mas melhor expressos e sendo geralmente o limite retilíneo).	
TLs. neotectônicos (NW e WNW: transtensivo destal)	Controle local ou regional da sedimentação na cobertura cenozóica. Deslocamento de uma parte dos tectolineamentos de longa vida. Traços retos.	(Semelhantes aos dos TLs. de longa vida, mas melhor expressos)	(Semelhantes aos dos TLs. de longa vida)	

5. CONCLUSÕES.

Mediante a análise de dados integrados, centrada no uso do sensoriamento remoto, obteve-se uma melhor compreensão dos fatores magmático-estruturais que controlam a metalogenia endógena do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo na área Ciego-Tunas, bem como dos fatores estruturais envolvidos na migração dos hidrocarbonetos da região da Bacia Central. As conclusões principais da pesquisa são:

1. Os tectolineamentos sin-arco são reconhecíveis por uma peculiar assinatura, composta por divisores locais das águas, eixos positivos e negativos do campo magnético residual, bem como pelos eixos da gama-espectrometria de potássio e das anomalias geoquímicas, tanto exógenas como endógenas.
2. Foram também reveladas as assinaturas das estruturas vulcânicas e hipabissais. Essas caracterizam-se, em geral, pela coincidência espacial de morfo-anomalias anelares na drenagem com eixos curvos, positivos e negativos, do campo magnético residual, assim como pela interpretação ou ocorrência no local das litologias típicas.
3. A mineralização endógena de arco encontra-se associada ao magmatismo tardio do arco (Campaniano Inferior), desenvolvido em zonas de cruzamento de falhas sin-arco NE, WNW e N-S. A mineralização aurífera epitermal vincula-se às estruturas vulcânicas, provavelmente caldeiras, enquanto que o ouro em veios, o cobre porfírico e o ferro escarnítico relacionam-se com o desenvolvimento do magmatismo hipabissal e sub-vulcânico, aliado à interação rocha-fluido de corrente.
4. O conhecimento e a cartografia das feições magmático-estruturais que controlam a mineralização de arco, contribuem decisivamente para melhorar as futuras avaliações metalogenéticas indicadas para este ambiente tectônico em Cuba Centro-Oriental. Por esta via, o acesso à mineralização procurada é feito através do conhecimento da arquitetura geológica, na qual está inserida, o que oferece muito mais indicadores para sua discriminação. Tradicionalmente, o alvo principal do estudo tem sido a mineralização em si, cujas pequenas dimensões, assim como o extremo grau de mascaramento apresentado, têm constituído grandes obstáculos para sua localização.
5. O fraturamento vinculado à formação das rupturas transtensivas de longa vida (Cretáceo Superior, Campaniano-Quaternário), de direções NE e N-S foi uma das vias essenciais para

a migração e o trapeamento dos hidrocarbonetos, gerados em parte das seqüências da margem continental norte-americana.

6. A possibilidade de adicionar um mapa exibindo as estruturas lineares condicionadoras de petróleo e gas, forneceria à prospecção gaso-petrolífera na região da Bacia Central de uma poderosa via de discriminação de alvos de pesquisa. Atualmente, a localização dos poços de prospecção é feita, fundamentalmente, com base nas indicações da geofísica sobre possíveis armadilhas, em forma de numerosas áreas isométricas espalhadas por um amplo território.
7. O falhamento transcorrente ocorrido em Cuba Centro-Oriental durante a orogenia, foi mais complicado do que se pensava. Junto com as reconhecidas falhas sinistrais de direção NE, geraram-se também rupturas N-S, provavelmente destrais.
8. Em Cuba Centro-Oriental, o falhamento neotectônico, de direção geral NW, constitui um fator extremamente importante na deformação das estruturas pretéritas, detectando-se pela pesquisa numerosos tectoliteamentos representantes deste sistema, tanto de natureza supracrustal, como crustal.
9. O desenvolvimento de uma reavaliação de potencial mineral em quaisquer regiões de Cuba, necessita de estudos próprios destinados a estabelecer a relação entre as estruturas existentes e a mineralização procurada. Neste sentido, a determinação das assinaturas dos elementos estruturais e magmático-estruturais é uma eficaz via de discriminação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Na pesquisa, o fio condutor de todo o trabalho constituiu na compreensão do problema geológico a resolver. Por esta, foram traçados os objetivos, escolhida a direção metodológica, isto é, a detecção da assinatura dos elementos estruturais e magmático-estruturais de interesse, assim como planejada a abordagem metodológica a executar.

No procedimento aplicado, foram largamente utilizadas modernas ferramentas: imagens de satélite de segunda geração e as técnicas digitais de processamento de imagens e de integração de dados. Mas, também, foram essenciais diversos métodos clássicos, tais como a revisão crítica dos trabalhos anteriores relacionados aos objetivos da tese, e não apenas aqueles baseados nos métodos indiretos; o levantamento da drenagem, ferramenta tradicional dos fotogeólogos pouco usada na atualidade; e o uso de setores teste, recurso aceito por muitos, mas na realidade pouco explorado. No primeiro caso, basta citar que relatórios de prospecção de pedra para brita forneceram à pesquisa dados fundamentais sobre a ocorrência de rupturas de longa vida e neotectônicas, enquanto, no segundo caso, os dados extraídos da drenagem foram um grande suporte na revelação de numerosos tectoliteamentos e estruturas magmáticas. No terceiro caso, sua aplicação resultou na descoberta, ou esclarecimento do fato que em geral o que ocorre localmente repete-se regionalmente.

Os resultados obtidos pela pesquisa correspondem completamente aos objetivos planejados para a mesma. Mas, os resultados atingidos, além de constituir uma contribuição à política de aumento da eficiência indicada pelo Serviço Geológico Cubano, representam também uma base de partida, para várias direções da pesquisa mineral. Algumas delas, são as seguintes:

- Desenvolvimento deste estilo de pesquisa em outras áreas priorizadas de Cuba, tal como a Sierra Maestra. Isto é, com objetivos gerais e filosofia semelhantes na abordagem metodológica, significando esta última não apenas uma integração de dados geológico-geofísicos centrada no uso do sensoriamento remoto para o estudo do controle estrutural ocorrente, mas também uma compreensão prévia do problema geológico a resolver.

Esta tese é, necessariamente, o fruto de um trabalho individual. O autor estima que, dispondo de todos os recursos imprescindíveis (imagens de sensoriamento remoto, informação geológica-geofísica-geoquímica original, capacidades computacionais, etc.), uma equipe

integrada por três especialistas e dois auxiliares podem desenvolver em 18 meses um trabalho semelhante ao executado para esta pesquisa, em uma superfície equivalente e com complexidade geológica e grau de cobertura semelhantes. Para estas novas pesquisas, seria muito conveniente que estivessem disponíveis imagens de radar, bem como dados magnéticos, gravimétricos e gama-espectrométricos com uma resolução de 500 x 50 m, bem como existissem as possibilidades de se realizar verificações de campo, de natureza correspondente ao grau de cobertura presente no território de estudo escolhido.

- Nos setores avaliados preliminarmente como favoráveis, seria conveniente realizar trabalhos de verificação. No caso dos setores escolhidos dentro do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (**Fig. 4.46**), isto significaria a realização da análise integrada, na escala 1:50.000, de imagens aéreas com a informação aero-geofísica e gravimétrica, acompanhada de levantamento geoeletrico de superfície, bem como de perfurações de mapeamento e de prospecção preliminar.
- Para validar o critério estrutural de prospecção proposto na região da Bacia Central, seria de grande utilidade correlacionar os setores recomendados com base nele (**Fig. 4.55**), com os resultados atuais da prospecção, o qual é viável no caso de já ter-se coberto alguns desses setores por trabalhos detalhados geofísicos e de perfuração, nas proximidades da jazida Pina.
- A realização de estudos do controle estrutural da mineralização, baseadas na análise integrada de dados centrada no uso do Sensoriamento Remoto, pode ser eficaz na avaliação de outros recursos, tais como os minerais industriais e as águas termo-minerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACADEMIAS DE CIÊNCIAS DE CUBA e U.R.S.S. 1970. *Atlas Nacional de Cuba*. Impresso na U.R.S.S.

ACADEMIAS DE CIÊNCIAS DE CUBA, BULGÁRIA, HUNGRIA, POLÔNIA, U.R.S.S. 1989. *Mapa geológico de Cuba, a escala 1:250 000*. Impresso na U.R.S.S.

ALONSO, J. *et al.* 1994. *Informe de los trabajos de exploración detallada en el yacimiento de oro Florencia, provincia de Camagüey*. Empresa geologo-minera de Camagüey, Ministerio de la Industria Básica. Inédito. Arquivo do Instituto de Geologia e Paleontologia, Ministério da Indústria Básica, Havana.

ÁLVAREZ H. *et al.* 1987. *Informe del levantamiento geológico y prospección acompañante de la Zona Centro*. Empresa Geológica de Santa Clara. Inédito. Arquivo do Fondo Geológico Nacional, Havana. 492 p.

de ALBEAR, Fco. *et al.* 1980. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico de las provincias habaneras, a escala 1:250.000*. Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana. 600 p.

ÁLVAREZ-CASTRO, J.; VALLADARES, S. 1994. Tipos de trampas petrolíferas existentes en Cuba. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...

AMARAL, G. 1983. Sistemática para a utilização de dados de sensoriamento remoto em mapeamento geológico básico. In SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA SBG-SP, 4, 1983, São Paulo. Atas...

AMARAL, G. 1995. Métodos para a obtenção de informação estrutural em produtos de sensoriamento remoto. *Cadernos do IG-UNICAMP*, Campinas, São Paulo. 4, (1): 98-111.

AMARO V. E. 1998. *Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozóicas*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, (inédito). 397 p..

ARSENIEV, Yu. M. *et al.* 1982. *Esquema fotogeológico de la antigua provincia de Las Villas, a escala 1:250.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica. Inédito. Arquivo do Instituto de Geologia e Paleontologia, Havana.

BADGLEY, P. C. 1959. *Structural Methods for the Exploration Geologists*. 2 ed. Harper, New York,. 280p.

BARCELÓ, G.; ÁLVAREZ-CASTRO, J.; FERNÁNDEZ, J. 1994. Nuevas ideas sobre la evolución geológica de la cuenca del Cauto. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos.

BELMUSTAKOV *et al.* 1981. *Informe del levantamiento geológico de las provincias Ciego de Ávila, Camagüey y Oeste de Las Tunas, escala 1:250 000*. Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). 430 p..

BERGER, Z. (1982). The use of Landsat data for detection of buried and obscured geological structures in the East Texas Basin, U. S. A. *In: 2nd THEMATIC CONFERENCE REMOTE SENSING EXPLOR. GEOL.*, Dallas TX. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, p. 577-589.

BERGER, Z. 1994. *Satellite Hydrocarbon Exploration*. Springer-Verlag ed., Berlin Heidelberg. 373 p.

BRIUJANOV, L. F.; EREMEMKO, N. A.; VOLCHEGURSKII, L.F.; VOROBIEV, B. T.; *et al.* 1978. *Mapa cosmo-fototectónico da região Aral-Caspio*. Ministérios de Geologia e Indústria de Petróleo da URSS, Academia de Ciências da URSS; Empresa principal de Geodesia e Cartografia do Conselho de Ministros da URSS; União Aerogeologia; Centro Priroda.

BRIUJANOV *et al.* 1982. Estructuras lineares e anelares da Terra. *Geotectônica*, (1): 3-13. Em lingua rusa.

BROOKS, R. R. 1972. *Geobotany and Biochemistry in mineral Exploration*. Harper & Row ed, New York. 290 p.

BROOKS, R. R. 1983. *Biological methods of prospecting for minerals*. John Wiley & Sons ed., New York. 322 p.

BUSH, W. A. ; SHERBAKOVA, I. N. 1986. Novos dados sobre a tectônica profunda de Cuba (en russo, traduzido ao inglês). *Geotectonics*. (3): 24-43.

CABRERA, R.; LÓPEZ-KRAMER, J.; PANTALEON, G. 1984. Vinculación del magmatismo y los yacimientos meníferos de Cuba con los procesos tectónicos. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*. Academia de Ciencias de Cuba, Havana. (9): 47-58.

CABRERA *et al.* 1990. *Mapa metalogénico-pronóstico de la República de Cuba, a escala 1:500 000*. Instituto de Geología y Paleontología. Ministerio de la Industria Básica. Inédito.

CALZADILLA, M. *et al.* 1987. *Esquema fotogeológico, a 1:50.000, para el levantamiento geológico CAME Las Villas III*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica. Inédito. Archivo do IGP, Havana.

CAPOTE, C. 1984a. Experiencias en la utilización de la fotogeología aérea en la búsqueda de yacimientos no metálicos en diferentes sectores de Cuba Central. *Serie Geológica CIG*, Ministerio de la Industria Básica de Cuba, Havana. (6): 103-116.

-- 1984b. *Esquema fotogeológico de la parte meridional del polígono de levantamiento CAME Camagüey (Cuba-RDA), escala 1:50.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Archivo do IGP, Havana.

CAPOTE, C. 1987a. Grado de interpretación geológica de los materiales de teledetección. In: Centro Universitario de Pinar del Río ed., *La Teledetección aplicada a las investigaciones geológicas*. Pinar del Río, Cuba. p. 211-214.

-- 1987b. La Teledetección Aplicada en el Pronóstico y la Búsqueda de Minerales Útiles. In: Centro Universitario de Pinar del Río ed., *La Teledetección aplicada a las investigaciones geológicas*. Pinar del Río, Cuba. p. 381-448.

CAPOTE, C. 1989a. *Esquema fotogeológico do sector "Loma Jacinto", escala 1:50.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo da Empresa Geologo-Minera Camagüey, Camagüey.

-- 1989b. *Esquema fotogeológico del sector Vertientes, escala 1:50.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo da Empresa Geologo-Minera Camagüey, Camagüey.

-- 1989c. *Esquema fotogeológico del sector Ciego-Corojo, escala 1:50.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo da Empresa Geologo-Minera Camagüey, Camagüey.

-- 1989d. *Esquema fotogeológico de la zona Vidot-Siboney, escala 1:32.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo da Empresa Geologo-Minera Camagüey, Camagüey.

CAPOTE, C. 1996a. Separação de estruturas sin-arco: uma ferramenta imprescindível no prognóstico metalogenético na região centro-oriental de Cuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1996. Anais...Salvador, SBG. v 3 , p. 221-224.

--1996b. Falhas verticais de longa-vida, como um novo critério no prognóstico gaso-petrolífero em Cuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1996. Anais...Salvador, SBG. v 5 , p. 188-192.

CAPOTE, C.; ARSENIEV, Yu. M.; KALACHOV, S. N. 1984. Esquemas cosmo-geológicos de Cuba, a escala 1:500.000. *Serie Geológica CIG*. Ministerio de la Industria Básica de Cuba, Havana. (6): 69-81.

CAPOTE, C.; PÉREZ, R.; VILLENA, M., CALZADILLA, M., PÉREZ, C. E STRAZHEVICH, V. 1987. *La Teledetección aplicada a las investigaciones geológicas*. 1 ed. Pinar del Río, Editora do Centro Universitario de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba. 502 p.

CAPOTE, C.; ARSENIEV, Yu. M., KALACHOV, S.N., STRAZHEVICH, V. P. 1989. Mapa cosmo-fotogeológico de Cuba, a escala 1:500.000. In: CONGRESSO CUBANO DE GEOLOGÍA, 1. Havana. Resumos...

CAPOTE, C.; et al. 1991. Projeto da pesquisa para prospecção: *Fundamentación del pronóstico y la búsqueda de minerales sólidos en la Región Siboney-Las Tunas*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP) y Empresa Geólogo-Minera Camagüey, Ministério da Indústria Básica, Cuba, (inédito): Arquivo IGP, Havana.

CAPOTE, C.; SÁNCHEZ, R.; LLEDÍAS, P.; SANTA CRUZ PACHECO, M.; ESCOBAR, E. 1992. Rasgos estructurales en los arcos de islas de Cuba. In: GEOLOGICAL CONFERENCE OF CARIBEANN, 13. Pinar del Río, Cuba, 1992. Resumos...

CERVELLE, B.; CHOROWICZ, C.J. 1986. La Teledetección de los recursos minerales. *Mundo Científico*. (6): 365-373.

CHÁVEZ JR., P. S.; BERLIN, G. L.; SOWERS, L. B. 1982. Statistical method for selecting Landsat-MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8, p. 23-30.

CHÁVEZ JR, P. S.; KWARTENG, A. Y. 1989. Extracting spectral contrast in Landsat thematic mapper image using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 55, n. 3, p. 339-348.

COLWELL, R. N. 1983. *Manual of Remote Sensing*. Colwell, 2 ed., American Society of Photogrammetry, Virginia, USA. Volume I, 1232 p.

COUTIN, D. P.; MARTÍNEZ, J.; LIPPSTREU, L.; GONZÁLEZ, Z.; DELGADO, B.; KAMENSKY, A.; *et al.* 1987. *Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales de no metálicos y combustibles de la República de Cuba, a escala 1:500.000*. Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica de Cuba. Impreso na fabrica cartográfica "A. P. Karpinsky", do VSGuEI (antiga U.R.S.S.).

COUTÍN, D. P.; NAGY, E.; RIVERO, F. 1980. La Teledetección en el estudio de la estructura semicircular del sur de Holguín (zona oriental de Cuba). *Ciencias de la Tierra y del Espacio*. Academia de Ciencias de Cuba, Havana. (2): 43-52.

COUTÍN, D. *et al.* 1991a . *Mapa mineragenético (minerales industriais) y pronóstico de la República de Cuba, a escala 1:500.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo do IGP. 4f.

-b. *Texto del mapa mineragenético (minerales industriais) y pronóstico de la República de Cuba, a escala 1:500.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), (inédito). Arquivo do IGP. 220 p

COX, D. P.; SINGER, D. A. 1986. Mineral Deposits Models. *US Geol. Surv. Bull.* (1693): 379 p.

CRIST, E. P.; KOUTH, R. J. 1986. The Tasseled Cap De-Mystified. *Photogrametric Enginnering and Remote Sensing*, v. 52, 1. p. 81-86.

CRÓSTA, A.P. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. 1 ed. Campinas, UNICAMP, São Paulo. 170 p.

CZHESTOKANOVA, V. *et al.* 1966. *Informe de los trabajos de búsqueda e exploração realizados en los años 1964-1965, en los yacimientos auríferos de la zona de Guáimaro, en la provincia de Camagüey*. Instituto Cubano de Recursos Minerais. Inédito. Arquivo do Fundo Geológico, Havana. 386 p..

DÍAZ DE VILLALVILLA, L. 1988. *Caracterización geológica y petrológica de las asociaciones vulcanógenas del arco insular cretácico en Cuba Central*. Tese de

doutoramento, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, (inédito), 127 p.. Archivo IGP.

DÍAZ DE VILLALVILLA, L.; PÉREZ, M.; SUKAR, K.; MÉNDEZ I.; RODRÍGUEZ, R.; MARÍ, T.; AGUIRRE, G.; MILIA, I.; QUINTANA, M. E.; ECHEVARRIA, B.; PIÑEIRO, E. 1996. *Consideraciones geoquímicas acerca de los arcos volcánicos de Cuba* (inédito). Biblioteca, Instituto de Geología y Paleontología, Ministério da Indústria Básica de Cuba, Havana.

DESPAINE, P. *et al.* 1994. Mapa estructuro-tectónico, a escala 1:100.000. In Vázquez, C.; *et al.* INFORME DE LOS TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO EN EL POLÍGONO CAME LAS VILLAS III (CUBA-BULGARIA), PROVINCIA DE VILLA CLARA, SANTI-SPÍRITUS Y CIEGO DE ÁVILA, A ESCALA 1:50.000. Empresa Geológica de Villa Clara (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

DRURY, S. A. 1993. *Image interpretation in geology*. 2 ed. Chapman & Hall, London. 283p.

ECHEVARRIA G. *et al.* 1991. Oil and gas exploration in Cuba. *Journal of Petroleum Geology*. 14, (3): 259-274.

EGUIPKO, O. K.; SUKAR, K.; PAVLOV, V.; PÉREZ, M.; GURBANOV A.; SOTO, T. 1984. Principales particularidades petroquímicas de los granitoides del eugeo-sinclinal cubano y sus formaciones. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, La Habana.(9):59-73.

EISWERTH, B. A.; ROWAN, L. 1993. Analyses of Landsat Thematic Mapper images of study areas located in Western Bolivia, Northern Chile, and Southern Peru. In: Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) ed., *Investigaciones de metales preciosos en el complejo volcánico neogeno-cuaternario de las andes centrales*. La Paz. 19-44 p.

ESCOBAR, E. 1994. Mineralización de metales básicos y preciosos, asociados al arco volcánico cretácico de la región Ciego de Avila -Camagüey-Las Tunas. In: CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos.

ESCOBAR, E. *et al.* 1988. *Proyecto de búsqueda orientativa y detallada de metales básicos y nobles en la zona Vidot-Siboney*. Empresa Geologo-Minera Camagüey (inédito). Fondo Geológico Nacional, Havana. 221 p.

ESCOBAR, E. *et al.* 1993. *Informe de búsqueda orientativa y detallada en la zona Vidot-Siboney*. Empresa Geologo-Minera Camagüey (inédito). Fondo Geológico Nacional, Havana. 452 p.

FATELIEV, R.; RODRÍGUEZ, A.; ALBELO, J.; DURANONA, D. 1990. Experiencias sobre la selección de áreas perspectivas, mediante el uso racional de los métodos de búsqueda compleja, en el sector Palo Seco, Camagüey. *Revista Tecnológica*, Ministerio de la Industria Básica, Havana. 20, (1): 14-22.

FATELIEV, R. *et al.* 1993. *Informe de los trabajos de prospección detallada en los sectores de cobre, Guáimaro y Palo Seco. Provincia de Camagüey*. Empresa Geologo-Minera Camagüey. Inédito. Fondo Geológico Nacional, Havana. 520 p.

FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. 1881. Croquis geológico de la Isla de Cuba. *Ed. Bol. Com. Mapa Geol. España*, Madrid. .No. 8

FLINT, D. E.; de ALBEAR, J. Fco.; GUILD, P. W. 1948. Geology and chromite deposits of the Camagüey district. Camagüey province, Cuba. *U.S. Geological Survey Bull.* (954): 39-63.

FONSECA, E.; CAPOTE, C.; SANTA CRUZ PACHECO, M.; ZELEPUGUIN, V. (1984) Posición tectónica, petrología y metalogenia de la asociación ofiolítica de Cuba. In: GEOLOGICAL INTERNATIONAL CONGRESS, Moscou, 1984. Abstracts.

FONSECA, E.; ZELEPUGUIN, V. M.; HEREDIA, M. 1984. Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*. Academia de Ciencias de Cuba, Havana. (9): 31-46.

FORMELL, F. 1984. *Esquema de alineamientos y estructuras anulares de la Isla de la Juventud, a 1:300.000, Tema 310.14*. Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

FREDEN, S. C.; GORDON, F. 1983. Landsat satellites. In Coldwell R. N. ed.: Manual of remote sensing, 2 nd. edn. Amer. Soc. Photogramm. Falls Church, VA, pp. 517-578.

GALBRAITH, J.H., SAUNDERS, D. F. 1983. Rock classification by characteristics of aerial gamma ray-measurements. *Journal of Geochemical Exploration*. 18, (3): 49-73.

GOCZAN, L. G.Y.; POGACSAS, G.Y.; NAGY, Z.; LAKATOS L.; KLOSKA, K. 1987. Hydrocarbon probability interpretation of digital image processing results of TM and SPOT satellite remote sensing data with the aid of gravitational, geoelectric and seismic data. In INTERNATIONAL GEOPHYSICAL SIMPOSIUM, 32. Dresde, DDR, 1987. Memories... Dresde. p 210-221.

GONZÁLEZ, C. J. 1995. Mapa unificado de anomalías geoquímicas, a escala 1:100.000. In Piñero *et al.* INFORME DE UNIFICACIÓN DE MAPAS DE LOS POLÍGONOS DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO DE CIEGO-CAMAGÜEY, CUBA-RDA. Empresa Geólogo-Minera Camagüey. Material inédito. Archivo do Instituto de Geología e Paleontología, Havana.

GUY, M. 1966. Quelques principes et quelques expériences sur la méthodologie de la photo-interpretation. *Arch. Int. Photogramm.* 16, 21-41 p.

HATTEN, C. W.; SCHOOLER, O. E.; GIEDT, N.; MEYERHOFF, A. A. 1957. *Geology of central Cuba, eastern Las Villas and western Camagüey provinces* (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

HAYBA, D. O.; BETHKE, P. M.; HEALD P.; FOLEY, N. K. 1985. Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits. In Berger & Bethke ed., *Geology and geochemistry of epithermal deposits systems*. Reviews in Economic Geology, v. 2; Society of Economic Geologists. 129-167 p.

HEALD, P.; FOLEY, N.; HAYBA, D.; 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Econ. Geol.*, (82): 1-26.

HOWARD, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation, a summation. *A.A.P.G. Bull.* 51, (11): 2246-2259.

IANEV, S. N.; TCHOUNEV, D. C.; TZANKOV, T.V. 1993. El complejo volcano-sedimentario cretácico de Cuba Central, (Unificación litoestratigráfica y ambiente paleogeodinámico. *Doc. Lab. Géol.* Lyon. (125): 223-240.

ITURRALDE-VINENT, M. A. 1996a. Introduction to Cuban Geology and Geophysics. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 3-35.

_b. Geología de las ofiolitas de Cuba. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 83-120.

_c. Magmatismo de margen continental de Cuba. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 121-130.

_d. El arco de islas volcánicas del Cretácico. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 179-189.

_e. Estratigrafía del arco volcánico cretácico en Cuba. Región Ciego-Camagüey-Las Tunas. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 201-209.

_f. El archipiélago volcánico Paleoceno-Eoceno. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 231-246.

ITURRALDE-VINENT, M. A. *et al.* 1981 Tectónica del arco volcánico cretácico. In *Informe del levantamiento geológico de las provincias de Ciego de Avila, Camagüey y Oeste de Las Tunas*. Academias de Ciencias de Cuba. Inédito.

ITURRALDE-VINENT, M. A. *et al.* 1987. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono Cuba-RDA I, provincia de Camagüey, a escala 1:50.000*, Tomo I. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

KALACHOV, S. N.; CAPOTE, C. 1980. *Esquemas fotogeológicos de los polígonos Oeste e Centro, a 1:50.000, para el levantamiento geológico CAME Las Villas I*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica. Inédito. Archivo do Instituto de Geología e Paleontología, Havana.

KANCHEV, I. *et al.* 1976. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico de la provincia de Las Villas, a escala 1:250.000*. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Bulgaria; Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana. 820 p.

KESLER, S. E.; LEVY, E.; MARTIN, C. 1990. Metallogenic evolution of the Caribbean region. *In* Dengo & Case ed., The Caribbean Region, Volume H of the Geology of North America. G. S. A. 77-140p.

KOWALIK, W.S.; GLENN, W. E. 1987. Image processing of aeromagnetic data and integration with Landsat images for improved structural interpretation. *Geophysics*. **52**, (7): 875-884.

KUZATKOV *et al.* 1978. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico realizados en la parte centro-septentrional del monoclin al Sierra Maestra*. Empresa Geológica de Santiago de Cuba, Ministerio de la Industria Básica, (inédito). Archivo do "Fondo Geológico Nacional"; 320 p..

LATTMAN, L. H. 1959. Techniques of Mapping Geologic Fracture Trace and Lineaments on Aerial Photographs. *Photogramm. Eng.* **24**, (4): 568-576.

LAVANDERO, R. M.; ESTRUGO, M.; SANTA CRUZ PACHECO, M.; BRAVO, F.; MELNIKOVA, A. A.; *et al.* 1989. *Mapa de yacimientos minerales metálicos y aguas minerales de la República de Cuba*. Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica de Cuba. Impreso na fábrica cartográfica "A. P. Karpinsky", do VSGuEI (antiga U.R.S.S.).

LAVANDERO, R.; 1994. Ambientes geodinámicos y su relación con los yacimientos minerales metálicos en la Isla de Cuba. *In* CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos

LEROY, S.; MERCIER de LÉPINAY, B.; MAUFFRET, A.; PUBELLIER, M. 1996. Structural and Tectonic evolution of the eastern Cayman Trough (Caribbean Sea) from seismic reflection data. *AAPG Bulletin*. **80**, (2): 222-247.

LEWIS, J. F.; DRAPER, G. 1990. Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean Margin. *In* Dengo & Case ed., The Caribbean Region, Volume H of the Geology of North America. G. S. A. 77-140p.

LETKIN, A *et al.* 1982. *Informe dos trabalhos aerogeofísicos, na escala 1:50.000, do polígono "Ciego-Camagüey"*. Empresa de Aerogeofísica, Ministerio de la Industria Básica, Havana, Cuba; (inédito). Archivo, Fondo Nacional Geológico.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. 1994. *Remote Sensing and image interpretation*. 3 ed. John Wiley & Sons, N. York, 780 p.

LILLJEQUIST, R.; ANDERSSON, Ch.; ASTRAND, P. 1984. *Structural interpretation of LANDSAT images over Tertiary volcanics in Nicaragua, Central America*. Companhia Geológica Sueca. 48 p.

LINARES, E.; OSADCCHIY, P. G.; DOVBNIYA, A. V.; GIL, S.; GARCIA, D.; GARCIA, L.; *et al.* 1985. *Mapa geológico de la República de Cuba, a escala 1:500.000*. Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica de Cuba. Impreso na fábrica cartográfica "A. P. Karpinsky", do VSGuEI (antiga U.R.S.S.).

- LINARES, E.; OSADCCHIY, P. G.; DOVBNIYA, A. V.; GIL, S.; GARCIA, D.; GARCIA, L.; *et al.* 1986. **Texto explicativo al Mapa geológico de la República de Cuba, a escala 1:500.000**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica de Cuba (inédito). Archivo do IGP, Havana. 520 p..
- LINARES, E. ; FERNÁNDEZ, J; BLANCO, S.; FERNÁNDEZ, S. 1989. Nuevos datos geológicos de la región Puerto Padre-Gibara, y sus posibilidades gaso-petrolíferas. **Revista Tecnológica**, Ministerio de la Industria Básica, Havana. **19**, (2): 13-22.
- LINARES, E.; VALDESPINO, E. 1991. Mapa de localización de manifestaciones y yacimientos de hidrocarburos de Cuba, escala 1: 500.000. *In* JORNADA CIENTÍFICO-TÉCNICA DA FILIAL HABANA (SCG); 2, 1991, PaineL.
- LLUFRIÚ, L; PADILLA, I.; CORBEA, L. 1994. **Mapa aeromagnético generalizado de Cuba, escala 1:250.000**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica, Havana, Cuba, (inédito). Archivo do IGP.
- LÓPEZ, J. G.; LÓPEZ, J. O.; CASTRO, O.; FERNÁNDEZ, J.; NÚÑEZ, C.; FERNÁNDEZ, J. 1994. Algunas consideraciones sobre el potencial hidrocarburífero de la Cuenca Los Palacios. *In* CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...
- LÓPEZ J. G.; TENREYRO, R.; ECHEVARRIA, G.; LÓPEZ, J. O. 1994. El sistema petrolífero de la provincia petrolera norte cubana. *In* CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...
- LÓPEZ-KRAMER, J. *et al.* 1990. Informe del Tema 401-09, **Evaluación pronóstica de la mineralización aurífera de Cuba, para el mapa metalogénico pronóstico, a escala 1:500 000**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica, La Habana. Inédito. Archivo do IGP.
- LOUGHLIN, W. P. 1991. Principal component analysis for alteration mapping. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. V.57, n. 9, p. 1163-1169.
- LUGO, R. *et al.* 1989. Informe de los trabajos de búsqueda en el sector de anomalías magnéticas Gaspar, Ciego de Avila. Empresa Geológica de Camagüey (E.G.C.), (inédito). Archivo da EGC. 230 p.
- MAGAZ, A.; 1984. Análisis de una estructura neotectónica por métodos morfo-estructurales en el SW de Pinar del Río, Cuba. **Ciencias de la Tierra y del Espacio**. Academia de Ciencias de Cuba, Havana. (8): 29-46.
- MAKAROV, V. I.; de ALBEAR, J. Fco. 1978. **Aplicación de los métodos aeroespaciales al estudio geológico de Cuba y algunos problemas de su tectónica, antiguas provincias de Habana y Matanzas**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). 47 p.. Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.
- MAKAROV, V. I. *et al.* 1983. **Mapa de lineamientos y estructuras anulares del SE de Cuba, 1:500.000, Tema 314.10**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. 1985. Spectral characterization of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*. 6 (5): 697-716.

MARTINI, M. J. (1995): *Análise integrada de dados aplicada ao estudo metalogenético da Serra dos Carajás-PA*. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, Campinas.abril 1995. 125 p.

MENESES, P. L. 1986. *Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do Landsat-5, para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, (inédito). 233 p..

MEZHELOVSKY, N. V.; BRIUJANOV, V. N.; BUSH, W. A.; *et al.* 1986. *Utilização dos materiais de levantamento cósmico nas pesquisas geológicas regionais (Recomendações Metodológicas)*. Publicações do Ministério de Geologia da URSS, Moscou, 215 p. Em língua rusa.

MILIÁN, N. 1986 Estratigrafía del área Catalina, Cuenca Central, basado en los datos del subsuelo. *Serie Geológica*, Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica, La Habana. (1): 31-71.

MILIÁN, N. 1989. Análisis formacional de la cuenca central de Cuba. *Revista Tecnológica*, Ministerio de la Industria Básica, Havana. 19, (1): 16-24.

MILIÁN, N.; TENREYRO R. 1988. Análisis de Cuenca, futuro ineludible de la explotación petrolera en Cuba. *Serie Geológica*. Centro de Investigaciones y desarrollo del Petróleo, Ministerio de la Industria Básica, La Habana. (3): 3-17.

MILLER, V. C. 1961. *Photogeology*. Mc Graw Hill, New York. 258 p.

MIRÓ-PAGÉS, G. 1994. Aplicación Integrada de los métodos geofísicos, morfométricos y de teledetección para el estudio de la Cuenca del Cauto. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos.

MITCHELL, A. H. G.; GARSON, M. S. 1981. *Mineral Deposits and Global Tectonic Settings*. London: Academic Press Geology Series, 1981, 405 p.

MORRIS, A. E. L.; MEYERHOFF, A. A.; TANER, I.; BUENO-SALAZAR, R.; YOUNG, G. A. 1990. Energy resources of the Caribbean region. In Dengo & Case ed., The Caribbean Region, Volume H of the Geology of North America. G. S. A. 483-510p.

MORRIS, A. E. L.; TANER, I.; MEYERHOFF, H. A.; MEYERHOFF, A. A. 1990. Tectonic evolution of Caribbean region; alternative hypothesis. In Dengo & Case ed., The Caribbean Region, Volume H of the Geology of North America. G. S. A. 433-458p.

MUSSAKOWSKI, R.; McTAGGART, G.; HEATHER, K. B.; TROWELL, N. F. 1993. An evaluation of the cost-effectiveness of six remote sensing systems for mineral exploration. *ITC Journal*. (3): 288-293.

NAGY, E. *et al.* 1978. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico de las antiguas provincias orientales, a escala 1:250.000*. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de

Hungria; Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana. 800 p.

NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A. *et al.* 1962. *Mapa geológico de Cuba, escala 1:1000.000*. Impreso pelo Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

OCHIVNIKOV, M. *et al.* 1983. Informe de los trabajos de búsqueda orientativa y detallada en la región Martí-Tunas. Empresa Geológica de Camagüey, (inédito). Fondo Geológico Nacional; 450p

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. 1976. Lineaments, Linear, Lineation: some proposed new standard for old terms. *Bull. Geol. Soc. Am.* **87**, (10): 1463-1469.

PADRÓN-VÁZQUEZ, G. 1994. Geología de la Cuenca del Cauto y su influencia en las posibilidades gaso-petrolíferas de la misma. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...

PARADELLA, W. 1983. *Discriminação de unidades litológicas no baixo vale do Rio Curaçá (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-Landsat 3*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, (inédito). 250 p..

PARADELLA, W. Avaliação preliminar de dados TM-Landsat 05 para exploração mineral na região amazônica: Intrusivas de Maraonai e Maicurú-Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. Anais... Goiânia:SBG, 1986. v 6, p.2951-2964.

PARADELLA, W. R.; BRUCE, W. D. 1990. Geobotânica por sensores remotos: uma revisão. *Rev. Brasil. de Geoc.* **19**, (4):425-435.

PARDO-ECHARTE, M.; MATAMOROS, I. 1989. La relación de las anomalías aeroespectrométricas con los suelos de Cuba. *Revista Tecnológica*, Ministerio de la Industria Básica, Havana. **19**, (3): 3-12.

PEREDA, O. 1989. Informe de los trabajos geofísicos. In INFORME DE LOS TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO EN EL POLÍGONO I, (FLORIDA CAMAGÜEY) (CUBA-RDA), PROVINCIA DE CAMAGÜEY, A ESCALA 1:50.000, Tomo II. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba. 450 p.

PÉREZ, C. 1982. *Mapa de resultados obtenidos del desciframiento de fotos aerocósmicas de la parte occidental de la Isla de la Juventud, a 1:250.000, tema 314.10*. Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

PÉREZ, C. 1984. *Mapa general de los alineamientos de Cuba confeccionado a partir del desciframiento de fotos cósmicas, tema 314.10*. Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba, (inédito). Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

PÉREZ, C. 1985. *La Geología y las regularidades de la distribución de los campos meníferos de Cuba sobre la base de la Teledetección*. Resumen de Tese de Doutoramento,, Universidade Estadual de Azerbaidzhán, Bakú, URSS. (Em língua russa).

PÉREZ, C. 1987. Glosario. In: CENTRO UNIVERSITARIO DE PINAR DEL RÍO ed. *La Teledetección aplicada a las investigaciones geológicas*. Pinar del Río, Cuba. p. 466-502.

PÉREZ, C. 1989. Mapa de lineamentos de Cuba, a escala 1:1.750.000. In: INSTITUTO DE GEOGRAFIA (ACC) ed. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Moscou, URSS.

PÉREZ, C.; PÉREZ, L. 1986. Esquema preliminar de los principales alineamientos de Cuba. *Boletín de la Sociedad Geológica de Cuba*. Havana, Cuba. 3, (2): 3-15.

PETERSON R. M. 1979. Oil and gas exploration by pattern recognition. In: Shahrokhi F. Paludan T eds. Remote sensing of earth resources. University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, Tenn., vol 8, pp 28-60.

PIMENTEL, H. et al. 1993. *Informe de los trabajos de reconocimiento de anomalías magnéticas en el territorio Ciego-Camagüey-Tunas*. Empresa Geologo-Minera de Camagüey. Inédito. Archivo do Instituto de Geologia e Paleontologia, Ministério da Indústria Básica, Havana.

PIMENTEL, H. 1994. El arco volcánico cretácico según la información geólo-geofísica mas reciente. Algunas consideraciones metalogenéticas. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos.

PIMENTEL, H; ALONSO, J.; PIÑERO, E.; GONZÁLEZ, C. J.; YUREVNA, E.; DÍAZ, G. 1994. Fundamentación de las posibilidades metalíferas de la región sur de Camagüey. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...

PINDELL, J. L.; BARRETT, S. F. 1990. Geological evolution of the Caribbean region; a plate tectonic perspective. In Dengo & Case ed., *The Caribbean Region*, Volume H of the Geology of North America. 405-432 p.

PIÑERO E. et al. 1993. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono Loma Jacinto (Cuba-RDA) , provincia de Camagüey, a escala 1:50.000*. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

PIÑERO E. et al. 1994. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono Vertientes (Cuba-RDA), provincia de Camagüey, a escala 1:50.000*. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

PIÑERO E. et al. 1994. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono Ciego-Corojo (Cuba-RDA) , provincia de Camagüey, a escala 1:50.000*. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

PIÑERO E. *et al.* 1995. *Unificación de los materiales de los levantamientos geológicos a escala 1:50.000 de los polígonos CAME (Cuba-RDA) de las provincias Ciego de Ávila y Camagüey, escala 1:100.000*. Empresa Geológica de Camagüey, Camagüey, Cuba; (inédito). Arquivo da Empresa Geólogo-Minera de Camagüey. Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

PIOTROVSKY, Y. *et al.* 1976. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico de la provincia de Pinar del Río, a escala 1:250.000*. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Polonia; Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana. 720p.

PIOTROVSKY, Y. *et al.* 1980. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico de la provincia de Pinar del Río, a escala 1:250.000*. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Polonia; Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Arquivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana. 600 p.

PUSHCHAROVSKI, Yu. M.; *et al.* 1989a. *Mapa Tectónico de Cuba, Escala 1:500.000*. Academias de Ciências de Cuba e U.R.S.S.. Impresso na U.R.S.S..

-1989b. *Nota explicatória ao Mapa Tectônico de Cuba, a escala 1:500.000*. Academias de Ciências de Cuba e U.R.S.S., (em língua russa). Ed. Naúka, Moscou. 77 p.

RÍOS-MONTANO, J; DOMÍNGUEZ-GÓMEZ, A. 1994. Renovación del modelo geológico de la región gaso petrolífera Habana-Matanzas. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos.

ROSENCRANTZ, E. 1996. Basement Structures and Tectonics in the Yucatan Basin. In: ITURRALDE-VINENT M. A. ed. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Project 364, IUGC/UNESCO, International Correlation Programme, Havana. p. 36-47.

SETIÉN, C. 1995. Mapa unificado de manifestaciones y yacimientos minerales, escala 1:100.000. in Piñero *et al.* INFORME DE UNIFICACIÓN DE MAPAS DE LOS POLÍGONOS DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO DE CIEGO-CAMAGÜEY, CUBA-RDA. Empresa Geólogo-Minera Camagüey. Material inédito. Arquivo do Instituto de Geologia e Paleontologia, Havana.

SHEIN, V. S.; MAXIMOV, S. P.; YPARRAGUIRRE, J. L.; RODRÍGUEZ, R.; LOPEZ, J. G.; GARCIA, E.; *et al.* 1984. *Mapa Tectónico de Cuba, a escala 1:500.000*. Instituto Cubano de Geodésia y Cartografía, Havana.

SHEVCHENKO, I.; *et al.* 1979. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en la región Martí-Tunas, a escala 1:100.000* (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*. 16, (32):71-104.

SOLOVIOV, V. L. 1978. *Estruturas de tipo central do território da U.R.S.S., segundo dados da análise geologo-geomorfológica*. Editorial Leningrado, Leningrado, U.R.S.S. Em língua russa. 242 p..

STANEK, K. P. (1996) The Cretaceous island-arc rocks of the Camagüey area, Central Cuba. *Zbl. Geol. Paläont.* . Teil I, Stuttgart. (7/8): 935-945.

STANEK, K. P.; *et al.* 1989. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono I, (Florida Camagüey) (Cuba-RDA), provincia de Camagüey, a escala 1:50.000*, Tomo II. Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba. 450 p.

STAVTESEV, A. L.; KOGUEN, V. S.; KOZLOV, V. V.; MASLENNTKOV, V. V.; NATAPOV, L. M.; YABLONSKAYA, N. A. 1984. Utilização dos materiais aerocósmicos no prognóstico e prospecção de minerais úteis (U.R.S.S.). In: CONGRESSO GEOLÓGICO INTERNACIONAL, 27, Moscou, 1984. Proceedings...Moscou, Seção 18 (Sensoriamento Remoto), 18-27 p. Em língua russa.

TELEGUIN, B. P.; PÉREZ, R. 1976. *Esquema fotogeológico de agrietamiento del NW de la Isla de la Juventud, a escala 1:60.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica (MIB). Inédito. Archivo del Instituto de Geología e Paleontología, MIB, Havana.

TELEGUIN, B. P.; *et al.* 1978. *Esquema fotogeológico de la provincia de Pinar del Río, a escala 1:250.000, para el tema 57.07*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica (MIB). Inédito. Archivo do Instituto de Geología e Paleontología, MIB, Havana.

TELEGUIN, B. P.; PÉREZ, R. 1977. *Estudio fotogeológico del Pan de Guajaibón-Sierra Azul, a escala 1:10.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica (MIB). Inédito. Archivo del Instituto de Geología e Paleontología, MIB, Havana.

TENREYRO, R.; SÁNCHEZ-ARANGO, J.; LÓPEZ J. 1994. Evolución geológica de Cuba y su relación con el potencial de hidrocarburos. In CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA, 2, 1994, Santiago de Cuba. Resumos...

THIADENS, A. A. 1937 Geology of the southern part of the province of Santa Clara. *Geogr. Geol. Meded, Phys. Geol. Reeks*, 2, (12):1-69.

THOMPSON, J. F. H. 1993. Application of deposit models to exploration. In Kirkham, Sinclair, Thorpe, Duke ed., *Mineral Deposit Modelling*, Geological Association of Canada Special Paper 40. 51-88 p.

TRÍFONOV, V. G. *et al.* 1981. *Mapa de los elementos estructurales de la provincia de Pinar del Río en base a los datos obtenidos por teledetección, 1:250.000, tema 314.10*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

TRÍFONOV, V. G. *et al.* 1981. *Mapa de los elementos estructurales de la parte más oriental de Cuba en base a los datos obtenidos por teledetección, 1:250.000, tema 314.10*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

VÁZQUEZ, C.; *et al.* 1993. *Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono CAME Las Villas III (Cuba-Bulgaria), provincia de Villa Clara, Santi-Spíritus y*

Ciego de Ávila, a escala 1:50.000. Empresa Geológica de Villa Clara (inédito): Fondo Geológico do Ministério da Indústria Básica, Havana, Cuba.

VELINOV, I.; GOROVA, M.; TCHOLAKOV, P.; TCHOUNEV, D.; IANEVA, I. 1983. Secondary quartzites developed after Cretaceous volcanic from Zaza Zone, Cuba. *Revista Geológica Balcânica*, Sofia. 13, 6, dezembro, p. 53-68.

VERGARA, M. L. L. 1971. *Manual de Fotogeología*. Serv. Public. de la Junta de Energía Nuclear, Madrid. 286 p.

VILLENA, M.; STRAZHEVICH, V. P. 1988. *Esquema fotogeológico, a 1:50.000, para el levantamiento geológico CAME, polígono Holguín*. Instituto de Geología e Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica. Inédito. Archivo do IGP, Havana.

VINK, A. P. A.; VERSTAPPEN, H. Th.; BOON D. A. 1965. *Some methodological problems in interpretation of Aerial Photographs for Natural Resources Surveys*. ITC Publication B32, Enschede, Holanda.

VOLSKOVA, G. I. et al. 1979. *Esquema de desciframiento geológico de las fotos cósmicas de las antiguas provincias de La Habana y Matanzas, a 1:500.000*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo do IGP, Ministério da Indústria Básica, Havana.

VTULOCHKIN, A. 1985. Mapa de interpretación geofísica, a escala 1:2.500.000. In Linares et al., TEXTO EXPLICATIVO AL MAPA GEOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DE CUBA, A ESCALA 1:500.000. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica. Material inédito. Archivo do IGP, Havana. 520 p..

WILSON, M. 1991. *Igneous Petrogenesis (A global tectonic approach)*. Harper Collins, 2 ed. 466 p..

WISE, D. H. 1982. Linesmanship and the practice of linear geo-art. *Geol. Soc. Am. Bull.* 93, (9): 886-888

WOLDAL, T. 1995. Lithologic and structural mapping in a vegetated low-relief terrain using multiple source remotely sensed data: a case study of the Calañas area in southwest Spain. *ITC Journal*. n 2, p 95-114.

YAKOVLEV, N. A.; SAJATOV, V. Z.; SKUVLOVA, N. V.; MARKOV, K. A. 1986. *Utilização das imagens cósmicas na análise de faixas dobradas*. 1 ed. Leningrado, Nedra. Em língua russa. 231 p.

ZALÁN, P. V. 1986. A tectônica transcorrente na exploração de petróleo: uma revisão. *Rev. Bras. Geoc.*, 16, (3): 245- 257.

ZARUVEZHGEOLOGIA 1991. *Mapas aeromagnéticos y aerogamma-espectrométricos, a escala 1:100.000, de los levantamientos aerogeofísicos de Cuba, período 1978-1990*. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica, Havana. Cuba, (inédito). Archivo do IGP.

ZARUVEZHGEOLOGIA. 1994. *Mapa aerogamma-espectrométrico de la República de Cuba, a escala 1:250.000, cuatro canales (K, U, Th, total)*. (Inédito). Archivo do Instituto de Geologia e Paleontologia, Ministério da Indústria Básica de Cuba, Havana.

ANEXOS

ANEXO 1. Resumo sobre a aplicação do sensoriamento remoto em Cuba.

A GEO-CUBA (fusão dos antigos Instituto Cubano de Geodésia e Cartografia e Instituto Cubano de Hidrologia) é a entidade nacional produtora de mapas aerofotogramétricos, fazendo parte desta um centro de pesquisas que realiza mapas temáticos, baseados em imagens aéreas e orbitais. O fornecimento de imagens de sensoriamento remoto de todo tipo e a impressão de mapas para outras entidades nacionais constituem também responsabilidades desse órgão. A cobertura aerofotográfica do país pode ser considerada boa, com vôos nacionais pancromáticos nas escalas 1:62.000 (Aero Service Corporation 1956) e 1:37.000 (projeto K-10 1970-71), assim como com atualizações na escala 1:30.000, e detalhamentos desde 1:25.000 até 1:5.000, de áreas prioritárias do ponto de vista econômico. Para todo o território nacional encontram-se também disponíveis ortofotomosaicos aéreos na escala 1:76.000 (Aero Service Corporation 1956), assim como em 1:50.000 (Projeto K-10 1972), para grande parte dele. Do mesmo modo, existem ortofotomosaicos aéreos e fotomapas nas escalas 1:25.000, 1:10.000 e 1:5.000 para áreas de prioridade econômica que apresentam um relevo não montanhoso. Em 1978 começaram a ser adquiridas as primeiras imagens de satélite, consistentes em reproduções fotográficas de algumas bandas p & b dos MSSs (*Landsat*), assim como fotografias multiespectrais e espectrozonais [duas camadas: visível (cyan) e infravermelho (magenta)] dos projetos Soyuz, Mir e outros, com resoluções espaciais de até 50 m, além de fotografias espectrozonais, feitas com a KFA-1000 (projeto MIR), existentes somente para a região oriental, com resolução espacial de 5 m. Na atual década de 90, a Geo-Cuba coordena vários projetos de pesquisa nacionais (uso de solos, ecologia, pesca, e outros) baseados no uso do Sensoriamento Remoto, pelos quais estão sendo fornecidas algumas imagens SPOT. Algumas das companhias estrangeiras que realizam prospecções de petróleo e minerais metálicos em Cuba usam imagens SPOT e TM nas suas pesquisas, sem participação, por enquanto, do pessoal do Serviço Geológico Nacional. No Instituto de Geologia e Paleontologia (I.G.P.) do Ministério da Indústria Básica, começam a ser desenvolvidos projetos de geologia ambiental e estudos estruturais baseados, em parte, no processamento digital de "rasterizações" de fotografias orbitais russas, e de bandas TM, doadas por colegas estrangeiros, das pequenas ilhas do NE do arquipélago e de Cuba Central. Pela via da doação adquiriu-se também imagens de radar do Seasat das regiões Escambray e Ilha da Juventude que ainda não foram analisadas. Em 1986, foi realizado um levantamento

Fig. A-1. 1. Cartograma dos trabalhos fotogeológicos desenvolvidos pelo Instituto de Geologia e Paleontologia, do Ministério da Indústria Básica de Cuba (1973-1993). (Vide Texto).

Fig. A-1. 2. Cartograma dos trabalhos temáticos desenvolvidos em Cuba, através do uso de imagens de satélite (1978-1993). (Vide Texto).

Fig. A-1. 3. Cartograma das imagens de satélite usadas no mapa cosmo geológico de Cuba, na escala 1:500.000. Modificado de Capote *et al.* 1989.

aéreo infravermelho térmico de zonas de Cuba Ocidental e a parte oeste de Cuba Central, segundo convênio Cuba-Polônia. Um dos objetos atingidos é de interesse geológico, a fonte de águas termo-sulfetadas Elguea e seus arredores, na parte oeste de Cuba Central.

O uso sistemático do S. R. na geologia de Cuba inicia-se em 1976 com os trabalhos fotogeológicos para mapeamento geológico e pesquisa mineral, feitos pelo atual Instituto de Geologia e Paleontologia do Ministério da Indústria Básica (Fig. A-1.1). No ano 1979 Makarov *et al.* começam no país o uso das imagens orbitais nas pesquisas geológicas (Fig. A-1. 2).

Nos trabalhos produzidos mediante fotografias de satélite, observam-se duas linhas principais nos procedimentos empregados: 1) uso exclusivo, ou quase exclusivo, das imagens orbitais; 2) uso das imagens orbitais como via para a generalização natural da informação geológica disponível e comparação dos resultados com os mapas geofísicos (A-1. 2). A figura A-1. 3 mostra um exemplo dos materiais orbitais usados na década de 80.

ANEXO 2. Resumo sobre os recursos minerais de Cuba.

O petróleo não é o único recurso mineral energético de Cuba. Seus mangues e restingas constituem reservatórios de turfa, sendo Ciénaga (Restinga) de Zapata o maior deles (Fig. 2. 3), onde tem-se inferido centenas de milhões de toneladas do minério seco (Coutín *et al.* 1987). No entanto, a extração de grandes quantidades dessa matéria significaria prejudicar irreversivelmente o ecossistema e o turismo da região, pelo que sua utilização apenas pode cumprir um papel secundário na vida do país.

As reservas de níquel encontradas dentro do manto de intemperismo das ultramáficas da parte NE de Cuba (Fig. 2. 3), constituem um 20% das reservas mundiais conhecidas desse metal (Kesler *et al.* 1990). Atualmente, sua extração, junto com o cobalto associado, representa o principal item da indústria mineira nacional. Por outro lado, relacionados com diversos níveis dentro do embasamento melanocrático, encontram-se pequenos corpos de cromitas, com variáveis teores de cromo, localizados nas regiões centro-oriental e oriental (Fonseca *et al.* 1984). Nas regiões centro-oriental e ocidental, diminutas acumulações de cobre-níquel têm sido vinculadas tanto ao complexo de diques de diabásios, como ao de cumulados (Fonseca *et al.* 1984).

As unidades terrígenas e terrígeno-carbonatadas dos fragmentos continentais sulinos (Fig. 2. 3) são hospedeiras de jazidas de sulfetos de cobre e polimetálicos, supostamente de origem exalativa-vulcanogênica (Lavandero *et al.* 1989), encontrando-se as acumulações mais importantes na parte oeste. Os calcários marmorizados e mármore das unidades carbonatadas constituem diversas jazidas de brita e blocos para ornamentação (Coutín *et al.* 1987).

Dentro das seqüências da margem continental norte-americana (Fig. 2. 3), têm sido encontradas acumulações de sulfetos de cobre dentro das rochas de sopé da parte ocidental de Cuba. No resto das seqüências da margem norte-americana é apenas conhecida uma abundante ocorrência de minerais não metálicos. Os calcários e dolomitos plataformais formam grandes reservas de materiais para construção e fertilizantes (corretores de pH do solo) (Coutín *et al.* 1987).

Os complexos vulcânicos e plutônicos do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo (Fig. 2. 3) são hospedeiros de pequenas jazidas e ocorrências de diferentes metais. A semelhança das diferenças petrológicas entre megablocos, já apontadas, existe um marcado contraste entre os

tipos mineralógicos metálicos desenvolvidos de um e do outro lado da Falha La Trocha (**Fig. 2. 3**). Em Cuba Central são dominantes os sulfetos maciços de cobre, do tipo Kuroko, enquanto em Cuba Centro-Oriental predominam os de ouro em veios, cobre-molibdênio porfíritico e ferro escarnítico (Lavandero 1994). Em Cuba Centro-Oriental têm sido reconhecidas também dentro do AIVC ocorrências de ouro epitermal (Escobar *et al.* 1988), o qual faz estabelecer uma possível correlação geológica, e conseqüentemente de favorabilidade, com a grande jazida aurífera Pueblo Viejo (quanto a tipo genético e em rochas vulcânicas de similar idade), na República Dominicana, explotada desde o início do século XVI.

No arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo têm sido encontradas também reservas de alguns minerais industriais, sendo especialmente notáveis suas jazidas de tufos ceolíticos.

Dentro do arco de ilhas do Paleógeno (**Fig. 2. 3**) são conhecidas acumulações de cobre (como El Cobre, a mina desse metal mais antiga das Américas), escarnito de ferro e manganês (Lavandero *et al.* 1989).

As bacias superpostas (Campaniano Superior-Eoceno Superior) (**Fig. 2. 3**) contêm grandes reservas medidas de matérias primas para fabricação de cimento, brita e outros produtos não-metálicos, enquanto na cobertura cenozóica (Eoceno Superior-Recente), existem depósitos de rochas fosfatadas para adubos, calcários para diferentes usos, sal gema, bem como margas, argilas e gesso, para cimento.

ANEXO 3

Materiais utilizados

DOCUMENTAÇÃO CONSULTADA.

Vários documentos topográficos, fotográficos e de natureza geológica foram levantados para a pesquisa.

Topográficos e fotográficos.

A base topográfica foi obtida em:

- Carta topográfica do Instituto Cubano de Geodésia e Cartografia (I.C.G.C.), na escala 1:250.000 (1979); Folhas: F-17-7 (Santa Clara), F-17-8 (Morón), F-17-11 (Morón), F-17-12 (Ciego de Ávila), F-17-16 (Cándido González), F-18-5 (Cayo Cruz), F-18-9 (Camagüey), F-18-13 (Bayamo).
- Carta topográfica do Instituto Cubano de Geodésia e Cartografia. (I.C.G.C), na escala 1:100.000 (1983); Folhas: 4381 (Sancti Spíritus), 4382 (Yaguajay), 4480 (Júcaro), 4481(Ciego de Ávila), 4482 (Morón), 4579 (Vertientes), 4580 (Florida), 4581 (Esmeralda), 4582 (Bolivia), 4679 (Batalla de Guisa), 4680 (Camagüey), 4681 (Alvarado), 4778 (Colombia), 4779 (Guáimaro), 4780 (Nuevitas), 4877 (Bayamo), 4878 (Tunas), 4879 (Puerto Padre).

Materiais fotográficos:

- Orto mosaicos aéreos, reduzidos à escala 1:100.000 no Instituto de Geodésia e Cartografia (I.C.G.C.) da escala 1:76.000 (Aero Service Corporation 1956). Papel fotográfico de brilho, contraste normal e peso simples.
- Fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:62.000 (Aero Service Corporation 1956). Impressas por contato; papel fotográfico de brilho, contraste normal e peso simples.
- Fotografia de satélite soviética (data: 27.06.84; hora: 16:45; altura: 270.4 Km; intervalo espectral: 0.70-0.85 nm; resolução espectral ≈ 50 m), ampliada à escala 1:250.0000; papel fotográfico de brilho, contraste normal e peso simples.

Documentos de natureza geológica.

Mapa geológico.

- de Cuba, na escala 1:1.000.000 (Núñez-Jiménez *et al.* 1962);
- de Cuba, na escala 1:1.500.00 (Linares *et al.* 1986);
- de Cuba, na escala 1:250.000 (Academias de Ciências de Cuba *et al.* 1989);

- geológico e de ocorrências minerais da região Martí-Tunas, na escala 1:100.000 (Shevchenko *et al.* 1979);
- integrado, na escala 1:100.000, da área Martí-Tunas (López-Krámer *et al.* 1990).
- unificado, na escala 1:100.000, da área de mapeamento Ciego-Casorro (Piñero *et al.* 1995);
- da jazida de ouro Florencia, na escala 1:2.000 (Molchanov *et al.* 1985);
- da zona Vidot-Siboney (Jagüey), na escala 1:2.000 (Escobar *et al.* 1993);
- do setor de ferro Palo-Seco, na escala 1:2.000 (Pimentel *et al.* 1992);
- do setor Gaspar, na escala 1:25.000 (Lugo *et al.* 1989);
- do setor Golden Hill, na escala 1:10.000 (Ochivnikov *et al.* 1983);
- do setor Cobre Guáimaro, na escala 1:2.000 (Fateliev *et al.* 1993);
- **Mapa tectônico**
- de Cuba, na escala 1:500.000 (Shein *et al.* 1984);
- de Cuba, na escala 1:500.000 (Pushcharovsky *et al.* 1989);
- da região Martí-Tunas, na escala 1:100.000 (Shevchenko *et al.* 1979);
- - estrutural unificado da área de mapeamento Ciego-Casorro, na escala 1:100.000 (Piñero *et al.* 1995);
- estrutural Las Villas III, na escala 1:100.000 (Despaigne *et al.*, in Vázquez *et al.* 1993);

Mapa cosmogeológico

- de Cuba, na escala 1:500.000 (Capote *et al.* 1989);
- da região Martí-Tunas, na escala 1:250.000 (Pérez, in López-Krámer *et al.* 1990).

Mapa fotogeológico

- da região Loma Jacinto, na escala 1:50.000 (Capote 1989a);
- da região Vertientes, na escala 1:50.000 (-- 1989b);
- da região Ciego-Corojo, escala 1:50.000 (--1989c);
- da zona Vidot-Siboney, escala 1:32.000 (-- 1989d).

Mapa geoquímico

- (anomalias exógenas por metalometria) da região Martí-Tunas, na escala 1:100.000 (Shevchenko *et al.* 1979);
- unificado de anomalias endógenas e anomalias exógenas por corrente e bateia do território Ciego-Casorro, na escala 1:100.000 (González *et al.*, in Piñero *et al.* 1995).

Mapa metalogenético

- da República de Cuba, na escala 1:500.000 (Vários autores 1991);

Mapa de ocorrência mineral,

- não metálica e combustível de Cuba, na escala 1:500.000 (Coutín *et al.* 1987);
- metálica e de águas minerais e medicinais, na escala 1:500.000 (Lavandero *et al.* 1989);
- unificado do território Ciego-Casorro, na escala 1:100.000 (Setién 1995).

Mapa geofísico,

- Magnetométrico unificado de Cuba, na escala 1:250.000 (Llufriú *et al.* 1994);
- gama-espectrométrico dos polígonos de levantamento aerogeofísico, na escala 1:250.000 (Zaruvzhgeologia, 1994);

Anexo 4. Mapa mosaico tectono-estrutural do território Yaguajay-Tunas, em Cuba Centro-Oriental. (Encontra-se no envelope da contra-capá).

Anexo 5. Tabelas estatísticas e de cálculo do OIF.

Tabela A-5. 1. Resumo das estatísticas dos seis canais de reflexão do arquivo Cuba 12, centro-sul.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
<u>Mínimo</u>	11,000	12,000	9,000	10,000	3,000	1,000
<u>Máximo</u>	255,000	160,000	191,000	191,000	255,000	255,000
<u>Média</u>	76,211	34,552	34,352	80,939	87,676	31,967
<u>Mediana</u>	75,000	35,000	32,000	83,000	88,000	30,000
<u>Desvio Padrão</u>	7,629	5,125	8,768	22,775	30,506	14,704
<u>Coef. de correlação</u>						
Banda 1	1,000	0,876	0,784	-0,208	0,355	0,499
Banda 2	0,876	1,000	0,877	0,080	0,556	0,617
Banda 3	0,784	0,877	1,000	-0,044	0,719	0,835
Banda 4	-0,208	0,080	-0,044	1,000	0,409	0,129
Banda 5	0,355	0,556	0,719	0,409	1,000	0,926
Banda 7	0,499	0,617	0,835	0,129	0,926	1,000
<u>Matriz de covariância</u>						
Banda 1	58,196	34,232	52,451	-36,114	82,536	55,931
Banda 2	34,232	26,263	39,406	9,349	86,978	46,503
Banda 3	52,451	39,406	76,883	-8,862	192,344	107,685
Banda 4	-36,114	9,349	-8,862	518,698	284,136	43,248
Banda 5	82,536	86,978	192,344	204,136	960,634	415,473
Banda 7	55,931	46,503	107,685	43,248	415,473	216,202

Tabela A-5. 2. Resumo das estatísticas dos seis canais de reflexão do arquivo Cuba 13 sudeste.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
<u>Mínimo</u>	35,000	10,000	6,000	1,000	1,000	1,000
<u>Máximo</u>	151,000	80,000	117,000	189,000	192,000	255,000
<u>Média</u>	48,466	20,102	18,986	54,487	59,402	19,575
<u>Mediana</u>	48,000	20,000	19,000	55,000	58,000	19,000
<u>Desvio Padrão</u>	4,097	3,044	5,071	11,173	15,356	7,318
<u>Coef. de correlação</u>						
Banda 1	1,000	0,880	0,889	0,091	0,620	0,707
Banda 2	0,880	1,000	0,877	0,258	0,619	0,645

Banda 3	0,889	0,877	1,000	-0,005	0,704	0,805
Banda 4	0,091	0,258	-0,005	1,000	0,283	0,002
Banda 5	0,620	0,619	0,704	0,283	1,000	0,889
Banda 7	0,707	0,645	0,805	0,002	0,889	1,000
<u>Matriz de covariância</u>						
Banda 1	16,786	10,972	18,467	4,147	38,975	21,191
Banda 2	10,972	9,267	13,541	8,787	28,944	14,379
Banda 3	18,467	13,541	25,720	-0,259	54,811	29,892
Banda 4	4,147	8,787	-0,259	124,832	48,634	0,163
Banda 5	38,975	28,944	54,811	48,634	235,796	99,861
Banda 7	21,191	14,379	29,892	0,163	99,861	53,553

Tabela A-5. 3. Resumo das estatísticas dos seis canais de reflexão do arquivo Cuba 13 oeste.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
<u>Mínimo</u>	2,000	8,000	4,000	1,000	1,000	1,000
<u>Máximo</u>	240,000	121,000	145,000	197,000	255,000	255,000
<u>Média</u>	53,918	22,029	19,975	42,263	46,921	17,055
<u>Mediana</u>	51,000	21,000	19,000	50,000	53,000	16,000
<u>Desvio Padrão</u>	7,371	4,785	6,890	19,906	26,139	10,475
<u>Coef. de correlação</u>						
Banda 1	1,000	0,894	0,674	-0,271	-0,016	0,117
Banda 2	0,894	1,000	0,818	-0,025	0,181	0,261
Banda 3	0,674	0,818	1,000	0,164	0,566	0,658
Banda 4	-0,271	-0,025	0,164	1,000	0,693	0,452
Banda 5	-0,016	0,181	0,566	0,693	1,000	0,922
Banda 7	0,117	0,261	0,658	0,452	0,922	1,000
<u>Matriz de covariância</u>						
Banda 1	54,337	31,540	34,248	-39,785	-3,076	9,008
Banda 2	31,540	22,896	26,961	-2,345	22,667	13,099
Banda 3	34,248	26,961	47,479	22,549	101,979	47,459
Banda 4	-39,785	-2,345	22,549	396,238	360,757	94,250
Banda 5	-3,076	22,667	101,979	360,757	683,229	252,505
Banda 7	9,008	13,099	47,459	94,250	252,505	109,716

Tabela A-5. 4. Resumo das estatísticas dos seis canais de reflexão do arquivo Cuba 14 sudeste.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
<u>Mínimo</u>	20,000	9,000	4,000	1,000	1,000	1,000
<u>Máximo</u>	255,000	174,000	209,000	190,000	255,000	255,000
<u>Média</u>	54,332	22,032	21,393	40,321	53,950	21,572
<u>Mediana</u>	52,000	22,000	21,000	45,000	56,000	21,000
<u>Desvio Padrão</u>	6,797	4,614	8,059	15,460	25,512	11,811
<u>Coef. de correlação</u>						
Banda 1	1,000	0,849	0,747	0,045	0,392	0,512
Banda 2	0,849	1,000	0,910	0,387	0,614	0,659
Banda 3	0,747	0,910	1,000	0,368	0,782	0,837
Banda 4	0,045	0,387	0,368	1,000	0,561	0,350
Banda 5	0,392	0,614	0,782	0,561	1,000	0,932
Banda 7	0,512	0,659	0,837	0,350	0,932	1,000
<u>Matriz de covariância</u>						
Banda 1	46,197	26,631	40,922	4,728	67,919	41,127
Banda 2	26,631	21,289	33,834	27,602	72,307	35,912
Banda 3	40,922	33,834	64,952	45,812	160,687	79,656
Banda 4	4,728	-27,602	45,812	238,996	221,207	63,841
Banda 5	67,919	72,307	160,687	221,207	650,842	280,839
Banda 7	41,127	35,912	79,656	63,841	280,839	139,499

Foram calculados os seguintes valores de OIF para os diferentes arquivos de dados.

Tabela A-5. 5. Valores do OIF do arquivo Cuba 12 centro-sul. (Os primeiros dois valores maiores estão realçados).

Banda	Desvio-Padrão	Par	Coef. de Correlação	Triplete	O I F
B1 =	7,629	1 - 2 =	0,87600	2/1/3 =	8,4832
B2 =	5,125	1 - 3 =	0,78400	2/1/4 =	47,499
B3 =	8,768	1 - 4 =	-0,20800	2/1/5 =	24,208
B4 =	22,775	1 - 5 =	0,35500	2/1/7 =	13,784
B5 =	30,506	1 - 7 =	0,49900	3/1/4 =	73,632
B7 =	14,704	2 - 3 =	0,87700	3/1/5 =	25,244
		2 - 4 =	0,08000	3/1/7 =	7,7417
		2 - 5 =	0,55600	4/1/5 =	109,55 (1°)

2 - 7 =	0,61700	4/1/7 =	107,40 (2°>)
3 - 4 =	-0,04400	5/1/7 =	29,685
3 - 5 =	0,71900	3/2/4 =	40,162
3 - 7 =	0,83500	3/2/5 =	20,632
4 - 5 =	0,40900	3/2/7 =	12,279
4 - 7 =	0,12900	4/2/5 =	55,891
5 - 7 =	0,92600	4/2/7 =	51,579
		5/2/7 =	16,975
		4/3/5 =	57,241
		4/3/7 =	50,268
		5/3/7 =	21,765
		5/4/7 =	46,438

Tabela A-5. 6. Valores do OIF do arquivo Cuba 13 sudeste. (Os primeiros dois valores maiores estão realçados).

Banda	Desvio-Padrão	Par	Coef. de Correlação	Triplete	O I F
B1 =	4,097	1 - 2 =	0,88000	2/1/3 =	4,615
B2 =	3,044	1 - 3 =	0,88900	2/1/4 =	14,902
B3 =	5,071	1 - 4 =	0,09100	2/1/5 =	10,617
B4 =	11,173	1 - 5 =	0,62000	2/1/7 =	6,478
B5 =	15,356	1 - 6 =	0,70700	3/1/4 =	20,863
B7 =	7,318	2 - 3 =	0,87700	3/1/5 =	11,082
		2 - 4 =	0,25800	3/1/7 =	3,8184
		2 - 5 =	0,61900	4/1/5 =	30,811 (2°>)
		2 - 6 =	0,64500	4/1/7 =	28,235
		3 - 4 =	-0,00500	5/1/7 =	12,081
		3 - 5 =	0,70400	3/2/4 =	17,069
		3 - 6 =	0,80500	3/2/5 =	10,669
		4 - 5 =	0,28300	3/2/7 =	6,632
		4 - 6 =	0,00200	4/2/5 =	25,494
		5 - 6 =	0,88900	4/2/7 =	23,796
				5/2/7 =	8,546
				4/3/5 =	32,179 (1°>)
				4/3/7 =	29,379
				5/3/7 =	11,570
				5/4/7 =	28,830

Tabela A-5. 7. Valores do OIF do arquivo Cuba 13 oeste. (Os primeiros dois valores maiores estão realçados)

Banda	Desvio-Padrão	Par	Coef. de Correlação	Triplete	O I F
B1 =	7,371	1 - 2 =	0,89400		2/1/3 = 7,9824
B2 =	4,785	1 - 3 =	0,67400		2/1/4 = 53,615
B3 =	6,890	1 - 4 =	-0,27100		2/1/5 = 36,161
B4 =	19,906	1 - 5 =	-0,01600		2/1/7 = 17,792
B5 =	26,139	1 - 7 =	0,11700		3/1/4 = 60,259
B7 =	10,475	2 - 3 =	0,81800		3/1/5 = 33,007
		2 - 4 =	-0,02500		3/1/7 = 9,8420
		2 - 5 =	0,18100		4/1/5 = 131,57 (1 ^{>})
		2 - 7 =	0,26100		4/1/7 = 126,68 (2 ^{>})
		3 - 4 =	0,16400		5/1/7 = 42,996
		3 - 5 =	0,56600		3/2/4 = 33,000
		3 - 7 =	0,65800		3/2/5 = 24,162
		4 - 5 =	0,69300		3/2/7 = 12,752
		4 - 7 =	0,45200		4/2/5 = 59,870
		5 - 7 =	0,92200		4/2/7 = 51,113
					5/2/7 = 22,672
					4/3/5 = 37,200
					4/3/7 = 29,255
					5/3/7 = 20,272
					5/4/7 = 27,344

Tabela A-5.8 Valores do OIF do arquivo Cuba 14 sudeste. (Os primeiros dois valores maiores estão realçados).

Banda	Desvio-Padrão	Par	Coef. de Correlação	Triplete	O I F
B1 =	6,797	1 - 2 =	0,84900		2/1/3 = 7,7694
B2 =	4,614	1 - 3 =	0,74700		2/1/4 = 20,977
B3 =	8,059	1 - 4 =	0,04500		2/1/5 = 19,905
B4 =	15,46	1 - 5 =	0,39200		2/1/7 = 11,496
B5 =	25,512	1 - 7 =	0,51200		3/1/4 = 26,134
B7 =	11,811	2 - 3 =	0,91000		3/1/5 = 21,014
		2 - 4 =	0,38700		3/1/7 = 7,0878
		2 - 5 =	0,61400		4/1/5 = 47,865 (1 ^{>})
		2 - 7 =	0,65900		4/1/7 = 37,561 (2 ^{>})

3 - 4 = 0,36800
3 - 5 = 0,78200
3 - 7 = 0,83700
4 - 5 = 0,56100
4 - 7 = 0,35000
5 - 7 = 0,93200

5/1/7 = 24,031
3/2/4 = 16,897
3/2/5 = 16,559
3/2/7 = 10,176
4/2/5 = 29,184
4/2/7 = 22,840
5/2/7 = 13,663
4/3/5 = 28,656
4/3/7 = 22,720
5/3/7 = 17,790
5/4/7 = 28,640

Anexo 6. Mapa fotogeológico magmático-estrutural do território de estudo. (Encontra-se no envelope da contra-capa, em duas folhas).

Anexo 7. Mapas generalizados preliminares, para os mapas de indicadores das áreas do arco cretácico.

Fig. A-7.1 (pág. XX): Área Golden. Mapa generalizado de aero-gama espectrometria (K).

Fig. A-7.2. (pág. XXI): Área Golden. Mapa generalizado geoquímico.

Fig. A-7.3. (pág. XXII): Área Golden. Mapa da drenagem.

Fig. A-7.4. (pág. XXIII): Área Camagüey. Mapa generalizado geoquímico.

Fig. A-7.5. (Pág. XXIV): Área Ciego - Florida. Mapa generalizado geoquímico.

Fig. A-7. 1. Área Golden. Mapa generalizado de aero-gama-espectrometria.

Fig. A-7. 2. Área Golden. Mapa generalizado geoquímico.

Fig. A-7. 3. Área Golden. Mapa da drenagem.

Fig. A-7. 4. Área Camagüey. Mapa generalizado geoquímico.

Fig. A-7. 5. Área Ciego-Florida. Mapa generalizado geoquímico.

LEGENDA

OFIOLITOS (Mesozóico)

- Complexo peridotítico
- Zona de transição
- Complexo cumulativo
- Formação de dois paralelos

MARGEM CONTINENTAL NORTE-AMERICANA

- Sequências de plataforma; calcários e dolomitos (Cretáceo Inferior, Aptiano - Cretáceo Superior, Senoniano) (K_1^{cp} - K_2^{cp})
- Sequências de talude; calcários e shales (Jurássico Superior, Titoniano - Cretáceo Superior, Maastrichtiano) (J_3^{cp} - K_2^{cp})

SEQUÊNCIAS OROGENÉTICAS

- Sequências de bacia superposta (Cretáceo Superior, Campaniano - Eoceno Superior (baixo) (K_2^{cp} - P_2^{3a}))
- Sequências olistostromáticas (Paleoceno Médio) (P_2^1)

COBERTURA CENOZÓICA

- Eoceno Superior (médio) - Neogeno - Quaternário (P_2^{3b} - N - Q)

ARCO DE ILHAS VULCÂNICAS DO CRETÁCEO

(ÁREA CIEGO-LASTUNAS)

COMPLEXO EFUSIVO

- Vulcanitos andesito-basálticos (Cretáceo Superior, Cenomaniano-Turoniano) (K_2^{cp-1})

- Piroclastos andesito-dacítico-basálticos (K_2^{cp} Santoniano-Campaniano) (K_2^{cp-2})

- Vulcanitos dacítico-andesíticos (K_2^{cp})

- Piroclastos dacítico-andesíticos (K_2^{cp})

- Ignimbritos (?)

- Corpos subvulcânicos

COMPLEXO PLUTÔNICO (K_2^{cp})

- Complexo granodiorítico

- Complexo gabro-sienítico

- Complexo gabro-plagiogranítico

- Granitos "Maraguá"

- Gabros (?)

- Enxame de diques

(ÁREA LAS VILLAS)

SEQUÊNCIAS VULCÂNICAS INFERIORES (K_1)

- Sequências vulcânicas superiores (K_2)

- Granodioritos (K_2)

ESTRUTURAS

SIN-ARCO

- Falha (a - regional, b - local)

- Estrutura anelar magmática

- Caldaria

PÓS-ARCO

- Falhas

- cavalgamento ou inversa (orogênica)

- de ângulo abrupto, de longa-vida

- de ângulo abrupto, neotectônica

Estruturas anelares neotectônicas

- antiforme

- sinforme

- indeferenciada

OUTROS

ALTERAÇÃO HIDROTÉRMICA OU METASOMÁTICA, FOTOINTERPRETADA

- Metamorfismo de contato

OUTROS SÍMBOLOS

- contato litológico a - comprovado, b - inferido

- direção das camadas

Mapa fotogeológico, magmático-estrutural, do território de estudo.

ESCALA

Anexo 4

Mapa mosaico tecto-estrutural do território "Yaguajay-Tunas", nas regiões central e centro-oriental de Cuba

Nota geral: As simplificações feitas a partir dos mapas originais devem-se: 1) ao objetivo principal deste mapa mosaico, apresentar as feições regionais estruturais principais interpretadas pelos diferentes grupos de mapeamento; 2) à redução da escala.

Os mapas originais disponíveis são cópias em uso (em papel heliográfico, coloridas a mão e dobradas), o qual pode ter originado diversos tipos de erro

Escala 1:250 000

0 10 20 Km

CORTE PELA LINHA I - II; PIÑERO et al. 1995

Linha I - II

10

LEGENDA

[adaptada, do mapa tectónico (1:100 000) do mapeamento geológico "Martí-Tunas", SHEVCHENCO et al. 1979]

A) ESTRUTURAS PULCATIVAS

I. PISO ESTRUTURAL INFERIOR (CRETACEO-PALEOGENO)

parte proximal do eixo do anticlinal

franco norte do anticlinal

TANA (CANARIO) ELIA (BERROCAL)

MEGACALCO "MARTÍ"

BLOCO "SIRVEN" (HORMIGUERO)

MEGACALCO "MEJIAS"

BLOCO SUPERPOSTO "BARTLE"

II. PISO ESTRUTURAL SUPERIOR (OLIGOCENO-QUATERNARIO)

depressão íntima

franco norte da depressão "Cauda"

depressão "Berrocal", tipo greben

B) FORMAÇÕES MAGMÁTICAS

I) EFUSIVAS

fácies de chaminé

fácies de manto

IGNIMÉRICAS

fácies de chaminé

fácies proclásticas

II) SUBVULCÂNICAS

El Estrecho "Sibancú"

Stock "Guilmaro"

III) INTRUSIVAS

El Estrecho "Sibancú"

Stock "Guilmaro"

C) DESLOCAMENTOS TECTÔNICOS

I. NO SUBSTRATO (por onde se supõe de formação)

falhas controladoras do vulcanismo sereno

falhas com deslocamento no Eoceno

falhas de longa vida (desde o Oligoceno-Mioceno até o Recente)

falhas de idade Eoceno-Mioceno-Oligoceno

D) OUTROS SÍMBOLOS

I. PALEOESTRUTURAS VULCÂNICAS (PEV)

ELIA (CANARIO)

BERROCAL

SIRVEN (HORMIGUERO)

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN

MEJIAS

BARTLE

SIBANCÚ

GUILMARO

CANARIO

ELIA

BERROCAL

SIRVEN