

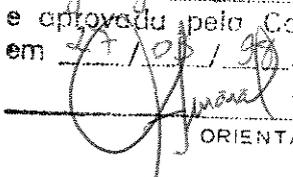
UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS EXTRAÍDOS DE
IMAGEM LANDSAT-TM DA PORÇÃO NORTE DO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Giórgio Benedito Sartorato

Este exemplar corresponde a
redação final da tese defendida
por Giórgio Benedito Sartorato
e aprovada pela Comissão Julgadora
em 27/05/98.

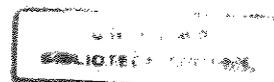

ORIENTADOR

Campinas, São Paulo

fevereiro de 1998

Sa77a

35666/BC





UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS EXTRAÍDOS DE
IMAGEM LANDSAT-TM DA PORÇÃO NORTE
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Geociências – Área de Metalogênese e Geoquímica.

Autor: Giórgio Benedito Sartorato

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

Co-Orientadora: Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati

CAMPINAS - SÃO PAULO

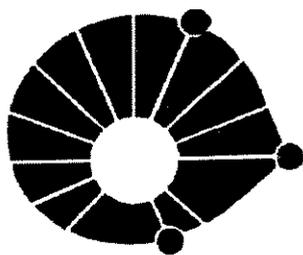
MARÇO - 1998

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA I.G. UNICAMP

Sa77a Sartorato, Giórgio Benedito
Análise estatística de lineamentos extraídos de imagem
LANDSAT-TM da porção Norte do Quadrilátero Ferrífero, Minas
Gerais / Giórgio Benedito Sartorato.- Campinas, SP.: [s.n],
1998.

Orientador: Gilberto Amaral
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Geociências

1. Geologia - Quadrilátero Ferrífero. 2. Minas e Recursos
Minais. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Análise Estatística.
5. Processamento de imagem - Técnicas Digitais. 6. Ouro.
I. Amaral, Gilberto. II. Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Geociências. III. Título.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

AUTOR: GIÓRGIO BENEDITO SARTORATO

TÍTULO: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS EXTRAÍDOS DE IMAGEM
LANDSAT-TM DA PORÇÃO NORTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

ORIENTADOR: PROF. DR. GILBERTO AMARAL

Aprovada em: ____ / ____ / 1998

Presidente: Gilberto Amaral

Examinadores:

Prof Dr. Gilberto Amaral - Presidente

Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

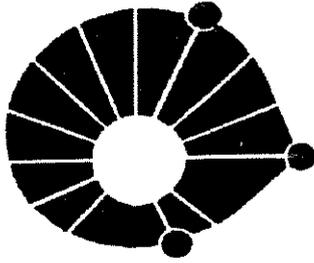
Prof. Dr. Job Jesus Batista

Campinas, de de 1998.

AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho, algumas pessoas e entidades merecem ser lembradas. São elas:

- Conselho Nacional de Pesquisas Científicas (CNPq) pelo apoio financeiro concedido durante o período de realização deste trabalho;
- Professores e funcionários do Instituto de Geociências da UNICAMP;
- Orientador Prof. Dr. Gilberto Amaral, pela ética, espírito científico, incentivo e amizade com as quais norteou este trabalho;
- Geólogos Paulo F. R. Pires, Guilherme H. S. Kroll, Márcio A. D. Ferrari, companheiros antigos....;
- Geólogos Enrico C. Pedroso e Ricardo A. Hortensi, pelo companheirismo nos momentos de conclusão deste trabalho;
- Geólogo e amigo Neivaldo A. Castro, pelas discussões científicas e apoio dado durante todo este período;
- Geóloga Giane F. Valles, pelo incentivo dado no decorrer deste trabalho;
- Meus pais e irmãos, com os quais eu sempre pude contar... À eles minha eterna gratidão...



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS EXTRAÍDOS DE IMAGEM
LANDSAT-TM DA PORÇÃO NORTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO,
MINAS GERAIS**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

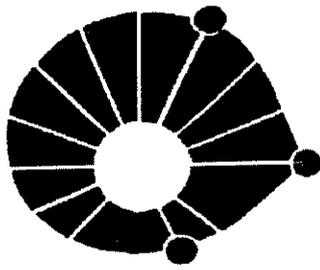
Giórgio Benedito Sartorato

A extração de lineamentos de produtos de sensoriamento remoto é uma técnica que pode auxiliar a caracterização preliminar de possíveis áreas mineralizadas em nível regional. Uma análise estatística de lineamentos permite, além de um simples controle destes, uma correlação entre os diversos parâmetros analisados e possíveis áreas mineralizadas em ambientes semelhantes.

A área utilizada como modelo para esta análise situa-se na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, e é constituída pelo embasamento granito-gnáissico e rochas correlacionadas aos Supergrupos Rio das Velhas, Minas e Espinhaço. Nesta região há importantes minas de Au e Fe.

Os lineamentos obtidos a partir do tratamento de imagem digital LANDSAT-TM, foram extraídos independentemente de seu comportamento dúctil ou rúptil. A partir da análise estatística destes, procurou-se correlacionar os resultados obtidos com as principais características geológicas e ocorrências de minas na região. A base geológica-estrutural utilizada foi gerada a partir da compilação de trabalhos de mapeamento executados no Quadrilátero Ferrífero (vide mapa anexo).

Constatou-se a existência de três direções preferenciais para os lineamentos observados. A primeira (NE-SW) teria características dúcteis (acamamento regional); a segunda (NW-SE) é intensamente observada na área, e muito provavelmente, o evento que os gerou, teria alguma relação com o principal controle estrutural das principais minas (características dúcteis); o terceiro grupo (E-W) é muito bem evidenciado no mapa anexo, mas, na imagem, este "trend" não é bem observado. Estão provavelmente relacionados ao Brasileiro.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

**STATISTICAL ANALYSIS OF LINEAMENTS EXTRACTED FROM
LANDSAT-TM IMAGES OF THE NORTHERN PORTION OF THE
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS.**

ABSTRACT

MASTER THESIS

Giórgio Benedito Sartorato

Lineament extraction from remote sensing products is an important technique that can help the preliminar regional characterization of potential mineralized areas. Besides its own basic control, the lineament statistical analysis allows the establishment of a correlation between the parameters gathered and different mineralized areas in similar geologic environments.

The area taken as a model for the analysis proposed lies on the northern portion of the Quadrilátero Ferrífero region and comprises the granitic-gneiss Archaean basement and the Proterozoic rocks of the Supergrupo Rio das Velhas, Minas and Espinhaço lithoestratigraphical units which have expressive iron and gold deposits.

The lineaments attained by digital treatment of the Landsat image were extracted independently of its ductile or brittle behaviour. The results obtained by statistical analysis procedures were correlated to the main geological features and mineral deposits of the region. The geologic-structural map utilized was made by compiling the main geological mapping projects developed in the Quadrilátero Ferrífero region (see map attached).

Three main structural directions were evidenced by lineament interpretation. The first one, with NE-SW direction have ductile properties (regional bedding). The second one (NW-SE) is intensively observed in the area and the event which generated this linear features is probably associated with the same event that generated the structural control of the mines which have ductile characteristics. Finally, the third group with E-W direction is very well enhanced in the map attached but not in the Landsat image. They are probably related to the Brasiliano geotectonic event.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização geográfica da área de estudo.....	3
Figura 1.2 – Delimitação atualizada e significado dos limites do Cráton do São Francisco (extraído de Alkmim et al., 1991).....	5
Figura 1.3 – Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero (segundo Ladeira, 1980).....	6
Figura 1.4 – Esboço estrutural do Quadrilátero Ferrífero (extraído de Chemale Jr. et al. 1991).....	13
Figura 2.1 – Articulação das folhas e principais projetos utilizados.....	20
Figura 2.2 – Mapa geológico simplificado da porção norte do Quadrilátero Ferrífero (segundo CPRM,1994).....	24
Figura 2.3 – Visão geral da área enfocada através de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5.....	26
Figura 2.4 – Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM (PC1 3,4,5 e banda 5).....	27
Figura 2.5 – Lineamentos (em vermelho) extraídos de imagem LANDSAT-TM (banda 5).....	28
Figura 2.6 – Lineamentos (em vermelho) extraídos de imagem LANDSAT-TM (PC1 3,4,5).....	29
Figura 2.7 – Adição vetorial.....	32
Figura 3.1 – Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM sobrepostos a medidas de foliação.....	38
Figura 3.2 – Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM sobrepostos a medidas de acamamento.....	40
Figura 3.3 – Imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 com sobreposição de vetores (feições geológico-estruturais).....	41
Figura 3.4 – Sobreposição de dados geológico-estruturais sobre imagem LANDSAT-TM para a área de Gongo Sôco.....	43
Figura 3.5 – Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 para a região de Gongo Sôco.....	44
Figura 3.6 – Sobreposição de dados geológico-estruturais sobre imagem LANDSAT-TM para a área do Sinclinal de Gandarela.....	45
Figura 3.7 – Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 para a área do Sinclinal de Gandarela.....	46
Figura 3.8 – Mapa esquemático ilustrando a localização das principais minas do Quadrilátero Ferrífero.....	54
Figura 3.9 – Comprimento total / célula.....	55
Figura 3.10 – Número de linhas / célula.....	56
Figura 3.11 – Azimute simples.....	57
Figura 3.12 – Azimute ponderado.....	58
Figura 3.13 – Resultante simples.....	59
Figura 3.14 – Resultante ponderada.....	60
Figura 3.15 – Razão de consistência simples.....	61
Figura 3.16 – Razão de consistência ponderada.....	62
Figura 3.17 – Desvio padrão simples.....	63
Figura 3.18 – Desvio padrão ponderado.....	64
Figura 3.19 – Densidade de fraturamento (km/km ²).....	65
Figura 3.20 – Frequência de linhas (n/km ²).....	66
Figura 3.21 – Número de intersecções.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resultados estatísticos da área enfocada.....	48
Tabela 3.2 – Número e comprimento dos lineamentos em função dos limites de azimute.....	50
Tabela 3.3 – Principais parâmetros estatísticos para cada célula.....	51
Tabela 3.4 – Relação das principais minas com os parâmetros estatísticos.....	68

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Lista de figuras.....	iv
Lista de tabelas.....	v
1-INTRODUÇÃO.....	1
1.1-Colocação do problema.....	1
1.2-Objetivos.....	1
1.3-Localização da área.....	2
1.4-Justificativa para escolha da área.....	2
1.5-Geologia do Quadrilátero Ferrífero.....	4
1.5.1-Aspectos litoestratigráficos.....	4
1.5.1.1-Complexos granito-gnáissicos.....	7
1.5.1.2-Supergrupo Rio das Velhas.....	7
1.5.1.3-Supergrupos Minas e Espinhaço.....	9
1.5.1.4-Grupo Itacolomí.....	10
1.5.2-Aspectos Estruturais.....	11
1.5.3-Aspectos Evolutivos.....	14
1.5.4-Recursos Minerais.....	17
2-MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
2.1-Materiais.....	19
2.1.1-Mapas geológicos.....	19
2.1.2-Folhas topográficas.....	19
2.1.3-Dados Digitais.....	21
2.1.4-Equipamentos.....	21
2.1.5-Programas.....	21
2.2-Métodos.....	21
2.2.1-Geração e atualização de arquivos digitais.....	22
2.2.2-Extração e análise estatística de lineamentos.....	23
2.2.2.1-Extração de lineamentos.....	23
2.2.2.2-Fundamentos estatísticos.....	30
2.2.2.3-Análise estatística de lineamentos.....	34
3-RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
3.1-Resultados obtidos a partir da geração de arquivos de dados.....	36
3.1.1-Correlação contexto geológico/lineamentos.....	36
3.2-Resultados obtidos a partir do processamento e interpretação de imagens digitais LANDSAT-TM.....	39
3.3-Resultados obtidos a partir da análise estatística de lineamentos.....	47
4-CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

O atual estágio evolutivo em que se encontra a informática no campo das ciências geológicas, permite a análise de grande volume de dados, quando se deseja estudar determinadas áreas.

Deste modo, os seguintes problemas podem ser colocados, a princípio, quando se trabalha em áreas como a enfocada, a qual abrange a porção norte do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais:

- falta de uma maior integração do grande volume de dados disponíveis, sejam eles mapas geológicos-estruturais, e/ou produtos de sensoriamento remoto, que possibilitem uma rápida visualização e melhor interpretação em nível regional;
- abundância na literatura de trabalhos que simplesmente apresentam mapas de lineamentos extraídos de produtos de sensoriamento remoto, sobre bases geológicas, destituídos de análises mais profundas sobre seu significado;

Fazendo-se uso do estágio evolutivo em que se encontra a informática na geologia, como referido anteriormente, tentar-se-á dar alguma contribuição metodológica para a manipulação das fontes de informações citadas acima, as quais, por conseguinte, fornecem importantes subsídios para o conhecimento geológico regional e mineralizações associadas.

1.2 - OBJETIVOS

Os objetivos deste projeto são:

- 1- integrar, a partir da digitalização, mapas de fontes distintas, os quais encerram grande volume de informações geológico-estruturais disponíveis;
- 2- testar técnicas de processamento digital de imagens, visando uma extração mais apurada dos lineamentos observados;
- 3- gerar mapas de lineamentos a partir de produtos de sensoriamento remoto, analisá-los estatisticamente através de programas desenvolvidos para esta finalidade e interpretá-los sob o enfoque estrutural e metalogenético;

- 4- elaborar um modelo de análise integrada das informações geradas e acima citadas, fornecendo subsídios para uma análise do potencial metalogenético e aspectos geológicos regionais;
- 5- criar metodologias para projetos a serem realizados em áreas geológicas semelhantes.

1.3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está localizada na porção central do Quadrilátero Ferrífero (MG), sendo balizada pelas cidades de Belo Horizonte, Antonio dos Santos, São Sebastião das Águas Claras e Conceição do Rio Acima, abrangendo uma superfície total de aproximadamente 3500 Km².

Seus limites estão definidos pelos paralelos 19°45' e 20°7'30' de latitude sul e pelos meridianos 43°30'00'' e 44°00' de longitude oeste. Abrange na íntegra 11 folhas, escala 1:25.000, conforme esquema abaixo. No contexto geográfico sua localização pode ser visualizada na figura 1.1. Em termos geotectônicos, o Quadrilátero Ferrífero está inserido no extremo sul do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977), conforme figura 1.2.

1.4 - JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DA ÁREA

Entre os fatores que justificam a escolha da área, destacam-se:

- bom conhecimento da região do Quadrilátero Ferrífero, sob o ponto de vista geológico, com grande disponibilidade de material bibliográfico e de mapas de detalhe e regionais, os quais necessitam de uma maior integração.
- grande importância da área, em virtude das muitas ocorrências e minas de Au (Supergrupo Rio das Velhas) e Fe, Au e Mn (Supergrupo Minas);
- Grande disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto, como mosaicos semicontroladores de radar de visada lateral (Projeto RADAMBRASIL), fotografias aéreas e imagens LANDSAT (em papel e digital);
- boa disponibilidade de dados geofísicos (aeromagnetométricos) seja no formato analógico e/ou digital.

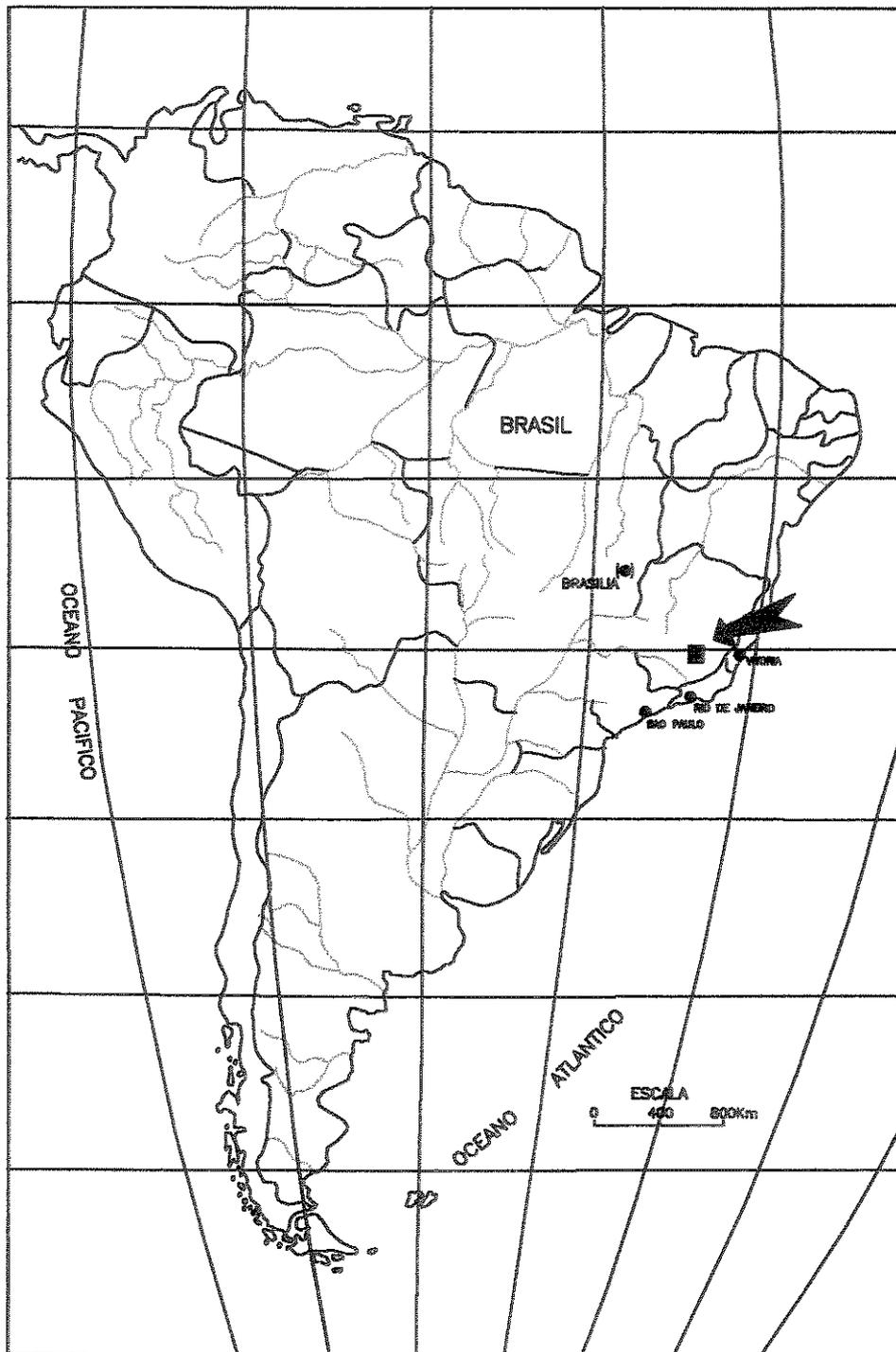


Figura 1.1-Localização geográfica da área de estudo.

Assim sendo, a combinação dos fatores acima, isto é, a abundância de estudos geológicos e a variedade de produtos gerados a partir destes estudos, tornam esta área especialmente favorável para trabalhos como o proposto.

1.5 - GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

1.5.1 - ASPECTOS LITOESTRATIGRÁFICOS

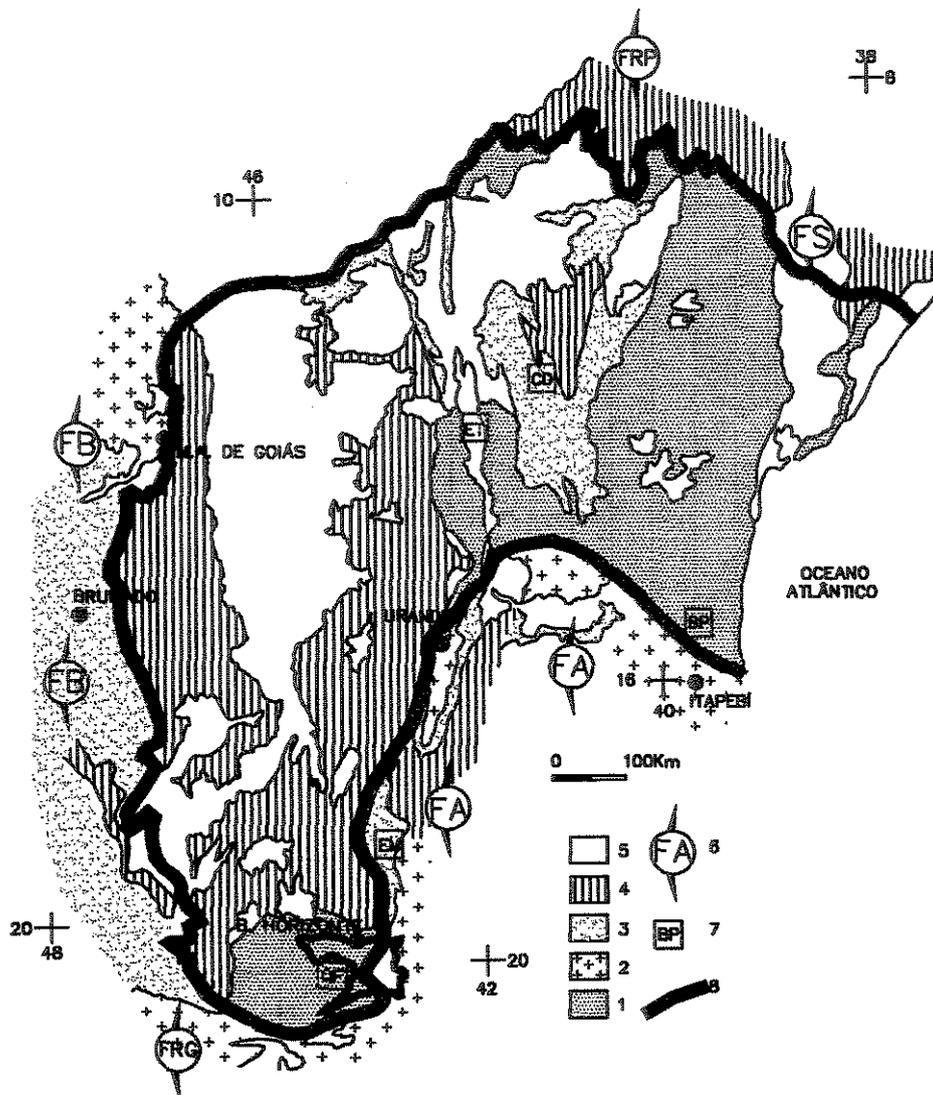
A região do Quadrilátero Ferrífero teve sua divisão estratigráfica inicial apresentada por Eschwege em 1817 (In: Gair, 1962), o qual propôs duas séries: uma antiga, composta por rochas do embasamento, e outra, mais jovem, constituída por uma seqüência, da base para o topo, de xistos argilosos ou ardósias, formações ferríferas, rochas carbonáticas e metarenitos.

Uma discordância inserida na série mais jovem da divisão proposta por Eschwege foi reconhecida por Derby (1906), discordância esta que separava uma seqüência inferior composta de quartzitos, formações ferríferas e calcários dolomíticos de maior grau metamórfico, de uma seqüência superior composta por arenitos seixosos de menor grau metamórfico. Derby (1906) denominou de Série Minas a seqüência inferior, a qual está em contato discordante sobre os gnaisses e mica-xistos do embasamento regional.

Guimarães (1931) seguiu a proposta de Derby (1906) e sugeriu que sobreposta à Série Minas, discordantemente, existia a Série Itacolomí.

De modo geral, a estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero é baseada nos trabalhos clássicos do convênio DNPM-USGS (Dorr II, 1969). Ladeira & Viveiros (1984), Ladeira (1980, 1981, 1985), Marshak & Alkmim (1989), entre outros, publicaram sínteses a respeito da estratigrafia e tectônica do Quadrilátero Ferrífero, e, ainda assim, nota-se divergências acentuadas quanto à sua estratigrafia e arcabouço estrutural.

Neste trabalho será utilizada a descrição proposta por Ladeira (1980, 1981, 1985), onde as rochas Arqueanas são divididas em dois conjuntos: um Complexo Granito-Gnássico indiferenciado e o Supergrupo Rio das Velhas. Já as rochas do Proterozóico, por sua vez, são divididas nos Supergrupos Minas e Espinhaço (figura 1.3).



- 1- Embasamento, incluindo supracrustais mais velhas que 1,8Ga e rochas ígneas.
- 2- Embasamento envolvido nos processos de deformação e metamorfismo do Brasiliano
- 3- Unidades mesoproterozóicas
- 4- Unidades Neoproterozóicas
- 5- Coberturas fanerozóicas
- 6- Faixas de dobramentos marginais
- 7- Províncias fisiográficas e geológicas
- 8- Limite do Cráton

Figura 1.2-Delimitação atualizada e significado dos limites do Cráton do São Francisco (extraído de Alkmim et al., 1991).

1. 5. 1. 1 - COMPLEXOS GRANITO-GNÁISSICOS

São representados por corpos que localizam-se dentro e na periferia do Quadrilátero Ferrífero e apresentam-se em alguns casos como estruturas dômicas. São compostos basicamente por gnaisses polideformados, metatonalitos e metagranitos, migmatitos, anfibolitos, metaultramafitos assim como pegmatitos formados preferencialmente no Arqueano (Cordani et al., e 1989; Machado et al., 1989).

Tais rochas foram consideradas por Dorr II & Barbosa (1963) e Dorr II (1969), como intrusivas nas demais unidades do Quadrilátero Ferrífero. Entretanto, Schorscher & Guimarães (1976), Almeida (1977), Sichel (1982) e Ladeira (1985) as consideraram como sendo a unidade Arqueana mais antiga da região, com intrusões ígneas associadas. Neste conjunto incluem-se os Complexos do Bação, do Bonfim, de Caeté e de Belo Horizonte.

Inda et al. (1984) incluem nestes terrenos rochas gnáissicas e migmatíticas, além de rochas de aspecto granitóide e origem intrusiva, com metamorfismo no fácies anfibolito.

Marshak & Alkmim (1989) e Alkmim et al. (1990) consideram o Complexo do Bação como um bloco do embasamento que teve sua ascensão no segundo evento deformacional que afetou as rochas do Quadrilátero Ferrífero.

Chemale Jr. et al. (1991) afirmam que os complexos de Santa Rita, Bonfim, do Bação, de Belo Horizonte e Caeté apresentam uma composição litológica semelhante e foram formados a partir do primeiro evento deformacional, de caráter extensional e idade Proterozóica Inferior que agiu sobre a região do Quadrilátero Ferrífero.

1. 5. 1. 2 - SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

Guimarães (1931) foi quem inicialmente estudou as rochas da região de Nova Lima. Estas foram divididas em uma parte inferior composta principalmente por filitos e xistos intercalados com camadas de dolomito, formações ferríferas e quartzitos e uma parte superior, composta por filitos e xistos. Tais rochas foram colocadas na parte Superior da Série Minas.

Barbosa (1954) correlacionou as rochas encontradas na região de Nova Lima à Série Barbacena, que foi definida por este autor para uma sequência de xistos entre Barbacena, Conselheiro Lafaiete e São João del Rey. A Série Barbacena seria mais antiga que a Série Minas, indicando assim que as rochas da região de Nova Lima também seriam mais antigas que as da Série Minas.

Dorr II et al. (1957) e Dorr II (1969) definiram a Série Rio das Velhas, composta por uma sequência de rochas vulcano-sedimentares de idade Arqueana, subdividindo-a em Grupo Nova Lima (inferior) e Grupo Maquiné (superior). Essas rochas foram interpretadas por Almeida (1976), Amaral et al. (1976), Schorscher (1976) e Schorscher et al. (1982) como uma sequência tipo "Greenstone Belt".

Schorscher (1978) descreve komatiitos com textura "spinifex", definindo mais tarde o Grupo Quebra Ossos (Schorscher, 1979 e 1980), que passou a ser considerado base do Supergrupo Rio das Velhas. Este grupo é composto por rochas ultramáficas com textura "spinifex", lavas brechadas, estruturas almofadadas e vesiculares.

Sichel (1982) descreve que na região de Barão de Cocais essa sequência máfica/ultramáfica komatiítica apresenta um contato gradacional com as rochas do Grupo Nova Lima, marcado pela aparição de formações ferríferas e metamáficas do Grupo Nova Lima.

No conceito de Ladeira (1980, 1981, 1985) o Grupo Nova Lima é constituído por três unidades :

- uma inferior, metavulcânica, composta por rochas ultramáficas representadas por serpentinitos, peridotitos komatiíticos serpentinizados, esteatitos, filitos grafitosos e formações ferríferas bandadas. Da base para o topo, a unidade grada de ultramáfica, máfica a piroclástica;

- uma intermediária, metassedimentar química, constituída pelas Formações Lapa Seca e Ferrífera Bandada Raposos, que são interestratificadas e sobrepostas por rochas vulcanoclásticas máficas a intermediárias metamorfoseadas ;

- uma superior, clástica, composta por quartzo-xistos, quartzo-filitos, filitos grafitosos, quartzitos impuros e metaconglomerados.

Oliveira et al. (1983) encontraram no Grupo Nova Lima, na região de Nova Lima e Rio Acima, três unidades:

- uma inferior, composta por rochas metavulcânicas de composição intermediária a básica, com intercalações de formações ferríferas e filitos grafitosos;

- uma média, composta por rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas ácidas, filitos grafitosos e raras formações ferríferas;

- uma superior, constituída por metassedimentos pelíticos com intercalações de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas ácidas e quartzo-ankerita-xistos (Lapa Seca).

O grupo clástico superior, denominado Maquiné, é separado do Grupo Nova Lima por uma discordância erosiva (Ladeira, 1980; Inda et al., 1984). É constituído por filitos, quartzo-filitos, protoquartzitos, grauvacas a subgrauvacas e conglomerados.

1. 5. 1. 3 - SUPERGRUPOS MINAS E ESPINHAÇO

Nos trabalhos sobre o Quadrilátero Ferrífero, existem grandes controvérsias sobre as relações estratigráficas dos Supergrupos Minas e Espinhaço. Alguns autores acreditam ser as duas unidades contemporâneas (Schorscher, 1976). Outros, como Dorr II (1969) e Ladeira (1985) consideram o Supergrupo Espinhaço anterior ao Supergrupo Minas e, outros ainda, como Almeida (1977) consideram o Espinhaço posterior ao Supergrupo Minas.

As rochas do Supergrupo Minas ocorrem sobre as unidades do Supergrupo Rio das Velhas e dos Complexos Granito-Gnáissicos em nítida discordância (Dorr II, 1969; Cordani et al., 1980 e 1989; Ladeira & Viveiros, 1984).

Dorr II (1969) divide o Supergrupo Minas nos Grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. O Grupo Tamanduá foi definido por Simmons & Maxwell (1961) e compreende a Formação Cambotas, composta por quartzitos, xistos quartzosos e argilosos e uma sequência sem nome, composta por itabiritos filíticos e dolomíticos, posicionados estratigraficamente entre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas e o Grupo Caraça. Atualmente, os quartzitos da Serra das Cambotas são correlacionados ao Supergrupo Espinhaço (Amaral et al. 1976; Schorscher, 1980; Ladeira, 1980; Sichel, 1982).

O Grupo Caraça abrange as rochas clásticas situadas acima de uma grande descontinuidade regional exposta na parte oeste do Quadrilátero Ferrífero, e abaixo dos sedimentos químicos do Grupo Itabira (Dorr II et al., 1957). Este grupo é considerado atualmente como a unidade epiclástica inferior do Supergrupo Minas,

sendo composto pelas Formações Moeda (quartzitos, conglomerados e filitos; Wallace, 1958) e Batatal (filitos sericíticos e subordinadamente metacherts, formações ferríferas e filitos grafitosos; Maxwell, 1958).

O Grupo Itabira foi nomeado por Dorr et al. (1957) e é composto pelas Formações Cauê e Gandarela. A Formação Cauê é constituída por formações ferríferas fácies óxido, itabiritos e filitos dolomíticos, enquanto que a Formação Gandarela é composta por mármore e filitos dolomíticos (Dorr II, 1969).

O Grupo Piracicaba (Dorr II et al., 1957) é composto basicamente por metassedimentos clásticos, que variam de conglomerados a filitos, e em menor quantidade por metassedimentos químicos (mármore dolomíticos e formações ferríferas). Este grupo foi subdividido por Dorr II (1969) nas Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões, Barreira e Sabará. A Formação Cercadinho (Pomerene, 1958) consiste em quartzitos e filitos ferruginosos interbandados ou não com algumas poucas lentes de mármore dolomíticos. A Formação Fecho do Funil foi descrita e denominada por Simmons (1958), sendo composta principalmente por filitos dolomíticos e mármore dolomíticos impuros. A Formação Taboões (Pomerene, 1958) é constituída essencialmente por quartzitos equigranulares de granulação fina. A Formação Barreiro (Pomerene, 1958) é composta basicamente por filitos e filitos grafitosos. A Formação Sabará foi definida por Gair (1958) e é constituída por clorita xistos intercalados com metagrauvas e quartzitos; posteriormente foi redenominada Grupo Sabará por Ladeira (1980).

1. 5. 1. 4 - GRUPO ITACOLOMI

O Grupo Itacolomi, foi discriminado Série Itacolomi por Dorr (1969), e inicialmente Quartzito Itacolomi por Harder & Chamberlin (1915, in Dorr II, 1969). Ladeira (1980) redefiniu esta série como Grupo Itacolomi, sendo este composto por quartzitos com intercalações de filitos, filitos e quartzitos ferruginosos. Amaral et al. (1976), estabeleceram uma correlação com o Espinhaço.

1. 5. 2 - ASPECTOS ESTRUTURAIS

O Quadrilátero Ferrífero apresenta uma estruturação definida por várias estruturas sinformais (Gandarela, Dom Bosco, Moeda) e antiformais (Conceição, Mariana) de caráter regional, estruturação esta definida pelos trabalhos do convênio DNPM/USGS (Dorr II, 1969). Este autor cita três fases (períodos) de deformação que atuaram na área. A primeira ocorreu anteriormente à deposição das rochas do Supergrupo Minas, a segunda anteriormente à deposição das rochas do Supergrupo Itacolomi e a terceira afetaria todas as rochas pré-cambrianas da região.

Dorr II (1969) considera que os dois primeiros eventos são marcados por uma discordância angular entre as rochas dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, afirmando, entretanto, que a deformação é mais forte e visível na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero do que na leste. O evento pós-Itacolomi ou terceira fase de deformação foi, de acordo com este autor, o evento deformacional mais forte atuante na região, que causou a recristalização e o aumento da granulação das rochas sedimentares.

Ladeira & Viveiros (1984) definiram a partir de um modelo polideformacional, seis eventos deformativos que afetaram as rochas dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas. Na hipótese elaborada por estes autores, os sinclinais mapeados por Dorr II (1969) não fechariam em profundidade.

Dorr II (1969) relatou, nos trabalhos do Programa de Cooperação Técnica Brasil-Estados Unidos, para a região leste do Quadrilátero Ferrífero, várias falhas de empurrão de baixo ângulo (cavalgamentos) que Ladeira & Viveiros (1984) associam a fase de deformação D2. Essas estruturas teriam evoluído a partir de dobras recumbentes ou deitadas.

Oliveira & Vieira (1987) identificaram uma deformação dúctil e progressiva na geração desses sistemas de empurrões, que, segundo estes autores, representam o último evento de caráter penetrativo no Quadrilátero Ferrífero. Esses autores descreveram uma foliação milonítica subparalela ao acamamento e uma lineação de estiramento associadas a esses empurrões que também estariam relacionados a eventos metassomáticos/hidrotermais.

Rosiére et al. (1987) estudando a extremidade sul do Sinclinal Gandarela, admitiram uma evolução tectônica progressiva, em diversas etapas, que resultou inicialmente em zonas de cisalhamento dúctil (D1) passando para amplas ondulações

com direção N-S (D2), onde as falhas de cavalgamento originar-se-iam no início de D1 e seriam reativadas ao longo de toda evolução do Quadrilátero Ferrífero.

Alguns autores como Marshak & Alkmim (1989) e Alkmim et al. (1990) reconheceram três eventos deformacionais que afetaram as rochas do Quadrilátero Ferrífero após a deposição do Supergrupo Minas:

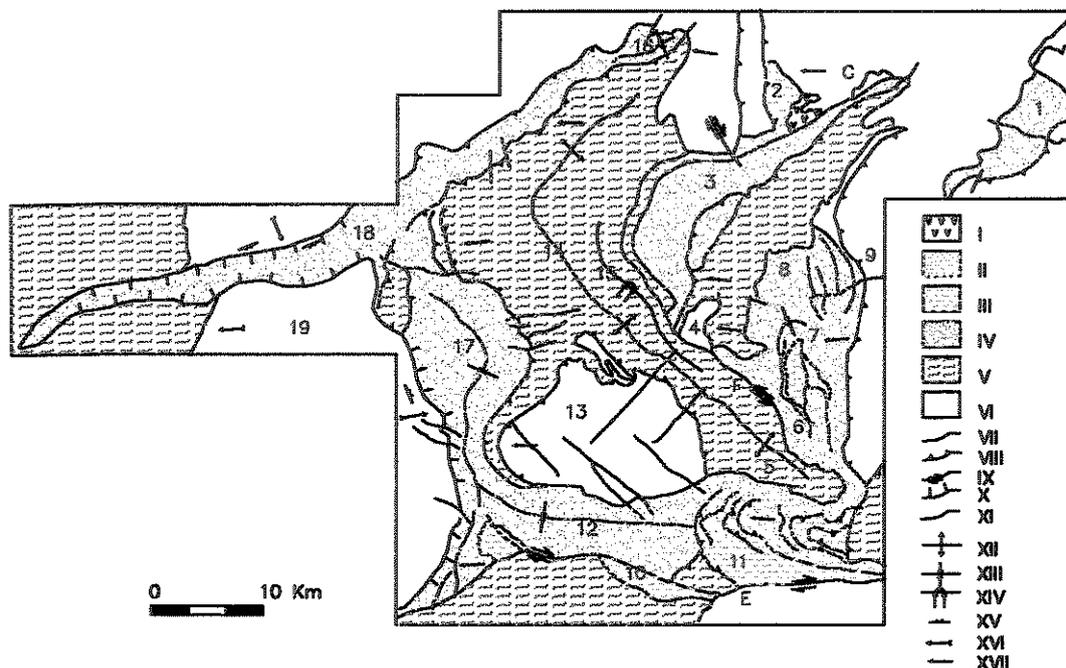
1-Responsável pelo transporte para NW de grandes pacotes rochosos em superfícies de baixo ângulo. As grandes estruturas desse evento tem direção NE-SW (Sinclinal de Gandarela, Anticlinal de Conceição e a Zona de Cisalhamento Serra do Curral ;

2-As estruturas pré-existentes rotacionadas e obliteradas devido a ascensão de blocos do embasamento, infletindo as grandes estruturas como o Sinclinal de Ouro Fino;

3-Marcado por dobras com direção NS e vergência para oeste, com um aumento da deformação de oeste para leste.

Outro modelo de deformação polifásica com quatro eventos de deformação foi proposto por Ladeira (1991). O primeiro evento é marcado por dobras recumbentes isoclinais, reclinadas a inclinadas, com foliação plano-axial paralela ao bandamento das formações ferríferas e dos filitos grafitosos, ocorrendo em regime dúctil. O eixo dessas dobras e uma lineação de intersecção são paralelos à lineação mineral no plano da foliação e a "boudins". O segundo evento ocorreu sob condições dúcteis-rúpteis e formou dobras fechadas inclinadas a reclinadas similares às do evento anterior, também com foliação plano-axial e lineação paralelas a alinhamentos minerais e a "boudins". Existem ainda diques de metadiabásio e zonas de cisalhamento subparalelos à essa foliação. O terceiro evento, também dúctil-rúptil, gerou dobras abertas, "kinks" e ondulações com eixo NS. O quarto evento, rúptil, gerou juntas e fraturas com direção N-NE, N-NW, NS e EW.

Chemale JR. et al. (1990) propuseram outro modelo para explicar a estruturação do Quadrilátero Ferrífero (figura 1.4), que se baseia na avaliação dos indicadores cinemáticos das componentes de transpressão, transtração e cisalhamento simples, além da geometria das zonas de falhas formadas nos processos orogênicos. Aqueles autores propõem uma seqüência evolutiva onde primeiro desenvolveram-se os grandes sinclinais e anticlinais apertados e zonas de cisalhamento associadas aos cavalgamentos e transcorrências. Haveria então uma maior ativação das componentes direcionais provocando rotação e translação das estruturas previamente formadas,



I—Rochas metabásicas. II—Superggrupo Espinhaço Indiviso. III—Grupo Itacolomi. IV—Superggrupo Minas. V—Superggrupo Rio das Velhas. VI—Terranos Granito-Gnáissicos. VII—Contato. VIII—Empurrão. IX—Zona de Falha direcional. X—Zona de falha extensional (dúctil a dúctil-rúptil). XI—Falha. XII—Anticlinal. XIII—Sinclinal XIV—Sinclinal invertida. XV—Folhação extensional. XVI—Lineação mineral extensional. XVII—Indicador de transporte tectónico. Estruturas e acidentes geográficos: 1—Sinclínrio de João Monlevade. 2—Serra das Cambotas 3—Sinclinal Gandaraia. 4—Sinclinal de Ouro Fino. 5—Anticlinal de Mariana. 6—Sinclinal Conta História. 7—Sinclinal de Alegria. 8—Serra do Caraça. 9—Front Fazendão. 10—Serra de Ouro Branco. 11— Serra de Itatiaia 12—Sinclinal de Dom Bosco. 13—Complexo do Baçõ. 14—Soerguimento Rio das Velhas. 15—Sinclinal Vargem do do Lima. 16—Sinclinal Serra da Piedade. 17—Sinclinal da Moeda. 18—Serra do Curral. 19—Complexo Bonfim C—Falha das Cambotas. E—Falha do Engenho. F—Falha do Fundão.

Figura 1.4—Esboço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero (extraído de Chemale Jr. et al., 1991)

além do desenvolvimento de dobras E-W e NW-SE por transpressão e soerguimento dos altos estruturais já existentes. Por fim, as dobras NS estariam associadas a zonas de cisalhamento de mesma direção quando elas atingiram níveis estruturais mais rasos. Desse modo, estes autores acreditam que é possível que o Quadrilátero Ferrífero possua uma evolução orogenética monocíclica.

Chemale JR. et al. (1991) afirmaram que a complexa estruturação do Quadrilátero Ferrífero resulta principalmente da ação de dois eventos deformacionais: o primeiro, de caráter extensional, e o segundo, compressional, de idade Proterozóica Inferior e Superior, respectivamente. O primeiro, responsável pela formação dos megassinclinais interconectados de Santa Rita, Dom Bosco, da Moeda e da Serra do Curral, além dos soerguimentos dos complexos granito-gnáissicos de Santa Rita, do Bonfim, de Caeté e do Bação. O segundo, afetou principalmente a porção leste do Quadrilátero Ferrífero, amplificando os megassinclinais, reaproveitando as descontinuidades previamente formadas e gerando novas estruturas.

Chauvet et al. (1994) realizaram análises microtectônicas e cinemáticas na região de Ouro Preto numa tentativa de precisar a evolução tectônica e distinguir feições tectônicas relacionadas a orogenia Transamazônica e Brasiliana. Reconheceram assim 3 eventos tectônicos significativos:

- o mais antigo relacionado ao Transamazônico, é expresso principalmente nas rochas do Complexo do Bação;
- o segundo evento, foi definido como grandes cavalgamentos relacionados ao Brasiliano;
- o terceiro evento caracteriza-se por um retro cavalgamento em resposta ao relaxamento das forças compressionais do Brasiliano.

1. 5. 3 - ASPECTOS EVOLUTIVOS

Sob o ponto de vista da evolução estrutural e tectônica do Quadrilátero Ferrífero, pode-se dizer que muitos autores têm atentado para o tema. Como modelos evolutivos de cunho regional deve-se citar os trabalhos de Dorr II (1969), Ladeira & Viveiros (1984), Marshak & Alkmim (1989) e, principalmente o modelo de Chemale Jr. et al. (1991), com o qual procurou-se manter um paralelo em relação à área em

questão, uma vez que discussões mais profundas quanto a evolução da região foge ao escopo do presente trabalho.

Focalizando-se a evolução Pós-Arqueana da área, pode-se dizer que dois eventos distintos, um extensional (transamazônico) e outro compressional (brasiliano), geraram dois grupos de estruturas, que dão ao Quadrilátero Ferrífero sua atual configuração.

O primeiro grupo de estruturas, na área em foco, é definido pelo megassinclinal da Serra do Curral, a Oeste (bordejado por altos do embasamento) e Sinclinal Gandarela, a Leste. Estas estruturas pertenciam a um depósito sedimentar que teve inicialmente uma deposição fluvial a flúvio-deltaica (Grupo Caraça) e posteriormente marinha rasa a profunda (topo do Grupo Caraça e Grupos Itabira e Piracicaba). A individualização dos megassinclinais se deu em um evento extensional que resultou do soerguimento do embasamento e conseqüente subsidência do pacote supracrustal (Supergrupo Minas). O metamorfismo do Supergrupo Minas teria sido causado pelo soterramento durante a subsidência. Por sua vez, o soerguimento dos blocos granito-gnáissicos teria colocado lado a lado os citados blocos com rochas supracrustais em temperaturas mais baixas, resultando na formação de auréolas metamórficas, descritas por Herz (1978). Dorr (1969) também aventou a hipótese de ascensão de blocos no Quadrilátero Ferrífero. Na área, tais blocos são representados pelo Complexo de Belo Horizonte (extremo Noroeste) e de Caeté (extremo Nordeste).

O segundo grupo de estruturas é caracterizado por cavalgamentos e estruturas associadas, com transporte tectônico de Leste para Oeste (Brasiliano). Chemale JR. et al. (1991) consideram que esta deformação brasileira afetou todo Quadrilátero Ferrífero e reconhecem que esta foi menos atuante a Oeste. O evento Brasileiro provocou tanto a reativação de estruturas já existentes como a geração de novas estruturas, especialmente falhas de empurrão.

Basicamente três famílias de estruturas foram reconhecidas neste evento:

- empurrões e descolamentos, falhas de rasgamento e outras estruturas, geradas em um regime dúctil a rúptil-dúctil;

- meso e microdobras de eixo EW e falhas transcorrentes, geradas em regime dúctil-rúptil;

- meso e microdobras, falhas inversas e megadobras suaves, geradas em regime dúctil-rúptil.

Ainda com relação ao que foi exposto, no decorrer do evento Brasileiro (compressional) o Complexo do Bação (situado a sul da área) cavalgou sobre o Sinclinal da Moeda (extremo SW da área) provocando o rompimento de sua ligação com a Serra do Curral. O Soerguimento Rio das Velhas resultou do soerguimento de núcleos metamórficos e serviu de superfície de deslizamento para a deformação EW.

A Serra do Caraça, soerguida durante o evento extensional, condicionou a estruturação final do Sinclinal de Santa Rita, pois estruturas fortemente tectonizadas durante o Brasileiro, como o Sinclinal da Alegria, por exemplo, deformaram aquela estrutura. O Sinclinal Gandarela, já citado no primeiro grupo de estruturas, não foi afetado por esta tectônica EW, por situar-se a Oeste da Serra da Caraça.

Já as falhas do Fundão e das Cambotas, possíveis fraquezas crustais no Pré-Minas, foram reativadas durante o Brasileiro de modo sinistral e dextral, respectivamente.

As estruturas da segunda família de estruturas (EW) do Evento Brasileiro estão relacionadas as componentes transpressionais dos processos de geração de falhas transcorrentes. As estruturas da terceira família (NS), são relativas a estágios finais das rampas frontais e oblíquas, quando estas atingiram níveis crustais superiores.

Partindo-se do que foi exposto, e fazendo uso de dados geocronológicos, Chemale JR. et al. (1991) sugeriram o seguinte quadro evolutivo para a região.

- Os terrenos granito-gnássicos mais antigos estariam relacionados a uma tectônica compressional com estruturação complexa;

- A deposição da seqüência vulcano-sedimentar do Supergrupo Rio das Velhas teria sido dada por uma tectônica extensional com magmatismo komatiítico e toleítico associado e fortemente deformado na seqüência ultramáfica, onde os eventos extensional e compressional afetaram pouco o Supergrupo Rio das Velhas. Entretanto, uma melhor caracterização da tectônica arqueana é difícil;

- Deformação e metamorfismo do Supergrupo Rio das Velhas com magmatismo ácido a intermediário associado, bem como geração de rochas granito-gnássicas;

- A deposição do Supergrupo Minas representa um período de consolidação da crosta arqueana, pela característica de sua litologia, o que permitiu a geração das formações ferríferas bandadas, em condições de plataforma. A ação de uma tectônica

extensional levou ao soerguimento de blocos do embasamento, formação de zonas de cisalhamento extensional e geração dos sinclinais;

- Intrusão de diques máficos (tectônica extensional);
- Deformação e metamorfismo das unidades do Quadrilátero Ferrífero (tectônica compressional);
- Tectônica Mesozóica com formação de diques básicos e bacias sedimentares (registros extensionais).

1. 5. 4. - RECURSOS MINERAIS

O Quadrilátero Ferrífero representa uma das mais importantes províncias metalogenéticas a nível mundial. Seu potencial econômico já é conhecido desde o século XVIII, quando era intensa a extração de Au. Atualmente, além do Au, o Fe tem destacada importância econômica nesta região, estando concentradas ali aproximadamente 60% das reservas nacionais.

Nesta região, o Fe tem dois modos de ocorrência principais: os chamados depósitos sedimentares acamadados e aqueles referidos como depósitos resultantes de alteração e acúmulo em superfície. O primeiro grupo é caracterizado pelas formações ferríferas bandadas (BIF), comumente referidos como itabiritos. Os principais minerais de minérios são a magnetita, hematita e siderita, com teor de Fe de até 30%. Já o segundo grupo, não menos importante, se dá pelo enriquecimento em depósitos com baixa concentração em Fe. O teor de Fe é de até 55% e os principais minérios são limonita e hematita.

As principais jazidas estão relacionadas ao Supergrupo Minas (Proterozóico Inferior), mais especificamente ao Grupo Itabira (Formação Cauê), sendo representadas por camadas de itabiritos de até 250m de espessura. Na Formação Gandarela (Grupo Itabira) também ocorrem vários níveis de itabiritos, de menor porte, associados a dolomitos.

Quanto ao Au, o Brasil é responsável por aproximadamente 2,1% da produção mundial, sendo o Quadrilátero Ferrífero o maior colaborador para tal porcentagem. Nesta região, ao contrário do restante do país, onde há predomínio de garimpos, a extração é efetuada por grandes empresas, com destaque para a mineração Morro Velho (aproximadamente 59% do total produzido por empresas no país).

Os diversos depósitos auríferos existentes no Quadrilátero Ferrífero são referidos como primários e foram encontrados a partir de suas concentrações secundárias (aluviões). As principais minas, como Morro Velho, Raposos, São Bento e Cuiabá, acham-se inseridas em rochas arqueanas do Greenstone Belt Rio das Velhas. Já as minas de Passagem e Gôngo Soco estão encaixadas nas litologias do Supergrupo Minas.

O Au se aloja nos sulfetos nas minas de Morro Velho, Bicalho e Bela Fama na chamada Lapa Seca (metachert carbonático impuro). Já em Raposos, Faria, São Bento e Cuiabá, o Au, também se aloja nos sulfetos, os quais hospedam-se em formação ferrífera bandada (tipo Algoma ou Superior). Tais hospedeiras estão incluídas no já citado Supergrupo Rio das Velhas, relacionadas ao Grupo Nova Lima, que vem assim a encerrar as mais importantes mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero.

Por sua vez, o Au de Gongo Sôco acha-se num contexto distinto. Sua encaixante é um itabirito, o qual, sob o ponto de vista estratigráfico, faz parte da Formação Cauê (Grupo Itabira, Supergrupo Minas).

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - MATERIAIS

Devido a grande importância econômica do Quadrilátero Ferrífero, gerou-se uma grande quantidade de material bibliográfico e cartográfico e, além disso, a área em questão dispõe de um significativo volume de produtos obtidos por sensores remotos, tendo sido utilizado como uma das primeiras regiões do país como área-teste em sensoriamento remoto para fins geológicos (Missão 96, NASA/INPE, 1969)

2.1.1 - MAPAS GEOLÓGICOS

Foram utilizados os seguintes mapas geológicos:

- Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, escala 1:150.000, compilado em 1969 por J.V.N. Dorr II, de mapeamento realizado em conjunto pelo DNPM -USGS, no período de 1942 a 1962;

- Mapas geológicos, escala 1:25.000, gerados pelo convênio Brasil-EUA, no período 1942 a 1962(11 folhas), conforme figura 2.1;

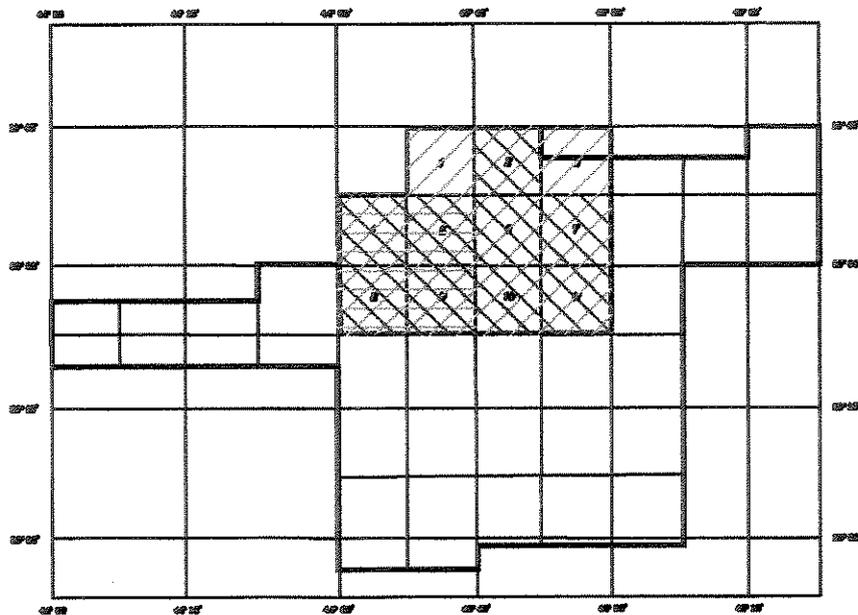
- Mapas geológicos, escala 1:50.000, gerados pelo mapeamento geológico da região metropolitana de Belo Horizonte, realizados pelo IGA, Minas Gerais, em 1982 (4 folhas), conforme figura 2.1;

- Mapas geológicos, escala 1:25.000, produzidos através do Projeto Rio das Velhas, pela CPRM-MG, em 1994 (9 folhas), conforme figura 2.1.

2.1.2 - FOLHAS TOPOGRÁFICAS

Quando necessário, foram utilizados os seguintes materiais:

- Folhas topográficas, escala 1:25.000, preparadas pelo Programa de Cooperação Técnica Brasil-Estados Unidos, em 1962 (11 folhas).



NOME DA QUADRÍCULA

- | | |
|-----------------------|---------------------------------|
| 1- SANTA LUZIA | 6- CAETÉ |
| 2- SERRA DA FIEIDADE | 7- CONGO SOCO |
| 3- ANTONIO DOS SANTOS | 8- S. SEBASTIÃO DE ÁGUAS CLARAS |
| 4- BELD HORIZONTE | 9- RIO ACMA |
| 5- NOVA LIMA | 10- GANDARELA |
| | 11- CONC. DO RIO ACMA |

PROJETOS UTILIZADOS

- | | |
|---|---|
|  | PROGRAMA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA BRASIL-JUA - 1942 a 1943 - ESCALA 1:25000 |
|  | MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELD HORIZONTE - ICA - MINAS GERAIS - 1982 - ESCALA 1:50000 |
|  | PROJETO RIO DAS VELHAS - CPRM - MINAS GERAIS - 1966 - ESCALA 1:25000 |

Figura 2.1-Articulação das folhas e principais projetos utilizados.

2. 1. 3 - DADOS DIGITAIS

Foi utilizado o seguinte material:

- imagens orbitais geradas pelo satélite LANDSAT-TM (7 bandas), órbita 218, ponto 74, obtida em 16/11/1985.

2. 1. 4 - EQUIPAMENTOS

Utilizou-se os seguintes equipamentos, todos com configuração mínima para utilização dos programas citados a seguir:

- Plataformas PC Pentium, com 32 Mbytes de memória RAM e mouse;
- Mesas digitalizadoras;
- "Plotters";
- "Scanners";
- Impressoras laser e jato de tinta (coloridas ou não).

2. 1. 5 - PROGRAMAS

Utilizou-se os seguintes programas para plataforma PC:

- AutoCAD para WINDOWS, versão 14.0 (Autodesk, 1997);
- CorelDraw para WINDOWS 3.0 (Corel Corp, 1992);
- Deskscan para WINDOWS, versão II (Hewlett-Packard, 1992);
- SURFER para WINDOWS, versão 6.04 (Golden Software, 1996);
- Er-Mapper para WINDOWS, versão 5.5;
- Editores de texto.

2. 2 - MÉTODOS

Com o intuito de se atingir os objetivos previamente estabelecidos, os métodos de trabalho adotados tomaram uma seqüência lógica dentro de estudos deste nível, ou seja, de modo geral caracterizou-se por:

- análise bibliográfica;
- geração e constante atualização de arquivos digitais, através de digitalização da informação geológico-estrutural disponível;
- extração de lineamentos a partir do tratamento e análise visual de imagens digitais LANDSAT-TM;
- análise estatística dos lineamentos extraídos.

A seguir será feita uma descrição detalhada dos métodos de trabalho adotados.

2. 2. 1 - GERAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DE ARQUIVOS DIGITAIS

A coleta e geração dos dados se deu através da digitalização de mapas geológicos-estruturais de fontes diversas, gerando-se vários arquivos vetoriais, utilizando-se o programa AutoCAD.

A digitalização destes mapas foi através de técnicas que futuramente permitirão a utilização dos arquivos criados em outros programas, ou seja, estes arquivos poderão ser utilizados em programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Processamento Digital de Imagens (PDI), quando for necessário.

Inicialmente, deve-se ressaltar que a escolha do programa AutoCAD para a geração deste banco de dados, não deve ser vista como uma simples ferramenta de desenho, mas sim como um instrumento de auxílio à geologia, pois permite entre outras vantagens, o trabalho com mapas de escalas diferentes, possibilitando o cruzamento de informações diversas.

A digitalização em si, se deu através de comandos rotineiros do programa (comandos de desenho e edição) conforme proposto por Ebert et al. (1994) e, de acordo com o Manual de Referência do AutoCAD, os arquivos gerados puderam ser otimizados, atendendo-se para os seguintes aspectos:

- variáveis internas do sistema: variáveis que dizem respeito ao tamanho, limite, e outras características dos traços gerados nos arquivos. Estas variáveis são SKPOLY, ANGDIR, PLINEGEN;
- trabalho em "layers": o AutoCAD possui uma estrutura interna que possibilita o trabalho em camadas. Assim, gerou-se "layers" com contatos geológicos, dados estruturais, falhas, juntas;

- criação de biblioteca: criou-se uma biblioteca de símbolos, principalmente estruturais, que permitem o lançamento dos dados nos mapas. Criou-se também padrões de traços e letras;
- digitalização e edição: constitui-se na captura de dados vetoriais e edição final do arquivo. Nesta etapa procedeu-se o ajuste e atualização dos contatos geológicos, dados estruturais, falhas, entre outras informações de diversas fontes.

Após a geração destes arquivos, procedeu-se a união dos mesmos para a geração de um mapa geológico-estrutural da área. Nesta etapa dos trabalhos foi realizada as seguintes tarefas:

- definição do nível e quantidade de informações a serem lançadas no mapa final;
- definição da escala final do produto gerado em função das escalas dos mapas originais;
- definição da escala das diversas entidades utilizadas na confecção dos mapas (símbolos estruturais, tamanho das fontes, escala de hachuras);
- ajuste de contatos geológicos;
- padronização das informações geológicas existentes nos diversos mapas;
- uniformização das informações estruturais existentes nas várias fontes.

Para que estas tarefas fossem bem sucedidas, procurou-se desde o início dos trabalhos de digitalização, uma padronização dos mapas utilizados no que diz respeito às suas coordenadas de calibração em mesa digitalizadora. Tais mapas não possuíam uma compatibilidade de coordenadas, sendo que, para se superar este problema, foi gerado um sistema de coordenadas (UTM) a partir da qual todos os mapas passaram a ser referenciados. Como produto destas tarefas pode-se gerar o mapa geológico-estrutural para a área representada na figura 2.2. Tal mapa terá sua escala final de impressão em 1:100.000.

2. 2. 2 - EXTRAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS

2. 2. 2. 1 - EXTRAÇÃO DE LINEAMENTOS

A extração de informação estrutural a partir de produtos de sensoriamento remoto é uma importante etapa para a elaboração de mapas geológicos. Esta informação estrutural extraída de produtos de sensores remotos está sob a forma de

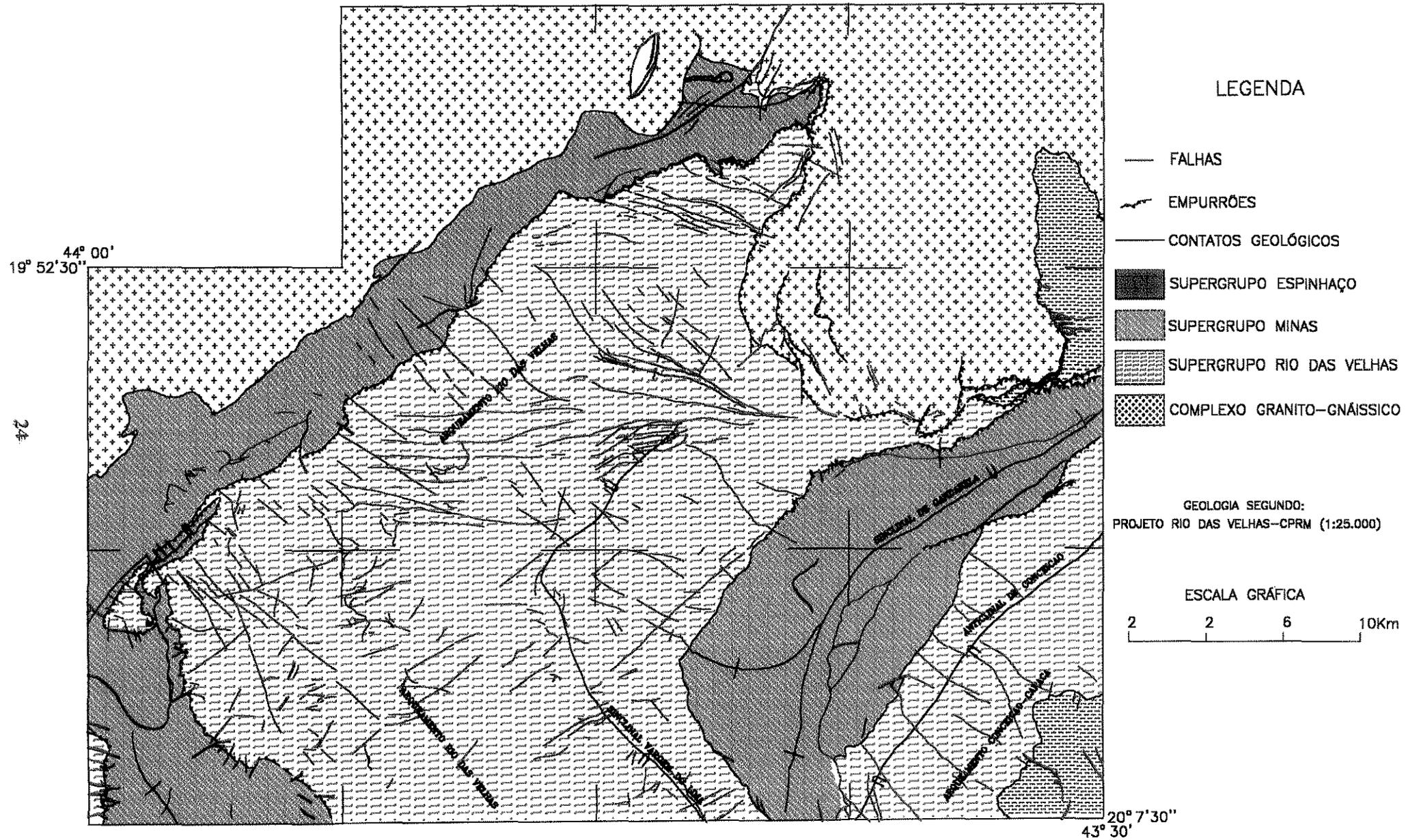


Figura 2.2-Mapa geológico simplificado da porção norte do Quadrilátero Ferrífero (Segundo CPRM, 1994).

lineamentos, os quais assumem grande importância para estudos metalogenéticos. Geralmente os lineamentos estão associados a estruturas primárias e/ou superpostas, e associados a eles ocorrem variações tanto na porosidade como na permeabilidade, importantes em estudos sobre circulação de fluidos em corpos rochosos (soluções hidrotermais e água).

Os lineamentos extraídos de tais produtos são, na realidade, a expressão de falhas, juntas, foliação, xistosidade, acamamento, entre outras feições. Uma melhor definição destas feições somente é possível a partir de um criterioso estudo do contexto geológico-estrutural regional.

Fazendo-se uso de critérios comuns de fotointerpretação, baseados em propriedades texturais, tonais, morfológicas e estruturais dos alvos, procedeu-se a extração de lineamentos. O'Leary et al. (1976) propõe o uso do termo lineamento para qualquer feição linear mapeável, que provavelmente reflita um fenômeno de subsuperfície. Não se deve entretanto, aplicar os termos linear (adjetivo) e lineação (arranjo de minerais) com o sentido acima.

Esta etapa do trabalho foi efetuada diretamente sobre a imagem digital LANDSAT-TM (figura 2.3), ao contrário dos procedimentos comuns, que é a extração sobre a imagem em papel. Como resultado, foi obtido o mapa de lineamentos exibido na figura 2.4.

Para a obtenção do mapa de lineamentos citado acima, algumas observações devem ser feitas. Inicialmente, efetuou-se a extração dos lineamentos a partir da banda 5 do LANDSAT-TM, fazendo-se uso apenas da observação das propriedades da imagem (figura 2.5). Posteriormente, foi realizada uma análise de principais componentes para as bandas 3,4,5 e foi feita uma nova extração dos lineamentos observados (figura 2.6). O nível de informações obtidas foi bem semelhante, e, a partir disto, gerou-se um mapa único, uma vez que as informações eram complementares. Outro aspecto que deve ser enfatizado é que esta análise não levou em consideração aspectos dúcteis ou rúpteis das feições lineares observadas, ou seja, não foi dada ênfase a um determinado tipo de lineamento (por exemplo, fraturas, falhas e juntas, que, comumente aparecem como trechos retilíneos de drenagem).

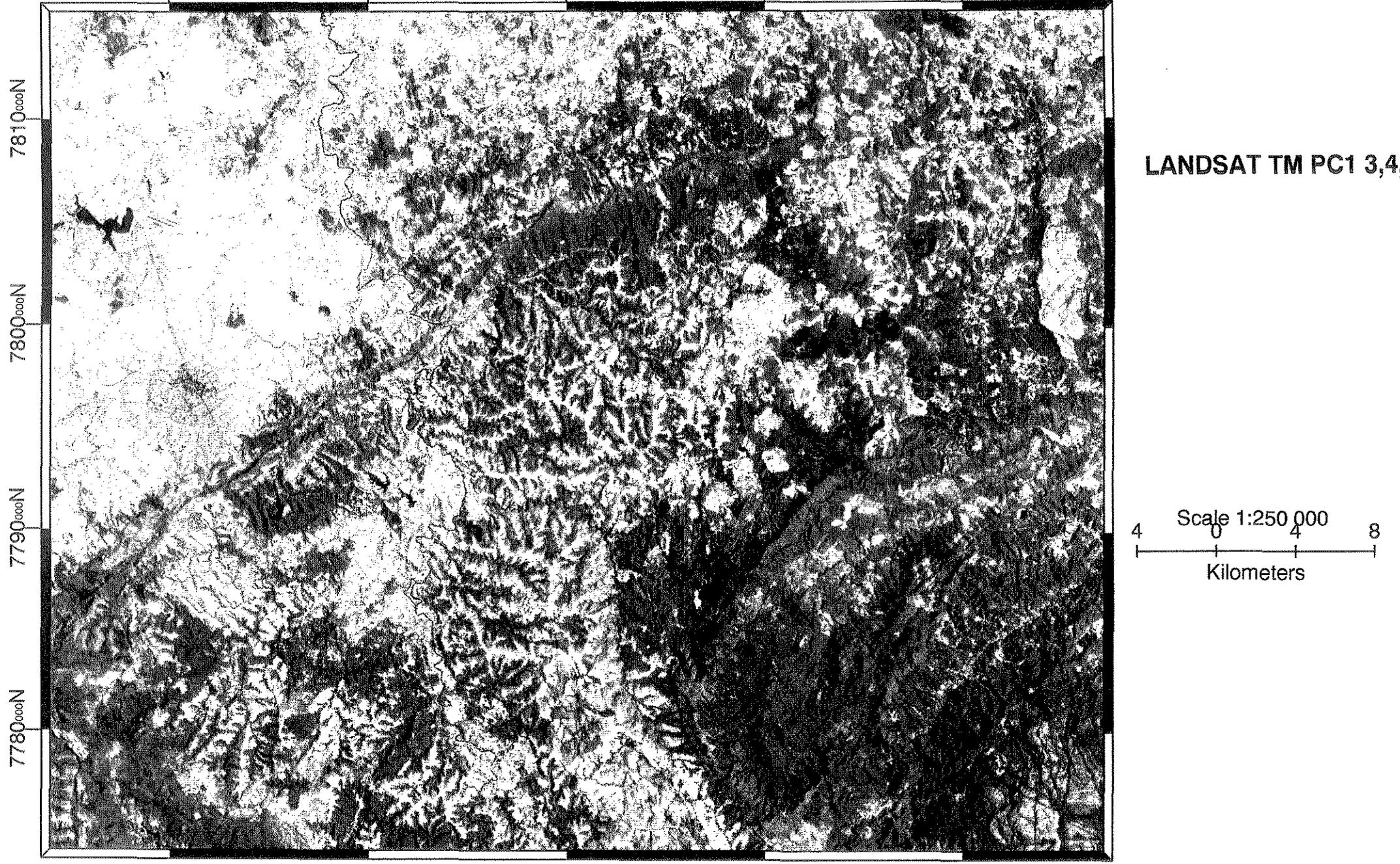


Figura 2.3-Visão geral da área enfocada através de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5.

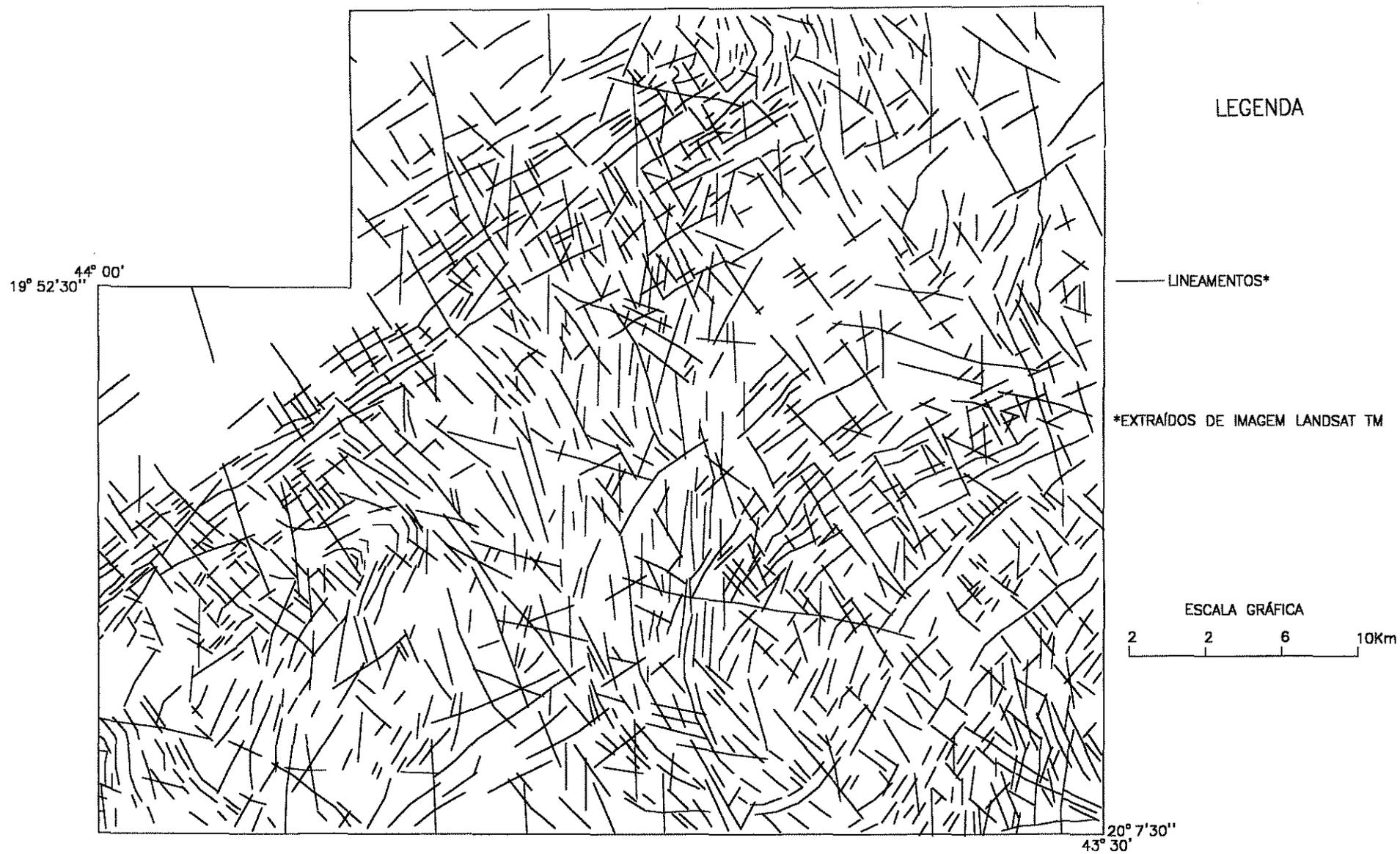


Figura 2.4-Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM (PC1 3,4,5 e banda 5).

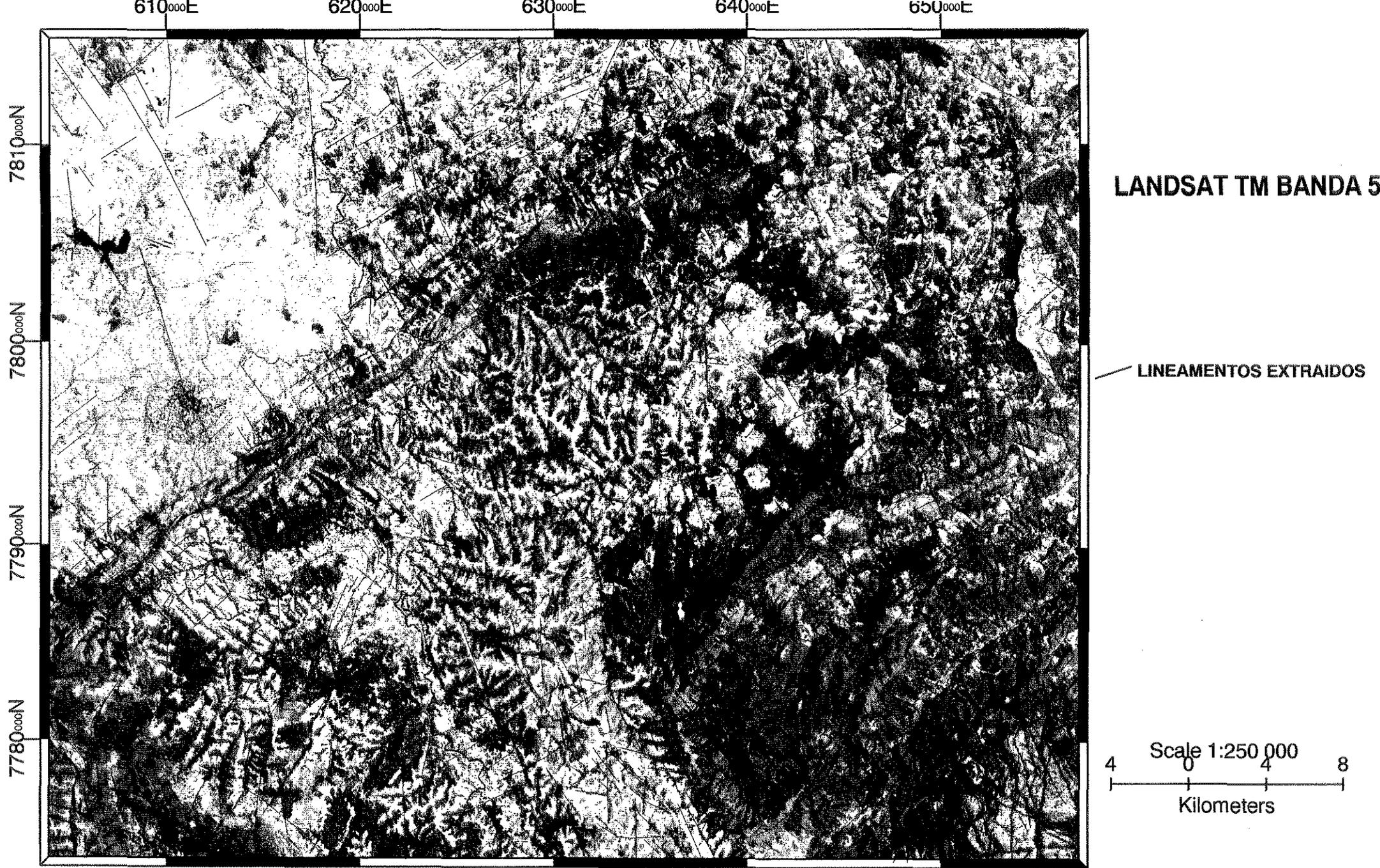


Figura 2.5-Lineamentos (em vermelho) extraídos de imagem LANDSAT-TM (banda 5).



Figura 2.6-Lineamentos (em vermelho) extraídos de imagem LANDSAT-TM (PC1 3,4,5).

2. 2. 2. 2 - FUNDAMENTOS ESTATÍSTICOS

Ao se iniciar este ítem, deve-se ressaltar que os conceitos aqui utilizados foram retirados da nota explicativa do program FRATURA (Amaral, 1997).

Cada tipo de lineamento é caracterizado por seu azimute (α_j) e seu comprimento (d_j). Do ponto de vista estritamente cinemático o azimute é a propriedade que caracteriza a orientação dos esforços. Todavia, o comprimento é uma medida da intensidade dos processos. Assim sendo, é importante que qualquer tratamento estatístico leve em conta ambas propriedades.

Do ponto de vista matemático, um lineamento é um eixo, que, diferentemente de um vetor, não possui sentido (Mardia,1972). Assim sendo, ele não necessita de todo o intervalo angular (0-360) para ser caracterizado. Por esse motivo usa-se apenas o intervalo 0-180°, com os azimutes medidos no sentido horário a partir do norte.

Os dados vetoriais, ao ultrapassarem os limites de 180° ou 360°, retornam ao início da escala de medidas. Este é o principal motivo pelo qual a estatística escalar (convencional) não pode ser usada para dados vetoriais.

Os principais parâmetros estatísticos são:

AZ_s - azimute médio simples (angular)

AZ_p - azimute médio ponderado pela distância

R_s - resultante simples

R_p - resultante ponderada

RC_s - razão de consistência simples

RC_p - razão de consistência ponderada

DP_p - desvio padrão ponderado

FM - frequência média de lineamentos

DM - densidade média de lineamentos

FI - frequência de intersecções

Diversos autores, entre os quais podem ser citados Krumbein (1939), Pincus (1953) e Mardia (1972) propõem as seguintes equações para o cálculo dos parâmetros estatísticos simples:

$$AZ_s = \frac{1}{2} \arctg(\frac{\sum \text{sen} 2\alpha_j}{\sum \text{cos} 2\alpha_j})$$
$$R_s = \sqrt{(\sum \text{sen} 2\alpha_j)^2 + (\sum \text{cos} 2\alpha_j)^2}$$

$$RC_s = R_s/n$$

$$DP_s = \sqrt{-2 \cdot \ln(RC_s)/2}$$

A figura 2.7 exemplifica o cálculo dos parâmetros estatísticos. As coordenadas x e y da resultante são, respectivamente, a soma dos cossenos e senos dos azimutes α_i , multiplicados pelos comprimentos d_i . No caso simples, os comprimentos são unitários. A distribuição de frequências das orientações de eixos segue a distribuição circular normal. A equação desta distribuição inclui um parâmetro **K**, denominado fator de concentração, que apresenta uma relação exponencial com a razão de consistência. Mardia (1972) apresenta num apêndice a relação entre RC e k, a qual pode ser também estimada. Este parâmetro k, é tanto maior quanto menor a dispersão dos eixos com relação ao azimute médio.

Como os azimutes são medidos no intervalo 0-180°, eles necessitam ser dobrados para recuperação da circularidade. Após os cálculos, os parâmetros angulares deverão ser divididos por dois para retornar àquele intervalo. Por exemplo, um conjunto de linhas com azimutes 0°, 5°, 10°, 170°, 175° e 180°, apresentará azimute médio 90° se os ângulos não forem dobrados, o que estará errado pois, intuitivamente, a resultante estará em torno de 0°. Dobrando-se os ângulos obteremos o azimute correto.

Como já foi mencionado, o comprimento dos lineamentos é igualmente importante, motivo pelo qual propomos as seguintes equações para o cálculo dos parâmetros ponderados:

$$AZ_p = \frac{1}{2} \arctg(\Sigma \text{sen} 2\alpha_i \cdot d_i / \Sigma \text{cos} 2\alpha_i \cdot d_i)$$

$$R_p = \sqrt{(\Sigma \text{sen} 2\alpha_i \cdot d_i)^2 + (\Sigma \text{cos} 2\alpha_i \cdot d_i)^2}$$

$$RC_p = R_p / \Sigma d_i$$

$$DP_p = \sqrt{-2 \ln(RC_p) / 2}$$

Os parâmetros simples são calculados assumindo-se comprimentos unitários para as linhas. Assim, se todas as linhas tiverem o mesmo azimute, a resultante será igual a n, o número de pontos e a razão de consistência igual a um. Deste modo, a resultante, a razão de consistência e o desvio padrão, são medidas da dispersão em torno do azimute médio. Obviamente, nas medidas ponderadas pelo comprimento, linhas maiores terão importância maior.

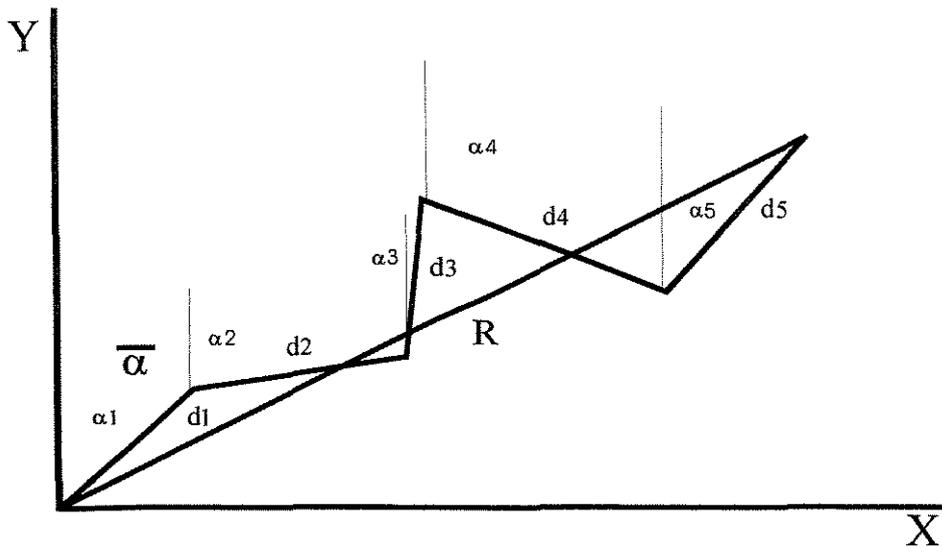


Figura 2.7- Adição vetorial

Watson (1966) propõe outra maneira para o cálculo dos parâmetros estatísticos de dados direcionais em três dimensões, através da montagem de matrizes com somatórias de produtos dos cossenos direcionais (cossenos dos ângulos que a linha faz com os três eixos). Este autor faz apenas uma menção à possibilidade de se utilizar este método para dados bidimensionais. O procedimento geral consiste em se tomar os ângulos que um eixo faz com os eixos x e y (α e β) e obter seus cossenos (m e n). Como $\beta = 90 - \alpha$, $m = \cos\alpha$ e $n = \sin\alpha$. Com os dados para cada linha monta-se a seguinte matriz:

$$A = \begin{vmatrix} \sum \cos^2\alpha & \sum \cos\alpha \sin\alpha \\ \sum \cos\alpha \sin\alpha & \sum \sin^2\alpha \end{vmatrix}$$

Em seguida, são extraídos os autovalores e os respectivos autovetores. O primeiro autovalor é a resultante e o primeiro valor do primeiro autovetor é o cosseno do azimuth médio. No caso simples, dividindo-se os autovalores pelo número de pontos, obtém-se respectivamente a razão de consistência e a variância circular. Os demais parâmetros são calculados de maneira análoga ao método convencional.

Para este trabalho, foram desenvolvidos os procedimentos para o cálculo dos parâmetros estatísticos ponderados pelos comprimentos das linhas. Basicamente, a matriz acima é montada com os senos e cossenos multiplicados pelos respectivos comprimentos. Posteriormente, divide-se cada elemento de A por $\sum d_i^2 / \sum d_i$, de modo que a soma dos autovalores seja igual à soma dos comprimentos das linhas. Após a extração dos autovalores, estes deverão ser divididos pela somatória dos quadrados dos comprimentos, para a obtenção da razão de consistência e variância circular. O cálculo dos parâmetros estatísticos pelo método dos autovalores/autovetores forneceu resultados mais consistentes em todos os testes, motivo pelo qual ele foi introduzido no programa FRATURA, citado a seguir.

As medidas acima, poderão ser apenas listadas ou representadas de diversos modos, tais como histogramas circulares (rosetas), gráficos de frequência, mapas de variação regional, etc. A literatura apresenta uma grande variedade de modos de apresentação ou de transformação daquelas medidas, adaptados a diferentes

aplicações: pesquisa mineral, exploração petrolífera, hidrogeologia, geologia de engenharia, risco sísmico, geotectônica, etc.

2. 2. 3. 3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LINEAMENTOS

Amaral (1994) cita uma linha de trabalhos de processamento digital de mapas de lineamentos que se desenvolveu nas duas últimas décadas. Este mesmo autor desenvolveu uma versão moderna para o programa de tratamento de lineamentos FRATAN (Amaral, 1980), versão esta para uso em microcomputadores. Com esta nova versão foi efetuada uma análise estatística dos mapas de lineamentos obtidos.

Este novo programa, agora denominado FRATURA, parte de um arquivo com as coordenadas do início e fim de cada linha, gerado em mesa digitalizadora. Como a digitalização de fotolineamentos (coordenada do início e fim de cada linha) apresentou muitas dificuldades para o uso de programas como AutoCAD, o citado autor desenvolveu um programa em BASIC (DIGIFRAT), para uso em mesas com padrão Microgrid da Summagraphics Inc. Este programa monta um arquivo ASCII com as coordenadas das extremidades de cada linha e, ao final, incorpora o azimute da mesa com relação ao mapa e os valores máximos e mínimos de X e Y. Este programa permite a digitalização do mapa em etapas e a posterior junção dos arquivos. Os arquivos assim montados são lidos pelo programa FRATURA, adaptado para o FORTRAN Power Station, que permite operar com grande volume de dados, juntamente com outras informações de interesse.

Inicialmente, as coordenadas são convertidas em azimute e comprimento de cada linha, a partir dos quais é feita uma análise estatística de todo o conjunto e montagem de histogramas circulares. Através de procedimentos interativos, são selecionadas classes de orientação para desenho das linhas e curvas de isodensidade, em "plotter". Finalmente, a região é dividida em um número variável de células (comumente 10x10), para as quais são calculados diversos parâmetros de estatística vetorial, os quais são plotados sob a forma de mapa de isolinhas, ou registrados em arquivos para uso em sistemas de processamento digital de imagens ou sistemas de informações georeferenciadas.

O programa FRATURA divide a área em 10 colunas no sentido E-W e usa o intervalo obtido para dividir a direção N-S. Para a área em questão, a mesma foi

dividida em 10 colunas e 11 linhas. Obteve-se um arquivo com 15 colunas, as quais são:

- 1 - coordenada x do centro da célula (UTM E);
- 2 - coordenada y do centro da célula (UTM N);
- 3 - número de linhas na célula;
- 4 - soma dos comprimentos das linhas na célula;
- 5 - azimute médio simples ;
- 6 - azimute médio ponderado;
- 7 - resultante simples;
- 8 - resultante ponderada;
- 9 - razão de consistência simples;
- 10 - razão de consistência ponderada;
- 11 - desvio padrão simples;
- 12 - desvio padrão ponderado;
- 13 - densidade de fraturamento (comprimento/km²);
- 14 - frequência de linhas (número/km²);
- 15 - número de intersecções por célula.

Deve-se ressaltar que não são listadas as células vazias, motivo pelo qual não há todas as 110 células. O dados gerados neste tipo de arquivo foram utilizados para a geração de mapas regionais, os quais serão utilizados para traçar um paralelo com as principais ocorrências minerais da área enfocada.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA GERAÇÃO DE ARQUIVOS DE DADOS

Ao se iniciar a captura de dados vetoriais para a geração do arquivo de dados procurou-se padronizar o sistema de coordenadas usado, uma vez que havia variações nos vários mapas dos diferentes projetos utilizados no que se refere ao seu sistema de coordenadas. Assim, procurou-se fazer a conversão de coordenadas geográficas em UTM e deste modo, foi possível tornar todas as folhas utilizadas referenciadas em função de um mesmo sistema de coordenadas UTM.

Assim, a partir deste banco de dados, pode-se obter um mapa geológico-estrutural para a área representada na figura 2.2, em escala 1:100.000, com um bom nível de detalhamento das principais unidades geológicas e feições estruturais da área. Procurou-se, a partir deste mapa, fazer uma correlação entre os lineamentos extraídos da imagem LANDSAT-TM com o contexto geológico da área em questão.

3.1.1- CORRELAÇÃO CONTEXTO GEOLÓGICO/LINEAMENTOS

A área enfocada apresenta um contexto geológico que compreende: a- terrenos granito-gnáissicos arqueanos; b- Greenstones Belts arqueanos e, c- seqüências supracrustais do Proterozóico Inferior a Médio.

Os terrenos granito-gnáissicos ocorrem bordejando as seqüências supracrustais nas porções NE e NW da área. Apresentam-se como estruturas dômicas e, conforme divisão proposta por Herz (1970), são denominados Complexos Belo Horizonte e Caeté.

De modo geral, o nível de estudos relacionados a esses complexos é superficial e, partindo-se da bibliografia existente, pode-se dizer que estes são constituídos basicamente por gnaisses polideformados, metatonalitos metagranitos, migmatitos, anfíbolitos, metaultramafitos e pegmatitos.

Como pode-se observar na figura 2.4., a densidade de lineamentos extraídos da imagem LANDSAT-TM nas porções de ocorrência destes domos é bem menor do que no restante da área.

As litologias características do Greenstone Belt arqueano acham-se dispostas no Supergrupo Rio das Velhas (Schorscher et al., 1982). A grande totalidade da área é caracterizada pela ocorrência de rochas relacionadas a esta unidade, as quais ocorrem numa larga faixa arqueada que se estende de norte a sul e também no extremo SE.

Sua porção inferior, o Grupo Nova Lima, é, do ponto de vista econômico, de grande importância por conter as grandes ocorrências (depósitos) auríferos da região. Para a área de ocorrência de rochas do Grupo Nova Lima, pode-se afirmar que os lineamentos extraídos da imagem LANDSAT-TM exibem um padrão de orientação muito similar aos falhamentos observados no mapa anexo, ou seja, têm orientação NW/SE. Nas áreas de ocorrência destas litologias a foliação regional tem uma direção SW/NE, isto é, perpendicular aos lineamentos extraídos, o que possibilita dizer que estes lineamentos foram gerados a partir de um comportamento rúptil destas rochas (figura 3.1).

Ainda com relação as litologias do Grupo Nova Lima, nota-se também lineamentos menores coincidentes com a foliação regional. Na área localizada a SW de Nova Lima pode-se observar lineamentos curvos, os quais estão relacionados a xistosidade das rochas.

Já a unidade de topo do Supergrupo Rio das Velhas, o Grupo Maquiné, tem ocorrência restrita a porção centro-sul da área, sendo caracterizada por estreitas faixas de direção NW-SE. Os lineamentos extraídos da imagem para a área de ocorrência deste grupo tendem a acompanhar o acarnamento destas rochas.

As seqüências supracrustais aparecem bordejando toda área e são definidas pelos Supergrupos Minas e Espinhaço.

O Supergrupo Minas sobrepõe-se às rochas dos complexos metamórficos e Supergrupo Rio das Velhas, geralmente em contato tectônico.

Basicamente tais seqüências ocorrem na Serra do Curral e no Sinclinal de Gandarela (Supergrupo Minas) e na Serra das Cambotas (Supergrupo Espinhaço).

A Serra do Curral é um megassinclinal situado na porção NW da área e é uma estrutura de direção NE/SW. Estende-se desde a sua junção com o Sinclinal da Moeda, no extremo SW da área, até seu fechamento, no extremo NE, definido pelo Sinclinal da Piedade. De modo geral, os lineamentos extraídos da imagem

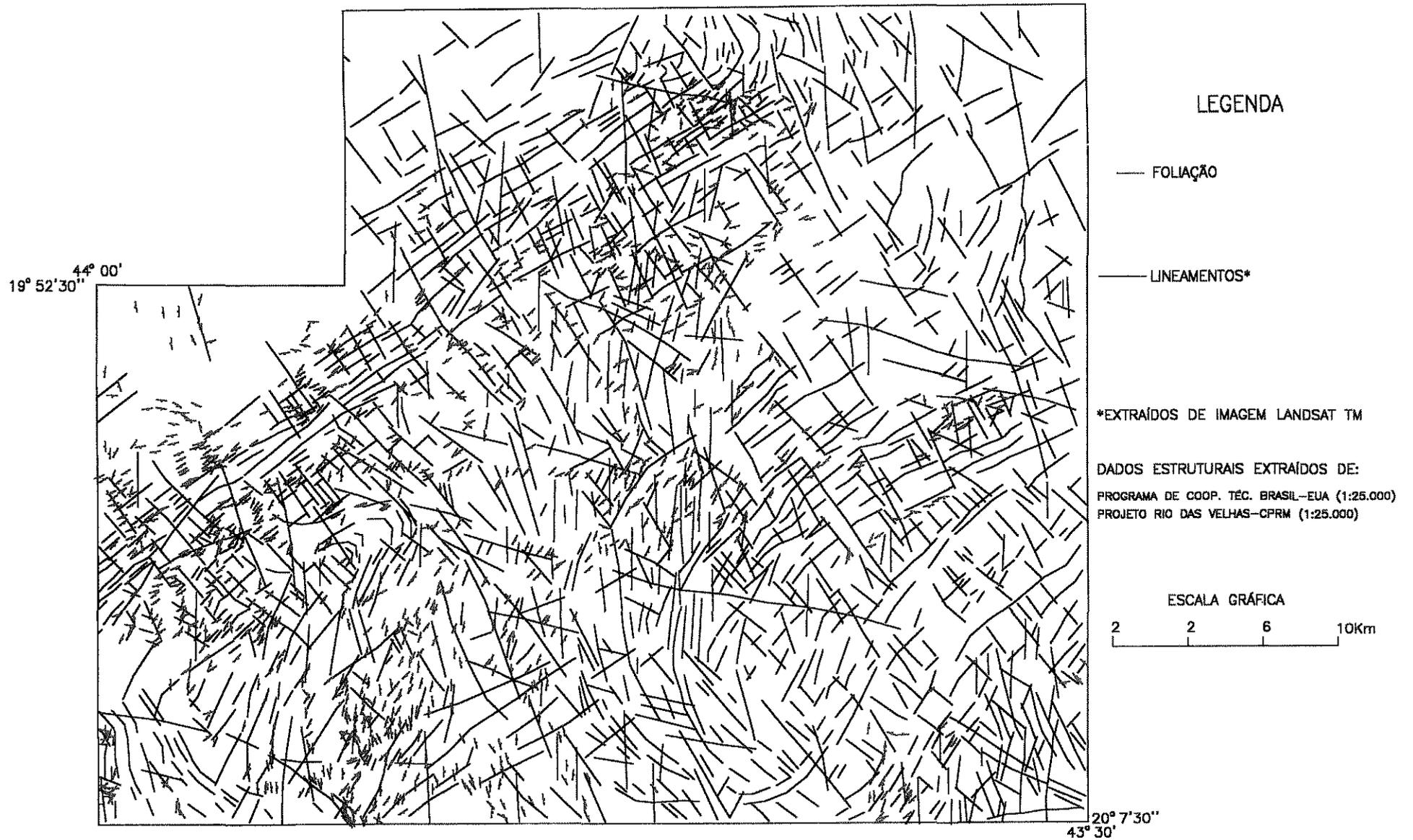


Figura 3.1-Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM sobrepostos a medidas de foliação.

LANDSAT-TM na área da Serra do Curral apresentam uma direção NE/SW e estão coincidentes com o acamamento regional. Tais lineamentos sofrem dobramentos no extremo NE (Sinclinal de Piedade) e também no extremo SW (Sinclinal da Moeda) da serra em questão. Nota-se também feições lineares perpendiculares a tais lineamentos em toda extensão da serra.

O Sinclinal de Gandarela, outra área de ocorrência destas sequências, é um sinforme com eixo NE/SW e aparece na porção SE da área. Os lineamentos observados apresentam um padrão bem semelhante aos extraídos para a Serra do Curral, isto é, possuem uma direção NE/SW em sua grande maioria, sendo cortados por lineamentos de direção NW/SE.

A Serra das Cambotas, constituída por rochas correlacionadas ao Supergrupo Espinhaço, é constituída por um pacote quartzítico e localiza-se na porção NE da área. Também posicionadas no Supergrupo Espinhaço estão as rochas da Serra do Caraça. Merece destaque na Serra do Caraça a presença de diques máficos intrudidos na sequência supracrustal. Os lineamentos observados aqui não são tão extensos quanto os observados nas litologias do Supergrupo Minas. Basicamente, tais lineamentos tem direção SE/NW. Na Serra do Caraça, os lineamentos, além da direção SE/NW, exibem um padrão que acompanha as intrusões básicas observadas na imagem. Estes lineamentos exibem um comportamento de característica rúptil, uma vez que não são coincidentes com a estruturação N/S destas duas feições fisiográficas (figura 3.2).

3. 2 - RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS LANDSAT - TM

A importância de produtos de sensoriamento remoto em trabalhos geológicos de caráter regional, principalmente através do uso de cópias fotográficas (papel) já é algo rotineiro nas ciências geológicas. Entretanto, no formato digital (raster) várias técnicas permitem a visualização de feições distintas e, conseqüentemente, novas interpretações. Tais dados digitais podem, por exemplo, ter suas informações cruzadas com o vasto material cartográfico disponível para esta região do Quadrilátero Ferrífero, através da sobreposição de diferentes mapas geológicos digitalizados (vetores, figura 3.3), fornecendo novos subsídios interpretativos ou mesmo, comprovando aqueles já existentes.

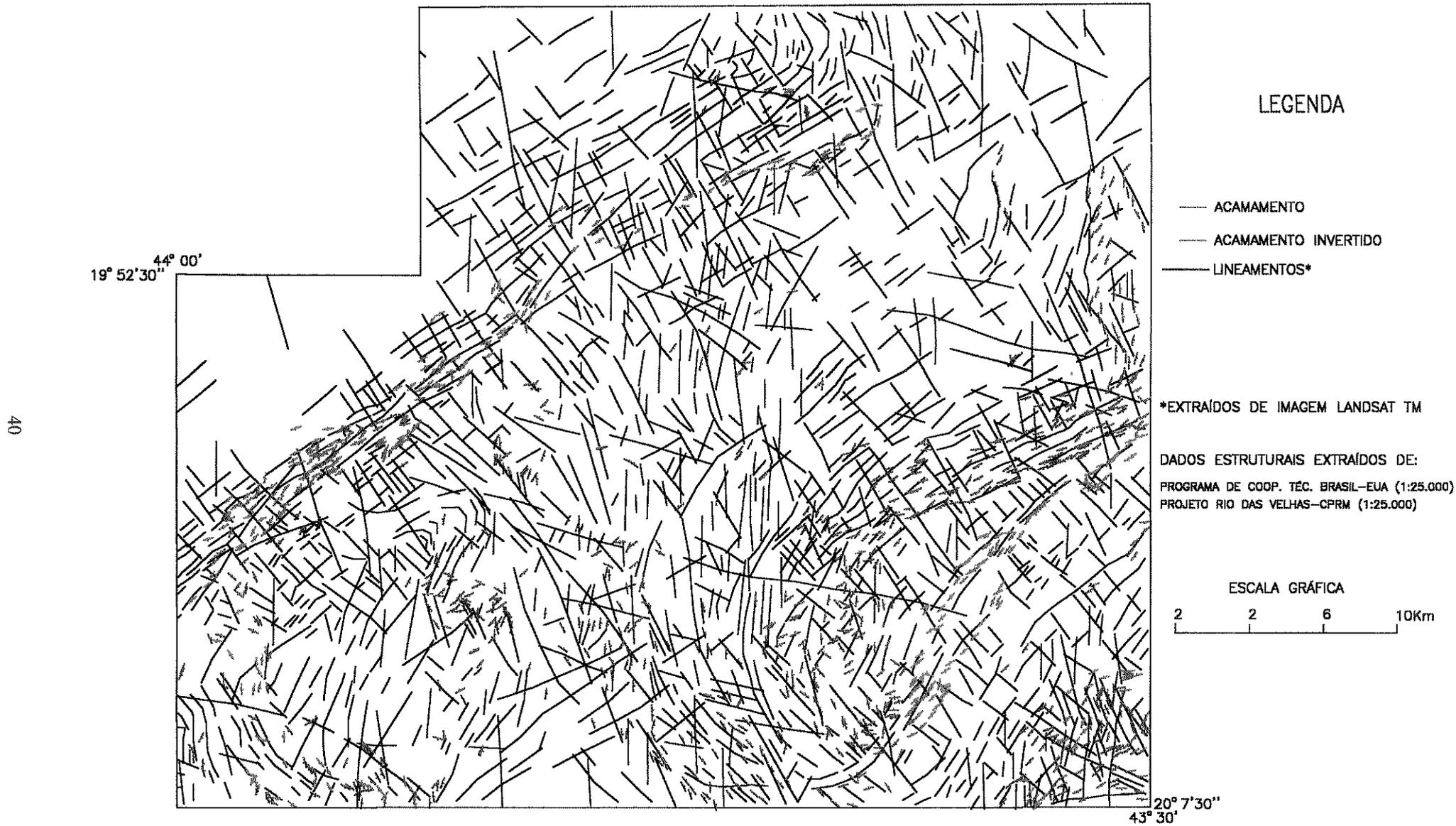


Figura 3.2-Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM sobrepostos a medidas de acamamento.

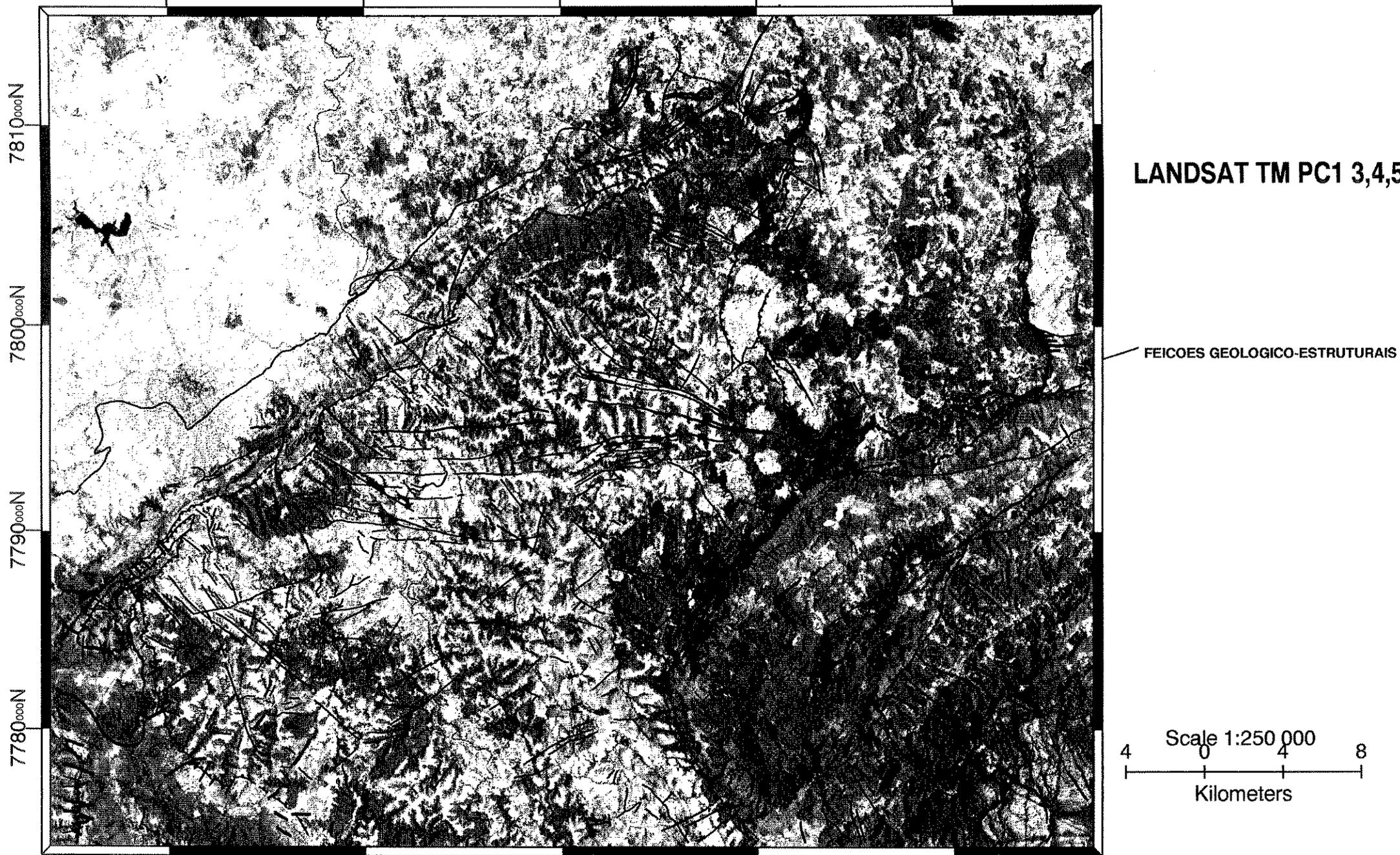


Figura 3.3-Imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 com sobreposição de vetores (feições geológico-estruturais).

Assim, analisando-se visualmente as imagens digitais LANDSAT-TM, algumas feições já se tornam evidentes, uma vez que estas imagens permitem uma visualização geral da estruturação da área enfocada (figura 2.3).

Deste modo, em termos gerais, pode-se destacar a Oeste, a Serra do Curral e sua junção com o Sinclinal da Moeda, onde pode-se distinguir as litologias do Supergrupo Minas; a Sudeste o Sinclinal de Gandarela, também uma área de predomínio do Supergrupo Minas, onde pode-se observar a Falha do Fundão; a Noroeste e Nordeste, dois complexos granítico-granitóides, o de Belo Horizonte e o de Caeté. Dando continuidade a este tipo de observação, será apresentado a seguir a análise das imagens LANDSAT-TM, integrando-a aos dados geológicos disponíveis.

Na porção Leste pode-se observar um grande feixe de lineamentos nas litologias do Supergrupo Minas, na área de ocorrência das minas da região de Gôngo Soco (figura 3.4). Os lineamentos extraídos da imagem LANDSAT-TM (figura 3.5) exibem uma orientação bem semelhante as feições lineares observadas na figura 3.4. Este feixe estende-se para a região a Leste da área enfocada por alguns quilômetros e dentro da área de estudo, está limitado pelas rochas granito-gnáissicas do Complexo de Caeté a Norte, e atua como um condicionante ao flanco Norte do Sinclinal de Gandarela (figura 3.4). A Falha do Fundão tem sua terminação Norte nestes lineamentos.

Ainda na porção Leste, encaixada em rochas granito-gnáissicas, observa-se as formações quartzíticas da Serra das Cambotas, que vem a ser um prolongamento da Serra do Espinhaço. Todo o limite Sul da Serra das Cambotas acha-se condicionado pelo feixe de lineamentos descrito anteriormente.

Na Serra do Caraça (extremo SE), tais quartzitos, correlacionados ao Supergrupo Espinhaço, voltam a aparecer, com o mesmo arranjo N-S que ocorre na Serra das Cambotas. O Sinclinal de Gandarela aparece interpondo-se a estas duas feições (figura 3.6). Pode-se notar na figura 3.7 que os lineamentos extraídos da imagem LANDSAT-TM tem uma orientação bem similar as feições observadas na figura 3.6.

Ainda com relação a Serra do Caraça, pode-se notar que esta acha-se limitada por um sistema de falhamentos em relação as rochas adjacentes e, no interior da referida serra é facilmente perceptível um padrão de fraturamentos com direção E-W, N-S e WNW-ESE, aos quais associam-se intrusões básicas.

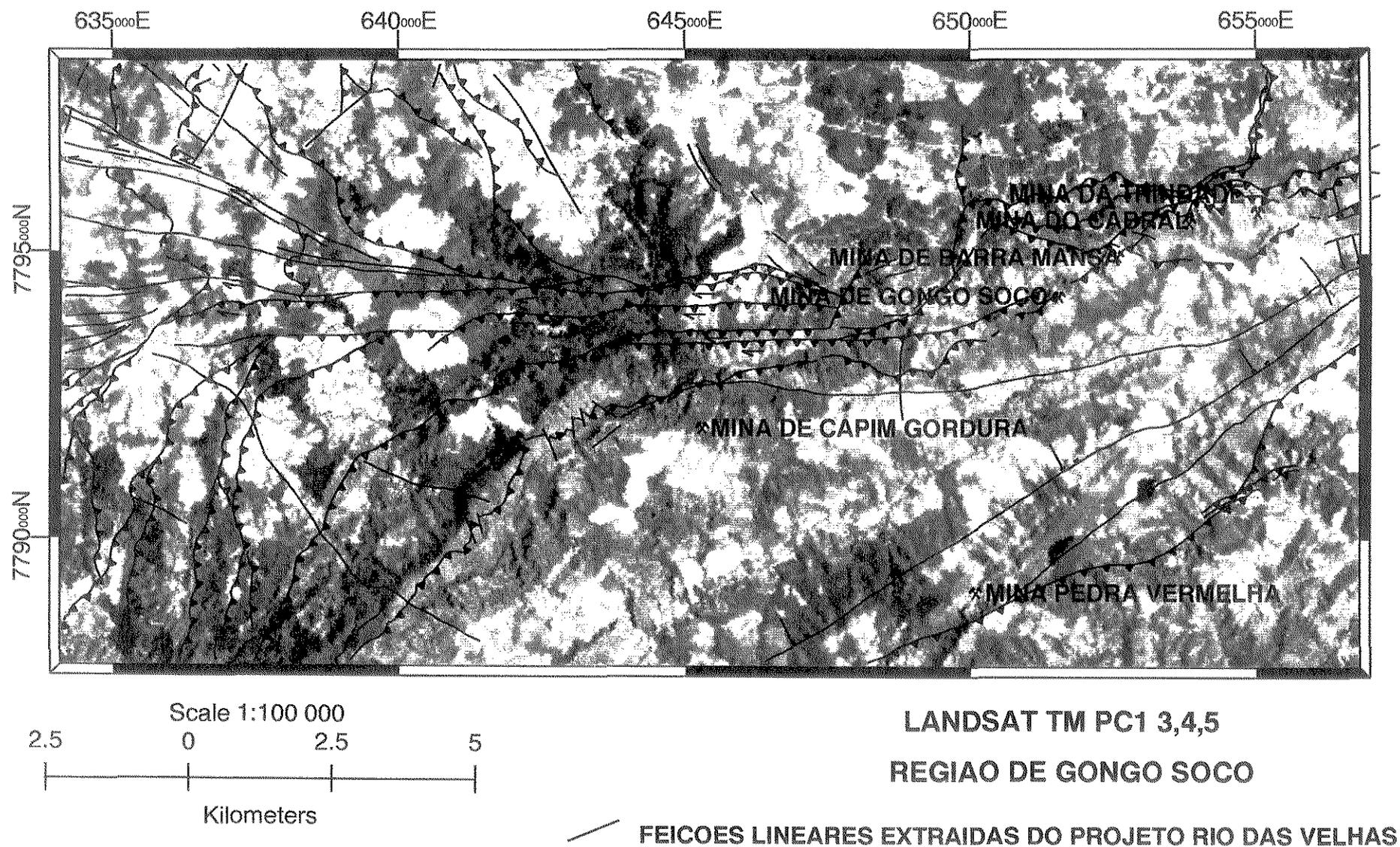


Figura 3.4-Sobreposição de dados geológico-estruturais sobre imagem LANDSAT-TM para a área de Gongo Sôco.

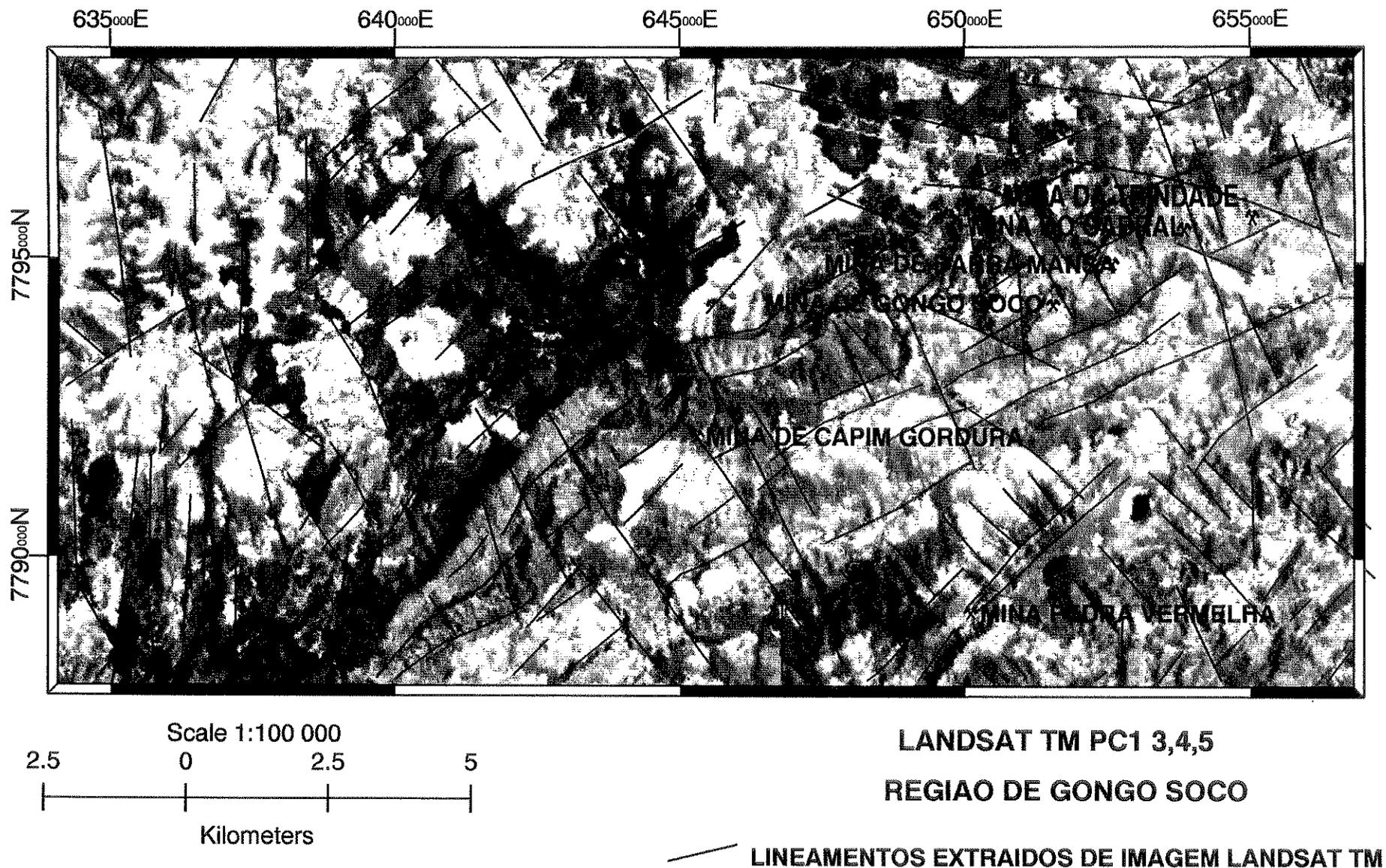
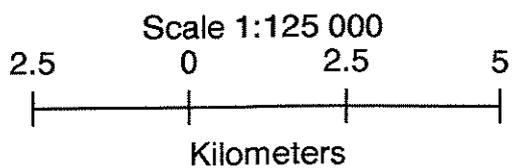
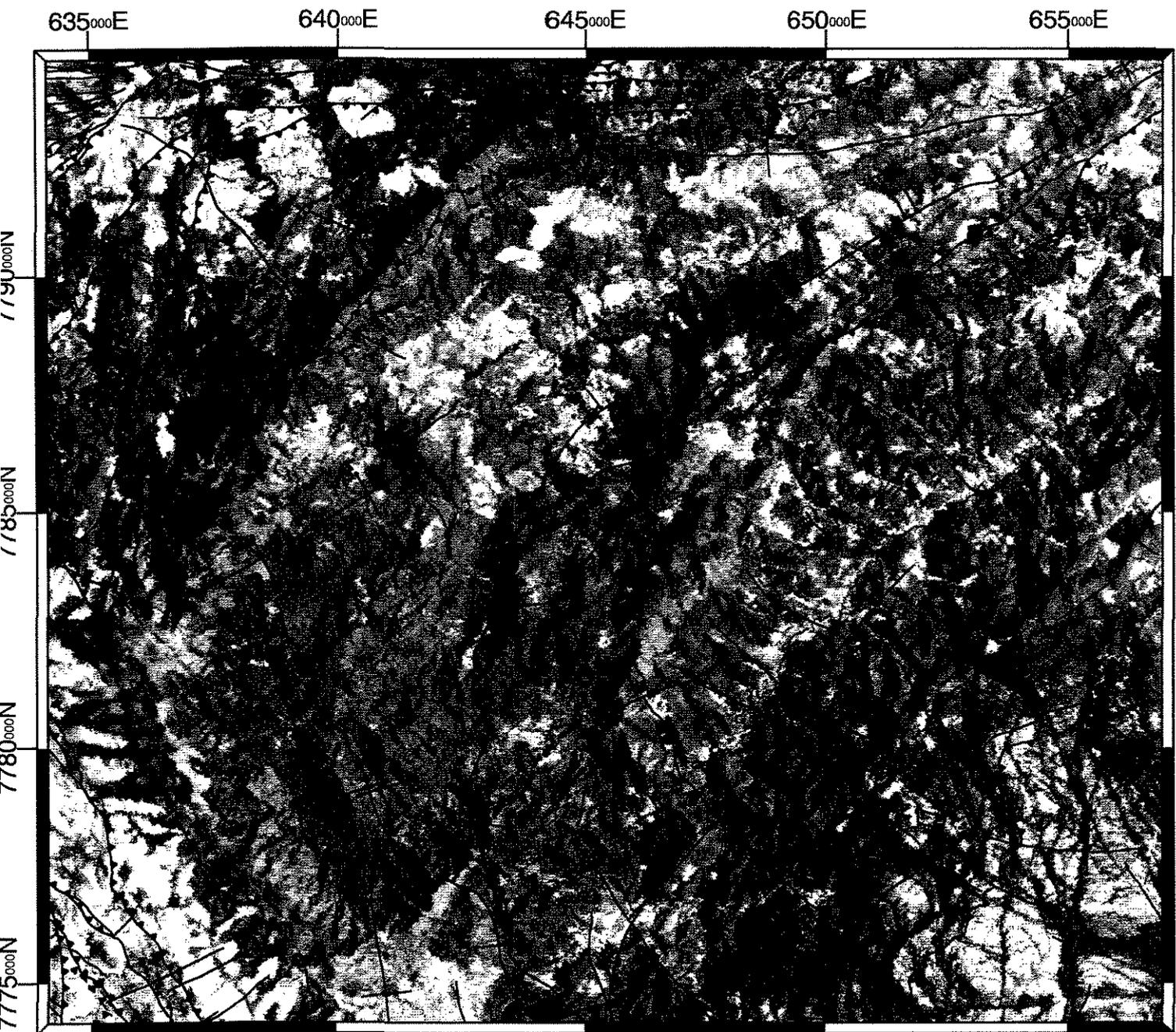


Figura 3.5-Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 para a região de Gongo Sôco.

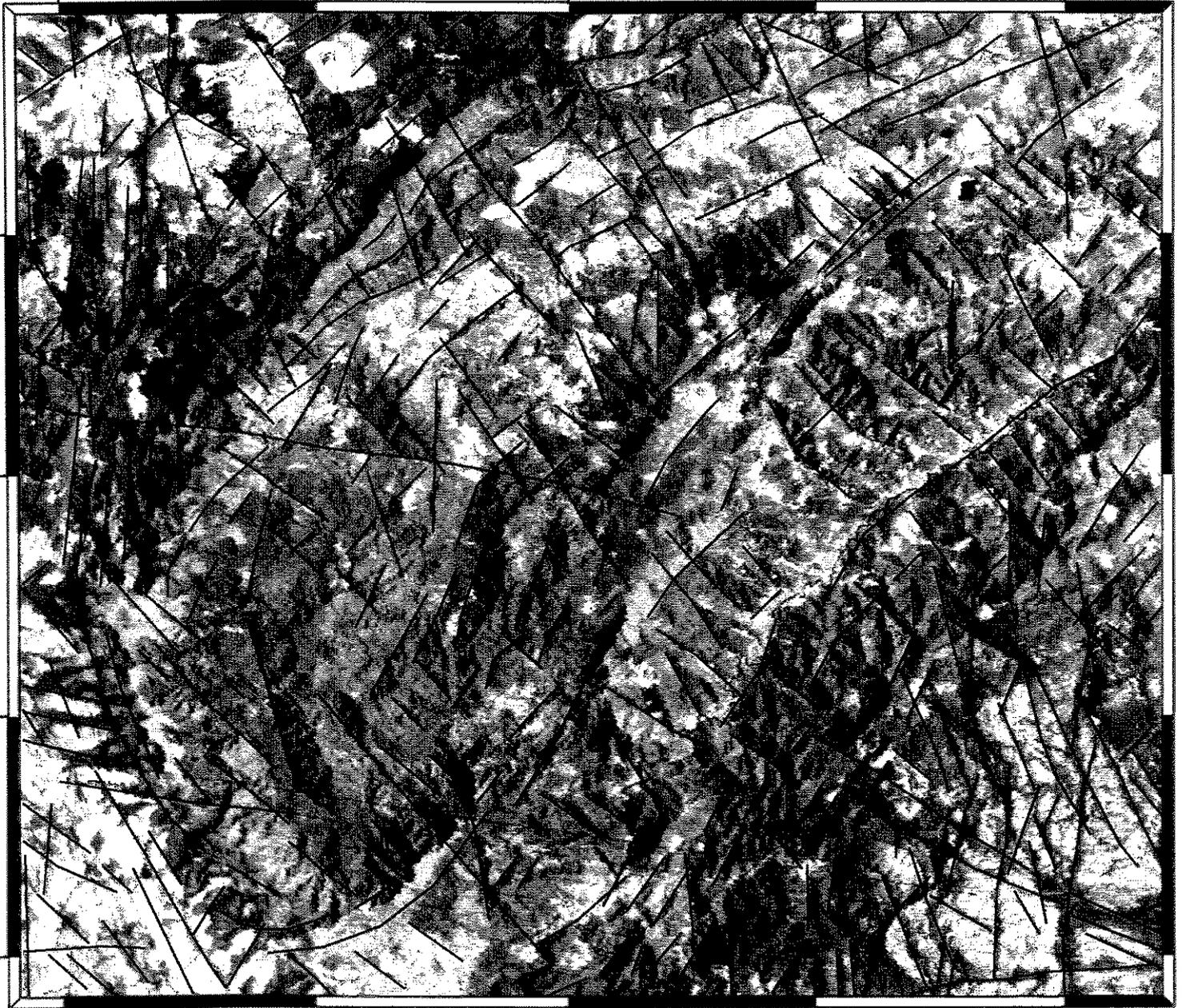


**LANDSAT TM PC1 3,4,5
SINCLINAL DE GANDARELA**

— FEICOES LINEARES EXTRAIDAS DO PROJETO RIO DAS VELHAS

Figura 3.6-Sobreposição de dados geológicos-estruturais sobre imagem LANDSAT-TM para a área do Sinclinal de Gandarela.

635⁰⁰⁰E 640⁰⁰⁰E 645⁰⁰⁰E 650⁰⁰⁰E 655⁰⁰⁰E



Scale 1:125 000



Kilometers

**LANDSAT TM PC1 3,4,5
SINCLINAL DE GANDARELA**

— LINEAMENTOS EXTRAIDOS DE IMAGEM LANDSAT TM

Figura 3.7-Lineamentos extraídos de imagem LANDSAT-TM PC1 3,4,5 para a área do Sinclinal de Gandarela.

Na porção Oeste pode-se observar a junção do Sinclinal da Moeda com a Serra do Curral. A Serra da Moeda, caracterizada basicamente por itabiritos e quartzitos está limitada em relação as litologias adjacentes por cavalgamentos. Nas camadas limitrofes às rochas do Supergrupo Rio das Velhas, observa-se falhamentos com deslocamentos horizontais. A discordância estrutural entre as rochas da Serra da Moeda e as rochas adjacentes é muito nítida, bem como a junção desta com a Serra do Curral. Esta última, por sua vez, apresenta uma direção SW-NE, com uma extensão aproximada de 20 Km e composta também por quartzitos e itabiritos.

Quanto aos aspectos litológicos, a delimitação dos terrenos metassedimentares e metavulcânicos é evidente. À primeira vista, sobressai-se o Grupo Itabira, bem definido pela presença de itabiritos, ricos em Fe, elemento com forte absorção no infravermelho. As litologias quartzíticas são delimitadas pela sua morfologia e também pela sua tonalidade clara.

As rochas correlacionáveis ao Supergrupo Rio das Velhas são também bem individualizadas pelo contraste entre estas rochas e as unidades quartzíticas e itabiríticas e/ou granito-gnáissicas adjacentes. Também uma característica textural muito rugosa, deixando transparecer uma intensa rede de drenagem, e uma tonalidade mais escura favorecem esta delimitação. Na porção Centro-Sul, uma faixa de ocorrência do Grupo Maquiné é também individualizada por apresentar uma tonalidade mais clara em relação as rochas do Grupo Nova Lima adjacentes.

3. 3 - RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS LINEAMENTOS EXTRAÍDOS

Neste item procurou-se traçar um paralelo entre os principais resultados estatísticos obtidos com algumas das principais minas existentes na região e, por conseguinte, uma relação destes parâmetros com o ambiente geológico de ocorrência destas minas.

Inicialmente, a nível de análise, gerou-se uma lista dos resultados estatísticos para toda a área. Estes resultados podem ser observados na tabela 3.1.

Oteve-se também uma listagem classificando os lineamentos em intervalos de azimute. Nela, consta os limites inferiores e superiores da classe (em graus), o número de linhas existentes neste intervalo, o comprimento total de linhas existentes

RESULTADOS ESTATISTICOS DA ÁREA
AZIMUTE SIMPLES = 10.76
RESULTANTE SIMPLES = 954.14
RAZAO DE CONSISTENCIA SIMPLES = .59
VARIANCIA CIRCULAR SIMPLES = .40773
DESVIO PADRAO SIMPLES = 58.64
AZIMUTE PONDERADO = 15.54
RESULTANTE PONDERADA = 1594.18
RAZAO DE CONSISTENCIA PONDERADA = .62
VARIANCIA CIRCULAR PONDERADA = .38
DESVIO PADRAO PONDERADO = 55.79
SOMA DOS COMPR. = 2561.06
NUMERO DE PONTOS = 1611
UA = 7815.867
UZ = 7774.365
VA = 604.527
VZ = 656.798
DU = -5.227
DV = 5.227

Tabela 3.1: Resultados estatísticos da área enfocada.

nesta classe, as porcentagens de números de linhas e do comprimento destas no correspondente intervalo (tabela 3.2).

Numa etapa posterior, utilizando-se o programa FRATURA, a área foi dividida em 10 colunas no sentido E-W e usou o intervalo obtido para dividir a direção N-S. Assim, a área considerada foi dividida em 10 colunas e 11 linhas. A tabela 3.3 ilustra os principais parâmetros estatísticos para cada célula. Deve-se ressaltar que não são listadas as células vazias, razão pela qual não existem as 110 células.

A partir destes parâmetros, gerou-se mapas regionais, que consideram as coordenadas UTM das células e uma terceira variável que seria um destes parâmetros estatísticos. À estes mapas regionais, correlacionou-se então as principais minas existentes na área em foco (figura 3.8). As figuras 3.9 a 3.21 são o resultado desta integração.

Analisando-se visualmente estas figuras, atribuiu-se conceitos (alto, baixo ou indeterminado) para o parâmetro estatístico observado na área de ocorrência das minas. A tabela 3.4 apresenta tais conceitos, e, aliado a estes existe a unidade estratigráfica na qual a mina está inserida.

Analisando esta tabela, temos:

- a soma dos **comprimentos das linhas na célula** apresenta, no geral, valores intermediários para as unidades estratigráficas existentes na área;

- o **número de linhas por células** são valores, em geral intermediários nas áreas de ocorrência das minas, e, baixos onde ocorrem minas inativas. Baixos intervalos de números de linhas são notados nas áreas de ocorrência das Unidades Inferiores do Grupo Nova Lima;

- os **azimutes simples e ponderados** apresentaram intervalos de valores baixos em todas unidades, estando todas as minas inseridas nestes intervalos;

- a **resultante simples** aparece com intervalos intermediários a altos nas várias unidades, e, nas unidades Inferiores e Média do Grupo Nova Lima, onde a **resultante ponderada** varia de intervalos intermediários a baixos, pode-se notar que ocorrem apenas minas inativas;

- a maioria das minas estão inseridas onde os lineamentos ocorrem em intervalos intermediários a altos no que se refere a **razão de consistência simples e ponderada** destes;

LI	LS	NO	COMP	%NO	%COMP
0	5	67	12.125.240	4,16	4,73
5	10	54	8.743.244	3,35	3,41
10	15	33	4.646.536	2,05	1,81
15	20	32	4.111.452	1,99	1,61
20	25	38	4.341.372	2,36	1,7
25	30	50	6.795.406	3,1	2,65
30	35	63	7.975.848	3,91	3,11
35	40	55	6.226.504	3,41	2,43
40	45	62	7.332.487	3,85	2,86
45	50	68	8.046.510	4,22	3,14
50	55	95	13.364.040	5,9	5,22
55	60	97	13.362.720	6,02	5,22
60	65	81	13.096.150	5,03	5,11
65	70	55	8.355.470	3,41	3,26
70	75	18	2.933.976	1,12	1,15
75	80	5	434.702	0,31	0,17
80	85	4	671.352	0,25	0,26
85	90	3	171.955	0,19	0,07
90	95	7	995.677	0,43	0,39
95	100	7	1.573.393	0,43	0,61
100	105	14	4.641.231	0,87	1,81
105	110	21	4.309.237	1,3	1,68
110	115	21	3.345.049	1,3	1,31
115	120	19	3.239.779	1,18	1,27
120	125	20	3.439.026	1,24	1,34
125	130	43	6.546.088	2,67	2,56
130	135	59	8.847.861	3,66	3,45
135	140	71	10.143.820	4,41	3,96
140	145	90	15.176.170	5,59	5,93
145	150	95	17.351.660	5,9	6,78
150	155	72	14.054.410	4,47	5,49
155	160	47	10.741.860	2,92	4,19
160	165	32	6.222.413	1,99	2,43
165	170	35	7.231.969	2,17	2,82
170	175	29	5.798.641	1,8	2,26
175	180	49	9.713.103	3,04	3,79

LI- Limite Inferior

LS- Limite Superior

NO- Número de linhas

COMP- Comprimento total das linhas

%NO- Porcentagem do número de linhas

%COMP- porcentagem do comprimento das linhas

Tabela 3.2: Número e comprimento dos lineamentos em função dos limites de azimute.

X	Y	NO	COMP	AZ. M. S.	AZ. M.P.	R. S.	R. P.	R.C.S.	R.C.P.	D.P.S.	D.P.P.	D.F.	F.L.	N.I.
607,14	7813,25	7	16,8	32,41	31,95	4,99	16,2	0,71	0,96	47,09	15,45	0,61	0,26	1
612,37	7813,25	11	16,3	11,28	0,42	6,7	10,61	0,61	0,65	57,07	53,14	0,6	0,4	1
617,59	7813,25	8	17,11	32,03	18,22	5,86	14,06	0,73	0,82	45,27	35,91	0,63	0,29	2
622,82	7813,25	8	11,85	45,28	15,91	4,2	8,28	0,52	0,7	65,08	48,52	0,43	0,29	0
628,05	7813,25	10	13,21	54,58	32,63	8,12	10,4	0,81	0,79	36,93	39,63	0,48	0,37	0
633,28	7813,25	31	34,74	42,95	69,03	20,52	23,16	0,66	0,67	52,06	51,59	1,27	1,13	12
638,5	7813,25	51	38,01	8,24	11,1	32,94	23,73	0,65	0,62	53,57	55,62	1,39	1,87	3
643,73	7813,25	28	27,67	12,76	21,61	22,59	24,27	0,81	0,88	37,53	29,33	1,01	1,02	2
648,96	7813,25	16	20,26	19,3	10,96	12,59	16,64	0,79	0,82	39,69	35,93	0,74	0,59	3
654,18	7813,25	8	10,66	37,36	38,63	5,09	9,37	0,64	0,88	54,49	29,14	0,39	0,29	1
607,14	7808,03	5	9	11,58	1,39	3,74	8,03	0,75	0,89	43,75	27,41	0,33	0,18	0
612,37	7808,03	2	6,09	22,98	27,97	1,98	6,09	0,99	1	7,07	0,57	0,22	0,07	0
617,59	7808,03	9	14,54	7,31	9,26	5,3	12,32	0,59	0,85	58,96	32,98	0,53	0,33	2
622,82	7808,03	25	34,09	75,4	19,53	13,42	21,26	0,54	0,62	63,9	55,69	1,25	0,91	4
628,05	7808,03	33	41,83	56,16	51,31	20,59	27,01	0,62	0,65	55,66	53,6	1,53	1,21	9
633,28	7808,03	44	51,42	36,7	28,12	26,29	31,13	0,6	0,61	58,15	57,4	1,88	1,61	12
638,5	7808,03	47	56,9	58,63	47,55	29,58	34,6	0,63	0,61	55,14	57,14	2,08	1,72	18
643,73	7808,03	33	31,3	1,46	16,32	19,21	24,26	0,58	0,78	59,59	40,9	1,15	1,21	5
648,96	7808,03	27	23,43	10,86	47,1	17,42	17,14	0,65	0,73	53,64	45,31	0,86	0,99	3
654,18	7808,03	16	22,71	50,35	34,33	11,69	15,19	0,73	0,67	45,39	51,41	0,83	0,59	2
607,14	7802,8	1	2,61	32,14	32,14	1	2,61	1	1	0,02	0	0,1	0,04	0
612,37	7802,8	2	5,4	16,24	16,65	2	5,4	1	1	2,47	2,4	0,2	0,07	0
617,59	7802,8	8	4,02	13,82	29,99	4,85	2,18	0,61	0,54	57,34	63,25	0,15	0,29	1
622,82	7802,8	29	41,67	37,02	15,59	16,68	26,93	0,58	0,65	60,27	53,53	1,53	1,06	10
628,05	7802,8	41	47,58	14,19	0,56	25,61	27,97	0,62	0,59	55,59	59,06	1,74	1,5	15
633,28	7802,8	46	58,81	7,75	17,65	30,24	46,51	0,66	0,79	52,49	39,25	2,15	1,68	27
638,5	7802,8	26	30,29	4,32	15,13	15,88	18,99	0,61	0,63	56,9	55,37	1,11	0,95	6
643,73	7802,8	19	18,09	20,83	127,87	10	9,91	0,53	0,55	64,91	62,83	0,66	0,7	3
648,96	7802,8	35	30,99	14,57	10,82	23,93	20,05	0,68	0,65	49,96	53,46	1,13	1,28	3
654,18	7802,8	29	30,15	7,87	13,18	22,7	23,61	0,78	0,78	40,12	40,05	1,1	1,06	4

Tabela 3.3: Principais parâmetros estatísticos para cada célula.

X	Y	NO	COMP	AZ. M. S.	AZ. M.P.	R. S.	R. P.	R.C.S.	R.C.P.	D.P.S.	D.P.P.	D.F.	F.L.	N.I.
607,14	7797,57	2	5,56	56,08	55,9	2	5,56	1	1	1,13	1,1	0,2	0,07	0
612,37	7797,57	7	6,28	25,61	37,13	3,94	4,2	0,56	0,67	61,43	51,37	0,23	0,26	0
617,59	7797,57	38	46,58	68,31	73,91	25,29	27,06	0,67	0,58	51,7	59,72	1,7	1,39	17
622,82	7797,57	37	34,98	40,95	24,8	19,84	19,56	0,54	0,56	63,96	61,76	1,28	1,35	6
628,05	7797,57	34	33,63	19,12	32,48	27,47	28,73	0,81	0,85	37,43	32,16	1,23	1,24	3
633,28	7797,57	30	40,33	9,53	8,42	23,57	33,14	0,79	0,82	39,78	35,92	1,48	1,1	6
638,5	7797,57	27	29,87	29,79	31,83	18,83	19,68	0,7	0,66	48,65	52,34	1,09	0,99	5
643,73	7797,57	26	33,35	62,32	21,11	17,81	21,45	0,69	0,64	49,83	53,82	1,22	0,95	7
648,96	7797,57	30	34,83	104,66	104,82	18,06	24,48	0,6	0,7	57,73	48,11	1,27	1,1	8
654,18	7797,57	34	41,54	115,41	39,56	18,48	29,19	0,54	0,7	63,28	48,13	1,52	1,24	13
607,14	7792,35	25	23,01	51,21	9,49	16,14	14,36	0,65	0,62	53,59	55,62	0,84	0,91	2
612,37	7792,35	35	40,44	61,94	47,62	23,87	23,85	0,68	0,59	50,14	58,89	1,48	1,28	11
617,59	7792,35	44	49,74	93,22	43,96	26	32,33	0,59	0,65	58,78	53,18	1,82	1,61	12
622,82	7792,35	35	39,91	41,9	131,35	26,64	35,08	0,76	0,88	42,34	29,1	1,46	1,28	7
628,05	7792,35	23	32,22	21,06	17,13	17,57	28,71	0,76	0,89	42,07	27,54	1,18	0,84	1
633,28	7792,35	36	48,35	9,34	4,98	25,95	32,6	0,72	0,67	46,37	50,87	1,77	1,32	12
638,5	7792,35	41	47,62	29,85	4,46	30,65	33,8	0,75	0,71	43,7	47,45	1,74	1,5	10
643,73	7792,35	52	54,97	52,03	11,23	36,53	30,19	0,7	0,55	48,14	62,72	2,01	1,9	18
648,96	7792,35	45	50,42	76,19	103,11	25,75	28,66	0,57	0,57	60,54	60,89	1,85	1,65	15
654,18	7792,35	31	31,36	57,06	115,65	17,5	16,83	0,56	0,54	61,26	63,92	1,15	1,13	7
607,14	7787,12	42	42,13	50,15	40,9	27,52	29,48	0,66	0,7	52,68	48,42	1,54	1,54	9
612,37	7787,12	50	47,22	49,04	26,14	27,53	28,65	0,55	0,61	62,6	57,27	1,73	1,83	9
617,59	7787,12	45	49,73	2,54	1,2	29,45	36,98	0,65	0,74	52,76	44,11	1,82	1,65	8
622,82	7787,12	32	31,86	0,19	27,32	22,72	24,66	0,71	0,77	47,42	40,99	1,17	1,17	5
628,05	7787,12	28	41,35	1,72	43,24	20,92	27,75	0,75	0,67	43,73	51,18	1,51	1,02	17
633,28	7787,12	32	47,47	0,44	1,3	24,75	36,13	0,77	0,76	41,05	42,33	1,74	1,17	14
638,5	7787,12	53	61,04	28,23	12,09	38,51	38,01	0,73	0,62	45,8	55,78	2,23	1,94	17
643,73	7787,12	39	48,4	12,11	35,75	24,2	32,04	0,62	0,66	55,98	52,04	1,77	1,43	15
648,96	7787,12	37	32,95	7,3	36,04	20,92	20,81	0,57	0,63	61,18	54,93	1,21	1,35	9
654,18	7787,12	29	30,08	1,34	25,98	17,01	18,85	0,59	0,63	59,19	55,38	1,1	1,06	4
607,14	7781,89	25	28,3	18,26	129,26	17,08	19,37	0,68	0,68	50,03	49,9	1,04	0,91	5

Cont. tabela 3.3

X	Y	NO	COMP	AZ. M. S.	AZ. M.P.	R. S.	R. P.	R.C.S.	R.C.P.	D.P.S.	D.P.P.	D.F.	F.L.	N.I.
612,37	7781,89	27	30,93	13,66	25,89	20,63	24,97	0,76	0,81	42,05	37,51	1,13	0,99	3
617,59	7781,89	23	26,61	21,61	27,67	19,03	22,87	0,83	0,86	35,28	31,51	0,97	0,84	5
622,82	7781,89	24	30,04	9,05	15,49	16,99	19,34	0,71	0,64	47,64	53,76	1,1	0,88	4
628,05	7781,89	28	42,96	15,55	55,24	18,4	25,45	0,66	0,59	52,52	58,64	1,57	1,02	11
633,28	7781,89	41	52,42	25,1	41,12	30,71	35,58	0,75	0,68	43,56	50,44	1,92	1,5	17
638,5	7781,89	31	31,4	12,31	20,82	20,67	25,92	0,67	0,83	51,58	35,47	1,15	1,13	1
643,73	7781,89	36	31,76	4,92	18,29	24,08	24,44	0,67	0,77	51,37	41,47	1,16	1,32	3
648,96	7781,89	39	36,51	2,94	7,35	24,3	23,41	0,62	0,64	55,74	54,04	1,34	1,43	4
654,18	7781,89	28	37,24	1,52	4,33	21,06	30,58	0,75	0,82	43,24	35,95	1,36	1,02	10
607,14	7776,66	21	21,86	19,64	34,12	16,94	16,57	0,81	0,76	37,57	42,65	0,8	0,77	5
612,37	7776,66	23	22,78	31,78	4,36	16,49	16,49	0,72	0,72	46,74	46,09	0,83	0,84	3
617,59	7776,66	18	20,15	13,41	10,63	12,17	12,72	0,68	0,63	50,68	54,98	0,74	0,66	8
622,82	7776,66	14	19,63	46,22	35,78	12,41	14,58	0,89	0,74	28,1	44,2	0,72	0,51	3
628,05	7776,66	13	22,22	20,78	14,35	9,13	15,53	0,7	0,7	48,17	48,49	0,81	0,48	3
633,28	7776,66	26	32,02	44,3	42,5	22,26	23,03	0,86	0,72	31,94	46,51	1,17	0,95	7
638,5	7776,66	26	29,53	133,86	43,25	21,04	24,03	0,81	0,81	37,28	36,77	1,08	0,95	2
643,73	7776,66	29	31,25	25,02	17,34	19,41	20,86	0,67	0,67	51,33	51,52	1,14	1,06	4
648,96	7776,66	44	49,88	7,82	0,93	32,05	38,77	0,73	0,78	45,62	40,68	1,83	1,61	11
654,18	7776,66	30	38,92	22,26	34,28	22,24	25,27	0,74	0,65	44,32	53,25	1,42	1,1	8

Cont. tabela 3.3

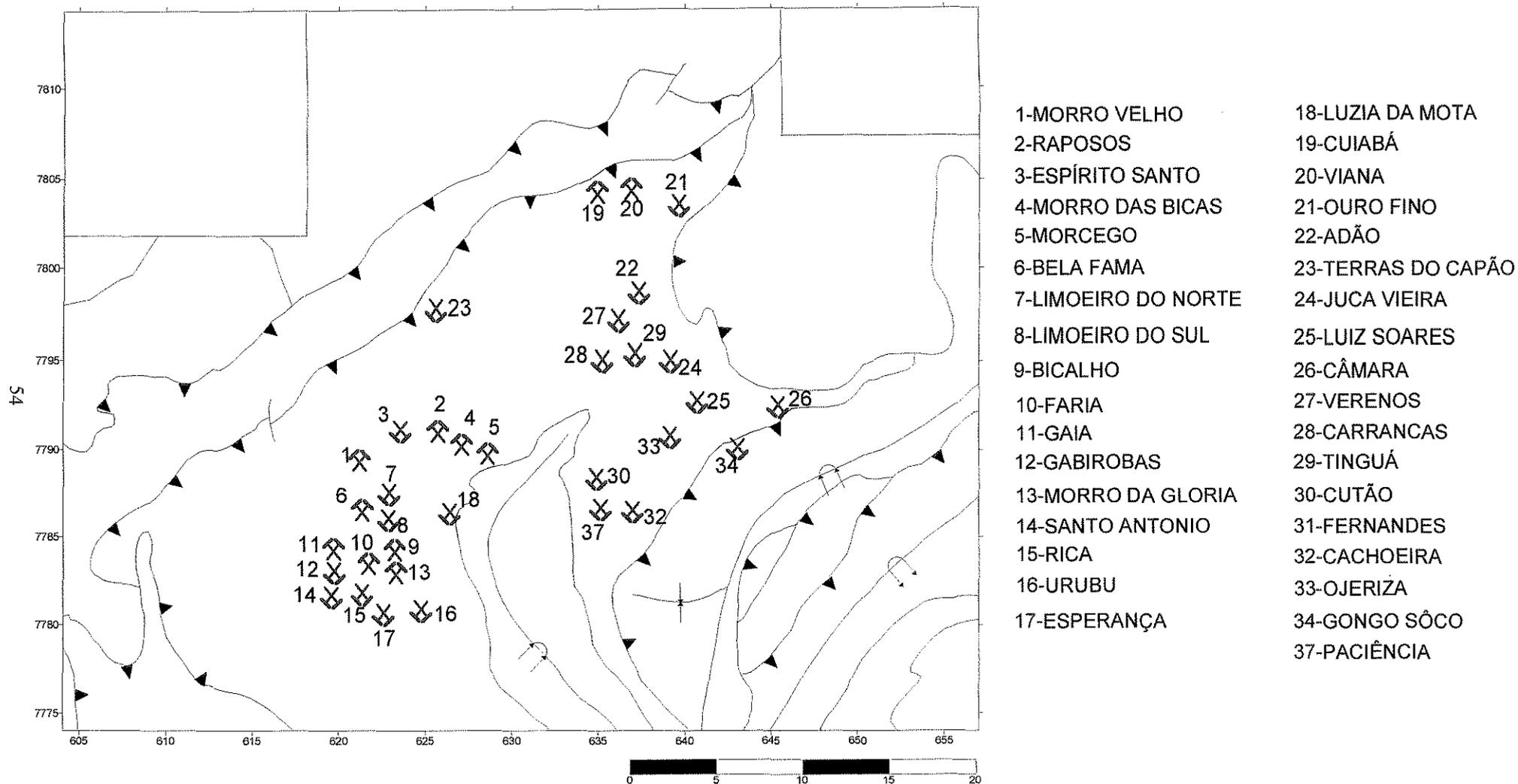


Figura 3.8-Mapa esquemático ilustrando a localização das principais minas do Quadrilátero Ferrífero

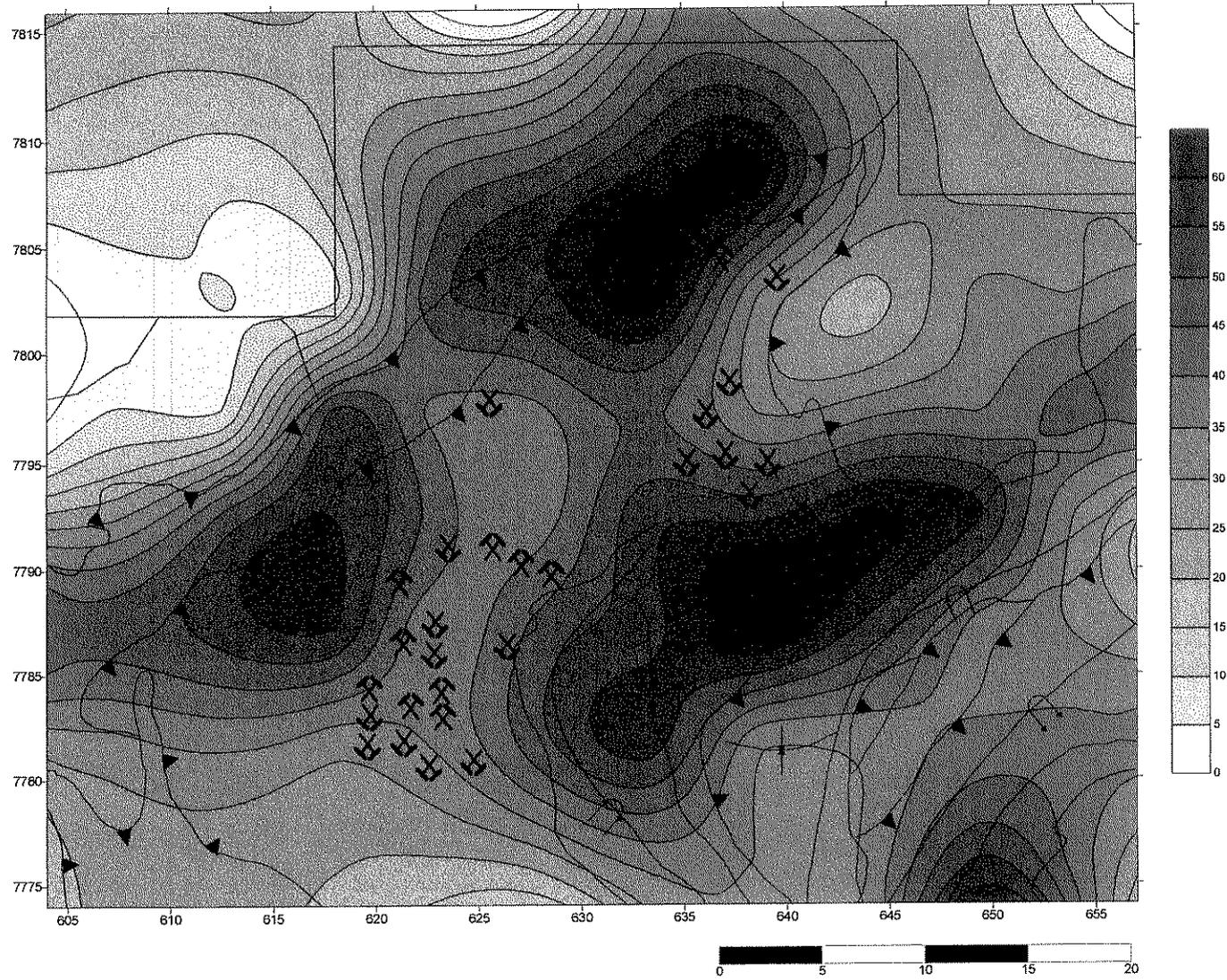


Figura 3.9-Comprimento total/célula.

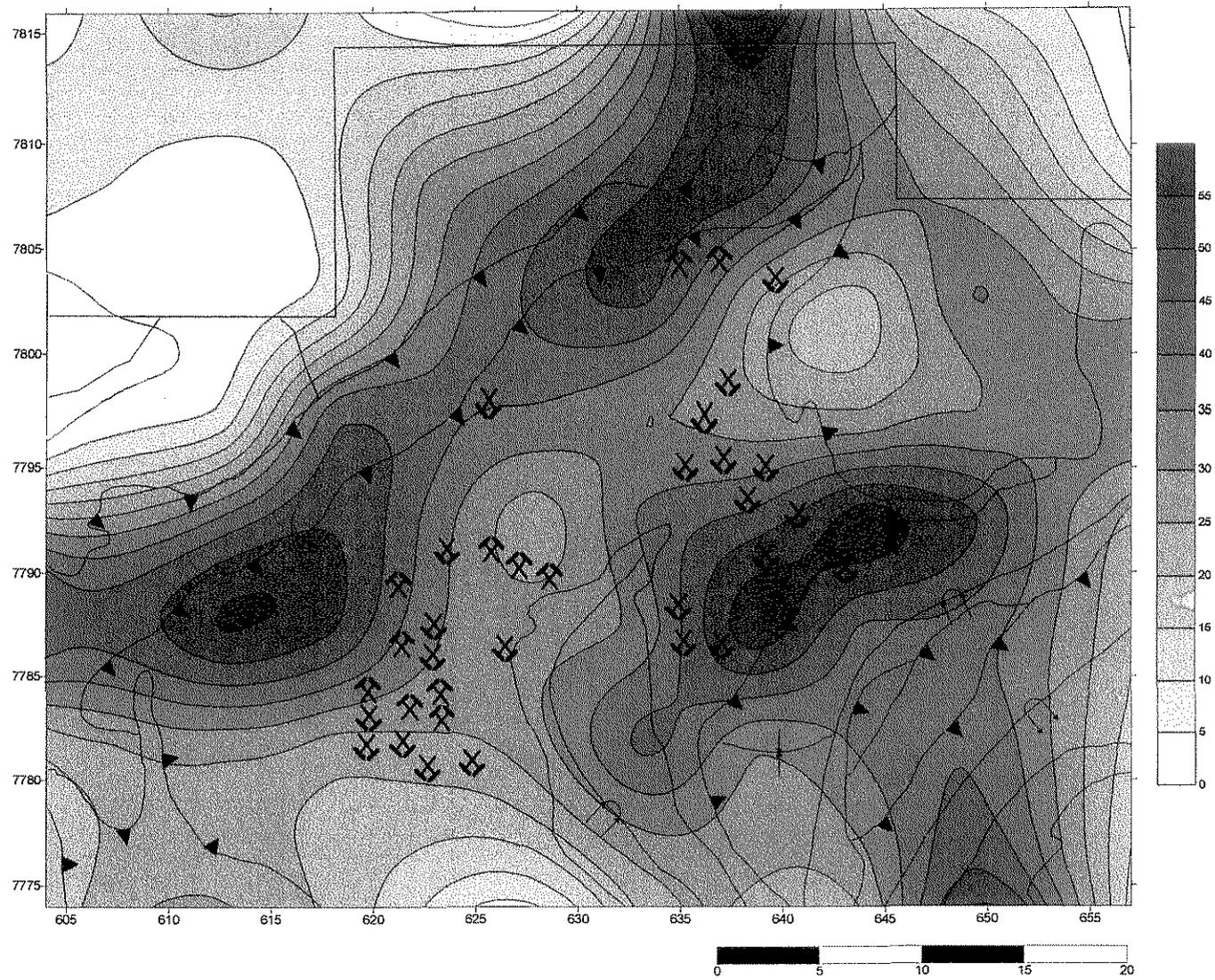


Figura 3.10-Número de linhas/célula.

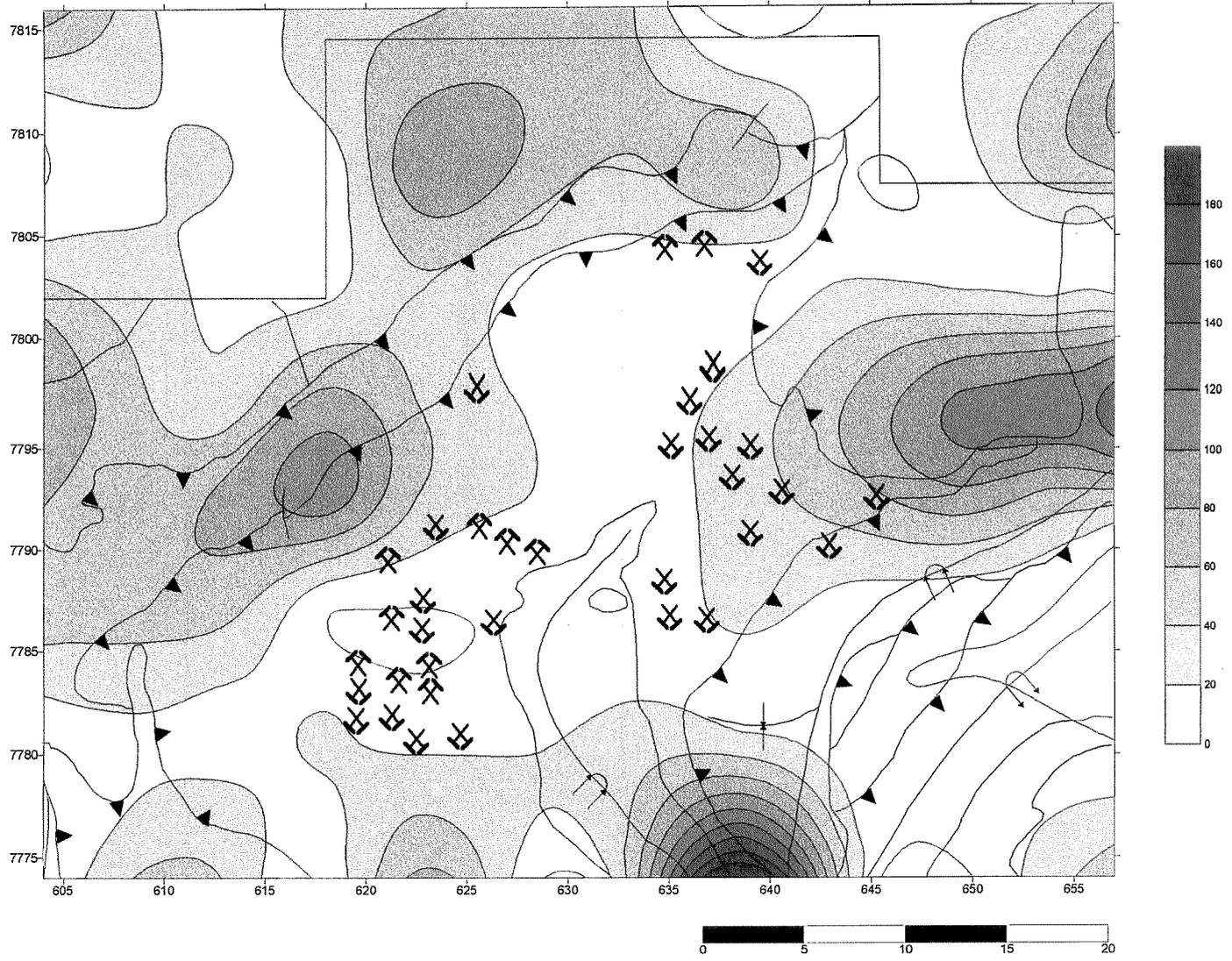


Figura 3.11-Azimute simples.

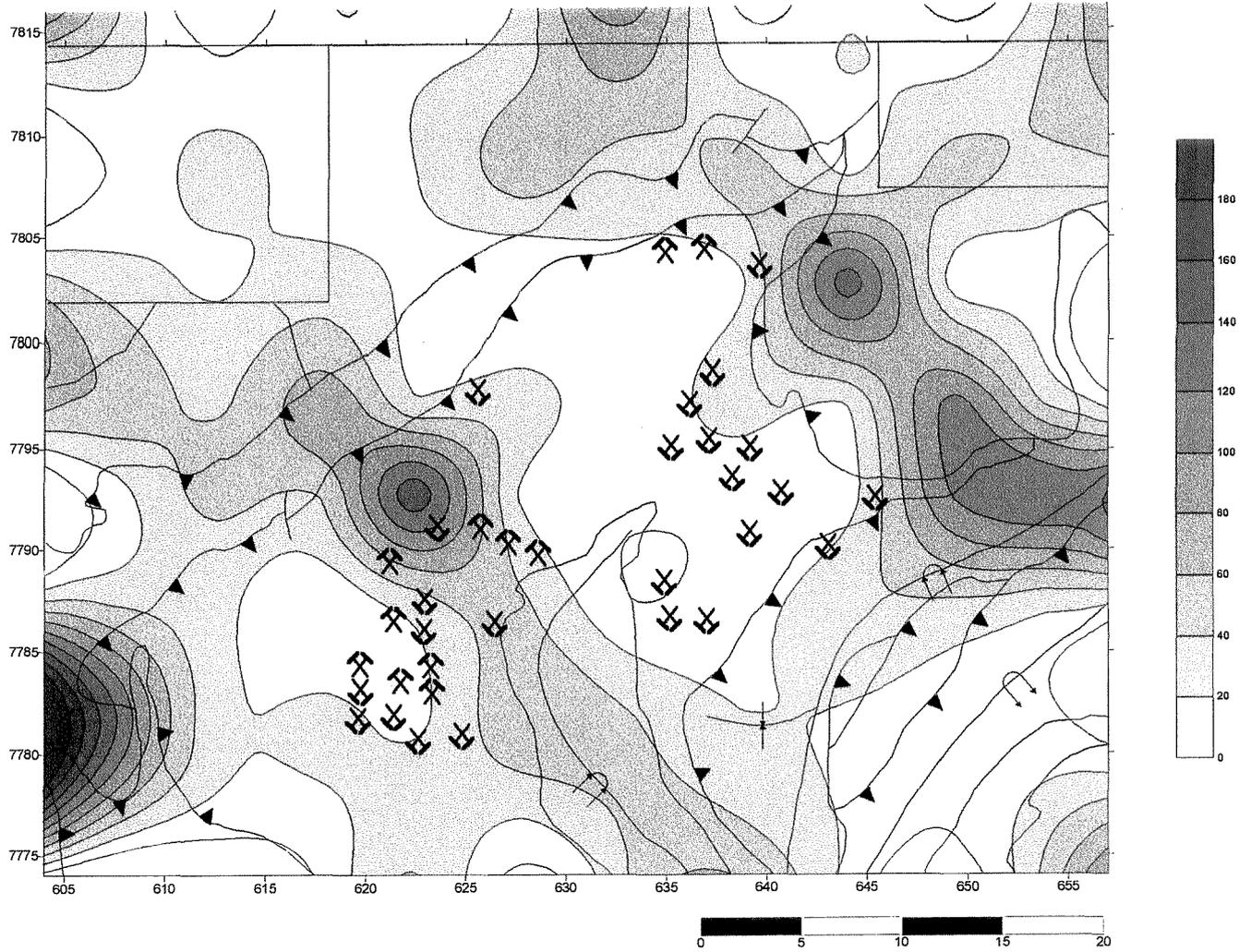


Figura 3.12-Azimuth ponderado.

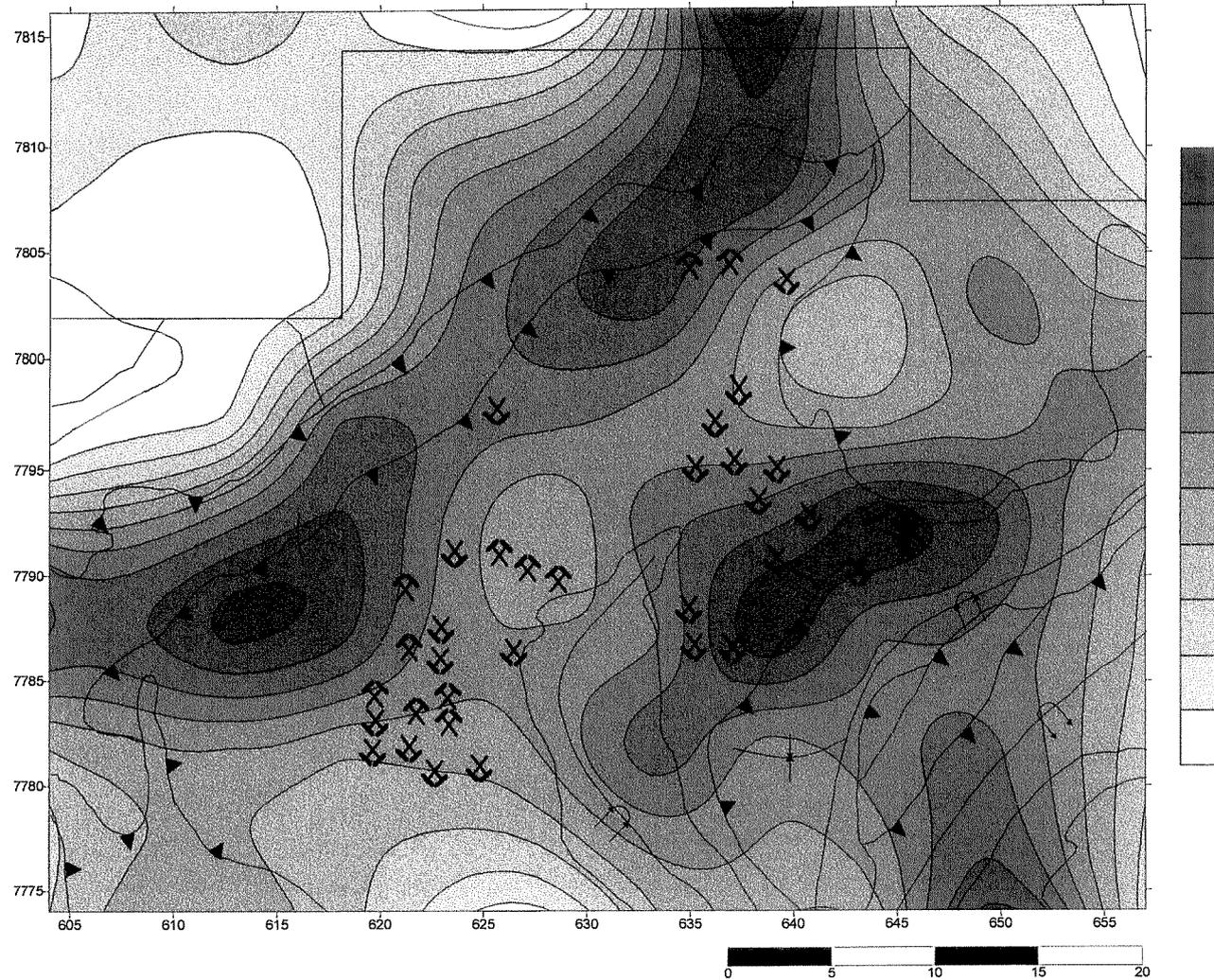


Figura 3.13-Resultante simples.

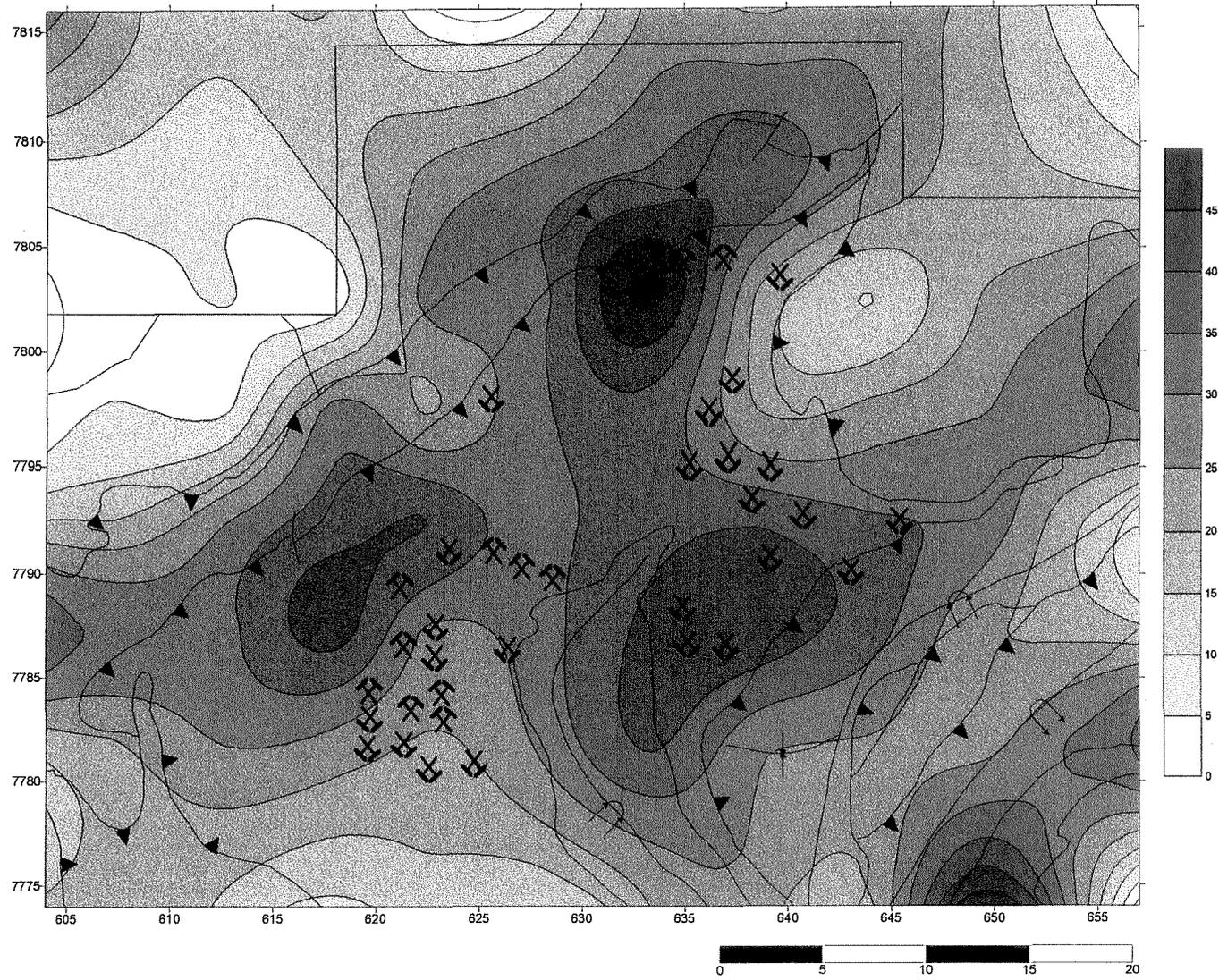


Figura 3.14-Resultante ponderada.

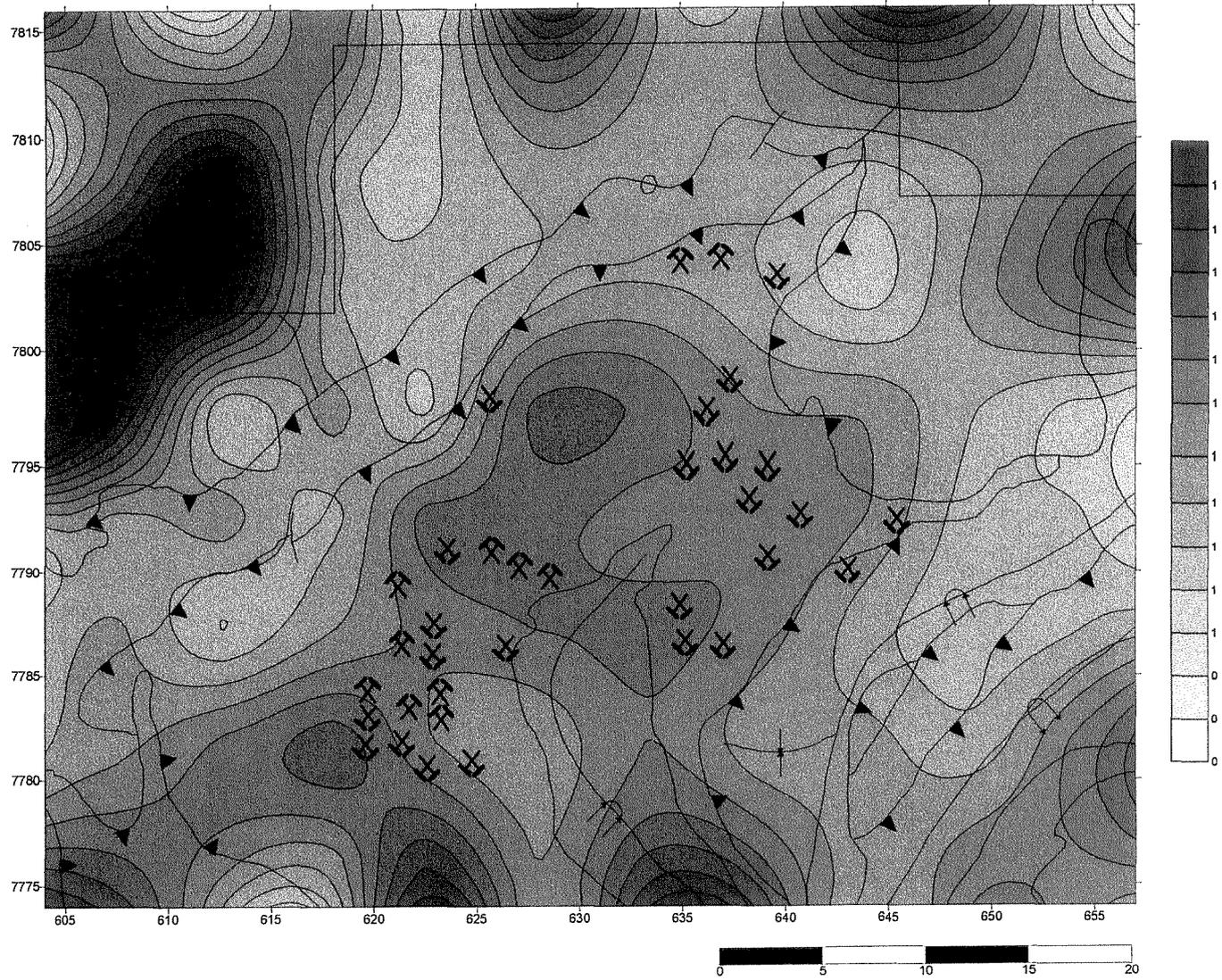


Figura 3.15-Razão de consistência simples.

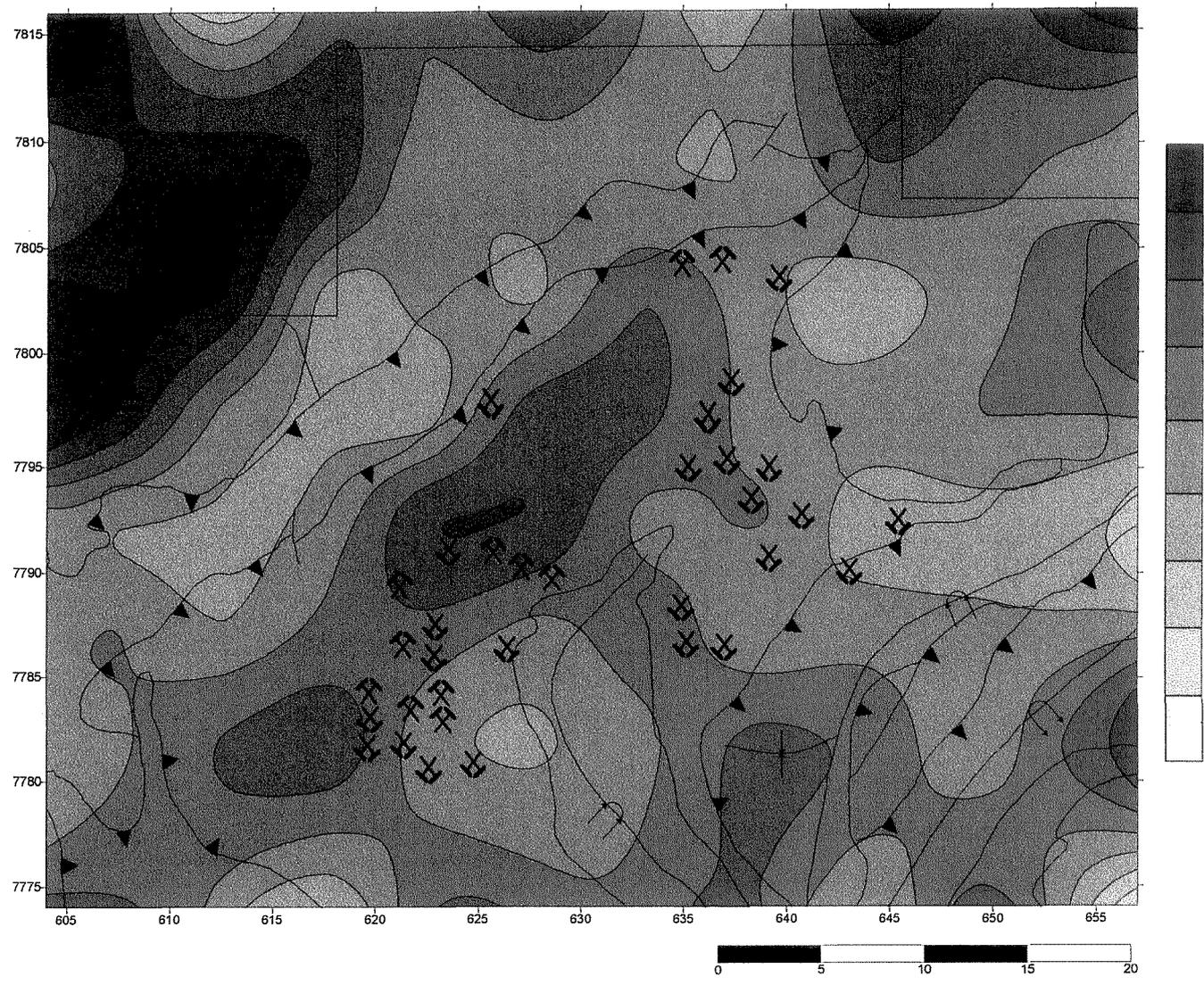


Figura 3.16-Razão de consistência ponderada.

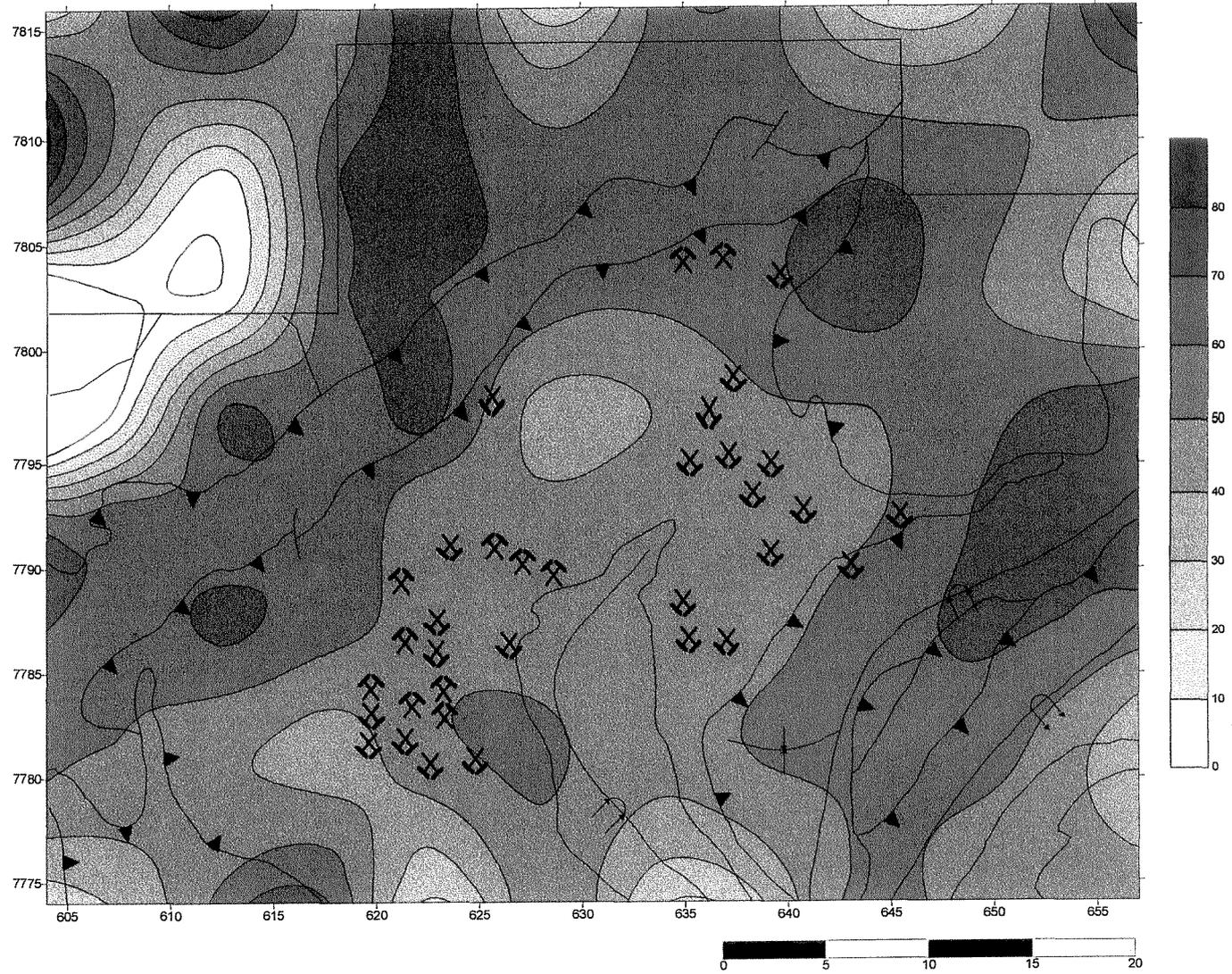


Figura 3.17-Desvio padrão simples.

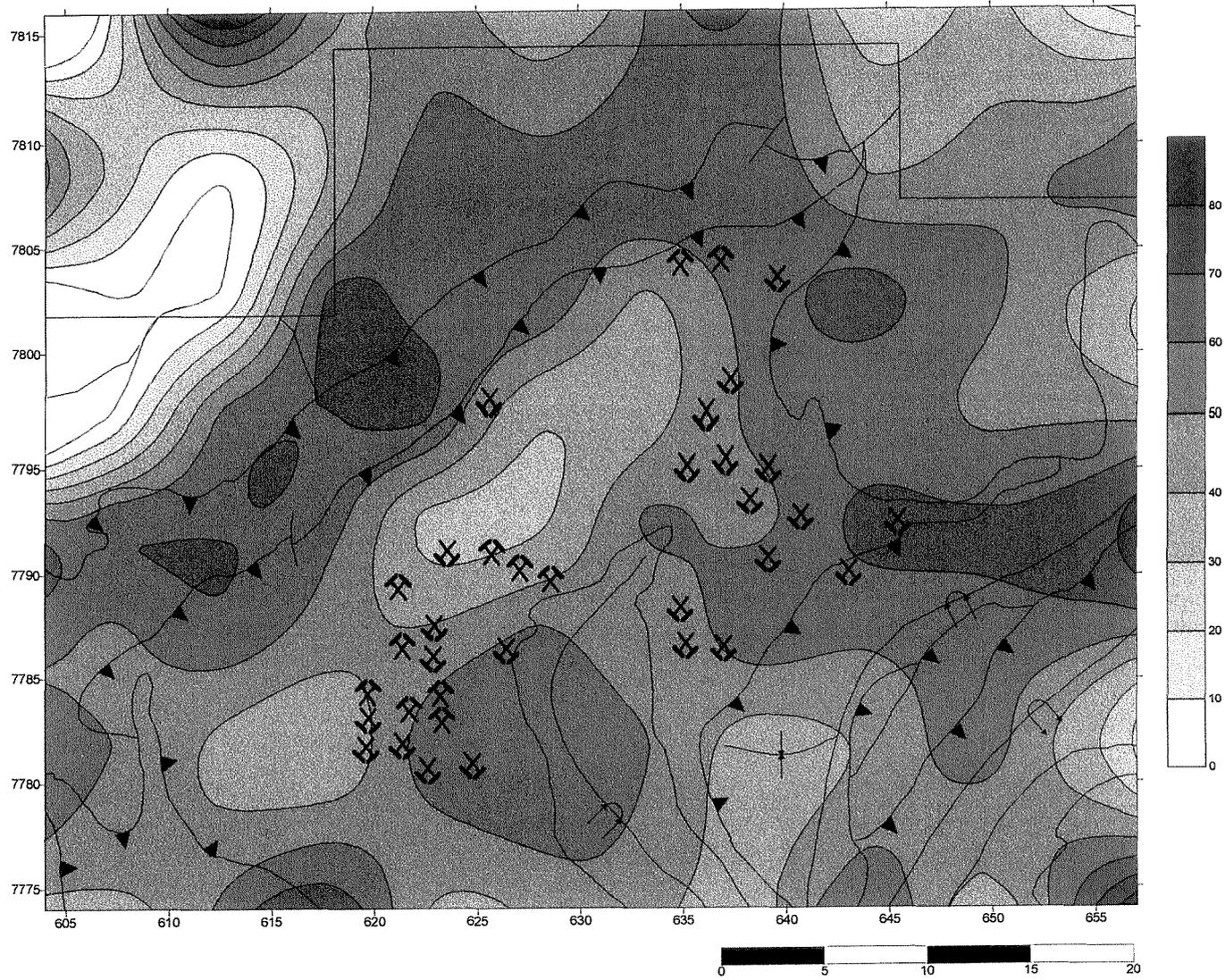


Figura 3.18-Desvio padrão ponderado.

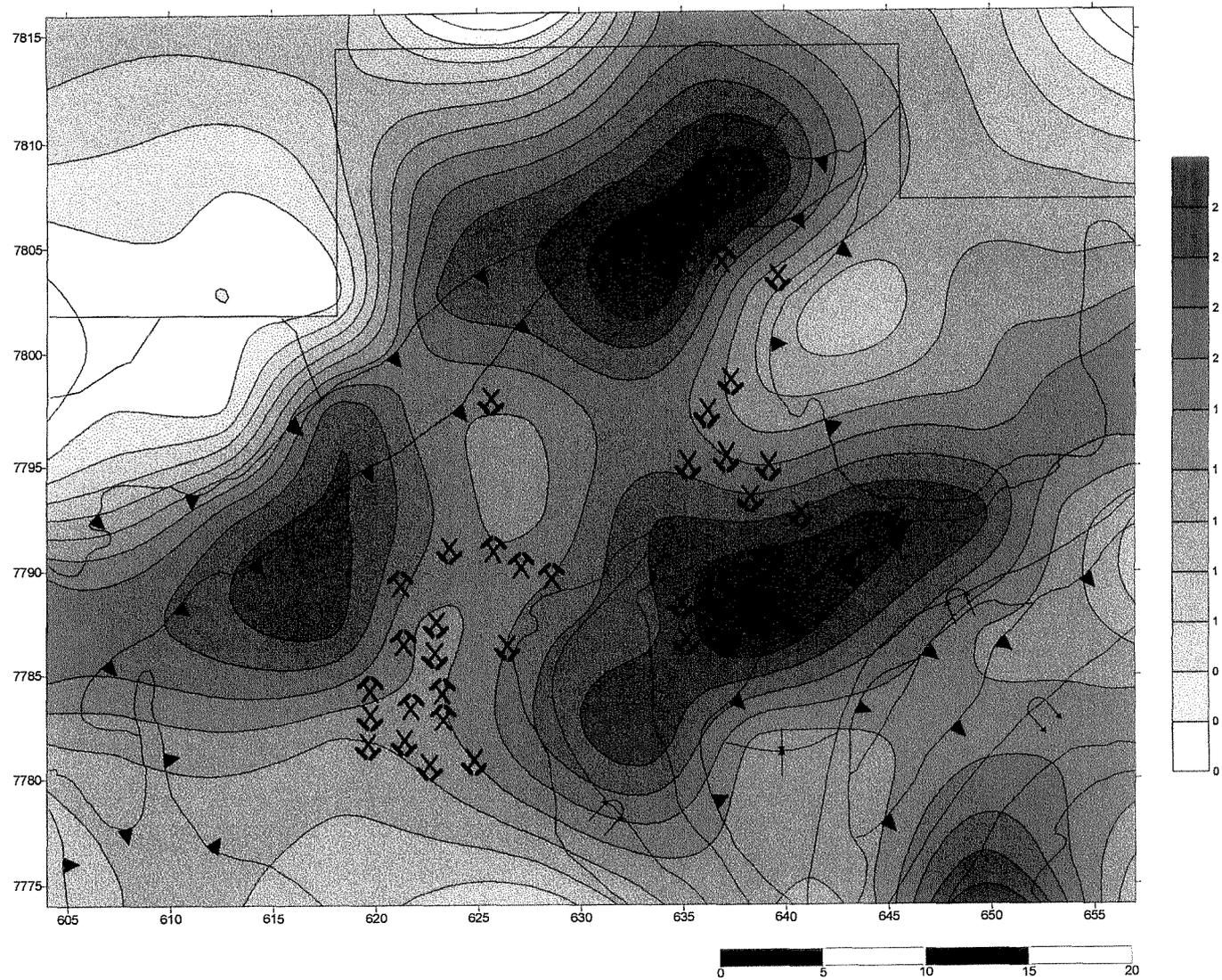


Figura 3.19-Densidade de fraturamento (km/km²).

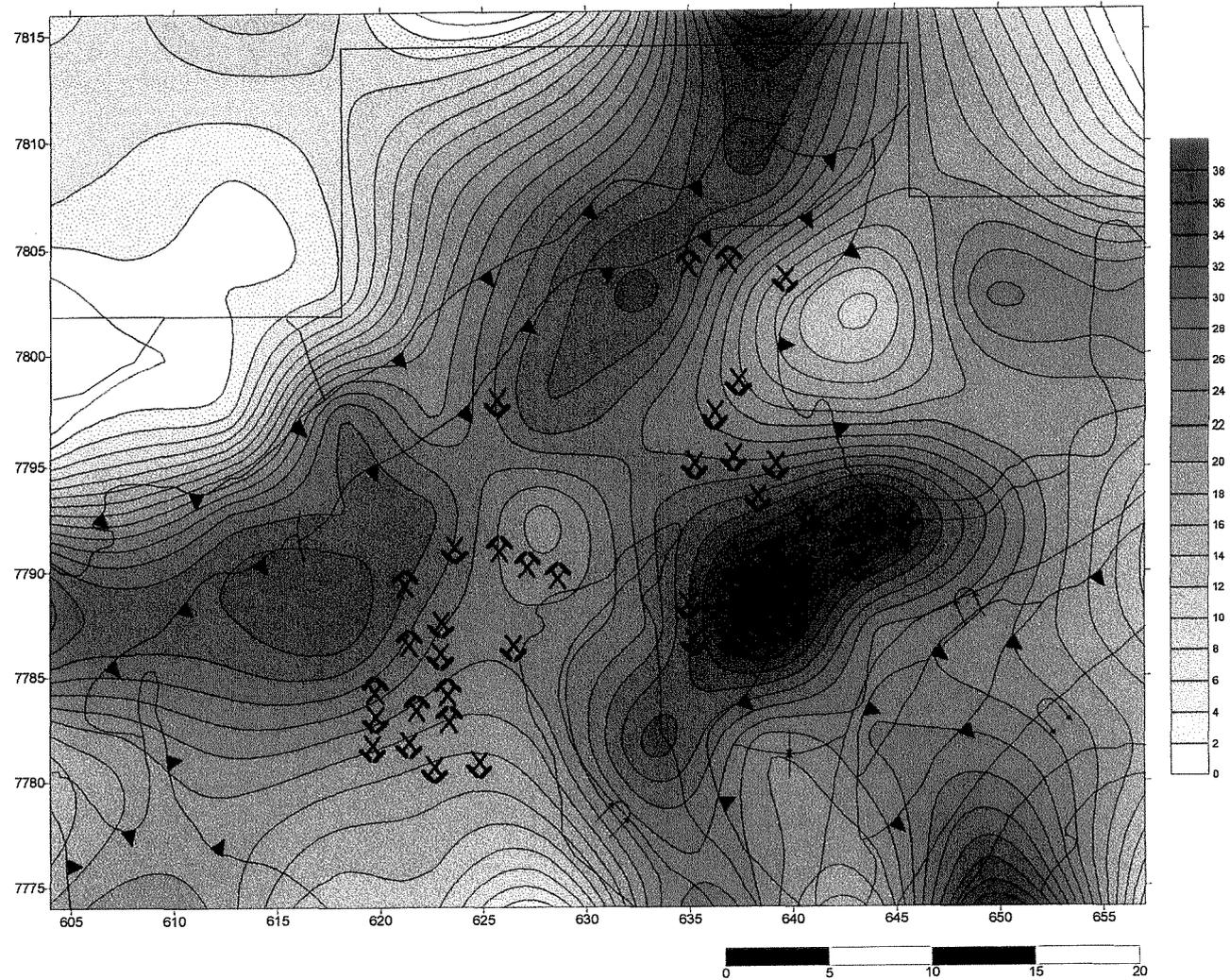


Figura 3.20-Frequência de linhas (n/km^2).

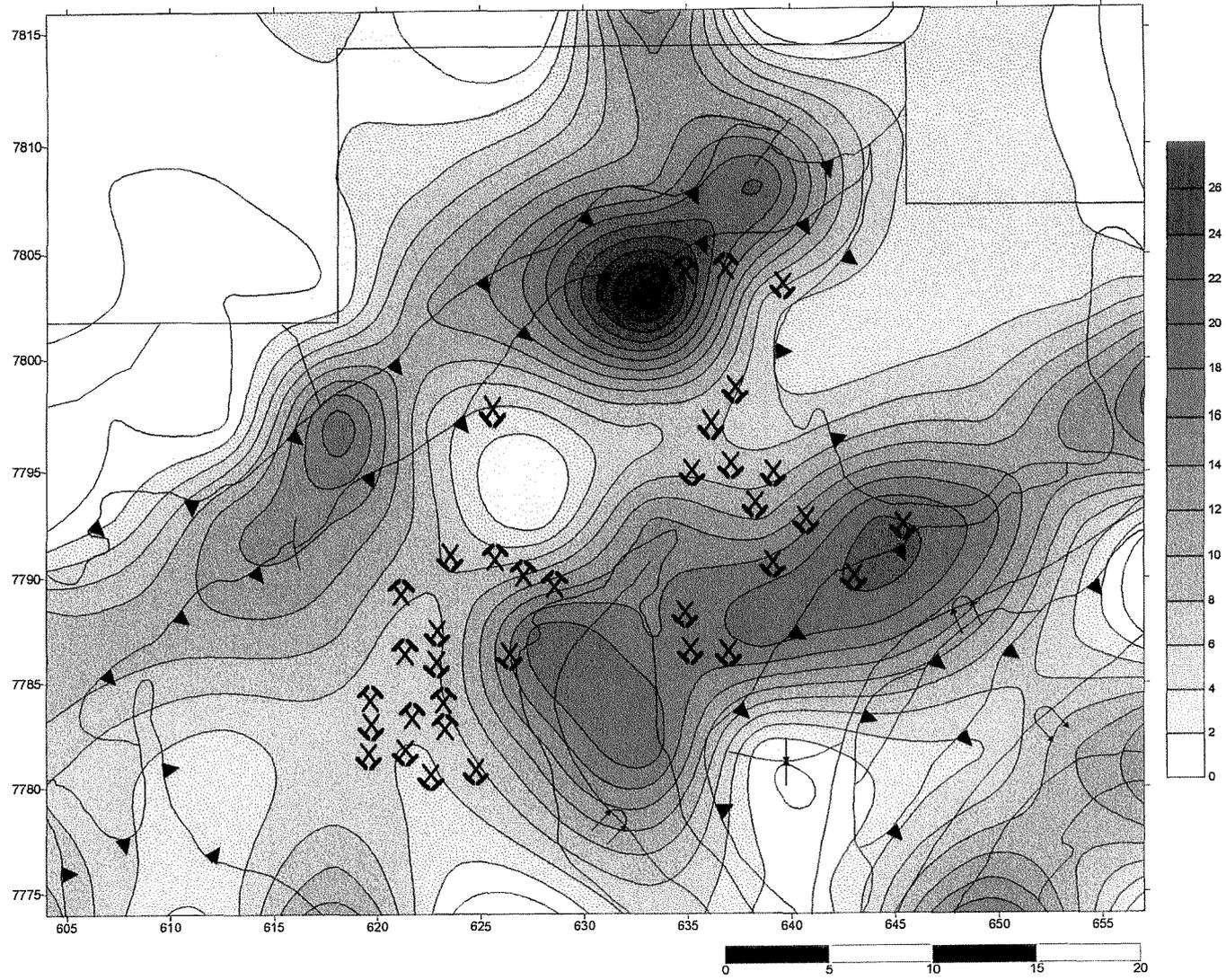


Figura 3.21-Número de intersecções.

MINA	C.T./C.	N.L./C.	AZ.S.	AZ.P.	R.S.	R.P.	R.C.S.	R.C.P.	D.P.S.	D.P.P.	D.F.	F.L.	N.I.	
MORRO VELHO	A	I	B	B	A	A	I	A	I	B	A	A	B	
BICALHO	I	I	*	B	B	B	I	I	I	I	I	I	B	
BELA FAMA	I	I	B	B	I	I	I	I	I	I	I	I	B	
RAPOSOS	I	I	B	B	I	I	I	A	I	I	I	I	B	
FARIA	I	I	*	B	I	I	I	I	I	I	I	I	B	
MORRO DAS BICAS	I	B	B	B	I	I	A	A	I	I	I	I	B	
MORRO DA GLÓRIA	I	I	*	B	I	I	I	I	I	I	I	I	B	
ESPERANÇA III	B	B	B	B	B	B	I	I	I	I	I	B	B	
SANTO ANTONIO	I	B	B	B	I	B	A	A	I	I	I	B	B	
Rica	I	B	B	B	I	B	I	A	I	I	I	B	B	
URUBÚ	I	B	B	B	I	B	I	I	I	I	I	B	B	
LIMOEIRO SUL	I	I	B	B	I	I	I	I	I	I	I	I	B	
LUZIA DA MOTA	I	I	B	B	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
MORCEGO	I	I	B	B	I	I	I	A	I	I	I	I	I	
CUIABÁ	A	A	B	B	A	A	I	I	I	I	A	A	A	
VIANA	A	I	B	B	A	A	I	I	I	I	A	I	I	
JUCA VIEIRA	I	I	B	B	A	I	I	I	I	I	I	I	B	
LUÍS SOARES	I	A	B	B	A	I	I	I	I	I	A	A	I	
GONGO SÓCO	A	A	B	B	A	I	I	I	I	A	A	A	I	

em vermelho: minas em atividade

em azul: minas desativadas

conceitos

A:alto

B:baixo

I:indeterminado


 Formação Cauê-Supergrupo Minas
 Unidade Superior do Grupo Nova Lima
 Unidade Média do Grupo Nova Lima
 Unidade Inferior do Grupo Nova Lima

Tabela 3.4: Relação das principais minas com os parâmetros estatísticos analisados.

- ao se considerar o **desvio padrão simples e ponderado** destes lineamentos vemos que tais minas aparecem em intervalos intermediários destes parâmetros;

- a observação do parâmetro **densidade de fraturamento** permite afirmar que, as minas ativas da área ocorrem onde este parâmetro atinge intervalos mais altos, estando as minas desativadas ligadas a áreas onde esta densidade de fraturamento tende a ser menor;

- onde a **freqüência de linhas** atinge intervalos intermediários a baixos representam áreas de ocorrência de minas desativadas;

- e, contrariando as expectativas, vemos que estas minas ocorrem onde o **número de intersecções dos lineamentos** são baixos a intermediários.

4- CONCLUSÕES

A extração e análise estatística dos lineamentos observados em imagem LANDSAT TM efetuada neste trabalho permitiram o estabelecimento das seguintes conclusões:

1- a existência de três direções preferenciais para os lineamentos observados na área. Estes “ trends” teriam as seguintes orientações preferenciais:

lineamentos NE-SW

lineamentos NW-SE

lineamentos E-W

2- os lineamentos NE-SW são os mais facilmente observados na imagem. Estão intimamente correlacionados ao acamamento litológico e aparecem em grande quantidade na Serra do Curral e no Sinclinal de Gandarela, áreas de ocorrência do Supergrupo Minas. A incidência destes lineamentos sobre rochas do Supergrupo Rio das Velhas é menos intensa;

3- os lineamentos NW-SE são os mais intensamente notados em imagem de satélite. Apesar de terem sido observados em rochas correlacionadas ao Supergrupo Minas, assumindo nestas litologias um provável caráter rúptil-dúctil (perpendicular ao acamamento), nas litologias pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas, tais lineamentos parecem estar relacionados a uma tectônica de caráter dúctil;

4- embora possam ter vindo a ser reativados no Brasileiro, estes lineamentos exibem um aspecto retilíneo e parecem ter sua origem ligada a um evento compressional. As principais mineralizações auríferas da região podem ter seu controle estrutural relacionado ao mesmo evento gerador destes lineamentos;

5- os lineamentos E-W apesar de assumirem uma grande importância na literatura consultada, sendo representados no mapa anexo por uma grande falha de cavalgamento em rampa lateral na porção leste da área, não foram intensamente observados na imagem de satélite. O evento gerador destes lineamentos é relacionado ao Ciclo Brasileiro (Chemale Jr. et. all, 1991);

6- estes lineamentos E-W foram gerados por movimentos diferenciados de leste para oeste, e, a medida que este movimento foi avançando para oeste, tornou-se menos intenso, o que pode ter refletido na menor quantidade de lineamentos com esta direção na porção oeste da área;

7- apesar de serem quase que exclusivamente restritos as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, pode-se dizer que estes lineamentos não foram assinalados pelo mesmo evento gerador dos principais controles estruturais das minas da região.

O método de trabalho aqui empregado apresentou um desempenho satisfatório na compreensão do esboço geológico-estrutural para a área estudada. Entretanto, tal resultado parece ter encontrado suporte nas informações geológico-estruturais disponíveis. A análise estatística de lineamentos é eficiente para o controle de mineralizações relacionadas a feições rúpteis, e, mesmo assim, pode ser utilizada também em lineamentos gerados sob condições dúcteis, desde que se tenha um bom controle das características destes. A comparação entre os parâmetros estatísticos obtidos em diferentes áreas, dentro de um mesmo contexto geológico-estrutural, pode ser um bom referencial na detecção de novas anomalias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKIMIM, F.F.; QUADE, H. & EVANGELISTA, M.T.R. 1990. *Sobre a história da deformação dos metassedimentos do Grupo Minas e Grupo Itacolomi no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Revista Brasileira de Geociências.
- ALMEIDA, F.F.M. 1976. *Estruturação do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto. Boletim de Resumos. Ouro Preto, Soc. Bras. Geol., p. 201 a 202.
- ALMEIDA, F.F.M. 1977. *O Cráton do São Francisco*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 7 (4): 349-364.
- AMARAL, G.; MATTOS, J.T.; ALMEIDA, F.R.; CUNHA, R.P.; PARADELLA, W.R. 1976. *Carta Geológica ao Milionésimo da Folha Belo Horizonte com base na interpretação de imagens Landsat*. In: Congresso Brasileiro de geologia, 29. Ouro Preto. Anais...Ouro Preto, Soc. Bras. Geol., v.4, p. 229-238.
- AMARAL, G. 1983. *Sistemática para a utilização de dados de sensoriamento remoto em mapeamento geológico básico*. In: Simpósio Regional de Geologia. 4. Atas, São Paulo, SBG-SP, p. 387-396.
- AMARAL, G. 1994. *Métodos para a obtenção de informação estrutural em produtos de sensoriamento remoto*. Cadernos IG/UNICAMP, v.4, n 1. p. 98-111.
- AMARAL, G. 1997. *Documentação do programa FRATURA*. Inédito
- AMARAL, G.; PAIVA Fº, A. & CRÓSTA, A.P. 1982. *Integrated remote sensing, geological and geophysical data processing and analysis for hydrocarbon prospection in the Paraná Basin, Brazil*. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 16. Buenos Aires, Proceedings, ERIM, p. 155-163.
- BARBOSA, O. 1954. *Evolution du Geosynclinal Espinhaço*. In: Congresso Geológico Internacional, Comptes rendus, section 13 e 14. p. 17-36.
- BELO DE OLIVEIRA, O.A. & VIEIRA, M.B.H. 1987. *Aspectos da deformação dúctil e progressiva no Quadrilátero Ferrífero*. Anais, 4 Simpósio de Geologia Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte. SBG, Boletim 7: 237-257.
- CHAUVET, A.; FAVRE, M.; DOSSIN, I. & CHARVET, J. 1994. *A three-stage structural evolution of the Quadrilátero Ferrífero: consequences for the Neoproterozoic age and the formation of gold concentrations of the Ouro Preto area, Minas Gerais, Brasil*. Precambrian Research. v. 68, p. 139-167.

- CHEMALE JR., F.; ROSIÉRE, C.A. & ENDO, I. 1990. *Quadrilátero Ferrífero: Evolução monocíclica ou policíclica?* In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, 1990. Resumos. Natal: SBG. p. 294-295.
- CHEMALE JR., F.; ROSIÉRE, C.A. & ENDO, I. 1991. *Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Um modelo.* Revista Pesquisas, 18 (2): 104-127.
- CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; MULLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V. & ROESER, H. 1980. *Interpretação tectônica e petrográfica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero.* Anais da Academia Brasileira de Ciências, 52 (4): 785-799.
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W. & SIGA JR., O. 1989. *Geocronologia do Quadrilátero Ferrífero.* Boletim. XXI Semana de Estudos da SIGEG, Ouro Preto, 21: 27-44.
- DERBY, A.O. 1906. *The Serra do Espinhaço, Brazil.* Journal Geological. 14 (5):374-401.
- DORR II, J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.* Geological Survey Professional Paper: v. 641-A, p. 1-110.
- DORR II, J.V.N.; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B. & RYNEARSON, G.A. 1957. *Revisão da estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero.* Divisão de Fomento Produção Mineral. Avulso, n 31. 31p.
- DORR II, J.V.N.; BARBOSA, A.L.M. 1963. *Geology and ore deposits of the Itabira District, MG, Brasil.* Geological Survey Professional Paper: v. 341-C.
- EBERT, H.D.; SARTORATO, G.B. 1994. *Mini Curso: Confecção de mapas geológicos através de AutoCad.* In: V Simpósio de Quantificação em Geociências. Boletim de Resumos Expandidos. UNESP. Rio Claro (SP). P. 231 a 234.
- GAIR, J.E. 1962. *Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brasil.* Geological Survey Professional Paper: v. 341-A. 67p.
- GUIMARÃES, D. 1931. *Contribuição a geologia do estado de Minas Gerais.* Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia: v.55. 34p.
- HERZ, N. 1970. *Gneissic and igneous rocks of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil.* U.S. Geological Survey, Prof. Paper 641 B. Washington, p. B1-B58.

- HERZ, N. 1978. *Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. U. S. Geological Survey, Prof. Paper 641C, Washington. 81p.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALY, N.L.E.; BRANCO, P.C.A. & RAMALHO, R. 1984. *O Cráton São Francisco e a Faixa de Dobramentos Aracuaí*. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (ed.). *Geologia do Brasil*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília. p. 193-248.
- LADEIRA, E.A. 1985. *Metalogênese do ouro da mina de Morro Velho e no Distrito Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Boletim Especial, Contribuições à geologia e petrologia, Belo Horizonte, SBG-MG: 95-151.
- LADEIRA, E.A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. University of Western Ontario, Canada, 272 p (thesis).
- LADEIRA, E.A. 1981. *Primeiras lavas com almofadas ("pillows") encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade Arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, Minas Gerais*. Ciências da Terra: v. 1 (1), p. 12-14.
- LADEIRA, E.A. 1991. *Genesis of Gold in Quadrilátero Ferrífero: a remarkable case of permanency, recycling and inheritance - a tribute to Djalma Guimarães, Pierre Routhier and Hans Ramberg*. In: Ladeira , E.A., ed., *Proceedings of "Gold 91"*, Rotterdam, A.A. Balkema, 11-32.
- LADEIRA, E.A.; VIVEIROS, J.F.M. DE. 1984. *Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero, com base nos dados disponíveis*. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais. Boletim 4. 19p.
- LIU, C.C.; MENESES, P.R. & PARADELLA, W.R. *Sensoriamento Remoto no Quadrilátero Ferrífero: uma avaliação de dados de diferentes tipos de sensores(?)*
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; BELO DE OLIVEIRA, O.A. & LADEIRA, E.A. 1989. *Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero no Arqueano e Proterozóico Inferior, com base em geocronologia U-Pb*. Anais, 5 Simpósio de Geologia Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte. SBG, Boletim 10: 1-5.
- MARDIA, K.V. 1972. *Statistics of directional data*. Academic Press, London.
- MARSHAK, S. & ALKMIM, F.F. 1989. *Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil: A kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordillera do Espinhaço*. Tectonics, 8 (3): 555-571.

- MAXWELL, C.H. *The Batata Formation*. Boletim da Sociedade Brasileiro de Geologia: 7 (2), p.60-61, 1958.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D. & POHN, H.A. 1976. *Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms*. Geological Society American Bulletin. v. 87. p. 1463-1469.
- OLIVEIRA, G. A. I.; CLEMENTE, P. C.; VIAL, D. S. 1983. *Excursão a Mina de ouro de Morro Velho*. In: Anais II Simpósio Geológico Minas Gerais, Belo Horizonte, Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais. Boletim 3, p. 497-505.
- POMERENE, J.B. 1958. *The Barreiro Formation*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia: 7 (2). p67-68.
- ROSIÈRE, C.A; NOCE, C.M. & LADEIRA, E.A. 1987. *Geologia estrutural do extremo sul do Sinclinal de Gandarela*. Anais, 4 Simpósio de Geologia Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte. SBG, p. 254-268.
- RICCOMINI, C. *Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da compartimentação estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.* (?)
- SCHORSCHER, H.D. & GUIMARÃES, P.F. 1976. *Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do Distrito Ferrífero de Itabira*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29. Belo Horizonte, 1976. Roteiro de Excursões. Belo Horizonte: SBG.
- SCHORSCHER, H.D. 1980. *Contribuição à estratigrafia Proterozóica do Quadrilátero Ferrífero*. Anais Academia Brasileira de Ciências: v.52 (1). p.195.
- SCHORSCHER, H.D. 1979. *Evolução Arqueana e Proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e de partes meridionais da Serra do Espinhaço*. In: Simpósio de Geologia do Cráton do São Francisco....., 10, 1979, Salvador. Resumos. Salvador: SBG.
- SCHORSCHER, H.D. 1978. *Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt" série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. Recife, 1978. Anais. Recife : SBG. v. 1, p.292-294.
- SCHORSCHER, H.D. 1976. *Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29. Belo Horizonte. Resumos. Belo Horizonte: SBG. p. 194-196.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C.; MOREIRA, J.M.P. 1982. *Quadrilátero Ferrífero-Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone Belt and Proterozoic Rocks*. In: Internacional Symposium on Archaean and Early Proterozoic Geological Evolution and Mettalogenesis, Salvador. Excursions Annex: p. 1-44.

- SICHEL, S.E. 1982. *Expressão litoestratigráfica das rochas Pré-Cambrianas da Região de Barão de Cocais*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32 . Salvador, 1982. Anais. Salvador: SBG. v. 1, p. 126-137.
- SIMMONS, G.C. & MAXWELL, C.H. 1961. *Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas*. DNPM, Divisão de Geologia e Mineração, Bol.: v.211. Rio de Janeiro. 28p..
- SIMMONS, G.C. 1958. *The Fecho do Funil Formation*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia: 7 (2), p. 65-66.
- TEIXEIRA, W. 1982. *Geochronology of the Southern Part of the São Francisco Cráton*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 12 (1-3): 268-277.
- WALLACE, R.M. 1958. *The Moeda Formation*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia: 7 (2). p. 59-60.
- WATSON, G.S. 1966. *The statistics of orientation data*. Journal of Geology. 74 (5): 786-797.

ANEXO

MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA PORÇÃO NORTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

ESCALA 1:100.000