

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

MÁRCIA CRISTINA LOHMANN FILARDI

CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA DA REGIÃO DO ALTO RIO NEGRO, UTILIZANDO O PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E DE IMAGENS DE RADAR (RADAMBRASIL, JERS 1 – SAR)

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati

Este exemplar corresponde redação final da tese defend campinas - SÃO PAULO por marcie C. Johnson Filan FEVEREIRO - 1998 e aprovada pela Comissão Julgas em 23 / 04 / 98

F472e

34630/BC



UNICAMP

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

MÁRCIA CRISTINA LOHMANN FILARDI

CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA DA REGIÃO DO ALTO RIO NEGRO, UTILIZANDO O PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E DE IMAGENS DE RADAR (RADAMBRASIL, JERS 1 – SAR)

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências, Área de Metalogênese.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati – IG/UNICAMP CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilberto Amaral – IG/UNICAMP

> CAMPINAS - SÃO PAULO FEVEREIRO - 1998



CM-00113863-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA I.G. UNICAMP

Filardí, Márcia Cristina Lohmann
F472e Contribuição à geologia da região do Alto Rio Negro, utilizando o processamento digital de dados aerogeofisicos e de imagens de radar (RADAMBRASIL, JERS 1 - SAR) / Márcia Cristina Lohmann Filardi.- Campinas, SP.: [s.n.], 1998.

Orientador: Elisabete Maria Pascholati Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências

 Processamento Digital de Imagens. 2. Radar.
3* Aerogeofísica. I. Pascholati, Elisabete Maria. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.



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

UNICAMP

Autora: MÁRCIA CRISTINA LOHMANN FILARDI

CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA DA REGIÃO DO ALTO RIO NEGRO, UTILIZANDO O PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E DE IMAGENS DE RADAR (RADAMBRASIL, JERS 1 – SAR)

ORIENTADORA: Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilberto Amaral

Aprovada em :___/__/___

PRESIDENTE Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati

EXAMINADORES: Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati

Profa. Dra. Marta Silvia Maria Mantovani

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

Presidente

CAMPINAS, 03 de abril de 1998.

À minha querida mãe (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A CAPES e FAEP, pelo suporte financeiro,

À orientadora Profa. Dra. Elisabete Maria Pascholati, pela amizade, empenho em discutir e solucionar as questões surgidas durante a tese e pelo vasto material bibliográfico fornecido.

Ao Prof. Dr. Gilberto Amaral, pelas valiosas discussões tratadas ao longo deste trabalho, pelas dúvidas esclarecidas e pela honra em tê-lo como co-orientador.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), por ter cedido os dados aerogeofísicos referentes ao Projeto Extremo Noroeste do Brasil.

Ao Dr. Geólogo Fernando Pellon de Miranda (CENPES/PETROBRAS), pelo grande incentivo dado a minha carreira e pela cessão do material bibliográfico e imagens de radar do JERS 1 - SAR.

Ao geólogo e amigo João Batista Freitas de Andrade (CPRM-RIO), pelo auxílio na elaboração das malhas dos dados aerogeofísicos e disponibilidade em sempre ajudar.

Aos geólogos Amintas e Irian, pela valiosa amizade, apoio nas discussões sobre a tese, revisão do texto e auxílio na elaboração das figuras apresentadas no texto.

Ao Engenheiro geofísico Rigoberto, pelas discussões pertinentes aos temas relacionados a geofísica.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para o bom andamento da tese e que serão lembrados para sempre.

Aos funcionarios do IG/UNICAMP, em especial ao Sr. Aníbal, pela amabilidade e ótimo convívio durante todo este período.

Aos analistas de sistemas Moacyr Cornetti e Patrícia Leite Cerqueira, pela paciência e disposição em resolver as questões computacionais.

A secretária Valdirene, nosso "anjo da guarda".

A minha família, que mesmo longe, sempre esteve presente.

Ao Fabrício, por todo amor, apoio e, principalmente, paciência, demonstrado durante esta etapa da nossa vida.

ii

SUMÁRIO

CAPÍTULO 3- RESULTADOS OBTIDOS	27					
3.1 - Interpretação das imagens de radar do JERS 1 - SAR e do						
Projeto RADAMBRASIL						
3.1.1 – Imagens JERS 1 – SAR	.27					
3.1.2 – Imagens do Projeto RADAMBRASIL	32					
3.2 - Interpretação das imagens aerogeofísicas	34					
3.2.1 - Imagens gamaespectrométricas	34					
3.2.2 - Imagens aeromagnetométricas	43					
3.3 – Interpretação conjunta das imagens de radar e geofísica						
(gamaespectrometria)	49					
3.4 – Interpretação dos mapas obtidos da análise estatística de						
lineamentos	53					
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES	64					
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS						

ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ТМ	Thematic Mapper				
MSS	Multi-Spectral Scanner				
JERS 1	Japanese Earth Resources Satellite				
SAR	Synthetic Aperture Radar				
SIR-B	Shuttle Imaging Radar-B				
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais				
W	Oeste				
Ν	Norte				
E	Leste				
S	Sul				
Km	Quilômetro				
Ga	Giga anos				
Rb	Rubídio				
Sr	Estrôncio				
U	Urânio				
Pb	Chumbo				
K	Potássio				
Ar	Argônio				
SE	Sudeste				
Ма	Milhões de anos				
CaO	Óxido de cálcio				
ETR	Elementos Terras Raras				
K₂O	Óxido de potássio				
Na₂O	Óxido de sódio				
TiO ₂	Dióxido de titânio				
NW	Noroeste				
Au	Ouro				
ССТ	Computer compatible tapes				
GEMS	Goodyear Eletronic Mapping System				
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral				

BCET	Balance Contrast Enhance Technic
DN	Digital Number
RMS	Root Mean Square
IGRF	International Geomagnetic Reference Field
Th	Tório
U	Urânio
K	Potássio
cps	Contagem por segundo
IHS	Intensity, hue, saturation
UTM	Universal Transverse Mercator
azm	Azimute
m	Metro
RGB	Red, Green, Blue
NE	Nordeste
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
NW	Noroeste

LISTA DE FIGURAS

1.1	Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Miranda (1990)	3
1.2	Mapa de solos da área de estudo. Fonte: Roessing et al. (1976)	4
1.3	Mapa de vegetação da área de estudo. Fonte: Silva et al. (1976).	6
1.4	Craton Amazônico. (Modificado de Teixeira et al. 1989)	8
1.5	Provincias geocronológicas do Craton Amazônico. (Modificado	
	de Teixeira et al. 1989)	9
1.6	Mapa geológico da área de estudo. (Modificado de Melo & Villas	
	Boas 1993)	13
2.1	Projeto Extremo Noroeste do Brasil. Situação das áreas. Fonte:	
	Hildenbrand et al. (1987)	17
3.1	Imagem do mosaico de radar do JERS 1 - SAR, com aumento	
	balanceado de contraste	28
3.2 a	Imagem de radar do JERS 1 - SAR, órbita/ponto 429/299, com	
	aumento balanceado de contraste	30
3.2 b	Imagem de radar do JERS 1 - SAR, órbita/ponto 430/299, com	
	aumento balanceado de contraste	31
3.3	Imagem do mosaico de radar do Projeto RADAMBRASIL, com	
	aumento balanceado de contraste	33
3.4	Imagem do canal de contagem total, com aumento linear de	
	contraste e domínios geofísicos sobrepostos	35
3.5	Imagem do canal de tório (ppm), com aumento linear de	
	contraste e domínios geofísicos sobrepostos	36
3.6	Imagem do canal de urânio (ppm), com aumento linear de	
	contraste e domínios geofísicos sobrepostos	37
3.7	Imagem do canal de potássio (%), com aumento linear de	
	contraste e domínios geofísicos sobrepostos	38
3.8	Imagem ternária de ThUK (RGB), com aumento gaussiano de	
	contraste	39
3.9	Imagem da razão Th/U, com aumento linear de contraste e	
	domínios geofísicos sobrepostos	40
3.10	Imagem do campo magnético residual, com aumento linear de	
	contraste e domínios geofísicos sobrepostos	44

3.11	Imagem do campo magnético residual, com filtro de redução ao	
	pólo	46
3.12	Imagem do campo magnético residual, com filtro de continuação	
	para cima (250m)	47
3.13	Imagem do campo magnético residual, com filtro passa-alta	
	(matriz 5X5)	48
3.14	Imagem do campo magnético residual, com filtro de realce de	
	borda (matriz 5X5) e lineamentos estruturais sobrepostos	50
3.15	Imagem do campo magnético residual, com sombreamento	
	sintético de: a) N para S, b) NE para SW, c) NW para SE	51
3.16	Imagem do mosaico do JERS 1 - SAR no canal de intensidade	
	(I), sobreposta a imagem do canal de contagem total em	
	pseudocor	52
3.17	Mapa com valores de azimute médio simples dos lineamentos	
	magnéticos	54
3.18	Mapa com os valores do azimute médio simples dos lineamentos	
	do RADAMBRASIL	55
3.19	Mapa com valores do azimute médio simples dos lineamentos	
	do JERS 1 – SAR	56
3.20	Mapa com valores de freqüência de fraturas dos lineamentos	
	magnéticos (n°/Km²)	57
3.21	Mapa com valores de freqüência de fraturas dos lineamentos do	
	RADAMBRASIL (n°/Km²)	58
3.22	Mapa com valores de freqüência de fraturas dos lineamentos do	
	JERS 1 – SAR (n°/Km²)	59
3.23	Histograma 1 dos lineamentos magnéticos	60
3.24	Histograma 2 dos lineamentos magnéticos	61
3.25	Histograma 1 dos lineamentos do JERS 1 – SAR	61
3.26	Histograma 2 dos lineamentos do JERS 1 – SAR	62
3.27	Histograma 1 dos lineamentos do RADAMBRASIL	62
3.28	Histograma 2 dos lineamentos do RADAMBRASIL	63

LISTA DE TABELAS

1.1	Descrição dos principais	trabalhos de	e geologia	realizados	sobre a	
	área de estudo	****				14

LISTA DE ANEXOS

- I Mapa de localização de pontos da área de estudo, com suas respectivas descrições.
- II Imagem de mosaico do JERS 1 SAR, com lineamentos estruturais sobrepostos.
- III Imagem de mosaico do Projeto RADAMBRASIL, com lineamentos estruturais sobrepostos.



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

UNICAMP

CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA DA REGIÃO DO ALTO RIO NEGRO, UTILIZANDO O PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E DE IMAGENS DE RADAR (RADAMBRASIL, JERS 1 – SAR)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Márcia Cristina Lohmann Filardi

RESUMO

O presente trabalho descreve a utilização de técnicas de processamento digital de dados aerogeofísicos e imagens de radar do JERS 1 – SAR e do Projeto RADAMBRASIL, na região do Alto Rio Negro, no Estado do Amazonas. Os objetivos principais foram os de testar a utilização destas técnicas com o intuito de contribuir com informações geológicas adicionais para o pouco conhecimento que se tem da área de estudo e verificar as vantagens e desvantagens do uso destas técnicas nos diferentes dados empregados em áreas de baixo relevo, densamente florestadas, com um intemperismo atuante e uma geologia bastante monótona, em função da carência de dados. Os produtos obtidos foram primeiramente analisados individualmente e posteriormente através da sobreposição dos dados.

Os resultados mostram que a partir dos dados gamaespectrométricos foi possível separar na área diferentes dominios radiométricos, enquanto que, os dados magnetométricos contribuíram no sentido de separar domínios magnéticos distintos e definir o padrão tectono-estrutural da região. As imagens de radar não forneceram resultados satisfatórios em função do alto ruído existente e das próprias características da área de estudo, já citadas anteriormente, sendo possível apenas o reconhecimento de feições estruturais a partir desses dados.



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

UNICAMP

CONTRIBUTION TO THE GEOLOGY OF THE ALTO RIO NEGRO REGION USING DIGITAL PROCESSING OF AEROGEOPHYSICAL AND JERS 1 – SAR DATA

M. Sc. DISSERTATION

Márcia Cristina Lohmann Filardi

ABSTRACT

Brazil's northwest upper Rio Negro valley is the geologically least known area of the country. This is mainly due to intense weathering and tropical rain forest cover besides limited access. This work was carried out in order to obtain additional infomation from available remote sensing and aerogeophysical data.

Orbital (JERS-1) and airborne (RADAMBRASIL) SAR data and aerogeophysical (magnetics and gamma-spectrometry) data were processed for obtaining lithological and estructural data. Speckle imposes a severe limit to the use of JERS-1 SAR data. RADAMBRASIL imagery is strongly afected by electronic noise and differential shadowing. Due to that radar imagery was used mainly for extraction of lineaments (fracture traces). Magnetic data yielded deep structural information and regional lithological zoning. Most of lithological information was obtained from gamma-spectrometry data which allowed the separation of different granitic units.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Gerais

A área de estudo encontra-se localizada no extremo noroeste do Brasil, no Escudo das Guianas, e constitui uma das regiões geologicamente menos conhecidas do país. A presença de densa cobertura vegetal, representada pela Floresta Amazônica, dificulta o acesso a área e o intenso intemperismo, que promove o desenvolvimento de um espesso manto de alteração, não permite a obtenção de informações geológicas mais detalhadas, tornando o trabalho de mapeamento oneroso, lento e pouco eficiente.

No entanto, com o aumento crescente de interesse sobre a geologia da região amazônica, em função do alto potencial mineral existente, um grande volume de dados vem sendo gerado, sem a necessidade de um contato direto com a superfície. Isto fez com que a área de estudo, apesar das limitações existentes, fosse selecionada para o desenvolvimento do presente trabalho.

Dentro deste contexto, os trabalhos de mapeamento geológico de reconhecimento tornam-se mais completos, na medida que incorporam outros tipos de informação, como a obtida por levantamentos aerogeofísicos, imagens Landsat/TM e MSS e imagens de radar. Além disso, com o desenvolvimento das técnicas de processamento digital de imagens, é possível um tratamento mais rápido e refinado deste conjunto de dados, possibilitando assim a obtenção das informações geológicas desejadas.

Com isto, foram utilizadas, no presente trabalho, técnicas de processamento digital de dados aerogeofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos) do Projeto Extremo Noroeste do Brasil e de imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL e do JERS 1 – SAR.

A área, em função da carência de dados, apresenta uma geologia bastante monótona, caracterizada pela ocorrência de diversos tipos de granitóides. Assim sendo, a magnetometria contribuiu principalmente no sentido de definir o padrão tectono-estrutural da região, enquanto que, a gamaespectrometria permitiu definir os principais domínios radiométricos. As imagens de radar também são consideradas como uma ferramenta valiosa

no mapeamento geológico de regiões tropicais, densamente florestadas, bem como as imagens de outros sensores, como é o caso do Landsat TM e MSS, quando desprovidas da interferência de nuvens. No entanto, todas essas imagens não se mostraram eficientes, no caso da área de estudo, mostrando-se bastante homogêneas em função das características já descritas anteriormente, como vegetação densa e intemperismo atuante.

1.2 – Objetivos e justificativas

O objetivo principal do presente trabalho é testar a utilização de técnicas de processamento digital de imagens em dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) e imagens de radar do JERS-1 SAR e do Projeto RADAMBRASIL, com o intuito de contribuir para um melhor conhecimento geológico da região do Alto Rio Negro.

A presente área foi objeto da tese de doutoramento de Miranda (1990) que se utilizou basicamente de imagens do SIR-B e aeromagnetometria.

Tentar-se-á demonstrar que a análise dos dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) e das imagens de radar do JERS 1 – SAR e do RADAMBRASIL com os já existentes facilita a obtenção de informações mais detalhadas, mesmo em áreas de baixo relevo e densamente florestadas da Região Amazônica, com uma geologia bastante homogênea, como é o caso da área em questão.

Serão verificadas também as vantagens e desvantagens na utilização dos diferentes dados empregados (aerogeofísicos e radar) no auxílio aos trabalhos de mapeamento geológico de áreas com as características descritas para a região de estudo.

1.3 - Localização da área

A área de estudo, situa-se no Estado do Amazonas, tendo sido escopo do Projeto Alto Rio Negro, conduzido pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM. Os limites da área correspondem aos meridianos de 67°00 e 68°00 W e paralelos de 0°30' e 1°30' N, possuindo uma extensão de aproximadamente 12.100 Km². A área é acessível, predominantemente,



por transporte fluvial, destacando-se o Rio Negro como a maior via utilizável (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Miranda (1990).

1.4 – Aspectos Fisiográficos

1.4.1 - Pedologia

Na área de estudo (Figura 1.2), o podzol hidromórfico é o tipo de solo mais importante. São solos minerais muito arenosos, profundos, mal drenados, compostos principalmente por areias grosseiras derivadas das rochas cristalinas do Complexo Guianense. Ocorrem em relevo que varia do plano ao ondulado, sob a vegetação da campinarana. Outro tipo de solo encontrado na área de estudo é o latossolo vermelho amarelo distrófico. São solos minerais bem desenvolvidos, ácidos, bem drenados a acentuadamente drenados, profundos a muito profundos, friáveis, bastante porosos, com baixa fertilidade natural e bastante intemperizados. Ocorrem numa faixa de relevo que vai do plano ao ondulado, com uma nítida dominância do suave ondulado, com vegetação de floresta densa, originados principalmente pela decomposição de rochas do Complexo Guianense (Roessing *et al.* 1976).





1.4.2 - Vegetação

Segundo Silva *et al.* (1976), a cobertura vegetal da área compreende diversas regiões ecológicas, dentre as quais estão a campinarana, a região

da floresta tropical densa, região de floresta tropical aberta e áreas de tensão ecológica (Figura 1.3).

A campinarana é também conhecida como a "caatinga do rio Negro", predominando, principalmente, nas áreas arenosas do embasamento. Esta região é composta por 3 sub-regiões ecológicas: a sub-região da superfície aluvial da Bacia do Alto Rio Negro, a sub-região da superfície tabular da Bacia do Alto Rio Negro e a sub-região das depressões da Bacia do Alto Rio Negro. A sub-região da superfície aluvial da Bacia do Alto Rio Negro está localizada nas áreas Quaternárias que acompanham os rios Piraiauara e Cubaté da Bacia do Alto Rio Negro; a sub-região da superfície tabular da Bacia do Alto Rio Negro ocupa uma larga faixa a oeste da área de estudo e a sub-região das depressões da Bacia do Alto Rio Negro aparece na porção nordeste da área, em áreas deprimidas, sujeitas a inundações constantes.

Nestas sub-regiões observam-se dois grupos de formações bem marcadas pelas diferenças geomorfológicas: um arbóreo denso e o outro, arbóreo aberto. A formação arbóreo densa ocupa preferencialmente os interflúvios de forma ligeiramente tabular, enquanto que, a formação arbóreo aberta, as depressões das áreas pediplanadas.

A região da floresta tropical densa é caracterizada por apresentar árvores de grande porte que emergem de um estrato arbóreo uniforme de 25 a 35 m de altura.

A região de floresta tropical aberta ocorre na porção nordeste da área de estudo e é representada pelo ecossistema da floresta aberta com palmeiras.

As áreas de tensão ecológica são consideradas como sendo áreas onde ocorre a transição gradual de um tipo de vegetação para outra. Na região de estudo observam-se 2 tipos: campinarana com manchas de floresta e floresta com manchas de campinarana. O primeiro encontra-se limitado a leste pelo Rio Negro e a norte, pelo Rio Içana. No relevo ondulado com algumas depressões observa-se a floresta densa ou aberta, com e sem palmeiras, dispersa no domínio ecológico da campinarana. O segundo, é limitado a oeste pelo Rio Negro e a sul, pelo Rio Içana. Compreende áreas de relevo ondulado do domínio ecológico da floresta, com manchas dispersas de campinarana de porte arbóreo densa ou aberta.



REGIÃO DA CAMPINARANA

Sub-região da Superfície Aluvial da Bacia do Alto Rio Negro. Sub-região da Superfície Tabular da Bacia do Alto Rio Negro. Sub-região das Depressões da Bacia do Alto Rio Negro.

REGIÃO DA FLORESTA TROPICAL ABERTA

Sub-região da Superfície Dissecada do Complexo Guianense.

ÁREAS DE TENSÃO ECOLÓGICA



Floresta com manchas de Campinarana.

Fronteira entre paises.



1.4.3 - Geomorfologia

A área de estudo é ocupada na sua maior parte por uma grande unidade morfoestrutural denominada Pediplano Rio Branco-Rio Negro. Esta unidade compreende extensas áreas de relevo aplainado que resultaram do ataque de agentes erosivos que expuseram a base do bloco que constitui o Escudo das Guianas. A rede fluvial que se instalou sobre o Pediplano se caracteriza inicialmente por ter na sua margem direita uma alta densidade de cursos d'água que estão adaptados a estruturas geológicas (falhas ou fraturas). Distribuídas regularmente em toda a extensão de áreas do pediplano aparecem elevações isoladas que formam grupamentos de relevos residuais do tipo *inselberg*, compreendendo as feições de caráter geomorfológico mais distintas dentro deste conjunto de relevo (Nascimento & Prates 1976).

1.5 – Contexto Geotectônico e Geologia Regional

A área de estudo está inserida no Craton Amazônico (Figura 1.4), que encontra-se limitado ao Norte pelo oceano Atlântico; à Oeste-Noroeste pela Faixa Andina e na porção Leste-Sul, pela Faixa Paraguai-Araguaia, sendo o seu embasamento representado por parte do Escudo Brasil Central a sul, e pelo Escudo das Guianas, a norte. Este embasamento faz parte da Plataforma Sul Americana e encontra-se parcialmente recoberto pelos sedimentos das bacias paleozóicas do Amazonas, Solimões e Parecis (Teixeira *et al.* 1989), além de coberturas cenozóicas diversas.

A evolução geotectônica do Craton tem sido enfocada sob dois aspectos distintos. O primeiro, considera o Craton como sendo um terreno arqueano parcialmente retrabalhado e reativado durante o Proterozóico. Três eventos de reativação denominados Paraense (o mais antigo), Madeirense e Rondoniense foram reconhecidos por Amaral (1974). Teixeira *et al.* (1989) interpretam a evolução como um episódio de acreção crustal, também desenvolvido durante o Proterozóico, onde o Craton seria constituído por um núcleo antigo (Província Amazônia Central), rodeado pelas faixas móveis Maroni-Itacaiúnas (2.2 – 1.9 Ga), Rio Negro-Juruena (1.75 – 1.6 Ga), Rondoniana (1.5 – 1.3 Ga) e Súnsas (1.25 – 1.0 Ga), desenvolvidas durante o Proterozóico Inferior e Médio (Figura 1.5). Tassinari (1996) incorpora mais uma faixa móvel, além das já descritas anteriormente, denominada Ventuari-Tapajós (1.9 – 1.8 Ga).



Figura 1.4 - Craton Amazônico. (Modificado de Teixeira et al. 1989).

Datações radiométricas (Rb-Sr, U-Pb e K-Ar) realizadas por Teixeira *et al.* (1989) permitiram subdividir o Craton Amazônico em províncias geocronológicas.

A área de estudo faz parte do contexto da província geocronológica Rio Negro-Juruena, afetada pelo evento Madeirense (1350 \pm 100 Ma). A evolução geotectônica da província Rio Negro-Juruena é ainda um tanto especulativa por falta de um melhor conhecimento geológico da área (Tassinari 1981).



Figura 1.5 - Províncias geocronológicas do Craton Amazônico. (Modificado de Teixeira et al. 1989).

Santos *et al.* (1995) descreveram o Craton Amazônico com suas coberturas e com os cinturões móveis de idade proterozóica que o circundam. Na região de interesse, as principais feições observadas são o Cinturão Móvel Guiana Central, os granitóides Paleo- a Mesoproterozóicos e as coberturas Cenozóicas. O Cinturão Móvel Guiana Central é caracterizado por rochas ortognáissicas potássicas e granulíticas, intensamente milonitizadas (o *trend* do bandamento e da foliação milonítica é de N50E, com leve mergulho para SE). Amaral (1994) interpreta essa zona como um cinturão de cisalhamento que vem sofrendo reativações desde o proterozóico até hoje.

Os primeiros trabalhos a respeito da geologia do Alto Rio Negro baseiam-se no reconhecimento geológico feito por Paiva (1929), ao longo dos principais rios da região, onde ele descreve os granitos, gnaisses e anfibolitos distribuídos por toda a área.

Amaral (1974) realizou estudos comparativos entre imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL e imagens do Landsat/MSS e juntamente com os dados geológicos e geocronológicos disponíveis, apresentou uma síntese geológica do Pré-Cambriano da Amazônia, incluindo a região em foco.

No trabalho de mapeamento, executado pelo Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:1.000.000, foram definidas na região as seguintes unidades, da mais antiga para a mais jovem: Complexo Guianense, Grupo Tunuí, Granito Tiquié, Grupo Roraima, Rochas Básicas, Carbonatito Seis Lagos e os sedimentos aluvionares de idade Quaternária, sendo que, na área de estudo, só ocorrem o Complexo Guianense e os sedimentos aluvionares. Nesse trabalho, Pinheiro et al. (1976) utilizaram a designação de Complexo Guianense para os granitóides, gnaisses, migmatitos, anfibolitos e metabásicas que afloram na maior parte da Folha NA.19 Pico da Neblina, onde constituem a unidade estratigráfica mais antiga, correspondendo ao embasamento regional. Esta unidade tem sido mantida indivisa face a escala utilizada e a baixa densidade de pontos descritos, o que não possibilitou a subdivisão deste complexo em várias unidades. Devido à vegetação densa e espessa cobertura de solo, ocorrem poucas exposições de rocha fresca. A topografia é suave e os contatos entre os diferentes litotipos apresentam pouca expressão geomorfológica.

Dall'Agnol & Abreu (1976), através de estudos petrográficos e petrológicos desenvolvidos nesta mesma área, conseguiram distinguir três grupos: biotita granitóides e gnaisses a titanita; granitóides e gnaisses a duas micas e anfibolitos.

Os biotita granitóides e gnaisses a titanita constituem as rochas mais freqüentes do Complexo Guianense. A composição dos granitóides varia de granítica a quartzo-diorítica, as texturas são eqüigranulares e as estruturas isótropas, enquanto que, os gnaisses são porfiroblásticos, com estruturas gnáissicas.

O segundo grupo corresponde aos granitóides e gnaisses a duas micas. Este conjunto de rochas foi subdividido em granitóides, gnaisses e granitóides eqüigranulares. Particularmente, ocorrem pegmatitos e rochas afins. Sua composição é essencialmente granitica e, só em casos particulares, adamelítica ou quartzo-diorítica.

Mineralogicamente os dois conjuntos de rochas, biotita granitóides e gnaisses a titanita e granitóides e gnaisses a duas micas, apresentam as seguintes diferenças: composicionalmente, os tipos a duas micas são mais ácidos, apresentando teores mais elevados de quartzo e microclínia e, conseqüentemente, concentram-se no campo dos granitos; a presença de biotita e muscovita acompanhadas, em muitos casos, por sillimanita e granada é uma particularidade deste grupo. O plagioclásio dos granitóides a duas micas é o oligoclásio e altera, principalmente, a sericita-muscovita com epidoto muito subordinado, ao passo que, nos biotita granitóides a titanita é o oligoclásio-andesina, em geral muito saussuritizado. Os acessórios são muito mais abundantes e diversificados no grupo dos biotita granitóides a titanita, com grandes cristais de titanita. Os granitóides a duas micas costumam ser róseos e leucocráticos, enquanto que, os biotita granitóides a titanita apresentam cor cinza e maior quantidade de ferromagnesianos.

Ainda segundo Dall'Agnol & Abreu (1976) ocorrem na região rochas anfibolíticas. Estas rochas não são tão freqüentes, ocorrem intercaladas com os biotita granitóides e gnaisses a titanita e não foram individualizadas na escala adotada no mapeamento.

Lima & Pires (1985) tentaram cartografar estes granitóides através da reinterpretação de imagens de radar, na escala 1:250.000, do Projeto RADAMBRASIL e sugeriram as designações Curicuriari (relacionado à Serra Curicuriari) para os granitos a titanita e Içana (relacionado ao Rio Içana) para os granitos a duas micas.

Melo & Villas Boas (1993, 1994) e Villas Boas *et al.* (1994) abandonaram as designações adotadas até então para os granitóides da região e no mapeamento efetuado pela CPRM, denominado Projeto Alto Rio Negro, reuniram os dois tipos de granitóides presentes sob a designação de Suíte Xié. Ainda, neste mesmo projeto, foram identificadas na área de estudo outras duas unidades; uma, formada por sedimentos de idade cenozóica, que compreendem aluviões e as Formações Içá e Solimões e outra, formada por rochas predominantemente graníticas miloníticas a protomiloníticas (tonalitos, granodioritos, monzogranitos), definidas pelos autores como Complexo Cauaburi. A Formação Içá corresponde a uma seqüência de arenitos fluviais de idade quaternária que, fora dos limites da área do projeto, recobre discordantemente os sedimentos terciários da Formação Solimões (Figura 1.6).

Silva & Santos (1994) reinterpretaram os dados do Projeto Alto Rio Negro e com base em descrição de lâminas e geoquímica, baseada especialmente em elementos de terras raras, definiram duas séries magmáticas na região de estudo, separando os titanita granitos e os granitos a duas micas em duas unidades distintas. Os primeiros receberam a designação de Uaupés, rio onde se localizam suas melhores exposições, enquanto que, os granitos a duas micas mantiveram, provisoriamente, o nome Xié.

Silva *et al.* (1996) apoiados em análises químicas (convencionais de ETR), análises geocronológicas pelo método U/Pb e microscopia clássica mantiveram a mesma designação adotada por Silva e Santos (1994) para as duas suítes:

 a) suíte intrusiva Uaupés: biotita - hornblenda granitos metaluminosos, de baixa sílica e ricos em CaO, pós-tectônicos, do tipo "I" caledoniano, com empobrecimento nos ETR;

b) suíte intrusiva Xié: granitos a duas micas, leucossienogranitos peraluminosos, ricos em sílica e K_20 e relativamente pobres em Na₂O, TiO₂ e CaO, sincolisionais, do tipo "S".



Figura 1.6 – Mapa geológico da área de estudo. (Modificado de Melo & Villas Boas 1993).

Como citado anteriormente, a informação geológica disponível na região baseia-se em pontos descritos ao longo de rios, tais como o lçana, Piraiauara e Negro, obtidos a partir de campanhas de campo realizadas através do Projeto RADAMBRASIL e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). Tais pontos foram extraídos de Miranda (1990) e do Projeto Alto Rio Negro e transcritos para o mapa de localização de pontos da área de estudo, com suas respectivas descrições (anexo I).

	Paiva	Amaral	Pinheiro et al.	Dall'Agnol &	Lima & Pires	Melo & Villas	Silva & Santos	Silva <i>et al.</i>
	(1929)	(1974)	(1976)	Abreu (1976)	(1985)	Boas (1993)	(1994)	(1996)
					Suíte Intrusiva		Xié (granitos a	Suíte Intrusiva
				Granitóides e	Rio Içana		duas micas),	Xié (granitos a
	Granitos,	Granitos,	Complexo	gnaisses a	(granitos a	Suíte Xié		duas micas)
Proterozóico	gnaisses,	gnaisses,	Guianense	duas micas	duas micas)	(granitóides a		
Médio	anfibolitos e	migmatitos,	(granitóides,			titanita e a duas		
	metabásicas	granodioritos	gnaisses,	Biotita-	Sulte Intrusiva	micas),	Uaupés (titanita	Suíte Intrusiva
		:	migmatitos e	granitóides e	Curicuriari		granitos)	Uaupés
			anfibolitos)	gnaisses a	(granitos a			(Biotita-
				titanita	titanita)			Hornblenda
						Complexo		granitos)
				Anfibolitos		Cauaburi		
						(tonalitos,		
						granodioritos e		
						monzogranitos)		

Tabela 1.1 - Descrição dos principais trabalhos de geologia realizados sobre a área de estudo.

Sob o ponto de vista econômico, ocorrem a NW da região de estudo, na localidade denominada de Serra do Caparro e nas proximidades de São Gabriel da Cachoeira, áreas de garimpo de Au relacionadas a depósitos aluvionares. Este ouro pode ser proveniente dos metassedimentos do Grupo Tunuí, do Grupo Roraima ou mesmo das rochas granitóides amplamente distribuídas por toda a área. Além disso, sabe-se que existem muitos alvarás e requerimentos de pesquisa para Au por toda esta região, o que vem chamando a atenção de empresas, tornando a área interessante para a exploração mineral (CEDI/CONAGE, 1988).

CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Materiais Utilizados

- Mapa geológico do Projeto Alto Rio Negro, na escala 1:500.000 (CPRM);

Imagens do satélite JERS-1 SAR gravadas em fitas CCTs, órbita/ponto 430/298, 430/299 e 430/300, obtidas em 20 de junho de 1992; 429/298, 429/299 e 429/300, obtidas em 12 de dezembro de 1992;

- Imagens de radar GEMS 1000 tipo abertura sintética, banda x , do Projeto RADAMBRASIL (Folhas NA-19-ZA, NA-19-ZB, NA-19-ZC e NA-19-ZD), na escala 1:250.000, em papel, obtidas em 1971/72 (DNPM);

- Dados aerogeofísicos do Projeto Extremo Noroeste do Brasil.

O Projeto Extremo Noroeste do Brasil abrange uma superficie de aproximadamente 150.000 km², atingindo as fronteiras do Brasil, Colômbia e Venezuela. A área do presente trabalho encontra-se inserida em parte da área III deste projeto, sub-áreas III-A e III-B, ocupando uma superfície de 12.100 km² (Figura 2.1). Os perfis geofísicos foram realizados com espaçamento de 2 km x 20 km, nas direções N-S e E-W, para as linhas de vôo e de controle, respectivamente. A altura média do levantamento foi fixada em 150 m (500 pés), constante sobre o terreno. As medições geofísicas (campo magnético total e canais radiométricos de potássio, urânio, tório e contagem total) foram registradas digital e analogicamente, a intervalos de aproximadamente 60 m ao longo das linhas de vôo. Os valores dos dados radiométricos foram obtidos em cps (contagem por segundo) e posteriormente convertidos para teor.

Dentre os programas utilizados podemos citar o GEOSOFT, versão 4.1 (CPRM) e o SURFER, versão 6.03, utilizados para o processamento dos dados aerogeofísicos; o ER-MAPPER, versão 5.5 e o ENVI, versão 2.6, para o processamento digital dos dados aerogeofísicos e de radar; o AutoCad, versão 13.0, para a digitalização dos fotolineamentos do Projeto RADAMBRASIL e do JERS 1 - SAR e digitalização do mapa geológico do Projeto Alto Rio Negro.



Figura 2.1 - Projeto Extremo Noroeste do Brasil. Situação e subdivisão das áreas. Fonte: Hildenbrand *et al.* (1987).

2.2 - Métodos

Os métodos utilizados podem ser subdivididos da seguinte forma: compilação dos dados pré-existentes, processamento digital das imagens de radar do JERS 1 - SAR e do Projeto RADAMBRASIL, processamento e processamento digital dos dados aerogeofísicos, digitalização dos lineamentos das imagens de radar e do mapa geológico do Projeto Alto Rio Negro e análise estatística dos lineamentos.

2.2.1 - Técnicas de processamento digital de imagens de radar

Algumas correções e técnicas de processamento digital foram aplicadas nas imagens de radar, com o intuito de contribuir com a interpretação geológica e estrutural da área, atingindo assim o propósito do trabalho. Maiores informações podem ser encontradas em Amaral (1992), Crósta (1992), Drury (1990), Drury (1993), Lillesand & Kiefer (1994) e Sabins (1986).

As imagens de radar do JERS 1 – SAR apresentavam problemas devido a altos níveis de ruído (*speckle*) e geometria.

O speckle é o ruído inerente à imagem de radar SAR, consequência do uso de microondas com freqüência estável. Dentro de uma célula de resolução existem alvos e cada um deles contribui para o retro-espalhamento final, ou seja, respostas de alvos com ondas que estão em fase, reforçam o eco (a interferência é construtiva), causando pontos brilhantes nas imagens, enquanto que, se um par de ondas esta fora de fase, suas respostas se cancelam parcial ou totalmente (interferência destrutiva) e são gerados pontos escuros na imagem (Paradella 1996). A redução do ruído (*speckle*) é uma etapa indispensável para a análise e interpretação das imagens. Existem diversos filtros disponíveis no ER-RADAR (módulo de radar do programa ER-MAPPER) e que são utilizados para redução do *speckle*, dentre os quais estão os filtros de Frost, Lee, K-Nearest Neighbour Lee, Weighting, entre outros. No entanto, os mesmos são aplicáveis somente aos dados brutos e não a imagem (ver manual do ER-RADAR), optando-se por isso pelo uso do filtro de mediana.

A correção geométrica (georeferenciamento) transforma uma imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção com relação a um mapa.

Algumas técnicas de processamento digital que foram utilizadas envolvem realce de contraste, realce de borda, filtragem direcional e análise textural.

•Realce de contraste (aumento linear de contraste)

Normalmente, as imagens de sensoriamento remoto não ocupam a totalidade do intervalo de 256 níveis de cinza, pois é difícil encontrar valores extremos dentro de uma determinada área. O aumento de contraste é uma técnica de processamento digital onde uma imagem, cujo histograma está comprimido, pode ter o mesmo expandido para ocupar todo o intervalo de níveis de cinza disponível (0-255 = 256 níveis). Existem diversos tipos de

contraste: aumento linear, bilinear e não-linear. Dentre os aumentos nãolineares, a equalização realça as porções centrais do histograma; o contraste gaussiano ou normalização realça as extremidades finais do histograma (histograma com a forma aproximada de um sino); o aumento logarítmico realça a informação contida na porção mais escura da imagem e o aumento exponencial realça as porções mais claras da imagem. Outra forma de se conseguir um realce de contraste na imagem é dado através da técnica de realce de contraste balanceado (BCET), que pode ser implementado através de uma função parabólica ou cúbica. Esta técnica permite que se tenha controle dos 5 parâmetros envolvidos num aumento de contraste: DN mínimo e máximo, média e valores máximo e mínimo de corte (Liu 1991).

•Realce de Borda

Algumas feições lineares nas imagens ocorrem a partir do contato de áreas adjacentes com diferentes valores de DN. Estas feições lineares são formadas por bordas (feições de alta frequência). Algumas destas bordas são representadas por diferenças pronunciadas no brilho e são facilmente reconhecidas. Outras, entretanto, são marcadas por sutís diferenças de brilho que podem dificultar seu reconhecimento. O realce de borda pode realçar tais diferenças de brilho, associadas com algumas feições lineares, eliminando as feições de baixa freqüência. A dimensão do filtro influencia bastante, portanto, quanto menor o filtro, menores serão os detalhes a serem realçados na imagem. Dentre os filtros disponíveis no ER-MAPPER, foram utilizados os filtros de realce de borda horizontal, realce de borda vertical e filtros laplacianos. Masuoka *et al.* (1988) descreve alguns algoritmos testados para realce de bordas em imagens de radar sobre o Escudo Canadense.

Filtragem Directional

Consiste num tipo especial de filtro passa-alta que possui a característica de realçar bordas em direções pré-determinadas. Os mais comuns são os filtros de Roberts, de Sobel e de Prewitt. Os filtros direcionais possuem seus pesos distribuídos assimetricamente ao redor de um eixo hipotético, sendo que, as direções realçadas são perpendiculares a este eixo. No caso, foram utilizados os filtros de Sobel, matriz 3X3, com realce das direções N-S e E-W.

Análise Textural

desenvolvida А análise textural foi para tratar imagens monocromáticas, com o objetivo de verificar a frequência de variação tonal entre os pixels de uma imagem. Estas variações definem domínios texturais que podem estar relacionados a domínios geológicos. Existem diversas técnicas de análise textural (Amaral 1992, Miranda & Carr 1994, Miranda et al. 1994), sendo que, no presente trabalho foram utilizados os filtros disponíveis no programa ENVI, versão 2.6. Este calcula quatro parâmetros (Data Range, Root Mean Square, 1° e 2° momentos) diferentes. O Data Range substitui o *pixel* central da janela em processamento pela diferença entre o valor mínimo e máximo contido nesta janela. O RMS substitui o pixel central da janela que está sendo processada pela raiz quadrada média dos pixels desta janela. O primeiro momento é uma medida do contraste na imagem e o segundo momento mede a homogeneidade.

2.2.2 - Pré-processamento e processamento dos dados aerogeofísicos.

Os dados após serem coletados, passam por um pré-processamento que envolve algumas correções e por um processamento que envolve a geração de *grids* e filtragens.

2.2.2.1 - Dados Magnetométricos

Na fase de pré-processamento dos dados magnetométricos foi feita a correção da variação diurna do campo magnético terrestre, o nivelamento da malha de perfis e a remoção do Campo Geomagnético Internacional de Referência – IGRF. Tal informação foi extraída de Hildenbrand *et al.* (1987).

A fase de processamento foi toda realizada utilizando-se o programa GEOSOFT versão 4.1. O método de interpolação dos dados foi o de mínima curvatura. Este método foi escolhido porque ele possibilita a obtenção de resultados rápidos e quando comparado a outros métodos de interpolação (krigagem isotrópica, krigagem anisotrópica e gridagem bidirecional), resultou em mapas com características similares (Stevanato *et al.* 1995).

Para a geração dos grids é preciso levar-se em consideração o espaçamento entre as linhas de vôo. Normalmente, define-se a célula
quadrada do *grid* com o lado equivalente a um valor entre 1/4 e 1/8 do espaçamento entre as linhas de vôo. No caso do presente trabalho, o espaçamento foi de 2 km e a dimensão da célula do *grid* ficou em 250m (Vasconcellos *et al.* 1994).

A partir do dado gridado pode-se observar que as anomalias mostravam um forte ruído, com orientação N-S, segundo a direção das linhas de vôo.

Em função disto, foram realizadas filtragens que melhoraram a qualidade dos dados, tornando-os mais apropriados para interpretação. Utilizou-se um filtro direcional (Filtro de Potência Cosseno Direcional), no domínio da freqüência, que pode ser representado por duas funções: uma que rejeita a direção α e outra que a deixa passar. Adotou-se a função que rejeita a direção α . No caso, esta direção é perpendicular a direção N-S do ruído presente no domínio espacial, ao longo das linhas de vôo, ou seja, α é igual à 90°. Este filtro é bastante eficaz no sentido de remover o forte ruído presentes nos *grids* (Souza Filho *et al.* 1997). Posteriormente, aplicou-se um filtro bidimensional, no domínio espacial, segundo uma janela móvel de nove pontos, para suavização dos valores do *grid*.

Os outros dois filtros que também foram utilizados são os filtros de redução ao pólo e de susceptibilidade magnética aparente. •Filtro de redução ao pólo

O caráter dipolar do campo magnético terrestre faz com que a direção e a inclinação do campo variem ao longo da superfície terrestre. Por isso, a componente da magnetização induzida de uma fonte produzirá diferentes padrões anômalos, quando localizada em diferentes latitudes. Esta variação na forma das anomalias magnéticas torna complexa a análise dos dados, sendo este problema contornado transformando-se os dados, originalmente coletados em qualquer latitude, para a latitude onde a inclinação do campo é 90º (polo magnético). Após a transformação, os dados podem ser analisados como se tivessem sido coletados no polo, onde a magnetização induzida pelo campo tem a direção vertical (Luiz & Silva 1995).

•Filtro de susceptibilidade magnética aparente

Para a geração de um mapa de susceptibilidade magnética aparente o programa assume que as fontes (corpos) magnéticas são compostas por um grande número de prismas homogêneos e verticais, de extensão infinita em profundidade, com seção horizontal equivalente a da célula do *grid*. As susceptibilidades magnéticas dos prismas são calculadas partindo do pressuposto de que a diferença entre a intensidade do campo observado em cada nó do *grid* e o valor geomagnético local é igual à soma das anomalias magnéticas de todos os prismas naquele ponto. O método também supõe que todas as anomalias magnéticas são causadas por indução e que os corpos são verticais. Todo este procedimento só é aplicável sobre dados magnéticos residuais (Vasconcellos *et al.* 1994).

2.2.2.2 - Dados Gamaespectrométricos

Na etapa de pré-processamento dos dados gamaespectrométricos aéreos foi efetuada a correção do background atmosférico, correção atmosférica e a correção do efeito Compton. Assim como nos dados magnetométricos, esta informação também foi extraída de Hildenbrand *et al.* (1987).

Na fase de processamento, os canais individuais de Th, U e K, que inicialmente estavam em contagem por segundo (cps), foram convertidos para teor (% e ppm). Isto fez com que a análise dos dados fosse "semiquantitativa" ao invés de qualitativa. Esta conversão é feita com base no volume do cristal, na altura do vôo e nas sensibilidades para U, Th e K (Pascholati & Amaral, em preparação).

A partir dos valores de Th (ppm), U (ppm) e K (%), foram realizadas as razões Th/U, Th/K, U/K e o parâmetro F (Gnojek & Prichystal 1985) e geradas malhas para todos estes temas. O *software* utilizado foi o GEOSOFT, versão 4.1, empregando-se o mesmo método de interpolação e a mesma dimensão de célula já citados anteriormente. Estas malhas apresentaram também um forte ruído de direção N-S verificado ao longo das linhas de vôo, sendo necessária a utilização de filtragens disponíveis no GEOSOFT que melhorassem a qualidade dos dados. Para tal, recorreu-se ao filtro de Potência Cosseno Direcional, aplicado no domínio da freqüência, que

eliminou os alinhamentos causados pelo ruído, e a um filtro passa-baixa, para suavização dos valores do *grid*.

Todas as malhas geradas de ambos os dados foram importadas para o programa ER-MAPPER, versão 5.5 e transformadas em imagens.

2.2.3 - Processamento digital dos dados aerogeofísicos

As técnicas de processamento digital de imagens que foram usadas nos dados aerogeofísicos incluem realces de contraste, imagens ternárias, técnicas de IHS, técnicas de pseudo-cor, técnicas de sombreamento sintético e filtragens.

1) Imagens ternárias

As imagens ternárias representam um importante meio para combinar três bandas em uma única imagem. Consiste em alocar os canais de emissão gama às cores primárias vermelho, verde e azul. A confecção de imagens ternárias pode ser feita incluindo-se, além dos canais individuais Th, U e K, as razões entre estes três elementos (Duval 1983, Nevitt & Barr 1985).

2) Técnicas de IHS

É uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. No espaço IHS as cores são definidas por três atributos: intensidade, matiz e saturação. A intensidade é o brilho; matiz é a cor e saturação é a pureza. Harris & Murray (1989) e Harris *et al.* (1990) descreveram o uso da transformação IHS na integração de imagens de radar com diversos tipos de dados, como Landsat/TM, aerogeofísico e dados temáticos.

3) Técnicas de pseudo-cor

Técnica utilizada para converter uma imagem preto e branca em imagem colorida através da atribuição de cores aos intervalos de cinza. Drury & Walker (1987) discutem que as variações de intensidade em imagens geofísicas são mais facilmente perceptíveis utilizando-se imagens pseudocoloridas, enquanto que, outros atributos espaciais, como textura, são melhor representados nas imagens em tons de cinza.

4) Técnicas de sombreamento sintético

Técnica simples e efetiva, utilizada para realçar feições estruturais numa imagem, através da simulação de uma fonte luminosa numa

determinada direção, criando a aparência de uma superfície topográfica iluminada (Kowalik & Glenn 1987).

5) Filtragens

As filtragens foram utilizadas para proceder à interpretação qualitativa dos dados aeromagnéticos. O conjunto de filtros utilizados inclui: filtros passa-baixa, filtros passa-alta, filtros de continuação para cima, filtros de continuação para baixo, filtros de primeira e segunda derivadas e filtros de realce de borda.

5 a) Filtros passa-baixa/passa-alta

Os filtros passa-baixa ou de suavização eliminam as altas frequências da imagem, deixando passar somente as baixas frequências, realçando feições de fontes mais profundas. Os filtros passa-alta eliminam as feições de baixa frequência, deixando apenas as de alta frequência, normalmente expressas por bordas ou limites entre áreas. Este tipo de filtro realça feições de fontes mais rasas.

5 b) Filtros de continuação para cima/continuação para baixo

O filtro de continuação para cima atenua as feições provocadas por fontes mais rasas, realçando os corpos mais profundos, sendo considerado como melhor filtro para se obter um mapa de componentes regionais. O filtro de continuação para baixo define melhor as anomalias de corpos rasos, simulando um levantamento mais próximo (Vasconcellos *et al.* 1994, Marek 1984, Dobrin & Savit 1988).

5 c) Filtros de primeira e segunda derivadas

As derivadas verticais amplificam a informação do comprimento de onda curto às custas da informação do comprimento de onda longo, ou seja, normalmente a primeira e segunda derivada acentuam os gradientes ao longo de bordas de fontes magnéticas rasas (Dobrin & Savit 1988; Marek 1984).

2.2.4 - Digitalização dos fotolineamentos das imagens de radar e do mapa geológico do Projeto Alto Rio Negro

Segundo O'Leary et al. (1976 apud Amaral 1992) o lineamento é uma feição linear, simples ou composta, retilínea ou curvilínea, que pode ser individualizado numa imagem e que reflete um fenômeno de subsuperfície.

Os lineamentos são caracterizados por feições morfológicas (cristas, escarpas, segmentos de linha de drenagem), texturais ou mistas. A extração destas feições pode ser feita através de alguns métodos, como a análise visual, estereoscopia ou por observação com ângulos rasantes e rotação da imagem.

No caso das imagens de radar do presente trabalho, a análise visual e a observação das imagens individuais através de ângulos rasantes possibilitou a identificação de lineamentos estruturais; a rotação melhorou a visualização de linhas paralelas à direção de visada, enfatizando lineamentos causados por variações tonais e feições morfológicas.

Nos produtos obtidos a partir do dado magnetométrico também foi possível a identificação de diversos lineamentos estruturais que foram digitalizados dentro do próprio ER-MAPPER.

Foi realizada também a digitalização do mapa geológico da área de estudo a partir do mapa geológico do Projeto Alto Rio Negro, na escala 1:500.000, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais -CPRM. O mesmo serviu como base para a reinterpretação dos dados.

2.2.5 – Análise estatística dos lineamentos

A partir dos lineamentos obtidos das imagens de radar e dos dados magnetométricos foram gerados diversos parâmetros estatísticos passíveis de representação através de mapas de variação regional. Inicialmente, estes lineamentos foram digitalizados utilizando-se um programa em BASIC denominado DIGIFRAT, que monta um arquivo ASCII com as coordenadas x,y de início e fim de cada linha. Este arquivos são lidos por um programa em linguagem FORTRAN, denominado FRATURA, que então permite o cálculo e a representação dos parâmetros citados anteriormente para os lineamentos obtidos dos produtos de sensoriamento remoto. Estes programas foram desenvolvidos pelo professor Dr. Gilberto Amaral. Os parâmetros obtidos foram: azimute médio simples (angular), azimute médio ponderado pela distância, resultante simples, resultante ponderada, razão de consistência simples, razão de consistência ponderada, desvio padrão simples, desvio padrão ponderado, número de linhas por célula, somatório dos comprimentos, densidade de fraturamento, freqüência de fraturas e número

de intersecções por célula; os parâmetros utilizados foram azimute médio simples e freqüência de fraturas.

,

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS OBTIDOS

3.1 - Interpretação das imagens de radar do JERS 1 - SAR e do Projeto RADAMBRASIL

A principal característica das imagens de radar da região de estudo é o seu caráter homogêneo, causado pela presença de densa cobertura vegetal, pela ausência de expressão geomorfológica e pelo relevo plano com raras elevações, o que dificultou bastante a obtenção de informações de interesse.

A etapa que envolveu o processamento digital das imagens de radar teve como objetivos principais a identificação e análise dos principais padrões estruturais existentes na área e dos possíveis padrões texturais.

No caso das imagens do JERS 1 – SAR, sabendo que cada uma delas compreende 6.400 x 6.096 pixels, é importante ressaltar que das seis imagens disponíveis, apenas as imagens com órbita/ponto 430/299 e 429/299 foram utilizadas. Estas duas imagens foram escolhidas porque se mostraram mais adequadas às necessidades do trabalho, cobrindo com nitidez a principal faixa da área de estudo. Já em relação às imagens do Projeto RADAMBRASIL, trabalhou-se com as informações referentes a parte das folhas NA.19-ZA (Rio Içana), NA.19-ZB (Cucuí), NA.19-ZC (Rio Uaupés) e NA.19-ZD (Pico da Neblina), na escala 1:250.000.

3.1.1 - Imagens JERS 1 - SAR

Inicialmente, procedeu-se a montagem do mosaico através da junção da área de superposição entre as duas imagens (Figura 3.1). Pelo fato destas duas imagens apresentarem diferenças na sua tonalidade, fez-se necessário o uso de uma técnica denominada *histogram match*, cuja finalidade foi minimizar as diferenças de brilho, balanceando o contraste entre as duas imagens. Utilizou-se também um processo de suavização que reduz o efeito visual causado pela junção entre as duas imagens, dando assim um aspecto contínuo entre elas denominado *feathering*.

Em seguida, foi efetuada a remoção do *speckle*, sendo que, de todos os filtros disponíveis e testados, o que mostrou o melhor resultado foi o filtro de mediana, com uma máscara de dimensão 5X5 pixels. O filtro de mediana é um tipo de filtro passa-baixa, onde o pixel central da máscara é substituído





Figura 3.1 - Imagem do mosaico de radar do JERS 1- SAR, com aumento balanceado de contraste.

pela mediana dos seus vizinhos (Crósta 1992).

Para obter a precisão cartográfica, as imagens foram corrigidas para o sistema de coordenadas UTM. Efetuou-se a correção geométrica (georeferenciamento) através da definição de pontos de controle no terreno, reconhecíveis tanto no mapa como na imagem. Em virtude da inexistência de mapas topográficos desta região, a escolha dos pontos foi feita com base nos mosaicos semi-controlados de radar do Projeto RADAMBRASIL. Este fato, somado à densa cobertura vegetal da área, fez com que os pontos de controle observados não apresentassem boa precisão, o que ocasionou um erro médio de localização em torno de 15 metros.

A aplicação do aumento de contraste tornou-se necessária, sendo que, o melhor ajuste do histograma das imagens foi conseguido através do aumento de contraste balanceado (BCET).

Os resultados obtidos a partir do uso do realce de borda e das filtragens direcionais nas imagens de radar do JERS 1 – SAR mostraram que as principais direções estruturais na área variam aproximadamente de Azm.50 para Azm.140.

Além disso, foi efetuada uma análise visual, observando-se as imagens individuais do JERS 1 - SAR através de ângulos rasantes e rotacionando-as, o que melhorou a visualização dos lineamentos causados por variações tonais. Isto fez com que estes lineamentos pudessem ser reconhecidos, traçados sobre a imagem e digitalizados, passando para um formato vetorial. Os mesmos lineamentos observados anteriormente foram evidenciados a partir desta análise (Anexo II).

Os tons mais claros, próximos à margem oeste do Rio Negro, na porção SE da área, e ao longo do Rio Piraiauara, na porção centro-sul, parecem estar relacionados tanto a presença de cobertura cenozóica como também à área da planície de inundação, onde ocorre uma mata alagada (igapó) definida por Miranda (1990). A presença da água sob a vegetação reforça fortemente o sinal de retorno nas imagens de radar, efeito este denominado *double bounce* (Figuras 3.2a e 3.2b).

Localmente, podem ser observadas na imagem algumas elevações isoladas que corresponderiam a relevos residuais do tipo *inselberg*, que são comuns em toda a extensão da área. Estas feições são mais facilmente



Figura 3.2a - Imagem de radar do JERS 1 - SAR, orbita/ponto 429/299, com aumento balanceado de contraste.



Figura 3.2b - Imagem de radar do JERS 1 - SAR, orbita/ponto 430/299, com aumento balanceado de contraste.

observáveis nas imagens separadas (Figuras 3.2a e 3.2b).

A análise textural realizada na imagem de radar do JERS 1 - SAR, utilizando-se o *software* de processamento digital de imagens ENVI versão 2.6, não forneceu resultados satisfatórios. Além da presença do ruído (*speckle*) característico deste tipo de imagem, as mesmas apresentavam-se bastante homogêneas, sem variações texturais, em função das próprias características da área de estudo, o que não justificava a realização de uma análise textural.

3.1.2 - Imagens do Projeto RADAMBRASIL

As imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL foram transformadas em imagens digitais utilizando-se um *scanner* de mesa. A resolução final das imagens é de 21m. Apesar das imagens já estarem corrigidas não foi possível manter o paralelismo de suas bordas, fazendo-se necessária uma nova correção geométrica. Foram selecionados diversos pontos e as imagens foram corrigidas para o sistema de coordenadas UTM. Promoveu-se então a montagem do mosaico das imagens. Novamente, foi preciso recorrer a técnica denominada *histogram match*, para minimizar as diferenças na tonalidade das imagens e aplicar um aumento de contraste, cujo melhor ajuste do histograma foi conseguido através do aumento de contraste balanceado (Figura 3.3). Observam-se localmente as mesmas elevações isoladas, já identificadas a partir das imagens do JERS, que correspondem a relevos residuais do tipo *inselberg*.

A etapa de digitalização dos fotolineamentos das imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL envolveu a identificação, o traçado e a digitalização dos principais lineamentos presentes, sendo que, os mesmos mostraram-se preferencialmente com as direções NE-SW e NW-SE (Anexo III).

A análise textural das imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL também não apresentaram os resultados esperados. O que se observou, após a aplicação desta técnica, foram faixas escuras gradando para claras, em função da diferença nos ângulos de iluminação das imagens. Isto impossibilitou a obtenção de resultados satisfatórios a partir da utilização desta técnica.



Figura 3.3 - Imagem do mosaico de radar do Projeto RADAMBRASIL, com aumento balanceado de contraste.

3.2 - Interpretação das imagens aerogeofísicas

Após o processamento dos dados aerogeofísicos, estes foram exportados para o ER-MAPPER com o mesmo datum e a mesma projeção cartográfica das imagens de radar, para evitar problemas futuros de integração com estes ou quaisquer outros dados. As imagens compreendem 444 x 432 pixels.

As técnicas de tratamento digital empregadas contribuíram na identificação do padrão tectono-estrutural da área, na delimitação de diferentes domínios e na obtenção de informações geológicas adicionais.

3.2.1 - Imagens gamaespectrométricas

A etapa que envolveu a interpretação dos dados gamaespectrométricos teve como objetivo principal delimitar áreas com diferentes níveis de radioatividade. O canal de contagem total, os canais individuais de K, U, Th e a imagem ternária foram utilizados para separar os diferentes domínios litológicos e *trends* estruturais da região (Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8). A razão Th/U contribuiu na discriminação litológica e na identificação de possíveis processos de alteração (Figura 3.9).

Aplicou-se um aumento de contraste nas imagens, sendo que, o melhor ajuste dos histogramas para as imagens do canal de contagem total, dos canais individuais e da razão Th/U foi conseguido através do aumento linear de contraste.

A análise destes dados foi realizada utilizando-se imagens pseudocoloridas que facilitaram muito a visualização.

No caso da imagem ternária ThUK - RGB, o melhor ajuste do histograma foi conseguido através do aumento gaussiano de contraste.

A partir das imagens realçadas pode-se separar os dados radiométricos em três dominios: I, II e III. Os níveis radiométricos mais elevados da região de estudo estão registrados na porção centro-norte da área, englobando parte das folhas Rio Içana e Cucuí, correspondendo ao Domínio I. Isto pode ser constatado nas imagens do canal de contagem total, Th, U, K e na imagem ternária ThUK (Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8). Os valores mais altos de radiação são interpretados como as porções aparentemente mais ácidas dos granitóides presentes. Pode-se incluir,



Figura 3.4 - Imagem do canal de contagem total, com aumento linear de contraste e dominios geofisicos sobrepostos.









Figura 3.7 - Imagem do canal de potassio (%), com aumento linear de contraste e dominios geofísicos sobrepostos.



Figura 3.8 - Imagem ternaria dos canais de ThUK, com aumento gaussiano de contraste.



Figura 3.9 - Imagem da razao Th/U, com aumento linear de contraste e dominios geofísicos sobrepostos. também no domínio I, a porção sul da área de estudo, a qual apresenta características similares a da porção anteriormente citada, apresentando, entretanto, baixo valor de potássio. Este fato pode estar relacionado a algum tipo de rocha de composição menos alcalina. Isto pode ser constatado nas imagens do canal de contagem total, Th, U e K (Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7).

O Domínio II compreende parte das 4 folhas citadas anteriormente (Figura 1.6). Este domínio apresentou, de maneira geral, valores intermediários de Th, baixos de K e altos valores de U. Isto pode ser constatado nas imagens dos três canais individuais (Figuras 3.5, 3.6 e 3.7). Localmente, observam-se altos valores de Th, U e K, que podem estar relacionados a parte mais aflorante dos corpos graníticos presentes.

No domínio III, os níveis radiométricos, definidos pelos baixos valores de K, U e Th, são observados nas imagens de contagem total (Figura 3.4), dos canais individuais (Figuras 3.5, 3.6 e 3.7) e na imagem ternária (3.8), podendo estar relacionados a rochas do embasamento, à presença de cobertura cenozóica e/ou às áreas de planície de inundação onde ocorre a vegetação alagada. A presença de água sob a vegetação atenua bastante a radioatividade emitida pelas rochas da superfície (Miranda 1997).

Na porção NE e SE da área observa-se um conjunto de anomalias dispostas ao longo dos Rios Xié e Negro. Estes altos valores de radiação podem ser vistos a partir das imagens de contagem total, Th e U (Figuras 3.4, 3.5 e 3.6). Tal fato não é observado a partir da imagem de K (Figura 3.7). Como a região apresenta rochas graníticas e o potássio é um elemento muito freqüênte nos minerais, principalmente nos alumino-silicatos, provavelmente estas anomalias não estão relacionadas a litotipos que ocorram "in situ" e sim ao material proveniente do Domínio I, carreado ao longo dos Rios Xié e Negro. Isto pode ser explicado, pois o urânio no estado hexavalente é um elemento facilmente lixiviado (Silva 1994) e o tório pode ser transportado principalmente por processo mecânico.

Na imagem ternária (Figura 3.8), as cores vermelho, verde e azul representam Th, U e K, respectivamente. As cores amarelo, cyan e magenta refletem uma mistura em proporções aproximadamente iguais de Th e U, U e K e Th e K, respectivamente. A cor branca exibe a presença dos três elementos em iguais proporções e a cor negra, os valores mínimos destes

elementos.

A razão Th/U (Figura 3.9) apresentou os valores mais altos relacionados ao Domínio I; intermediários no Domínio II e baixos no Domínio III.

Em função dos baixos valores de potássio verificados por quase toda a área, as razões Th/K, U/K e o parâmetro F apresentaram valores muito anômalos. Este fato pode estar relacionado a algum problema durante o levantamento aéreo ou à fase de pré-processamento, as quais não se tem acesso.

Algumas das principais feições estruturais da área puderam ser identificadas a partir da análise dos dados gamaespectrométricos.

Diversos lineamentos de direção NE-SW e NW-SE são observados, sendo importante notar uma grande feição de direção NE-SW, já identificada por Melo e Villas Boas (1993), que parece corresponder ao limite leste do domínio I com o domínio II e pode estar relacionada a fácies distintas de granito (Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.9).

Outra feição notória é o lineamento de direção NW-SE que controla parte do curso do rio Içana e que tem continuidade até a porção SE da área. Aparentemente representa o limite oeste entre os domínios I e II e parece cortar os domínios II e III (Figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.9).

A partir da imagem ternária observa-se também a presença dos diversos lineamentos que ocorrem na área, sobretudo do lineamento NW-SE, com continuidade para SE da área e do lineamento de direção NE-SW. Ambos corresponderiam ao limite entre o domínio I, que apresenta um formato em cunha e o domínio II.

É importante ressaltar também a boa correlação existente entre as imagens gamaespectrométricas e os mapas de solo e vegetação da área de estudo, que mostram bem o limite entre os domínios I e II (Figuras 1.2 e 1.3). A região do Domínio I, que ocorre na porção superior da área, representada pelos corpos graníticos e pelos maiores valores de contagem total, corresponde ao latossolo vermelho amarelo distrófico (Figura 1.2.) e à região de floresta (Figura 1.3).

Com base na interpretação dos dados gamaespectrométricos, tentouse correlacionar os domínios geofísicos com a geologia da área de estudo

(Figura 1.6) proposta por Melo e Villas Boas (1993), da seguinte forma:

Domínio I: Representado pelos diversos litotipos pertencentes à Suíte Intrusiva Xié e Uaupés.

Domínio II: Representado pelos diversos litotipos pertencentes à Suíte Intrusiva Uaupés e ao Complexo Cauaburi.

Domínio III: Representado em parte por rochas do embasamento, pela área da planície de inundação e de cobertura cenozóica.

3.2.2. - Imagens aeromagnetométricas

A interpretação do mapa aeromagnetométrico teve como objetivos principais contribuir para o mapeamento geológico da área, através da delimitação das possíveis unidades magnéticas existentes, e identificar o padrão tectono-estrutural presente na região.

Os dados foram analisados utilizando-se a imagem de campo magnético residual em pseudocolor (Figura 3.10). O melhor ajuste do histograma foi conseguido através do aumento linear de contraste. A partir desta imagem realçada, foi possível separar 3 domínios magnéticos distintos.

Nesta imagem, os altos magnéticos representados pelos fortes tons avermelhados podem estar relacionados, de acordo com os pontos de amostragem (Anexo I), a rochas ricas em magnetita, anfibolitos ou migmatitos com paleossoma máfico, distribuídas pelo domínio I.

As áreas caracterizadas por níveis intermediários, representadas pelos tons que vão do azul claro ao alaranjado, podem estar relacionadas a migmatitos, biotita granitos, gnaisses e monzogranitos, ou seja, rochas com uma quantidade ainda expressiva de minerais ferromagnesianos na sua composição, pertencentes ao domínio II, ou as áreas de cobertura cenozóica.

As assinaturas no tom de azul escuro representam os valores magnéticos mais baixos e podem estar relacionadas as rochas que possuem na sua composição pouca ou nenhuma quantidade de minerais ferromagnesianos, distribuídas ao longo do domínio III.

Ao sul da folha Rio Içana observa-se uma feição magnética com alto valor, do tipo dique, que foi descrita por Miranda (1990) como sendo relacionada a um corpo intrusivo discordante aos granitóides.

Com relação as feições estruturais, as assinaturas magnéticas mais



Figura 3.10 - Imagem magnetica de campo residual, com aumento linear de contraste e dominios geofísicos sobrepostos.

proeminentes estão representadas por lineamentos com direções E-W e NE-SW. Os lineamentos de direção NE-SW provavelmente representam extensões da zona de cisalhamento Guiana Central ou Arco do Rio Branco. Praticamente não foram observados os lineamentos de direção NW-SE.

A imagem reduzida ao pólo (Figura 3.11) também foi analizada em pseudocor e o melhor ajuste do histograma foi obtido através do aumento linear de contraste. Este filtro transforma a intensidade do campo para a latitude magnética de 90°. Este procedimento realça as anomalias e auxilia na interpretação, permitindo que se localize mais facilmente as fontes das mesmas e que se determine melhor a forma dos corpos. A partir desta imagem, verifica-se que os domínios ficam melhor delimitados, principalmente na porção central da área. Observa-se que os mínimos (domínio III) ficam melhor delineados, realçando a feição em forma de dique descrita por Miranda (1990). Nota-se ainda que os valores máximos (domínio I) foram suavizados, tornando-se menos aparentes. As porções norte e sul mantiveram, de maneira geral, a mesma configuração dos domínios.

Para os outros filtros utilizados (continuação para cima, passa-alta, realce de borda e sombreamento sintético), as imagens foram analizadas em níveis de cinza e o melhor ajuste dos histogramas também foi dado através do aumento linear de contraste.

A imagem com filtro de continuação para cima é considerada a melhor para a obtenção de um mapa de componentes regionais, realçando as fontes mais profundas. Neste caso, a continuação foi de 250 m e o que se observa a partir desta imagem é que o Domínio III atinge uma profundidade maior em relação aos outros dois domínios, que estão bem suavizados (Figura 3.12).

As informações de caráter estrutural, obtidas a partir das imagens filtradas (Figuras 3.13, 3.14 e 3.15) estão representadas por lineamentos com direções E-W, NE-SW e NW-SE.

De maneira geral, o que se observa a partir da imagem de campo magnético residual com filtro passa-alta (Figura 3.13) é que os domínios I e II apresentam um padrão magnético mais alto, representado por um número maior de anomalias de alta freqüência, em relação ao domínio III, que se mostra mais homogêneo.

A imagem de campo magnético residual com filtro de realce de borda



Figura 3.11- Imagem magnetica de campo residual, com filtro de reducao ao polo.



Figura 3.12 - Imagem magnetica de campo residual, com filtro de continuacao para cima (250 m).



Figura 3.13 - Imagem magnetica de campo residual, com filtro passa-alta (matriz 5X5).

(Figura 3.14) mostrou um padrão mais homogêneo de distribuição das anomalias de alta freqüência pelos três domínios.

Os lineamentos com direção E-W podem ser observados facilmente na imagem de campo magnético residual, com sombreamento sintético de N para S e correspondem a uma estruturação mais profunda, provavelmente relacionada a um evento mais antigo que afetou as rochas desta região (Figura 3.15a).

Os lineamentos de direção NW-SE, que anteriormente não puderam ser detectados com facilidade na imagem do campo magnético residual, podem ser identificados facilmente na imagem com sombreamento sintético de NE para SW (Figura 3.15b) e podem estar relacionados a Faixa Móvel Rio Negro-Juruena, de direção NW-SE.

Já os lineamentos com direção NE-SW podem ser observados na imagem de campo magnético residual, com sombreamento sintético de NW para SE e provavelmente estão relacionados ao Cinturão de Cisalhamento Guiana Central (Figura 3.15c).

A interpretação do mapa magnetométrico não possibilitou uma correlação direta com a geologia da área de estudo encontrada na literatura, auxiliando apenas no sentido de separar domínios magnéticos distintos e na definição do padrão tectono-estrutural da área.

3.3 – Interpretação conjunta das imagens de radar e geofísica (gamaespectrometria)

Nesta etapa do trabalho foram testados alguns métodos de integração de dados, objetivando uma análise conjunta das informações disponíveis. O produto obtido a partir da superposição da imagem de radar do JERS 1 – SAR com a imagem de contagem total foi o único que apresentou bons resultados (Figura 3.16). A imagem de radar foi alocada no canal de intensidade (I) e a de contagem total em pseudocor. Algumas características observadas individualmente nas imagens puderam ser comparadas.

Os baixos radiométricos relacionados ao Domínio III na imagem de contagem total coincidem perfeitamente tanto com as áreas de cobertura cenozóica já descritas anteriormente como com as áreas de planície de inundação dos rios Piraiauara e Cubaté.



Figura 3.14 - Imagem do campo magnetico residual, com tiltro de realce de borda (matriz 5X5) e lineamentos estruturais sobrepostos.





Figura 3.15 - Imagem magnetica de campo residual, com sombreamento sintetico de a) N para S, b) NE para SW, c) NW para SE.



Figura 3.16 - Imagem de mosaico do JERS 1 - SAR no canal de intensidade (I) sobreposta a imagem do canal de contagem total em pseudocor.

O lineamento de direção NW-SE que controla parte do curso do Rio Içana coincide em boa parte com o limite oeste entre os Domínios I e II, extendendo-se até a porção SE da área.

As elevações isoladas que aparecem nas imagens de radar em toda a extensão da área e que correspondem a relevos residuais do tipo *Inselberg*, coincidem com as altas anomalias individuais de Th, U e K observadas na imagem de contagem total, indicando a presença de corpos graníticos.

Por último, através desta imagem fica fácil observar também os altos valores de radiação presentes na imagem de contagem total que acompanham os Rios Negro e Xié.

3.4 – Interpretação dos mapas obtidos da análise estatística de lineamentos

Dentre os parâmetros estatísticos anteriormente mencionados (item 2.2.5) e que foram gerados, apenas os valores do azimute médio simples e da freqüência de fraturas dos lineamentos magnéticos, do JERS 1 – SAR e do RADAMBRASIL foram selecionados.

No mapa com valores de azimute médio dos lineamentos magnéticos (Figura 3.17) pode-se observar mais claramente uma predominância da direção dos lineamentos para E-W e NE-SW, com pequena variação para NW-SE. Já nos mapas de lineamentos do RADAMBRASIL e do JERS 1 – SAR (Figuras 3.18 e 3.19), os valores de azimute médio mostrados por toda a área variam de NE-SW para NW-SE e Azm.50 para Azm.140, respectivamente e praticamente não é observada a direção E-W. Isto mostra que esta direção, evidenciada pelos lineamentos magnéticos, corresponde a uma estruturação mais profunda e que ela não se encontra representada nos mapas de lineamentos do JERS e do RADAMBRASIL porque, no caso do RADAMBRASIL, a direção de visada é para oeste e do JERS 1 - SAR, para Azm.278 e todas as feições paralelas ou ortogonais a estas direções são pouco ou nada realçadas.

O mapa de freqüência de fraturas dos lineamentos magnéticos (Figura 3.20) mostra uma distribuição bastante homogênea dos valores mais elevados ao longo dos três domínios que ocorrem na área, sendo que, os valores mais baixos são observados praticamente nos domínios II e III. Nos

			the second s	A case of a second second second	a tell a second a second as	a subscription of the local division of the	and the second se		
-	1	/	/		/	/		-	/
									/
						/			/
		- /						<u> </u>	-
	/	/	-	5		/	_		/
•		himmen		<u> </u>					
	_	/	/						
						_			/
			/						
				<u></u>				_	



Figura 3.17 - Mapa com valores de azimute médio simples dos lineamentos magnéticos.






Figura 3.18 - Mapa com os valores de azimute médio simples dos lineamentos do RADAMBRASIL.



.











620.00 630.00 640.00 650.00 660.00 670.00 680.00 690.00 700.00 710.00 escala 1:750.000

Figura 3.21 - Mapa com valores de freqüência de fraturas dos lineamentos do RADAMBRASIL (nº/Km²).





mapas de freqüência de fraturas dos lineamentos do RADAMBRASIL e do JERS, esta distribuição de valores é mais heterogênea (Figuras 3.21 e 3.22).

A partir dos mapas com valores de freqüência de fraturas dos lineamentos magnéticos, do RADAMBRASIL e do JERS foram gerados, para cada um deles, dois histogramas. O primeiro mostra o valor de todas as classes para o eixo X e a porcentagem do número de elementos (fraturas) para o eixo Y. O segundo mostra o mesmo valor de classes para o eixo X e a porcentagem do somatório do comprimento das fraturas para o eixo Y.

O histograma 1 dos lineamentos magnéticos (Figura 3.23) mostra que o maior número de elementos (fraturas) encontra-se no intervalo de 70° a 75°, enquanto que no histograma 2 (Figura 3.24), quando se leva em consideração o comprimento das fraturas, este intervalo sofre um deslocamento e a classe mais significativa é a que vai de 85° a 90°. A orientação mostrada pelo histograma 1 corresponde à do Cinturão de Cisalhamento Guiana Central e a mostrada pelo histograma 2, através das estruturas profundas do dado magnetométrico, pode corresponder à um evento mais antigo que afetou as rochas da região.



Figura 3.23 – Histograma 1 dos lineamentos magnéticos



Figura 3.24 - Histograma 2 dos lineamentos magnéticos

Os histogramas 1 e 2 dos lineamentos do JERS (Figuras 3.25 e 3.26) mostram um aspecto bimodal, e em ambos, as classes principais encontramse nos intervalos de 50º a 55º e 130º a 135º.



Figura 3.25 – Histograma 1 dos lineamentos do JERS 1 – SAR



Figura 3.26 - Histograma 2 dos lineamentos do JERS 1 - SAR.

Os histogramas 1 e 2 dos lineamentos do RADAMBRASIL (Figuras 3.27 e 3.28) também mostram um comportamento bimodal e em ambos, as classes principais estão nos intervalos de 40º a 45º e 135º a 140º.



Figura 3.27 - Histograma 1 dos lineamentos do RADAMBRASIL.



Figura 3.28 - Histograma 2 dos lineamentos do RADAMBRASIL.

.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES

A geologia da área de estudo baseia-se em alguns poucos pontos descritos ao longo dos principais rios, obtidos a partir de trabalhos de reconhecimento executados na região. Esta baixa densidade de pontos descritos deve-se as dificuldades de acesso a região. De acordo com as informações, a área é caracterizada por uma complexa associação de rochas graníticas e gnáissicas do Proterozóico Médio e de sedimentos aluvionares de Idade Quaternária.

A utilização de técnicas de processamento digital de imagens em dados aerogeofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos) mostrou-se bastante eficaz em relação a caracterização dos principais domínios geofísicos e na determinação do padrão tectono-estrutural da área.

A partir das imagens gamaespectrométricas de contagem total, tório, urânio e potássio, foi possível separar na área 3 unidades radiométricas: I, II e III. Estas foram tentativamente correlacionadas com a geologia existente.

Os níveis radiométricos mais elevados da região, relacionados aos granitóides e denominado de Domínio I, podem ocorrer em função do grau de exposição das rochas, de uma variação faciológica entre os diferentes litotipos pertencentes as Suítes Intrusivas Xié e Uaupés, da presença de solo pouco espesso ou de áreas com recobrimento vegetal menos denso.

Localmente observam-se algumas destas anomalias enriquecidas em Th, U e K, distribuídas ao longo do Domínio II.

O Domínio II apresentou valores intermediários de Th, baixos de K e altos valores de U, compreendendo os diversos litotipos pertencentes a Suíte Intrusiva Uaupés e ao Complexo Cauaburi.

No Domínio III observam-se valores radiométricos baixos representados em parte por litotipos pertencentes ao embasamento da região, pela área de planície de inundação dos rios Piraiauara e Cubaté ou por uma cobertura sedimentar de idade cenozóica.

A partir da imagem gamaespectrométrica propõe-se uma alteração nos limites da área, estabelecidos por Melo & Villas Boas (1993). Observou-se que o limite entre as Suítes Intrusivas Xié e Uaupés e a Suíte Intrusiva Uaupés e o Complexo Cauaburi, que anteriormente atingia a porção SW da região de estudo, foi modificado.

Algumas das principais feições estruturais, que compreendem lineamentos de direção NE-SW e NW-SE, puderam ser identificadas a partir das imagens gamaespectrométricas.

Em relação as imagens magnetométricas, as mesmas mostraram-se bastante eficientes em relação a definição da estruturação geral da área. Assim sendo, foram reconhecidas 2 direções principais: a primeira, representada pelos lineamentos de direção E-W, que correspondem a uma estruturação mais antiga e profunda que afetou as rochas da região e a outra, representada pelos lineamentos de direção NE-SVV, que estão relacionados ao Cinturão de Cisalhamento guiana Central. Uma terceira direção, NW-SE, menos proeminente, foi identificada e parece estar relacionada a Faixa Móvel Rio Negro-Juruena.

Ainda, a partir das imagens magnetométricas, foi possível individualizar 3 domínios magnéticos distintos: I, II e III. No entanto, os mesmos não apresentaram uma correlação direta com a geologia da área encontrada na literatura.

As imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL e do JERS 1 – SAR não apresentaram bons resultados, em função das características da área de estudo, como intensa cobertura vegetal, relevo pouco acentuado, desenvolvimento de um espesso manto de alteração em função do intemperismo atuante e uma geologia bastante monótona e devido às próprias características da imagem, como alto ruído presente. Apenas as feições de caráter estrutural puderam ser reconhecidas, identificando-se 2 direções principais: NE-SW e NW-SE, com uma pequena variação nestes dois sentidos. Os lineamentos de direção E-W não foram observados, confirmando mais uma vez tratar-se de uma estruturação mais antiga e profunda, só observada a partir do dado magnético.

A sobreposição da informação contida na imagem de radar do JERS 1 – SAR com a imagem gamaespectrométrica de contagem total mostra algumas informações importantes: os baixos radiométricos observados na imagem de contagem total relacionados ao Domínio III podem corresponder as áreas de cobertura cenozóica, áreas de planície de inundação dos rios Piraiauara e Cubaté

65

ou a litotipos pertencentes ao embasamento da região. Os relevos residuais distribuídos localmente pela área e que podem ser observados na imagem de radar correspondem a altos valores de anomalia na imagem radiométrica. As altas anomalias radiométricas que acompanham o curso do Rio Negro, na porção SE da área, parecem estar relacionadas ao material originário do Domínio I, trazido pelo Rio Xié e depositado no Rio Negro.

A falta de acesso à área dificulta muito o trabalho de interpretação. Recomenda-se um número muito maior de pontos descritos, que auxiliariam no mapeamento geológico-geofísico da região.

A falta de calibração de equipamentos geofísicos e o desconhecimento sobre a etapa de pré-processamento também dificultaram a interpretação dos dados geofísicos.

Apesar desses problemas, um estudo utilizando a interpretação de imagens aerogeofísicas e de sensoriamento remoto auxilia bastante os trabalhos de mapeamento geológico de uma região.

- AMARAL, G. 1974. Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 212p.
- AMARAL, G. 1992. Introdução ao sensoriamento remoto e suas aplicações parte1. 344p. Apostila.
- AMARAL, G. 1994. O arco do Rio Branco, uma importante feição tectônica do Escudo das Guianas. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos, 368–369.
- CRÓSTA, A. P. 1992. Processamento digital de imagens de sensores remotos. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 170p.
- CEDI/CONAGE. 1988. Empresas de mineração e terras indígenas na Amazônia. Goiânia: CEDI/CONAGE, 82p.
- DALL'AGNOL, R.; ABREU, A.S. 1976. Características petrográficas e petrológicas do Complexo Guianense na Folha NA.19 Pico da Neblina. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 29, Ouro Preto, *Anais*, 321-350.
- DOBRIN, M.B.; SAVIT, C.H. 1988. Introduction to geophysical prospecting. 2ed., Singapore: McGraw Hill, 867p.
- DRURY, S.A. 1990. A guide to remote sensing: interpreting images of the Earth. New York, Oxford University Press, 199p.
- DRURY, S.A. 1993. Image interpretation in geology. 2ed. London, Chapman & Hall, 283p.
- DRURY, S.A.; WALKER, A.S.D. 1987. Display and enhancement of gridded aeromagnetic data of the Solway Basin. *Int. J. Remote Sensing*, **8** (10): 1433-1444.
- DUVAL, J.S. 1983. Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data. *Geophysics*, **48** (6): 722-735.
- GNOJEK, I.; PRICHYSTAL, A. 1985. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in Northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration*, 23: 491-502.
- HARRIS, J.R.; MURRAY, R. 1989. IHS transform for the integration of radar imagery with geophysical data. In: Twelfth Canadian Symposium on Remote Sensing, Vancouver, *Anais*, 923–926.

- HARRIS, J.R.; MURRAY, R.; HIROSE, T. 1990. IHS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **56** (12): 1631-1641.
- HILDENBRAND, J.D.; PIEREN, R.W.; LOURENÇO, J. 1987. Projeto Extremo Noroeste do Brasil - Levantamento aeromagnético e aerogamaespectrométrico -Relatório final de aquisição e processamento de dados. Rio de Janeiro, DNPM/CPRM, 52p.
- KOWALIK, W.S.; GLENN, W.E. 1987. Image processing of aeromagnetic data and integration with Landsat images for improved structural interpretation. *Geophysics*, **52** (7): 875-884.
- LILLESAND, M.T.; KIEFER, R.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. 3ed. John Wiley & Sons, Inc, 750 p.
- LIMA, M.I.C.; PIRES, J.L. 1985. Geologia da Região do Alto Rio Negro A.M. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 2, Belém, *Anais*, 140-150.
- LIU, G.J. 1991. Balance contrast enhancement technique and its application in image colour composition. *Int. J. Remote Sensing*, **12** (10): 2133-2151.
- LUIZ, J.G.; SILVA, L.M.C. 1995. *Geofísica de prospecção*. Belém: Universidade Federal do Pará, CESUP, 311p.
- MAREK, F. 1984. Magnetometric methods. In: S.MARES. *Introduction to applied geophysics*, Dordrecht, Reidel, 71-153.
- MASUOKA, P.M.; HARRIS, J.; LOWMAN, P.D.; BLODGET, H.W. 1988. Digital processing of orbital radar data to enhance geologic structure: examples from the Canadian Shield. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54** (5): 621-632.
- MELO, A.F.F.; VILLAS BOAS, P.F. 1993. *Projeto Alto Rio Negro*. Manaus: CPRM, relatório preliminar (inédito), 3v.
- MELO, A.F.F.; VILLAS BOAS, P.F. 1994. Síntese geológica da Região do Alto Rio
 Negro Porção Noroeste do Estado do Amazonas. In: SBG, Congr. Bras. Geol.,
 38, Camboriú, *Boletim de Resumos Expandidos*, 2:119-120.
- MIRANDA, F. P. 1990. Reconnaissance geologic mapping of a heavily-forested shield area (Guiana Shield, Northwestern Brazil). University of Nevada, Reno, Tese de Doutorado, 174p.

- MIRANDA, F.P.; CARR, J.R. 1994. Application of the semivariogram textural classifier (STC) for vegetation discrimination using SIR-B data of the Guiana Shield, Northwetern Brazil. *Remote Sensing Reviews*, **10**: 155-168.
- MIRANDA, F.P.; FONSECA, L.E.N.; TARANIK, J.V. 1994. Application of the semivariogram textural Classifier (STC) for vegetation discrimination using JERS-1 SAR Data of Northwestern Brazil. s.d.
- MIRANDA, R.M.de. 1997. Avaliação da atenuação de vegetação da Mata Atlântica à radiação gama natural emitida pela superfície. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 62 p.
- NASCIMENTO, D. A; PRATES, M. 1976. Geomorfologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, Folha NA.19 - Pico da Neblina, Rio de Janeiro, MME/Projeto RADAMBRASIL, v. 11, p.141-189.
- NEVITT, C.; BARR, M. 1985. Composite colour images of airborne spectrometric data. *Mining Magazine*, 217-219.
- PAIVA, G. 1929. Valle do Rio Negro. (Physiographia e geologia). Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. 63p. (Boletim N.40).
- PARADELLA, W.R. 1996. Imagens de radar Fundamentação e experiências com o SAR na Amazônia. *Fator GIS*, **14**: 40-43.
- PASCHOLATI, E.M.; AMARAL, G. 1998. Conversão de dados gamaespectrométricos para teor na superfície. *Em elaboração*.
- PINHEIRO, S.S.; FERNANDES, P.E.C.A.; PEREIRA, E.R.; VASCONCELOS, E.G.; PINTO, A.C.; MONTALVÃO, R.M.G.; ISSLER, R.S.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, W.; FERNANDES, C.A.C. 1976. Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, Folha NA.19 - Pico da Neblina, Rio de Janeiro, MME/Projeto RADAMBRASIL, v. 11, p.19-137.
- ROESSING, H.M.; NEVES FILHO, J.P.; PERES, R.N.; COSTA, A.M.R. 1976. Pedologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, Folha NA.19 – Pico da Neblina, Rio de Janeiro, MME/Projeto RADAMBRASIL, v.11, p.193-270.
- SABINS, F.F. 1986. Remote Sensing Principles and Interpretation. 2ed.
- SANTOS, J.O.S.; ARAÚJO, O.J.B.; DELGADO, I.M. 1995. Região Amazônica. In: DNPM. *Economia Mineral do Brasil.* Brasília, 75-78.

- SILVA, D.C. 1994. Espectrometria de raios gama aplicada na classificação de granitóides. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado,83p.
- SILVA, F.C.F.; RIBEIRO, A.G.; SANTOS, R.R. 1976. Vegetação. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, Folha NA.19 – Pico da Neblina, Rio de Janeiro, MME/Projeto RADAMBRASIL, v.11, p.273-344.
- SILVA, L.C.; SANTOS, J.O.S. 1994. Distribuição de ETR e granitogênese na região do Alto Rio Negro (AM). In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 4, Belém, Anais, p.235-237.
- SILVA, L.C.; SANTOS, J.O.S.; GAUDETTE, H. 1996. Granitogênese na região do Alto Rio Negro – AM. A Terra em revista, 2:24-31.
- SOUZA FILHO, C.R., DENNIS, A.M.; CASTRO, N.A. 1997. Practical methods for periodic noise suppression of remote sensing digital imagery. In: Twelfth International Conference and Workshops on applied geologic remote sensing, Denver, Colorado.
- STEVANATO, R.; FERREIRA, F.J.F.; SOARES, P.C.; SILVA, F.V. 1997. Desempenho de métodos de interpolação espacial na composição de mapas aerogeofísicos. s.d.
- TASSINARI, C.C.G. 1981. Evolução geotectônica da Província do Rio Negro -Juruena na Região Amazônica. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 99p.
- TASSINARI, C.C.G. 1996. O mapa geocronológico do Craton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 139p.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton : tectonic implications. *Precambrian Research*, **42**: 213-227.

VASCONCELLOS, R.M.; METELO, M.J.; MOTTA, A.C.; GOMES, R.D. 1994. Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil, Rio de Janeiro, CPRM, 165p.

VILLAS BOAS, P.F.; MELO, A.F.F.; GOMES, H.A.; LINS, C.A.C. 1994. Geologia e mineralizações da Porção Noroeste do Estado do Amazonas. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, Anais, 2, 298-300.



Mapa de localização dos pontos da area de estudo.

Anexo I - Mapa de localização de pontos da área de estudo, com suas respectivas descrições.

Ponto 1: Migmatito de composição granítica de direção N30-40E, com porfiroblastos de quartzo e feldspato. Esta rocha é cortada por veios micrograníticos e quartzo-feldspáticos de direções diversas.

Ponto 2: Migmatito semelhante ao descrito no ponto anterior. A amostra PI/EV/01 foi coletada neste ponto e está incluída na isócrona Rb-Sr de 1.640 m.a obtida por Dall'Agnol & Abreu (1976) para o titanita-anfibólio-biotita granitóide.

Ponto 3: Anfibólio-biotita gnaisse, de composição granodiorítica, com porfiroblastos de quartzo e álcali-feldspato e um aumento no conteúdo de biotita e anfibólio em relação aos pontos anteriores. Epidoto ocorre como produto de alteração; é cortada por veios pegmatíticos e quartzo-feldspáticos de direção N60W. A amostra PI/EV/04 foi coletada neste ponto e está incluída na isócrona Rb-Sr de 1.640 m.a obtida por Dall'Agnol & Abreu (1976) para o titanita-anfibólio-biotita granitóide.

Ponto 4: Biotita granito protomilonítico

Ponto 5: Biotita granito com textura augen, de direção E-W e N80E. Esta rocha é cortada por veios quartozosos de direção N60E e N10W, com espessura variando de 5 a 20 cm. As fraturas estão orientadas para N55E e N25W.

Ponto 6: Biotita granito com megacristais de feldspato. As fraturas estão orientadas para N65W, N40E e E-W.

Ponto 7: Quartzo monzonito com fraturas orientadas para N50E e N70E.

Ponto 8: Biotita granodiorito porfirítico com fraturas orientadas para N70E.

Ponto 9: Muscovita biotita granito

Ponto 10: Biotita granito porfirítico com muscovita. As fraturas estão orientadas para N80W e N40E. A amostra IÇ/EA/12 foi coletada neste ponto e está incluída na isócrona Rb-Sr de 1.225 m.a obtida por Dall'Agnol & Abreu (1976) para o granitóide a duas micas.

Ponto 11: Biotita granito protomilonítico

Ponto 12: Muscovita biotita granito, cortado por veios de quartzo de direção N70E, com espessura média de 5 cm. As fraturas apresentam direção N60W e N70E.

Ponto 13: Muscovita biotita granito, cortado por veios pegmatíticos de direção N05E a N35E.

Ponto 14: Biotita granito protomilonítico

Ponto 15: Muscovita biotita granito

Ponto 16: Biotita muscovita gnaisse com sillimanita. As fraturas estão orientadas para N60E e N40W. A amostra IÇ/EA/ 15 foi coletada neste ponto e esta incluida na isócrona Rb-Sr de 1225 m.a obtida por Dall'Agnol & Abreu (1976) para os granitóides a duas micas.

Ponto 17: Afloramento de granito milonítico relacionado ao Complexo Cauaburi.

Ponto 18: Afloramento de monzogranito milonítico relacionado ao Complexo Cauaburi.

Ponto 19: Afloramento de granodiorito milonítico relacionado ao Complexo Cauaburi.

Ponto 20: Afloramento de monzogranito milonítico relacionado ao Complexo Cauaburi.

Ponto 21: Afloramento de monzogranito milonítico relacionado ao Complexo Cauaburi.

Os migmatitos e gnaisses que ocorrem nas porções sudeste e central da região (pontos 1,2,3 e 5) são considerados como representantes dos titanita-anfibólio biotita granitóides (Dall'Agnol & Abreu 1976).

O biotita granito protomilonítico do ponto 4 se originou a partir da intensa deformação das rochas metamórficas descritas anteriormente.

Na porção central da área também ocorrem granitos e quartzomonzonitos (pontos 6 e 7).

Na porção NW da área de estudo foram descritas rochas graniticas com muscovita ao longo do rio Içana (pontos 9, 10, 12, 13, 15 e 16) que foram classificadas como granitóides a duas micas por Dall'Agnol & Abreu (1976).

Na porção SE da área (pontos 17, 18, 19, 20 e 21) ocorrem litotipos descritos como pertencentes ao Complexo Cauaburi.

Um importante falhamento de direção NW-SE controla o curso do rio Içana, onde os granitóides a duas micas foram descritos.