

Geologia e geofísica do *greenstone belt* Vila Nova, porção NE do Cráton Amazônico, Amapá, Brasil

Geology and geophysics of the Vila Nova Greenstone Belt, northeastern portion of the Amazonian Craton, Amapá, Brazil

Cristiano Borghetti¹ e Ruy Paulo Philipp²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências – PPGGEO, Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil (cborghetti@terra.com.br)

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Instituto de Geociências, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica – CPGq, Porto Alegre, RS, Brasil (ruy.philipp@ufrgs.br)

Recebido em 22 de janeiro de 2016; aceito em 10 de outubro de 2016

Resumo

Poucos afloramentos e um acentuado intemperismo caracterizam a região do *greenstone belt* Vila Nova, no sudeste do Amapá. Este artigo vale-se de dados aerogeofísicos na interpretação geológica e estrutural durante o mapeamento geológico, objetivando aumentar o entendimento geológico e tectônico dessa porção do Cráton Amazônico. A interpretação qualitativa das imagens magnetométricas e gama-espectrométricas geradas para o projeto foi efetuada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O reconhecimento de unidades magnetométricas e gamaespectrométricas presentes na área de estudo teve como base a classificação hierárquica dos polígonos delineados pela interpretação visual. A partir dessa análise foram delimitados os principais domínios geológicos e definidos os traçados geológico-estruturais, em conjunto com dados geológicos de campo, dados geofísicos e da análise petrográfica. Essa integração permitiu delimitar as rochas das áreas do embasamento arqueano composto por ortognaisses e granitóides do Complexo Tumucumaque, as rochas metavolcano-sedimentares do Complexo Vila Nova e os maciços graníticos intrusivos de idade paleoproterozoica. A integração entre os dados geofísicos e de campo resultou no aumento da definição da cartografia geológica, ressaltando-se a importância dessa metodologia para o reconhecimento de tramas estruturais e litológicas complexas em áreas de pouca exposição e dificuldade de acesso.

Palavras-chave: Cráton Amazônico; *Greenstone belt* Vila Nova; Aerogeofísica; Geologia estrutural; Mapeamento geológico.

Abstract

A few outcrops and strong weathering conditions prevail in the region of the Vila Nova Greenstone Belt in the southeastern Amapá (Brazil). This paper describes the use of airborne geophysical data for geological and structural analysis during geological mapping. This integration aims to improve the geological and tectonic understanding of this portion of the Amazonian Craton. The magnetometric and gamma-spectrometric qualitative interpretation of the images took place in a Geographic Information System (GIS) environment. Recognition of magnetometric and gamma-ray spectrometric units present in the study area was based on the hierarchical classification of polygons outlined by visual interpretation. The major geological domains and the structural patterns were defined by integration of geophysical data, geological mapping and petrographic analysis. The results allowed the recognition of Archean basement rocks composed of orthogneisses and granitoids of the Tumucumaque Complex, the metavolcano-sedimentary rocks of the Vila Nova Complex and Paleoproterozoic granite massifs. The integration of geophysical and field data resulted in the increase of the geological mapping definition, highlighting the importance of this methodology for recognition of complex structural and lithological fabrics in areas of difficult access and scarce fresh rock outcrops.

Keywords: Amazonian Craton; Vila Nova Greenstone belt; Aerogeophysics; Structural geology; Geological mapping.

INTRODUÇÃO

O uso de métodos indiretos para auxiliar na interpretação geológica e estrutural durante o mapeamento geológico é uma ferramenta importante para avaliar a continuidade e a extensão de registros litológicos e estruturais obtidos em campo. Esse recurso é fundamental em áreas de difícil acesso, de vegetação densa, de espessas camadas de solo e com exposições limitadas.

A utilização de métodos geofísicos, como gama-espectrometria e magnetometria, na caracterização de terrenos com ocorrência de *greenstone belts* tem assumido grande destaque no cenário nacional e internacional. Os *greenstone belts* são sequências vulcano-sedimentares que ocorrem associadas a terrenos granito-gnáissicos, compondo grande parte dos terrenos arqueanos e paleoproterozoicos, como aqueles dos crátons Slave (Canadá), Pilbara (Austrália), Kapvaal (Barberton, África do Sul), Madagascar, Groenlândia (Isua) (Vearncombe et al., 1986; McCarthy e Rubidge, 2005; Press et al., 2006; Kearey et al., 2009). Os *greenstone belts* são constituídos por uma sucessão de rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, com ocorrência subordinada de rochas ácidas, intercaladas com rochas sedimentares clásticas e químicas. Essas sequências são formadas numa diversidade de ambientes, como riftes continentais evoluídos, bacias marginais, arcos de ilha, bacias de retroarco e ambientes oceânicos gerados por influência de *hot spots*. Sempre relacionados ao vulcanismo submarino, são muito comuns no Arqueano e no Paleoproterozoico e responsáveis por grande número de metais preciosos, principalmente ouro, prata, chumbo, níquel, cromo, zinco e associação de Pb-W-Zn-Ag (Cu) (Grant, 1984).

No Brasil, encontram-se sequências do tipo *greenstone belts* nas áreas dos crátons Amazônico e do São Francisco, com destaque para as importantes mineralizações dos *greenstone belts* do Rio das Velhas, em Minas Gerais, Rio Itapicuru, na Bahia, e associados à província de Carajás, no Pará (Lobato et al., 2001; Noce et al., 2007).

A região sudeste do Amapá, área objeto deste estudo, possui acesso rodoviário restrito, densa cobertura de floresta tropical, solo e regolito muito espesso (entre 10 e 50 metros) e poucas exposições rochosas. Os principais afloramentos são blocos e lajeados encontrados ao longo dos rios Vila Nova, Cupixi, Santa Maria e Piaçacá, raros cortes de estrada muito alterados e exposições de rocha alterada nas áreas do garimpo de ouro da Vila Nova.

O Complexo Vila Nova é uma unidade metavulcano-sedimentar do tipo *greenstone belt* que repousa sobre um embasamento composto por ortognaisses e granitóides do Complexo Tumucumaque, do Complexo Guianense e dos granitos Anauerapucu e Mungubas, estando localizado no sudeste do Escudo das Guianas, nordeste do Cráton Amazônico (Figura 1). A base do Complexo Vila Nova é composta por metabasaltos, metandesitos e raros metadacitos e sua unidade

superior é constituída predominantemente por metassedimentos clásticos, intercalados com rochas metavulcânicas máficas e químico-exalativas subordinadas. As rochas metassedimentares caracterizam-se por espesso pacote de quartzitos, quartzitos hematíticos e xistos pelíticos, com níveis subordinados de metaconglomerados e de hematita filitos.

As relações estratigráficas e estruturais e os tipos de contatos entre essas unidades ainda são pouco conhecidos. A região da Vila Nova está localizada na porção centro-sul do Estado do Amapá, nos municípios de Mazagão e Porto Grande, cortada pelo Rio Vila Nova, em seu médio-alto curso, e pelo Rio Piaçacá (Figura 2).

Este trabalho objetiva definir as relações estratigráficas e o arcabouço estrutural do Complexo Vila Nova e suas relações com o terreno granito-gnáissico representado pelas unidades do Complexo Tumucumaque. Essas relações estão apresentadas no mapa geológico da região da Vila Nova em escala 1:50.000, gerado a partir da integração de dados aeromagnetométricos e gama-espectrométricos com os dados obtidos no mapeamento geológico e estrutural. Posteriormente, esse mapa foi expandido (1:100.000) até a região da Serra do Navio, com base nos dados aerogeofísicos disponíveis. Essa integração permitiu o mapeamento de estruturas regionais, a caracterização dos principais lineamentos, definição dos contatos geológicos e avaliação das estruturas do embasamento do Complexo Vila Nova em uma área de domínio de floresta equatorial densa.

CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área de estudo está localizada na extremidade sudeste do Escudo das Guianas, porção nordeste do Cráton Amazônico, na Província Maroni-Itacaiúnas (Figura 1A). O Cráton Amazônico é constituído por uma extensa faixa central composta por um núcleo arqueano, envolto por faixas móveis alongadas segundo a direção NW-SE de idades paleo e mesoproterozoicas (Cordani et al., 1979, 2009; Cordani e Brito Neves, 1982; Teixeira et al., 1989; Santos et al., 2000; Tassinari et al., 2000; Avelar et al., 2003; Tassinari e Macambira, 2004) (Figura 1B). As faixas móveis paleoproterozoicas são constituídas por extensas bacias associadas a arcos magmáticos, compondo trilhas descontínuas de *greenstone belts*, e por associações graníticas do tipo TTG (Avelar et al., 2003; McReath e Faraco, 2006; Rosa-Costa et al., 2006).

A região da Vila Nova, situada na porção sudeste do Escudo das Guianas, está inserida dentro da Província Maroni-Itacaiúnas, uma faixa móvel paleoproterozoica com evolução relacionada à Orogênese Transamazônica, entre 2,25 Ga e 2,05 Ga (Tassinari et al., 2000; Delor et al., 2003a, 2003b; Cordani et al., 2009). Nessa região, o embasamento é composto por ortognaisses e granitóides que correspondem a rochas metamorfizadas e parcialmente retrabalhadas

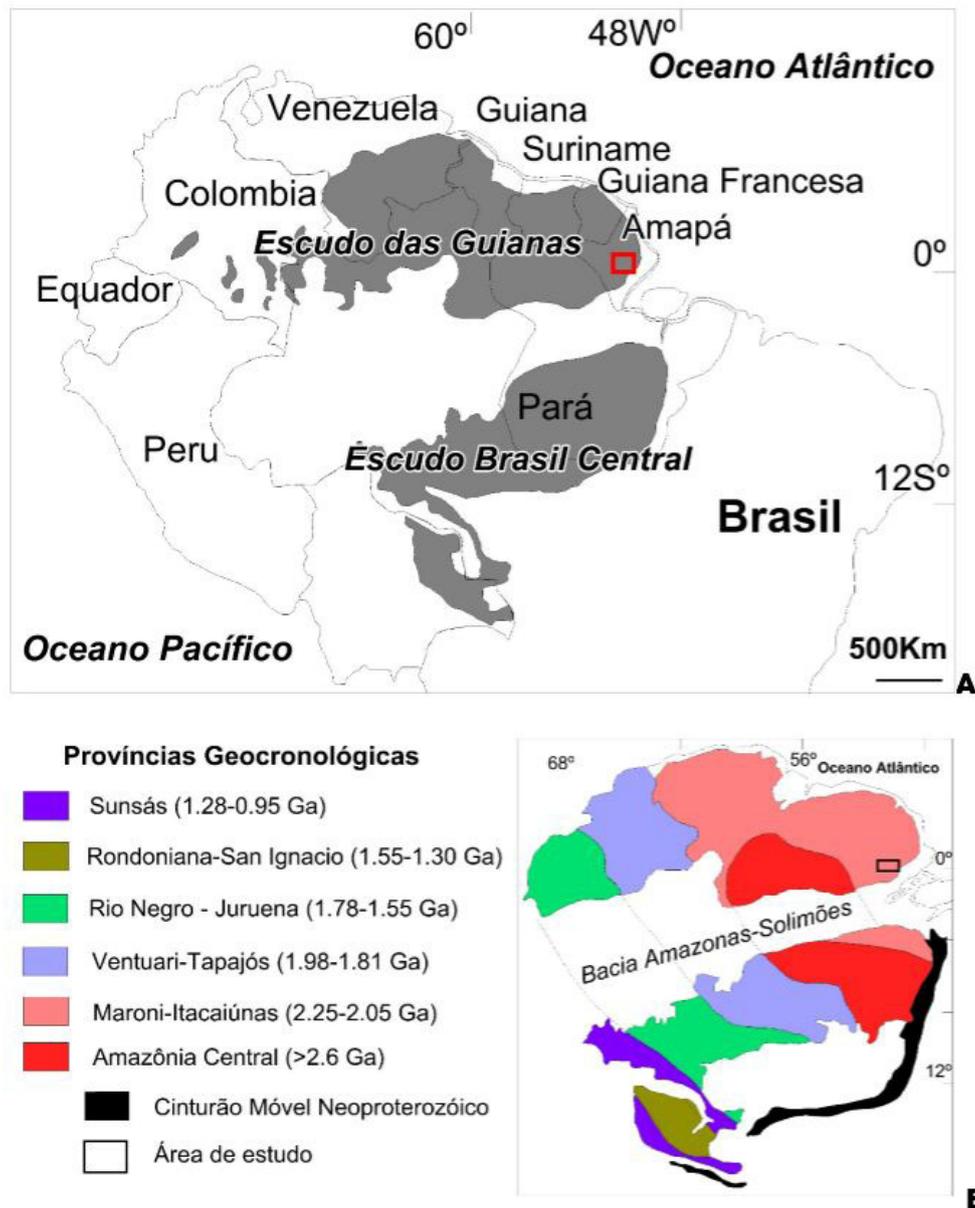


Figura 1. A) Localização dos escudos das Guianas e do Brasil Central no Cráton Amazônico, destacando-se no retângulo vermelho a localização da área estudada; B) Distribuição das Provincias Geocronológicas do Cráton Amazônico de acordo com Tassinari e Macambira, (2004). Os intervalos de idades das provincias estão de acordo com Cordani et al. (2009).

durante a Orogênese Transamazônica constituindo um núcleo arqueano disposto como uma faixa alongada segundo a direção NW-SE, envolta por rochas paleoproterozoicas (Rosa-Costa et al., 2006; Rosa-Costa, 2006). O termo Complexo Vila Nova foi usado para designar as unidades metavulcano-sedimentares que ocorrem como *greenstone belts*, denominados regionalmente como Ipitanga, Tumucumaque, Serra do Navio, Tartarugalzinho, Lombarda e Oiapoque (McReath e Faraco, 2006).

Na região da Vila Nova, as unidades mais antigas são representadas pelo Complexo Tumucumaque, pelos granitos

Anauerapucu, Mungubas e pelas rochas intrusivas do Complexo Bacuri (Spier, 1999; Spier e Ferreira Filho, 1999; Pimentel et al., 2002; Barbosa et al., 2013). O Complexo Tumucumaque é a unidade mais antiga e está representado por gnaisses tonalíticos a granodioríticos, metagranodioritos e metadioritos/anfibolitos, com ocorrência subordinada de metagabros intrusivos pouco ou indeformados e concordantes ao bandamento gnáissico regional (Rosa-Costa et al., 2006; Borghetti et al., 2014). Esses gnaisses estão metamorfozados em condições da fácies anfibolito médio a superior. As relações estratigráficas indicam que o Complexo Bacuri é intrusivo

no Complexo Tumucumaque, embora o contato esteja encoberto por espessa cobertura de solos (Spier e Ferreira Filho, 1999). Sobre essas unidades repousam as rochas do Complexo Vila Nova, afetadas por baixo a médio grau de metamorfismo orogênico (Figura 2).

O Complexo Máfico-Ultramáfico Bacuri (CMUB) é formado pela intercalação de corpos de anfibolitos com serpentinitos, associados com tremolititos e cromititos. Essas unidades apresentam registro de intensa deformação dúctil sob condições metamórficas de fácies anfibolito. O CMUB constitui um corpo alongado segundo a direção E-W, com estrutura interna estratiforme, que apresenta relações

intrusivas com os ortognaisses do Complexo Tumucumaque e contato tectônico com os metassedimentos do Complexo Vila Nova (Spier, 1999). A natureza estratiforme do CMUB é definida por um acamadamento magmático e por texturas cumuláticas, bem como pelas características químicas e texturais dos cromititos e das rochas máfico-ultramáficas hospedeiras (Spier e Ferreira Filho, 1999).

O Complexo Vila Nova é uma unidade metavulcano-sedimentar constituída por rochas metavulcânicas básicas a intermediárias, rochas químico-exalativas e rochas metassedimentares clásticas (Barbosa et al., 2013). Segundo esses mesmos autores, esse complexo é composto pelas seguintes formações, da base

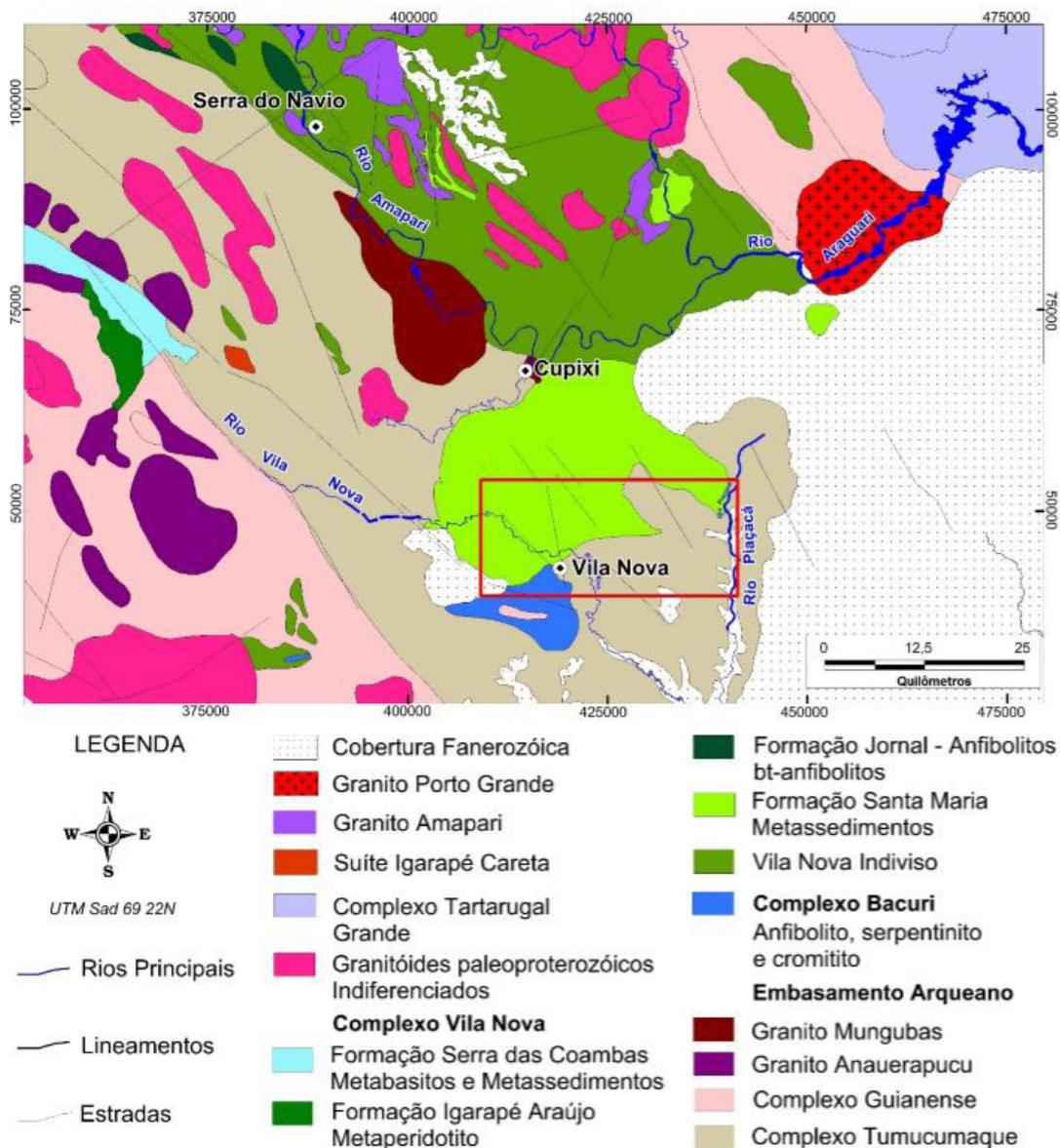


Figura 2. Mapa geológico da região da Vila Nova e da Serra do Navio, destacando-se no retângulo a localização da área estudada. Escala 1:100.000. Fonte: extraído de Faraco et al. (2004) e Barbosa et al. (2013).

para o topo: Vila Nova Indiviso, Formação Santa Maria, Formação Jornal, Formação Igarapé Araujo e Formação Serra das Coambas.

A Formação Vila Nova Indiviso compõe-se de um conjunto de anfíbolitos, actinolita xistos e xistos paraderivados com metamorfismo em fácies anfíbolito, atingindo localmente granulito (Barbosa et al., 2013). A Formação Santa Maria compreende xistos paraderivados com biotita, granada e cordierita, por vezes com muscovita ou sillimanita, além de quartzitos. Inclui faixas isoladas de rochas paraderivadas químicas e clásticas, com BIFs, quartzitos a magnetita e magnetititos contendo depósitos de ferro. A Formação Jornal é composta por actinolita xistos, anfíbolitos e clorita-cumingtonita-antofilita xistos. A Formação Igarapé Araujo é composta por metamafitos e metaultramafitos, representados por xistos com plagioclásio e actinolita e anfíbolitos e por metadunitos, metaperidotitos e xistos magnesianos com olivina, tremolita, antofilita-talco e serpentina-clorita. A Formação Serra das Coambas é constituída por quartzitos puros e aluminosos, xistos pelíticos e BIFs (formação ferrífera bandada, fácies óxido e aluminoso), com ocorrência subordinada de anfíbolitos e metariolitos (Barbosa et al., 2013) (Figura 2). Na área de estudo afloram as rochas correspondentes a Formação Santa Maria, Complexo Bacuri e Complexo Tumucumaque.

Na região ocorrem, ainda, o Complexo Tartarugal Grande e granitoides indiferenciados, esses predominantemente biotita-granitos, ocasionalmente milonitizados. O Complexo Tartarugal Grande compreende uma associação de granulitos de composição enderbítica, charnockítica e charnoenderbítica, com lentes de granulitos máficos, com retrometamorfismo de fácies anfíbolito e também com registros de migmatização. A Suíte Igarapé Careta é representada por leucogranitos peraluminosos com biotita e muscovita, com ou sem granada, de composição sienogranítica a granodiorítica. Em geral estão deformados e apresentam estruturas foliadas e portadoras de recristalização dinâmica. O Granito Amapari está representado por álcali-feldspato granito e sienogranitos e monzogranitos com textura inequigranular alotriomórfica média a grossa. O Granito Porto Grande varia de sienogranito a monzogranito, apresenta textura equigranular a porfirítica grossa, textura rapakivi e feições de fluxo magmático (Barbosa et al., 2013).

A cobertura fanerozoica inclui pelitos, arenitos e arenitos conglomeráticos ferruginosos de ambiente fluvial e estuarino, sedimentos areno-argilosos a areno-conglomeráticos friáveis, associados a sistema fluvial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir da interpretação de dados aero-gama-espectrométricos e aero-magnetométricos integrados com dados litológicos e estruturais obtidos no

mapeamento geológico associada com análises petrográficas, geoquímicas e de testemunhos de sondagem.

O mapeamento geológico foi realizado com o apoio da Mineração Amapari SA e ocorreu em duas etapas, entre 2011 e 2013. Foram realizados trabalhos sistemáticos de campo com coleta de amostras para petrografia, geoquímica e geocronologia e correlação entre as estruturas interpretadas na geofísica e as feições geológicas observadas no campo (estruturas e litotipos). Os trabalhos de campo na região da Vila Nova objetivaram a caracterização dos principais conjuntos litoestratigráficos e suas relações de contato, sintetizadas através do mapeamento geológico em escala 1:50.000. Foram desenvolvidos perfis geológicos perpendiculares às principais estruturas, com coleta de dados estruturais e confecção de croquis esquemáticos (Figura 3). As atividades de campo foram complementadas pela descrição e interpretação de testemunhos de sondagem disponibilizados pela Mineração Amapari SA.

Os dados aerogeofísicos foram obtidos e processados (nivelamento e micronivelamento) pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) através dos projetos Rio Araguari (CPRM, 2004) e Amapá (CPRM, 2006), sendo posteriormente reprocessados para a obtenção dos produtos necessários à interpretação e avaliação regional. A obtenção dos dados pela CPRM foi estabelecida com base em voos paralelos com espaçamento entre linhas de 500 metros, com uma medida realizada a cada 70 metros e 7 metros, respectivamente. A direção das linhas de aquisição de dados geofísicos do projeto Rio Araguari foi de N45°W e a do projeto Amapá N-S. Os dados topográficos foram retirados do levantamento Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial aproximada de 90 metros na região do estudo.

Na execução deste trabalho foram utilizados os seguintes produtos geofísicos: (1) Campo Magnético Total (CMT); (2) Primeira Derivada Magnética do CMT (1DZ); (3) Amplitude do Sinal Analítico (ASA_hd) e (4) Amplitude do Sinal Analítico (ASA_nd); (5) Mapa da Distribuição Radiométrica Ternária (TER) dos rádio-elementos K, U e Th; (6) Mapa de distribuição do Tório (eTh); e do (7) Potássio Anômalo (Kd).

A partir dos dados do campo magnético total derivou-se o mapa de amplitude do sinal analítico (ASA), uma técnica eficiente para determinação do limite e profundidade dos corpos geológicos, como também para a delimitação de feições lineares (Blum, 1999; Thurston e Smith, 1997). As fontes magnéticas são representadas numa mesma superfície, permitindo, dessa forma, o traçado de estruturas lineares, que geralmente representam fraturas e falhas geológicas.

A primeira derivada vertical do campo magnético total (1DZ) foi utilizada na definição de contatos geológicos, descontinuidades e lineamentos, os quais não se destacam nos mapas de campo magnético total. Foram gerados mapas em falsa cor nos quais os baixos e altos magnéticos foram representados em azul e vermelho, respectivamente, realçando as estruturas e as unidades litológicas da área de estudo.

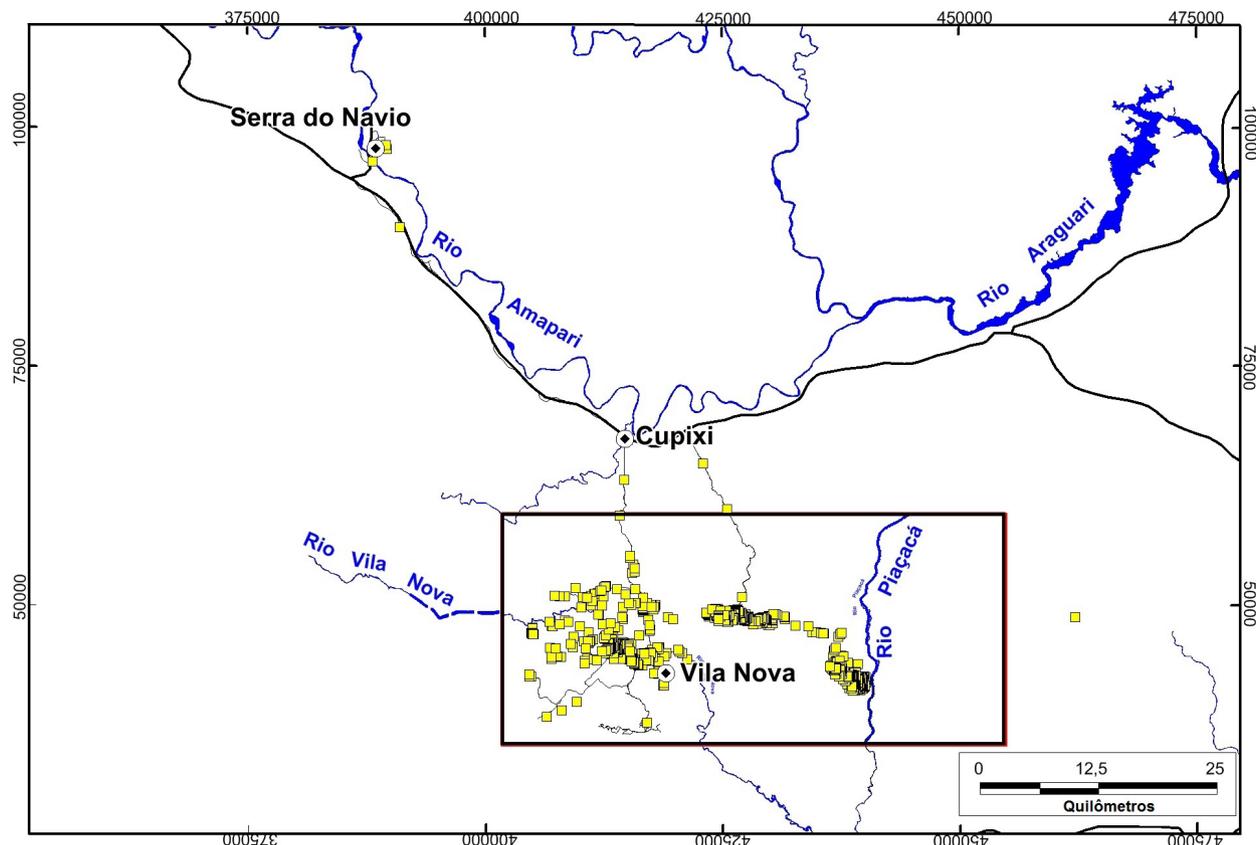


Figura 3. Localização da área de estudo (polígono preto) e dos pontos descritos (amarelo) de mapeamento.

Os produtos derivados da magnetometria foram utilizados para delimitar as áreas do embasamento ortognáissico das rochas metavulcano-sedimentares do *greenstone belt* Vila Nova, os granitos intrusivos, as zonas de cisalhamento dúcteis, as dobras regionais e as zonas fraturadas.

A análise individual e integrada das imagens dos canais de radioelementos foi efetuada objetivando a discriminação das principais unidades litoestruturais da região, além da identificação de possíveis áreas com registros de hidrotermalismo, como alterações potássicas. Foram interpretados os mapas de canais individuais do potássio, tório e urânio da composição ternária, além da imagem de contagem total. A interpretação qualitativa dos dados gama-espectrométricos foi efetuada através das composições ternárias RGB (*Red, Green e Blue*).

A interpretação qualitativa das imagens magnetométricas e gama-espectrométricas geradas para este trabalho foi efetuada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). As unidades magnetométricas e gama-espectrométricas presentes na área de estudo foram individualizadas através da classificação hierárquica dos polígonos delineados pela interpretação visual. A partir dessa análise visual e da delimitação dos domínios correspondentes em todas as anomalias dos canais magnéticos e gama-espectrométricos foi possível delinear os traçados geológico-estruturais

em conjunto com os demais dados obtidos em campo. A integração dos dados geofísicos e de campo teve como principal produto o mapa geológico (1:50.000) da região da Vila Nova, que posteriormente foi ampliado (1:100.000) com base nos dados aerogeofísicos, englobando a região da Serra do Navio.

RESULTADOS

Geologia da região da Vila Nova

O embasamento na região da Vila Nova é constituído pelos ortognáisses, metagranitos e gabros do Complexo Tumucumaque. Sobre o embasamento estão as rochas intrusivas metamáfico-ultramáficas do Complexo Bacuri, o Complexo Vila Nova (CVN) e os granitoides indiferenciados. O Complexo Tumucumaque é a unidade predominante e constitui estruturas dômicas alongadas segundo a direção NW-SE, envoltas por faixas estreitas e muito deformadas constituídas pelas rochas metavulcano-sedimentares do CVN, que apresentam foliação metamórfica com orientação principal E-W, com variações a NW-SE (Figura 4).

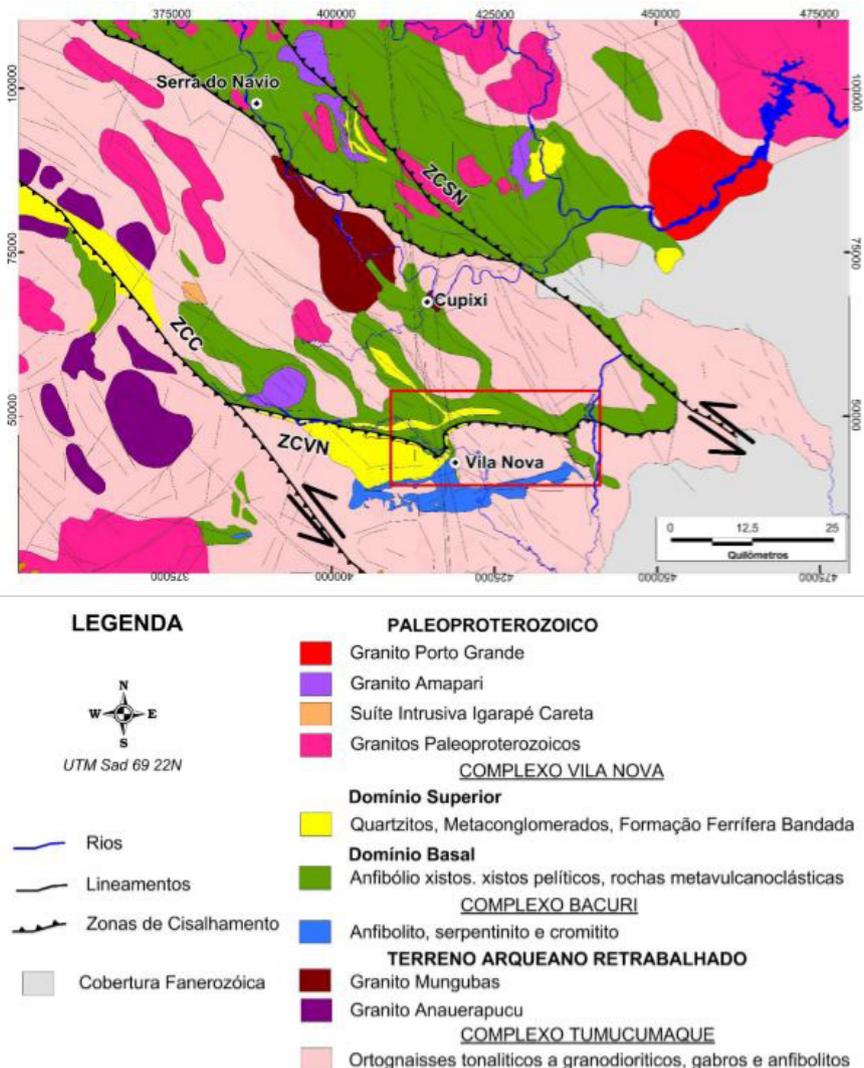


Figura 4. Mapa geológico da região da Vila Nova e da Serra do Navio com destaque para a área de estudo, no retângulo vermelho. Fonte: modificado de Faraco et al. (2004) e Barbosa et al. (2013). ZCC = Zonas de Cisalhamento Cupixi; ZCSN = Zonas de Cisalhamento Serra do Navio; CZVN = Zonas de Cisalhamento Vila Nova.

Complexo Tumucumaque

Essa unidade está representada por gnaisses granodioríticos, tonalíticos e dioríticos, com ocorrência subordinada de corpos anfibolíticos com formas alongadas e concordantes ao bandamento gnáissico. Os ortognaisses apresentam um bandamento irregular e descontínuo, definido pela alternância de níveis máficos à base de biotita e/ou hornblenda, de espessura milimétrica (2 mm e 10 mm), e por níveis félsicos de composição quartzo-feldspática (Figura 5A). Os gnaisses tonalíticos a granodioríticos têm cor cinza clara e textura blasto-equigranular média a grossa (2 mm a 8 mm), envolta por uma textura granoblástica inequigranular interlobada média (0,2 mm a 0,5 mm) nas áreas mais afetadas pela recristalização. Os anfibolitos têm cor preta e estrutura foliada,

definida por uma textura netamoblástica média a grossa caracterizada pela orientação de hornblenda. As transformações metamórficas estabelecidas pela recristalização do plagioclásio e da hornblenda indicam condições entre a fácies anfibolito médio e superior.

Os ortognaisses e anfibolitos estão cortados por corpos circunscritos (*stocks*) de gabros com dimensões variando de 100 m até 1.500 m. Os corpos de gabros apresentam formas alongadas segundo as direções E-W e NW-SE, concordantes com as estruturas regionais, principalmente ao longo da Zona de Cisalhamento Vila Nova. O gabro tem cor verde escura a preta, estrutura maciça e textura equigranular média a grossa (2 mm a 6 mm), caracterizada por cristais equidimensionais de plagioclásio e clinopiroxênio, com magnetita como mineral acessório (Figura 5B).

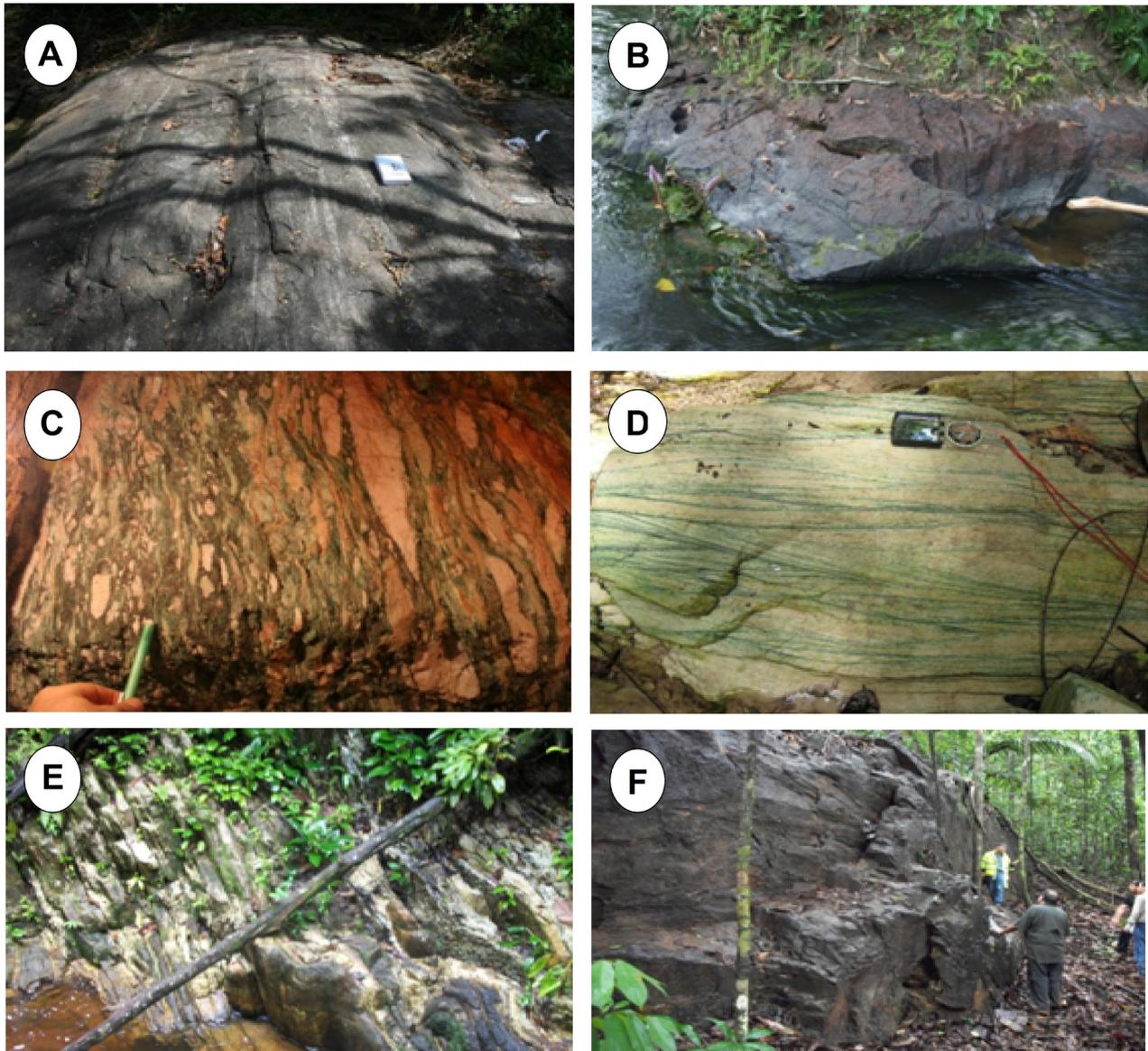


Figura 5. Aspectos macroscópicos e estruturais das rochas dos complexos Tumucumaque e Vila Nova. A) Ponto CB-28 – Gnaiss tonalítico com bandamento irregular e descontínuo definido por injeções félsicas de trondhjemitos; B) Ponto CB-12 – Aspecto do afloramento de anfibolito no leito do Rio Vila Nova; C) Ponto CB-03 – Metaconglomerado com seixos de quartzitos de cor branca e veios de quartzo estirados, envoltos por uma matriz de cor verde composta por fuchsite e turmalina do tipo Schorlita; D) Ponto CB-21 – Afloramento de fuchsite quartzito com estratificação cruzada acanalada marcada por níveis de cor verde ricos em fuchsite; E) Ponto CB-04 – Intercalação de quartzito e níveis de metaconglomerado ao longo do Igarapé Santa Maria; F) Ponto CB-30 – Aspecto da Formação Ferrífera Maciça.

Complexo Bacuri

O Complexo Máfico-Ultramáfico Bacuri (CMUB) está localizado na parte sul da área estudada e constitui um corpo alongado segundo a direção N80°E, intrusivo nos gnaisses do Complexo Tumucumaque e em contato tectônico com os metassedimentos do Complexo Vila Nova (Pimentel et al., 2002) (Figura 4). As rochas máfico-ultramáficas apresentam,

da base para o topo, uma zona máfica inferior composta por leucoanfíbrolitos e uma zona ultramáfica constituída por serpentinitos, tremolititos e cromititos, sendo esses litotipos geralmente foliados segundo a estruturação regional (Spier, 1999). O CMUB está metamorfozido e deformado, apresentando estruturas complexas devido a redobramentos e falhamentos, sendo comum o posicionamento subvertical das camadas. As assembleias minerais das rochas máficas

(Diop+Hbl+Pl±Bt±Qtz) indicam metamorfismo em condições da fácies anfibolito médio a superior, sob condições de baixa pressão (Spier, 1999).

Complexo Vila Nova

O Complexo Vila Nova (CVN) ocorre como uma faixa principal alongada segundo a direção E-W, com quatro faixas subordinadas de direção N40°-50°W, interligadas na sua porção sul pela Zona de Cisalhamento Vila Nova (ZCVN) (Figuras 4 e 6). O contato do CVN com as rochas do embasamento ao sul é definido por uma falha de empurrão, caracterizada como uma zona de cisalhamento dúctil (ZCVN), originalmente sub-horizontal e de direção E-W. Na porção oeste da área estudada, essa zona de cisalhamento também é responsável pelo contato entre os principais pacotes de rochas metamáficas e metassedimentares. Ao norte, o contato

não é observado e foi inferido pela interpretação dos dados aerogeofísicos.

O complexo metavulcano-sedimentar foi subdividido em duas associações petroectônicas ou domínios rochosos dominantes, um Domínio Basal e um Superior.

No Domínio Basal ocorrem metandesitos, metabasaltos e metadacitos, com predomínio das rochas metavulcânicas máficas, intercaladas com mica xistos, lentes de mármore, xistos cálcio-silicáticos e grafita xistos. Esse domínio se estende como uma faixa alongada segundo a direção E-W por cerca de 50 km, desde Vila Nova, passando pelas localidades de Nova Canaã e Pelado, entre os rios Vila Nova e Piaçacá. As rochas metamáficas estão representadas por bt-anfibólio xistos e anfibolitos, ocorrendo também metabasaltos, metandesitos e metadacitos. Os metaultramafitos são tremolita xistos e actinolita-tremolita xistos. Cornubianitos máficos também foram reconhecidos como produto de metamorfismo termal

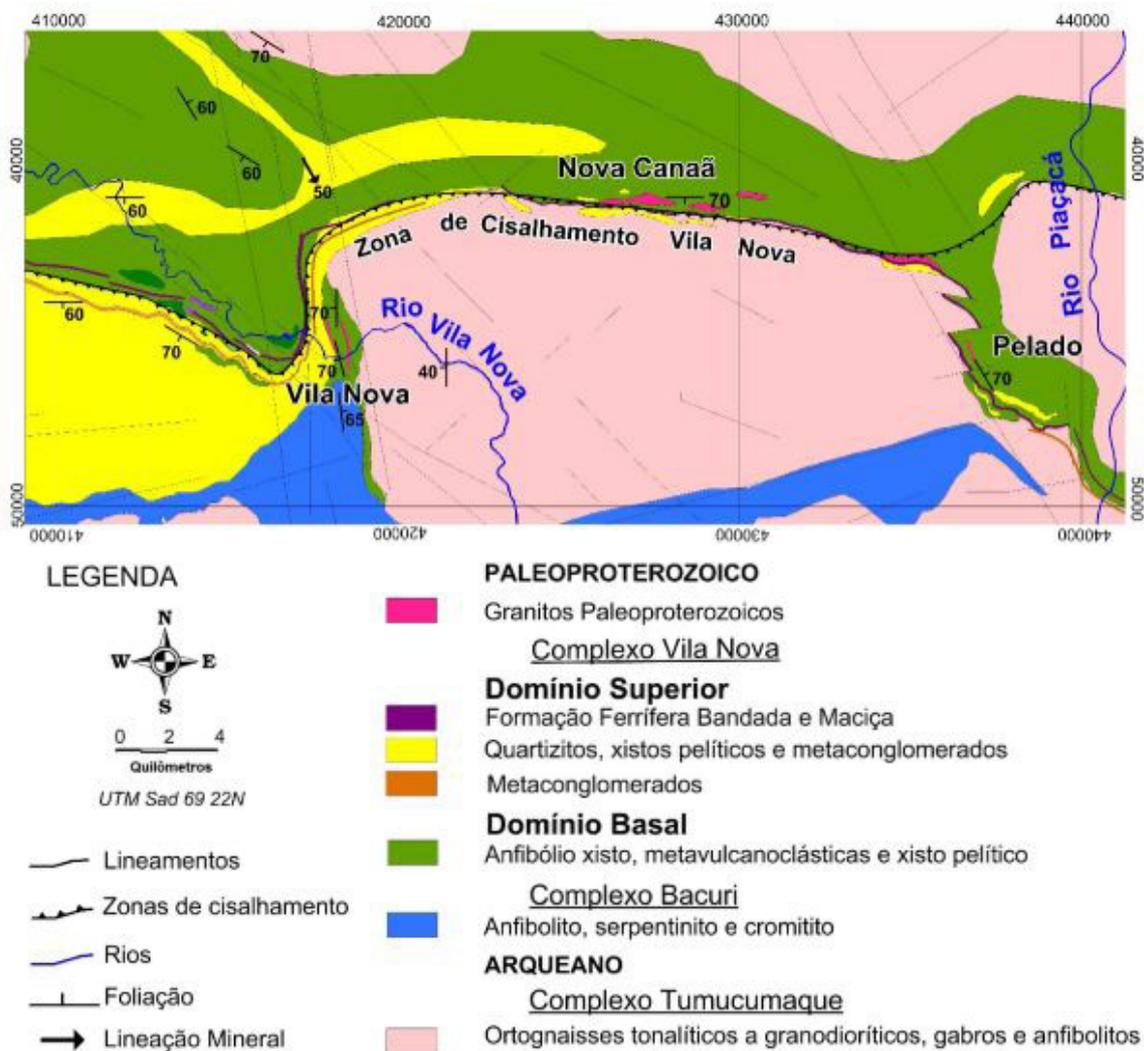


Figura 6. Mapa geológico da área estudada. Escala 1:50.000.

associado à colocação de granitos paleoproterozoicos mais jovens.

O Domínio Superior é composto por metassedimentos clásticos, intercalados com rochas metavulcânicas félsicas a máficas e rochas químico-exalativas subordinadas e está mais restrito à porção oeste da área, ocorrendo como três faixas alongadas principais com cerca de 20 km a 25 km de extensão por 1 km a 10 km de largura. As rochas metassedimentares intercalam-se com as rochas metavulcânicas e estão deformadas e dobradas por estruturas regionais. Os metassedimentos clásticos incluem metaconglomerados, quartzitos, quartzitos ferruginosos, fuchcita-quartzo xisto e mica xistos, enquanto as rochas de origem química incluem xistos calci-silicáticos e rochas associadas a BIFs (formações ferríferas bandadas) como hematita filitos, hematita xistos e quartzito ferruginoso (Figura 5C-F).

Levantamentos estruturais indicam que as unidades do Complexo Vila Nova foram deformadas e metamorizadas conjuntamente, resultando em uma foliação regional orientada segundo a direção N50°-60°W (Borghetti et al., 2013).

Granitos intrusivos

Rochas graníticas metamorizadas e corpos de pegmatito cortam todas as unidades anteriormente descritas. Variam desde diques centimétricos subconcordantes à foliação metamórfica até intrusões com disposição alongada segundo a direção E-W e com poucas centenas de metros de extensão. Os granitoides apresentam cor cinza clara a esbranquiçada, composição tonalítica, granodiorítica e granítica, com textura equigranular variando de fina até pegmatítica. Apresentam estrutura maciça, ocorrendo também corpos deformados e ocasionalmente com foliação milonítica. São compostos por K-feldspato, plagioclásio e quartzo, com baixos teores de biotita, muscovita e granada.

Alguns desses corpos graníticos estão mineralizados, sendo conhecido no limite oeste da área um grande corpo de pegmatito mineralizado a tantalita, explorado por vários anos por garimpeiros. Todos os corpos identificados são concordantes e ocorrem muito próximos ou restritos à Zona de Cisalhamento Vila Nova. Essa zona de cisalhamento está muito bem demarcada nas imagens de satélite e nos levantamentos aerogeofísicos, mas quase não está exposta no terreno.

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Aeromagnetometria

O padrão de anomalias magnéticas observado nas imagens de campo magnético total mostra a estruturação regional da área de estudo, destacando as estruturas de direção NW-SE representadas pela orientação geral das foliações metamórficas (Figura 7A). Na região da Vila Nova destacam-se as rochas do

Complexo Vila Nova, com forma alongada segundo a direção E-W, marcada por anomalias de alta amplitude magnética, com formas alongadas e contínuas que delimitam as rochas metavulcano-sedimentares desse complexo. As áreas de baixa amplitude magnética são ocupadas pelos ortognaisses e granitoides do Complexo Tumucumaque.

Os principais lineamentos magnéticos apresentam direção NW-SE e E-W e, subordinadamente, direção N-S, como evidenciado no mapa da primeira derivada (Figura 7B, e no de amplitude do sinal analítico – ASA nd e ASA hd) (Figura 7C, D). Nesses dois últimos, as anomalias magnéticas de maior amplitude correspondem às rochas metavulcano-sedimentares do CVN, podendo também ser observados os limites dos granitos Amapari, Mungubas e Anauerapucu. O Complexo Máfico-Ultramáfico Bacuri também apresenta uma resposta magnética definida, caracterizando um corpo principal com direção N80°E (Figura 7C, D).

A partir da análise dos dados aeromagnetométricos observam-se lineamentos magnéticos de grande continuidade que se estendem até a região da Serra do Navio. O padrão estrutural dominante está marcado por lineamentos de direção NW-SE, sendo mais expressivos na faixa central da área, prolongando-se para NW e para SE. Esses lineamentos definem zonas de cisalhamento dúctil que variam em menor proporção para estruturas de direção E-W, apresentando em conjunto um aspecto sigmoidal. Os lineamentos de direção NW-SE estão caracterizados em campo pelas Zona de Cisalhamento Cupixi (ZCC) e Zona de Cisalhamento Serra do Navio (ZCSN), que cortam toda a área e apresentam no seu interior uma grande estrutura de direção E-W, representada pela Zona de Cisalhamento Vila Nova (ZCVN). O *greenstone belt* Vila Nova apresenta uma estruturação principal de direção E-W, caracterizada em campo pelas foliações metamórficas S_1 e S_2 que, posteriormente, são afetadas por eventos mais tardios de deformação dúctil, resultando em dobramentos regionais.

O *greenstone belt* Vila Nova está inserido entre as zonas de cisalhamento Cupixi (ZCC) e Serra do Navio (ZCSN). A ZCSN limita as rochas do *greenstone belt* Vila Nova na porção nordeste e prolonga-se até o *greenstone belt* Serra do Navio (GBSN), delineando toda sua borda sudoeste. No setor centro-nordeste da área de estudo dominam os lineamentos de direção N-S, expressos por segmentos retilíneos que seccionam os lineamentos anteriormente citados. Os lineamentos N-S são contínuos e bem definidos, cortando as rochas do GBVN na região dos garimpos de ouro da região da Vila Nova. Os lineamentos de direções NE-SW e N-S ocorrem preferencialmente no setor sudoeste e nordeste da área, representando provavelmente uma tectônica rúptil a rúptil-dúctil (Figura 7).

Aero-gama-espectrometria

Os dados aero-gama-espectrométricos representados pelos mapas de potássio anômalo (Kd) e o mapa radiométrico ternário mostram o enriquecimento de potássio na região central da

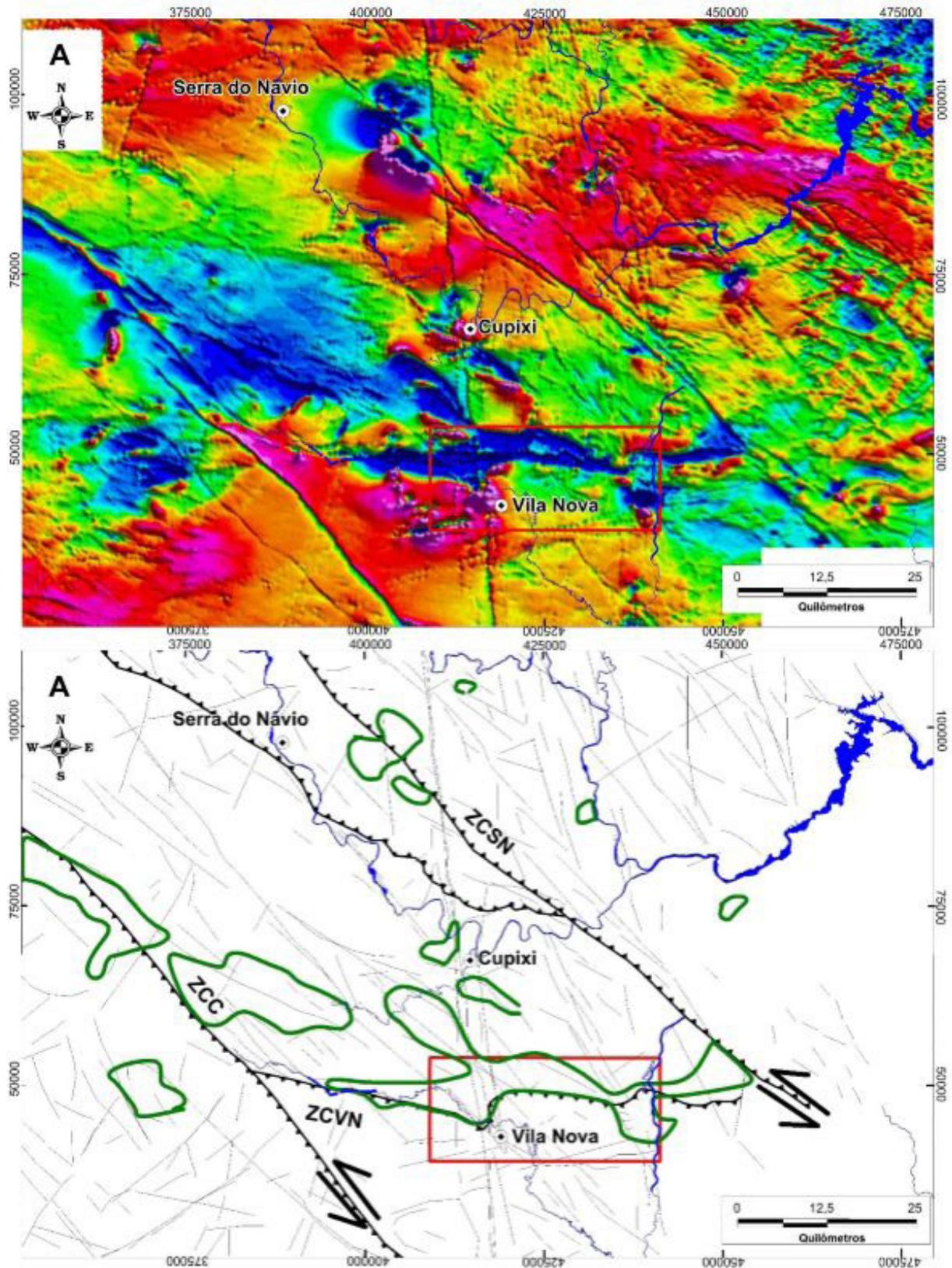


Figura 7A. Campo magnético total (CMT) com delimitação das anomalias de grande amplitude magnética (linha verde), correspondente às rochas metavulcano-sedimentares do CVN e dos principais lineamentos estruturais. ZCC = Zona de Cisalhamento Cupixi; ZCSN = Zona de Cisalhamento Serra do Navio; ZCVN = Zona de Cisalhamento Vila Nova.

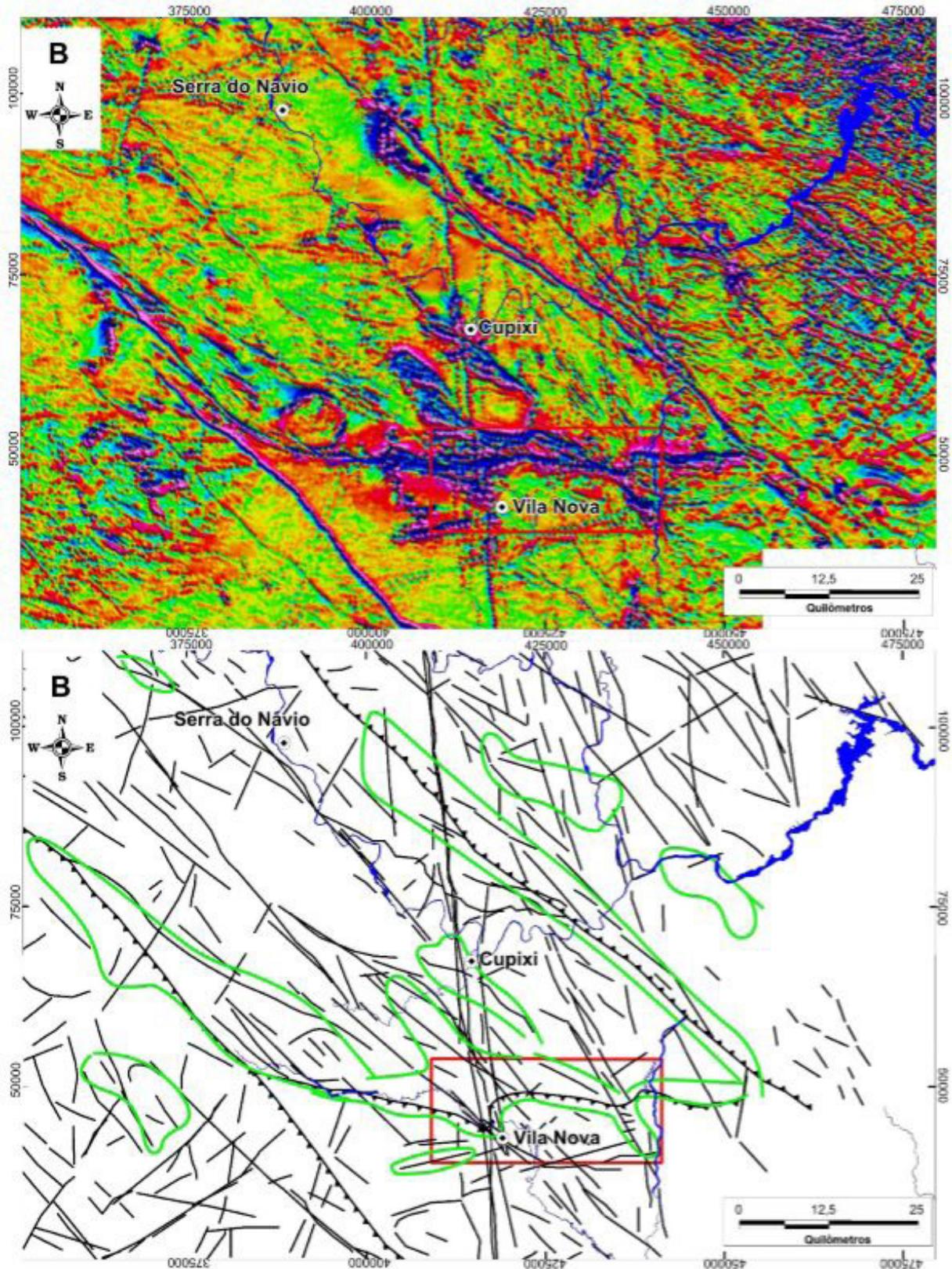


Figura 7B. Primeira derivada do campo magnético total (CMT), destacando as feições estruturais e as anomalias magnéticas (linhas verdes). ZCC = Zona de Cisalhamento Cupixi; ZCSN = Zona de Cisalhamento Serra do Navio; ZCVN = Zona de Cisalhamento Vila Nova.

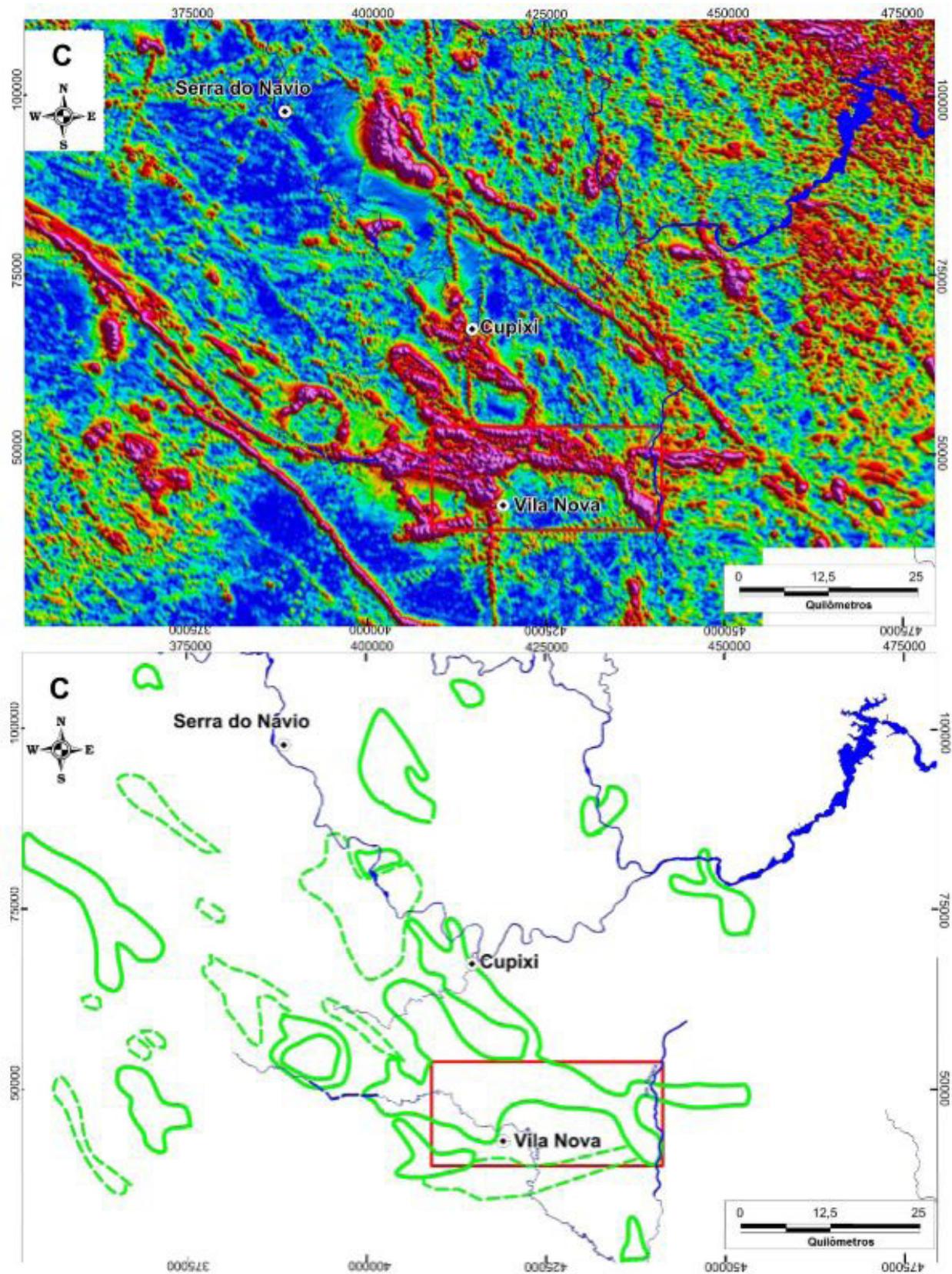


Figura 7C. Amplitude do Sinal Analítico (ASA_{hd}) com as anomalias magnéticas (linhas verdes), destacando-se as ocorrências de rochas metavulcano-sedimentares do Complexo Vila Nova e os limites externos de corpos graníticos.

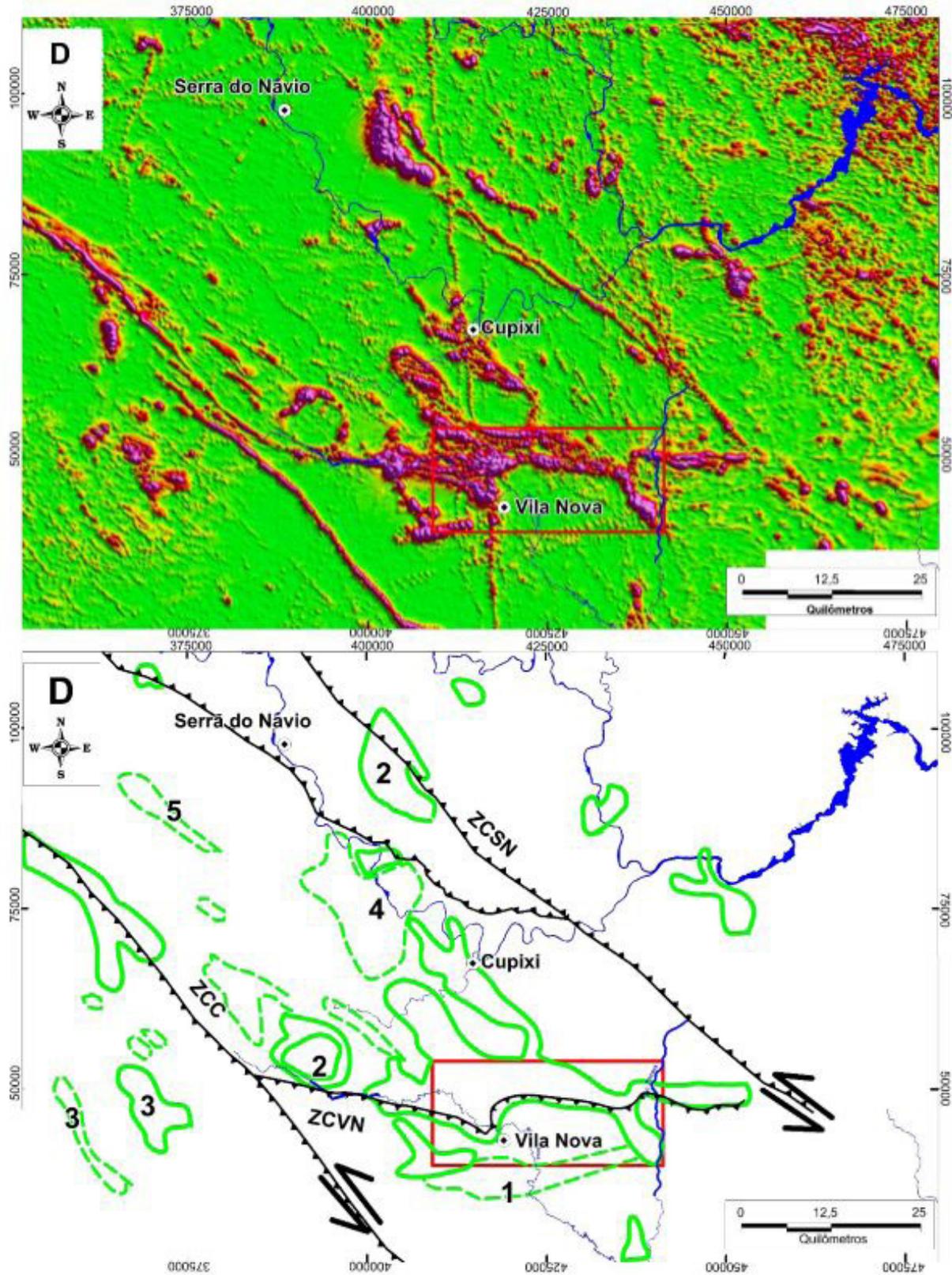


Figura 7D. Amplitude do Sinal Analítico (ASA_nd) com delimitação das anomalias magnéticas mais fortes (linhas verdes), que correspondem às rochas do Complexo Vila Nova, e também anomalias correspondentes ao Complexo Bacuri (1), Granito Amapari (2), Granito Anauerapucu (3), Granito Mungubas (4) e granitos paleoproterozoicos indiferenciados (5).

área, coincidente com a anomalia magnética que delimita as rochas do Complexo Vila Nova (Figura 8). Os *greenstones belts* de idades arqueanas e paleoproterozoicas apresentam baixas contagens radiométricas. O enriquecimento de potássio

detectado pela aero-gama-espectrometria é causado por zonas de alteração hidrotermal. A associação das mineralizações com veios de quartzo de baixa temperatura sugere que elas podem estar relacionadas a esse tipo de alteração.

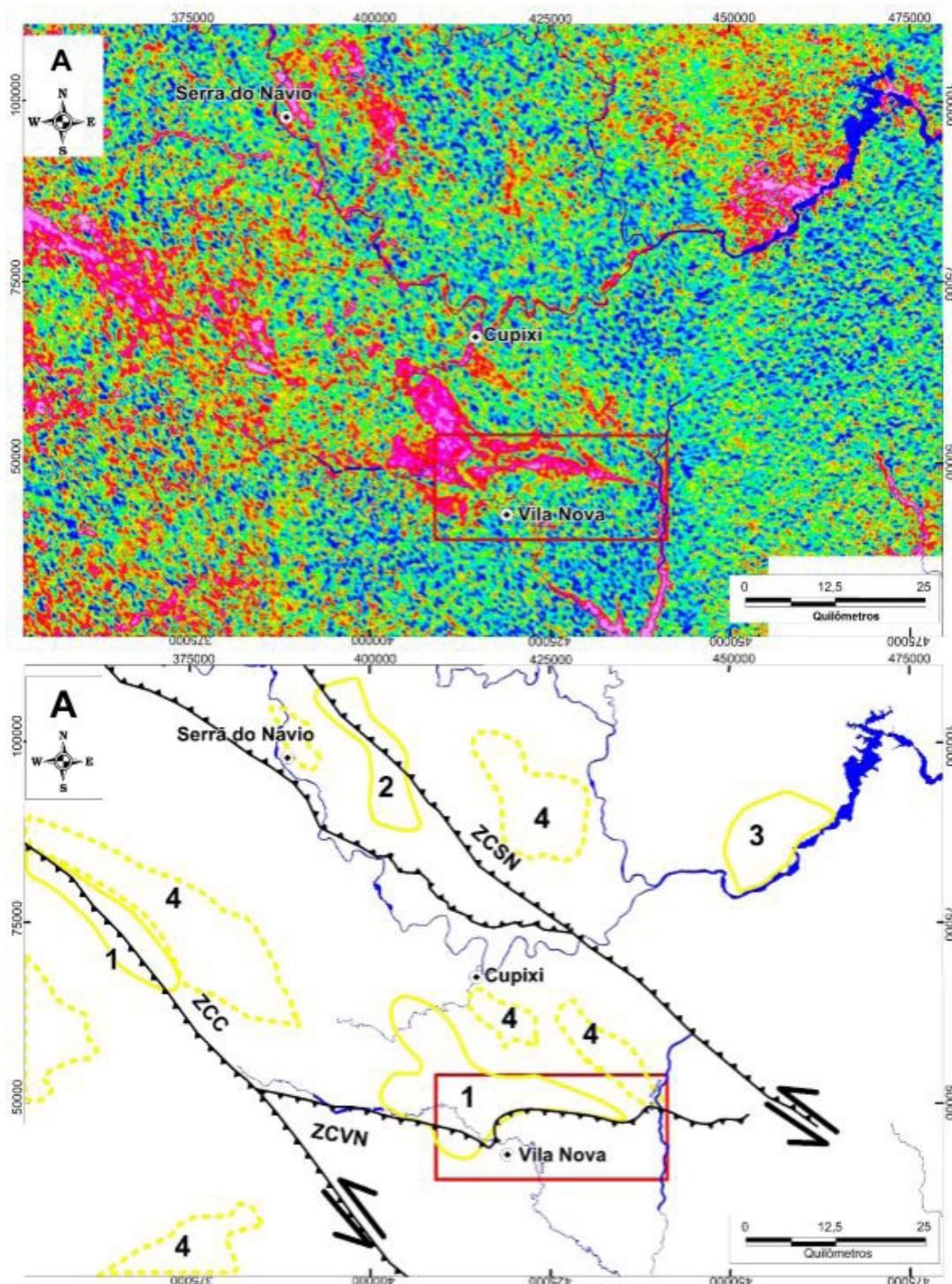


Figura 8A. Mapa de Potássio Anômalo evidenciando as principais anomalias (linhas amarelas) sobre as rochas do Complexo Vila Nova (1), Granito Amapari (2) e Granito Porto Grande (3), além de anomalias menores (4), principalmente associadas a zonas preferenciais de percolação de fluidos.

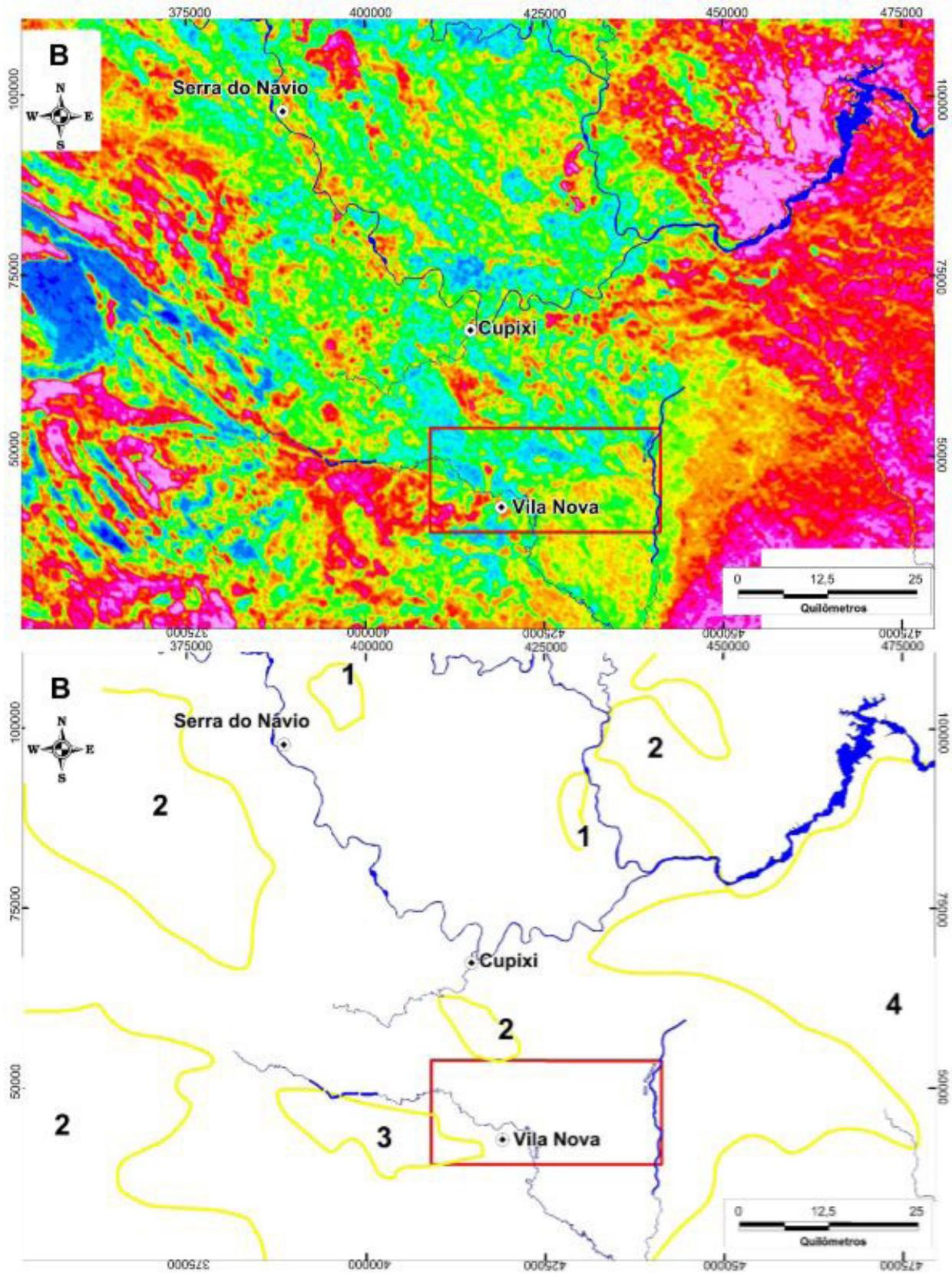


Figura 8B. Mapa de distribuição do Tório (Th) destacando as intrusões graníticas como Granito Amapari (1), granitos paleoproterozoicos e Anauerapucu (2), os quartzitos (3) do CVN e a Cobertura Fanerozóica (4).

Além da região abrangida pelas rochas metavulcano-sedimentares do GBVN e GBSN, podem ser diferenciados nos mapas radiométricos os granitos Porto Grande e Amapari, o Complexo Máfico-Ultramáfico Bacuri, o domínio superior metassedimentar do Complexo Vila Nova e as rochas do Complexo Tumucumaque.

A Figura 8A (Potássio Anômalo) evidencia as principais anomalias positivas sobre as unidades do CVN no centro e na porção oeste do mapa, definindo o Granito Amapari em contato com o CVN e também o Granito Porto Grande, além de anomalias menores, essas possivelmente associadas a zonas preferenciais de percolação de fluidos.

No mapa de distribuição do tório, as principais anomalias positivas apresentadas podem ser relacionadas, principalmente, com as rochas graníticas, em especial as intrusões do Granito Amapari no GBSN e à associação dos granitos paleoproterozoicos e Anauerapucu (Figura 8B). Os quartzitos da unidade superior do CVN também apresentam uma anomalia na parte central do mapa, junto ao GBVN, assim como a Cobertura Fanerozoica apresenta enriquecimento em tório.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A correlação entre as anomalias aerogeofísicas (magnéticas e radiométricas), a composição das rochas e as estruturas geológicas é uma ferramenta importante para subsidiar os trabalhos de campo, para caracterizar as principais estruturas do embasamento e na avaliação das relações existentes entre assinaturas aerogeofísicas, padrões de relevo, associações litológicas e padrões estruturais.

A integração dos dados de campo com a interpretação dos dados aerogeofísicos permitiram a definição e delimitação dos complexos Tumucumaque e Vila Nova. Os mapas geológicos regional e da área da Vila Nova gerados neste trabalho representam um importante incremento na cartografia geológica dessa porção do Cráton Amazônico, quando comparados com os mapas apresentados por Spier e Ferreira Filho (1999), Pimentel et al. (2002), Faraco et al. (2004), McReath e Faraco (2006), Rosa-Costa et al. (2006) e Barbosa et al. (2013). A integração dos dados aerogeofísicos e de campo permitiu reconhecer as principais zonas de cisalhamento regionais e delimitar em escala 1:50.000 as unidades metavulcânicas e metassedimentares do Complexo Vila Nova.

Os dados de aeromagnetometria e de aero-gama-espectrometria permitiram separar as áreas do embasamento arqueano e paleoproterozoico, compostas por ortogneisses e granitoides do Complexo Tumucumaque, das áreas ocupadas pelas rochas metavulcano-sedimentares do Complexo Vila Nova. Dentre as unidades desse complexo, destacam-se os baixos magnetométricos apresentados pelos metassedimentos situados ao sul da Zona de Cisalhamento Vila Nova, quando

comparados com as rochas metavulcânicas situadas ao norte dessa zona de cisalhamento. Essa diferença permitiu o reconhecimento do Domínio Basal, com predominância de rochas metavulcânicas, e do Domínio Superior, composto por metassedimentos clásticos. As rochas metavulcânicas são compostas por metabasaltos, metandesitos e metadacitos e estão intercaladas com rochas químico-exalativas como xistos cálcio-silicáticos e BIFs. Entre os metassedimentos clásticos destacam-se a intercalação de espessos pacotes de quartzitos e duas camadas principais de metaconglomerados basais.

As principais estruturas da região estão caracterizadas pelas zonas de cisalhamento dúcteis do Cupixi e da Serra do Navio, de direção NE-SW, representando os principais corredores de deformação regionais. Essas duas grandes zonas de cisalhamento estão conectadas através da Zona de Cisalhamento Vila Nova, de direção E-W, responsável pela forma alongada do *greenstone belt* da Vila Nova e pelo contato entre o embasamento e as unidades metavulcano-sedimentares. Os trabalhos de campo permitiram reconhecer uma estruturação complexa, com a caracterização de duas foliações metamórficas principais (S_1 e S_2) associadas ao desenvolvimento da Zona de Cisalhamento Vila Nova. Essa zona de cisalhamento tem natureza dúctil e controla o posicionamento de diversos granitoides de idade paleoproterozoica. Os granitos apresentam formas alongadas concordantes, caracterizadas por estruturas internas, como foliação magmática, e porções de borda com deformação milonítica. Essas características sugerem que a colocação dos corpos graníticos é sin-cinemática ao desenvolvimento da zona.

Essas estruturas dúcteis são ainda afetadas por uma fase de dobramento mais tardia, que afeta a disposição das foliações metamórficas, gerando um padrão regional de dobras F_3 com formas abertas a fechadas e eixos direcionados para a direção SE. As estruturas anteriores ainda são afetadas por zonas de cisalhamento rúpteis de direção $N70^\circ-80^\circ E$ e mergulhos subverticais.

Os dados apresentados neste trabalho demonstram a importância da integração dos dados aerogeofísicos como uma importante ferramenta para reconhecimento de tramas estruturais e litológicas complexas em áreas de pouca exposição e cujo acesso é muito difícil.

REFERÊNCIAS

- Avelar, V. G., Lafon, J. M., Delor, C., Guerrot, C., Lahondère, D. (2003). Archean crustal remnants in the easternmost part of the Guiana Shield: Pb-Pb and Sm-Nd geochronological evidence for Mesoarchean versus Neoproterozoic signatures. *Geologie de la France*, 2-3-4, 83-100.
- Barbosa, J. P. O., Costa Neto, M. C., Rosa-Costa, L. T., Anjos, G. C., Chaves, C. L. (2013). *Projeto Folha Macapá: NA.22-Y-D*. Mapa Geológico (1:250.000). Belém: CPRM.

- Blum, M. L. B. (1999). *Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral*. Tese (Doutorado). Brasília: Universidade de Brasília.
- Borghetti, C., Philipp, R. P., Basei, M. A. S., Mandetta, P. (2013). Evolução tectônica do Complexo Vila Nova na região do Cupixi, Porto Grande, Amapá. *XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos; VIII Symposium on Tectonics*, Boletim de Resumos Expandidos, Chapada dos Guimarães, SBG, ST-2.
- Borghetti, C., Philipp, R. P., Basei, M. A. S., Mandetta, P. (2014). New ages from Vila Nova and Tumucumaque Complex in the Cupixi region, Porto Grande, Amapá, Brazil. *9th South American Symposium on Isotope Geology*, Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo: CPGeo-IGC/USP
- Cordani, U. G., Brito Neves, B. B. (1982). The geologic evolution of South America during the archaic and early proterozoic. *Revista Brasileira de Geociências*, 12, 78-88.
- Cordani, U. G., Tassinari, C. C. G., Teixeira, W., Basei, M. A. S., Kawashita, K. (1979). Evolução da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *Actas do II Congresso Geológico Chileno*, 4, 137-148. Arica: Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Cordani, U. G., Teixeira, W., D'Agrella-Filho, M. S., Trindade, R. I. (2009). The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Research*, 15, 396-407. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2008.12.005>.
- Delor, C., Lahondère, D., Egal, E., Lafon, J. M., Cocherie, A., Guerrot, C., Rossi, Ph., Trufert, C., Theveniaut, H., Phillips, D., Avelar, V. G. (2003a). Transamazonian crustal growth and reworking as revealed by the 1:500.000: scale geological map of French Guiana (2nd ed.). *Géologie de la France*, 2-3-4, 5-57.
- Delor, C., Roever, E. W. F., Lafon, J. M., Lahondère, D., Rossi, P., Cocherie, A., Guerrot, C., Potrel, A. (2003b). The Bakhuis ultrahigh-temperature granulite belt (Suriname): II. Implications for late Transamazonian crustal stretching in a revised Guiana Shield framework. *Géologie de la France*, 2-3-4, 207-230.
- Faraco, M. T. L., Marinho, P. A. C., Costa, E. J. S., Vale, A. G., Camozzato, E. (2004). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas (SIG). Folha NA.22 – Macapá. Escala 1:1.000.000*. (CDROM, Programa Geologia do Brasil). Brasília: CPRM.
- Grant, F. S. (1984). Aeromagnetic, geology and ore environments: II Magnetite and ore environments. *Geoexploration*, 24, 335-362.
- Kearey, P., Klepeis, K. A., Vine, F. J. (2009). *Global tectonics*. (3a ed.), 482 p. New York: Wiley-Blackwell.
- Lobato, L. M., Rodrigues, L. C. R., Zuchetti, M., Noce, C. M., Baltazar, O. F., Silva, L. C., Pinto, C. P. (2001). Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic and structural setting of the Archaean Rio das Velhas greenstone belt. *Mineralium Deposita*, 36(3/4), 228-248.
- McCarthy, T., Rubidge, B. (2005). *The story of earth and life*, 333 p. Johannesburg: Struik Publishers.
- McReath, I., Faraco, M. T. L. (2006). Paleoproterozoic greenstone-granite belts in northern Brazil and the former Guyana Shield-West African craton province. *Geologia USP. Série Científica*, 5(2), 49-63.
- Noce, C. M., Pedrosa-Soares, A. C., Silva, L. C., Alkmim, F. F. (2007). O embasamento Archaico e Paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 15, 15-17.
- Pimentel, M. M., Ferreira Filho, C. F., Spier, C. A. (2002). Estudo Sm-Nd do Complexo Máfico-Ultramáfico Bacuri, Amapá: idade da intrusão, metamorfismo e natureza do magma original. *Revista Brasileira de Geociências*, 32, 371-376.
- Press, F., Siever, R., Grotzinger, J., Jordan, T. H. (2006). *Para entender a Terra* (4a ed.), 656 p. Porto Alegre: Bookman.
- Rosa-Costa, L. T., Lafon, J. M., Delor, C. (2006). Zircon geochronology and Sm-Nd isotopic study: further constraints for the Archaean and Paleoproterozoic geodynamic evolution of the southeastern Guiana Shield, north of Brazil. *Gondwana Research*, 10, 277-300.
- Rosa-Costa, L. T. (2006). *Geocronologia 207Pb/206Pb, Sm-Nd, U-Th-Pb e 40Ar-39Ar do Segmento Sudeste do Escudo das Guianas: evolução crustal e termocronologia do evento transamazônico*. Tese (Doutorado). Belém: Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica – UFPA.
- Santos, J. O. S., Hartmann, L. A., Gaudette, H. E., Groves, D. I., Mcnaughton, N. J., Fletcher, I. R. (2000). A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4), 453-488.
- Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (2004). *Programa Geologia do Brasil, Projeto Aerogeofísico Rio Araguari, Relatório Final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos*, 136 p. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções S/A. (Texto Técnico, I).
- Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (2006). *Programa Geologia do Brasil, Projeto Aerogeofísico Amapá, Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos*, 272 p. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções S/A. (Texto Técnico, I).
- Spier, C. A. (1999) *Petrologia e metalogênese dos depósitos de cromita associados ao complexo máfico-ultramáfico*

- Bacuri, AP. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – UnB.
- Spier, C. A., Ferreira Filho, C. F. (1999). Geologia, estratigrafia e depósitos minerais do Projeto Vila Nova, Escudo das Guianas, Amapá, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29, 173-178.
- Tassinari, C. C. G., Bettencourt, J. S., Geraldes, M. C., Macambira, M. J. B., Lafon, J. M. (2000). The Amazonian Craton. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. T. Filho, D. A. Campos (Eds.), *Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress*, 41-95. Rio de Janeiro: SBG.
- Tassinari, C. C. G., Macambira, M. J. B. (2004). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Orgs.), *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 471-485. São Paulo: Beca.
- 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.
- Thurston, J. B., Smith, R. S. (1997). Automatic conversion of magnetic data to depth, dip and susceptibility contrast using the SPITM method. *Geophysics*, 62, 807-813.
- Vearncombe, J. R., Barton Junior, J. M., van Reenen, D. D., Phillips, G. N., Wilson, A. H. (1986). Greenstone belts: their components and structure. In: M. J. Wit, L. D. Ashwal (Eds.), *LPI Technical Report Workshop on Tectonic Evolution of Greenstone Belts*, 86-10. Houston: Lunar and Planetary Institute.